



## Egzersiziz eklem kıkırdağına etkileri

### *The effects of exercise on articular cartilage*

Cenk ÖZKAN, Yaman SARPEL, Ö. Sunkar BİÇER

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

Egzersiziz eklem kıkırdağı üzerindeki etkisi, hayvan modellerinde ve çeşitli görüntüleme yöntemleriyle insanlarda farklı çalışmalarda değerlendirilmiştir. Geçirgen ortam özelliği sayesinde sıvı içeriği azalabilen eklem kıkırdağı, eklem sıvısı ile birlikte fizyolojik ve sportif aktiviteler sırasında yük dağılımı ve eklem hareketlerini devam ettirebilecek özelliktedir. Ağır yük, eklemlerin uzun süre hareketsiz kalması gibi koşullarda eklem kıkırdağının uyum sağlama yeteneği sınırlı iken, normal koşullarda yük ortadan kaldırıldığında deforme kıkırdak eski haline dönmektedir. Hareketsizliğin kıkırdak üzerindeki olumsuz etkisi göz önünde bulundurulduğunda ameliyat veya kıkırdak hasarını takip eden dönemde hareketsizlik süresinin mümkün olduğunca kısaltılması doku iyileşmesi açısından önemlidir. Egzersiziz kıkırdak iyileşmesini olumlu yönde etkilediği ve ya hasar oluşma riskini azalttığı; hatta orta derecede egzersiziz artroplastisi gerekecek olgu sayısını azaltabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, mevcut kıkırdak hasarı veya dejeneratif değişikliklerin aşırı egzersiz ile artabileceği de ifade edilmiştir. Hafif sportif aktivitelerde bulunan atletlerde eklemlerde osteofitik değişiklikler görülmesine rağmen, eklem kıkırdağının uyum özelliği ile osteoartrit gelişmesini engellediği ifade edilmiştir. Akut, tekrarlayıcı çarpma ve torsiyonel zorlanmaya maruz kalan profesyonel sporcularda ise osteoartrit riskinin arttığı bildirilmiştir. Bu makalede, ameliyat sonrasında kontrollü aktif ve pasif egzersiziz iyileşme ve osteoartrit gelişmesi üzerindeki etkileri, farklı süre ve yoğunlukta uygulanan sportif aktivite ve egzersiziz eklem kıkırdağı üzerinde yol açtığı kısa ve uzun vadeli değişiklikler değerlendirilmiştir.

The effect of exercise on articular cartilage has been assessed on animal models and on humans using various imaging techniques. Joint cartilage, whose water content decreases itself thanks to its unique permeable medium, maintains load distribution and joint function together with the synovial fluid under physiologic conditions and sports activities. The adaptive capacity of joint cartilage is limited under various conditions such as excessive load bearing or prolonged immobilization; however, when these factors are reversed deformed cartilage returns to its former state under normal conditions. Due to its adverse effect on joint cartilage, immobilization period following cartilage damage or operation should be as short as possible for wound healing. It is reported that exercise contributes to cartilage healing and reduces risk for injury, and that moderate exercise can even decrease the number of cases requiring arthroplasty. Conversely, excessive (harsh) exercise may be associated with increased cartilage damage or degenerative changes. Despite the presence of osteophytic changes in joint cartilage of athletes performing mild sports activities, these may not result in osteoarthritis due to the adaptive feature of joint cartilage. In contrast, the risk for osteoarthritis is increased in professional sportsmen exposed to acute repetitive impact and torsional loading. This article reviews the influence of controlled, passive-active exercise on healing and on the development of osteoarthritis and the short- and long-term changes in articular cartilage associated with exercise and participation in sports of different duration and intensity.

### **Fizyolojik yüklenme ve eklem hareketinin kıkırdak üzerine etkileri**

Eklem kıkırdağı katı (organik hücre dışı matriks) ve hareketli sıvı (interstisyel su ve içerisinde çözünür halde bulunan inorganik tuzlar) bileşenlerin bir ara-

da bulunduğu sıvı dolu, poroz geçirgen bir ortam olarak tanımlanmaktadır. Biyomekanik olarak eklem etkileyen yükleri absorbe edip dağıtırken aynı zamanda düzgün ve kaygan bir yüzey oluşturarak sürtünmeyi azaltıp hareketleri kolaylaştırır.<sup>[1]</sup> Embriyonel gelişimde ekstremite hareketlerinin olmaması ek-

lem yüzeyleri ve aralığı gibi normal eklem yapılarının gelişimini engellemektedir. Mekanik modeller, deneysel çalışmalar ve implantlar üzerine yerleştirilen telemetrik ölçüm cihazlarından elde edilen sonuçlar ışığında, hareket sırasında eklemlerin oldukça yüksek yüklerle maruz kaldığı gösterilmiştir. Normal yürüyüş sırasında diz eklemi vücut ağırlığının üç katı kadar yüklenmeye karşılıklaşmaktadır. Yüksek atlama gibi sporlarda ise bu yüklenme 24 kata kadar çıkabilmektedir. Normal kıkırdağın yapısı ve özellikleri yüklenmeleri karşılayabilecek şekilde oluşmuştur. Kıkırdağın elastik modülü 0.5-1 Mpa arasında değişmektedir. Ancak yüklenmeler karşısında matriks geçirgenliğinin sınırlı olması sonucu sıvı içeriğinin sıkıştırılmasıyla matriksin dinamik sıklığı 10 katına kadar çıkabilmektedir. Fizyolojik yüklenmelerde kıkırdağ matriksi karmaşık kompresif, gerim ve makaslama kuvvetlerini karşılar. Gerim ve makaslama kuvvetlerini karşılayan kollajen fibril ağıdır. Yüklenme karşısında kıkırdağ kompresif olmayan bir davranış sergiler. Kollajen ağı yüklenme sonucu interstisyel aralığa sıvı kaçıışı ile oluşan deformasyonu sınırlar. Kıkırdağın proteoglikan, su ve elektrolit bileşenlerinin aralarındaki etkileşim bozulduğunda yüklenmeler karşısında hasara uğrayabilir.<sup>[2]</sup>

Eklem kıkırdağının, üzerine etkileyen yüklenmelere fizyolojik cevabı sıvı dağılımında değişiklik ve hacimde azalma olarak görülmektedir. Kersting ve ark.<sup>[3]</sup> kısa süreli egzersizin etkisini araştırdıkları çalışmada, 18 koşucu üzerinde bir saatlik koşu sonrası yapılan incelemelerde kıkırdağ hacminin azaldığını ve serum kıkırdağ oligomerik proteini (KOMP) miktarının hacim azalmasıyla orantılı bir şekilde arttığını göstermişlerdir. Eckstein ve ark.<sup>[4]</sup> sekiz gönüllü insanda yaptıkları manyetik rezonans incelemelerinde 50 defa diz bükme sonrası patellar kıkırdağ hacminde 3-7 dakikada %6 düşüş gözlemlemişlerdir. Yüklenmenin kıkırdağ üzerine etkisinin incelendiği benzer bir çalışmada da, patellar kıkırdağın deformasyonu diz bükme esnasında %5.9, normal yürüyüş ile %2.8, koşma sonrası %5 olarak ölçülmüş, deformasyon miktarının yüklenme artışı, dolayısıyla eklem hareketiyle doğru orantılı olduğu saptanmıştır. Buna karşın femorotibial eklemden daha az deformasyon olduğu, tibiada belirgin olmak üzere ancak yüksekten atlama gibi şiddetli çarpma etkisiyle oluştuğu gözlenmiştir.<sup>[5]</sup> Diz eklem kıkırdağının orta derecede egzersiz karşısında biyokimyasal yapıtaşları olan glikozaminoglikan (GAG) içeriğini artırdığı

saptanmıştır.<sup>[6]</sup> Bu çalışmalar, mekanik yüklenmelerin kısa sürede kıkırdağın hacim ve biyokimyasal içeriğini etkilediğini, sınırlı da olsa kıkırdağın metabolik aktivitesini ayarlayarak değişen koşullara uyum sağlama yeteneği olduğunu göstermektedir.

### Aktif ve pasif egzersizler

Kıkırdağ hasarı ve özellikle ameliyat sonrası rehabilitasyonda, hızı, süresi ve hareket açıklığı ayarlanabilir cihazlarla uygulanan sürekli pasif hareket (SPH) kıkırdağ lezyonlarının iyileşmesini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Salter ve ark.<sup>[7]</sup> tam kat kıkırdağ defekti olan tavşanlarda sürekli pasif hareket uygulamasıyla, defektin hiyalen kıkırdağ ile iyileşmesinin hareketsiz bırakılan ve aralıklı aktif hareket verilen tavşanlara göre çok daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Enflamatuvar artrit oluşturulan tavşan modelinde de sürekli pasif hareket ile hareketsizlik karşılaştırıldığında ilk iki haftada sinovite neden olsa da altı haftalık takipte eklem kıkırdağının pasif hareket ile daha iyi korunduğu bildirilmektedir.<sup>[8]</sup> Sürekli pasif hareketin kıkırdağ defektlerinin tamirinde uygulanan otolog periost greftinin kondrojenik yanıtı üzerine etkisinin araştırıldığı invitro bir deneysel çalışmada, periost eksplantlarının belirli basınç ve süre ile uygulanan dinamik sıvı basıncına kondrojenik aktivitede artış ile yanıt verdiği bildirilmiştir.<sup>[9]</sup> Klinik çalışmalarda da periost transplantasyonu uygulanan kıkırdağ defekti olgularında SPH ile daha iyi klinik sonuç alındığı gösterilmiş,<sup>[10]</sup> eklem kıkırdağına yönelik çeşitli tamir yöntemlerinin rehabilitasyonunda da SPH'nin tamir dokusunun rejenerasyonu üzerine olumlu etkileri bildirilmiştir.<sup>[11]</sup> Deneysel çalışmalar kıkırdağ yaralanmaları sonrasında kontrollü hareketin uzun süreli hareketsizliğe göre daha iyi olduğunu işaret etmektedir. Sürekli pasif hareketin yeni kıkırdağın matriks proteinlerinin sentezlenebilmesi için gerekli yüklenme koşullarını sağladığı ve aynı zamanda yaralanma ile oluşan katabolik etkili enflamatuvar yanıtı azalttığı öne sürülmektedir. Ancak halen yapısal ve fonksiyonel olarak hasar öncesi doku ile aynı özellikleri sağlayabilecek bir tamir veya rehabilitasyon yöntemi gösterilememiştir.<sup>[12]</sup> Hareketsizliğin kıkırdağ üzerindeki olumsuz etkisi göz önünde bulundurulduğunda ameliyat sonrası ve kıkırdağ hasarını takip eden dönemde hareketsizliğin mümkün olduğunca kısa tutulması doku iyileşmesi açısından önemli görünmektedir. Pasif egzersizlerin dışında ameliyat sonrası rehabilitasyon

ve patellofemoral ağrı sendromunun tedavisinde sıklıkla uygulanan düz bacak kaldırma ve ekstansiyon gibi, ayaktan tibiaya reaksiyon kuvveti iletilmeden yapılan açık zincir egzersizlerinin, patellofemoral eklem üzerine fizyolojik sınırların üzerinde yüklenmelere neden olabileceği düşünülmüştür. Cohen ve ark.nın<sup>[13]</sup> bu düşüncesinden yola çıkarak yaptığı çalışmada, açık zincir egzersizleri, diz 20-90° aralığında fleksiyonda basma ile ayaktan reaksiyon kuvvetlerinin tibiaya iletiildiği kapalı zincir egzersizleri karşılaştırılmış ve ayaktan 100 N kuvvet uygulansa dahi açık zincir egzersizlerinin patellofemoral eklem temas stresini fizyolojik sınırlar üzerinde etkilemediği gösterilmiştir. Dizin çeşitli fleksiyon açılarında patellofemoral temas yüzeylerinin de incelendiği çalışmada, proksimal patellar kıkırdak lezyonu olan ve bu bölgede yüklenmenin istenmediği olgularda, düşük diz fleksiyon açılarında uygulanan açık zincir egzersizlerinin faydalı olabileceği belirtilmiştir.

### **Hareketsizlik ve sportif faaliyetlerin etkileri**

Hayvan deneyleri hareketsizliğin kıkırdağın mekanik, biyokimyasal ve morfolojik özelliklerini değiştiren önemli etkileri olduğunu ve bu etkilerin tekrar eklem hareketi sağlansa dahi çoğu zaman bütünüyle geriye dönüşlü olmadığını göstermiştir.<sup>[11]</sup> Paraplejik hastalarda diz eklem kıkırdağının kalınlığında yıllık %10'dan fazla azalma olduğu tespit edilmiştir.<sup>[14]</sup> Köpekler üzerinde yapılan bir çalışmada, 11 hafta hareketsiz bırakılan ve günde 40 km koşu egzersizi yaptırılan gruplar karşılaştırıldığında hareketsizliğin, eklem kıkırdağının hyaluronan ve agrekan içeriğini belirgin olarak düşürdüğü gözlemlenmiş ve yüklenmenin kıkırdağın metabolik aktivitesi üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır.<sup>[15]</sup> Simkin ve ark.<sup>[16]</sup> köpekler üzerinde yaptıkları bir çalışmada kısa süreli egzersizle kan akımının yeniden düzenlendiği ve eklem çevresi yumuşak dokularda kan akımı artarken eklem komşuluğundaki kemiklerde artmadığını, hatta femur kondillerinde düştüğünü bildirmişlerdir. Egzersizin kıkırdak hasarı üzerine etkileri incelendiğinde, sonuçların birbiriyle çelişkili olduğu görülmektedir. Newton ve ark.<sup>[17]</sup> av köpekleri üzerinde yaptıkları uzun dönemli bir çalışmada vücut ağırlığının 1.3 katı ağırlık taşıyarak haftada beş kez, 3 km/s hızda, 75 dakika egzersiz yaptırılan hayvanlar 10 yıllık süre sonunda kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, kıkırdak lezyonları, kalınlığı ve

mekanik özellikleri arasında fark olmadığı gözlemlenmiş, ömür boyu yapılan düzenli ağırlık verme egzersizinin osteoartrit riskini artırmadığı bildirilmiştir. Travma sonucu retropatellar kıkırdak hasarı oluşturulan tavşan modelinde koşubandı ile egzersiz yaptırılan hayvanlar kafeste tutulanlarla karşılaştırıldığında, kafesteki tavşanların eklem kıkırdağında yüzey düzensizlikleri, daha fazla erozyon ve kalsifikasyon olduğu tespit edilmiş, künt travma sonrası uygulanan egzersizin kıkırdak hasarının gidişatı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.<sup>[18]</sup> Roos ve Dahlberg<sup>[6]</sup> parsiyel medial menisektomiden 3-5 yıl sonra osteoartrit riski olan 45 hastayı inceledikleri çalışmada, hastalar iki gruba ayrılarak bir gruba haftada üç kez fizyoterapist gözetiminde birer saatlik egzersiz programı uygulanmış, kontrol grubuna ise herhangi bir egzersiz verilmemiştir. Dört aylık egzersiz sonrası manyetik rezonans incelemesinde kıkırdağın yapısal elemanlarından glikozaminoglikan içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Orta derecede egzersizin sadece eklem fonksiyonu ve semptomları üzerinde değil kıkırdağın yapısal içeriği üzerinde de olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir. Hayvan modellerinde hamsterlerde osteoartrit gelişiminin görülmesi üzerine, egzersizin osteoartrit gelişimindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, deney hayvanları üç gruba ayrılarak günlük 6-12 km koşu yapan erişkin hamsterler, sedanter bırakılan bir grup ve genç hamsterlerle karşılaştırıldığında günlük düzenli egzersiz yapan hayvanlarda kıkırdak yüzeyinin düzgün ve pürüzsüz olduğu, sedanter grupta ise tüm hayvanlarda eklem yüzeyinde fibrilasyonlar olduğu gözlemlenmiştir. Kıkırdağın proteoglikan içeriği ve eklemdeki sinovyal sıvı miktarı da sedanter grupta daha düşük bulunmuştur.<sup>[19]</sup> İnsanlarda da orta derecede düzenli egzersizin artroplastik gerektiren dejeneratif artrit riskini azalttığı görülmüştür.<sup>[20]</sup> Buraya kadarki çalışmalarda egzersizin kıkırdak hasarının iyileşmesini olumlu yönde etkilediği veya hasar oluşması riskini azalttığı belirtilmektedir. Ancak kıkırdak hasarı oluştuktan sonra veya hasar riskinin arttığı durumlarda egzersizin etkisinin olumsuz olabileceği de bildirilmektedir. Menisektomi yapılan keçilerde ameliyat sonrası birinci haftadan itibaren orta derecede egzersiz (haftalık 24 km yürüyüş) yaptırılan grupta makroskopik olarak daha fazla kıkırdak lezyonu ve osteofit oluşumu saptanmış, orta derecede egzersizin menisektomi ile oluşan kıkırdak lezyonları üzerinde olumsuz etkisi olduğu sonucuna va-

rılmıştır.<sup>[21]</sup> On sekiz aydan sonra yüksek oranda spontan osteoartrit geliştiği bilinen C57BL farelerinde yapılan bir çalışmada ise, 13.3 m/dk hızda günde 1 km koşu yaptırılan farelerde kontrol grubuna göre daha fazla osteoartrit geliştiği saptanmıştır.<sup>[22]</sup> Köpeklerde ağır koşu egzersizinin etkisi incelendiğinde 40 haftalık süreyle aşamalı olarak artırılarak günde 20 km, 15° eğimli tırmanma koşusu yaptırılan deney hayvanlarının eklem kıkırdağında %6 incelleme ve glikozaminoglikan içeriğinde femur kondillerinin tepe noktasında %11 azalma olduğu gözlemlenmiş, GAG içeriğindeki azalmanın kıkırdağın 50 µm'lik yüzeysel kısmında %41 oranına ulaştığı gözlemlenmiştir.<sup>[23]</sup> Aynı yazarlar bir başka çalışmada ise orta derecede egzersizin kıkırdağ kalınlığı ve GAG içeriğini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir.<sup>[24]</sup> Sonuç olarak orta derecede egzersizde GAG yapım ve yıkımının dengelenebildiği, artan yüklenme karşısında ise bu dengenin bozularak kıkırdağın yapısal içeriğinin değiştiği ve bunun en çok kıkırdağın en fazla yüklenmeye maruz kalan uç noktaları ve yüzeysel kısmında olduğu belirtilmiştir. Hafif ve orta derecede egzersiz, deney farelerinde oluşturulan osteoartrit modelinde de kıkırdağ üzerinde koruyucu etki gösterirken, ağır egzersizin bu etkiyi tersine çevirdiği görülmüştür.<sup>[25]</sup> Firth, atlarda kemik, eklem kıkırdağı ve tendonların egzersize yanıtı üzerine yaptığı bir çalışmada, yüksek yoğunlukta egzersiz programı uygulanan olgularda olumlu yöndeki adaptif değişikliklerin, mikro hasar ve bariz lezyonların gölgesinde kaldığını ifade etmiştir. Atlarda erken yaşta eğitim ve egzersize başlanması, en azından bazı bölgelerde nonkalsifiye ancak daha kalın eklem kıkırdağı oluşmasına yol açmaktadır. Kıkırdağın biyomekanik etkilere karşı oluşturduğu adaptasyon ancak çok erken yaşlarda görülebilmekte olup, eklem kıkırdağı üzerinde olumlu etki gösterirken aynı zamanda zarar vermeyecek egzersizin süre, uygulanan güç ve yaşa göre değişikliği konusu halen açıklığa kavuşturulamamıştır.<sup>[26]</sup>

Sportif aktivitelerle osteoartrit riski arasındaki ilişki incelendiğinde, uzun yıllar koşu sporu yapan atletlerde eklemlerde osteofitik değişiklikler görülse de, eklem kıkırdağı sınırlı da olsa mekanik ve yapısal adaptasyonla osteoartrit gelişimi engellenebilmektedir. Buna karşın çarpma ve torsiyonel zorlanmaya maruz kalan profesyonel futbolcular ve haltercilerde alt ekstremitelerde, beybolcularda ise omuz ve dirsek eklemlerinde osteoartrit riskinin arttığı bildi-

rılmıştır.<sup>[27-29]</sup> Eklem instabilitesi, dizilim bozuklukları, eklem yüzeyleri arasında uyumsuzluk, displazi, daha önce geçirilmiş eklem hasarı veya cerrahi girişimler, menisküs lezyonları vb. mekanik fonksiyon bozuklukları, kas veya eklemlerde innervasyon bozukluklarının varlığında sportif faaliyetlerle eklemlerde dejeneratif değişikliklerin hızlandığı bilinmektedir. Spor aktivitesi yapan insanlarda, sedanter yaşam sürenlere göre osteoartrit riskinin daha fazla olduğu bildirilmekle birlikte deneysel ve klinik kanıtlar eklem hasarının tekrarlayan çarpma ve torsiyonel zorlanma ile olduğunu düşündürmektedir. Spor sonucu oluşabilecek eklem hasarının önlenmesi için uygulanabilecek yöntemler eklem hasarı oluştuğunda uygun tanı, tedavi ve rehabilitasyonu; torsiyonel, çarpma ve vücut ağırlığı etkilerini azaltacak uygun giysi ve malzemelerin kullanımı; dejeneratif artrit riskini artırmadığı düşünülen koşu, yüzme, golf, kürek, bisiklet gibi spor aktiviteleri ve egzersiz programlarının seçimi; kas gücü, tonusu ve genel kondisyonun artırılması olarak belirtilmiştir.<sup>[29]</sup>

### Bireysel özelliklerin etkisi

Ding ve ark.<sup>[30]</sup> cinsiyetin kıkırdağ yapısı üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, erkeklerde kıkırdağ hacminin kadınlara göre %30-37 fazla olduğunu ve bu farkın 50 yaş üzerinde %45-58'e varan oranlarda arttığını bildirmişlerdir. Fiziksel aktivitenin ise kıkırdağ hacmi üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Menopozla birlikte hızlanan kemik kütleindeki kaybın benzer şekilde kıkırdağ yapıda da gözlemlenmesinin, ileri yaşlarda kadınlarda osteoartritin daha sık görülme nedeni olabileceği öne sürülmüştür. Vücut ağırlığının ve egzersizin osteoartrit riski üzerine etkisi araştırıldığında, geniş alanda serbest bırakılan kobaylarda, kafeste tutulan kontrol grubu ve ağırlığı mobilize olanlarla eşlenen diyet grubuna göre daha fazla kıkırdağ lezyonu olduğu, en az kıkırdağ lezyonunun ise diyet grubunda olduğu görülmüştür. Kobaylarda osteoartrit riskinin vücut ağırlığının azalmasıyla belirgin şekilde azaldığı, fiziksel aktivitede artışın ise erken dönemde kıkırdağ üzerinde koruyucu etkisi olabilmekle birlikte, fibrilasyonlar oluşmaya başladıktan sonra zararlı olduğu sonucuna varılmıştır.<sup>[31]</sup>

Kıkırdağın manyetik rezonans ile yapılan morfolojik incelemelerinde aynı kişinin her iki ekstremitesi arasında çok az fark olduğu, erkeklerde kıkırdağ kalınlığının kadınlara göre %10, yüzey alanının %25

daha fazla olduğu gösterilmiştir. Boy ve kilonun kırıkta kalınlığını etkilemediği ve sportif faaliyetlerin bireyler arasındaki kırıkta kalınlığı farkını açıklayamadığı tespit edilmiştir. Kırıkta kalınlığı yaşla azalmakta ve yoğun egzersiz patellada %6'lık bir deformasyona yol açarken, yaşlılarda bu oran %3'e düşmektedir. Egzersiz sonrası oluşan deformasyonun geri dönüşü ise yaklaşık 90 dakika sürmektedir. Mekanik uyaranlar kemik ve kas dokusunun yapıyı dengesinde çok belirleyici rol oynamaktadır. Hareketsiz veya yerçekimsiz ortamda çok hızlı bir şekilde atrofi gelişirken yoğun fiziksel aktivitelerde belirgin kitle artışı olmaktadır. Kırıkta kalınlığının mekanik uyaranlarla biyosentetik aktivitesinin arttığı gösterilmiştir. Statik yüklenmeler matris bileşenlerinin sentezini azaltmaktayken dinamik yüklenmeler proteoglikan ve kollajen sentezini artırmaktadır. Kırıkta kalınlığının hareketsizlikle azaldığı görülürken, egzersizin kalınlığı artırıcı bir etkisi gösterilememiştir. Üç yıllık bir sürede haftada en az 10 saat antrenman yapan triatlon sporcularıyla normal nüfus karşılaştırıldığında kırıkta kalınlığının artmadığı, buna karşın eklem temas yüzeyinin daha geniş olduğu gözlemlenmiştir. Buna neden olarak difüzyonla beslenen kırıkta kalınlığının belirli bir kalınlığın üzerinde beslenmesinin bozulabileceği ve daha kalın kırıkta, yüklenmeleri hidrostatik basınçla karşılayan sıvı içeriğinin artması ve temas bölgelerinde daha fazla sıvı kaçıışı nedeniyle yüke karşı direnç mekanizmasının bozulabileceği öne sürülmüştür. Artan yüklenmeler, sabit kalınlıktaki kırıkta kalınlığının temas yüzeyinin artmasıyla birim alana düşen yükün azalması sonucu karşılanabilmektedir. İri cüsseli hayvanlarda da aynı şekilde eklem yüzeyleri çok daha genişken kırıkta kalınlığı aynı oranda kalınlaşmamaktadır.<sup>[32]</sup> Hunter ve ark.<sup>[33]</sup> genetik ve çevresel faktörlerin kırıkta yapısı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ikizler arasında kırıkta hacminde yüksek oranda benzerlik olduğunu saptamış ve genetik faktörlerin kırıkta hasarının patofizyolojisi üzerinde de etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Zhai ve ark.<sup>[34]</sup> kırıkta hacmi ve radyografik osteoartrit riskinin genetik özelliklerle bağlantılı olduğunu bildirmişlerdir.

Kırıkta kalınlığının artan ihtiyaçlara karşı uyum yeteneğinin kemik ve kas dokusunun aksine oldukça düşük olmasının nedeni evrimsel açıdan değerlendirildiğinde, Eckstein ve ark.<sup>[35]</sup> kırıkta lezyonlarının, kemik kırıkları ve kas güçsüzlüğünün aksine üreme yaşından sonra geç dönemde ortaya çıkmasının meka-

nik uyaranlara karşı uyum kapasitesini düşürdüğünü, aynı zamanda çok fazla kemik ve kasın metabolik olarak çok pahalıya mal olması ve hızlı hareket açısından dezavantaj oluşturması nedeniyle ihtiyaca göre miktarlarının ayarlanabilmesinin gerekli olduğunu belirtip, kırıkta kalınlığındaki küçük bir artışın metabolik denge üzerinde etkisi olmadığını vurgulamışlardır. Daha fazla kemik ve kas, daha fazla güç ve kırıklara karşı dayanıklılık yaratırken, daha fazla kırıkta kalınlığının hareket sistemine bilinen olumlu bir katkısı olmaması nedeniyle evrimsel süreçte uyum yeteneğinin sınırlı olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç olarak, eklem kıkırdağı egzersize karşı çok kısa sürede biyokimyasal, fiziksel ve metabolik özelliklerini değiştirerek yanıt verebilmekte, egzersizin hareketsizliğe göre belirgin olumlu etkileri bulunmaktadır. Ancak kırıkta kalınlığının uzun dönemde değişen koşullara uyum sağlama yeteneği kemik ve kas dokusu ile karşılaştırıldığında oldukça sınırlı olmakta ve artan travmalara karşı bu dokular içerisinde en hassası olarak görülmektedir. Fiziksel aktivitede artışın uzun vadede kırıkta kalınlığının yapısal özellikleri üzerinde anlamlı belirleyici etkisi olmadığı, genetik faktörlerin ise kırıkta kalınlığının çevresel faktörlerden daha etkili olduğu düşünülmektedir. Kırıkta hasarına yol açabilecek instabilite, dizilim kusuru, displazi vb. mekanik eklem bozuklukları olan bireylerin, spor travmasına karşı eklem hasarına daha yatkın olmaları nedeniyle daha az zorlayıcı, çarpma ve torsiyonel etkileri az olan hafif egzersiz ve spor aktivitelerini tercih etmeleri uygun görülmektedir. Hasar oluştuktan sonraki tamir aşamasında uygulanan egzersiz, yeni oluşacak tamir dokusu üzerinde olumlu etkiler gösterirken, aşırı egzersiz ve zorlamalar bu etkiyi tersine çevirebilmektedir. Eklem kıkırdağını olumlu yönde etkileyebilecek egzersizlerin tipi, hangi yaşta, ne kadar süre ve aralıklarla, hangi dozda uygulanması gerektiğinin araştırılmasına yönelik yapılacak çalışmalar bu amaca en uygun egzersiz programlarının oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

## Kaynaklar

1. Vanwanseele B, Lucchinetti E, Stussi E. The effects of immobilization on the characteristics of articular cartilage: current concepts and future directions. *Osteoarthritis Cartilage* 2002;10:408-19.
2. Arokoski JP, Jurvelin JS, Vaatainen U, Helminen HJ. Normal and pathological adaptations of articular cartilage to joint loading. *Scand J Med Sci Sport* 2000;10:186-98.
3. Kersting UG, Stubendorff JJ, Schmidt MC, Bruggemann GP. Changes in knee cartilage volume and serum COMP con-

- centration after running exercise. *Osteoarthritis Cartilage* 2005;13:925-34.
4. Eckstein F, Tieschky M, Faber SC, Haubner M, Kolem H, Englmeier KH, et al. Effect of physical exercise on cartilage volume and thickness in vivo: MR imaging study. *Radiology* 1998;207:243-8.
  5. Eckstein F, Lemberger B, Gratzke C, Hudelmaier M, Glaser C, Englmeier KH, et al. In vivo cartilage deformation after different types of activity and its dependence on physical training status. *Ann Rheum Dis* 2005;64:291-5.
  6. Roos EM, Dahlberg L. Positive effects of moderate exercise on glycosaminoglycan content in knee cartilage: a four-month, randomized, controlled trial in patients at risk of osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2005;52:3507-14.
  7. Salter RB, Simmonds DF, Malcolm BW, Rumble EJ, MacMichael D, Clements ND. The biological effect of continuous passive motion on the healing of full-thickness defects in articular cartilage. An experimental investigation in the rabbit. *J Bone Joint Surg [Am]* 1980;62:1232-51.
  8. Kim HK, Kerr RG, Cruz TF, Salter RB. Effects of continuous passive motion and immobilization on synovitis and cartilage degradation in antigen induced arthritis. *J Rheumatol* 1995;22:1714-21.
  9. Mukherjee N, Saris DB, Schultz FM, Berglund LJ, An KN, O' Driscoll SW. The enhancement of periosteal chondrogenesis in organ culture by dynamic fluid pressure. *J Orthop Res* 2001;19:524-30.
  10. Alfredson H, Lorentzon R. Superior results with continuous passive motion compared to active motion after periosteal transplantation. A retrospective study of human patella cartilage defect treatment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7:232-8.
  11. Salter RB. The biologic concept of continuous passive motion of synovial joints. The first 18 years of basic research and its clinical application. *Clin Orthop Relat Res* 1989;(242):12-25.
  12. Kannus P, Parkkari J, Jarvinen TL, Jarvinen TA, Jarvinen M. Basic science and clinical studies coincide: active treatment approach is needed after a sports injury. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:150-4.
  13. Cohen ZA, Roglic H, Grelsamer RP, Henry JH, Levine WN, Mow VC, et al. Patellofemoral stresses during open and closed kinetic chain exercises. An analysis using computer simulation. *Am J Sports Med* 2001;29:480-7.
  14. Vanwanseele B, Eckstein F, Knecht H, Spaepen A, Stussi E. Longitudinal analysis of cartilage atrophy in the knees of patients with spinal cord injury. *Arthritis Rheum* 2003;48:3377-81.
  15. Haapala J, Lammi MJ, Inkinen R, Parkkinen JJ, Agren UM, Arokoski J, et al. Coordinated regulation of hyaluronan and aggrecan content in the articular cartilage of immobilized and exercised dogs. *J Rheumatol* 1996;23:1586-93.
  16. Simkin PA, Huang A, Benedict RS. Effects of exercise on blood flow to canine articular tissues. *J Orthop Res* 1990;8:297-303.
  17. Newton PM, Mow VC, Gardner TR, Buckwalter JA, Albright JP. Winner of the 1996 Cabaud Award. The effect of lifelong exercise on canine articular cartilage. *Am J Sports Med* 1997;25:282-7.
  18. Weaver BT, Haut RC. Enforced exercise after blunt trauma significantly affects biomechanical and histological changes in rabbit retro-patellar cartilage. *J Biomech* 2005;38:1177-83.
  19. Otterness IG, Eskra JD, Bliven ML, Shay AK, Pelletier JP, Milici AJ. Exercise protects against articular cartilage degeneration in the hamster. *Arthritis Rheum* 1998;41:2068-76.
  20. Manninen P, Riihimaki H, Heliovaara M, Suomalainen O. Physical exercise and risk of severe knee osteoarthritis requiring arthroplasty. *Rheumatology* 2001;40:432-7.
  21. Armstrong SJ, Read RA, Ghosh P, Wilson DM. Moderate exercise exacerbates the osteoarthritic lesions produced in cartilage by meniscectomy: a morphological study. *Osteoarthritis Cartilage* 1993;1:89-96.
  22. Lapvetelainen T, Nevalainen T, Parkkinen JJ, Arokoski J, Kiraly K, Hyttinen M, et al. Lifelong moderate running training increases the incidence and severity of osteoarthritis in the knee joint of C57BL mice. *Anat Rec* 1995;242:159-65.
  23. Kiviranta I, Tammi M, Jurvelin J, Arokoski J, Saamanen AM, Helminen HJ. Articular cartilage thickness and glycosaminoglycan distribution in the canine knee joint after strenuous running exercise. *Clin Orthop Relat Res* 1992;(283):302-8.
  24. Kiviranta I, Tammi M, Jurvelin J, Saamanen AM, Helminen HJ. Moderate running exercise augments glycosaminoglycans and thickness of articular cartilage in the knee joint of young beagle dogs. *J Orthop Res* 1988;6:188-95.
  25. Galois L, Etienne S, Grossin L, Watrin-Pinzano A, Cournil-Henrionnet C, Loeuille D, et al. Dose-response relationship for exercise on severity of experimental osteoarthritis in rats: a pilot study. *Osteoarthritis Cartilage* 2004;12:779-86.
  26. Firth EC. The response of bone, articular cartilage and tendon to exercise in the horse. *J Anat* 2006;208:513-26.
  27. Roos H, Lindberg H, Gardsell P, Lohmander LS, Wingstrand H. The prevalence of gonarthrosis and its relation to meniscectomy in former soccer players. *Am J Sports Med* 1994;22:219-22.
  28. Kujala UM, Kettunen J, Paananen H, Aalto T, Battie MC, Impivaara O, et al. Knee osteoarthritis in former runners, soccer players, weight lifters, and shooters. *Arthritis Rheum* 1995;38:539-46.
  29. Buckwalter JA, Martin JA. Sports and osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol* 2004;16:634-9.
  30. Ding C, Cicuttini F, Scott F, Glisson M, Jones G. Sex differences in knee cartilage volume in adults: role of body and bone size, age and physical activity. *Rheumatology* 2003;42:1317-23.
  31. Brismar BH, Lei W, Hjerpe A, Svensson O. The effect of body mass and physical activity on the development of guinea pig osteoarthritis. *Acta Orthop Scand* 2003;74:442-8.
  32. Eckstein F, Reiser M, Englmeier KH, Putz R. In vivo morphometry and functional analysis of human articular cartilage with quantitative magnetic resonance imaging-from image to data, from data to theory. *Anat Embryol* 2001;203:147-73.
  33. Hunter DJ, Snieder H, March L, Sambrook PN. Genetic contribution to cartilage volume in women: a classical twin study. *Rheumatology* 2003;42:1495-500.
  34. Zhai G, Stankovich J, Ding C, Scott F, Cicuttini F, Jones G. The genetic contribution to muscle strength, knee pain, cartilage volume, bone size, and radiographic osteoarthritis: a sibpair study. *Arthritis Rheum* 2004;50:805-10.
  35. Eckstein F, Hudelmaier M, Putz R. The effects of exercise on human articular cartilage. *J Anat* 2006;208:491-512.