

Menisküsün Yapısı, İşlevi ve İyileşmesi

Elcil Kaya Bıçer, Semih Aydoğdu

Öğrenim Hedefleri

- Menisküslerin temel embriyolojik, anatomik, histolojik ve biyokimyasal özellikleri.
- Menisküslerin işlevleri ve bunlara olanak sağlayan biyomekanik özellikleri.
- Menisküs yaralanmalarının tipleri ve özellikleri.
- Menisküslerin iyileşebilme özellikleri.
- Menisküse yönelik temel onarım girişimlerinin etkileri konularında yeterli bilgilendirme yapılması.

Özet

Menisküsler anatomik ve biyomekanik özellikleri sayesinde diz ekleminde vazgeçilemeyecek işlevlere sahiptir. Yük taşınması, şok absorpsiyonu, eklem kıkırdığının beslenmesi, eklem kayganlaştırılması gibi çok önemli işlevleri olan menisküsler eklem stablitesine ve propriyosepsiyonuna da katkı sağlarlar. Menisküsün kaybına bağlı olarak eklem kıkırdığındaki yüklenme özelliklerinin değiştiği ve buna bağlı olarak erken dönemde dejeneratif değişikliklerin başladığı bilinmektedir. Bu durum, menisküsün hemen feda edilebilecek bir fibrokıkırdak tampondan çok daha fazlası olduğuna işaret etmektedir.

Günümüzde menisküs yırtıklarının tedavisinde yırtığın 'ampütasyonundan' çok onararak iyileşmesinin sağlanması önerilmektedir. Menisküsün iyileşmesi dokunun kanlanma özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Avasküler bölgedeki yırtıkların iyileşme potansiyeli son derece azdır. Avasküler bölgenin yırtıklarının tedavisinde de kanlanmayı artırıcı yöntemler geliştirilmektedir.

Segmental menisektomi uygulanmak zorunda kalmış hastalarda ise oluşan defekt artritlik değişiklikler başlamadan önce sentetik matriks greftleriyle doldurulabilmektedir. Bir sebeple total menisektomi uygulanmış hastalarda uygulanabilecek bir tedavi seçeneği de meniskal allogreft transplantasyonudur. Doku mühendisliği alanındaki gelişmelerle birlikte gelecekte biyomekanik özellikleri bakımından doğal menisküs dokusunu çok daha iyi taklit edebilen dokular oluşturulabilmesi beklenmektedir.

Summary

The Structure, Function, and Healing of Meniscus

Regarding to the anatomical and biomechanical characteristics of the menisci, they serve indispensable functions in the knee joint. Besides the main functions of the menisci including load bearing, shock absorption, articular nutrition and joint lubrication; they also have some role in maintaining the joint stability and proprioception. Meniscal tissue loss leads to alteration of the loading pattern of articular cartilages which in turn results in early degenerative changes in the knee joint. In the light of these features, preservation of the meniscal tissue has a paramount importance.

Currently instead of amputating a torn meniscus, meniscal repair is supported. The healing of meniscus is directly related to the vascularisation of the tissue. The tears of the avascular zone have the least potential to heal. In order to augment the healing potential of tears of the avascular zone, several techniques aiming to provide more blood supply to the avascular regions have been developed.

Before the arthritic changes develop the knees which had to undergo a segmental meniscectomy can be treated by replacement with a synthetic matrix graft to occupy the gap in the meniscus. For the patients who had a previous total meniscectomy procedure meniscal allograft transplantation is an option. Along with the advances in tissue engineering in the near future it is expected to engineer tissues which will be able to compete with the native menisci by means of their biomechanical and biologic characteristics.

Diz eklemesindeki menisküsler, tibial platonun medial ve lateral kısımları üzerinde konumlanmış hilal şeklinde fibrokıkırdak yapılarıdır. Kendine özgü şekilleri ve anatomik özellikleriyle menisküsler, yükün taşınması ve iletilmesi ile şok absorpsiyonu gibi önemli işlevleri yerine getirir; eklem kıkırdığının beslenmesine, diz eklemine kayganlaşmasına (lubrikasyonuna), stabilitesine ve propriyosepsiyonuna katkı sağlarlar.⁽¹⁻⁶⁾

Menisküsler kas iskelet sisteminin oldukça sık yaralanan yapıları arasındadır. Bu yaralanmalar uygun şekilde tedavi edilmediğinde kısa dönemde ciddi morbiditeye neden olduğu gibi, uzun dönemde de diz eklemine osteoartrit sonuçlanan dejeneratif değişikliklere yol açabilir. Bu nedenle menisküs yaralanmalarının tedavisi oldukça önem taşımaktadır. Günümüzde menisküsün mümkün olduğunca korunmasının önemi anlaşılmıştır. Güncel tedavi yöntemleri, bu ilke temel alınarak uygulanmakta ve geliştirilmektedir.⁽⁶⁻⁸⁾

Bu yazıda, menisküslerin embriyolojik, anatomik, histolojik, biyokimyasal ve biyomekanik özellikleri, işlevleri ve iyileşmesi ile ilgili güncel bilgilerin derlenmesi amaçlanmıştır.

MENİSKÜSÜN GELİŞİMİ

Gardner ve O’Rahilly’nin ovülasyondan sonra beşinci ile sekizinci haftalardaki embriyolarda yapmış oldukları histolojik çalışmada, yedi buçuk ile sekizinci haftalar arasında diz eklemine erişkin dizine benzer hale geldiği gösterilmiştir.⁽⁹⁾ Embriyonik dönemde ovülasyon sonrası dördüncü haftada alt ekstremite tomurcuğu oluşur; fakat bu tomurcukta ayrı eklemel bir yapı bulunmamaktadır. Mezenkimal model kıkırdaklaşmaya başladığında sonradan diz eklemine oluşturacak olan femur ve tibia arasındaki bölge (*femorotibial interzon*) belirginleşir. Bu bölge üç tabakaya ayrılmıştır. Birinci ve üçüncü tabakalar femur ve tibiaya ait kondrojenik tabakalardır. İkinci tabaka ise bu iki tabaka arasında olup daha az yoğundur. İleride bu tabakadan meniskal yapılar ve çapraz bağlar oluşacaktır.^(9,10)

Ovülasyon sonrasında yaklaşık olarak yedi buçuk ile sekizinci haftalar arasındaki embriyolarda hem medial hem de lateral menisküsler tanınabilmektedir; ancak lateral menisküsteki hücrelerin oryantasyonu medialdekilere oranla son şekillerine daha yakındır. Ovülasyon sonrası sekizinci haftalardaki embriyoların diz eklemelerindeyse, menisküsler kesin olarak tanınmakta olup içerdikleri hücre sayıları fazladır.^(9,10)

Gestasyonel dönemde menisküs dokusunun tamamı kan damarı içerir. Damarlanmadaki bu fazlalık doğum sonrası üçüncü aya kadar devam eder. Üçüncü aydan itibaren menisküsün iç kısmındaki kan damarları kaybolmaya başlar.⁽¹¹⁾ Bu durum, bir vasküler endotelial büyüme faktörü inhibitörü olan endostatının başlangıçta menisküsün tamamında düşük miktarda bulunurken üçüncü aydan sonra iç kısımdaki hücreler tarafından daha fazla üretilmesine ve burada endostatin birikmesine bağlanır.⁽¹²⁾ On bir yaş civarında menisküslerin iç kısmı tamamen avasküler hale gelmiştir.⁽¹¹⁾

Gestasyonel dönemde gelişen menisküsün hücre içeriği başlangıçta fazladır ve çekirdek – sitoplazma oranı yüksek hücrelerden oluşur. Zamanla hücreler olgunlaşır ve çekirdek – sitoplazma oranları düşer. Hücre sayısında kademeli olarak azalmalar olurken kollajen üretimi artar. Kollajen lifleri çevresel olarak dizilmeye başlar. Kollajen liflerinin diziliminde eklem hareketinin ve doğum sonrası yüklenmenin önem taşıdığı düşünülmektedir.^(6,10)

ANATOMİ

Femur ve tibianın eklem yüzleri arasında medialde ve lateralde yer alan menisküsler, koronal düzlemde kama şeklindedirler. İki menisküs tamamen aynı değildir. Medial menisküs şekil olarak hilale benzer. Arka kısmı ön kısmına göre daha geniştir. Lateral menisküs ise daha daireseldir; önden arkaya doğru genişliği değişmez. Medial menisküs medial tibial platonun %60’ını, lateral menisküs ise lateral tibial platonun %80’ini kaplar. Periferde yer alan kısımları kalın, konveks ve eklem kapsülüne yapışık. İç kısımları ise ince ve serbesttir. Menisküslerin üst yüzeyleri konkavdır, bu da temasta oldukları konveks femoral kondillerle eklemleşmelerini kolaylaştırır. Tibial platoya yerleşen alt yüzeyleri ise düzdür. Menisküslerin karşılardaki eklem yüzleriyle uyumlu bir şekle sahip olmaları sayesinde, eklem hareketi sırasındaki sürtünme oldukça azalmaktadır.^(6,7,10,11)

Medial ve lateral menisküslerin ön boynuzları arasında transvers intermeniskal ligaman bulunur. Menisküslerin ön ve arka boynuzları insersiyonel ligamanlar aracılığıyla tibiaya yapışır. Medial menisküsün ön boynuzunun tibial plato üzerindeki yapışma yeri anterior interkondiler fossadır ve ön çapraz bağın önünde yer alır. Ön boynuzun arka lifleri transvers meniskal ligamana katılır. Arka boynuzu ise arka çapraz bağ ile lateral menisküsün arka

boynuzunun yapışma yeri arasında yer alan, tibianın posterior interkondiler fossasına tutunmuştur. Lateral menisküsün ön boynuzu ön çapraz bağın yapışma yerinin komşuluğunda, interkondiler çıkıntının önüne yapışır. Arka boynuzun yapışma yeri ise interkondiler çıkıntının arkasında, medial menisküsün arka boynuzunun yapışma yerinin önünde yer alır. Lateral menisküsün ön ve arka boynuzlarının yapışma yeri medial menisküsünkilere göre birbirine daha yakındır. Medial menisküsün dış kısmı meniskotibial ligaman ('coronary' ligaman) aracılığıyla eklem kapsülüne tutunmuştur. Medial menisküsün orta kısmı ise medial kollateral ligamanın derin kısmına sıkıca yapışmaktadır. Bu yapışmalar medial menisküsün hareketliliğini oldukça azaltır. Lateral menisküsün lateral kollateral ligamanla herhangi bir bağlantısı bulunmamaktadır. Lateral menisküs kapsüle daha gevşek tutunur; posterolateralinde yer alan, popliteus tendonunun geçtiği ve popliteal hiatusu oluşturduğu üçte birlik kısmında kapsülle bağlantısı yoktur. Lateral menisküs mediale göre çok daha hareketlidir.⁽⁵⁻⁷⁾

Lateral menisküsün arka boynuzu, medial femoral kondilin lateral kısmına anterior (Humphrey) ve posterior (Wrisberg) meniskofemoral ligamanlar aracılığıyla bağlanır. Anterior meniskofemoral ligaman arka çapraz bağın önünden, posterior meniskofemoral ligaman ise arkasından geçer. Medial femoral kondil üzerindeki yapışma yeri arka çapraz bağın yapışma yerinin hemen komşuluğundadır. Kadavra dizlerinde yapılmış olan çalışmalarda meniskofemoral ligamanların görülme sıklığı ve kaç adet ligaman olduğu konusunda bir birlik bulunmamaktadır. İşlevleri kesin olarak bilinmemekle birlikte dizin fleksiyonu sırasında lateral menisküsün arka boynuzunu öne ve mediale doğru gerip hareketini sınırladıkları düşünülmektedir.^(7,13,14)

Medial menisküsle karşılaştırıldığında, lateral menisküsün gelişimsel varyasyonları daha fazladır. Diskoid menisküs mediale oranla lateralde çok daha sık görülür. Önceleri gelişimin duraklamasının bir sonucu olduğu ileri sürülmüşse de gelişimin hiçbir aşamasında menisküsün diskoid şekil aldığı gösterilememiştir.^(10,15)

MENİSKÜSÜN KANLANMASI VE BESLENMESİ

Erişkin dizinde menisküsler görece avasküler yapılardır ve kanlanma paterni menisküsün iyileşmesiyle

doğrudan ilgilidir. Erişkinde menisküs beslenmesi açısından üç zona ayrılır. Dışta kalan üçte birlik alan "kırmızı - kırmızı" zondur ve kanlanması iyidir. "Kırmızı - beyaz" zon olarak adlandırılan orta üçte birlik kısmın kanlanması dış kısma göre daha azdır. En içte yer alan ve hiç kanlanmayan üçte birlik kısım ise "beyaz - beyaz" zondur. Menisküsün gövde kısmıyla karşılaştırıldığında boynuz kısımlarının kanlanması daha fazladır.⁽¹⁶⁾

Menisküslerin periferik kısımlarının beslenmesi popliteal arterin dalları olan medial ve lateral, superior ve inferior genikulat arterlerin dallarının oluşturduğu perimeniskal kapiller pleksus aracılığıyla sağlanır. Hem medial hem de lateral menisküsün femoral ve tibial yüzlerinde, periferik kısımlarda vasküler sinovyal katlantılar mevcuttur. Bu sinovyal katlantılar kısa terminal damarlar içerir. Yalnızca lateral menisküsün posterolateralinde bulunan popliteal hiatus kısmı bu kanlanmadan yoksundur.^(4,5,17,18)

Orta genikulat arter de medial ve lateral genikulat arterlerin birkaç terminal dalıyla birlikte ön ve arka boynuzun vasküler sinovyal örtüsü aracılığıyla menisküsün beslenmesine katkı sağlar. Bu sinovyal damarlar boynuzların tibial platoya tutunmasını sağlayan insersiyonel ligamanların içinden dokuya girer ve boynuzları besleyen kısa, terminal endoligamentöz damarları oluştururlar.^(5,19)

Menisküslerin geri kalan kısımlarının beslenmesi sinovyal sıvıdan difüzyon ya da mekanik pompalama yoluyla olur. Tarayıcı elektron mikroskopuyla yapılmış olan histolojik incelemeler menisküslerin yüzeyine açılan kanal benzeri yapıların bulunduğunu göstermiştir. Bu kanal sisteminin görevi tam olarak aydınlatılamamış olsa da menisküsün hidrostatik basıncının ayarlanmasında, yüklenme sırasında sıvı akışının kolaylaştırılmasında ve menisküsün avasküler kısımlarına sinovyal sıvıdan ve kan damarlarından besin taşınmasında rolü olabileceği düşünülmektedir.^(20,21)

Sinovyal sıvıdan difüzyonun olabilmesi için vücut ağırlığı ve kas kuvveti yoluyla menisküslerin aralıklı yüklenme ve stres rahatlamasına gereksinimi vardır. Bebeklik döneminde menisküsler anlamlı ölçüde yüklenmeye ve kas kuvvetine maruz kalmadıkları için difüzyon yoluyla beslenmenin olamayacağı; bu nedenle beslenmenin yalnızca kan damarları aracılığıyla olabileceği ileri sürülmüştür. Bipedal yürüme başladıktan sonra ya da kas kuvveti menisküsler üzerinde yeterli stres oluşturmaya başladıktan sonra; tamamı kan damarlarıyla beslenen menisküsler yerlerini yavaş yavaş,

iç kısmı avasküler olan erişkin tipi dokuya bırakmaya başlar.^(4,18)

MENİSKÜSÜN NÖROANATOMİSİ

Menisküslerin inervasyonunun büyük kısmı tibial sinirin posterior artiküler dalı tarafından sağlanır. Ayrıca safen sinirin dalı olan medial artiküler sinir de medial menisküsün inervasyonuna katkı sağlamaktadır.⁽²²⁾ Büyük olan sinirler perimeniskal dokuda dairesel bir seyir izler ve çoğu damarlara eşlik eder. Daha küçük sinirler ve tek aksonlar menisküsün dış üçte birlik kısmına doğru ışınsal olarak ilerler. Menisküs gövdesinin dış kısmı orta kısmına göre sinir dokusundan daha zengindir. İç üçte birlik kısımdaysa sinir dokusu saptanmamıştır. Ön ve arka boynuzların inervasyonu menisküsün gövde kısmına göre daha fazladır. Menisküslerin kanlanması olduğu gibi, inervasyonlarında da sinirler menisküsün periferik kısmında ve boynuz kısımlarında yoğunlaşmıştır. Medial ve lateral menisküsün inervasyonu birbirine benzemektedir.^(17,22,23)

Mekanoreseptörler gerilim, kompresyon, pozisyon değişikliği, ivme gibi fiziksel uyarıları elektriksel sinir uyarısına çeviren özelleşmiş reseptörlerdir. Mekanoreseptörler menisküslerin en çok boynuz kısımlarında bulunur. Arka boynuzda ön boynuzza göre daha fazla sayıda mekanoreseptör vardır. Menisküsün dış kısmında ve boynuzlarında üç tip mekanoreseptör gösterilmiştir. Tip I (Ruffini) mekanoreseptörler statik eklem pozisyonunu ve basınçtaki değişiklikleri algırlar. Yavaş adapte olan, uyarılma eşikleri düşük reseptörlerdir. Tip II (Pacini) mekanoreseptörler uyarılma eşikleri düşük, hızlı adapte olan reseptörlerdir. Gerilimdeki ve ivmedeki değişiklikleri algırlar. Tip III (Golgi) mekanoreseptörleri yavaş adapte olurlar; uyarılma eşikleri yüksektir. Bu reseptörler, eklem hareket açıklığının sınırına ulaşıldığında aktive olurlar ve koruyucu bir refleks inhibisyonu sağlarlar.^(4,6,17,19,20)

Merkezi sinir sistemine ulaşan menisküs kaynaklı propriyoseptif bilgi, femurun tibial plato üzerindeki anteroposterior translasyonunun derecesini etkileyebilir. Menisküslerin diz eklemine stabilitesine katkıları mekanik özelliklerinin yanı sıra propriyoseptif özelliklerinden de kaynaklanıyor olabilir. İzole menisküs yaralanmalarında dizin propriyosepsiyon duyusunda anlamlı derecede azalma olduğu gösterilmiştir.^(4,20,24)

Menisküs gövdesinin dış kısmında ve boynuzlarda serbest sinir uçları da saptanmıştır. Bu reseptörler

ağrının algılanmasından sorumludur. İleri doku deformasyonu, yaralanma ya da enflamasyonla aktive olurlar.^(4,23)

MENİSKÜSÜN HİSTOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Fibrokıkırdak yapıda olan menisküs dokusu büyük oranda ekstraselüler matriks ile görece seyrek ve dağınık olarak konumlanmış hücrelerden oluşur. Menisküsü oluşturan hücreler üç tiptir. Menisküsün dış kısmında yer alan hücreler oval ya da iğsi şeklindedir ve morfolojik olarak fibroblastlara benzerler. Diğer hücrelerle ve ekstraselüler matriks ile iletişimini sağlayan ince, uzun, sitoplazmik uzantıları vardır. Bol olan sitoplazmaları, granüllü endoplazmik retikulum ve golgi aparatı bakımından zengindir. Bu fibroblast benzeri hücrelerin hemen çevresinde periselüler olarak adlandırılan matriks bulunmamaktadır. Dokunun genel matriksindeki kollajen lifleri bu fibroblast benzeri hücreleri çevrelemektedir. Bu kollajen yoğunlukla tip I kollajendir; ancak az miktarda tip III ve V kollajen de bulunur. Menisküsün iç kısmındaki hücrelerse daha yuvarlaktır ve periselüler matriksle çevrilidir. Bu hücreler kondrositlere benzedikleri için fibrokondrosit ya da kondrosit benzeri hücre olarak adlandırılırlar. Bu hücreleri çevreleyen ekstraselüler matriks yoğunlukla tip II kollajen içermektedir. Bunun yanı sıra daha az ama önemli miktarda tip I kollajen ve dış kısma göre daha fazla miktarda glikozaminoglikan içerir. Tip II kollajen ve bir proteoglikan olan agrekan içeriği göz önünde bulundurulduğunda menisküsün bu kısmı, hyalin eklem kıkırdağına benzemektedir. Menisküsün yapısında bulunan üçüncü hücre tipi ise yüzeysel kısımda yer alan hücrelerdir. Bu hücreler de fibroblast benzeri hücreler gibi iğsi şeklindedir fakat daha yassıdırlar ve uzantıları yoktur. Bu hücrelerin öncü hücreler olabileceği düşünülmektedir.^(16,25-27)

Menisküsün biyokimyasal özelliklerine bakıldığında, sağlıklı menisküs dokusunun %70-75'ini su, %20-22'sini kollajen, %0,6-0,8'ini glikozaminoglikanlar ve %0,10-0,12'sini deoksiribonükleik asit (DNA) oluşturur (27). Menisküsün yapısındaki kollajenin %90'ını tip I kollajen oluşturur. Daha az miktarda tip II, III, V ve VI kollajen de bulunmaktadır. Tip I ve II kollajenler menisküsün fibriller iskeletini oluştururlar. Tip III ve V kollajenlerin görevi tam olarak bilinmemektedir. Tip VI kollajense bir matriks glikoproteinidir. Kollajen iskeletin stabilizasyonu ve fibrokondrositlerin matrikse tutunmalarının devamlılığını sağlamakla görevlidir.⁽²⁵⁾

Kollajen liflerinin oryantasyonu, menisküsün mekanik özellikleri ve yırtılma şekilleriyle ilişkilidir. Menisküs kesitlerinin histolojik yapısı kollajenlerin dağılımı bakımından incelendiğinde menisküsün üç ayrı tabakadan oluştuğu gösterilmiştir. Menisküsün tibial ve femoral yüzlerinde yer alan yüzeyel tabaka yaklaşık olarak 30 nm çapında ince kollajen lif ağından oluşur. Bu ağısı tabakanın altında yine hem femoral hem de tibial yüzeyde lamellar tabaka bulunur. Lamellar tabakadaki kollajen lifleri ön ve arka boynuzların dış kısımlarında ınsal olarak dizilmişlerdir. İç kısımlardaysa lifler değişik açılarda kesişirler. Menisküsün asıl kısmını femoral ve tibial lamellar katmanlar arasında bulunan merkezi kısım oluşturur. Bu tabakada kollajen lifleri menisküsün tüm kısımlarında çevresel olarak dizilirler. Bu çevresel lifleri birbirine bağlayan az sayıda ınsal olarak dizilmiş kollajen lifi vardır.^(25,28)

Diz eklemi aksiyel yüklenmeye maruz kaldığında, menisküsler komprese olur ve eklem merkezinden dışa doğru itilirler. Bu da menisküslerin dış kısmında 'hoop' stresi olarak adlandırılan gerilmeye neden olur. Çevresel olarak yerleşmiş kollajen lifleri gerilmeye karşı çok dayanıklıdır; ancak ınsal lifler için aynı dayanıklılık söz konusu değildir. Bu durumun menisküsün longitudinal yırtıklarından sorumlu olduğu düşünülmektedir.^(25,28)

Menisküsün kollajen dışındaki organik kısmında yer alan proteoglikanlar, merkezi bir proteine bağlanmış bir ya da birkaç glikozaminoglikan (GAG) zincirinden oluşur. Menisküsün GAG içeriği eklem kırıkdağının sekizde biri kadardır (29). Menisküsün yapısındaki GAG'ların %40'ını kondroitin – 6 – sülfat, %20'sini kondroitin – 4 – sülfat, %20'sini dermatan sülfat, %15'ini keratan sülfat ve %3'ünü hyaluronat oluşturur.⁽²⁷⁾ GAG'lar negatif yüklü hidrofilik moleküllerdir. Bu özellikleri dokunun kompresif yüklenmelere karşı dayanıklı olmasını sağlar. Menisküsün yapısındaki kollajen ağı ve GAG'lar, poröz geçirgen solid bir matriks oluştururlar ve dokunun hidrostatik basıncının korunmasında önemlidirler. Yüklenme sırasında doku içine sıvı akışı olması ve solid matriksin deformasyonu menisküsün şoku abzorbe etmesini sağlar. GAG içeriğinin en yüksek olduğu menisküs bölgeleri, en fazla yüklenmeye maruz kalan bölgelerdir.^(6,19,25,27) Agrekan menisküsün yapısında bulunan başlıca proteoglikandır. Menisküsün viskoelastik kompresif özelliklerinden sorumludur. Dekorin, biglikan ve fibromodülin, menisküsün yapısında daha az miktarda bulunan diğer proteoglikanlardır.^(6,25,30)

Matriks glikoproteinleri adezyondan sorumludur; ekstraselüler matriks bileşenleriyle hücreler arasında bağlantı görevi görürler. Dokunun yapısal ve mekanik dayanıklılığına katkı sağlarlar. Tip VI kollajen, fibronektin, trombospondin menisküsün yapısında yer alan glikoproteinlerdir. Elastin, menisküsün matriksinde bulunan kollajen olmayan fibriler proteindir. Yüklenmeye bağlı deformasyondan sonra şeklin yeniden kazanılmasında rol oynar.^(6,16,19,20,25)

MENİSKÜSÜN BİYOMEKANİK VE İŞLEVSEL ÖZELLİKLERİ

Menisküsün biyomekanik özellikleri anatomik ve viskoelastik materyal özelliklerine bağlıdır. Menisküsler, bu özellikleri sayesinde diz eklemine birçok önemli işleve sahiptirler. Yük taşıma, şok abzorbsiyonu, eklem stabilitesine katkı sağlanması, eklem kayganlaştırılması ve propriyosepsiyon menisküslerin işlevleri arasında yer alır.^(1,25,31)

Distal femur ve proksimal tibia gibi birbiriyle uyumlu olmayan bir eklemden, eklem uyumlu hale getirilmesi ve yükün dağıtılması menisküsler sayesinde olur. Menisküsler sayesinde tibiofemoral temas yüzeyi genişler ve yüklenme sırasında temas stresi azalır. Menisküsler eklem hareketi sırasında tibia ve femurla birlikte hareket ettikleri için eklem uyumunu ve yükün dağıtılmasını sağlarlar. Bu dinamik uyum, yük taşınmasının yanı sıra eklem stabilitesine ve kayganlaşmaya da katkı sağlar.⁽³²⁾

Yüklenme sırasında lateral kompartmandaki yükün %70'i, medial kompartmandaki yükünse %50'si menisküsler tarafından iletilir. Menisküsler diz ekstansiyondayken yükün %50'sini, 90 derece fleksiyondayken %85'ini iletirler ve eklem kırıkdağını kompresif strese karşı korurlar. Menisküsler hem kompresif hem tensil hem de makaslama kuvvetlerine maruz kalırlar. Çevresel olarak yerleşmiş kollajen lifleri ve ön ile arka boynuzun tibiaya tutunma özellikleri sayesinde vertikal kompresif kuvvetler horizontal hoop stresine çevrilir; böylelikle menisküsler eklem dışına çıkmaktan korunur. Bu tensil özellikleri sayesinde menisküsler yük taşınması ve şok abzorbsiyonu işlevlerini yerine getirirler.^(16,32,33)

Diğer biyolojik dokularda olduğu gibi menisküslerde de yüklenmeye yanıt iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşama yüklenmeye mekanik ya da elastik yanıt aşamasıdır. Solid matriks ve doku içi sıvıların kompresyonuyla menisküsün hidrostatik basıncı artar.

İkinci aşama, sıvının dışarı çıkış aşamasıdır. Bu aşamada, matriksin içindeki sıvı zamana bağımlı olarak dışarı çıkar. Menisküste, biyomekanik anlamda ‘creep’ olarak adlandırılan yavaş bir şekil değişikliği gözlenir. Bu şekil değişikliği menisküs ve karşılık gelen yüzdeki eklem kıkırdığı arasındaki temas yüzeyini ve uyumu daha da artırır. Sıvının dışarı çıkışı menisküsün hidrostatik basıncını düşürür (stres rahatlaması). Sıvı akımı, uygulanan basınç, matriksin hidrostatik basıncı ve kollajen liflerindeki tensil kuvvetler arasında bir denge kurulana kadar devam eder.⁽²⁰⁾ Eklem kıkırdığına göre daha düşük kompresif sertliğe ve geçirgenliğe sahip olması şok absorpsiyonunda rolü olmasıyla ilişkilidir.⁽³¹⁾ Aksiyel yüklenme sırasında menisküs dokusundan eklem boşluğuna çıkan sıvının eklem kayganlaştırılmasıyla da ilişkisi olduğu düşünülmekte; fakat eklem kayganlaşmasının mekanizması kesin olarak bilinmemektedir. Menisküsler sinovyal sıvıyı kıkırdak yüzeylere doğru ittirerek ve eklem yüzeyinde oluşan sinovyal film tabakasını koruyarak kıkırdığın beslenmesine katkı sağlar.^(6,31,33)

Yüklenmede dizin fleksiyonuyla medial menisküsün ön boynuzunun ortalama 7,1 mm, arka boynuzunun 3,9 mm hareket ettiği ve ortalama 3,6 mm medio-lateral doğrultuda yer değiştirdiği gösterilmiştir. Aynı çalışmada lateral menisküsün ön boynuzu 9,5 mm, arka boynuzu 5,6 mm yer değiştirmiş ve mediolateral doğrultudaki yer değiştirme ise 3,7 mm olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar, lateral menisküsün medialden, ön boynuzların da arka boynuzlardan daha hareketli olduğunu göstermektedir. Dizin fleksiyonu sırasında menisküslerin hareketli olması eklem yapan yüzler arasındaki uyumu artırırken yaralanmalarını engeller.⁽³²⁾ Medial menisküsün özellikle posteromedial kısmının daha hareketsiz olması yırtıkların neden daha sık bu bölgede gözlemlendiğini açıklamaktadır.⁽³³⁾

Menisküsün bir kısmının ya da tamamının kaybı noktasal yüklenmeyi artırır; mekanik kuvvetlerin değişmesine bağlı olarak erken aşınma gözlenir. Kadavra dizlerinde yapılmış tibiofemoral temas mekanizmasının araştırıldığı bir çalışmada; menisküsü sağlam, %50, %75 ve total menisektomili dizlerde 0, 30 ve 60 derece fleksiyon açılarında, medial temas alanı ve medial tepe temas stresi değerleri ölçülmüştür. Sağlam menisküste en fazla medial temas alanı ekstansiyonda gözlenmiş ve artan diz fleksiyonuyla temas alanı azalmıştır. Sağlam menisküsle karşılaştırıldığında medial temas alanının, %50 menisektomili dizlerde %20, %75 menisektomili dizlerde %35, total menisektomili dizlerde %54 oranında azaldığı gösterilmiştir. Medial

tepe temas stresinin %50 menisektomili dizlerde %43, %75 menisektomili dizlerde %95, total menisektomili dizlerde %136 oranında arttığı saptanmıştır.⁽³⁴⁾ Yırtığın tipi de önemlidir. Menisküsün dış kısmına uzanan radyal yırtıklarda hacimde önemli bir değişiklik olmaz; fakat hoop streslerine dayanabilme yeteneği etkilenir. Bu da menisküsün işlevini yerine getirmesini önemli ölçüde etkiler.⁽³³⁾

Menisküsün bir diğer önemli işlevi de eklem stabilitesine katkı sağlamasıdır. Kama şeklinde olan medial menisküs, medial femoral kondilin tibial plato üzerinde arkaya doğru yer değiştirmesini sınırlandırır. Normal bir dizde bu durumun stabiliteye katkısı sınırlıdır; ancak özellikle ön çapraz bağ yetmezliği olan dizlerde medial menisküsün eklem stabilitesine önemli katkısı vardır. Tibianın öne doğru yer değiştirmesini kısıtlayarak dizin bu düzlemde ikincil stabilizatörü olarak görev yapar.^(7,25,31,33)

Menisküsler yapısında bulunan mekanoreseptörler aracılığıyla, eklem pozisyon duyusuyla ilgili olarak propriyoseptif geri bildirim sağlarlar. Menisküslerin dizin stabilitesine sağladıkları mekanik katkının yanı sıra propriyoseptif refleks arkı sayesinde işlevsel katkıları da vardır.^(4,25,31)

MENİSKÜS YARALANMALARININ PATOFİZYOLOJİSİ

Genç hastalarda ortaya çıkan menisküs yırtıkları genellikle spor yaralanmalarıyla ilişkilidir. Bu hastalarda menisküs yırtığının oluş mekanizması genellikle yük taşıyan ekstremitelere diz fleksiyondayken rotasyonel bir tork uygulanmasıdır. Bu hasta grubunda menisküs yırtığına sıklıkla ön çapraz bağ rüptürü ya da osteokondral yaralanmalar da eşlik etmektedir.^(7,8)

Meniskal dokunun yaşlanmasıyla dejeneratif yırtıklar daha sıklıkla görülür. Dejenere menisküs dokusunun su içeriği artmış; hücre sayısı, kollajen ve GAG içeriği ise azalmıştır. Musinöz tipte dejenerasyon görünür. Dejenere menisküs dokusunun elastisitesi azalmış, gevrekliği ise artmıştır. Bu da menisküsü yırtılmaya yatkın hale getirir. Dejenere menisküs minör travmalarla bile yırtılabilir.^(8,27)

Menisküs yırtıkları yırtığın derinliğine göre, kısmi ya da tam kat yırtıklar olarak sınıflanmaktadır. Tam kat yırtıklar da yine kendi içinde stabil ve stabil olmayan yırtıklar olarak ikiye ayrılır. Menisküs yırtıkları ayrıca yırtığın tipine göre de sınıflandırılır: vertikal/longitudinal, oblik, radyal/transvers ve horizontal/

kompleks yırtıklar. Posteromedial kompartmanın radyal yırtıkları en sık görülen yırtıklardır. Akut ön çapraz bağ yaralanmalarına ise sıklıkla lateral menisküsün vertikal longitudinal yırtıkları eşlik eder. Dejeneratif kompleks yırtıklar genellikle arka boynuzda görülür.⁽¹⁶⁾

MENİSKÜSÜN İYİLEŞMESİ

Menisküsün iyileşme kapasitesi sınırlıdır. Menisküs dokusu kanlanmasına göre sınıflandırıldığında kırmızı – kırmızı bölgede, yani kanlanma açısından avantajlı dış kısımda ortaya çıkan yırtıkların iyileşme potansiyeli en yüksektir. Kırmızı – beyaz bölgenin yırtıkları da iyileşme açısından nispeten iyi prognostudur. Beyaz – beyaz bölgedeki yırtıklar ise avasküler bölgenin yırtıklarıdır. Bu bölgedeki yırtıkların kendi kendilerine iyileşmeleri beklenmez; onarıldıklarında bile iyileşmeleri yetersiz kalabilmektedir.^(8,16)

Vücuttaki diğer dokuların iyileşmesinde olduğu gibi menisküslerin iyileşmesinde de enflamatuvar hücrelerin ve mediatörlerin yaralanma bölgesine ulaşabilmesi gerekmektedir. Menisküsün iyi kanlanan dış kısmındaki yaralanmalarda enflamatuvar hücrelerden zengin bir fibrin pıhtı oluşur. İyileşmenin ilk aşaması budur. Bu pıhtı, matriks oluşumu için bir iskelet oluşturur ve yara iyileşmesinde rol alan diğer mediatörler için kemotaktik uyaran görevi görür Perimeniskal kapiller pleksustan çıkan damarlar fibrin pıhtının içine doğru proliferer olur. Eş zamanlı olarak andiferansiye mezenkimal hücrelerin proliferasyonu gerçekleşir. Lezyon, yara dudaklarını bir arada tutan, komşu menisküs dokusuyla devamlılık gösteren fibrovasküler bir skar dokusuyla dolar. Zamanla bu doku normal fibrokırdak görünümüne ulaşır (5 ve 15). Ancak bu iyileşme dokusunun dayanıklılığı sağlıklı menisküs dokusununki kadar olmaz (33).

Kanlanma ne kadar fazlaysa iyileşmenin de o kadar iyi olacağının anlaşılmasından sonra menisküsün avasküler bölgesindeki yırtıkların tedavisi için bu bölgenin kanlanmasını arttırmak üzere çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Avasküler olan iç kısımla vasküler olan dış kısmı bağlayan kanalları açılması, sinovyal abrazyon, pediküllü sinovyal greftler, menisküsün raspanması, ekzojen fibrin pıhtısı bu yöntemler arasındadır (19). Günümüzde hücrelerin mitojenik davranışlarını ve diferansiyasyonlarını kontrol eden, sinyal molekülleri olarak görev yapan büyüme faktörlerinin ve sitokinlerin, menisküsün iyileşmesini ve rejenerasyonunu arttırmak için kullanılabilmesi için

çalışmalar yapılmaktadır. Fakat seçilmiş olan faktörün hedef dokuya yeterli konsantrasyonda ulaştırılabilmesi halen zorluğunu korumaktadır.⁽³¹⁾

MENİSKÜS YIRTIKLARININ TEDAVİSİ

Menisküs yırtığının yerinin, tipinin ve uzunluğunun artroskopik olarak değerlendirilmesi tedaviye karar verilmesinde önemlidir. Menisküse herhangi bir müdahale yapılmadan önce, alt ve üst yüzeyleri artroskopik olarak iyice değerlendirilmelidir. Tam kat olmayan kısmi yırtıklar ya da sekiz milimetreden kısa tam kat yırtıklar, nadiren mekanik bulgulara yol açarlar ve kendiliğinden iyileşme potansiyelleri yüksektir. Böyle bir stabil yırtığın var olması kısmi menisektomi endikasyonu oluşturmaz; bu yırtıklar konservatif olarak tedavi edilmelidir.⁽³³⁾

Bundan 25–30 yıl öncesine kadar menisküs yırtıklarının tedavisinde açık total menisektomi sıklıkla uygulanmaktaydı. Total menisektominin uzun dönemde osteoartrit riskini 14 kat arttırdığı gösterilmiştir.⁽³⁵⁾ İnsan dizlerinde seri menisektomiler sonrası tibiofemoral temas mekaniğinin araştırıldığı bir kadavra çalışmasında, segmental menisektomi uygulanmış dizlerde saptanan temas alanındaki azalma ve tepe temas basıncındaki artma total menisektomi uygulanmış dizlerdeki benzer bulunmuştur. Bunun nedeni segmental menisektomi uygulanmış dizlerde menisküsün çevresel kısmının bütünlüğü bozulmuş olmasından dolayı hoop streslerinin iletiminin etkilenmesidir. Bu çalışmanın sonuçları, çevresel yerleşimli kollajen liflerinin korunmasının önemine işaret etmektedir.⁽³⁴⁾ Bugün menisküs yırtıklarının tedavisinde menisküs dokusunun mümkün olduğunca korunması gerektiğinin önemi anlaşılmıştır. Bu girişimlerin artroskopik olarak yapılması ise, açık cerrahiye oranla hastanede kalış süresini önemli derecede kısalttığı, işe ve spora daha erken dönüş sağladığı için tercih edilmektedir.⁽³⁶⁾

Bugün menisküs yırtıklarının tedavisinde en sık uygulanan tedavi artroskopik kısmi menisektomidir. Bu tedavi, yırtık menisküsten kaynaklanan mekanik bulguların ortadan kaldırılmasında etkindir. Arka boynuz yırtıklarının tedavisinde uygulanan kısmi menisektomi, ön boynuz yırtıkları ya da kova sapı yırtıkları için uygulanan kısmi menisektomiye göre daha kötü klinik sonuç verir. Meniskokapsüler bölge korunmadan yapılan kısmi menisektominin sonucu ise total menisektomi gibidir. Bu nedenle menisküs yırtıklarının tedavisinde meniskokapsüler bölgenin korunması oldukça önemlidir.^(25,37,38)

Menisküs yırtıklarının onarımı

Tibiofemoral eklem çizgisinde ağrı ve mekanik yakınmaları olan ve menisküs yırtığı tanısı alan, 50 yaşın altındaki (ya da 50'li yaşlardaysa atletik olan) hastalar menisküs onarımı yönünden değerlendirilmelidir. Bir menisküs yırtığının onarılabilmesi için öncelikle bu yırtığın fiziksel veya biyolojik olarak onarılabilir olması gerekmektedir. Artroskopi sırasında yırtığın yeri, tipi ve uzunluğu gibi özelliklerine göre yırtık sınıflandırılmalıdır. Lezyon redükte edilebilmeli; redüksiyon korunabilmelidir. Bu sınıflamaya ve diğer menisküs dokusunun sağlıklı olup olmadığına göre yırtığın onarılabilir olup olmadığına karar verilir. Kırmızı – kırmızı bölgedeki tek periferik longitudinal yırtıklar her durumda onarılabilir kabul edilir ve başarı oranı yüksektir. Beyaz – beyaz bölgenin yırtıkları, kronik dejeneratif yırtıklar, 10 mm'den kısa longitudinal yırtıklar, dış üçte birlik kısma uzanmayan tam olmayan radyal yırtıklar onarılmaz. Ön çapraz bağı kopuk olan anstabil bir dizde dizin stabilizasyonu sağlanmadan tek başına menisküs onarımı yapılmamalıdır. Ekstremitede eşlik eden dizilim kusuru varsa, eş zamanlı olarak yüksek tibial osteotomi planlanmalıdır. Postoperatif rehabilitasyon programına katılmaya hevesli olmayan ya da uyumsuz olacak hastalarda menisküs onarımı uygun bir seçenek değildir.⁽³⁹⁾

Akut yırtıklar onarılmaya daha uygundur. Bir çalışmada menisküs onarımının yaralanmadan sonraki üç ay içinde yapılmasıyla %91, üçüncü aydan sonra yapılmasıyla %58 başarı oranları elde edildiği bildirilmiştir.⁽⁴⁰⁾

Menisküs onarım teknikleri

Menisküs onarım teknikleri yıllar içinde gelişmiş, açık onarımlar yerini artroskopi yardımcı girişimlere bırakmıştır. Arka boynuzun yeterince görüntülenmediği çok sıkı dizlerde ya da çoklu bağ yaralanması olan bir dizde bağ onarımı sırasında zaten açık görüş sağlandıysa açık menisküs onarımı yapılabilir. Menisküs yırtıklarını onarmak için birkaç teknik aynı anda kullanılabilir. Onarıma geçmeden önce her zaman çevre doku ve yırtığın kenarları temizlenip tazelenmelidir.⁽³³⁾

Artroskopi yardımcı menisküs onarım teknikleri içten dışa, dıştan içe ve tümü içerde olmak üzere üç çeşittir. İçten dışa menisküs onarım tekniğinde dikişler kanül sistemleri kullanılarak dizin içinden konur ve posteriordan yapılan küçük bir insizyonla eklem kapsülüne ulaşılır. Dikişler kapsül üzerinde düğümlenir.

Değişik açılı kanül sistemleri, iğnelerin çeşitli açılarda yırtığın farklı yerlerine ulaşmalarını sağlar. Bu işlem için anterior portaller kullanılır. Arka boynuz yırtıklarının onarımında diğer tekniklere göre avantajları vardır. Posterior insizyondan yerleştirilen bir retraktörle damar ve sinir yapıları korunur.^(33,41)

Dıştan içe menisküs onarım tekniğinde artroskopiyle görüntülenerek spinal iğneler eklem dışından içine doğru geçirilir. Dikiş materyali spinal iğneden geçirilir, ikinci bir spinal iğne yardımıyla eklem dışına alınır ve eklem dışı kapsül üzerinde düğümlenir. Bu teknik, özellikle ön boynuz yırtıklarının onarımı için uygundur.⁽⁴¹⁾

Tümü içerde onarım tekniğinde menisküs fragmanlarının iyileşme süresince bir arada tutulmasını sağlayacak çapa, vida, ok gibi çeşitli materyaller kullanılır. Cerrahi girişim süresinin kısalması, ek insizyon gereğinin olmaması gibi nedenlerle diğer onarım tekniklerine kıyasla daha cazip görünmektedir. Ancak bu teknikte kullanılan materyallerin eklem kıkırdığına zarar vermek gibi sorunlara yol açabildiği ve diğer onarım tekniklerine oranla biyomekanik açıdan daha zayıf olduğu bildirilmiştir.^(25,33,41)

Dikiş teknikleri arasında çevresel dizilmiş çok sayıda kollajen lifini yakalayabildiğinden, vertikal matris dikiş horizontal dikişe kıyasla daha üstün bir tespit sağlar.^(25,42)

MENİSKAL REPLASMAN CERRAHİSİ

Bazı hastaların yırtık menisküslerinin onarılması ya da kısmi menisektomi ile önemli miktarda menisküs dokusunu kaybetmeleri kaçınılmazdır. Menisküsünü kaybetmiş hastalarda aynı kompartmanda ağrı yakınması ortaya çıkmışsa bu durum erken dönemde dejenerasyonun başladığına işaret edebilir. Bu hastalar menisküs replasman cerrahisi için adaydırlar. Menisküsün replasmanı, meniskal allogreftlerin transplantasyonu ya da sentetik meniskal iskeletlerin ('scaffold') implantasyonu ile sağlanabilir.⁽⁸⁾

MENİSKAL ALLOGREFT TRANSPLANTASYONU

Meniskal allogreft transplantasyonunda (MAT) amaç kıkırdak dejenerasyonunu önleyerek ya da bu süreci yavaşlatarak doğal menisküsün yük taşıma özelliklerinin yeniden yaratılmasıdır; ancak MAT ile bu hedefe ulaşıp ulaşılamadığı henüz bilinmemektedir.

MAT'ın uygun hasta grubunda ağrının azalmasına, dizin işlevsel anlamda iyileşmesine yol açtığı ve hasta memnuniyetiyle sonuçlandığı gösterilmiştir.⁽⁴³⁾

MAT için uygun adaylar, daha önceden menisektomi geçirmiş ya da onarılamayacak bir menisküs yırtığı olan fakat ileri derece osteoartriti olmayan 50 yaşın altındaki hastalardır. Eklem kıkırdığının durumu fleksiyonda yüklenmede çekilen arkadan-öne grafi-lerle değerlendirilir. Subkondral kemik doku görünür olmamalıdır. Eklem aralığı iki milimetreden fazla daralmış olmamalıdır. Yük taşıyan eklem yüzeylerinde en ve boy olarak 10 – 15 mm'den büyük tam kat kıkırdak lezyonları olmamalıdır. Eklem stabil olmalı, dizilim kusuru olmamalıdır. Kıkırdak lezyonu varsa eş zamanlı otolog kondrosit transplantasyonu ya da otolog osteokondral doku transferi uygulanabilir. Diz eklemi stabil değilse, menisküs transplantasyonu yapılmadan önce uygun ligaman rekonstrüksiyonuyla eklem stabil hale getirilmelidir. Menisküs transplantasyonu ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu ile eş zamanlı olarak yapılabilir. Varus ya da valgus dizilimi transplantasyon öncesinde düzeltilmelidir. Dizin mekanik eksen menisküs defekti olan kompartmandan geçmemelidir; izole medial menisküs transplantasyonu varus dize uygulanmamalıdır.^(25,39,44)

MAT, teknik olarak iki şekilde yapılabilir. Açık ya da artroskopik olarak kalıntı halinde bulunan menisküs dokusuna meniskal allogreftin dış kenarı dikilebilir ya da meniskal allogreft kendisine bağlı kemik bloklarla birlikte menisküsün ön ve arka boynuzlarının yapışma yerinde açılan tünellere sokulup dış kenarı yine menisküs kalıntısına dikilebilir. İkinci yöntem teknik olarak daha zordur ve bu teknikte alıcı – verici arasında greft boyunun uyumu daha önemlidir; fakat biyomekanik olarak bu teknik daha üstündür.⁽⁷⁾

Transplantasyonun başarısı dokunun saklanması, alıcının ve vericinin immünolojik uygunluğu, transplantın uzun süre biyolojik ve biyomekanik anlamda bütünlüğünü korumasına bağlıdır. Meniskal allogreftler taze, kriyopreserve, taze donmuş veya liyofilize olabilirler. Taze ve kriyopreserve allogreftler transplantasyon sırasında canlı hücre içerirler, fakat taze donmuş ve liyofilize greftler canlı hücre içermezler. Taze donmuş meniskal allogreftler histolojik olarak incelendiğinde normal meniskal dokudaki gibi fibrokondrositler ve fibroblastlar gözlenir; fakat bu hücreler hızlı dondurma süreci sonunda canlılıklarını yitmişlerdir. Taze greftlerin temin edildikten sonra birkaç gün içinde transplante edilmesi gerekmektedir. Taze ve kriyopreserve allogreftlerde

hücrelerin ne kadar süre canlılığını koruduğu bilinmemektedir. Taze greftlerde hastalık bulaşma riski mevcuttur. Kriyopreservasyon işlemi allogreft dokusu gliserol içinde dondurulur; böylelikle hücre zarının bütünlüğü ve hücrelerin canlılığı korunmuş olur. Transplantasyon öncesinde allogreft yavaş yavaş çözünmeye bırakılır. Kriyopreserve allogreftlerin saklanma süresi daha uzundur ve serolojik testlerin yapılabilmesi için yeterli zaman vardır; fakat allogreftlerin bu şekilde hazırlanması teknik olarak daha zor ve pahalıdır. Liyofilize allogreftler vakum dehidrasyonu sonrasında dondurularak hazırlanırlar. Transplantasyon öncesinde greft çözünmeye bırakılır ve *rehidre* edilir. Transplante edildikten sonra bu greft alıcının fibrokondrositlerinin yerleşmesi için iskelet görevi görür. Bu allogreftler oda sıcaklığında uzun süre saklanabilirler. Hastalık taşıma riskleri vardır. Liyofilize allogreftlerle yapılan transplantasyonlarda kıkırdak dejenerasyonu, sinovit gibi istenmeyen sonuçlarla karşılaşmış; ayrıca greftte küçülme saptanmıştır. Günümüz saklama koşulları göz önünde bulundurulduğunda teknik olarak basit ve ucuz olduğu için, taze donmuş meniskal allogreftlerin kullanılması önerilmektedir. Gama ışınlaması ya da etilen oksitle ikincil bir sterilizasyon yapılması önerilmemektedir. Çünkü gama ışınlamasıyla doza bağlı olarak menisküsün materyal özellikleri bozulabilir. Etilen oksit sterilizasyonu sırasında açığa çıkan yan ürünler sinovite yol açabilir.^(19,25,31,44,45)

Donmuş kemik dokusunun immün yanıtı uyardığı bilinmektedir. Transplante edilen menisküs dokusunun kemik blokları antijenik uyarıyı arttırabilir. Meniskal allogreftler potansiyel olarak immünojenik kabul edilirler. İki adet dondurma – eritme döngüsüne maruz bırakılmış menisküs dokusunda hücrelerin sınıf I ve II majör histokompatibilite (MHC) antijenleri taşıdığı gösterilmiştir. Transplantta bu MHC antijenlerinin varlığı dokunun immün yanıt potansiyeli taşıdığına işaret eder. Alıcıda oluşacak bir immün yanıt MAT'ın sonucunu etkileyebilir. MAT sonrası gözlenen sinovit, inatçı efüzyon, gecikmiş iyileşme, allogreftin ya da komşu eklem kıkırdığının dejenerasyonu immün yanıtla ilişkili olabilir.⁽⁴⁵⁾

Transplantasyon sonrası alınan doku örneklerinin histolojik incelemesi allogreftte ve komşu sinovyal dokuda sinovyal doku kökenli hücrelerin *repopüle* olduğunu göstermiştir. Bu hücrelerin fenotipik olarak normal menisküs fibrokondrositlerinden bazı farklılıkları vardır. Repopüle hücreler ekstraselüler matriksi remodele ederler. Hücre *repopülasyonu*yla

birlikte ekstraselüler matriks remodelasyonu menisküsü yaralanmaya açık hale getirir. Klinik sonuç üzerine doğrudan bir etkisi olmamakla birlikte meniskal allogreftte karşı subklinik bir immün yanıt oluşmaktadır. Rejeksiyon boyutunda bir yanıt gözlenmemiştir. Bu nedenle postoperatif immünoşüpresyon gerekli değildir.⁽⁴⁵⁾

Transplantasyonun başarısında cerrahi teknik ve greft boyunun alıcıyla uygunluğu önem taşır. Ön ve arka boynuz tespit yerleri menisküsün *hoop* streslerini iletebilmesini etkiler. Uygun yere güvenli bir şekilde tespit edilmesinin yükün taşınmasında önemi vardır. Transplantın tespitine bağlı olarak morfolojisi bozulursa, bundan menisküsün biyomekanik işlevleri etkilenir. MAT'ta greft ve alıcı arasında greftin boyu açısından eşleşme yapılmalıdır. Allogreft boyunun eşleşmiş olması, femoral kondille uyumlu olacağı anlamına gelir. Bu uyum *hoop* streslerinin gelişebilmesi ve menisküsün işlevsel olabilmesi için gereklidir. Greft boyunun nasıl ölçülmesi gerektiği konusunda bir standart bulunmamakla birlikte ölçüm alıcının diz grafileri üzerinde yapılmaktadır. Olması gerektiğinden daha küçük bir meniskal allogreft kullanılırsa aşırı yüke maruz kalır. Eğer büyük allogreft kullanılırsa kompartman dışına taşar; kompresif yüklerin iletilmesi bozulur.⁽⁴⁴⁾

SENTETİK MENİSKAL İSKELETLER ('SCAFFOLD')

Total ya da totale yakın menisektomi uygulanmış hastalar için, meniskal allogreft transplantasyonu uygun bir seçenek olabilir; fakat menisküsü kısmi olarak çıkarılmış hastalar için uygun değildir. Kısmi menisektomi yapılmış bir dizde menisküsün çevresel kısmı sağlamasa; ön ve arka boynuzlarda tutunmayı sağlayacak kadar yeterli doku varsa sentetik meniskal iskeletlerin implantasyonu yapılacak bir rekonstrüktif girişim uygun olabilir. Eksik olan menisküs dokusundan ortaya çıkan boşluğu dolduracak şekilde sentetik meniskal implant dikilir. MAT ile karşılaştırıldığında, sentetik implant kullanılması hastalık bulaşma riskini ortadan kaldırır. İmplant ameliyat sırasında kesilip şekillendirilebileceği için boy uyumu sorunu da olmaz. Uygun boyda allogreft beklemeye gerek kalmaz.^(8,46)

Günümüzde segmental menisküs defektlerinin rekonstrüksiyonunda kullanılabilen iki adet sentetik meniskal iskelet seçeneği vardır: Menaflex kollajen meniskal iskelet (ReGen Biologics Inc., Hackensack, New Jersey, ABD) ve Actifit (Orteq, Londra, İngiltere).

Menaflex, sıgır Aşil tendonundan elde edilmiş ve içinde hücrelerin büyümesini kolaylaştırmak için lifleri glikozaminoglikanlarla zenginleştirilmiş tip I kollajenden üretilmiştir. Bu kollajenlere uygun ısı ve basınçta menisküs şekli verilmiştir. Actifit ise, poröz, biodegradabl, poliüretan bir iskelettir. Yeni menisküs dokusunun içinde gelişmesine izin verir. Sağlam ve sert bir polimer olup avantajlı aşınma özelliklerine sahiptir. Yaklaşık beş yıl içinde yavaş yavaş degrade olur ve hidrolizle toksik olmayan bileşenlere ayrışır. Bu bileşenler de güvenli vücut dışına atılır ya da doğal dokunun içine katılır.^(8,46)

Menaflex'e göre Actifit ile ilgili deneyim daha az olmakla birlikte; bu implantlarla yapılmış çalışmalarda, iskeletlerin içlerinde menisküs benzeri dokunun geliştiği, hastaların yakınmalarında gerileme ve aktivite düzeylerinde artış olduğu gösterilmiştir. Kondral yıkımın azalması ve osteoartrit gelişiminin engellenmesi gibi etkileri uzun dönemli çalışmalar sonucunda anlaşılacaktır.^(8,46)

DOKU MÜHENDİSLİĞİ

Menisküs replasmanı ile ilgili sorunlar için doku mühendisliği yöntemleri kullanılarak yeni çözümler üretilebileceği düşünülmektedir. Menisküsün bölgesel olarak değişiklik gösteren anatomisi, matriks molekülleri ve hücreleri göz önünde bulundurulduğunda doku mühendisliği yöntemleriyle üretmek için oldukça karmaşık bir dokudur. Menisküs hücrelerinin morfolojisi ve büyüme faktörlerine verdikleri yanıtlar hakkında bilgi arttıkça menisküs dokusunun üretilmesi konusunda ilerlemeler kaydedilmektedir.⁽¹¹⁾

Potansiyel olarak menisküs dokusunun yerine geçebilecek pek çok doğal ve sentetik materyal üzerinde çalışma yapılmış; fakat henüz her açıdan tatmin edici sonuç veren bir materyal bulunamamıştır. İdeal menisküs iskeleti, hücre büyümesini uyaran ve büyümenin olabileceği bir ortam sağlayan geçici destekleyici bir araç olmalıdır. Uygun biyomekanik özelliklere sahip olmalı, yıkım ürünleri biyouyumlu olmalıdır. Yıkım hızı, yeni matriksin sentezlenip, işlevsel bir dokunun gelişmesine izin vermelidir.^(16,47)

Doku mühendisliği ile menisküs üretilmesi için kullanılan iskeletler dört ana gruba ayrılır: sentetik polimerler, hidrojel, ekstraselüler matriks bileşenleri ve dokudan elde edilen materyaller. Sentetik polimerler, normalde vücutta olmayan materyallerdir; en azından polimer olarak bulunmazlar. Poliüretan, polikaprolakton, polilaktik asit, poliglikolik asit,

polilaktik koglolikolik asit bu amaçla kullanılan polimerlerdir. Hidrojeller, fazla miktarda su tutabilen hidrofilik kolloidlerdir. Poli N-izopropil akrilamid gibi sentetik ya da aljinat gibi doğal olabilirler. Ekstraselüler matriks bileşeni iskeletler esasen kolla- jen ya da hyaluronan gibi doğal matriksin bol miktar- da bulunan bir bileşeninden oluşturulan materyaller- dir. Bu iskeletler sentetik polimerlere ve hidrojellere göre daha biomimetiktir. Dokudan elde edilen ma- teryaller ince bağırsak submukozası, deselülerize eks- traselüler matriks dokusu ya da ipek gibi işleme tabi tutulmuş dokulardır.⁽¹⁶⁾

İmplantın içinde hücre büyümesini sağlamak ve primer biyomekanik stabiliteyi iyileştirmek için iske- letler hücrelerle birlikte kullanılabilir. Böylelikle ya- şayan, biyoaktif bir kompozit elde edilmiş olur. Olası hücre kaynağı olarak menisküs dokusu kaynaklı fib- rokondrositler, vücuttaki diğer kırık dokulardan alınan kondrositler, dermal fibroblastlar ya da sinov- yal hücreler kullanılabilir.⁽⁴⁷⁾

Hücrelerin istenen özelliklerini kaybetmelerini en- gellemek ve istenen fenotipe diferansiye olmaları için hücreleri uyarmak amacıyla çeşitli büyüme faktörle- ri kullanılmaktadır. İnsülin benzeri büyüme faktörü (IGF), kemik morfogenetik proteini 2 (BMP-2), trom- bosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), *transforming* büyüme faktörü β (TGF- β) vb. üzerinde çalışmalar yapılmıştır.⁽⁴⁷⁾

Biyoreaktör teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde iskeletsiz ('scaffold free') yapılar oluşturulabilmek- te ve bunlara büyüme faktörleri eklenebilmektedir. Böylelikle kırık dokulardan geometrik, biyome- kanik ve biyokimyasal olarak menisküsün hücrelerine benzeyen hücreler yaratılması mümkün hale gelmiş- tir. İskeletsiz yaklaşım doku mühendisliğine uygu- landığında menisküs benzeri bir geometri ve matriks birikimi elde etmek olasıdır. Bu yapılar, doğal menis- küs dokusuna benzer şekilde, fiziksel ve biyomekanik özellikleri bakımından heterojendirler. Bununla bir- likte biyomekanik açıdan doğal menisküs dokusu ha- len üstünlüğünü korumaktadır. Gelecekte optimum koşullara yaklaşıldığında *in vitro* ortamda, biyome- kanik ve biyokimyasal olarak doğal menisküsü taklit edebilecek dokuların yaratılmasının mümkün olacağı düşünülmektedir.⁽¹¹⁾

RADYOLOJİK GÖRÜNTÜLEME

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), menisküsle- rin değerlendirilmesi, meniskal patolojilerin tanısında

ve izleminde tanısal amaçlı kullanılmaktadır. Sağlıklı menisküs MRG kesitlerinde uniform, düşük sinyalli (koyu renk), üçgen şekilli yapılar olarak görüntülenir. Menisküs yırtığı için tanı kriteri daha önceden menis- küs ameliyatı geçirmemiş bir dizde en az bir kesitte me- niskal eklem yüzüne ulaşan artmış sinyal değişikliği ya da anormal menisküs morfolojisinin izlenmesidir. MRG menisküs yırtıklarının tanınmasında yüksek du- yarlılığa ve özgüllüğe sahiptir.^(6,48) Yaşla birlikte menis- küsün yapısında ortaya çıkan değişiklikler MRG kesit- lerinde menisküs içi sinyal değişikliği olarak gözlenip yırtık olarak yorumlanabilmektedir. Bu nedenle MRG bulguları değerlendirilirken hastanın yakınmaları ve klinik bulguları göz önünde bulundurulmalıdır.⁽⁴⁹⁾

Menisküsün postoperatif görüntülenmesi karma- şıktır. Menisküs onarımının ya da kısmi rezeksiyonu- nun yapıldığı alandaki yeni bir yırtığın tanısında kla- sik tanı kriterini uygulamak çok mümkün olamamak- tadır. Onarılmış ya da iyileşen menisküs dokusunda granülasyon dokusuna bağlı menisküs yüzeyine ula- şan T1 ağırlıklı ya da proton yoğunluklu anormal siny- al değişiklikleri ortaya çıkabilmektedir ve bu değişik- likler yıllarca kalabilir. Eklem içinde sıvı varsa, menis- küsteki yırtığın da içine girebileceğinden T2 ağırlıklı kesitlerde sinyal artışı izlenerek yeni bir yırtığın tanısı konabilir. Direkt ya da indirekt MR artrografi ile me- nisküse yönelik operasyon geçirmiş dizlerde rezidü ya da rekürren yırtığın tanısı konabilir. Ancak MR art- rografi invazif bir yöntemdir. Frekans seçici yağ bas- kılama teknikleri kullanılarak yırtıkla onarılmış doku ayırt edilebilmektedir. Bu da invazif yöntemlere olan gereksinimi azaltmıştır.^(25,49)

KAYNAKLAR

1. Seedhom BB, Dowson D, Wright V. Proceedings: functions of the menisci. A preliminary study. Ann Rheum Dis 1974;33(1):111.
2. Macconail MA. The movements of bones and joints; the synovial fluid and its assistants. J Bone Joint Surg Br 1950;32-B(2):244-52.
3. Markolf KL, Mensch JS, Amstutz HC. Stiffness and laxity of the knee –the contributions of the supporting structures. A quantitative in vitro study. J Bone Joint Surg Am 1976;58(5):583-94.
4. Gray JC. Neural and vascular anatomy of the menisci of the human knee. J Orthop Sports Phys Ther 1999;29(1):23-30.
5. DeHaven KE, Arnoczky SP. Meniscal repair Part I: basic science, indications for repair, and open repair. J Bone Joint Surg Am 1994;76:140-52.
6. Fox AJ, Bedi A, Rodeo SA. The basic science of human knee menisci: structure, composition, and function. Sports Health 2012;4(4):340-51.
7. Getgood A, Robertson A. Mini-symposium: soft tissue surgery in the knee (v) meniscal tears, repairs and replacement – a current concepts review. Orthopedics and Trauma 2010;24(2):121-8.

8. McDermott. Meniscal tears, repairs and replacement: their relevance to osteoarthritis of the knee. *Br J Sports Med* 2011;45(4):292-7.
9. Gardner E, O'Rahilly R. The early development of the knee joint in staged human embryos. *J Anat* 1968;102:289-99.
10. Clark CR, Ogden JA. Development of the menisci of the human knee joint. Morphological changes and their potential role in childhood meniscal injury. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65(4):538-47.
11. Sanchez-Adams J, Athanasiou KA. The knee meniscus: a complex tissue of diverse cells. *Cell Mol Bioeng* 2009;2:332-40.
12. O'Reilly MS, Boehm T, Shing Y, Fukai N, Vasios G, Lane WS, Flynn E, Birkhead JR, Olsen BR, Folkman J. Endostatin: an endogenous inhibitor of angiogenesis and tumor growth. *Cell* 1997;88(2):277-85.
13. Heller L, Langman J. The menisco-femoral ligaments of the human knee. *J Bone Joint Surg Br* 1964;46:307-13.
14. Gupta CM, Smith A, McDermott ID, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. Meniscomfemoral ligaments revisited. Anatomical study, age correlation and clinical implications. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84(6):846-51.
15. Rath E, Richmond JC. The menisci: basic science and advances in treatment. *Br J Sports Med* 2000;34(4):252-7.
16. Makris EA, Hadidi P, Athanasiou KA. The knee meniscus: structure-function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. *Biomaterials* 2011;32(30):7411-31.
17. Day B, Mackenzie WG, Shim SS, Leung G. The vascular and nerve supply of the human meniscus. *Arthroscopy* 1985;1(1):58-62.
18. Petersen W, Tillmann B. Age-related blood and lymph supply of the knee menisci. A cadaver study. *Acta Orthop Scand* 1995;66(4):308-12.
19. Brindle T, Nyland J, Johnson DL. The meniscus: review of basic principles with application to surgery and rehabilitation. *J Athl Train* 2001;36(2):160-9.
20. Aagaard H, Verdonk R. Function of the normal meniscus and consequences of meniscal resection. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9(3):134-40.
21. Bird MD, Sweet MB. A system of canals in semilunar menisci. *Ann Rheum Dis* 1987;46(9):670-3.
22. Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat* 1967;101:505-32.
23. Mine T, Kimura M, Sakka A, Kawai S. Innervation of nociceptors in the menisci of the knee joint: an immunohistochemical study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2000;120(3-4):201-4.
24. Jerosch J, Prymka M, Castro WH. Proprioception of knee joints with a lesion of the medial meniscus. *Acta Orthop Belg* 1996;62(1):41-5.
25. Rodeo SA, Kawamura S. Form and function of the meniscus. In: Einhorn TA, O'Keefe RJ, Buckwalter JA eds. *Orthopedic Basic Science*. 3rd ed. Rosemont, IL, USA: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2007. p.175-89.
26. Hellio Le Graverand MP, Ou Y, Schield-Yee T, Barclay L, Hart D, Natsume T, Rattner JB. The cells of the rabbit meniscus: their arrangement, interrelationship, morphological variations and cytoarchitecture. *J Anat* 2001;198:525-35.
27. Herwig J, Egner E, Buddecke E. Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration. *Ann Rheum Dis* 1984;43(4):635-40.
28. Petersen W, Tillmann B. Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anat Embryol (Berl)* 1998;197(4):317-24.
29. Adams ME, Muir H. The glycosaminoglycans of canine menisci. *Biochem J* 1981;197(2):385-9.
30. Scott PG, Nakano T, Dodd CM. Isolation and characterization of small proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus. *Biochim Biophys Acta* 1997;1336(2):254-62.
31. Kawamura S, Lotito K, Rodeo SA. Biomechanics and healing response of the meniscus. *Oper Tech Sports Med* 2003;11(2):68-76.
32. Vedi V, Williams A, Tennant SJ, Spouse E, Hunt DM, Gedroyc WM. Meniscal movement. An in-vivo study using dynamic MRI. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81(1):37-41.
33. Boyd KT, Myers PT. Meniscus preservation; rationale, repair techniques and results. *Knee* 2003;10:1-11.
34. Lee SJ, Aadalen KJ, Malaviya P, Lorenz EP, Hayden JK, Farr J, Kang RW, Cole BJ. Tibiofemoral contact mechanics after serial medial meniscectomies in the human cadaveric knee. *Am J Sports Med* 2006;34(8):1334-44.
35. Roos H, Laurén M, Adalberth T, Roos EM, Jonsson K, Lohmander LS. Knee osteoarthritis after meniscectomy: prevalence of radiographic changes after twenty-one years, compared with matched controls. *Arthritis Rheum* 1998;41(4):687-93.
36. Simpson DA, Thomas NP, Aichroth PM. Open and closed meniscectomy. A comparative analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1986;68(2):301-4.
37. McDermott ID, Amis AA. The consequences of meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88-B(12):1549-56.
38. Hede A, Larsen E, Sandberg H. The long term outcome of open total and partial meniscectomy related to the quantity and site of the meniscus removed. *Int Orthop* 1992;16(2):122-5.
39. Noyes FR, Heckmann TP, Barber-Westin SD. Meniscus repair and transplantation: a comprehensive update. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012;42(3):274-90.
40. Venkatachalam S, Godsiff SP, Harding ML. Review of the clinical results of arthroscopic meniscal repair. *Knee* 2001;8(2):129-33.
41. McCarty EC, Marx RG, DeHaven KE. Meniscus repair: considerations in treatment and update of clinical results. *Clin Orthop Relat Res* 2002;402:122-34.
42. Stärke C, Kopf S, Petersen W, Becker R. Meniscal repair. *Arthroscopy* 2009;25(9):1033-44.
43. Hergan D, Thut D, Sherman O, Day MS. Meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2011;27(1):101-12.
44. Rodeo SA. Meniscal allografts -where do we stand? *Am J Sports Med* 2001;29(2):246-61.
45. Rodeo SA, Seneviratne A, Suzuki K, Felker K, Wickiewicz TL, Warren RF. Histological analysis of human meniscal allografts. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82-A(8):1071-82.
46. Spencer SJ, Saithna A, Carmont MR, Dhillon MS, Thompson P, Spalding T. Meniscal scaffolds: early experience and review of the literature. *Knee* 2012;19(6):760-5.
47. Drengk A, Stürmer KM, Frosch KH. Current Concepts in Meniscus Tissue Engineering. *Curr Rheum Rev* 2008;4(3):196-201.
48. Fox MG. MR imaging of the meniscus: review, current trends, and clinical implications. *Radiol Clin North Am* 2007;45(6):1033-53.
49. Fukuta S, Masaki K, Korai F. Prevalence of abnormal findings in magnetic resonance images of asymptomatic knees. *J Orthop Sci* 2002;7(3):287-91.

Sorular

1. Aşağıdakilerden hangisi lateral menisküsün yapışma özellikleri ile ilgili ligamanlardan biri değildir?
 - a. İnseriyonel ligamanlar
 - b. Meniskofemoral ligamanlar
 - c. Transvers meniskal ligaman
 - d. Meniskotibial ligamanlar
 - e. Lateral kollateral ligaman
2. Aşağıdaki menisküs kısımlarından hangisi avaskülerdir?
 - a. Menisküsün dış üçte birlik kısmı
 - b. Menisküsün orta üçte birlik kısmı
 - c. Menisküsün iç üçte birlik kısmı
 - d. Menisküsün ön boynuzu
 - e. Menisküsün arka boynuzu
3. Menisküsün yapısında en çok hangi tip kollajen bulunmaktadır?
 - a. Tip I
 - b. Tip II
 - c. Tip III
 - d. Tip IV
 - e. Tip VI
4. Aşağıdaki dokulardan hangisi oransal olarak daha fazla su içerir?
 - a. Kıkırdak
 - b. Menisküs
 - c. Ligament
 - d. Tendon
 - e. Kas
5. Menisküslerin işlevleri ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?
 - a. Tibiofemoral eklemden temas yüzeyini genişletir.
 - b. Tibiofemoral eklemden temas stresini azaltır.
 - c. Eklem kıkırdağının beslenmesine katkı sağlar.
 - d. Tibianın öne doğru yer değiştirmesine katkı sağlar.
 - e. Eklem pozisyon duyusuyla ilgili olarak propriyoseptif geri bildirim sağlar.

Yanıtlar

1. e, 2. c, 3. a, 4. a, 5. d