



Subkondral kemiğin yapısı ve fizyolojisi

Structure and physiology of the subchondral bone

Tolga Keçeci

Ordu Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ordu

Eklemleri oluşturan iki ana eleman; kıkırdak ve kemik, mekanik bir işlevi yerine getirmek amacıyla uyum içinde hareket eder. Kıkırdak, eklem yüzeyinde bir yatak görevi görürken; kemikse yapısal bir kiriş ve amortisör görevi görür. Bu anatomik olarak komşu dokuların her biri, diğerinin mekanik özelliklerindeki herhangi bir değişiklikten etkilenir. Son yıllarda artan ilgi ile birlikte, osteoartrit gibi sık görülen eklem patolojilerinin salt kıkırdak hastalığı olmadığı, kıkırdağın altında yer alan kemik dokuyla birlikte oluşturduğu osteokondral birimin bir hastalığı olduğu anlaşılmıştır. Osteoartritte, kıkırdak hasarına ek olarak, osteofitlerin ve kemik kistlerinin oluşumu gibi yapısal değişiklikler ile birlikte subkondral kemikte sklerotik değişiklikler vardır. Bu sklerotik değişiklikler ilerleyici kıkırdak yıkımıyla birlikte osteoartritin simgesi olarak kabul edilmektedir. Osteokondral defekt veya osteonekroz gibi diğer eklem hastalıklarının patogenezinin yeniden ele alınması; eklem hastalığının değerlendirilmesinde, yönetiminde ve prognozunda subkondral kemik plağının olası rolünü içermektedir. Eklem kıkırdağından subkondral kemiğe uzanan lezyonları yeterince değerlendirmek ve tedavi etmek için subkondral kemik yapısının ve işlevinin derinlemesine anlaşılması gereklidir.

Anahtar sözcükler: osteoartrit; subkondral kemik; subkondral kemik plağı; eklem yapısı; eklem hastalıkları

The two main components of joints, cartilage and bone, work together to carry out a mechanical task. While the cartilage serves as a bearing in the joint surface, the bone serves as a structural beam and a shock absorber. Any change in the mechanical characteristics of the tissues that are next to each other has an impact on them all. With growing interest has been shown in the realization that common joint pathologies like osteoarthritis are diseases of the osteochondral unit, which is formed by the cartilage underlying bone tissue, rather than just diseases of the cartilage. In addition to cartilage damage, there are structural changes such as osteophytes and bone cysts, and sclerotic changes in subchondral bone. These sclerotic changes and progressive cartilage destruction are considered to be symbols of osteoarthritis. The pathogenesis of other joint diseases, such as osteochondral defect or osteonecrosis, is being reconsidered. This includes the potential role of the subchondral bone plate in diagnosis, treatment, and prognosis.

Key words: osteoarthritis; subchondral bone; subchondral bone plate; joint structure; joint disease

Osteoartrit (OA) uzun yıllardır eklem kıkırdağının birincil bozukluğu olarak kabul edilmektedir. Diğer yandan son yıllarda subkondral kemikteki değişikliklerin OA'nın fizyopatolojisine katkısı ilgi uyandırmaktadır.^[1] Osteokondral defekt veya osteonekroz gibi diğer eklem hastalıklarının patogenezinin yeniden ele alınması; eklem hastalığının değerlendirilmesinde, yönetiminde ve prognozunda subkondral kemik plağının olası rolünü içermektedir.^[2] Dizin eklem kıkırdağıyla onun altındaki subkondral kemik arasında karmaşık bir etkileşim vardır. Subkondral kemiğin rolü, kıkırdak restorasyon tekniklerinin sonuçlarıyla, menisküs pato-

lojisi ve OA ile yakından ilişkilidir.^[3] Eklem kıkırdağından subkondral kemiğe uzanan lezyonlarının etkince tedavi edilmesi için subkondral kemik anatomisi ve morfolojisinin derinlemesine anlaşılması gereklidir.

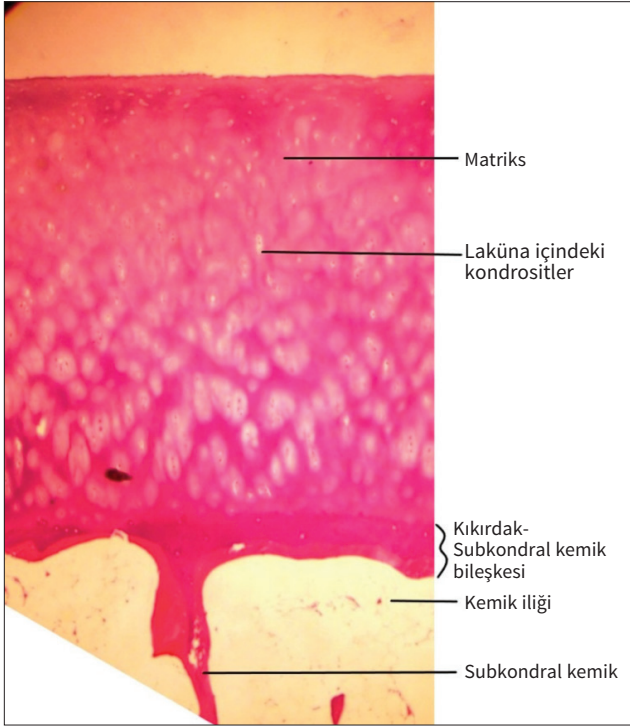
SUBKONDRAL KEMİK YAPISI

Eklem kıkırdağı; yüzeysel zon, geçiş (orta) zon, derin zon ve kalsifiye kıkırdak zonu olarak dört tabakaya ayrılır. En derin katmanda, hiyalin kıkırdağı kortikal yapıdaki subkondral kemikten ayıran kalsifiye kıkırdak tabakası bulunur. Kıkırdak ve subkondral kemik ilişkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Her ne kadar "subkondral

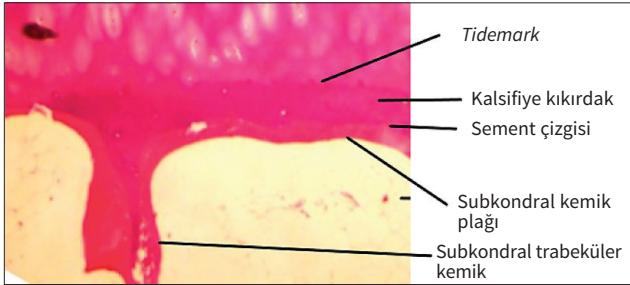
İletişim / Contact: Dr. Öğr. Üyesi Tolga Keçeci • **E-posta / E-mail:** tolgakececi@hotmail.com

ORCID iD: Tolga Keçeci, 0000-0001-7313-0920

Geliş / Received: 14 Ekim 2022 • **Revizyon / Revised:** 12 Aralık 2022, 3 Ocak 2023 • **Kabul / Accepted:** 5 Ocak 2023



Şekil 1. Kıkırdak ve subkondral kemiğin histolojik görüntüsü (hematoksilin-eozin boyama).



Şekil 2. Subkondral kemik plağı ve trabeküler kemiğin histolojik yapısı (Hematoxilen-eozin boyama).

kemik” birçok yolla tanımlanmış olsa da bu terim genellikle kalsifiye kıkırdığın distalinde yatan kemik bileşenler için kullanılır.^[2,4] Subkondral kemik iki ayrı anatomik yapıya ayrılabilir: Subkondral kemik plağı ve subkondral trabeküler kemik (Şekil 1,2).

Subkondral Kemik Plağı: Kalsifiye kıkırdığın hemen altında yer alan kortikal kemik tabakasıdır.^[5] Bu kortikal plak, belirgin gözenekli yapısı sayesinde geçirgen özelliklere sahiptir. Plağın eklem tarafında, plakla kıkırdak arasındaki temas noktasına yakın, radyolojik olarak çevreleyen kıkırdaktan daha yoğun olan belirgin bir mineralize kıkırdak bandı vardır. Histolojik çalışmalarda bu band, *tidemark* (gelgit çizgisi) şeklinde görülür ve adlandırılır.^[6] Kıkırdak altındaki subkondral kemiğin girintili çıkıntılı düzensiz yapısına uyarak bir yapboz gibi

yapışır. Bu sayede üzerine gelen makaslama, sıkıştırma ve çekme kuvvetlerinin dönüştürülmesini ve olumsuz etkilerin azaltılmasını sağlar.^[7] Kıkırdak ile subkondral kemiğin teması histolojik kesitlerde sement çizgisi şeklinde görülür (Şekil 2).

Subkondral kemik plağı, eklem kıkırdağıyla subkondral trabeküler kemiğin arasında yer alır ve bu iki yapıyla doğrudan bağlantı sağlayan kanallarla kaplanmıştır. Şaşırtıcı derecede yüksek sayıda sinir, arter ve venöz damar kanallara nüfuz ederek minik dalları kalsifiye kıkırdağa gönderir.^[7] Hiyalin kıkırdağın kanlanması çoğu bu damarlardan gelir. Kanalların dağılımı ve yoğunluğu sadece yaşlanmaya değil, aynı zamanda eklem arasındaki kıkırdak ve subkondral kemikten geçen sıkıştırıcı kuvvetlerin büyüklüğüne de bağlıdır.^[2]

Tekrarlayan aşırı yüklenme, kortikal uç plak ve kalsifiye kıkırdak dahil olmak üzere subkondral bölgede öncelikle vasküler ve kemik değişikliklerine (mikro çatlaklar) yol açar. Onarıcı değişiklikler (granülasyon dokusu) yüksek subkondral vaskülarizasyon, metabolizma ve iyileşmeyle sonuçlanır. Yaşlanmayla subkondral vaskülarizasyon ve metabolizma azalır, onarım gerçekleşmez.^[7]

Subkondral Trabeküler Kemik: Subkondral kemik plağından kaynaklanan, daha derin kemik yapısıyla birlikte subkondral trabeküler kemik içeren destekleyici trabeküllerdir.^[2] Subkondral trabeküler kemik, normal eklemlerde önemli şok emici ve destekleyici işlevler gösterir ve ayrıca kıkırdak beslenmesi ve metabolizması için önemli olabilir.^[8]

Subkondral trabeküler kemik bölgesi düzensiz kalibrli ve düzensiz dağılımlı sinüzoidlerle biten birçok arteriyel terminal dalı içerir.^[9] Kalsifiye kıkırdağa kadar uzanan kanallarla iletişim kurulmasında rol oynar.

SUBKONDRAL KEMİĞİN FİZYOLOJİSİ

Eklem kıkırdağı ve subkondral kemik arasındaki yakın temas düşünüldüğünde, osteokondral bileşke adı verilen yakından birleştirilmiş bir fonksiyonel birim oluştururlar^[1-3] (Şekil 2). Subkondral kemik ve kıkırdak dokuları artan mekanik yüke karşı ortak ancak farklı derecelerde yapısal ve işlevsel yanıtlar oluşturur. Subkondral kemik, kıkırdağı alttan destekler, stres ve gerginliğin kademeli geçişini sağlayarak mekanik yükü tüm yüzeye dağıtır. Kıkırdak dokusundaki kondrositler daha sınırlı ve yavaş olsa da işlevsel durumlarını ve yapısal özelliklerini değiştirirler. Kıkırdak ve subkondral dokudaki bu dengeğin bozulması OA gelişimine katkıda bulunur.^[10]

Subkondral kemik bozulması sıklıkla eklemdeki kıkırdak defektleriyle ilişkilidir ve subkondral kemik sklerozu ilerleyici kıkırdak yıkımıyla birlikte OA'nın bir simgesi ola-

rak kabul edilmektedir.^[2,4,11] Subkondral kemikte bazı histopatolojik değişiklikler de saptanmıştır. Bunlar arasında mikro-yarık, kemik iliği lezyonları (KİL) ve subkondral kemik kistleri (SKK) yer almaktadır.^[12,13]

Osteoartrite, kıkırdak hasarının yanı sıra subkondral kemikte sklerotik değişikliklerle, osteofit formasyonu ve kemik kistleri gibi yapısal değişiklikler meydana gelir.^[14] Artrozlu hastalarda ağrıyla güçlü bir şekilde ilişkili olan KİL, ilerleyici OA'lı hastalarda sıklıkla manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile tanımlanır.^[15] Kemik iliği lezyonları normal olarak sklerotik subkondral kemik bölgesinde, artmış bölgesel kemik hacmi ve artmış trabeküler kalınlıkla birlikte bulunurlar.^[16] Kemik iliği lezyonları ayrıca, KİL'nin önceden var olan bölgelerinde gelişebilen SKK ile yakın bir ilişkiye sahiptir. Kemik iliği lezyonları ve SKK gibi histopatolojik değişiklikler de OA'nın ilerlemesi ile ilişkilidir.^[17]

Sonuç olarak, subkondral kemik plakası kalınlık, yoğunluk, vaskülarite, biyokimyasal bileşim ve mekanik özelliklerle ilgili önemli topografik farklılıklar sergiler. Bu özelliklerin dağılımı ya da dengesi bozulduğunda, ortaya geri dönülemez yapısal değişikliklerle birlikte dejeneratif eklem hastalığı çıkar. Ortopedi ve travmatoloji uzmanları için, her tip subkondral kemik lezyonu ve doğal seyri hakkında özel bilgi ve anlayış, bir osteokondral defektte başvuran bir hasta için optimal tedaviyi seçmek açısından önemlidir. Hayvan modellerinde, insanlarda ek araştırmalarla birlikte subkondral bölgenin temel özellikleri ve patofizyolojisinin daha iyi anlaşılması, subkondral kemikten kaynaklanan veya subkondral kemiğe uzanan kıkırdak kusurlarının onarımı için gelişmiş stratejilere dönüşecektir.

KAYNAKLAR

1. Suri S, Walsh DA. Osteochondral alterations in osteoarthritis. *Bone* 2012;51(2):204-11. [Crossref](#)
2. Madry H, van Dijk CN, Mueller-Gerbl M. The basic science of the subchondral bone. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010;18(4):419-33. [Crossref](#)
3. Saltzman BM, Riboh JC. Subchondral bone and the osteochondral unit: Basic science and clinical implications in sports medicine. *Sports Health* 2018;10(5):412-8. [Crossref](#)
4. Burr DB, Gallant MA. Bone remodelling in osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol* 2012;8(11):665-73. [Crossref](#)
5. Li G, Yin J, Gao J, Cheng TS, Pavlos NJ, Zhang C, et al. Subchondral bone in osteoarthritis: Insight into risk factors and microstructural changes. *Arthritis Res Ther* 2013;15(6):223. [Crossref](#)
6. Lyons TJ, Stoddart RW, McClure SF, McClure J. The tidemark of the chondro-osseous junction of the normal human knee joint. *J Mol Histol* 2005;36(3):207-15. [Crossref](#)
7. Imhof H, Breitenseher M, Kainberger F, Rand T, Trattnig S. Importance of subchondral bone to articular cartilage in health and disease. *Top Magn Reson Imaging* 1999;10(3):180-92. [Crossref](#)
8. Castañeda S, Roman-Blas JA, Largo R, Herrero-Beaumont G. Subchondral bone as a key target for osteoarthritis treatment. *Biochem Pharmacol* 2012;83(3):315-23. [Crossref](#)
9. Imhof H, Sulzbacher I, Grampp S, Czerny C, Youssefzadeh S, Kainberger F. Subchondral bone and cartilage disease: a rediscovered functional unit. *Invest Radiol* 2000;35(10):581-8. [Crossref](#)
10. Goldring MB, Goldring SR. Articular cartilage and subchondral bone in the pathogenesis of osteoarthritis. *Ann N Y Acad Sci* 2010;1192:230-7. [Crossref](#)
11. Henrotin Y, Pésesse L, Sanchez C. Subchondral bone and osteoarthritis: Biological and cellular aspects. *Osteoporos Int* 2012;23 Suppl 8:S847-S851. [Crossref](#)
12. McErlain DD, Ulici V, Darling M, Gati JS, Pitelka V, Beier F, et al. An in vivo investigation of the initiation and progression of subchondral cysts in a rodent model of secondary osteoarthritis. *Arthritis Res Ther* 2012;14(1):R26. [Crossref](#)
13. Felson DT, McLaughlin S, Goggins J, LaValley MP, Gale ME, Totterman S, et al. Bone marrow edema and its relation to progression of knee osteoarthritis. *Ann Intern Med* 2003;139(5 Pt 1):330-6. [Crossref](#)
14. Martel-Pelletier J. Pathophysiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2004;12 Suppl A:S31-S33. [Crossref](#)
15. Zhao J, Li X, Bolbos RI, Link TM, Majumdar S. Longitudinal assessment of bone marrow edema-like lesions and cartilage degeneration in osteoarthritis using 3 T MR T1rho quantification. *Skeletal Radiol* 2010;39(6):523-31. [Crossref](#)
16. Hunter DJ, Gerstenfeld L, Bishop G, Davis AD, Mason ZD, Einhorn TA, et al. Bone marrow lesions from osteoarthritis knees are characterized by sclerotic bone that is less well mineralized. *Arthritis Res Ther* 2009;11(1):R11. [Crossref](#)
17. Carrino JA, Blum J, Parellada JA, Schweitzer ME, Morrison WB. MRI of bone marrow edema-like signal in the pathogenesis of subchondral cysts. *Osteoarthritis Cartilage* 2006;14(10):1081-5. [Crossref](#)