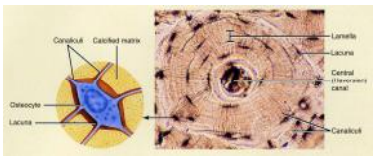
KEMİK DOKUSU

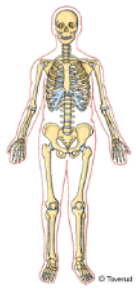
Kemik Dokusunun Görevleri

- Destek dokular arasında gerçek anlamda destekleme görevi yapan dokudur.
- Organizmaya biçim verir, yükünü taşır.
- Kemik dokusu da hücreler, ara madde (matriks) ve fibrillerden oluşmasına karşın; doku, hücre dışı öğelerinin kalsifikasyonu ile iskelette destekleyici ve koruyucu bir işleve sahiptir.
- Kemik matriksinde kalsiyum karbonat ve kalsiyum fosfat gibi mineral tuzları ve bol miktarda kollajen fibril bulunur.



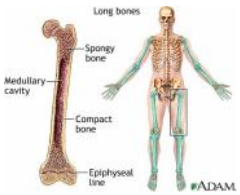
Kemik Dokusunun Görevleri

- Kas ve tendonların tutunma yerleri olan kemikler, hareket etmeye yardımcı olur.
- Kıkırdaklı balıklar dışında diğer bütün omurgalılarda iç iskeleti meydana getiren dokudur.
- Vücudun iç organlarının, baş ve göğüs boşluğundaki organların ve kemik iliğindeki kan hücrelerinin korunmasından sorumludur.
- Vücudumuzdaki en küçük kemikleri oluşturan çekiç, örs ve üzengi kemikleri ise ses iletiminden sorumludur.
- Bu mekanik işlevleri yanında organizmanın kalsiyum ve fosfor deposudur



Kemik Dokusunun Özellikleri

- Basınç, çekilme, eğilme ve bükülmelere karşı yüksek derecede dayanıklı olan kemik, aynı zamanda oldukça hafif bir materyalden oluşmuştur.
- Kemik, kaba şeklinden mikroskobik yapısına kadar tüm organizasyon seviyelerinde minimum ağırlık ve maksimum ekonomik materyalle çok büyük bir dayanıklılığa sahiptir.
- Dayanıklılığı ve sertliğine karşılık bireyin ömrü boyunca yıkılıp yeniden yapılan, canlı ve dinamik bir dokudur.
- Bütün bu özelliklere sahip olan bu kemik, cerrahi müdahalelerle şekli değiştirilebilen tek dokudur.

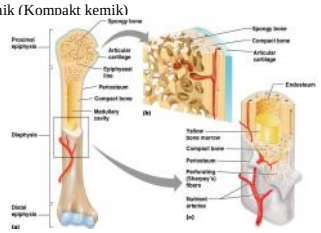


Atrofi ve Hipertrofi

- Kemiğin kullanılmaması sonucunda **atrofi** (zayıflama, körelme),
- aşırı kullanılması durumunda da kemik kütlesindeki artışla birlikte **hipertrofi** (anormal büyüme, irileşme) ortaya çıkar.

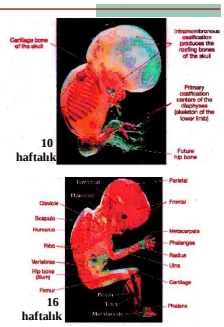
Kemik dokusunun sınıflandırılması

- Olgunlaşmamış kemik dokusu (birincil kemik dokusu)
- Olgun kemik dokusu (ikincil kemik dokusu)
  - Süngerimsi Kemik (Spöngiyöz kemik)
  - Sert Kemik (Kompakt kemik)

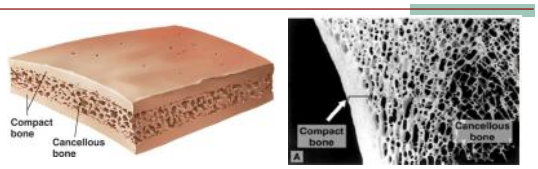


Olgunlaşmamış Kemik Dokusu

- Fötal gelişim ve kemik onarımı şırasında ilk oluşan kemik dokusudur. Bu yüzden birincil kemik dokusu da denir.
- Birim alana düşen hücre sayısı olgun kemikten daha fazladır.
- Hücrelerin sentezlediği kollajen fibriller de her yöne dağılarak doku içinde üç boyutlu âğlar oluşturur.
- Bu yüzden, bu kemiğe ağsı kemik ya da dokuma kemiği denir.
- Halbuki, olgun kemikte fibrillerin dağılımı kemik lameleri denen düzenli ince tabakaları oluşturur.
- Olgunlaşmamış kemik matrikşindeki zemin maddesi, olgun kemik matriksinden daha fazladır.



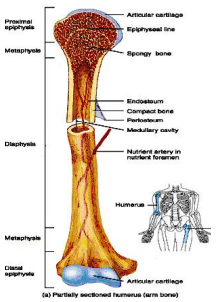
Olgun Kemik Dokusu



- Olgun kemik erişkinlerde, bulunur. Olgunlaşmamış kemik dokusunun yerini aldığından bu kemiğe, ikincil kemik dokusu da denir.
- Kollajen fibrillerin düzenli dağılmasına bağlı olarak gelişen ince kemik lamelleri olgun kemiğin kendine özgü lameller sistemine sahip olmasına neden olur.
- Daha az sayıda olan kemik hücreleri lameller üzerinde düzenli bir şekilde yer alır.
- Kalsiyum tuzları, hidroksiapatit kristalleri şeklinde kollajen fibriller üzerinde birikmiş olup, mineralizasyon tamamlanmıştır.
- Uzun, kısa, yassı ve düzensiz şekillerde olabilen olgun kemikler süngeringsi kemik ve sert kemik *(dolgun kemik)* olmak üzere iki tip kemik içerir.

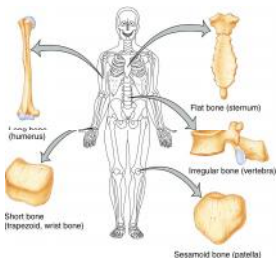
Kemiğin Makroskobik Yapısı

- Büyümekte olan hayvanların uzun kemiklerin uç kısımlarına **epifiz** denir.
- Kemiğin esas gövde kısmına **diyafiz**, epifizle diyafiz arasındaki en kalın trabeküllerin bulunduğu geçici bölgeye ise **metafiz** adı verilir.
- Femur (uyluk kemiği) ve humerus (üst kol kemiği) gibi uzun kemiklerin ortalarında içi kemik iliğiyle dolu bir boşluk bulunur. Sert kemikten yapılmış kalın duvarlı bu boşluğa **ilik boşluğu (medüllar boşluk)** adı verilir.



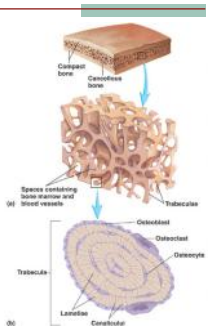
Kemiğin Makroskobik Yapısı

- **Uzun kemikler**
- **Yassı kemikler**
- **Kısa kemikler**
- **Düzensiz kemikler**
- **Sesamoid kemikler**

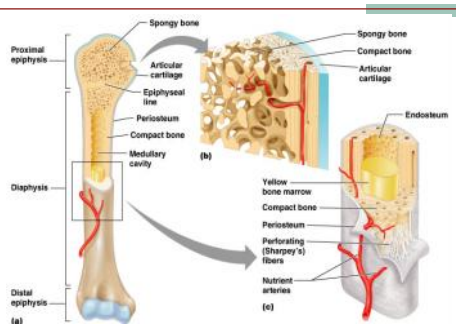


Süngerimsi Kemik

- Kısa ve uzun kemiklerin epifiz ve metafizi ile yassı kemiklerin iç kısımlarında yer alan süngerimsi kemik, bulunduğu yerlerde sert kemikten oluşmuş ince bir tabakayla örtülüdür.
- Süngerimsi kemik birbirleriyle ağızlaşan kemik trabeküllerinden oluşur. Bu görünümü ile süngere benzer.
- Trabeküllerde bulunan kemik lamelleri birbirine paralel seyreder.
- Trabeküllerin aralarında birbiriyle ilişkili labirent gibi düzensiz boşluklar vardır. İçleri kemik iliğiyle doludur.
- Bunlar gerekli olan maddeleri kemik iliğindeki damarlardan kanaliküller vasıtasıyla sitoplazmik uzantıları ile alırlar.



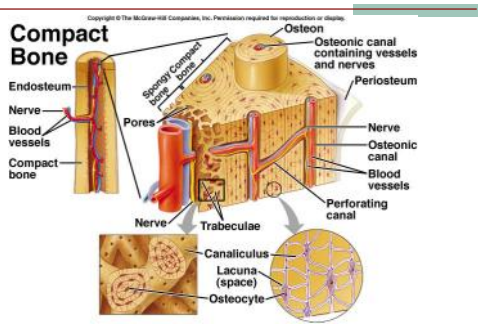
Olgun Kemik Dokusu



Sert Kemik

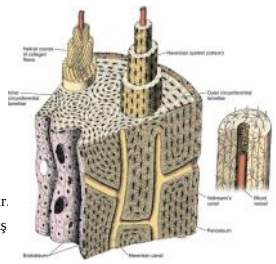
- Uzun kemiklerin gövde kısmı olan diyafiz sert kemikten oluşur.
- Organizmada bulunan tüm kemiklerin dış yüzeyleri sert kemikle kaplıdır.
- Kısa ve uzun kemiklerin eklem yüzeylerinde bulunan ince sert kemik tabakası eklem kıkırdağı ile örtülüdür.
- Çıplak gözle homojen ve dolgun yapıda olan sert kemiğin, mikroskopta düzenli yerleşim gösteren lamel ve kanal sistemleri içerdiği görülür.
- Kemik hücreleri lameller üzerinde bulunur. Bu hücreler, ince kanalcıklar aracılığıyla hem birbirleriyle hem de damar içeren kanallarla ilişki kurar.

Sert Kemik



Sert Kemik

- Kompakt kemik her zaman sekonder kemik yapısındadır.
- Kollajen lifler 3-7 µm kalınlığında birbirine paralel ya da bir vasküler kanal etrafında dairesel olarak dizilmiş lameller halinde düzenlenmiştir.
- Kan damarlarını içeren bir kanalı saran, konsantrik dairesel lamellerin oluşturduğu yapıya **osteon (Havers sistemi)** denir.
- Bu kanallar **Havers Kanalı** adını alır.
- Osteositler lameller arasında sıkışmış lakün içinde yer alır.
- Kompakt kemikte bulunan bir başka kanal ise **Volkmann Kanalı**dır.

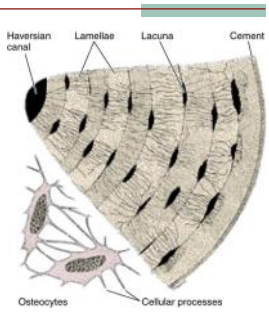


Kemiğin Mikroskobik Yapısı

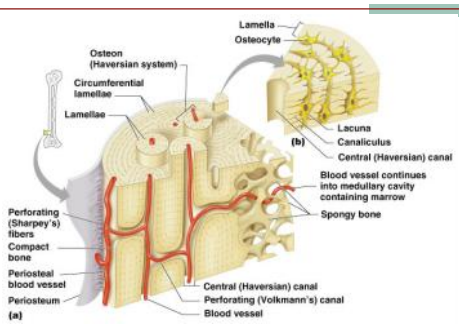
- Eğer uzun bir kemiğin gövde kısmından alman enine bir kesit mikroskop altında incelenirse kemik hücrelerinin, toplam kemik kütlesine göre oldukça az olduğu görülür.
- Diğer destek dokularında matriks sadece organik öğelerden meydana geldiği halde, kemikte hem organik hem de inorganik maddeler bulunur.
- İnorganik maddeler mineral tuzları halinde kemik matriksinde birikir. Organik maddelerin çok büyük bir kısmını kollajen fihriller oluşturur.
- Bu fibrillerin özel düzenlenmesine bağlı olarak matrikste oluşan kemik lamelleri üzerinde osteosit adı verilen kemik hücreleri bulunur.

Kemiğin Mikroskobik Yapısı

- Lakünler birbirleriyle **kanaliküli** adı verilen ince kanalcıklarla ilişki kurar.
- Kanaliküliler, hücrejerarası madde içine girip komşu lakünlerin kanalikülİgriyle ağızlaşır. Böylece birbirlerinden ayrı şekilde yer alan lakünler bu küçük kanalcıkların oluşturduğu ağ ile sürekli ilişki halinde bulunur.
- Bu dar geçitler kemik hücrelerinin beslenmesi için işlev görmektedir. Halbuki kıkırdakta besin maddeleri matrikste difüzyonla hücrelere ulaşır.
- Kemiğin zemin maddesinde kalsiyum tuzlarının birikimi böyle bir yayılmayı olanaksız kılar.



Kemiğin Mikroskobik Yapısı

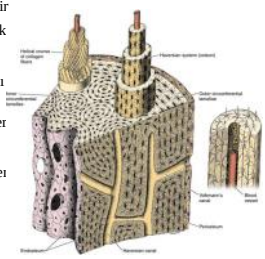


Olgun Kemik Dokularının Karşılaştırılması

- **Spongiyöz kemik**
  - Birbiriyle anastomozlaşan kemik lamellerinden oluşur.
  - Kemik iliği ile dolu düzensiz trabekülleri vardır
  - Lameller birbirine paralel seyirlidir
  - Kısa ve uzun kemiklerin metafiz ve epifizlerinin iç kısımları ile yassı kemiklerin iç yüzlerinde bulunur.
- **Kompakt kemik**
  - Mikroskobik kanalları vardır.
  - Kemik lamelleri özel yerleşim gösterir
  - Bütün kemiklerin dış yüzlerinde bulunur.

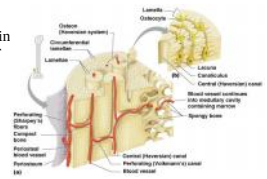
Kemik Kanalları

- Kemiğin içinde kan damarlarının dolaştığı kanallara kemik kanalları denir
- Havers ye Volkmann kanalları olarak ik çeşittir ve sadece sert kemikte bulunur. Havers kanalları sert kemiğin uzun eksenine paralel yerleşim gösterir. Çapı 20-110 mikron arasında değişir.
- Gevşek bağ dokusu ile astarlanan Haver kanalında bir veya iki kan damarı bulunur. Bu damarlar çoğunlukla kapiller (kılcal damarlar) ve postkapiller venüllerdir; nadiren arterioller de bulunabilir.
- Enine kesitlerde yuvarlak boyuna kesitlerde uzun borucuklar şeklinde görülür.



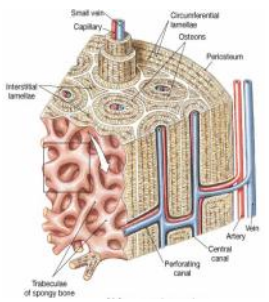
Kemik Kanalları

- Havers kanalları kendirline dikey veya eğik yönde seyreden Volkmann kanalları aracılığıyla birbirleriyle sürekli ilişki kurar.
- Volkmann kanalları, kemiğin enine yerleşim gösteren kanallarıdır. Kemiğin periosteumundan endosteumuna kadar uzanır.
- Kemiğe giren damarlar ve sinirler, Volkmann kanalları ile içteki kemik dokusuyla ilişki kurar.
- Kemik hücreleri, bu kanalların içinde bulunan kan damarlarının getirdiği besin maddeleriyle beslenir.
- Havers kanalları etrafında iç içe yerleşmiş kemik lamelleri varken; Volkmann kanalları etrafında bu lameller bulunmaz.



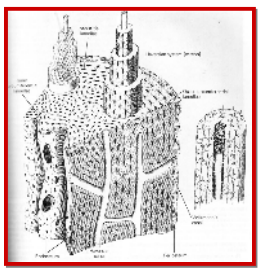
Kemik lamelleri

- **Havers lamelleri:** Havers kanalı etrafında (osteon-havers sistemi)
- **İnterstisyel (ara) lameller:** Osteonların aralarında
- **Sirkumferensiyal lameller:** Kemik yüzeylerinde (iç ve dış dairesel lameller) bulunurlar.



Havers Sistemi (Osteon)

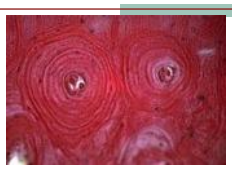
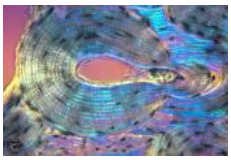
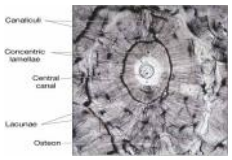
- Sert kemiğin uzun eksenine paralel duran Havers kanalları etrafında iç içe yerleşmiş kemik lamelleri, yan yana duran silindirik birimler oluşturur.
- Kemiğin içindeki bu silindirik birimlere **Havers** sistemi veya **osteon** denir.
- Genişlikleri, 4 ile 20 lamelden oluşma durumuna göre değişebilir.
- Enine kesitlerde Havers sistemi, ortadaki Havers kanalı etrafında iç içe yerleşmiş halkalar şeklinde görünür. Uzunlamasına kesitlerde ise, damar kanallarına paralel, aralıklı bantlar şeklinde görünür.



Havers Sistemi (Osteon)



Sert Kemik

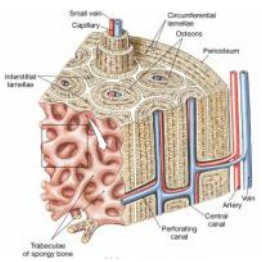





Ara Lamel Sistemi

- Havers sistemleri aralarında değişik büyüklükte düzensiz şekilli ve köşeli lamelli kemik alanları vardır.
- Bu alanlara **ara lamel sistemi** *{intersitisyel sistem)* adı verilir.
- Havers sistemi ve ara lamel sisteminin sınırları **yapıştırıcı çizgi** denilen keskin bir hat ile birbirinden ayrılır.
- Enine kesitlerde sert kemiğin içi, düzenli yuvarlak ve düzensiz köşeli bölgelerden oluşmuş bir mozaik şeklinde görünür.

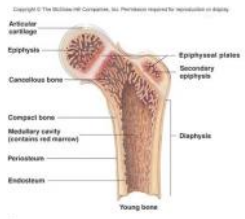
Dış ve İç Çevresel Lamel Sistemi

- Sert kemiklerin dış (periosteumun hemen altı) ve iç (endosteum hemen altı) yüzleri üçüncüdür lamellerle çevrilidir. Bu lameller kemiğin gövdesinin dışında ve içinde iç içe daireler şeklinde uzanır. Bu lamellere dış ve iç çembersel lameller adı verilir.
- Süngerimsi kemik dokusu da lamellerden oluşmuştur. Ancak, bu lameller sert kemik dokusunda olduğu gibi düzenli yapı göstermez. Süngerimsi kemik ince trabeküllerden oluştuğundan, bunların içinde Havers ve Volkmann kanalları bulunmaz.

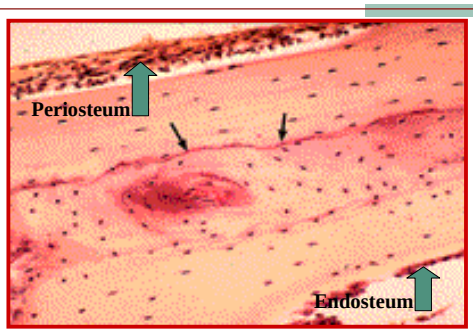


Kemik Zarları (Periosteum ve Endosteum)

- Kemikler, eklem kıkırdaklarıyla örtülü olan uç kısımları hariç periosteum denen osteojenik potansiyele {kemik oluşturma özelliği) sahip, sıkı bag dokusu tabakasıyla örtülüdür.
- Periosteumda kan damarları, lenf damarları ve duyu sinirlerinden oluşan yoğun bir ağ bulunur. Lenf damarları sadece periosteumda bulunur. Kan damarları kemiğin içerisine Volkmann kanalları aracılığıyla girer, Havers kanalları aracılığıyla kemiğin içinde her yöne gider.
- Duyu sinirleri de kemiği besleyen atardamarlarla birlikte kemiğin içine girerek endosteumu, ilik boşluğunu ve epifiz bölgelerini sinirlendirir.

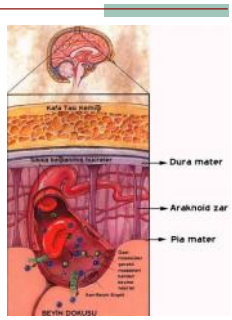


Kemik Zarları (Periosteum ve Endosteum)

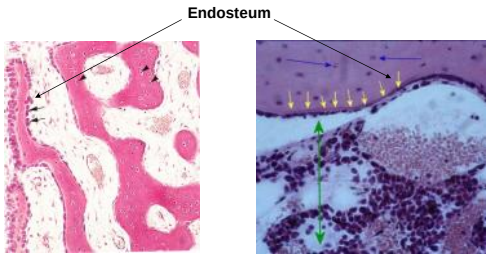


Kemik Zarları (Periosteum ve Endosteum)

- Kafatasının yassı kemikleri süngerimsi kemikten oluşmuştur.
- Diplö (diploe) denilen ve kalınlığı değişebilen süngerimsi kemik, iç ve dış tarafta sert kemik tabakalarıyla örtülüdür.
- Kafatasının dış yüzeyindeki periosteuma **perikraniyum,** iç yüzeydeki periosteuma **dura mater** adı verilir.
- Diyafizin ilik boşluğu ve süngerimsi kemiğin boşlukları endosteum denen ince hücresel tabaka ile örtülüdür.
- Kemikte bulunan tüm boşluklar, Havers kanalları, Volkmann kanalları ve süngerimsi kemiğin ilik boşlukları tamamen endosteum ile örtülüdür

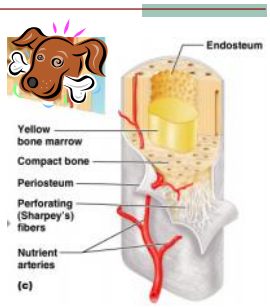


Endosteum



Kemik Zarları (Periosteum ve Endosteum)

- Periosteumun dış tabakasından çıkan kalın kollajen fibril demetleri, içeride kemiğin dış çembersel lamellerine ve ara lamel sistemine kadar girer.
- Bu fibrillere Sharpey fibrüleri veya delici fibriller adı verilir.
- Düzensiz birçok kanalı işgal eden bu fibriller kemik lamellerine dikey ve yatay seyrederek ulaşır.
- Sayıları vücu-dun farklı bölgelerinde değişiklik gösterir.
- Kemikte, Sharpey fibrillerine ek olarak çok az sayıda elastik fibril de vardır.
- Sharpey fibrilleri, Periosteumun alttaki kemiğe tutunmasını sağlar.

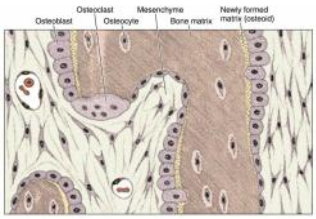


Kemik Zarları (Periosteum ve Endosteum)

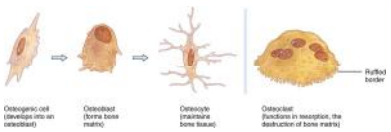
- **Periosteum**
  - Özellikle gelişme döneminde 2 katlıdır.
  - Dış kat fbroblastlardan ve sıkı bağ dokudan iç kat ise periostal hücreler(osteoprogenitor) oluşturur.
  - Periosteum damardan zengindir. Bu damarların bir kısmı kemik dokunun içlerine gider
  - Olgun kemiklerde periosteomun dış katından ayrılan kollagen iplikler (Sharpey iplikleri) kemik dokusuna girerek dış sirkumferensiyal lamelleri oluşturarak periosteumu kemiklere sıkıca bağlarlar.
- **Endosteum**
  - Kompakt kemiğin iç yüzünü ve süngerimsi kemiğin trabeküllerini kaplar.
  - Kemik iliği dokusunun devamı olup retikuler bağ dokudan yapılmıştır.
  - Kemik dokuya dönük kısmında tek sıralı endostal hücreler (osteoprogenitor) bulunur
  - Kemik yapım ve yıkımında bu hücreler devamlı bölünerek osteoblastlara dönüşürler

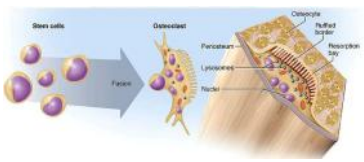
Kemik Dokusunun Yapısal Elemanları

- **HÜCRELER**
  - Osteoprojenitör hücre
  - Osteoblast
  - Osteosit
  - Osteoklast
- **LİFLER**
  - Kollajen tip I
- **AMORF ARA MADDE**
  - Organik komponent
  - İnorganik komponent



Kemik Dokusu Hücrelerinin Oluşumu



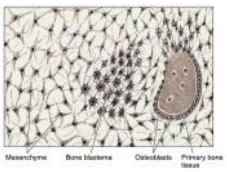


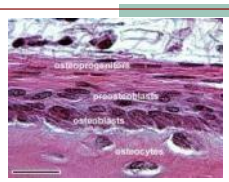
Osteoprogenitor Hücreler



- Diğer destek dokular gibi, kemik dokusu da embriyonik mezenşimden gelişir.
- Doğum sonrası yapı ve işlev bakımından farklılaşmamış hücre topluluklarına sahiptir.
- Bu hücrelere osteoprogenitor veya osteojenik hücreler denir. Bunlar kemik hücresi olma yönünde koşullanmış mezenşim hücrelerdir.
- Olgun (ikincil) kemiklerin zarlarında (periosteum ve endosteum), bu kemiklerin içerdikleri Havers ve Volkmann kanallarının örtüsünde ve büyüyen kemiklerin metafizindeki kıkırdak matriksinin trabeküllerinde bulunurlar.

Osteoprogenitor Hücreler



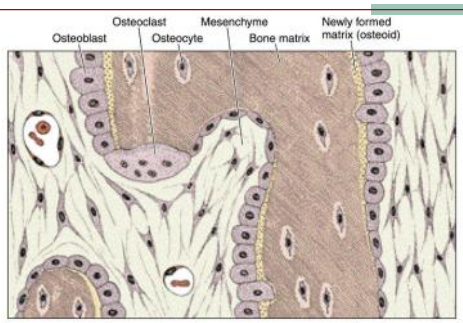


- Osteoprogenitor hücreler kemiklerin normal büyümesi sırasında aktiftir.
- Erişkinlerde de yukarıdaki söz konusu bölgelerde hareketsiz dururken; kemikte yaralanma ve kırıkların iyileşme bölgelerinde ve kemiğin içten yeniden düzenlenmesi sırasında aktive edilerek mitozla bölünüp çoğalırlar.
- Çoğalan bu hücrelerin bir bölümü kemiği oluşturan osteoblastlara dönüşür.
- Osteogenez (kemik yapımı) durduğunda osteoblastlara da osteoprogenitor hücrelere dönüşebilir.

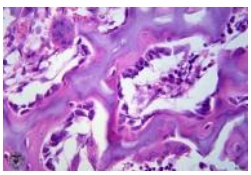
Osteoblastlar

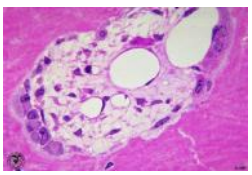
- Osteoblastlar kemik oluşumundan sorumlu hücrelerdir. Kemikleşme bölgelerinde, gelişmekte olan kemiklerin periosteumunun kemiğe temas eden derin bölgelerinde diziler halinde bulunurlar.
- Osteoblastlar yüksek metabolik aktiviteye sahip hücrelerdir.
  - Çekirdekleri ökromatin özellikte ve büyük olup, genellikle hücrenin kemik yüzeyinden uzak olan kısmında yer alır. Sitoplazmaları granüllü endoplazmik retikulumca zengindir. Çok iyi gelişmiş Golgi kompleksi, çekirdek ile hücrenin tabanı arasında yer alır. Mitokondrileri uzun ve oldukça fazla sayıdadır
- Osteoblastlar yüksek seviyede alkalen fosfataz aktivitesi gösterirler. Bu da kemik matriksinde kalsiyum depolanmasını osteoblastların düzenlediğini gösterir.
- Bu hücreler kemik matriksinin organik kısmını yani kollajen fibrilleri, proteoglikanları, glikozaminoglikan ve glikoproteinleri salgılar. Henüz kireçleşmemiş olan bu tür organik maddeye osteoit denir.

Kemik Dokusu Hücreleri



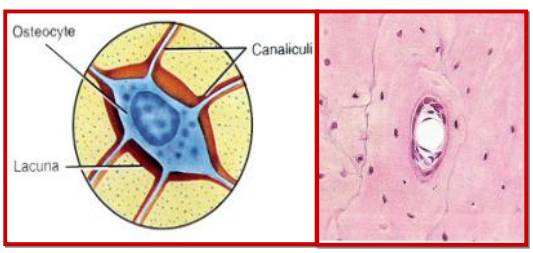
Kemik Dokusu Hücreleri



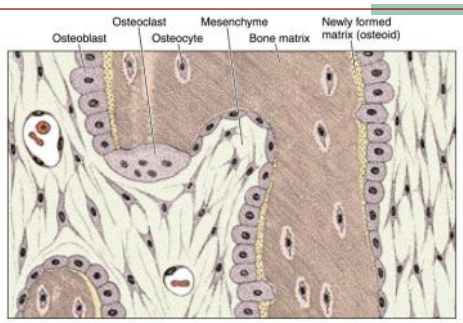


Osteositler

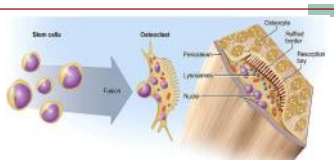
- Kalsiyum tuzlarının birikmesiyle kireçleşmiş kemik matriksi içinde hapsolan osteoblastlara osteosit denir. Dolayısıyla osteositler, tamamen olgunlaşmış kemik hücrelerdir.
- Yassı şekilde bir yapıya sahip olan bu hücreler ince sitoplazmik uzantılara sahiptir. Bu uzantılar kanaliküli denilen küçük kemik kanalcıkları içinden geçerek komşu osteositlerinkiyle ilişki kurar.
- Osteositlerin kemiğin diğer hücre tiplerine dönüşebilme özelliği vardır.
- Öyleki kemik yıkımı sırasında içinde bulundukları lakünlerden dışarı çıkınca hemen dinlenme halindeki osteoprogenitor hücrelere, bunlar da osteoblastlara dönüşebilir.
- Osteoliz olayı aktif fizyolojik bir olay olup, osteosit etrafındaki kemik matriksinin değişime uğratılması ve kemik tuzlarının geri emilmesidir



Kemik Dokusu Hücreleri

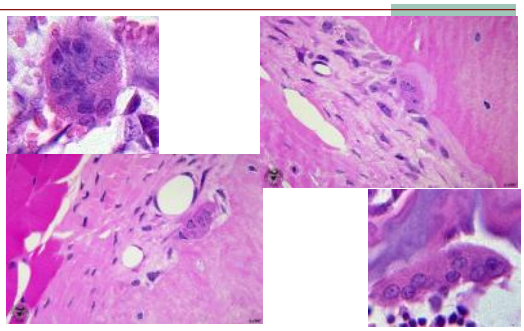


Osteoklastlar

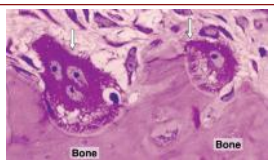


- Kemiğin yeniden biçimlenme süresince çözünüp çevre dokularca emilmesinden sorumlu çok çekirdekli hücreler olan **osteoklastlar,** monositlerin birleşmesiyle meydana gelir.
- Kökeni ve işlevi göz önüne alındığında makrofajlara çok benzerler.
- Özellikle kemik yıkımının olduğu bölgelere yakın bulunan, 20-100 m çapında ve 50'ye yakın çekirdeği olabilen dev hücrelerdir.
- Kalsiyumun kemik dokusundan kana salınmasında aktif rol oynayarak, vücut sıvılarında kalsiyum derişiminin homeostatik düzenlemesinde çok önemli rol oynar .
- Osteoklastlann yer aldığı kemik yüzeyindeki sığ çukurla-ra **Howship çukurları** adı verilir.

Kemik Dokusu Hücreleri



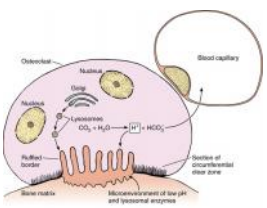
Osteoklastlar



- Kemik yıkımından aktif olarak sorumlu olan osteoklastlarda çok belirgin bir kutuplaşma göze çarpar.
- Çekirdekler daha çok hücrenin dış yüzeyine yani düzgün hatlı kısmına yakın yer alırken, kemiğin yıkımından sorumlu olan tarafta hücre zarı girintili ve çıkıntılı bir hal alır.
- Buraya **dantel kenar** adı verilir. Hücre zarının içeri yaptığı derin girinti ve dışarıya yaptığı uzun çıkıntılarla osteoklastın tipik görüntüsü ortaya çıkar.
- Osteoklastların dantel kenarının işlevi kemik yıkımı ile ilişkilidir.

Osteoklastlar

- Kandaki kalsiyum seviyesinin düzenlenmesi, kemikte birbirine zıt çalışan iki hormonla kontrol edilir. Bunlar paratiroit bezinden salgılanan parathormonu ve tiroit bezinden salgılanan kalsitonindir.
- Parathormonu kemik yıkımını uyararak kalsiyumun kemikten kana geçmesine neden olurken, kalsitonin kalsiyumun kemikten ayrılmasını baskılar.
- Parathormonu kemiğe ulaştığında osteosit, osteoklast ve etrafındaki kemik matriksi üzerine mikroskopta görülebilen bir etki yapar.



İnorganik Komponent

- Kuru ağırlığının % 65'ini oluşturur.
- Kalsiyum fosfat (%85)
- Kalsiyum karbonat (%10),
- Kalsiyum florid, magnezyum florid, hidroksit ve sulfat bileşikleri ile sodyum ve potasyum oluşturur.
- Kalsiyum ve fosfor **hidroksiapatit** kristallerini oluştururlar.

Organik Komponent

- Kuru ağırlığının % 35'ini oluşturur.
- Kollajen tip I %90-95'i
- Glikozaminoglikanlar
  - Kondroitin sülfat
  - Keratan sülfat
  - Hiyaluronik asit
- Proteoglikanlar ve agregatları
- Glikoproteinler
  - Osteonektin
  - Osteokalsin
  - Osteopontin
  - Kemik sialoproteini

Zemin maddesi

- Kemik matriksi iki esas öğeden oluşmuştur. Bunlardan birisi organik matriks, diğeri ise inorganik matrikstir.
- Kemiğin % 67'sini inorganik bileşenler (kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum, karbonat ve fosfat), % 33 ünü ise organik bileşenler oluşturur.
- Erişkin memelilerde, organik bileşenlerin % 95'i kollajendir.
- Kemik matriksinin zemin maddesi glikozaminoglikanlar (kondroitin sülfat, keratan sülfat ve hiyaluronik asit), osteokalsin, osteonektin ve osteopontin gibi küçük glikoproteinler ve birkaç sialoproteinden oluşur.

Kollagen

- Kemikteki kollajen, bağ dokusundakine benzer. Organik kemik matriksinin temel yapısal birimini oluşturan kollajeni çoğunlukla tip I kollajen, daha az miktarda tip V kallojendir.
- Çok sert olmasına karşın, kemiklerin kolay kırılmamasını saglayan ögeler bu kollajen fibrillerdir. Kollajen fibriller, hidroksiapatit kristallerinin birikmesi için organik çerçeve görevi görür.
- Bu kristaller, kollajen fibriller üzerinde minik tabakalar ve çubukçuklar oluşturacak şekilde birikir.
- Protein-kristal kombinasyonu kemiğin güçlü, yerine göre esnek ve kırılmaya çok dayanıklı sağlam bir doku olmasına yol açar.

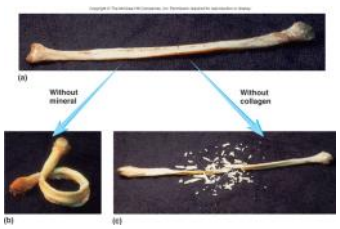
Kemiğin İnorganik Kısmı

- Kemik dokusuna inorganik maddeler sertlik kazandırır. İnorganik maddelerin başında % 85'lik bir payla kalsiyum fosfat bunu %10 ile kalsiyum karbonat takip eder.
- Ayrıca, az miktarlarda olmak üzere kalsiyumflorit, magnez-yum florit, magnezyum hidroksit ve magnezyum sülfat bileşikleri bulunur. Bundan başka sitrat iyonları ve karbonat iyonları da yer alır.
- Bebeklerde ve çocuklarda, D vitamini eksikliğine bağlı olarak ortaya çıkan ve kemik büyümesinde bozukluğa neden olan raşitizm hastalığında, kemiklerin sertliğini sağlayan kalsiyum fosfatın yeterince birikmemesi nedeniyle kemikler yumuşar, basınç altında kolayca bükülür ve büyümesi durur.

Kemiğin İnorganik Kısmı

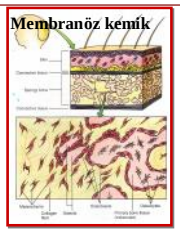
- Kemik, zayıf asitler veya şelat yapan ajanlarla muamele edilirse, inorganik tuzlar kemikten ayrılır. Böylece, minerallerinden yoksun olan kemik sertliğini yitirir; ancak sağlam ve bükülebilir özelliğe sahip olur.
- Organik maddeler kemikten arındırılırsa da kaba yapı yine korunur.
- Bir dereceye kadar mikroskobik yapıda da değişiklik olmaz; ancak gerilme direncinin çoğunu yitiren kemik bir porselen gibi çok kolay kırılabilir hale gelir.
- Bütün bunlardan anlaşıldığı gibi, kemiğin sertliği inorganik öğelerine; yüksek seviyedeki dayanıklılığı ve esnekliği ise başta kollajen olmak üzere organik matrikse bağlıdır.

Kemik dokusundaki mineral ve kollagen moleküllerinin fonksiyonu

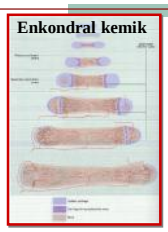


Kemik Oluşumu (Osteogenez)

Membranöz kemik



Enkondral kemik

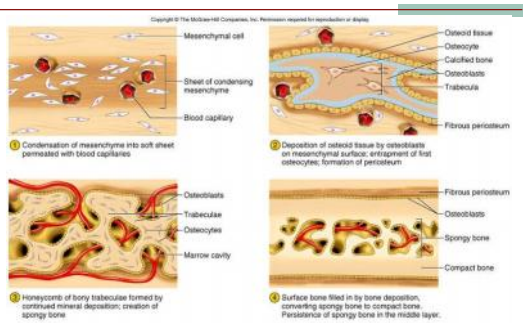


- **İntramembranöz kemikleşme:** Kafatasının yassı kemikleri, mandibula ve maxillanın bazı kısımları bu tür kemikleşmeyle meydana gelir.
- **Endokondral kemikleşme:** Kısa ve uzun kemikler bu tür kemikleşmeyle meydana gelir.

Zarlararası Kemikleşme (İntramembranöz Kemikleşme)

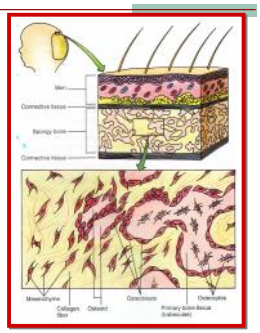
- Damardan zengin mezenkimal doku içinde oluşur.
- Mezenkimal hücreler osteoblastlara farklılanır ve kemik matriksi salgılamaya başlar.
- Oluşan primer kemik spikülleri ve trabekülleri anastomozlaşarak ağsı kemik dokuyu oluşturur.
- Kalsifikasyonun ardından matriks arasında kalan osteoblastlar osteositlere dönüşür.
- Çevredeki mezenkimal dokudaki indiferensiye hücreler çoğalarak osteoblastların kaynağı olan osteoprojenitör hücreleri oluşturarak kemik dokunun gelişimine katkıda bulunur.
- Kalsifiye olmayan çevre mezenkim periosteum ve endosteuma dönüşür.

Intramembranous Ossification



Zarlararası Kemikleşme

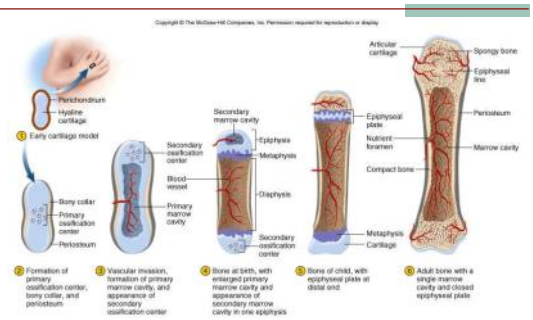
- Frontal {alın kemiği), parietal (üstkafa kemiği), oksipital (artkafa kemiği) ve temporal. (şakak kemiği) kemikler gibi kafatasının bazı yassı kemikleri ile mandibula (altçene kemiği) ve maksillanın (üstçene kemiği) bazı kısımları bu tür kemikleşme ile meydana gelir.
- Süngerimsi kemiğin sürekli kalacağı bölgelerde, trabeküller artık daha fazla devam etmez; damarlı bağ dokusu da yavaş yavaş kan hücrelerini üretecek olan hemopoietik doku haline dönüşür.



Enkondral (endokondral) kemikleşme

- Minyatür hiyalin kıkırdak modelin oluşumu, interstisyel ve apozisyonel yolla büyümesi
- Kıkırdak modelin yerini kemik dokunun alması;
  - Kıkırdak modelin merkezindeki kondrositlerin hipertrofisi,
  - Sitoplazmalarında glikojen birikmesi,
  - Lakünaların genişlemesi ve kıkırdak matriksin azalması,
  - Kıkırdak matriksin kalsifikasyonu,
  - Perikondriumda kemik yakalık oluşumu (intramembranöz kemikleşme ile)
  - Kondrositlerin dejenerasyonu ve ölümü,
  - Osteojenik tomurcukla birlikte bu alana gelen osteoblastların kemik matriksi salgılaması.

Stages of Endochondral Ossification



Uzun Kemiklerde Boyca Büyüme

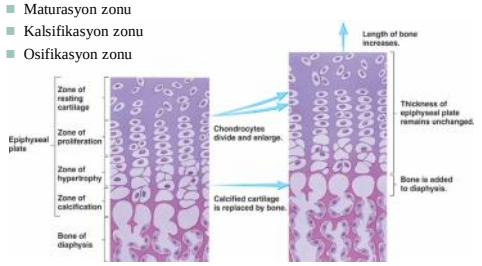
- Diyafizdeki birincil kemikleşme merkezinin ortaya çıkmasından sonra, kıkırdak modelin büyümesi sırasında epifize yakın bölgelerdeki kondrositler hiyalin kıkırdakta görülen küçük gruplar oluşturma yerine uzunlamasına kolonlar oluşturur.
- Epifiz tabakasında, epifizden diyafizin kemikleşme merkezine doğru sıralanırsa dört hücre tabakası bulunur.
- Bu tabakalar şunlardır:
  - Epifize en yakın olan üst sırada bulunan dinlenme bölgesi
  - Çogalma (proliferasyon)bölgesi
  - Hipertrofik bölge
  - dördüncü ve son tabaka diyafize en yakın tabaka olan kireçleşme bölgesidir

Uzun Kemiklerde Boyca Büyüme

1. **Epifize en yakın olan üst sırada bulunan dinlenme bölgesi**. Bu bölgede bulunan kıkırdak hücreleri çoğalmayan ve herhangi bir değişme göstermeyen dinlenmekte olan hücrelerdir. Bu hücreler kemiğin en dış ucuna katılarak **tutunma noktası** olarak işlevi görür
2. **Çoğalma (proliferasyon)bölgesi.** Mitoz bölünme geçiren kıkırdak hücrelerinden oluşur. Mitoz bölünme ve artan hücre aktivitesispnuçu tabaka kalınlaşır. Bu da epifiz plağının boyca büyümesine neden olur
3. **Hipertrofik bölge.** Daha yaşlı, genişlemiş hücrelerin bulunduğu ve kalsiyum depolan-masıvla ilişkili dejeneratif değişikliklerin görüldüğü geçici kireçlesme bölgesidir
4. **Dördüncü ve son tabaka diyafize en yakın tabaka olan kireçleşme bölgesidir.** Hızlı kireçlenen ölü ya da ölmekte olan kıkırdak hücrelerinden oluşan ince bir tabakadır.

Uzun Kemiklerde Boyca Büyüme

- Dinlenme zonu
- Proliferasyon zonu
- Maturasyon zonu
- Kalsifikasyon zonu
- Osifikasyon zonu



Long Bone Growth and Remodeling

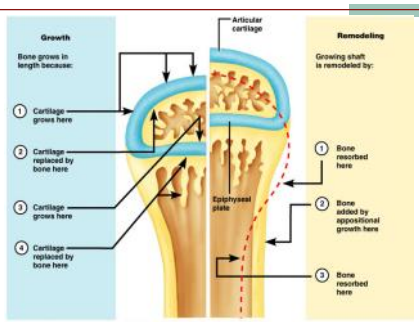


Figure 6.10

- Kireçleşmenin ilerlemesi sonucunda bu tabaka parçalanabilir ya da kolayca kırılabilir.
- Ancak sonuçta oluşan alan kısa zamanda yeni kemik dokusuyla doldurularak hem sağlam bir yapıya dönüşür hem de bir bütün olarak kemik büyümüş olur.
- Kalsiyum ve fosfor eksikliği gibi durumlarda kireçleşme, bölgesel olarak gecikebilir.
- Ancak, bu durum tüm sistemde saygın olarak görülürse o zaman büyümekte olan çocuklarda raşitizm, ergin bireylerde ise kemik yumuşaması (osteomalasi) meydana gelir.
- Kıkırdağın, ilerleyen kemik dokusu tarafından verinin alındığı değişim bölgesine metafiz denir.
- Bu bölgede büyüme olayları devam ederken, ilkin süngerimsi kemik yoğun bir şekilde yeniden düzenlenmeye gider.

- Kemik uzunlamasına büyürken, trabeküllerin diyafiz ucu sürekli olarak osteoklastlar tarafından yıkıma uğrar.
- Bu arada, aynı zamanda ve aynı hızda epifiz ucuna da ilaveler yapılır. Böylece metafizin süngerimsi kemiği uzunluk açısından nispeten sabit kalır.
- Büyüme zamanının sonunda, kıkırdak hücrelerinin çoğalması yavaşlar ve sonunda durur.
- Kolonların diyafiz ucundaki kıkırdağın kemikle sürekli yer değiştirmesi, en sonunda **epifiz kıkırdağının tamamen ortadan kalkmasına neden olur**.
- Epifiz plagı kaybolduğu zaman artık kemiğin uzunlamasına büyümesi mümkün değildir.

Kemiğin büyümesi

- Kemiğin boyuna büyümesi
  - Epifiz plağında gerçekleşen kıkırdağın interstisyel büyümesi ve alttan kemik dokunun endokondral yolla eklenmesi ile sağlanır.
- Kemiğin enine büyümesi
  - Periosteumdaki osteoblastik aktivite ve apozisyonel yolla yeni kemik eklenmesi ile sağlanır.

- Üyelerin uzun kemikleri ilk önce kıkırdak model şeklinde oluşur. Bu kemiklerin boyca büyümeleri kıkırdak içi kemikleşmeyle gerçekleşir.
- Kemiğin gövdesinin enine büyümesi ise, periosteumun hemen altındaki yeni intramembranöz kemik yapıların sürekli birikmesiyle olur.
- Tamamen gelişmiş bir uzun kemiğin gövdesini oluşturan sert kemik, periosteumun altındaki intramembranöz kemikleşmenin ürünüdür.

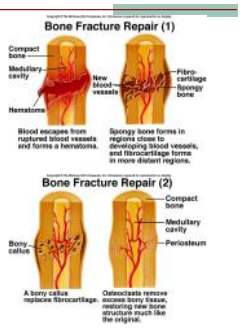
Kemiğin yeniden şekillenmesi (remodeling)

- Kemiğe etkiyen bası/itme kuvveti
  REZORBSİYONA
- Kemiğe etkiyen germe kuvveti
  KEMİK YAPIMINA

neden olur.

Kırık onarımı

- Kırık bölgesinde lokal kanama ve pıhtılaşma
- O bölgede kemik matriksin yıkımı ve hücre ölümü
- Makrofajlar tarafından haraplanan dokunun fagositozu
- Periosteum ve endosteumda proliferasyon ➡ FİBRÖZ KALLUS
- Osteoprojenitör hücrelerin kondroblastlara farklanması, kıkırdak oluşumu ➡ KIKIRDAK KALLUS
- İntramembranöz ve enkondral kemikleşme ile kemik doku oluşumu ➡ KEMİK KALLUS
- Aktivite ile remodeling ➡ ONARIM



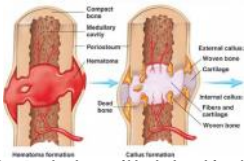
Kemik Onarımı

- Kemik kırılmasından sonra, bu yaralı bölgede genel doku tepkimeleri görülür.
- Burada, yapısında bol miktarda kollajen fibrilleri bulundu-ran fibrilli kıkırdak ve kıkırdak dokusu gelişmeye başlar.
- Böylece kırık parçalar arasındaki boşluk, bağ ve kıkırdak dokusundan oluşan ve kaynamayı sağlayan bir doku ile doldurulur.
- Kırık parçaların arasındaki yeni öncül kemik dokusu, periosteum ve endosteumun dipteki tabakalarında bulunan osteoprogenitör hücrelerin aktivasyonuyla oluşturulmaya başlanır.

Kemik Onarımı

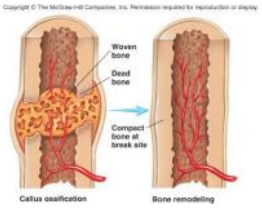
- Endokondral kemik oluşumunda olduğu gibi, fibrilli kıkırdak dokusunun kemikleşmesi, kemiğin derece derece bu dokuyla yer degiştirmesiyle tamamlanır.
- Kırık bölgedeki kemik oluşumu, iki kırık uçta yeni süngerimsi kemik meydana gelince hemen hemen tamamlanmış olur.
- Bundan sonra sırayla kemiğin yıkımı ve sert kemiğin yapımı gerçekleştirilerek, kırık bölge tamamen onarılmış olur.

Bone Repair



1. **Hematoma formation**. Localized mass of blood released from blood vessels but confin ed within an organ or space. Clot formation.
2. **Callus formation**. **Callus**: mass of tissue that forms at a fracture site and connects the broken ends of the bone.
   - **Internal**- blood vessels grow into clot in hematoma.
     - Macrophages clean up debris, osteoclasts break down dead tissue, fibroblasts produce collagen and granulation tissue.
     - Chondroblasts from osteochondral progenitor cells of periosteum and endosteum produce cartilage within the collagen.
     - Osteoblasts invade. New bone is formed.
   - **External**- collar around opposing ends. Periosteal osteochondral progenito r cells → osteoblasts and chondroblasts. Bone/cartilage collar stabilizes two pieces.

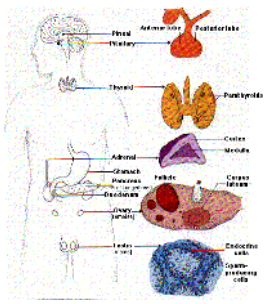
Bone Repair, cont.



3. **Callus ossification**. Callus replaced by woven, cancellous bone
4. **Bone remodeling**. Replacement of cancellous bone and damaged material by compact bone. Sculpting of site by osteoclasts

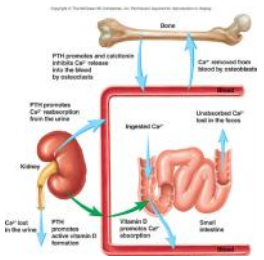
Kemiğe Hormonların Etkisi

- Paratiroid hormonu
- Kalsitonin
- Gonadal hormonlar
- Büyüme hormonu (Somatotropin)



Kemiğe Hormonların Etkisi

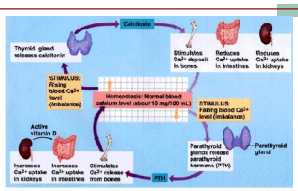
- Parathormonu osteoklastlar tarafından başlatılan kemik yıkımını uyarır, osteoblast aktivitesini engeller.
- Kemiğin artan yıkımı sonucunda Ca** ve PQ4= iyonları serbest kalarak kana geçer ve kandaki miktarları yükselir.
- Bu yükselme paratiroit salınımını durdurur. Hormonun salınmaması osteoblastları uyararak faaliyete geçirir ve yeniden kemik yapılmaya başlanır.
- Bu, böylece bir döngü olarak devam eder.



Kemiğe Hormonların Etkisi

- Kemiğin büyümesini etkileyen bir başka faktör de hipofiz ön lobundan salınan büyüme hormonudur (somatotropin).
- Bu hormon, epifiz diskindeki kıkırdak hücrelerinin büyümesini uyarır. Az salgılandığında cücelik, çok salgılandığında devlik meydana gelir.
- Tiroit hormonu epifiz diskindeki kıkırdak hücrelerinin kemik hücreleriyle yer değiştirmesinden sorumludur.
- Androien ve estrojenler gelişmeye etkilidir. Aynı yaştaki kızların, gelişimin erken dönemlerinde erkeklerden daha uzun boylu olmaları, östrojenin daha etkili olduğunu göstermektedir.

Kemiğe Hormonların Etkisi



- Kemiğin gelişimi, büyümesi ve onarılması, beslenmeye, güneş ışığına, hormonlara ve fiziksel egzersizlere bağlıdır.
- D vitamini ince bağırsaktan Ca++ emilmesi için gereklidir.
- D vitamini ya besinlerle alınır ya da ince bağırsaktaki hücreler tarafından üretilen ve kanla deriye taşındığında güneş ışığı (UV) etkisiyle D vitaminine dönüşen 7dehidroko-lesterol den oluşturulur.
- Bu molekül eksik olursa Ca++ da vücuda az alınır.

Kemiğe Vitaminlerin Etkisi

- A vitamini normal gelişme sırasında kemik yıkımı için gereklidir. A vitamini eksikliğinde iskeletin büyüme hızında gecikme görülür.
- Bu vitamin gelişme sırasında osteoblast ve osteoklastların birbirleriyle etkileşimlerini, dağılımlarını ve aktivitelerini kontrol eder.
- C vitamini eksikliği mezenşimal kökenli dokularda önemli değişikliklere neden olur. Bağ dokusunun hücrelerarası maddesinin sentezlenmesi engellenerek iskorbüt hastalığı denen bozukluk oluşur.

KEMİĞİN HİSTOFİZYOLOJİSİ

- İskelet sistemini oluşturan esas doku olarak kemiğin en önemli görevi yumuşak dokulara destek vermektir.
- Harekette işlevsel olan kasların tutunma böl-gesini oluşturur.
- Sinir sistemi ve hemopojetik dokunun korunması için dayanıklı ve sert örtü oluşturur.
- Bütün bu mekanik işlevlerine ilaveten, büyük miktarlarda kalsiyum ve fosfor deposu olarak önemli rol oynar. Bu elementler ihtiyaç duyul-duğunda kana salınır, böylece diğer dokulara ulaştırılır.

Dwarfism

- Achondroplastic
  - long bones stop growing in childhood
    - normal torso, short limbs
  - spontaneous mutation during DNA replication
  - failure of cartilage growth
- Pituitary
  - lack of growth hormone
  - normal proportions with short stature



Spinal Osteoporosis

