



İSTANBUL
GELİŞİM
ÜNİVERSİTESİ

Ekolojik, Ekonomik ve Sosyal Sürdürülebilirlik İçin

İstanbul Gelişim Üniversitesi



Biyomekanik ve Kinezyoloji I

3. Hafta Kemik Morfolojisi, Fizyolojisi ve Biyomekaniği

Öğr. Gör. Zeynep KAÇAR

zkacar@gelisim.edu.tr

f t gelisimedu @igugelisim

www.gelisim.edu.tr



Genel Bakış - 1

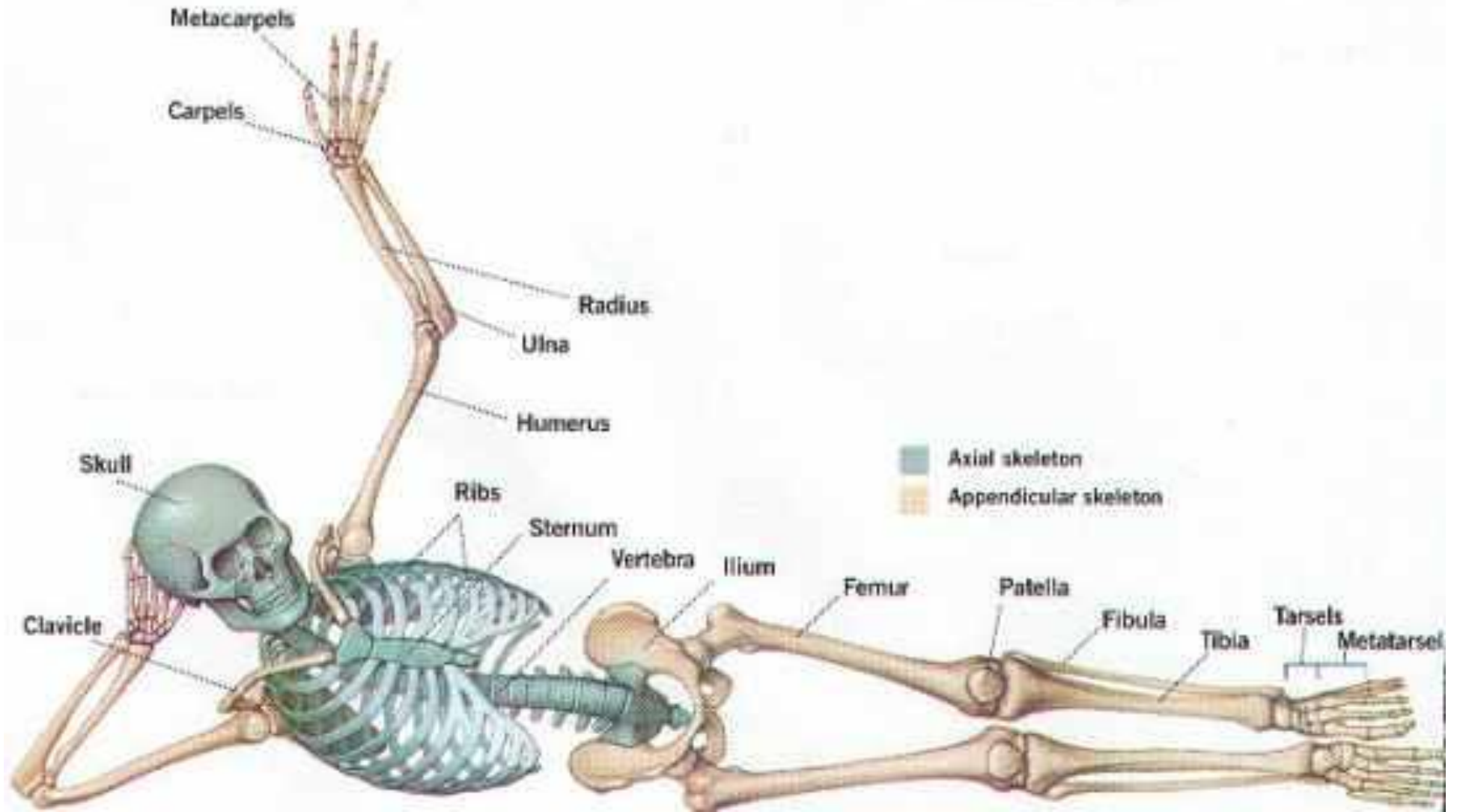
Kemik özelleşmiş bir bağ dokusudur.

Hücreler, lifler ve ara maddeden oluşur.

Kemikler birbirleri ile eklemleşerek iskeleti oluştururlar.

Appendiküler iskelet 126 kemik

Aksiyel iskelet 74 kemik





Genel Bakış -2

İskelet;

- Vücudun geri kalan kısmı için yapısal destek oluşturur;
- Kaslar için kaldıraç kolu oluşturarak lokomasyonu sağlar;
- İç organları ve nöral yapıları korur;
- Mineral homeostazını ve asit-baz dengesini sağlar;
- Büyüme faktörü ve sitokin rezervuarı olarak görev yapar;
- Kemik iliği boşluğunda hematopoiezis için ortam oluşturur.



Sınıflandırma - 1

Konuma göre

Aksiyel iskelet, orta hatta

Apendiküler iskelet, yanlarda

Akral iskelet, uçlarda

Boyuta göre

Uzun kemik; uzun tübüler kemikler

Kısa kemik; karpal ve tarsal kemikler



Sınıflandırma - 2

Şekle göre

Yassı kemik; kafatası, sternum, pelvis, kosta

Tübüler kemik;

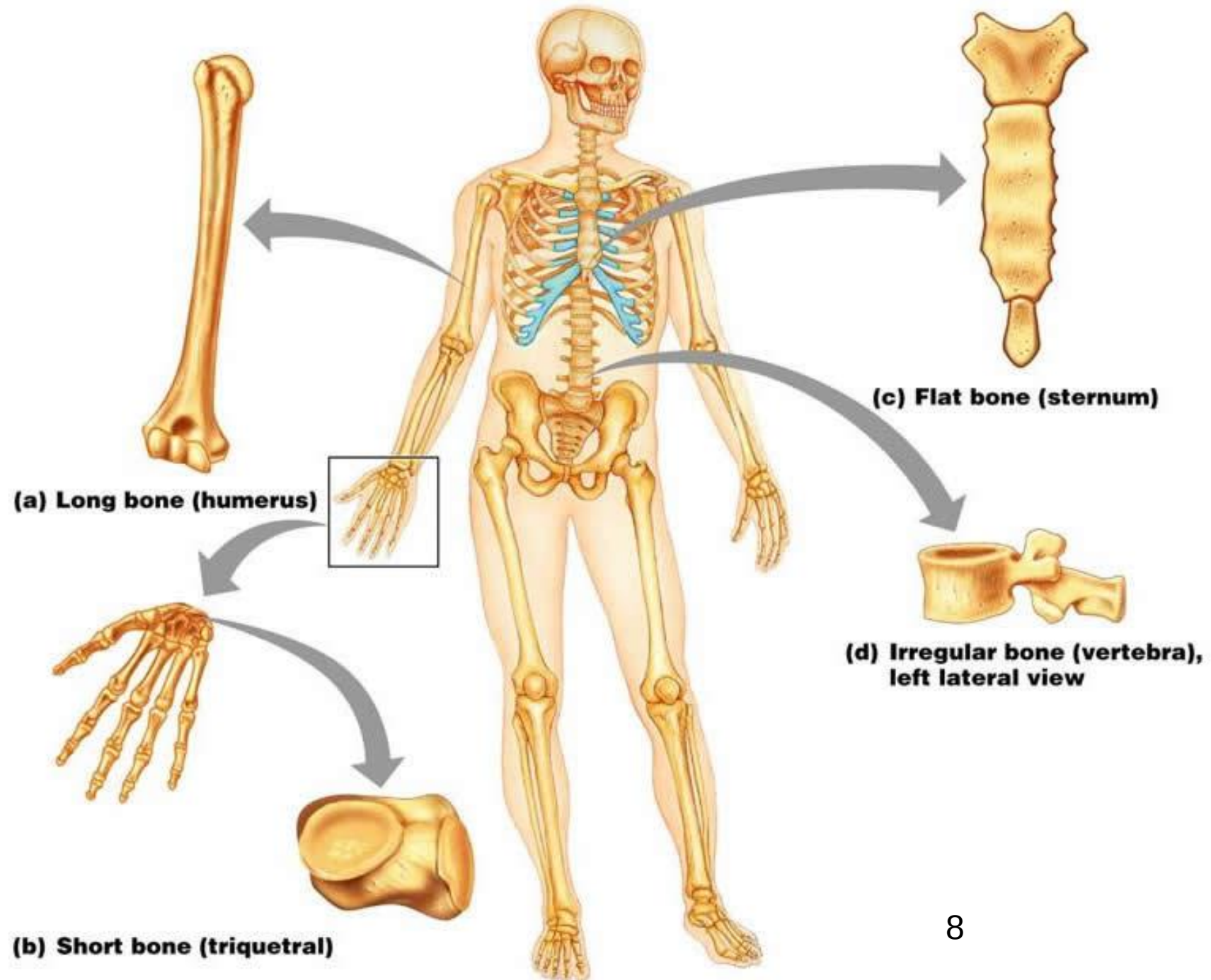
Uzun; ekstremité kemikleri

Kısa; falanks, mekarp, metatars

İrregüler kemik; yüz kemikleri, vertebral kolon

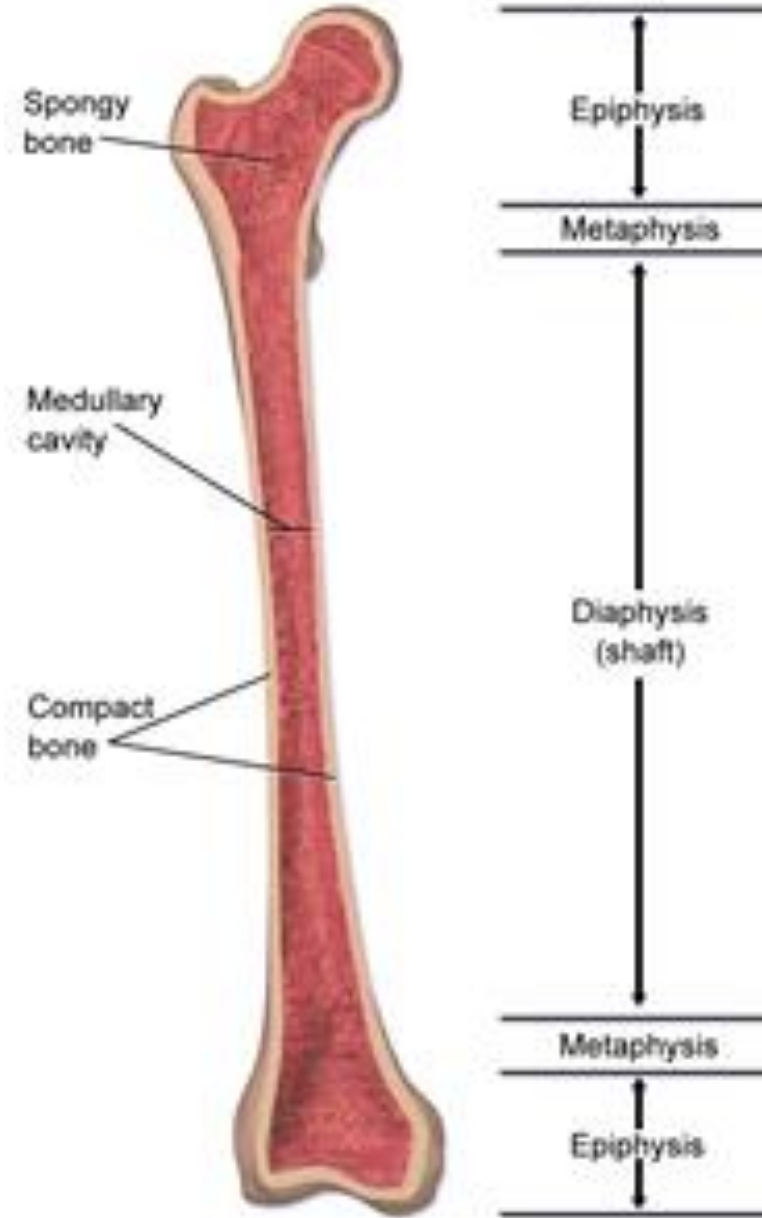
Sesamoid kemik; tendon içinde, patella gibi

Aksesuar kemik; os trigonum gibi

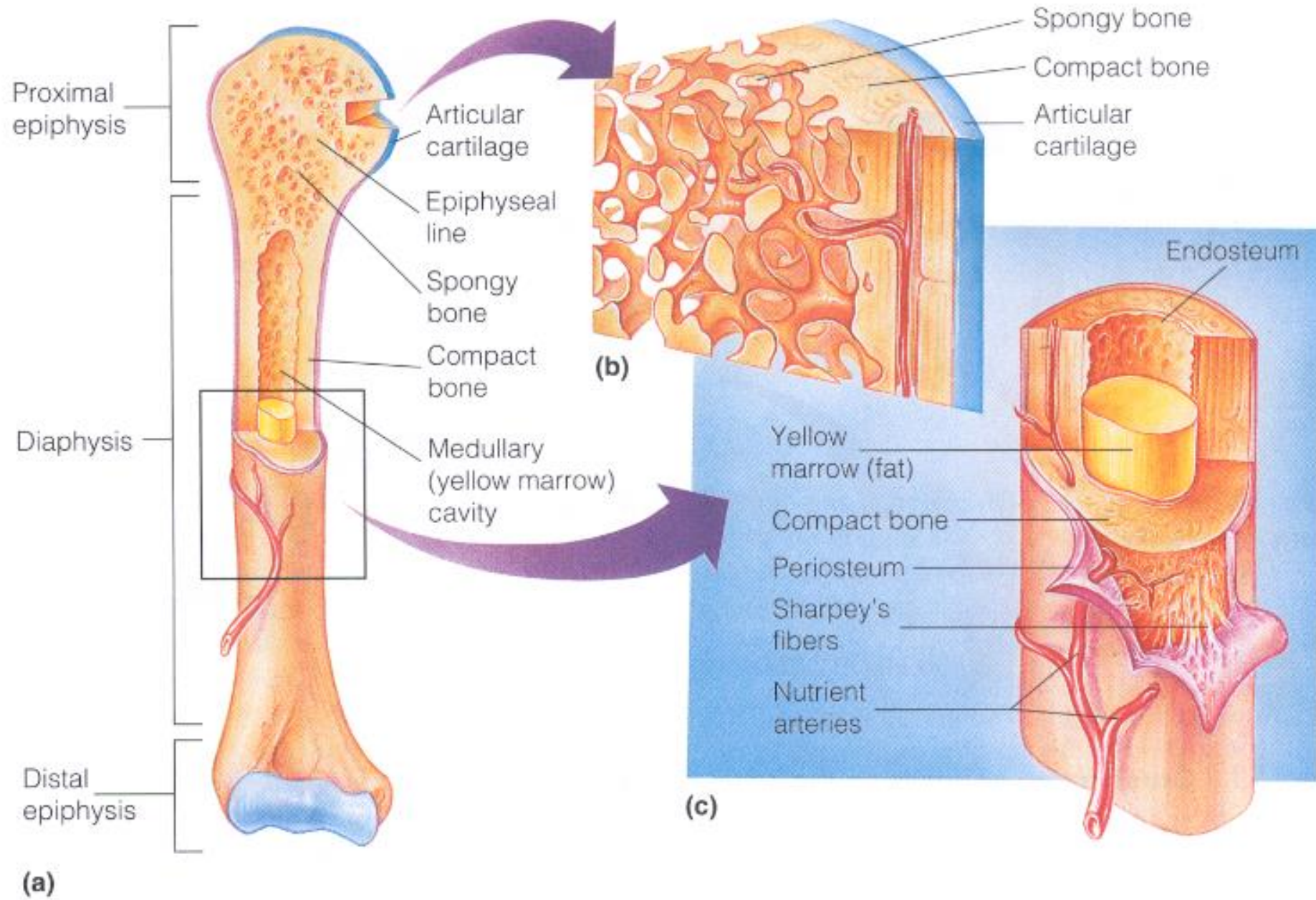


Uzun kemik

Structure of a Long Bone



Uzun kemik



Kemik gelişimi

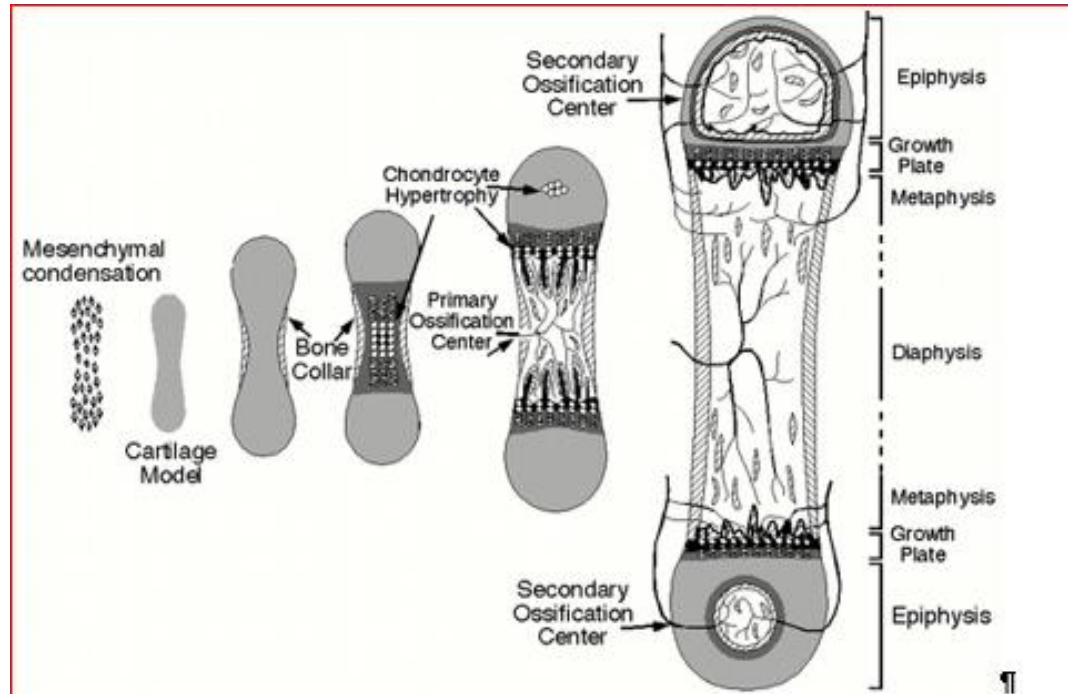


Figure-9¶

Bone Development. Schematic diagram showing the initial stages of endochondral ossification. Bone development begins with mesenchymal condensation to form a cartilage model of the bone to be formed. Following chondrocyte hypertrophy and cartilage matrix mineralization, osteoclast activity and vascularization result in the formation of the primary, and then secondary ossification centers. In mature adult bones, the growth plate is fully resorbed, so that one marrow cavity extends the full length of the bone. See text for details.¶



Kemiklerin beslenmesi

Kardiyak atımın yaklaşık %10-20'si kemiklere gider.
Kırmızı kemik iliği içeren bölgeler damardan daha zengindir.

Uzun kemikler

diafizer, metafizer, epifizer ve periosteal arterlerle beslenir.

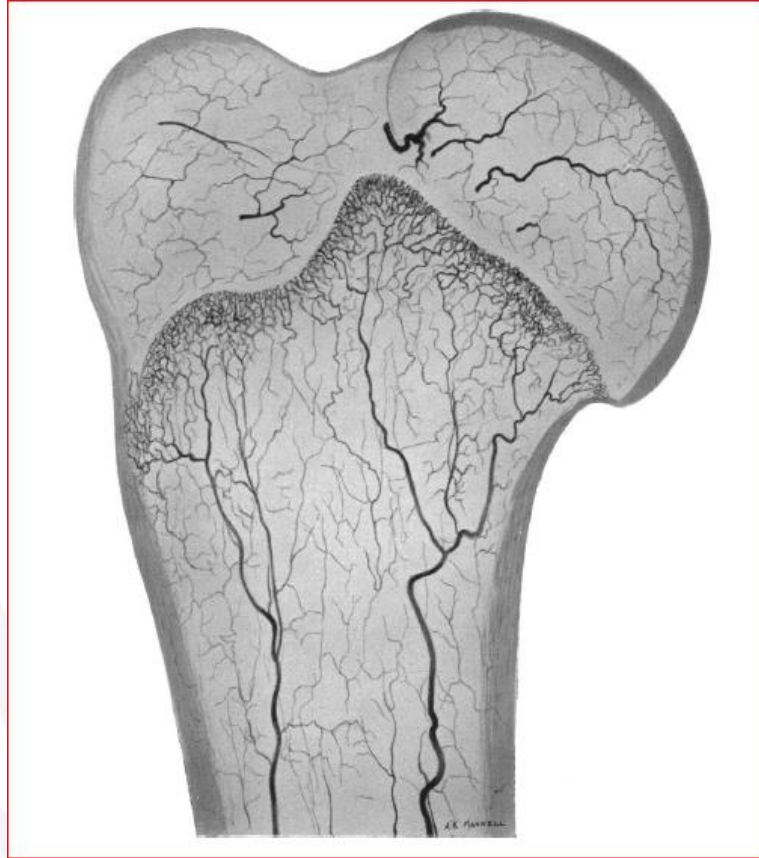
Büyük düzensiz, yassı ve kısa kemiklerin

yüzey kısmı periosttan,

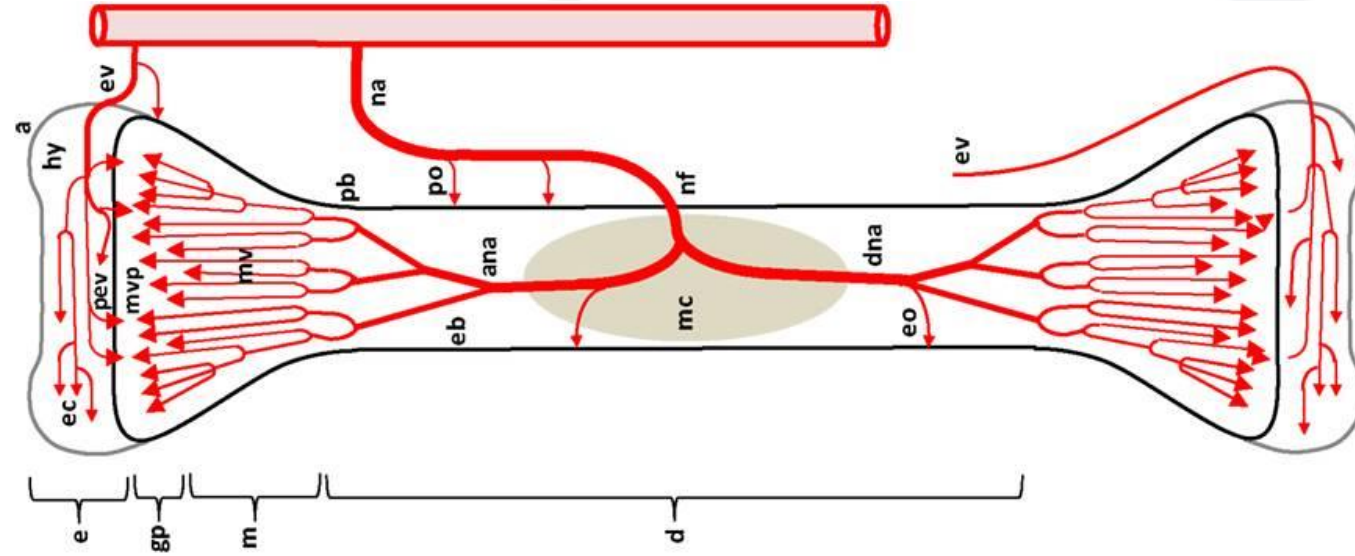
derin kısımları ise nutrient arterlerden beslenir.

Kemiklerin venöz kan drenajı arterlere eşlik eder

Özellikle periostta bol miktarda lenf damarları bulunur.



Diafiz ve epifizin damarları





Kemiğin sinirleri

Uzun kemiklerin artiküler uzantıları,
Vertebralar,
Büyük yassı kemikler **sinir bakımından zengindir.**

Kemik içinde, havers kanallarında
Vazomotor sinirler.
Periosteal sinirler
Derin duyu,
Ağrı duyusu



Kemik dokunun sınıflandırılması ve mikroskopik yapısı (mikro-mimari)

- Doku düzenine (mikro-mimari yapısına) göre
Kortikal / Trabeküler
- Matriks düzenlemesine göre
Lameller / woven
- Olgunlaşma (maturite) durumuna göre
İmmatür (primer) / Matür (sekonder)
- Oluşma şekline göre
İntramembranöz / Endokondral



Kortikal (sıkı, kompakt) kemik

Fildişi gibi yoğun ve kaviteleri olmayan bir dokudur.
Gözenek oranı (**porozite**) genellikle %5'ten az
“**Osteon**” denen konsantrik lamel tabakalarından oluşur.

Ortasında **Havers kanalı** ,
Kanalın içinde arter, ven ve sinir,
Çevresinde 3-20 (ortalama 6) **lamel** tabakası vardır.

Dışta **perisot**, içte **endost ile örtülüdür**.

Periosteal yüzeyde formasyon fazla

Yaşlanmayla **kemik çapı artar**.

Endosteal yüzde rezorpsiyon fazla

Yaşlanmayla ilik boşluğu genişler.

Kortikal kemiğin metabolik aktivitesi düşük

İnaktivite ve yaşlanma

korteksin incelmesine ve porozitede artışa neden olur.



Lameller

Osteonal lameller

Aynı lameldeki kollajen lifler bir birine paralel,
Komşu lamellerin lifleri birbirleri ile dik açı oluşturur.

Sirkumferansiyel lameller

Uzun kemiklerin iç ve dış yüzeylerini döşer

İnterstisyel lameller

Eski osteon kalıntılarıdır.
Yaşlanmayla birlikte artar.

Lameller arasında,

İçinde osteosit bulunan **lakünler** ve
Osteositlerin sitoplazmik uzantıları bulunan **kanaliküller**



Volkman kanalları

Periost ile kemik iliği arasındaki geçiş tünelleridir
Havers kanallarını birbirine bağlar.

Volkman kanalları lamellerle çevrili değil,
Tam tersi lamelleri delerek seyreder.



Trabeküler (spongiöz, kansellöz) kemik

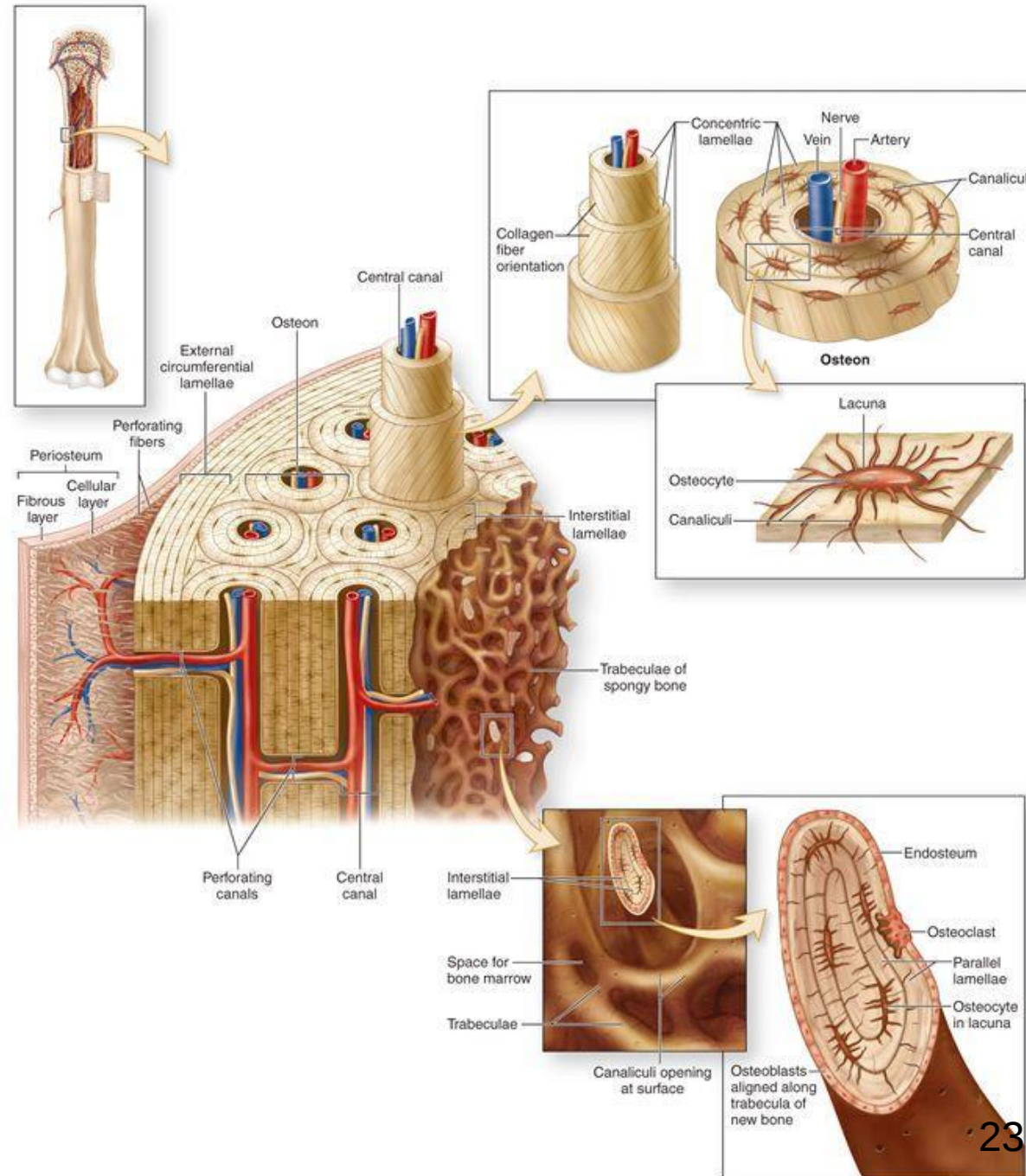
Sünger gibi, çok sayıda kavitesi olan bir dokudur.
Balpeteği şeklinde çok sayıda trabeküler bağlantıdan oluşur.
Kalsifiye kemik fraksiyonu %25-20,
Gözenek oranı (*porozite*) %30'dan fazladır.
Trabeküler kemik de osteonlardan oluşur.
Trabeküler osteonlar silindirik değil,
Yarımay (çay tabağı) şeklindedir
“Paket” olarak adlandırılır.
Trabeküler paketler de konsantrik lamellerden oluşur.

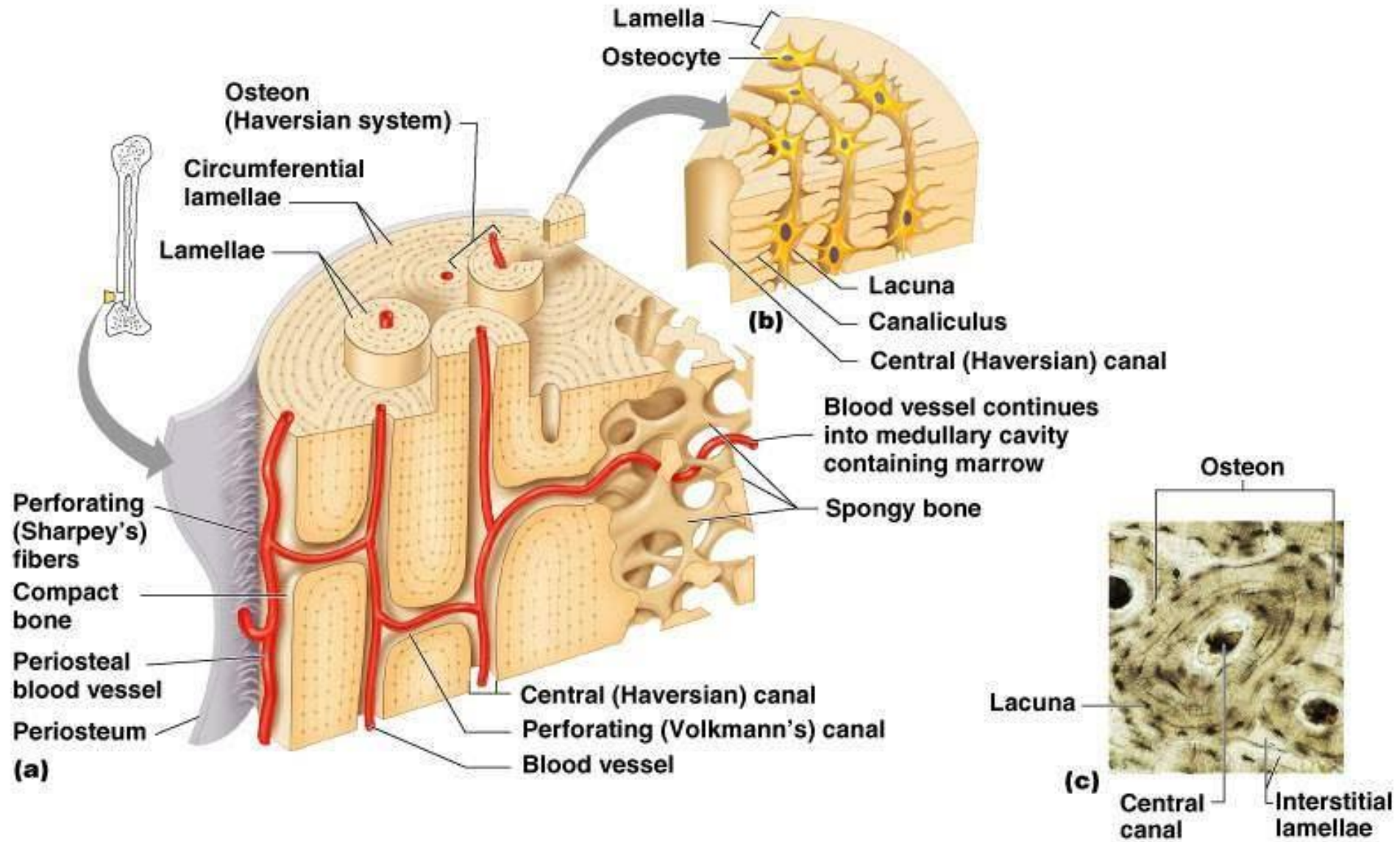


İskeletin %80'i kortikal, %20'si trabeküler kemiktir.
Tüm kemikler;
Dışta kabuk (korteks) şeklinde **kortikal**
İçte **trabeküler** kemikten oluşur.
Uzun kemiklerin diafizi
Kortikal kemiktir
İlik boşluğunu çevreler.
İlik boşluğunda az miktarda trabeküler kemik bulunur.
Trabeküler kemikte
Kemik iliği, trabeküler plaklar arasındadır.
Kortikal / Trabeküler kemik oranı değişir.
Vertebrada 25 / 75,
Femur başında 50 / 50,
Radius diafizinde 95 / 5.

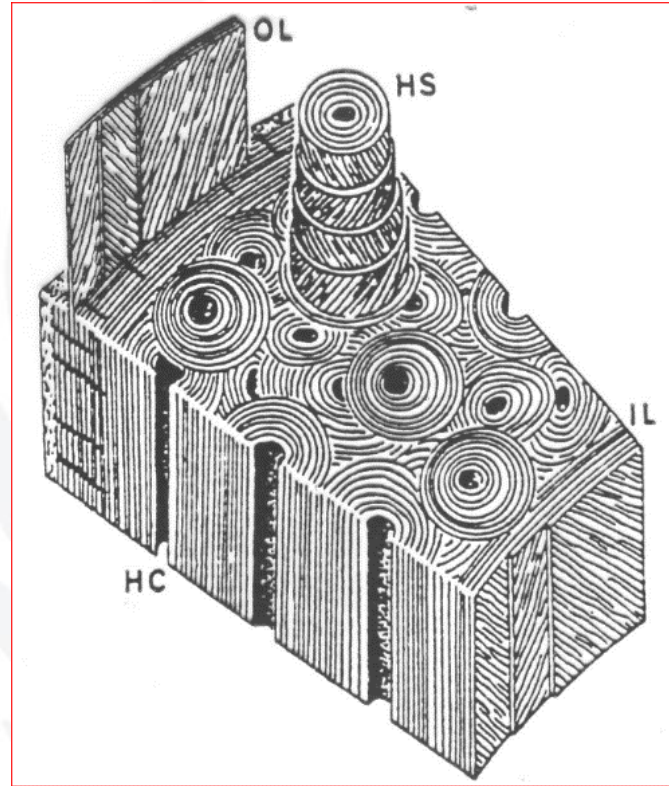
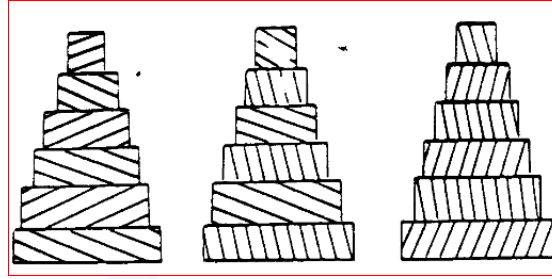


Osteon





Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.





Kemik Hücreleri

osteoklast

osteoblast

osteosit



Osteoklastlar - 1

Kemiği eritme kapasitesine sahip tek hücrelidir.

Monosit/ makrofaj kökenlidir

Mononükleer hücrelerin füzyonu ile oluşur.

Kemik iliği stromal hücreleri

Osteoblastlar

RANKL,

Osteoprotegerin

ve M-CSF salgılayarak formasyonu uyarırlar.



Osteoklastlar - 2

Asit fosfataz içeren lizozomları vardır.

H⁺ iyonu salgılayarak mineral kristallerini eritirler.

Katepsin K ile organik matriksi parçalarlar.

Daha sonra apoptozise uğrayarak yok olurlar.



Osteoblastlar

Mezenkimal kök hücrelerden meydana gelir.

β -catenin ve

Başka diğer proteinlerin etkisi ile

Ekstrasellüler matriks komponentlerini

Salgılar

Mineralize ederler.

Formasyonun tamamlanmasından sonra

%50-70'i apoptozise uğrar.

Kalanı matriks osteositlere veya

Kemik astar hücrelerine dönüşür.

Mekanik yüklenme apoptozisi geciktirir.



Osteositler - 1

Farklılaşmış osteoblastlardır, sinsisyal bir ağ oluşturlar.

Kemik yapı ve metabolizmasını kontrol ederler

Yaşlanan ve yıpranana yerlerde remodelingi başlatırlar.

Mineralize kemik içindeki lakünalarda bulunurlar



Osteositler - 2

Kanalüküller içindeki sitoplazmik uzantılarıyla

Damarlar, birbirleri, osteblastlar ve astar hücreleri ile Metabolik ve elektrik bağlantılar kurarlar.

Osteosit - osteoblast / astar hücre sinsisyumu

(Tek hücre gibi davranan kompleks yapı)

Mekanik duyuyu algılama yeteneğindedir.

10 yıl kadar yaşar, sonra apoptozise uğrarlar.

Mekanik yüklenme apoptozisi geciktir.

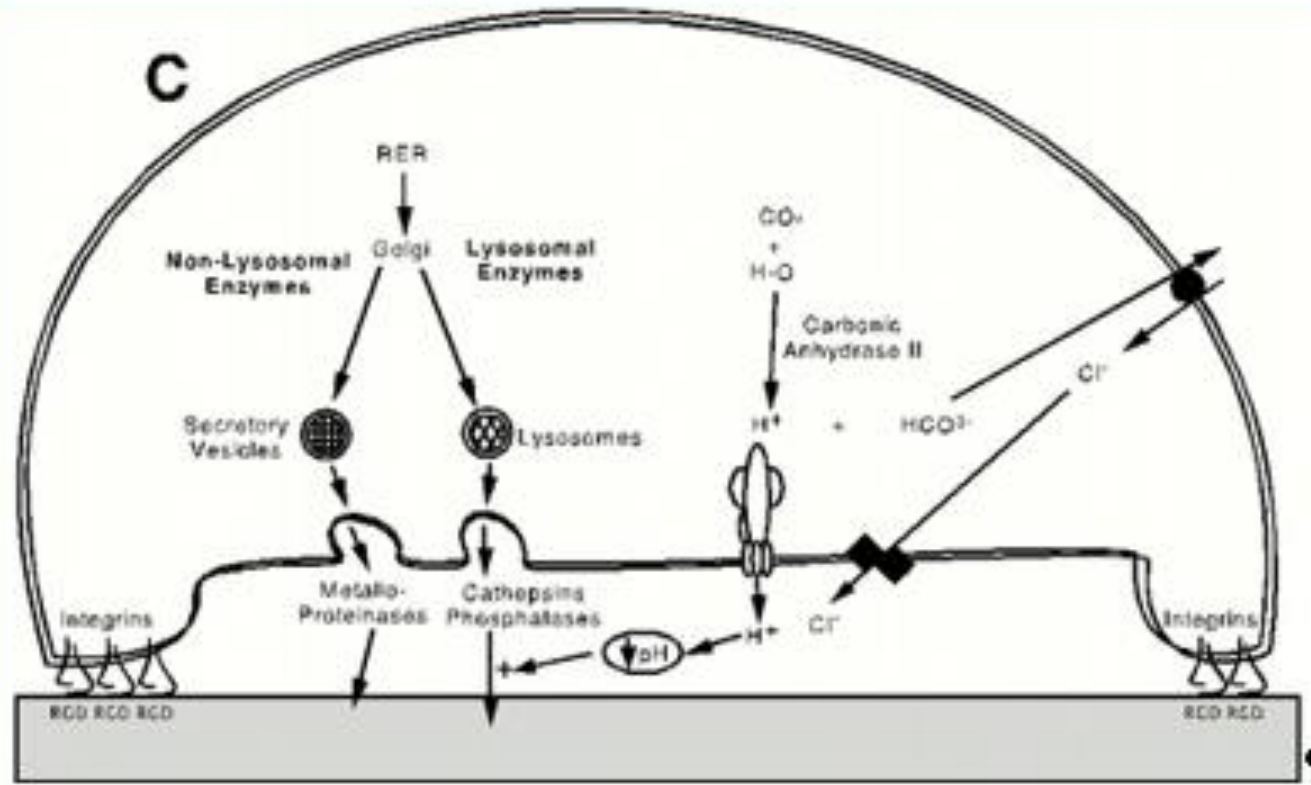
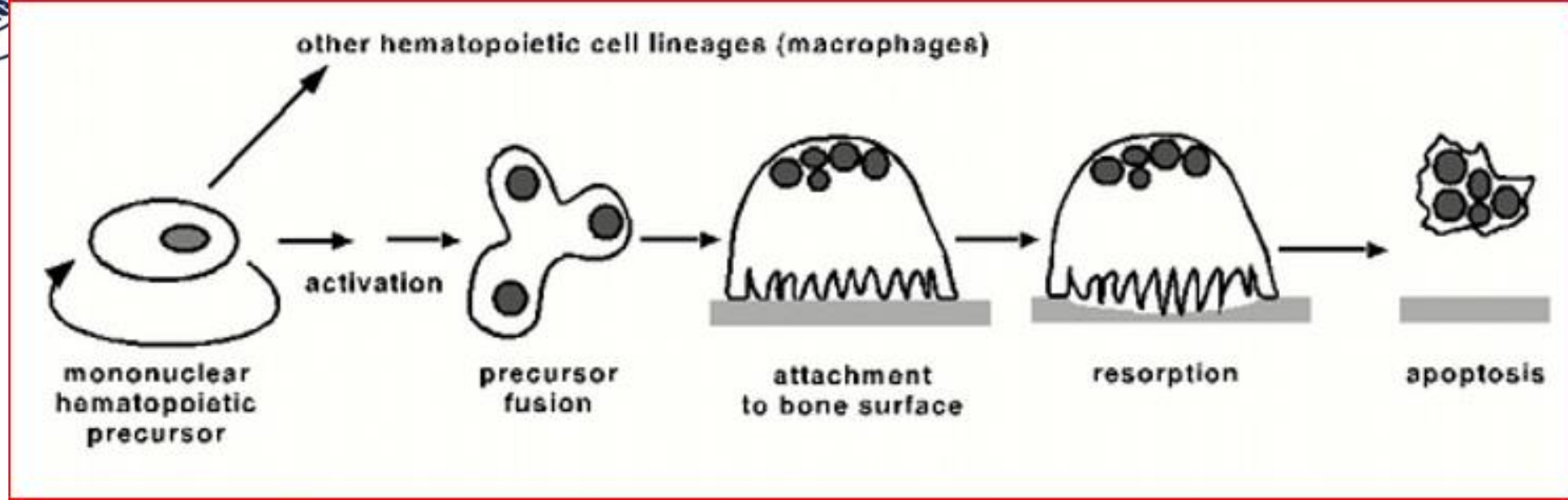


Figure-4

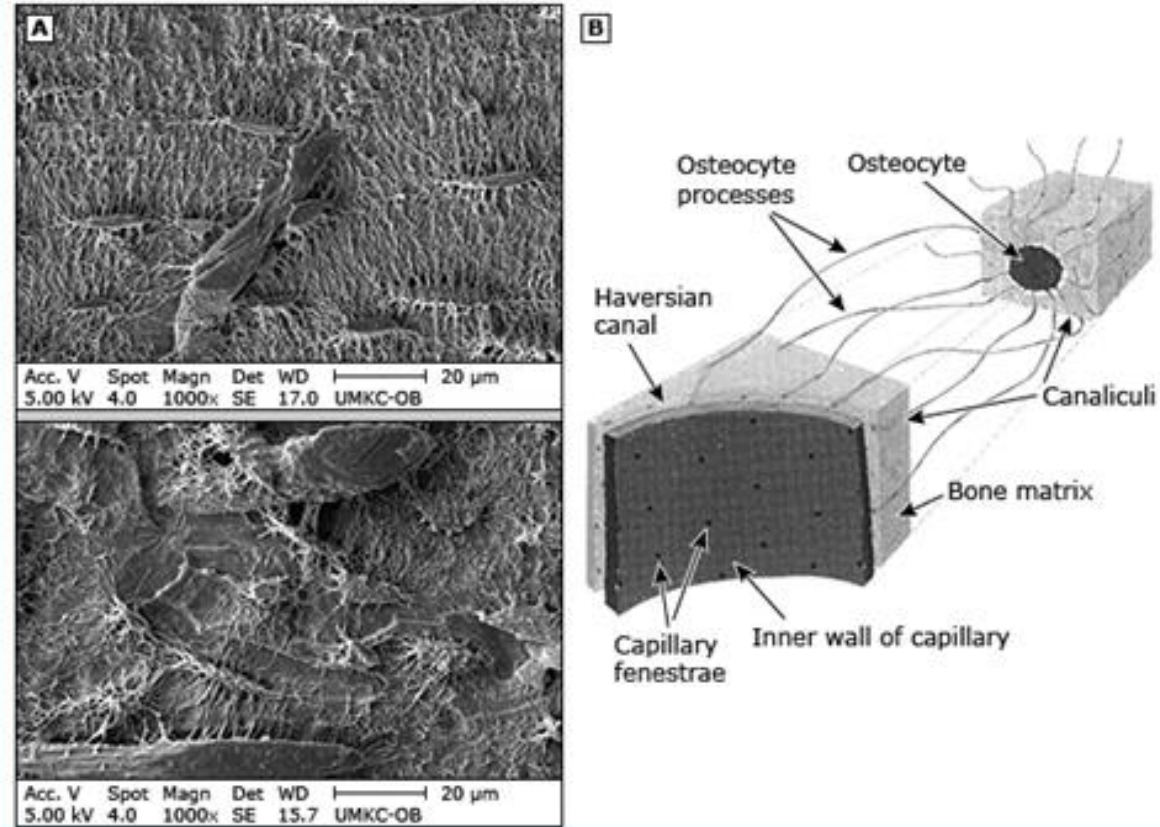
Osteoclasts and the Mechanism of Bone Resorption. A: Light micrograph and B: electron micrograph of an osteoclast, demonstrating the ruffled border and numerous nuclei. C: Osteoclastic resorption. The osteoclast forms a sealing zone via integrin-mediated attachment to specific peptide sequences within the bone matrix, forming a

Osteoklast ve kemik rezorpsiyon mekanizması



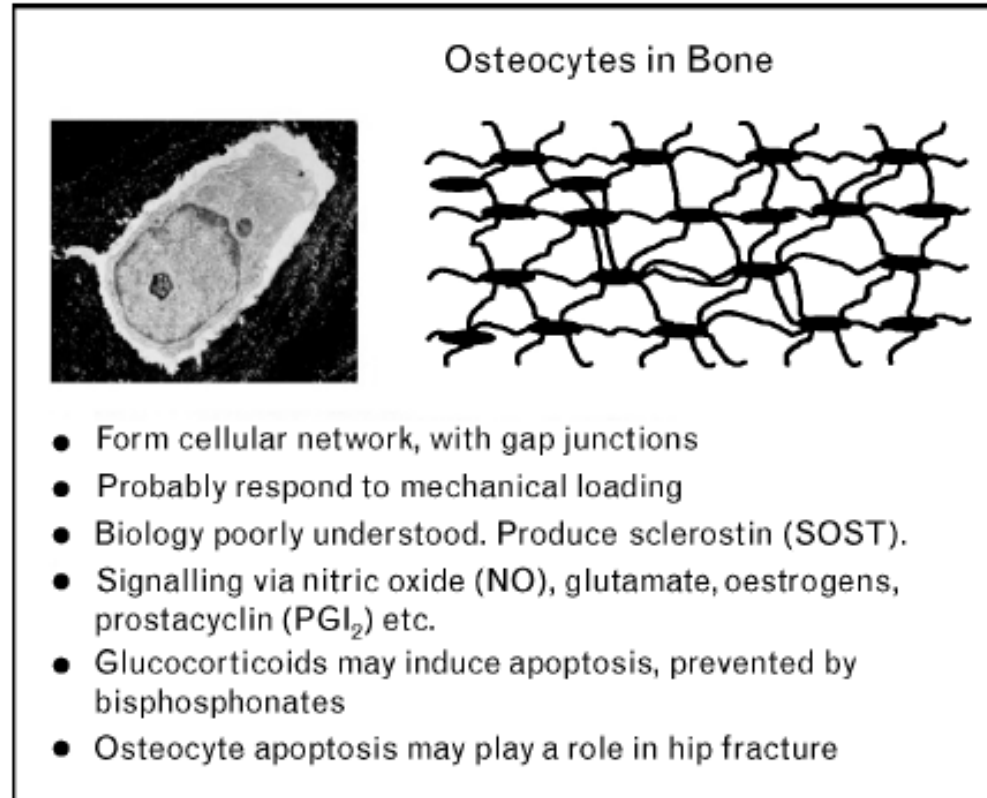
Osteoklast oluşması ve apoptozisi

Connection between osteocytes and blood vessels



Osteosit ve damarlar arasındaki bağlantı

Figure 4 Osteocytes in bone



Electron micrograph of osteocyte from rat bone courtesy of Professor Robert Schenk.

Osteosit sinsisyumu



Ekstrasellüler matriks

%50-70'i mineral,

sertlik

kompresif yüklere direnç

%20-40'ı organik matriks,

elastisite

fleksibilite

tensil güçlere direnç

%5-10'u su ve

%3'ten azı da yağlardan oluşur.



Organik matriks

%85-90'ı kollajen

Ağırlıklı olarak Tip I,
Diğerleri eser miktarda

%10-15 non-kollajenöz proteinlerden oluşur.

Hepsinin rolü henüz iyi bilinmiyor,
Birçoğunun birden fazla fonksiyonu olabilir
mineral depozisyonu,
turnover ve
kemik hücre aktivitesinin düzenlenmesi gibi



İnorganik maddeler

Kuru ağırlığın %50-70'ini oluşturur.

Ca ve P; bol miktarda ,

Hidroksiapatit kristalleri şeklinde

Bir miktar da amorf bir formda

Bikarbonat, sitrat, Mg, K, Na; az miktarda

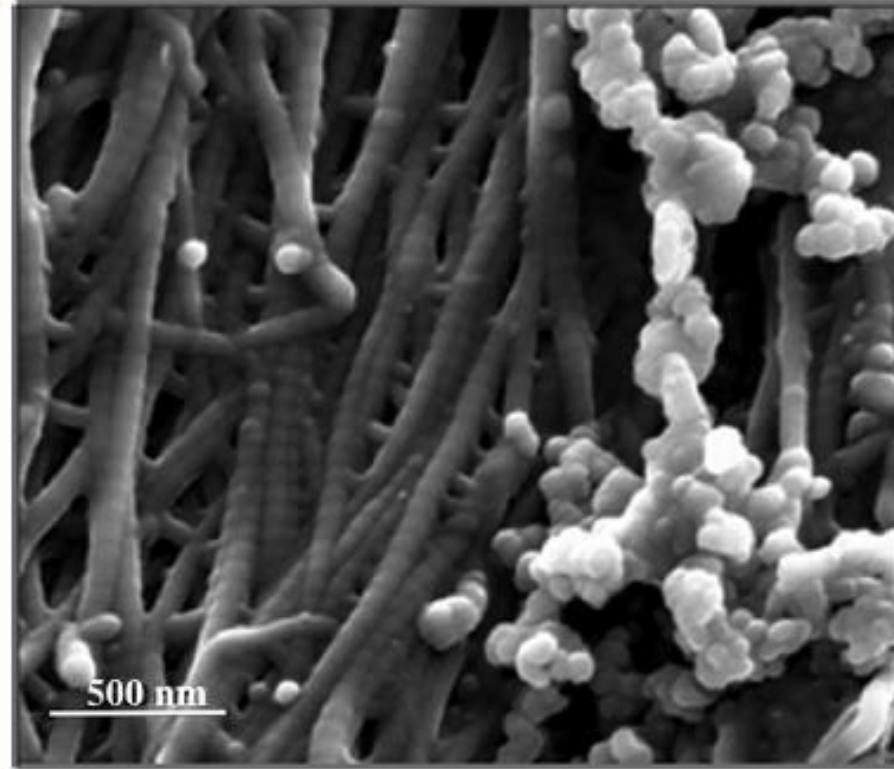
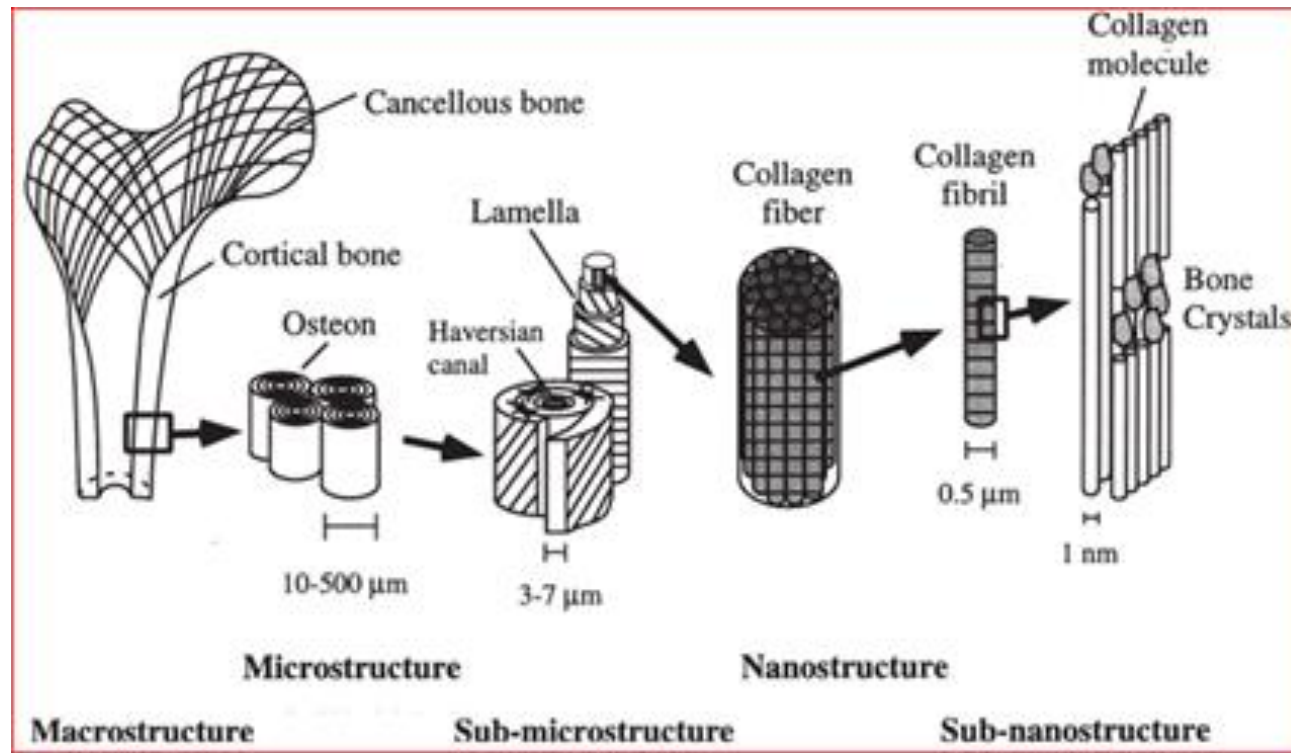


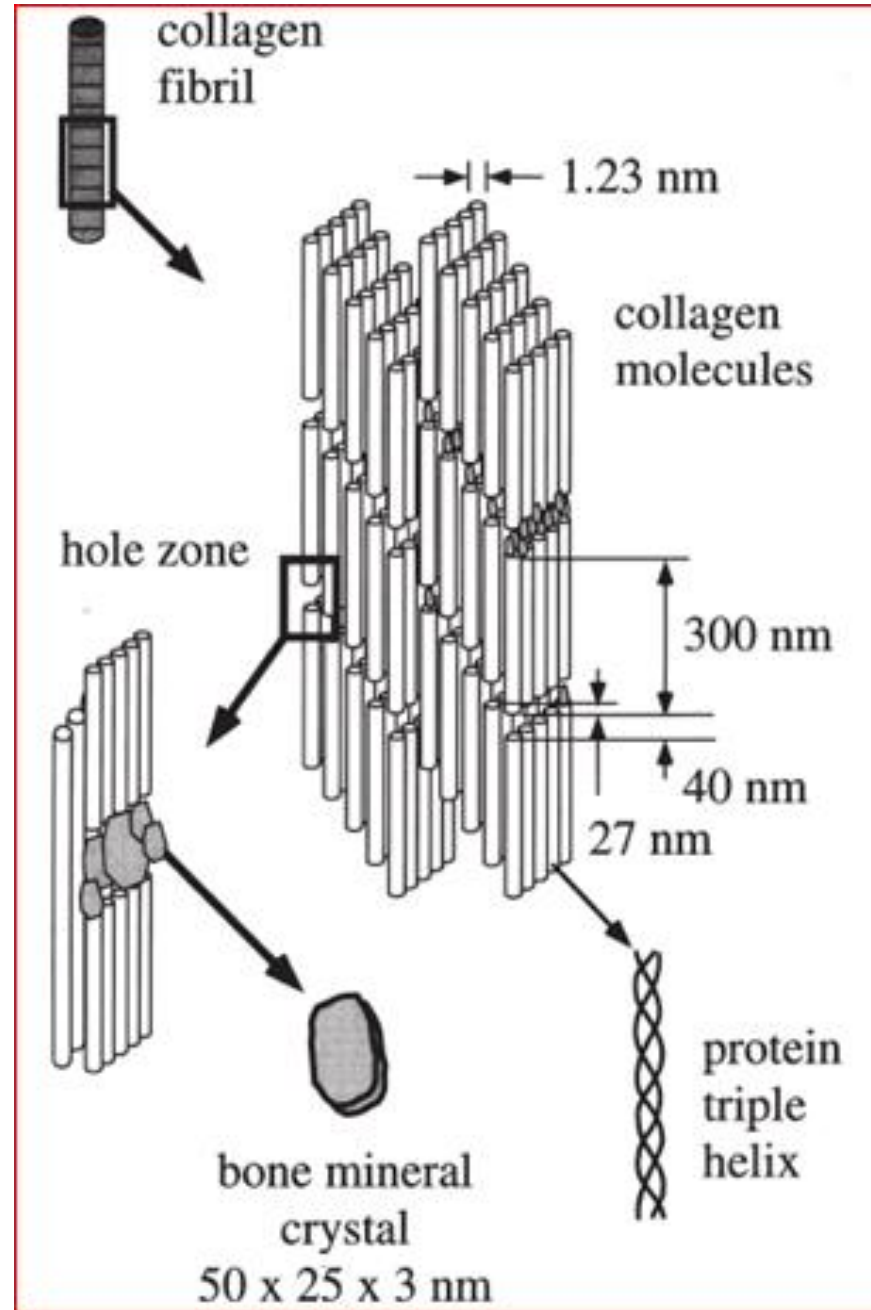
Fig. 3. SEM micrograph of mineral growing on collagen fibers induced by demineralized bone matrix deformation under compression forces and immersed in SBF for 3.5 weeks [44].

Kollajen liflerin mineralizasyonu



Kollajen liflerin mineralizasyonu

Kollajen liflerin mineralizasyonu



Kollajen liflerin mineralizasyonu



Kemik matriks mineralizasyonu

Kemik mineral daha çok hidroksiapatit kristallerinden oluşur.
Kemik kristalleri doğadaki hidroksiapatit kristallerinden

daha küçük,
daha az parlaktır,
karbonat ihtiva eder,
çözünürlüğü daha yüksektir

Kristaller kollajen molekülleri arasında depolanır

Kristallerin

Şekil ve boyutlarının belirlenmesi ve
Depozisyonunu

alkalen fosfataz ve
diğer proteinler tarafından sağlanır.



Kemik gelişimi, modeling ve remodeling

Kemikler embriyoner dönemde mezenkimden oluşurlar.

Intramembranöz kemikleşme

mezenkimal hücrelerin doğrudan osteoblastlara dönüşür

Endokondral kemikleşme

Önce kıkırdak doku oluşur ve sonra kemiğe dönüşür

Yassı kemikler

Membranöz kemik formasyonu ile

Uzun kemikler

Hem endokondral ve

Hem de membranöz kemik formasyonu ile oluşur.



Kemik, çocukluk ve adölesan dönemde
longitudinal ve radyal yönde büyür.

Longitudinal büyüme,
uzun kemiklerin büyüme plağındaki hyalen kıkırdak
hücrelerinin bölünerek çoğalması sayesinde olur.
Büyüme plağı kapanınca kemik büyümesi durur



Modeling

Her kemik, değişen mekanik güçlere uyum sağlar (modeling)
Modeling ömür boyu devam eder.

Remodeling

Yaşlı ve hasarlı kemik ortadan kaldırılır,
Yerine modele uygun yeni ve sağlıklı kemik sentezlenir.
Remodeling periyodik olarak, ömür boyu devam eder.



Modeling - 1

Kemiklerin şeklinin değiştiği süreçtir.

Fizyolojik etkilerle veya mekanik kuvvetlere yanıt olarak gelişir.

İskelet karşılaştığı mekanik kuvvetlere yavaş yavaş uyum sağlar.

Kemik; mekanik kuvvetlerin etkisi ile

bazı yüzeylerde ortadan kaldırılır veya
bazı yüzeylere yeni kemik eklenerek genişleyebilir veya
aksını değiştirebilir

Bu süreç osteoblastlardan ve osteoklastlardan bağımsızdır.



Modeling - 2

Formasyon ve resorpsiyon tam olarak eşleşmez.

Kemikler çocuklarda ve gençlerde büyür

Kemikler yaşlanmayla

periosteal bölge yeni kemik eklenerek kalınlaşır

endosteal bölge rezorpsiyonla incelir (medüller kavite genişler).

Wolff yasası;

tatbik edilen kuvvetin uzun kemiklerin şeklinde yaptığı değişiklik

Kemik modelingi

Erişkinlerde remodelingden daha azdır.



Remodeling - 1

Remodeling kemiğin;

yenilenerek gücünü koruduğu ve mineral homeostazının sağlandığı bir süreçtir.

Yaşlı ve hasarlı kemik ortadan kaldırılır

Yeni kollajenöz matriks sentezlenir

Bu matriks mineralize olur.

Mikrohasarların akümüasyonu engellenir.

Remodeling doğumdan ölüme kadar devam eder.

Kadınlarda menopoz sonrası artar

Yaşlı erkeklerde de hafif arttığı düşünülüyor.

Remodeling oranı

Trabeküler kemiğin yılda %25'i,

Kortikal kemiğin yılda %3'ü kadardır.



Remodeling - 2

Remodeling siklusu 4 ardışık fazdan oluşur;
aktivasyon,
resorpsiyon (yaklaşık 3 gün),
reversal (toparlanma, yaklaşık 14 gün)
formasyon (yaklaşık 70 gün).

Remodeling her hangi bir yerde rastgele gelişir
osteosit apoptozisi,
mikro fraktürler
mekanik etkiler remodelingi uyarıyor olabilir.

Genç erişkinde total iskeletin yaklaşık 1/3'ü her yıl yenilenir



Aktivasyon evresi

Osteoklast prekürsörleri aktive olur
Kemik yüzeyinden endosteum kaldırılır
Prekürsör (mononükleer) hücreler birleşir
Osteoklastlar oluşur.

Osteoklastlar
yarım küre şeklini,
hücre zarı kenarlarda halka şeklini alır,
kenarlardan alttaki kemik yüzeyine bağlanır,
halka şeklinde “sealing zon” oluşur.



Rezorpsiyon evresi

Osteoklastlar hücre membranlarındaki
hidrojen iyonları salgılar

H^+ -ATPaz proton pompası ve
klor kanalları ile

pH'ı 4,5'a kadar düşer.

Kemik mineral çözünür

Çeşitli enzimler salgılayarak organik matriksi parçalar

Kortikal kemikte Haversian kanallar

Trabeküler kemikte çay tabağı şeklinde Howship lakünleri oluşur.

Rezorpsiyon fazı tamamlandıktan sonra apoptozise uğrarlar.



Reversal (toparlanma) fazı

Rezorpsiyon formasyona dönüşür.

mineral sement,
organik matrik yıkım ürünleri ve
osteoklast parçaları temizlenir,
ortam yeni kemik için hazırlanır.

Mekanizma halen açık değil

Rezorpsiyon nasıl sonlanıyor ?

Formasyon nasıl başlıyor ?

Bazı kemik matriks proteinleri ve mekanik etkiler sorumlu olabilir.

Strain'in azalması osteoklastları,
artması osteoblastları aktive ediyor olabilir.

Rezorpsiyon tamamlandığında oluşan kaviteelerde
makrofajlar, osteositler ve preosteoblastlar bulunur.



Formasyon Fazı

Osteoblastlar

yeni organik matriksi sentezler

içinde kalsiyum ve fosfat bulunan veziküller salgılar

mineralizasyon inhibitörlerini parçalar

pirofosfat, proteoglikanlar

Mineralizasyonu regüle ederler.

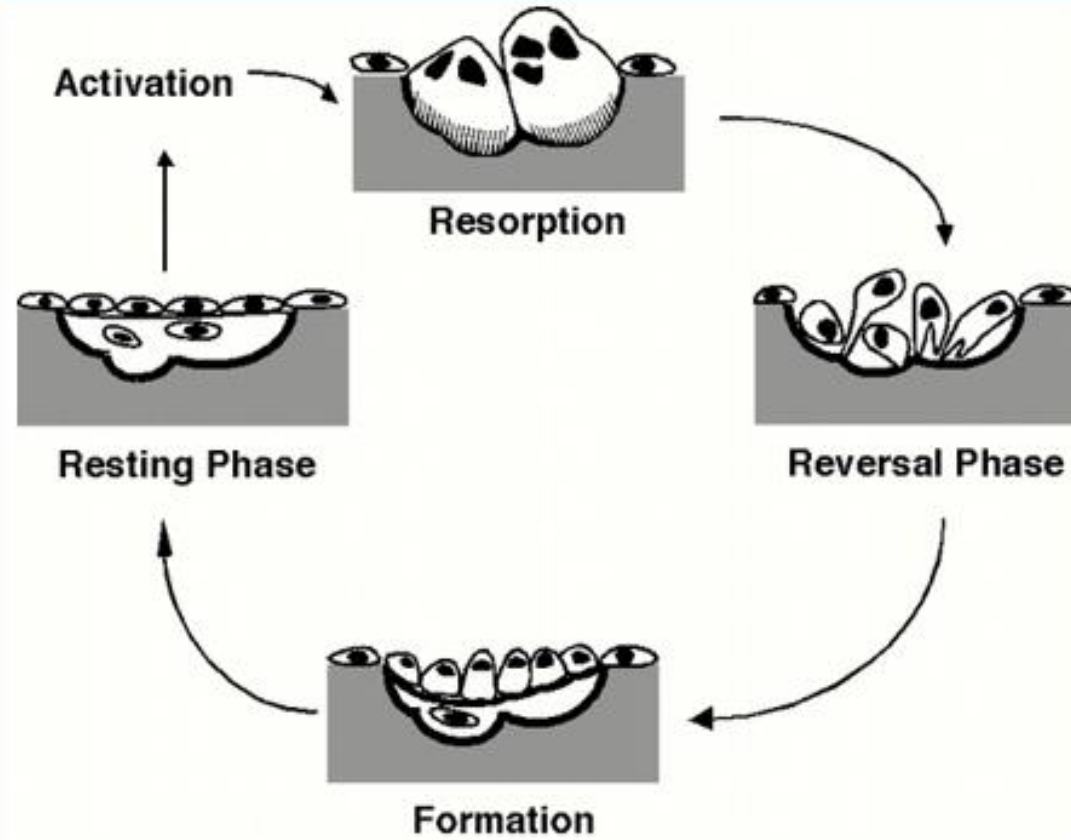
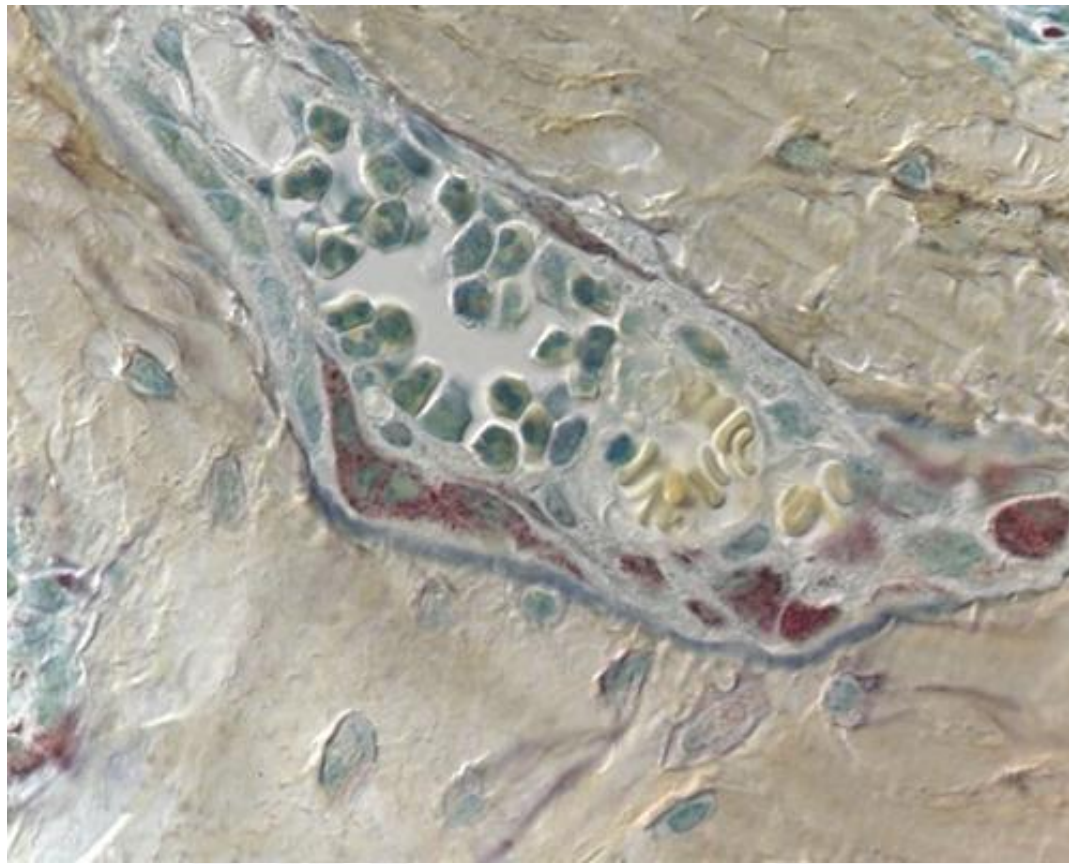


Figure-6

The Bone Remodeling Sequence. The Activation-Resorption-Formation cycle of bone remodeling as it occurs in trabecular bone. See text for details.

Bir kemik remodeling döngüsü



Kemik multisellüler ünite (BMU): Fare vertebrası trabeküler kemik

Asit fosfataz içeren kırmızı granüllü osteoklastlar kemiği aşındırıyor.
İçinde soluk sarı renkli eritrositler görülen kan damarları osteoklast prekürsörlerini erozyon kavitesine taşıyor.
Osteoklastların arkasındaki turkuaz renkli osteoblastlar yeni kemik oluşturuyor.
BMU'nin üstünde ve altında turkuaz renkli osteositler görülüyor.



Remodeling - 3

Remodeling süreci

kortikal ve trabeküler kemikte aynıdır.

Her bir kemik remodeling siklusu sonunda

Kortikal kemikte yeni bir osteon

Trabeküler kemikte trabeküler paket oluşur.

Trabeküler kemikteki kemik remodeling ünitesi,
kortikal kemiğin remodeling ünitesinin
ortadan uzunlamasına ikiye bölünmüş haline benzer.



Remodeling - 4

Kemik dengesi

Rezorbe edilen eski kemikle
oluşan yeni kemik arasındaki dengedir
Periosteal bölgede kemik dengesi hafif pozitif,
Endosteal ve trabeküler kemikte hafif negatiftir.

Kemik remodeling alanı

Her hangi bir anda isletteki tüm remodeling ünitlerinin
toplam alanıdır.



Kemik döngüsü (Turnover)

Remodeling

Yaşlı, mikrohasarlı kemik yenilenir
Kemiğin mekanik sağlamlığını ve
Kalsiyum ve fosfat homeostazı garanti altına alınır.

Kortikal kemik devir (turnover) hızı

% 2-3/yıl oranında, nispeten düşük
biyomekanik gücü korumak için yeterli

Trabeküler kemik devir hızı

%25-30/yıl oranında,
mekanik kuvvet için gerekenden yüksektir.
mineral metabolizması için gerekli
Ca ve P ihtiyacının artması

kısmen osteoklastik rezorpsiyonla,
kısmen de non-osteoklastik Ca giriş-çıkışı ile sağlanır



Kemik Ekleri 1. Periost

içte kemik yüzeyine bitişik kambium (osteojenik) tabaka
dışta fibröz bir tabakadan oluşur.

Cambium tabakada

osteoprogenitör hücreler (astar hücreleri),
osteoblastlar, osteoklastlar,
kan ve lenf damarları ve
sinirler bulunur

Dış tabakadaki kollajen lifler

eklem kapsülü, ligament ve tendonlarla
İnversiyon bölgelerinde bitişiktir.

Kemiği tamamen kaplar.

kıkırdakla kaplı eklem yüzeyi
tendon/ligament/kapsül inversiyon bölgeleri hariç,

Kemiğe penetre olan Sharpey lifleriyle kortekse sıkıca bağlıdır.

Çocuklarda kalın ve kortekse gevşekçe bağlı,
Erişkinlerde ise daha ince ve kortekse daha sıkı yapışıktır.



Kemik Ekleri 2. Endost

Periost gibi

osteoprogenitör hücreler,
osteoblastlar, osteoklastlar,
kan damarları ve bir miktar bağ dokusu içerir.

Kemik trabekülleri ile

Kortikal kemiğin

Havers ve

Volkman kanallarının iç yüzeyini örter.

Kemik iliği ile temas halindedir.



Kemik Ekleri 3: Eklem Kıkırdağı

Eklem kıkırdağı hyalen kıkırdaktır
yüzeyde transisyonel,
ortada radyal ve
dipte kalsifiye bazal zondan oluşur.

Kalsifiye zon üstteki zondan
tidemark denen kalsifiye bir hatla ayrılır.

Kartilajinöz matrikste

Mononükleer kondrositler bulunur.

Ek olarak multinükleer kondrositler de görülebilir;
yaşlı, dejeneratif koşullarda daha sıktır.

Uygun bir damar ve sinir ağı yoktur,
Sinoviyal sıvıdan difüzyonla beslenir.

Bu



Kemik Ekleri 4: **Eklem Kapsülü ve sinovyal membran**

Eklem kapsülü

Eklemin iki tarafındaki periostla karışır

Sıkı, kollajenöz fibröz dokudan oluşur.

İç tarafındaki bağ dokusu gevşektir ve sinovyal membranla kaplıdır.

Sinovyal membran

sinovyal bir epitel tabakası ile örtülü

kısmen düzgün,

kısmen villöz bir bağ dokusudur.

İki tip hücre bulunur.

Tip A hücreler fagositik hücreler.

Tip B hücreler fibroblast benzeri hücreler

Bağ dokusu

elastik lifler, kapillerler, sinirler ve adipöz doku alanları içerir.

Eklemin irritasyonunda

epitelyal hiperplazi ve neovaskülarizasyon gelişir.



Kemik Ekleri 5: **İntervertebral disk, menisküs, osteotendinöz bağlantı**

İntervertebral disk

Annulus fibrozus

Ligamente benzer

Fibrokartilaj dokusundan oluşur.

Nükleus pulpozus

Hyalen kıkırdağa benzer

Hyaluronik asitten zengin visköz bir sıvı

Dağınık yuvarlak hücreler içerir.

Menisküs

Sıkı bağ dokusu ve fibrokartilajdan oluşur.

Diz menisküsünün iç kısmında hyalen kartilajdan bulunur

İnserisyon bölgesi

Tendinöz inserisyon bölgesinde bazen woven kemik görülür.



Kemiğin biyomekanik özellikleri - 1

Vücudun en sert ve en güçlü dokusu.
organik - inorganik elemanların birleşimi
mimari yapısı

Kemik kütlesi gücün %50-70'inden sorumlu.
Kollajen lifler gerilmeye karşı,
Mineral kompressif yüklere karşı.
Kemik transvers yüklere daha dayanıklıdır.



Tansvers yüklere karşı direnç

Lamelde kollajen liflerin paralel dizilimi,

Osteonda lamellerin yerleşim biçimi

oblik tabakalar şeklinde

kollajen lifleri dik açı oluşturacak şekilde

Sement hattının (osteonda dış lamel bakası)

Trabeküleri oluşturan kiriş ve kolonların payandaları

Kemiğin anizotropik yapısı

transvers güçleri longitüenal yönde dağıtır.



Kemik sertliği (Young modülü)

Kemik sert ve frajil (kırılgan) bir materyal

Kortikal kemiğin sertlik derecesi (Young modülü)

longitudinal yönde 11-21,

transvers yönde 5-13 GPa,

trabeküler kemikte biraz daha düşüktür.

Kemiğin buna rağmen viskoelastik bir materyaldir

Esname

Sıkışma

Uzama gibi özellikleri vardır



Viskoelastik kemik

Kemik yük altında deforme olur.

Elastik deformasyon: %0,5 - %3 kadar

Eski haline geri döner

Plastik deformasyon: %0,5 - %3'en daha fazla

Eski haline dönemez

İçyapısında bozulmalar

Mikro-kırıklar ortaya çıkar.

Yük artmaya devam ederse kırılır.

Yük altında kemiğin

boyu değişir $\pm$ %0,5 - %3 kadar

kalınlığı değişir $\pm$ %0,1-0,33 kadar (Poisson oranı).

Su içeriği kemiğin esneme zamanını kısaltır

viskoelastik özelliklerini artırır

Kemik yüksek hızlarda nerdeyse iki kat daha serttir.

Düşük hızlarda kırılmaya karşı daha dayanıklıdır.



Uzun kemikler kısıalardan daha güçlüdür.

Kemik mineral yoğunluğu aynı

Kemik çapı genişledikçe kemik gücü artar.

Trabeküler ve kortikal kemik

Miktarı ve oranları önemli.



Kemik oldukça adaptif bir materyaldir;
Mekanik ihtiyaçlara göre yapısı ve özellikleri değişir.

Osteoporoz

Kullanmama
İmmobilizasyon

Osteoskleroz

Zorlu aktivitelere ve
Yüksek seviyede yüklenmeler

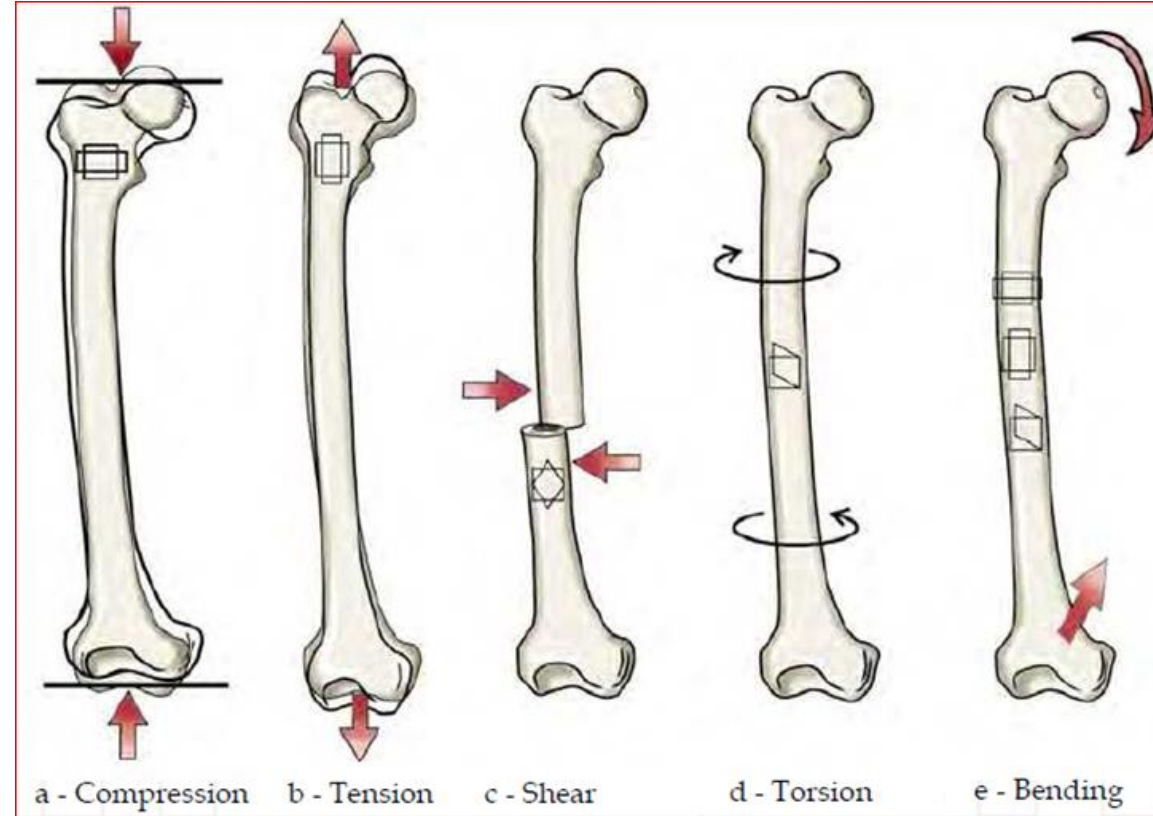
Wolff yasası;

*«kemiğin yapısında ve/veya fonksiyonlarındaki her değişiklik,
kendi iç mimarisinde başka bir değişikliğe neden olur.
İçyapıdaki bu sekonder değişiklik matematik kurallarına uygun
ve eksternal değişikliklerle eşdeğerdir.»*



Kemiğe uygulanan yükler

- basınç (kompresyon),
- germe (tensil kuvvet),
- makaslama (friksiyon, shear),
- bükme (torsiyon)
- eğme (bending, curvature)



Kemiğe etki eden mekanik yükler



Kemik hasarı (kırık)

Çok yüksek tek bir güç veya

Daha düşük yüklerin uzun süre tekrarı neden olur

Stres fraktürü - yorgunluk fraktürü

Mikrotravmaların akümülyasyonuna bağlı.



Kemik kompressif yüklere

Kısalarak ve genişleyerek cevap verir.

Stres en çok kompressif yüklerde absorbe edilir.

Fazlası kompresyon fraktürlerine neden olur.

Tensil yüklere karşı

Uzama ve incelme eğilimindedir.

Tensil kuvvet kaslar tarafından uygulanır.

Avülsiyon fraktürlerine neden olur.

Makaslama kuvvetleri

Açısal yönde internal deformasyona neden olur.

Büyüme plaklarındaki kırılmaların en sık nedeni.

Bükülme kuvvetlerinde

Bir tarafta kompresyon ve iç bükey,

Diğer tarafta distansiyon ve dış bükey deformasyon olur.

Kemik kompressif yüklere daha dayanıklı

Kırık gerilmenin olduğu dışbükey tarafta olur.



İSTANBUL
GELİŞİM
ÜNİVERSİTESİ

Katılımınız İçin
Teşekkür Ederiz.