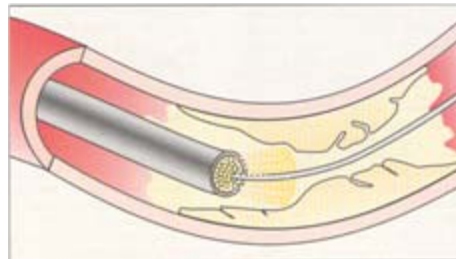




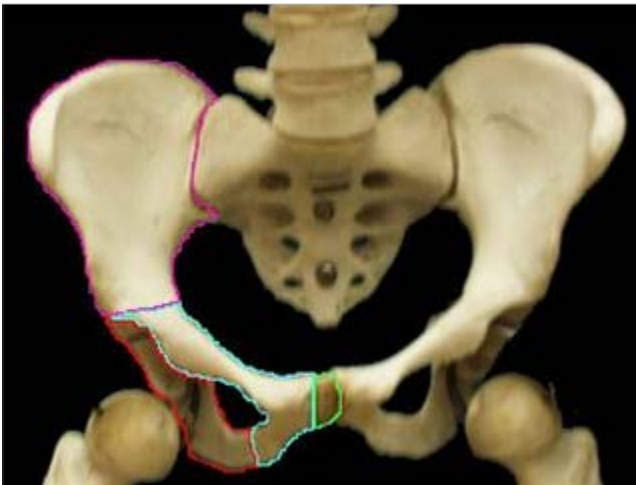
## ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

### *“Εισαγωγή στην Ιατρική Φυσική - Φυσική του σκελετού”*

Ακαδ. έτος 2008-2009 - Διδάσκουσα: Μυρσίνη Μακροπούλου



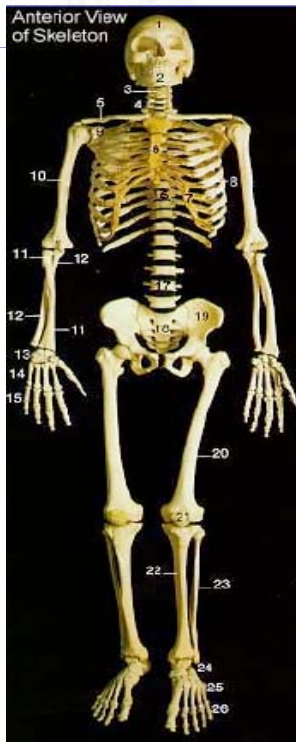
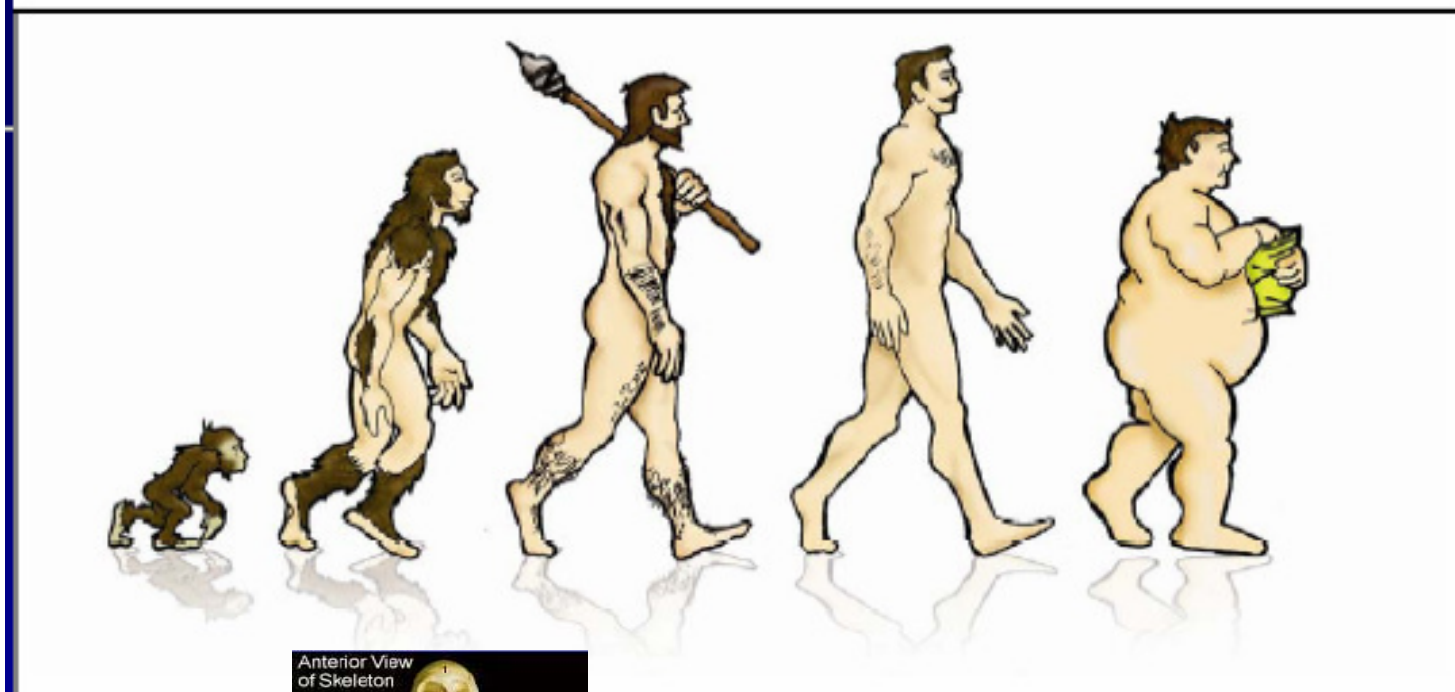
# ☀ ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΣΚΕΛΕΤΟΥ



1. Skull
2. Mandible
3. Hyoid Bone
4. Cervical Vertebra
5. Clavicle
6. Sternum
7. Costal Cartilage
8. Ribs
9. Scapula
10. Humerus
11. Radius
12. Ulna
13. Carpal Bones
14. Metacarpal Bones
15. Phalanges of Fingers
16. Thoracic Vertebra
17. Lumbar Vertebra
18. Sacrum
19. Os Coxa
20. Femur
21. Patella
22. Tibia
23. Fibula
24. Tarsal Bones
25. Metatarsal Bones
26. Phalanges of Toes



# Η εξέλιξη του ανθρώπινου σκελετού



human  
206 bones



mouse  
> 200 bones

## Μορφή των οστών

### Λειτουργία των οστών

- Στήριξη (βαρύτητα)
- Προστασία διαφόρων οργάνων:
  - Θώρακας (πνεύμονες, καρδιά, όργανα θώρακα)
  - Κρανίο (εγκέφαλος, μάτια, αυτιά)
  - Σπονδυλική στήλη (νωτιαίος μυελός)
- Κίνηση
- Αποθήκευση χημικών ουσιών (Ca)
- Τροφοδοσία (οστεοβλάστες)
- Ακοή



Human femur

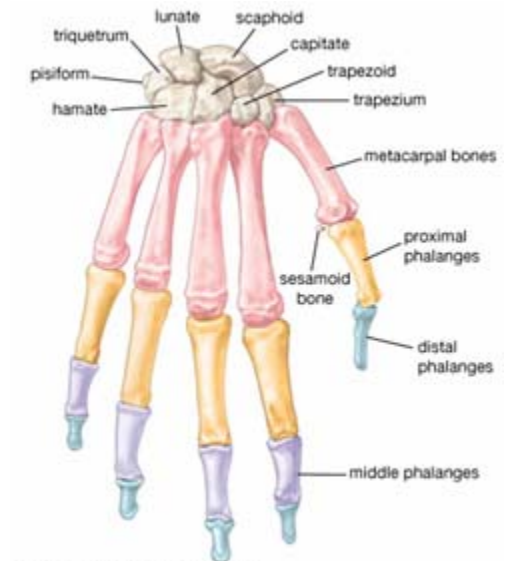
### Μηριαίο οστό

Τα οστά διαφέρουν ως προς το μέγεθος και τη μορφή



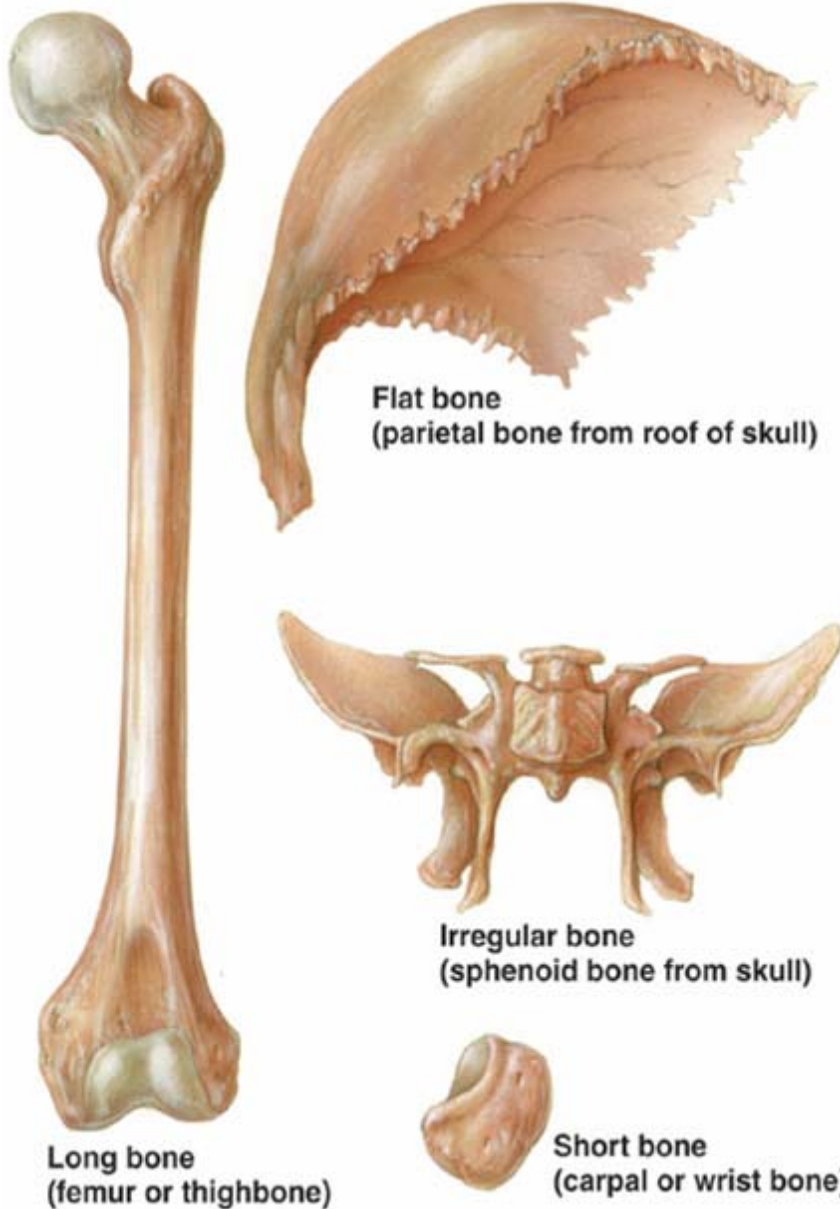
Bones of the inner ear

*Έσω ους: σφύρα, άκμονας, αναβολέας*



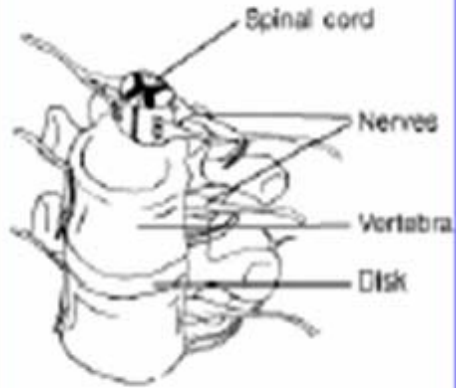
# Σχήματα των οστών

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

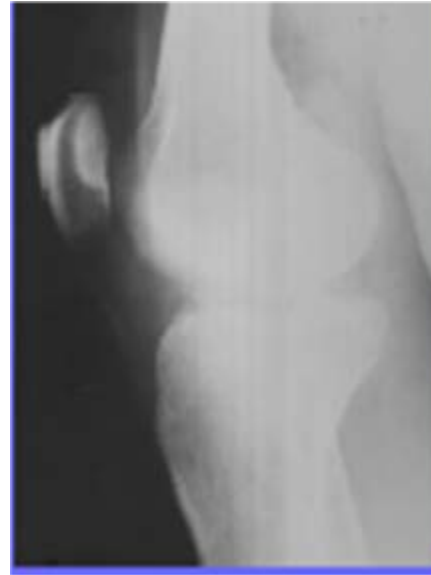


- **Μακρά ή αυλοειδή (Long)**
  - Ex. Upper and lower limbs
- **Βραχέα (Short)**
  - Ex. Carpals and tarsals
- **Πλατιά (Flat)**
  - Ex. Ribs, sternum, skull, scapulae
- **Ακανόνιστα (Irregular)**
  - Ex. Vertebrae, facial

Figure 2



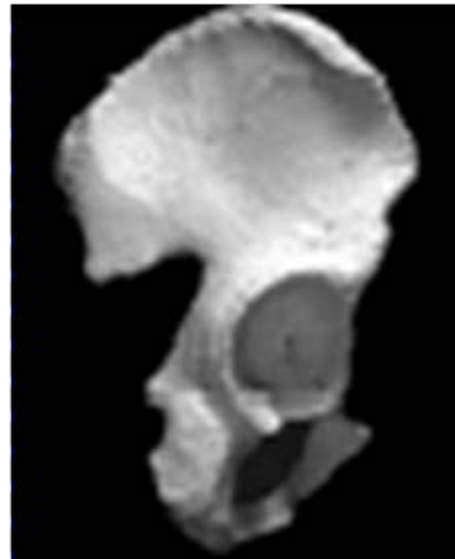
Section of the Spine



*Tubular support bones (limbs, digits)*

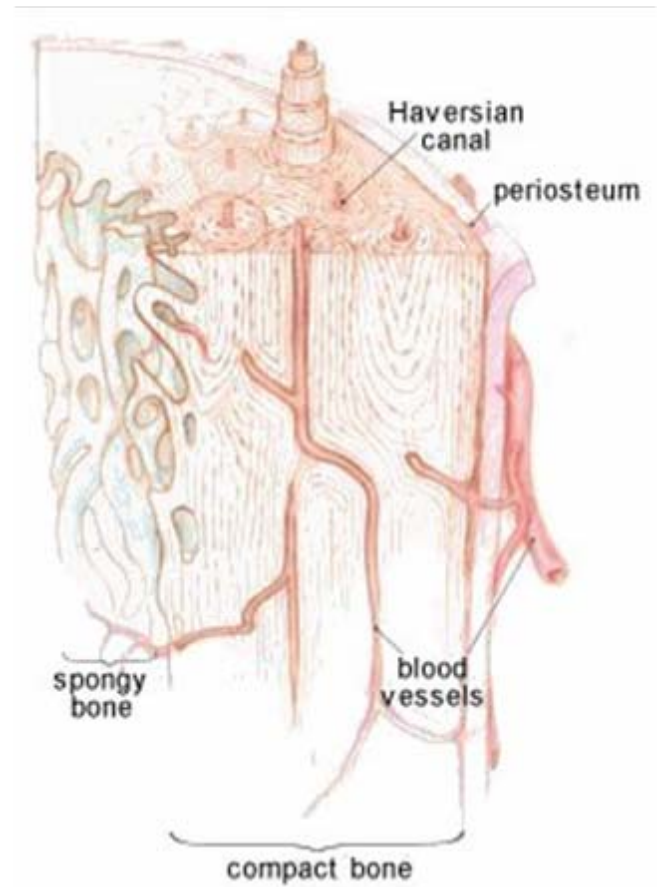
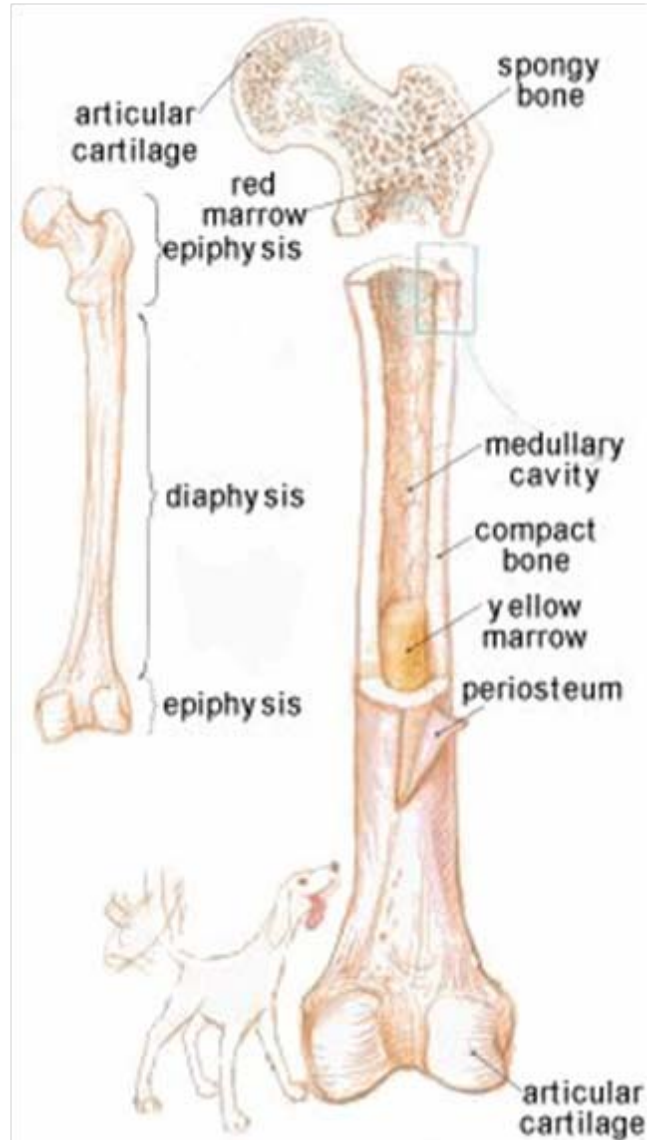
*Οστά σχήματος πλάκας (κρανίο)*

*Οστά κυλινδρικού σχήματος προστατεύουν μαλακούς ιστούς (νωτιαίο μυελό)*

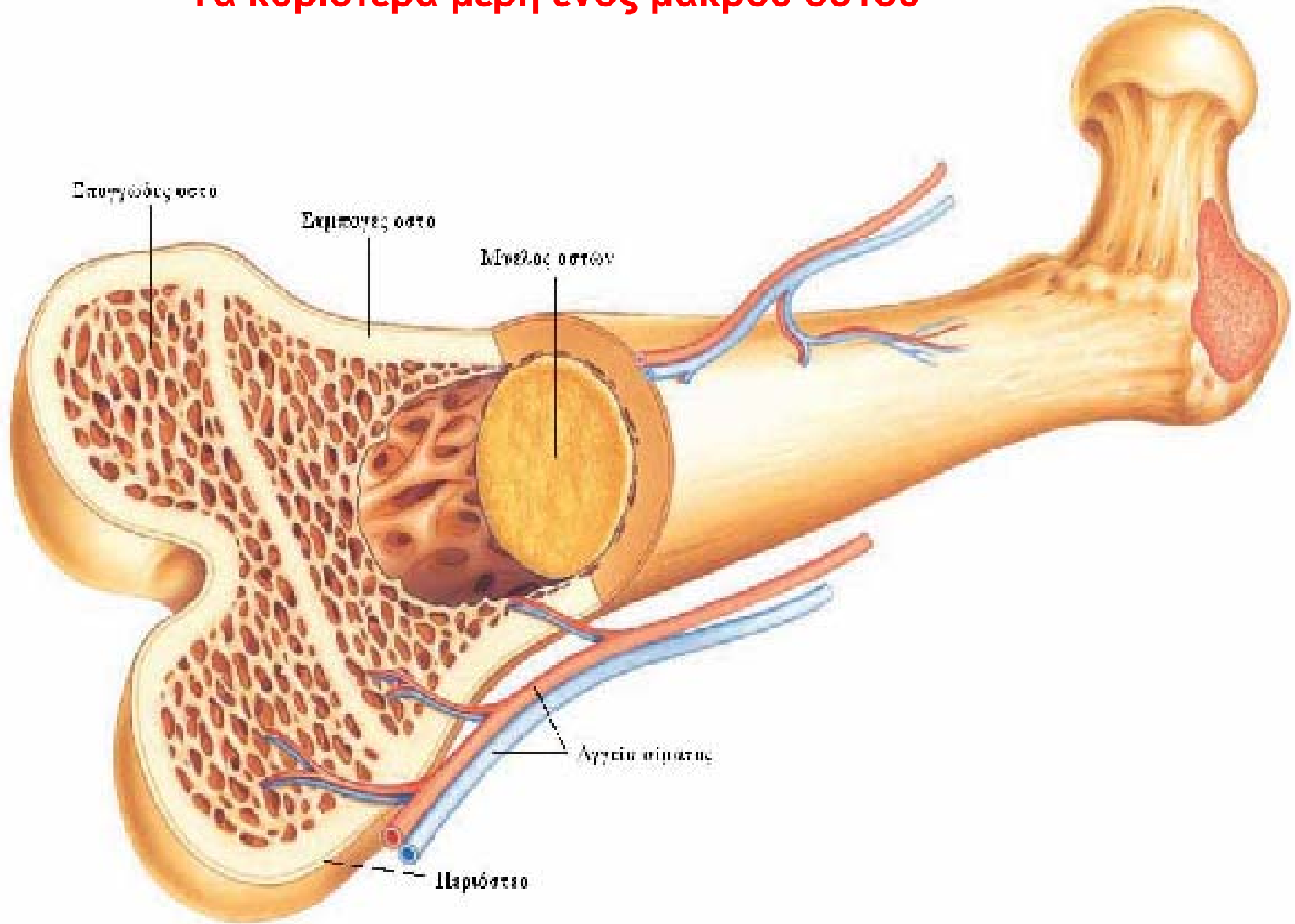


*Hip and shoulder bones*

## Τα κυριότερα μέρη ενός μακρού οστού



## Τα κυριότερα μέρη ενός μακρού οστού

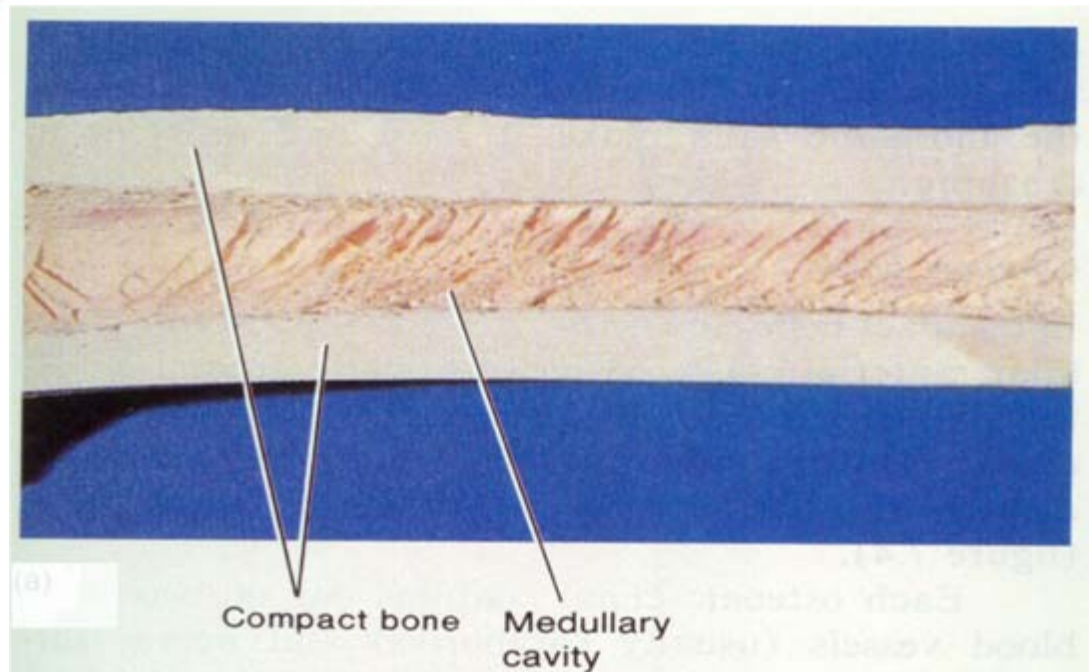
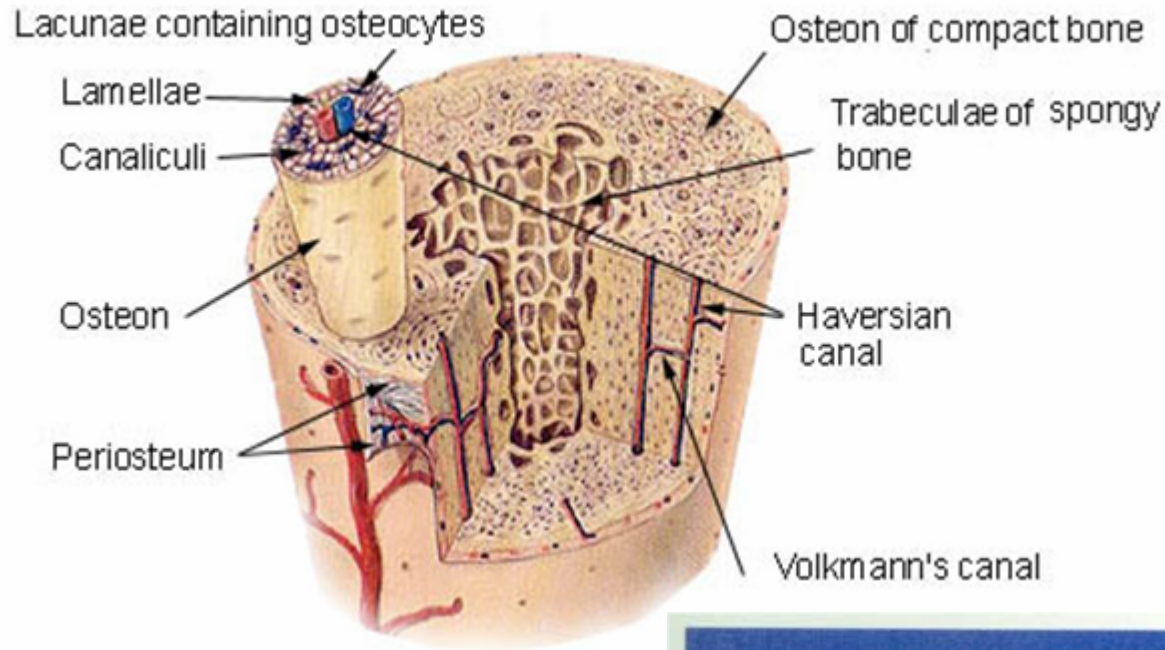


*Μορφολογία και δομή μακρών οστών. Στην εικόνα διακρίνεται το περίοστιο, το συμπαγές οστό, το σπογγώδες οστό, ο μυελός των οστών αλλά και τα αγγεία του αίματος τα οποία διεισδύουν στο οστό*

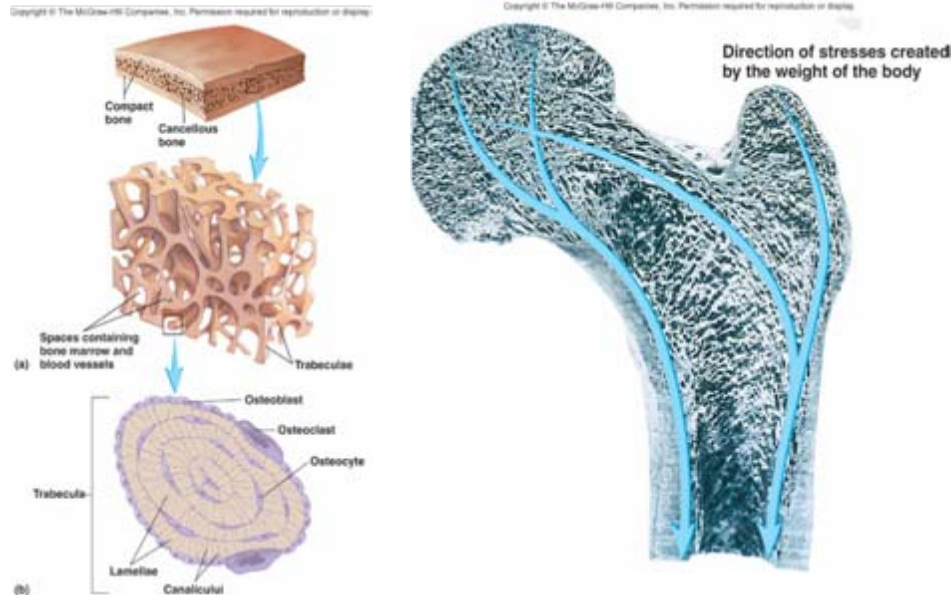


# Σύσταση οστών – μορφή

## Compact Bone & Spongy (Cancellous Bone)



# Σπογγώδες οστό

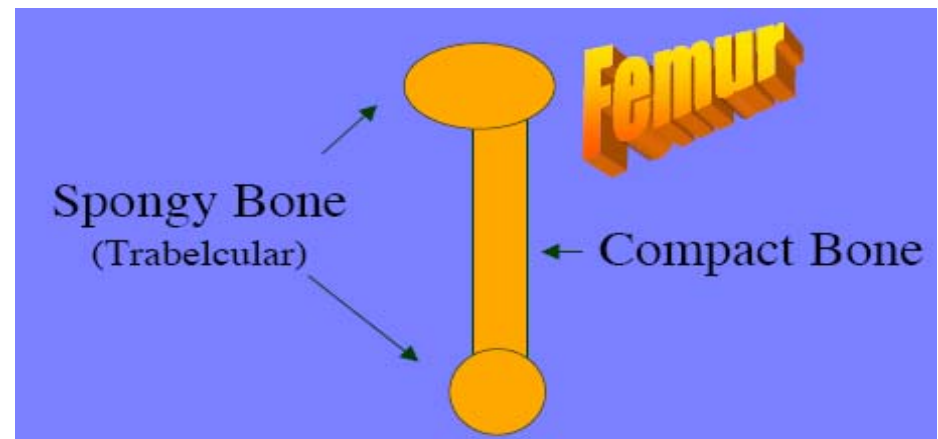


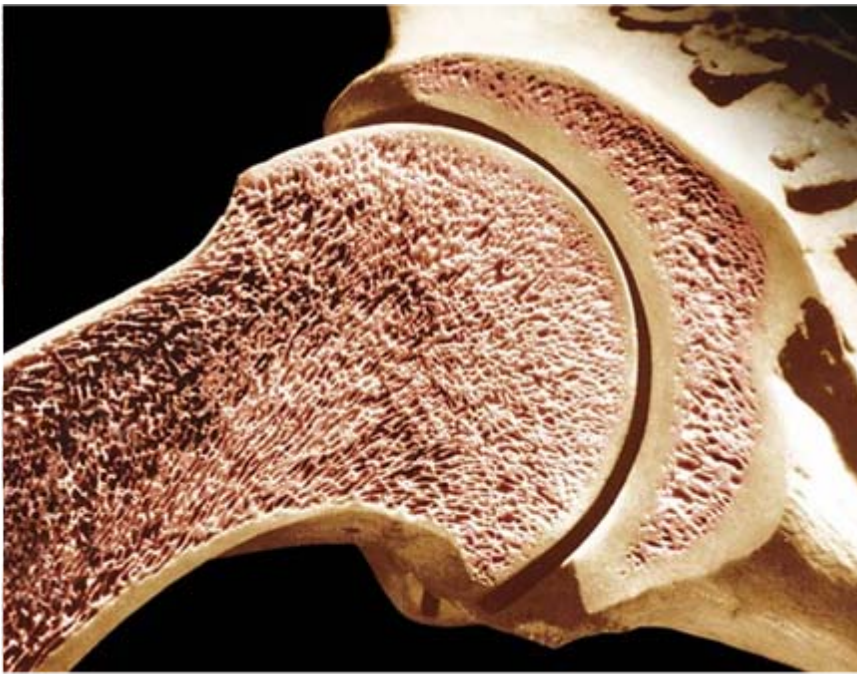
*Το σπογγώδες οστό αποτελείται από ένα δίκτυο οστικών δοκίδων*

- **Trabeculae:** interconnecting rods or plates of bone.

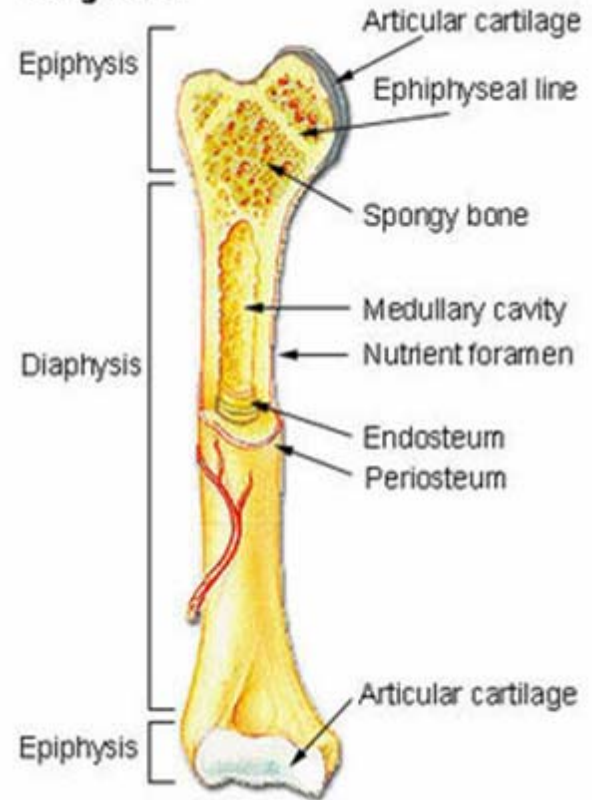
Like scaffolding.

- Spaces filled with marrow.
- Covered with endosteum.
- Oriented along stress lines





### Long Bone



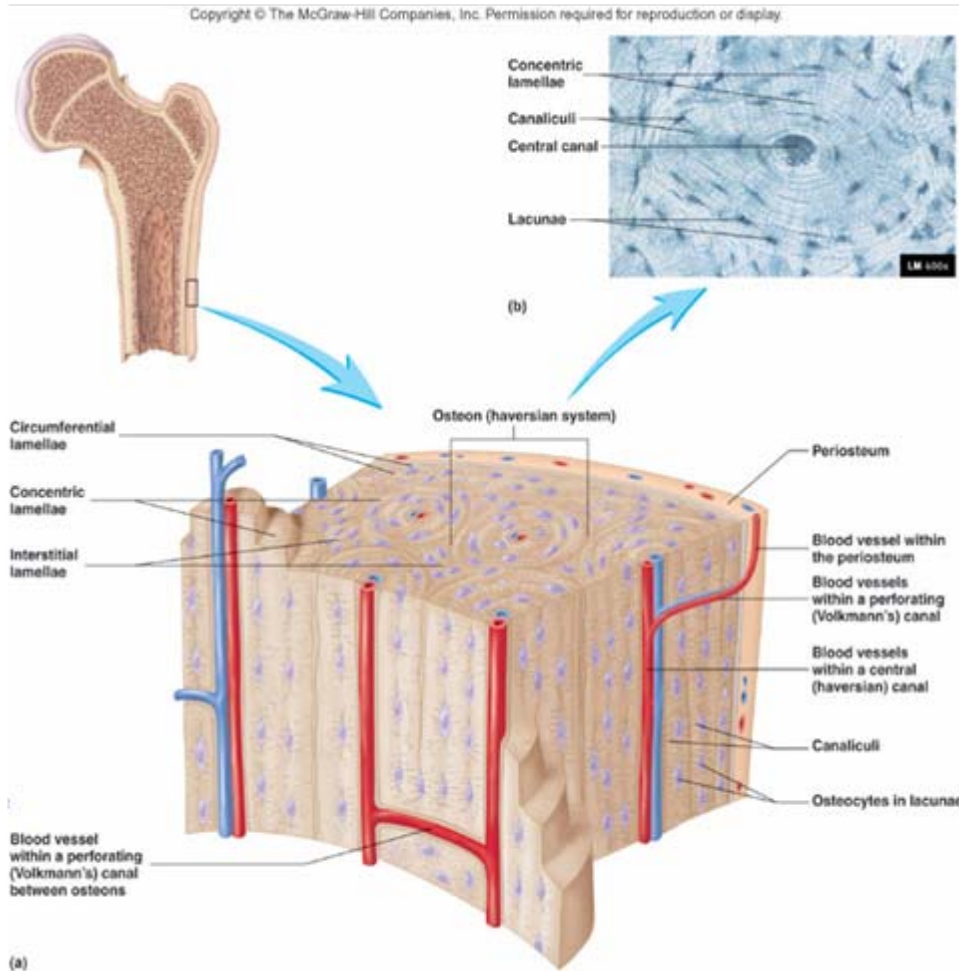
## Osteoporosis



6 million women, 1-2 million men (US)

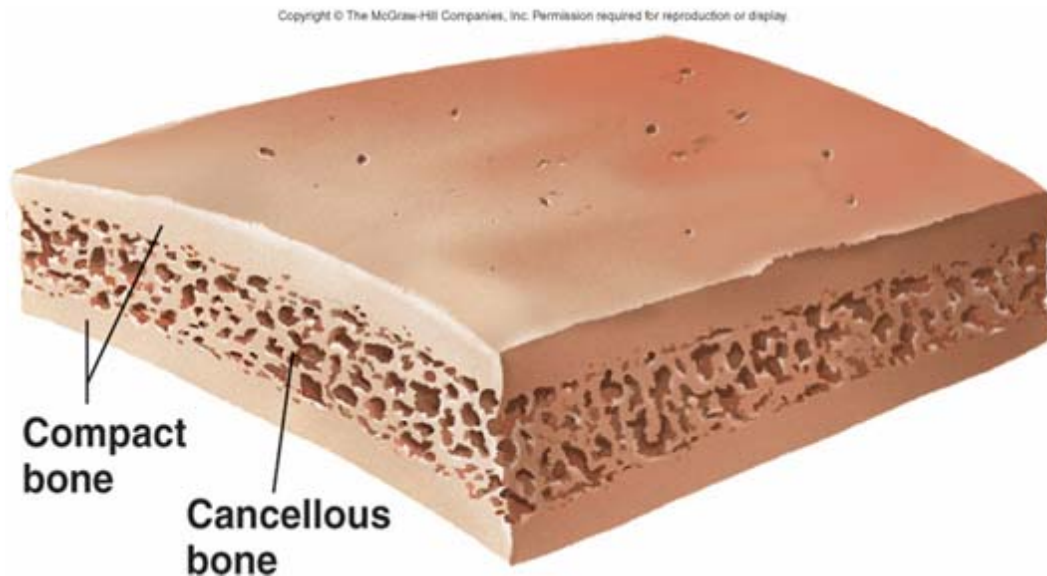
Το σπογγώδες οστό είναι λιγότερο ανθεκτικό από το συμπαγές οστό.

# Συμπαγές οστό



- **Central** or **Haversian canals**: parallel to long axis
- **Lamellae**: concentric, circumferential, interstitial
- **Osteon** or **Haversian system**: central canal, contents, associated concentric lamellae and osteocytes
- **Perforating** or **Volkmann's canal**: perpendicular to long axis. Both perforating and central canals contain blood vessels. Direct flow of nutrients from vessels through cell processes of osteoblasts and from one cell to the next.

# Πλατιά, βραχέα, ακανόνιστα οστά



- **Flat Bones**

- No diaphyses, epiphyses
- Sandwich of cancellous between compact bone

## **Short and Irregular Bone**

- Compact bone that surrounds cancellous bone center; similar to structure of epiphyses of long bones
  - No diaphyses and not elongated
- Some flat and irregular bones of skull have sinuses lined by mucous membranes.

# Σύσταση των οστών

**Κολλαγόνο, μεταλλικά άλατα  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , νερό**

- Το κολλαγόνο (οργανική ουσία) κάνει τα οστά εύκαμπτα (ελαστικότητα)
- Τα μεταλλικά άλατα (ανόργανα συστατικά) κάνουν τα οστά ανθεκτικά
- Το νερό στα διάμεσα κενά αποθηκεύει θρεπτικά συστατικά

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(a)

Without mineral

Without collagen



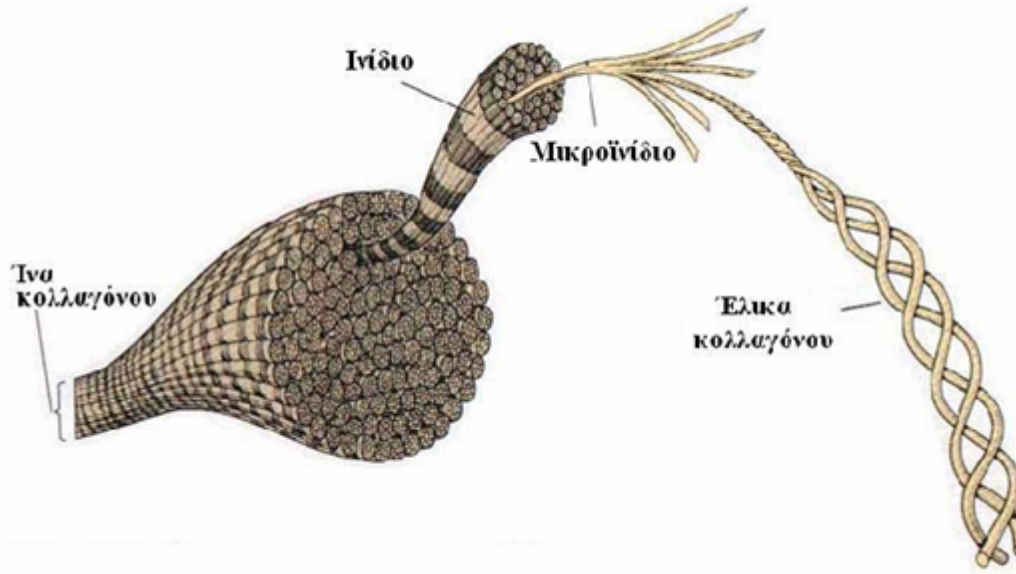
(b)



(c)

- Εαν απομακρυνθούν τα μεταλλικά άλατα, το οστό γίνεται πολύ εύκαμπτο,
- Εαν απομακρυνθεί το κολλαγόνο, το οστό γίνεται πολύ εύθραυστο.

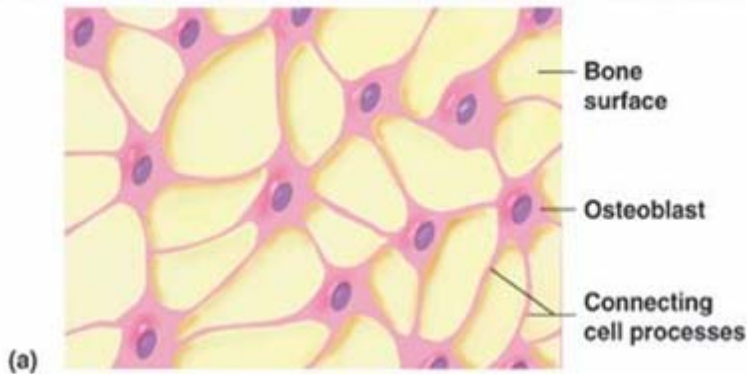
## Σχηματική αναπαράσταση της διαμόρφωσης μιας ίνας κολλαγόνου



Το κολλαγόνο των οστών διαφέρει από αυτό που βρίσκεται σε άλλα μέρη του σώματος, π.χ. στο δέρμα.

# Bone Cells

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



*Τα κύτταρα αποτελούν περίπου το 2% του όγκου των οστών*

- **Osteoblasts**

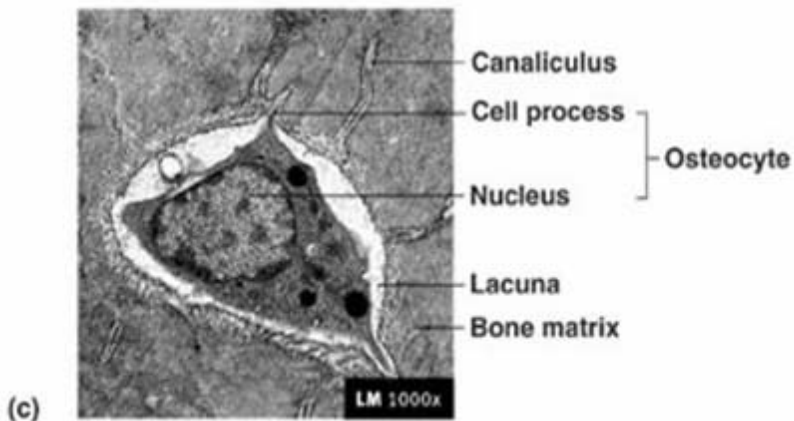
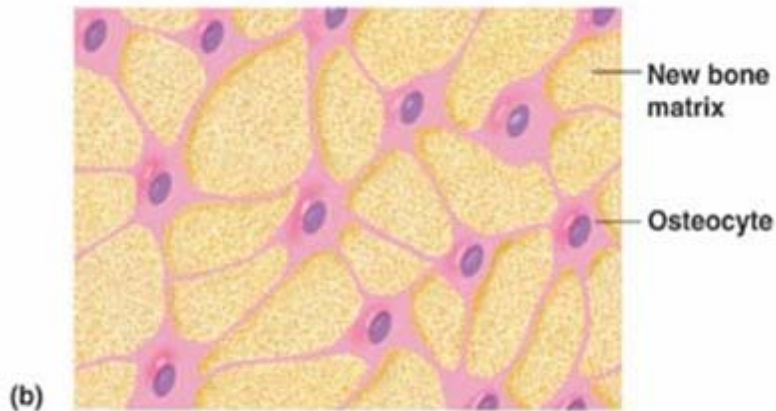
- Formation of bone through ossification or osteogenesis. Collagen produced by E.R. and golgi. Released by exocytosis. Precursors of hydroxyapetite stored in vesicles, then released by exocytosis.
- **Ossification**: formation of bone by osteoblasts. Osteoblasts communicate through gap junctions. Cells surround themselves by matrix.



# Osteocytes

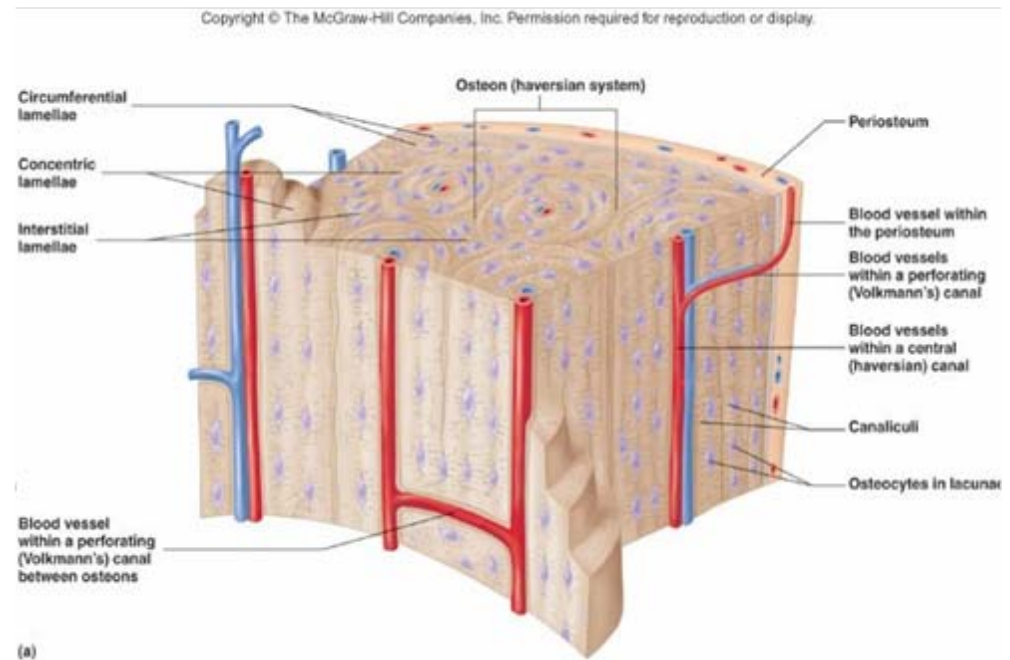
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

- **Osteocytes**. Mature bone cells. Stellate. Surrounded by matrix, but can make small amounts of matrix to maintain it.
  - **Lacunae**: spaces occupied by osteocyte cell body
  - **Canaliculi**: canals occupied by osteocyte cell processes
  - Nutrients diffuse through tiny amount of liquid surrounding cell and filling lacunae and canaliculi. Then can transfer nutrients from one cell to the next



# Η κυκλοφορία του αίματος στα οστά

- **Perforating canals:** blood vessels from periosteum penetrate bone
- Vessels of the central canal
- Nutrients and wastes travel to and from osteocytes via
  - Interstitial fluid of lacunae and canaliculi
  - From osteocyte to osteocyte by gap junctions



# Φυσικές ιδιότητες των οστών

Calc. Tiss. Res. 8, 177-180 (1971)  
© by Springer-Verlag 1971

## Origin of the Piezoelectric Effect in Bone

ANDREW A. MARINO and ROBERT O. BECKER

Veterans Administration Hospital, Department of Orthopedic Surgery  
Upstate Medical Center, Syracuse, New York

STORNY C. SODERHOLM

Department of Physics, Clarkson College of Technology, Potsdam, New York

Received May 30, accepted July 7, 1971

The piezoelectric effect was measured in samples of human bone and repeated with the same samples after either demineralization or decollagenation. The results indicate that at least part and possibly all of the piezoelectric effect found in whole bone arises from the organic component. The existence of two alternative results from the unknown role of the collagen-mineral interface. In either case, bone mineral *per se* makes no contribution to the piezoelectric effect in bone.

*Key words:* Bone — Collagen — Piezoelectricity.

# Φυσικές ιδιότητες των οστών

APPLIED PHYSICS LETTERS 89, 132906 (2006)

## Dielectric and piezoelectric properties of hydroxyapatite-BaTiO<sub>3</sub> composites

C. R. Bowen,<sup>a)</sup> J. Gittings, and I. G. Turner

*Materials Research Centre, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath BA2 7AY, United Kingdom*

F. Baxter and J. B. Chaudhuri

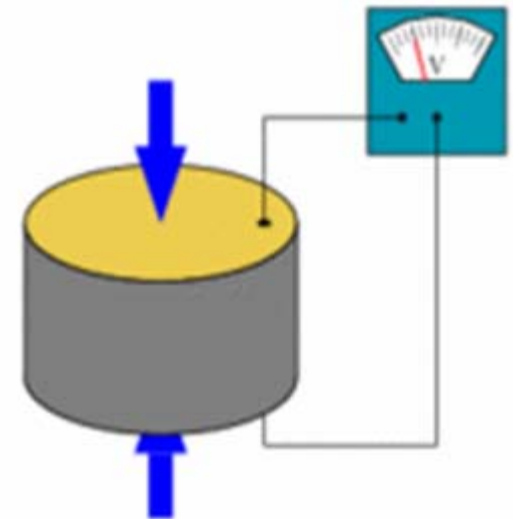
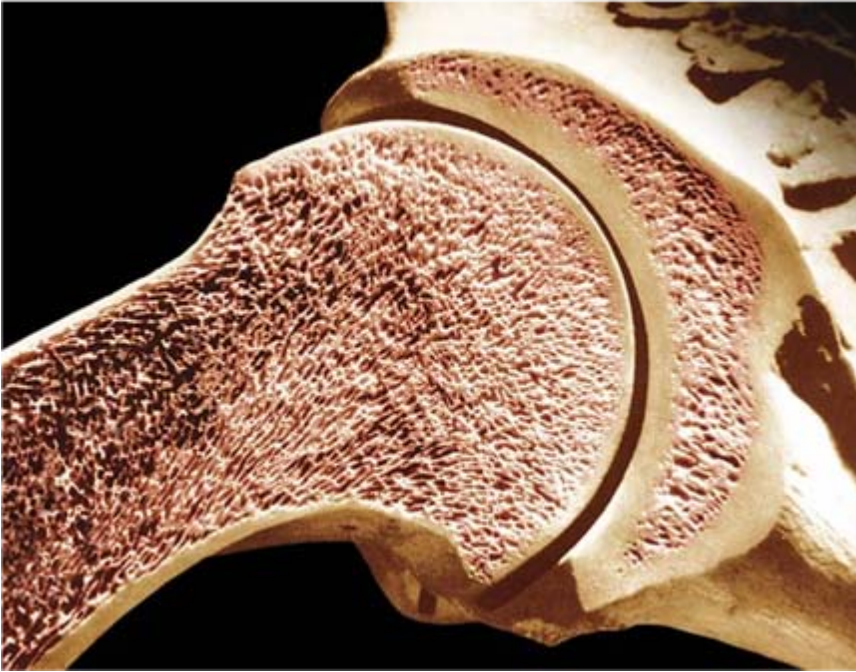
*Centre for Regenerative Medicine, Department of Chemical Engineering, University of Bath, Bath BA2 7AY, United Kingdom*

(Received 27 April 2006; accepted 30 July 2006; published online 28 September 2006)

This letter describes the relationships between the composition and the dielectric and piezoelectric properties of hydroxyapatite-barium titanate composites for polarized bone substitutes. The ac conductivity and permittivity were characterized from 0.1 Hz to 1 MHz, along with measurements of the  $d_{33}$  piezoelectric charge coefficient. The addition of BaTiO<sub>3</sub> led to an increase in permittivity and ac conductivity of the material. The increase in both properties was attributed to the presence of the high permittivity ferroelectric phase. The  $d_{33}$  and  $g_{33}$  coefficients decreased rapidly as hydroxyapatite was introduced into BaTiO<sub>3</sub> material. Composites below 80% by volume of BaTiO<sub>3</sub> exhibited no net piezoelectric effect. © 2006 American Institute of Physics.

[DOI: [10.1063/1.2355458](https://doi.org/10.1063/1.2355458)]

## Φυσικές ιδιότητες των οστών



A piezoelectric disk generates a voltage when deformed (change in shape is greatly exaggerated)

## Φυσικές ιδιότητες των οστών

### Strength of Bones

Compact  $Y = 1.8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Trabecular  $Y = 7.6 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

Tensile Strength (Stress)

Compact  $T = 1.2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Compressive Strength

Compact  $C = 1.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Trabecular  $C = 2.2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

Viscoelasticity:

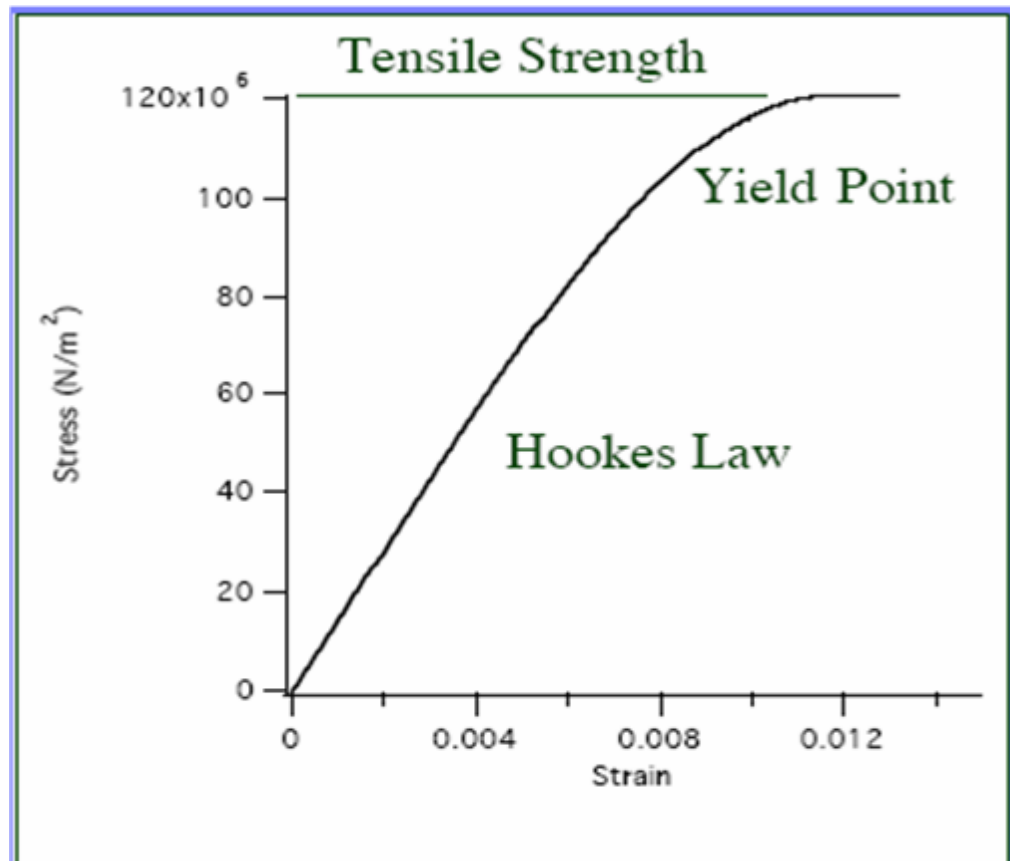
Short duration: increased Strength

**Οστική πυκνότητα  $\neq$  οστική μάζα**

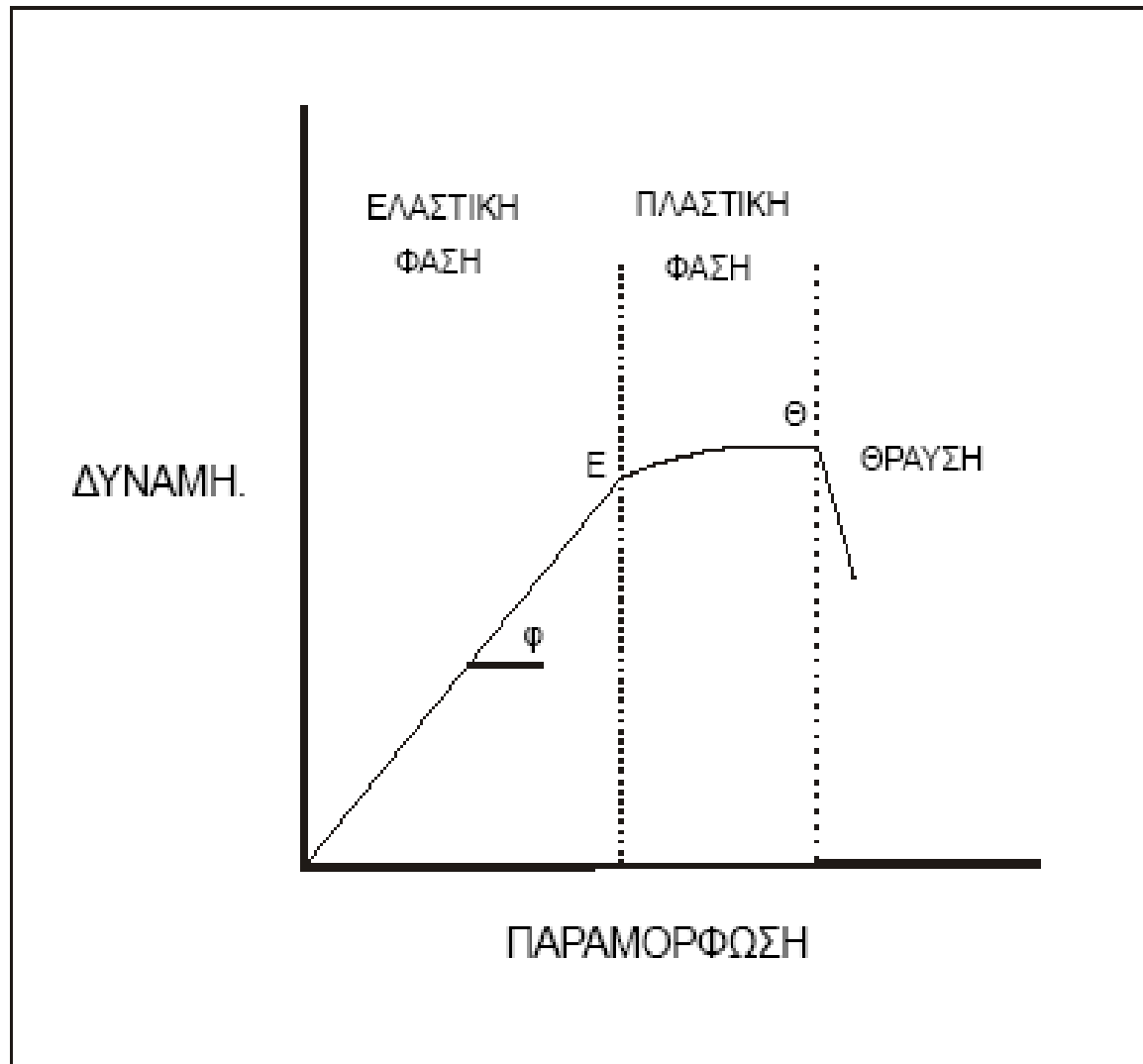
$$F = k\Delta L$$

$F/A = Y\Delta L/L$ , (όπου  $\Delta L/L$  η επιμήκυνση,  
 $Y$  είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young)

$$k = Y A/L$$

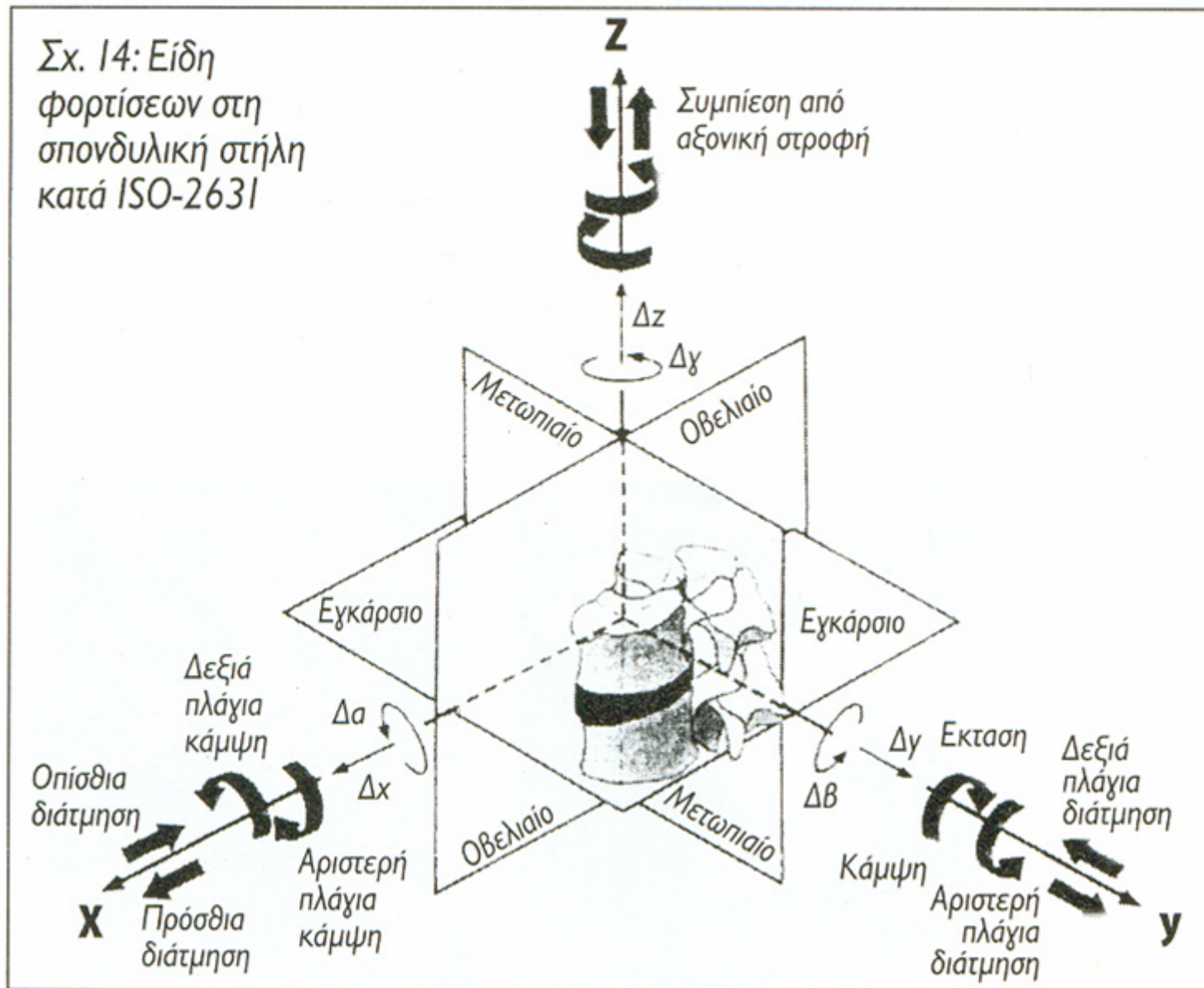


## Φυσικές ιδιότητες των οστών

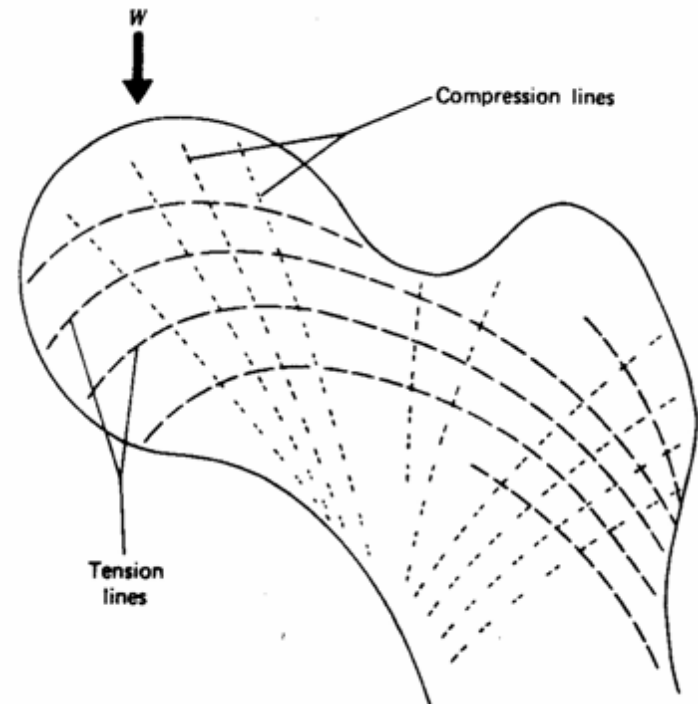
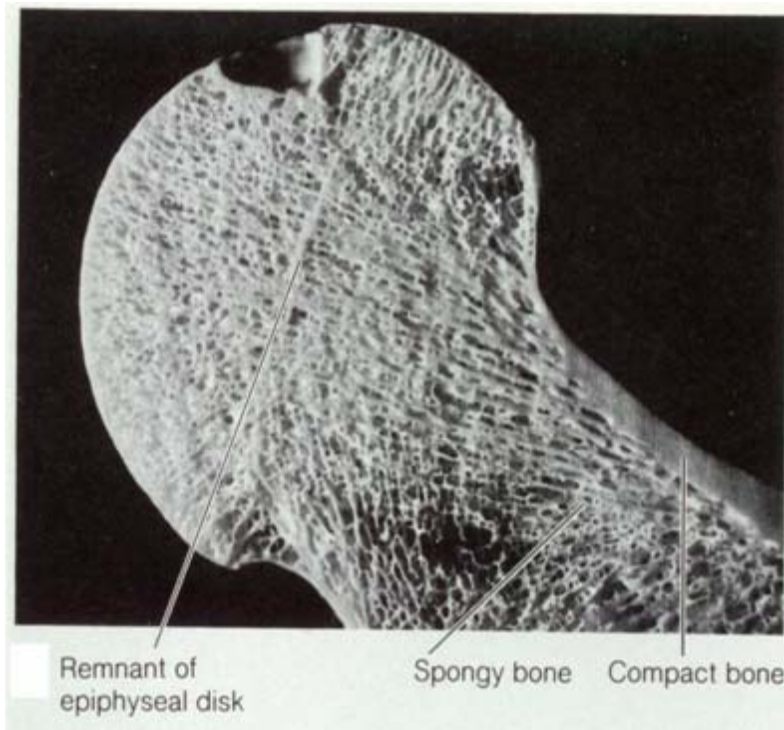


Καμπύλη φόρτισης και παραμόρφωσης. **E**: Σημείο υποχώρησης, **Θ**: Σημείο θραύσεως,  $\varphi$ : Δυσκαμπτότητα.

# Φυσικές ιδιότητες των οστών



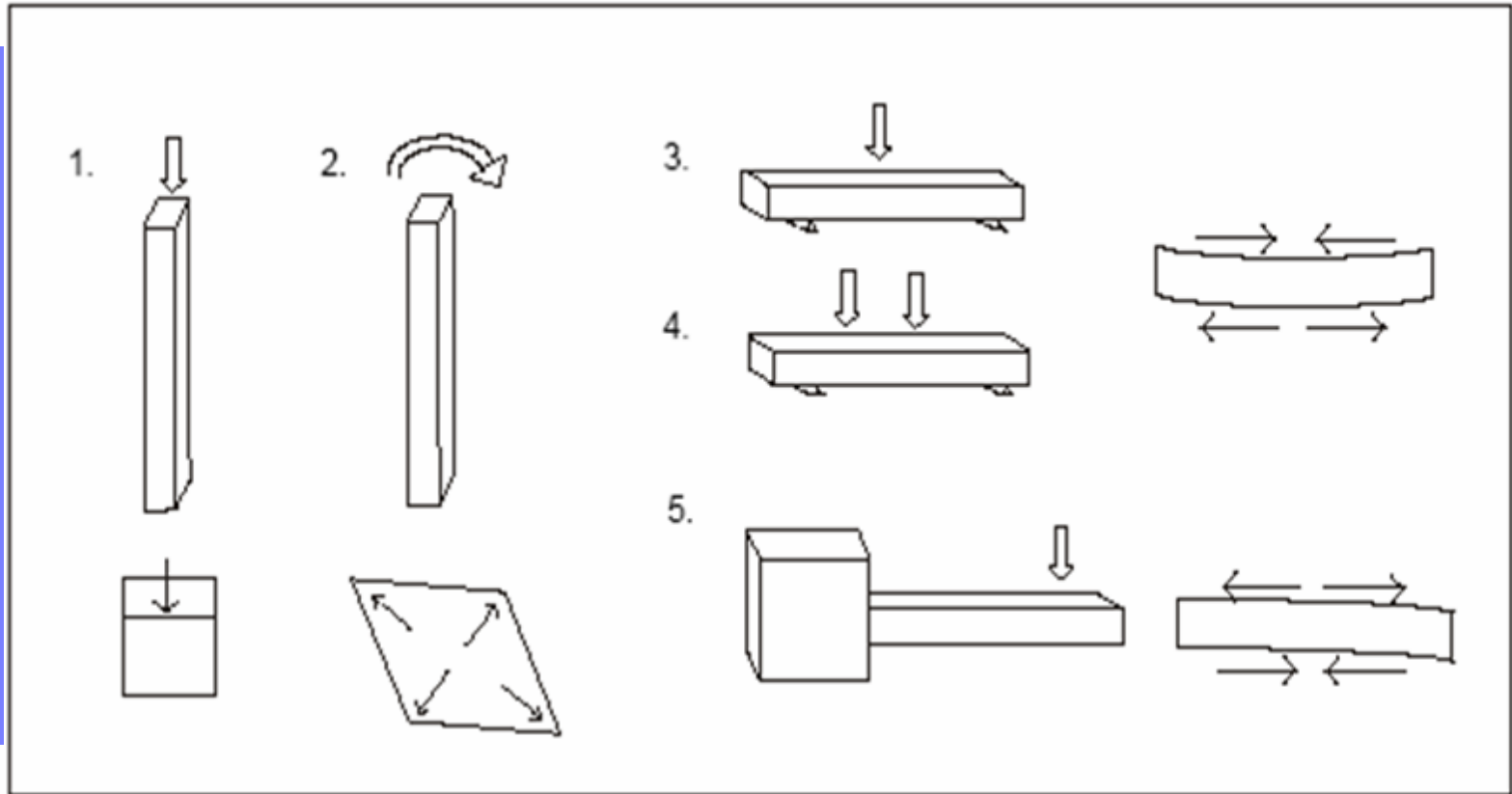
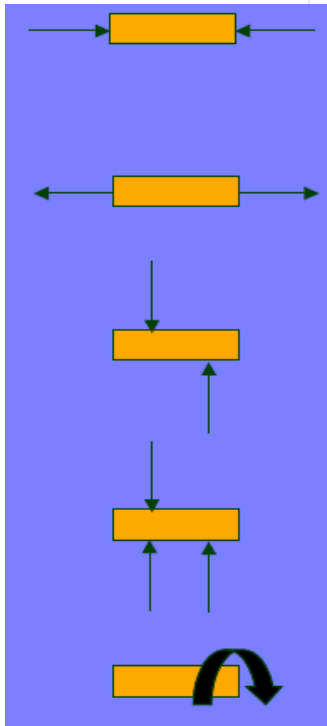




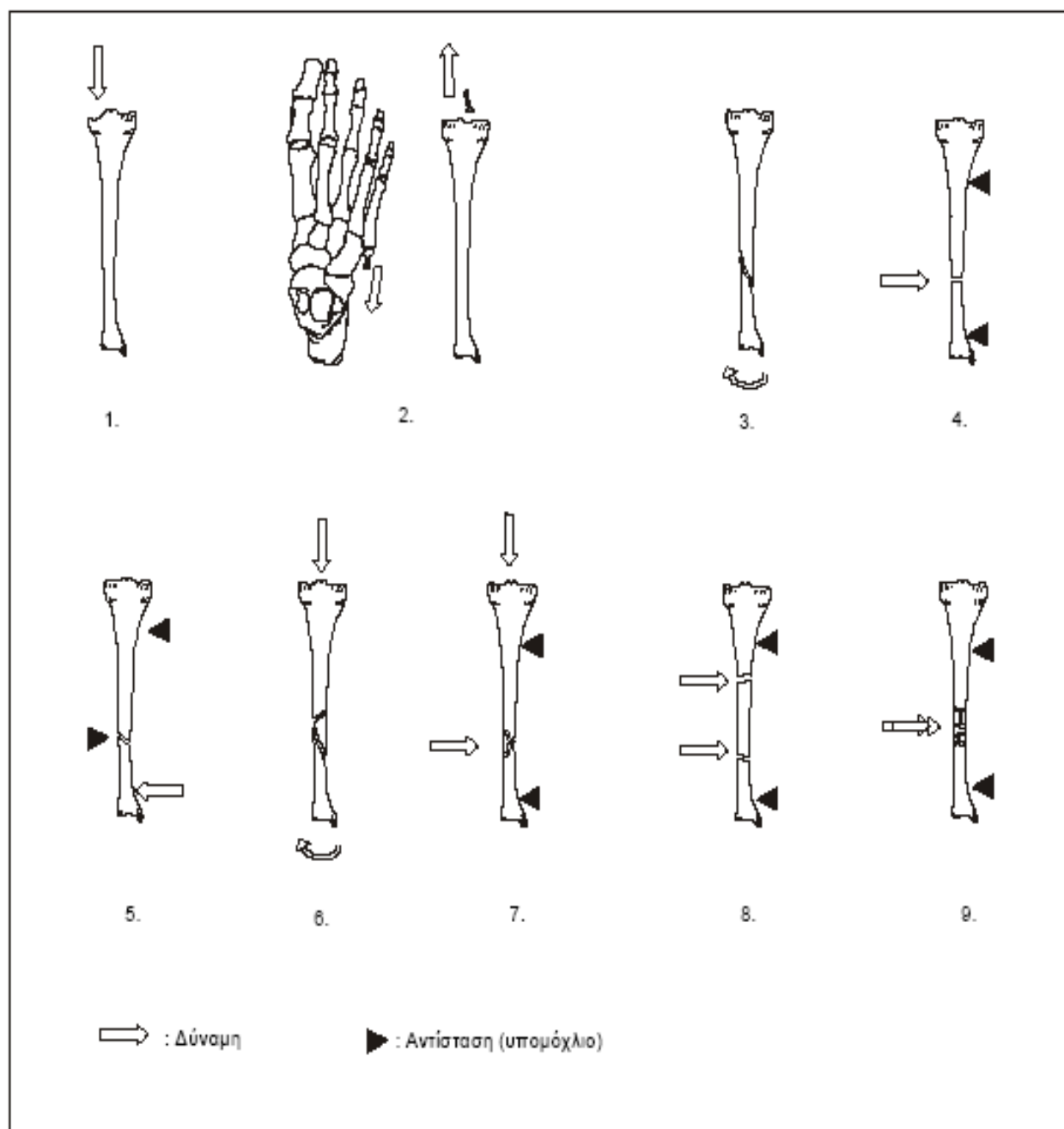
*Διατομή στην οποία φαίνεται το φυσιολογικό δίκτυο δοκίδων.  
Παρατήρηση: ακολουθούν τις γραμμές συμπίεσης και ελκυσμού.*

*Γραμμές συμπίεσης και ελκυσμού λόγω του βάρους  $W$  του σώματος*

## Πως ένα οστό παθαίνει κάταγμα

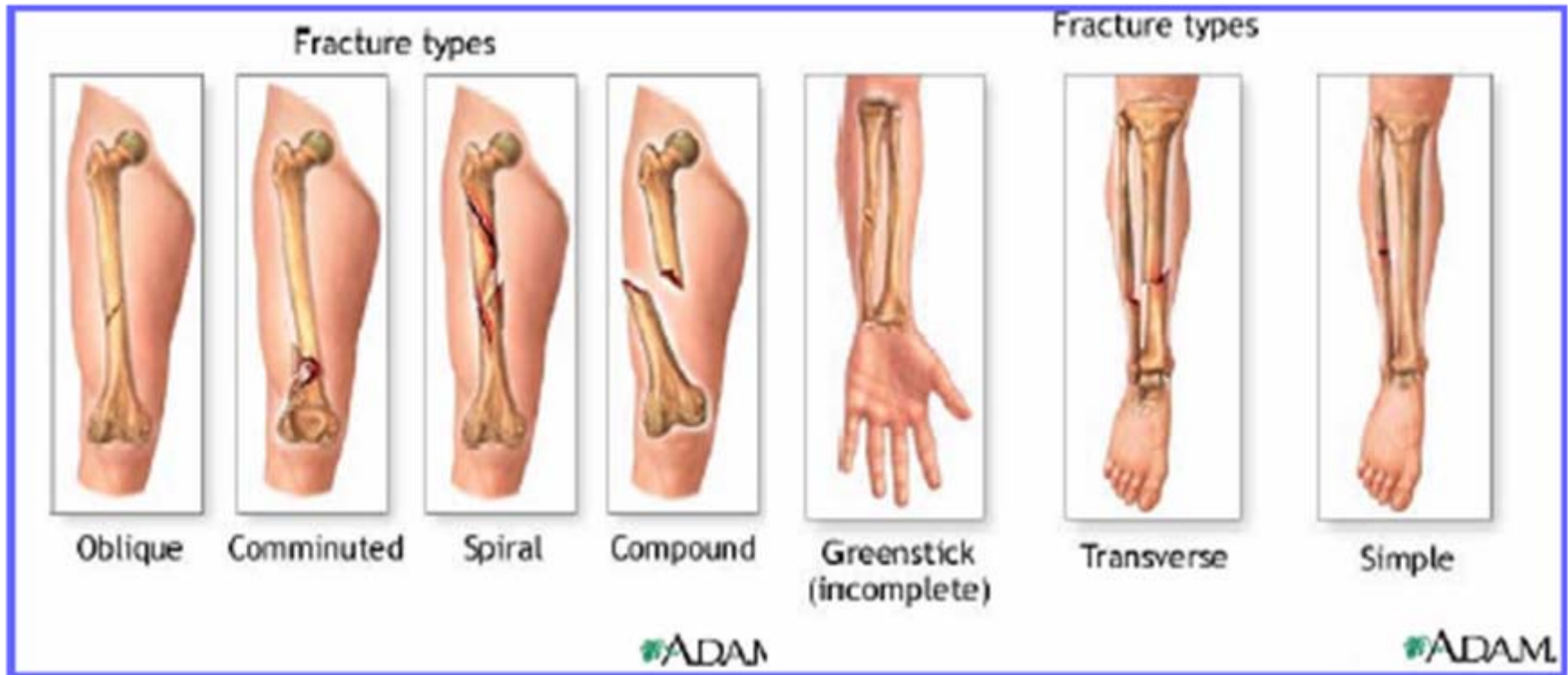


Σχήμα 2(A.1.2-2). Τρόποι φόρτισης αντικειμένου. 1: Αξονική φόρτιση (συμπίεση) και παραμόρφωση, 2: Στροφική φόρτιση και παραμόρφωση, 3,4,5: Φορτίσεις κάμψεως και οι προκύπτουσες παραμορφώσεις (3: Φόρτιση κάμψεως 3 σημείων, 4: Φόρτιση κάμψεως 4 σημείων, 5: Φόρτιση κάμψεως τύπου δοκού).



**Σχήμα 1(A.1.4-1).** Τρόποι φόρτισης και κατάγματα. 1: Συμπίεση, 2: Ελκυσμός (Απόσπαση), 3: Στροφή, 4: Κάμψη, 5: Κάμψη, 6 και 7: Συνδυασμός, 8: Κάμψη, 8: Υψηλή ενέργεια.

## Είδη καταγμάτων – ονομασίες



**Oblique** - a fracture which goes at an angle to the axis

**Comminuted** - a fracture of many relatively small fragments

**Spiral** - a fracture which runs around the axis of the bone

**Compound** - a fracture (also called open) which breaks the skin

**Greenstick** - an incomplete fracture in which the bone bends

**Transverse** - a fracture that goes across the bone's axis

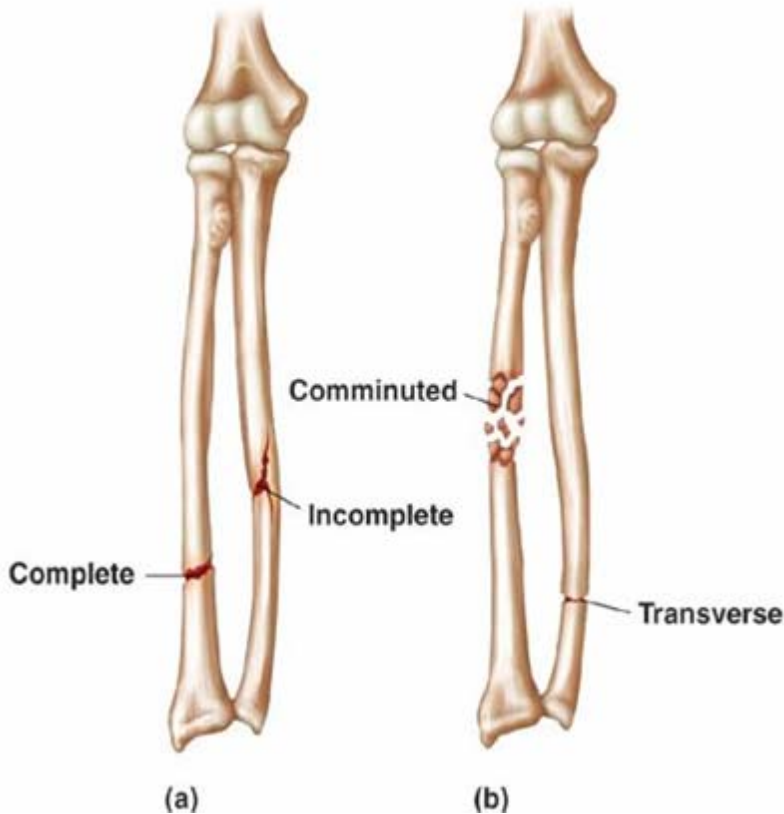
**Simple** - a fracture which does not break the skin



Εικόνα 1 (B.1-1). Κάταγμα με συντριβή (ασταθές κατά Winquist και Hansen).

# Οστικά κατάγματα

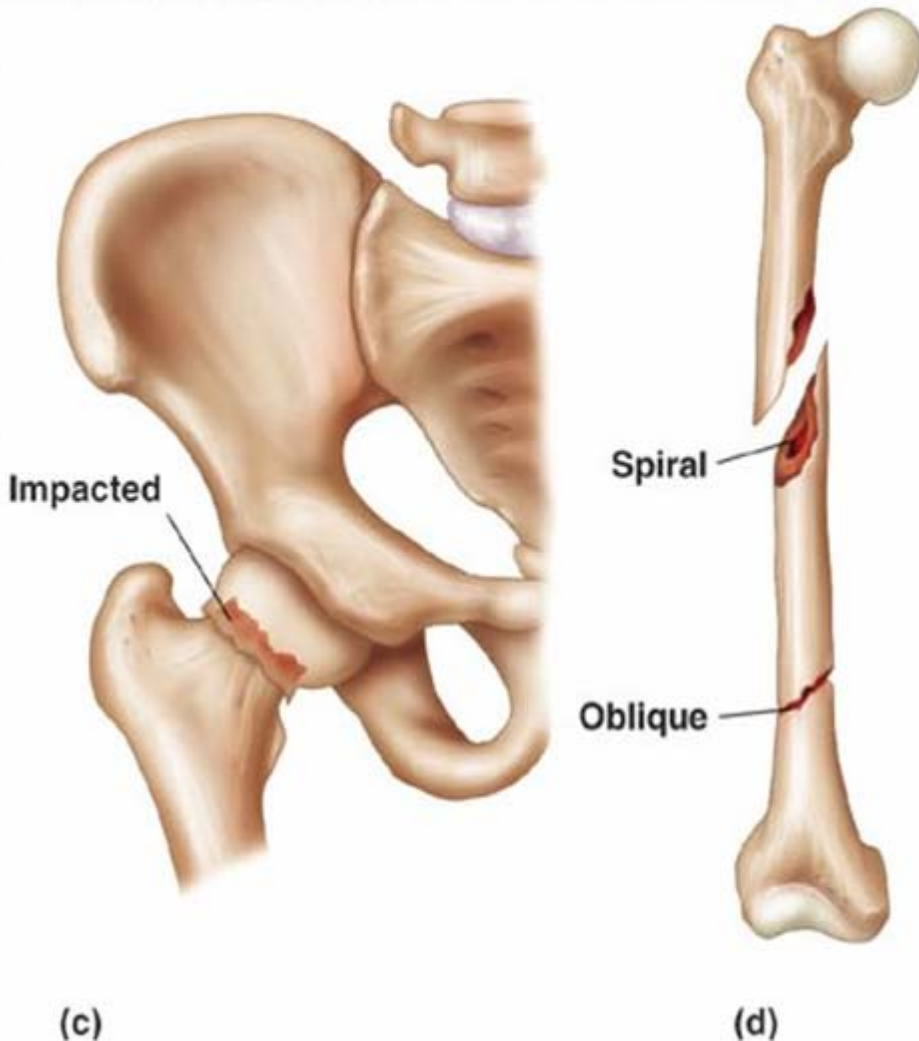
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- **Open (compound)**- bone break with open wound. Bone may be sticking out of wound.
- **Closed (simple)**- Skin not perforated.
- **Incomplete**- doesn't extend across the bone. **Complete**- does
- **Greenstick**: incomplete fracture that occurs on the convex side of the curve of a bone
- **Hairline**: incomplete where two sections of bone do not separate. **Common in skull fractures**
- **Comminuted fractures**: complete with break into more than two pieces

# Οστικά κατάγματα

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- Impacted fractures: one fragment is driven into the cancellous portion of the other fragment.
- Classified on basis of direction of fracture
- Linear
- Transverse
- Spiral
- Oblique
- Dentate: rough, toothed, broken ends
- Stellate radiating out from a central point.

## Παθήσεις οστών

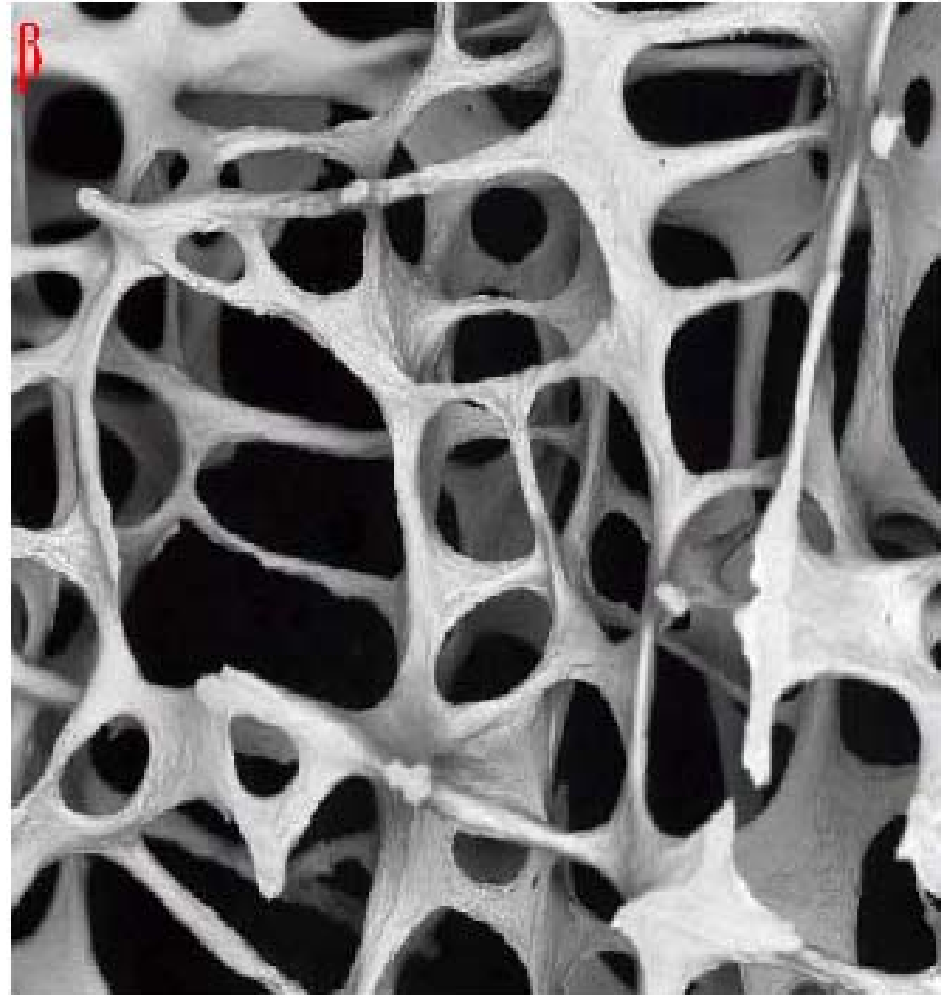
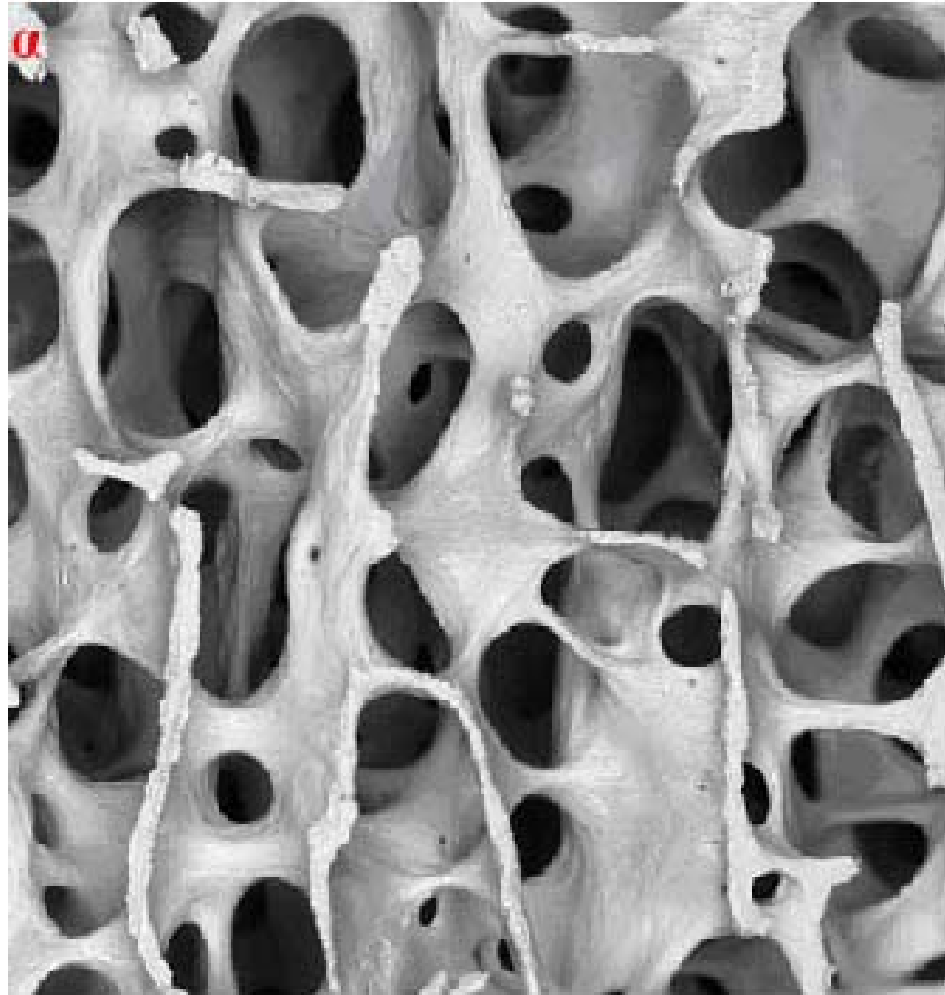
**Πίνακας 1.**  
**Διαίρεση και ομάδες υψηλού κινδύνου πρωτοπαθούς και αίτια δευτεροπαθούς οστεοπόρωσης.**

<b>Πρωτοπαθής οστεοπόρωση</b>	
<i>Διαίρεση</i>	<i>Ομάδες Υψηλού Κινδύνου</i>
1. Νεανική	1. Ηλικία: Προχωρημένη
2. Ιδιοπαθής.Προεμμηνόπαυσικές γυναίκες, μεσήλικες ή νέοι άνδρες	2. Φύλο: Γυναίκες
3. Εκφυλιστική (involutional) Τύπος I: Μεταεμμηνόπαυσιακή Τύπος II: Γεροντική	3. Φυλή: Λευκή, Ασιατική
	4. Εμφάνιση: Μικρόσωμη ή λεπτή
	5. Εμμηνόπαυση: Πρώιμη φυσιολογική ή χειρουργική
	6. Οικογενειακό ιστορικό: Θετικό
	7. Τρόπος Ζωής: Κατάχρηση καπνίσματος και οινόπνευματων, περιορισμένη φυσική άσκηση, ανεπαρκής λήψη ασβεστίου
<b>Δευτεροπαθής οστεοπόρωση</b>	
1. <u>Ενδοκρινικά</u> : Υπογονασμός, υπερθυρεοειδισμός, υπερπαραθυρεοειδισμός, υπερκορτικοειδισμός, υπερπρολακτιναιμία, σακχαρώδης διαβήτης	
2. <u>Γαστρεντερικά</u> : Υπολική γαστρεκτομή, σύνδρομο κακής απορρόφησης, χρόνιας αποφρακτικός ίκτερος, πρωτοπαθής χολική κίρρωση, σοβαρή κακή θρέψη, ψυχογενής ανορεξία	
3. <u>Μυελό οστών</u> : Μυελωματώση, διάσπαρτος καρκίνος	
4. <u>Συνδεσμικό ιστό</u> : Ατελής οστεογένεση, σύνδρομο Ehlers-Danlos, σύνδρομο Marfan	
5. <u>Διάφορα</u> : Ακίνητοποίηση, χρόνιας αποφρακτική πνευμονολογία, χρόνιας αλκοολισμός, χρόνια χορήγηση ηπαρίνης, ρευματοειδής αρθρίτιδα	

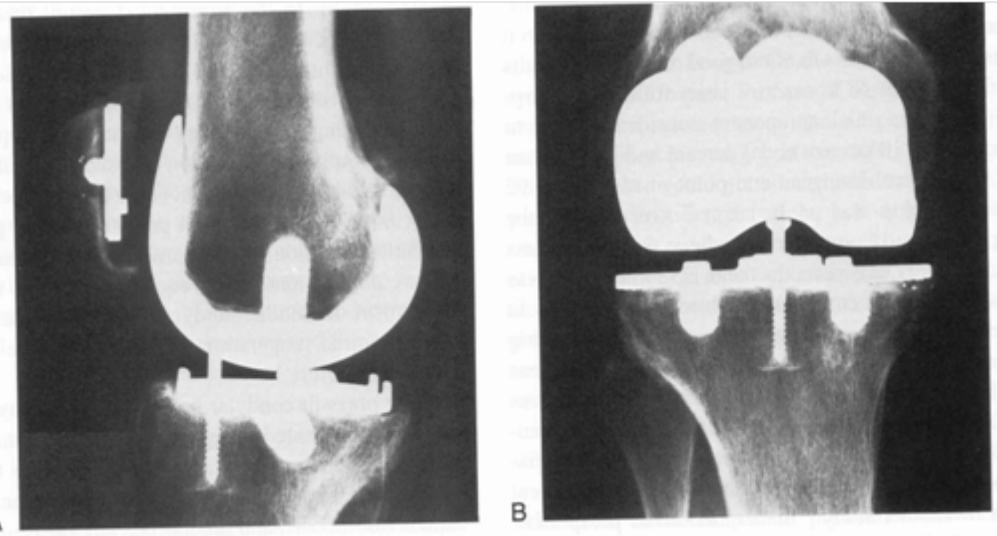
**Πίνακας 2.**  
**Μέθοδοι Μέτρησης της Οστικής Μάζας**

<b>A. Μορφομετρικές</b>	<b>Δ. Αξονική Τομογραφία</b>
1. Ποιοτική	
2. Ποσοτική	
<b>B. Οπτική φωτοπυκνομετρία</b>	<b>E. Ενεργοποίηση νετρονίων</b>
<b>Γ. Απορρόφηση φωτονίων</b>	<b>ΣΤ. Άλλες</b>
1. Με μία δέσμη	1. Βιοψία οστών
2. Με δύο δέσμες	2. Ισοζύγιο ασβεστίου
	3. Κινητική ραδιενεργού ασβεστίου
	4. Ολόσωμη σκελετική πρόσληψη διφωσφονικών

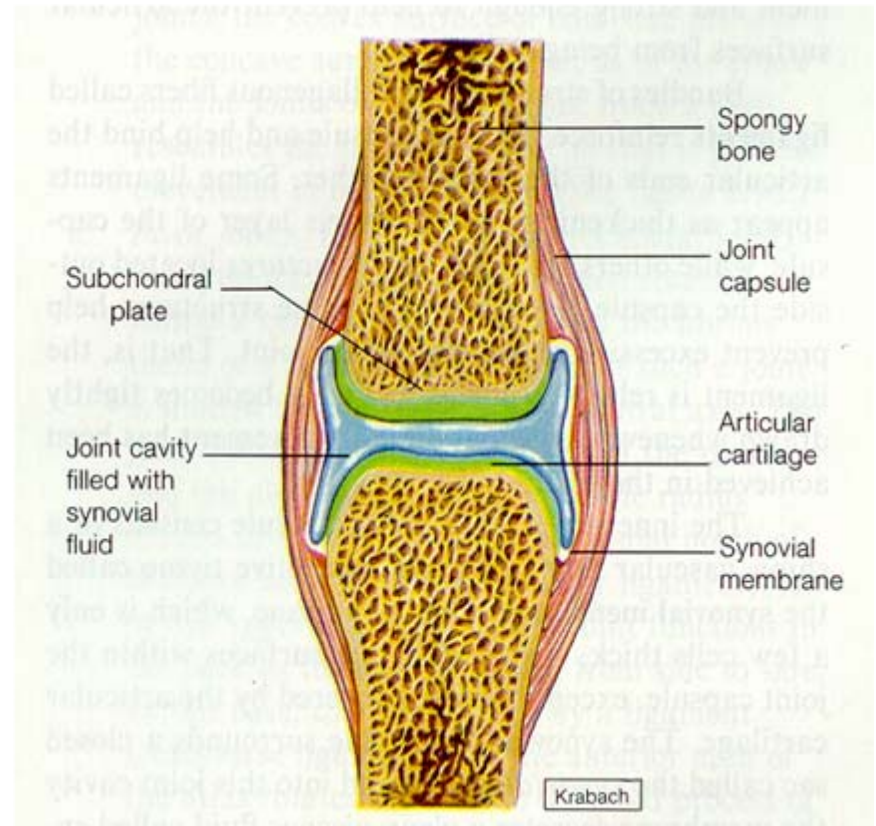




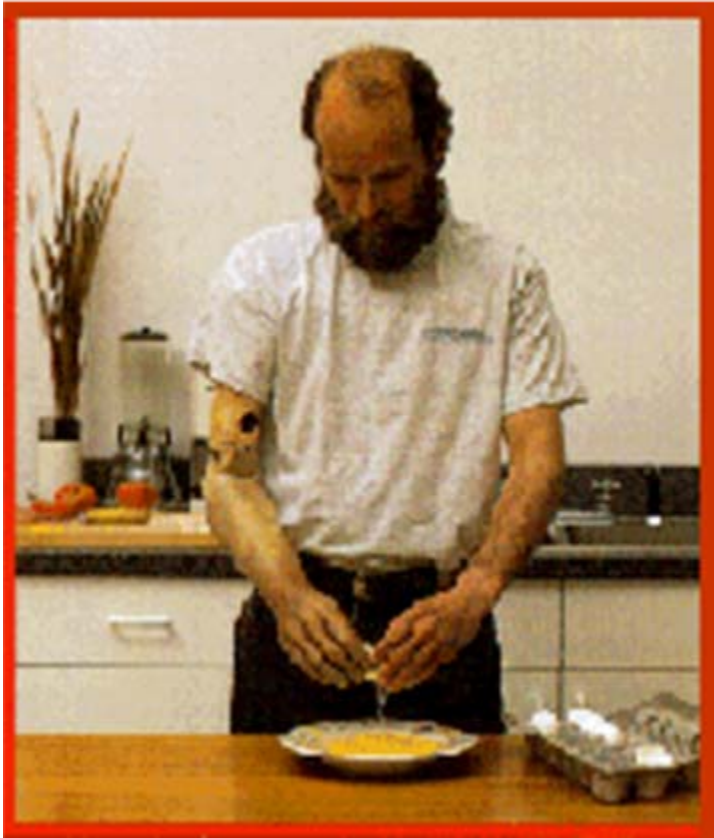
**Απεικόνιση α)φυσιολογικού και β)οστεοπορωτικού τμήματος σπογγώδους οστού**



## Εμφυτεύματα - Αντικατάσταση γονάτου







## Βιβλιογραφία

- “Physics of the body” J.Cameron, J.Skofronick, R.Grant
- Άρθρα απο ένθετο ελευθεροτυπίας Ε-Ιατρικά: “Η μηχανική του ανθρωπίνου σώματος”- Ε.Α. Μαγνήσαλης
- “Η μηχανική στην υπηρεσία της Ιατρικής και της Βιολογίας”- Σ.Κ. Κουρκουλής
- “Παρθενώνας και σπονδυλική στήλη, κατασκευαστικές ομοιότητες ”- Σ.Κ. Κουρκουλής, Γ. Σάπκας
- «Ενδομυελική Ήλωση Καταγμάτων Κνήμης, Κλινική και Εμβιομηχανική μελέτη», Γεώργιος Ι. Δρόσος, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Παν/μιο Κρήτης, Ιούλιος 2003

## An *in vivo* assessment of muscular activity and the importance of electrical phenomena in bone remodelling

F. McDONALD AND \*W. J. B. HOUSTON

Oral Biology (Orthodontics/Physiology) and \*The Department of Orthodontics including Children's Dentistry, Floor 22, Guy's Tower, St Thomas Street, London SE1 9RT

(Accepted 11 April 1990)

### INTRODUCTION

Piezoelectric effects, first recorded by Fukada & Yasuda (1957), and electromagnetic phenomena have attracted interest not only with regard to the basic control mechanism for bone remodelling but also as a therapeutic adjunct to aid bone healing.

The structural protein, collagen, and the inorganic crystals of hydroxyapatite both, in isolation, exhibit electrical phenomena albeit piezoelectric in form. Marino & Becker (1967) have considered the junction of the collagen and hydroxyapatite as the relevant area of production of the effect, and postulated that the cross linkages are the important sites of charge production.

### Bone remodelling *in vivo*

169

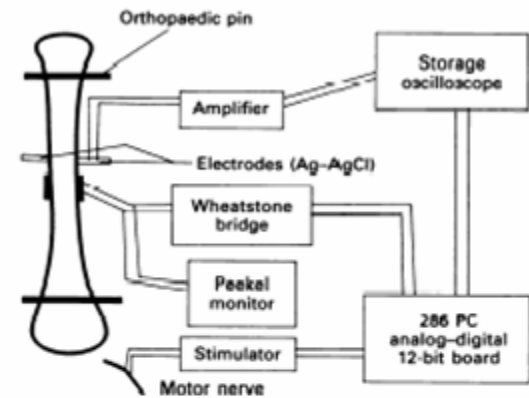


Fig. 2. Diagrammatic representation of the recording apparatus.

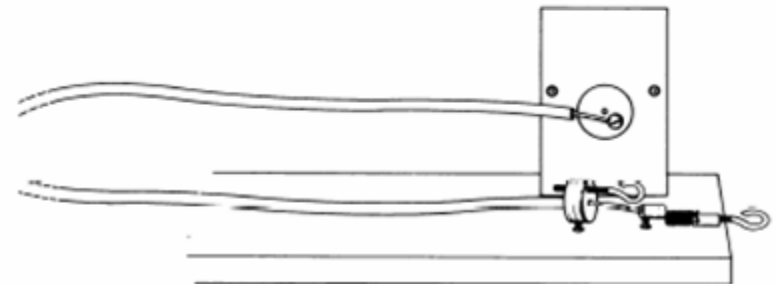


Fig. 3. A diagram showing the loading mechanism with eccentric cam.

**Οι επόμενες 8 διαφάνειες είναι από το  
ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ, θέμα  
«ΒΙΟΪΛΙΚΑ», εργασία της  
σπουδάστριας Τουλούζα Ελεονώρας,  
ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ - ΑΘΗΝΑ 2002-2003**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



# ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τομέας Φυσικής

ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ  
«ΒΙΟΪΛΙΚΑ»

της σπουδάστριας

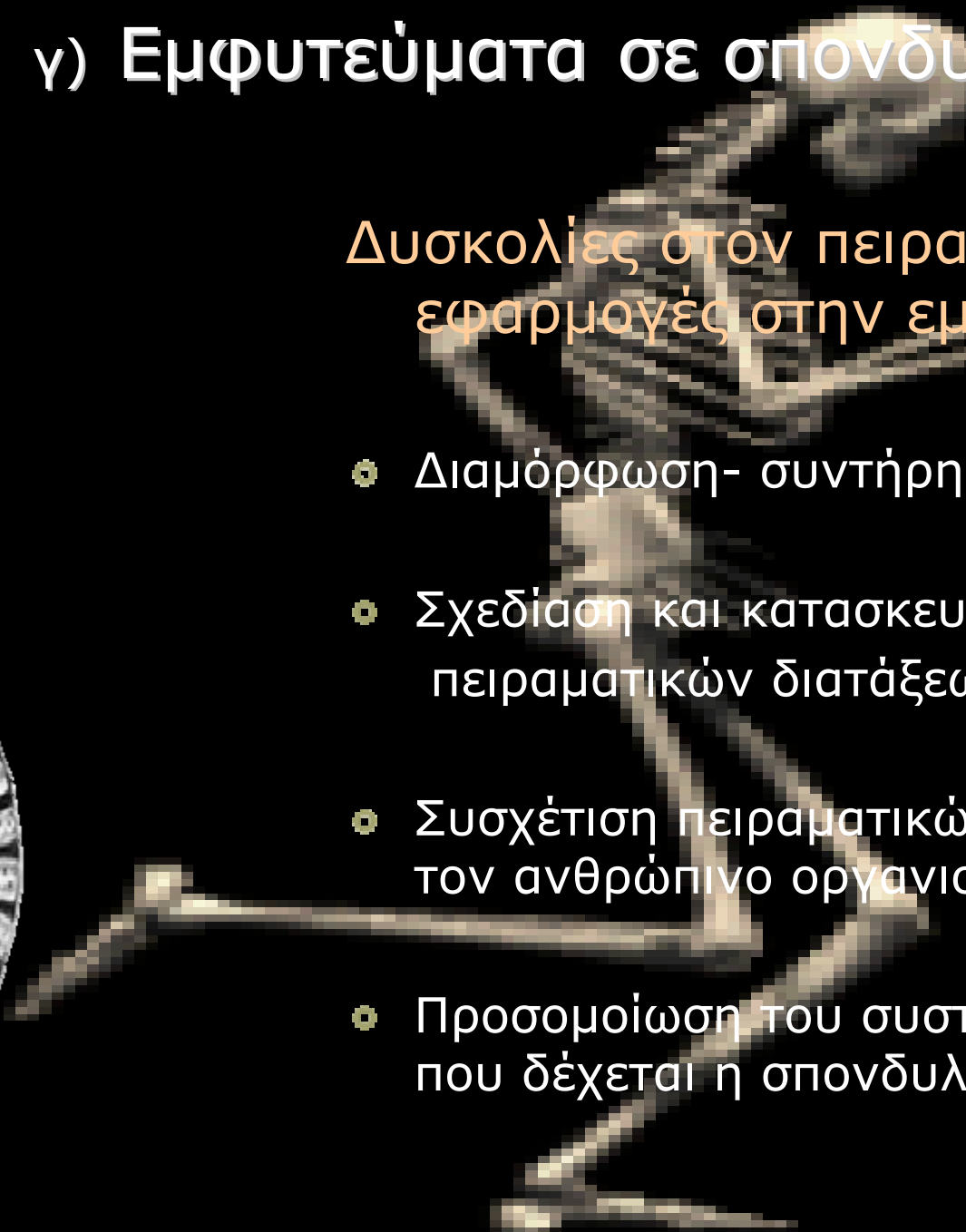
Τουλούζα Ελεονώρας  
Υπεύθυνη σεμιναρίου κ.Κώνστα

ΑΘΗΝΑ 2002-2003

## γ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη

Δυσκολίες στον πειραματικό έλεγχο για εφαρμογές στην εμβιομηχανική :

- Διαμόρφωση- συντήρηση δοκιμίων
- Σχεδίαση και κατασκευή καταλλήλων πειραματικών διατάξεων
- Συσχέτιση πειραματικών αποτελεσμάτων με τον ανθρώπινο οργανισμό
- Προσομοίωση του συστήματος φορτίσεων που δέχεται η σπονδυλική στήλη

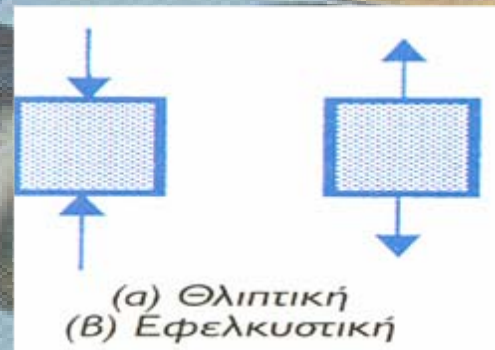




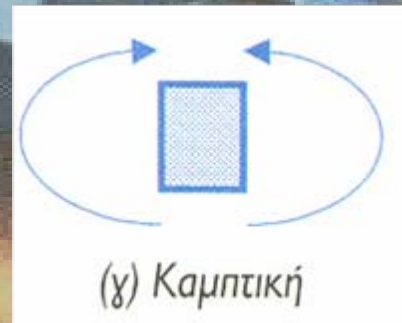
## δ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη

Είδη μηχανικών φορτίσεων που δέχεται η σπονδυλική στήλη :

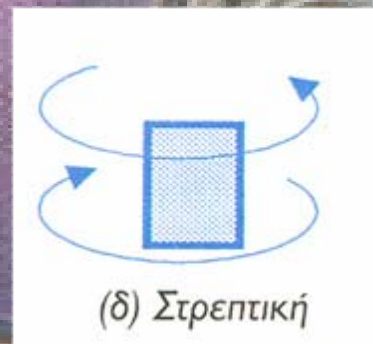
- Αξονικές φορτίσεις (θλιπτικές-εφελκυστικές)



- Καμπτικές καταπονήσεις (πλάγιες ή ορθές)



- Στρεπτικές-διατμητικές καταπονήσεις



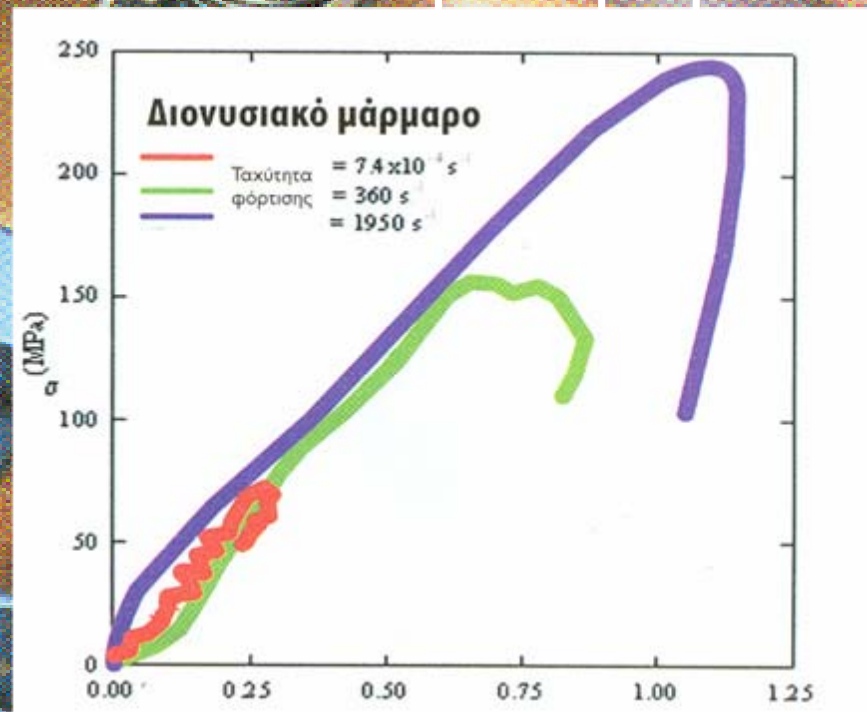
## δ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη

Τρόπος επιβολής εξωτερικού φορτίου :

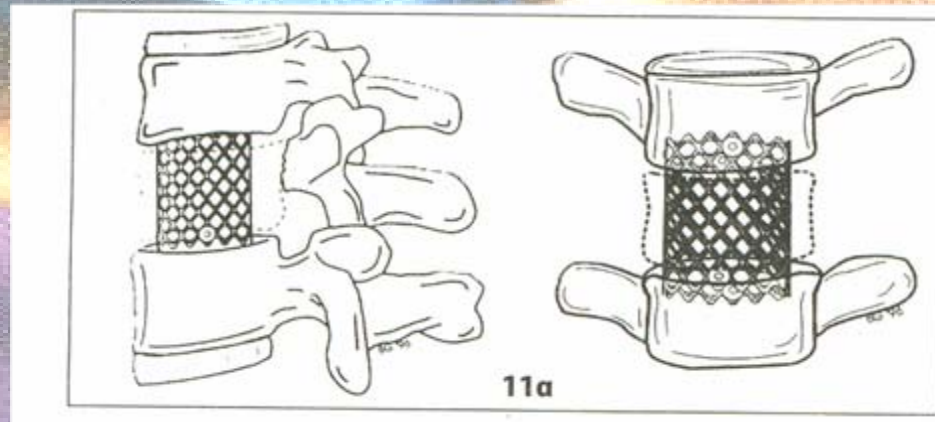
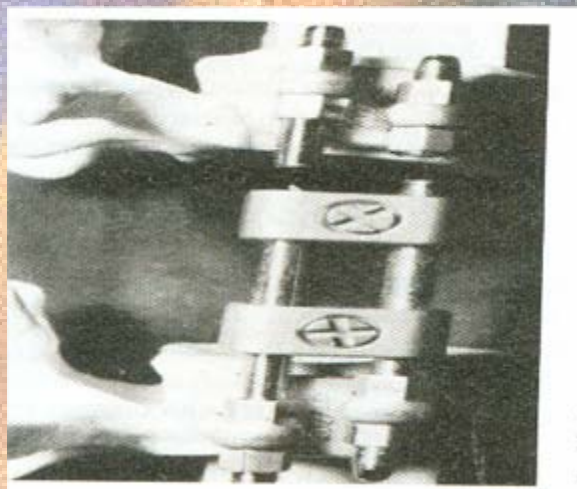
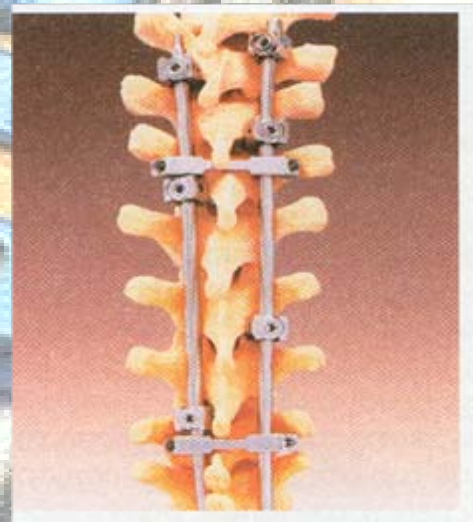
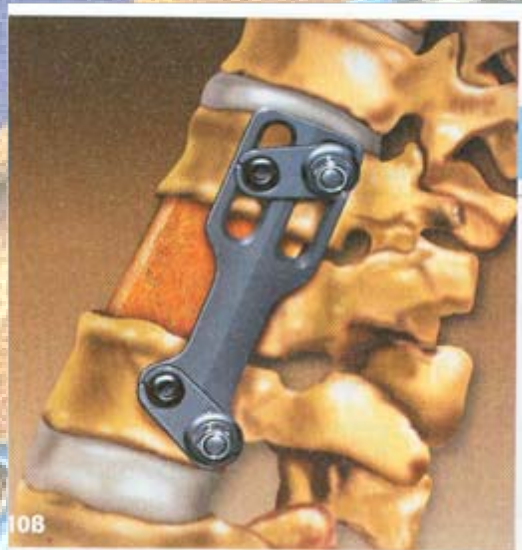
- Σταδιακά και με αργό ρυθμό (στατικές φορτίσεις)
- Γρήγορος ρυθμός (δυναμικές καταπονήσεις)
- Ακαριαία (κρουστικές καταπονήσεις)

Κόπωση υλικών :

Το φαινόμενο της αστοχίας του υλικού που προκαλείται από επαναλαμβανόμενη επιβολή τάσεων ή παραμορφώσεων σε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

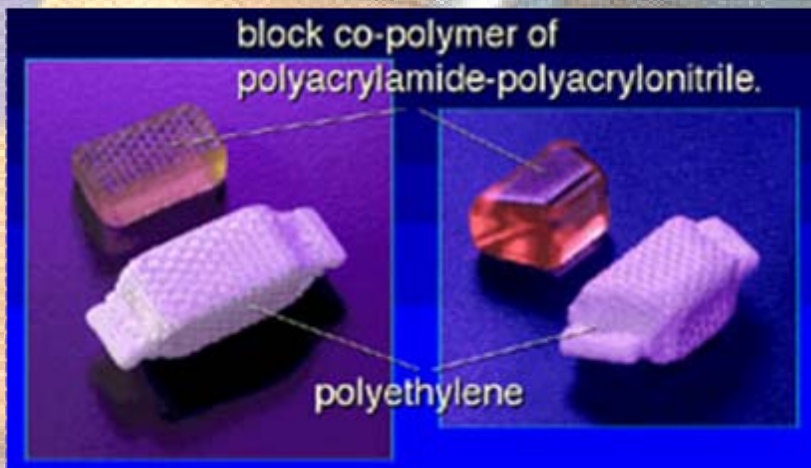


# δ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη



10α

# δ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη



# δ) Εμφυτεύματα σε σπονδυλική στήλη

