Οστικός Μεταβολισμός & Άσκηση

Ιωάννης Γ. Φατούρος, Ph.D.
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

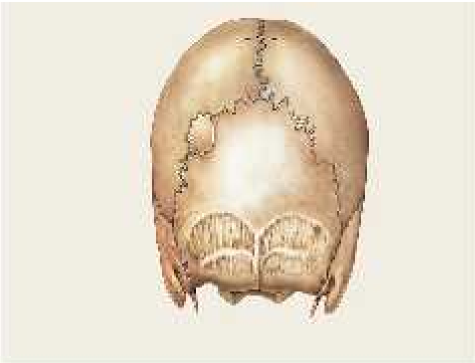
Περιεχόμενα

Γενικά για τον σκελετό

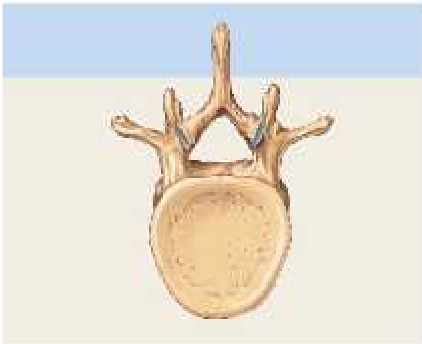
- Το ερειστικό σύστημα αποτελείται από:
    - Οστά
    - Χόνδρο, συνδέσμους και συνδετικό ιστό
- Βασικές λειτουργίες:
    - Στήριξη
    - Κίνηση
    - Προστασία
    - Δημιουργία κυττάρων του αίματος
    - Αποθήκευση μετάλλων και λιπιδίων

Κατηγορίες οστών

- Ταξινομούνται με βάση το σχήμα τους, την ιστολογική τους μορφή και τα χαρακτηριστικά τους



Οστά κρανίου



Ακανόνιστου σχήματος

Μικρά οστά

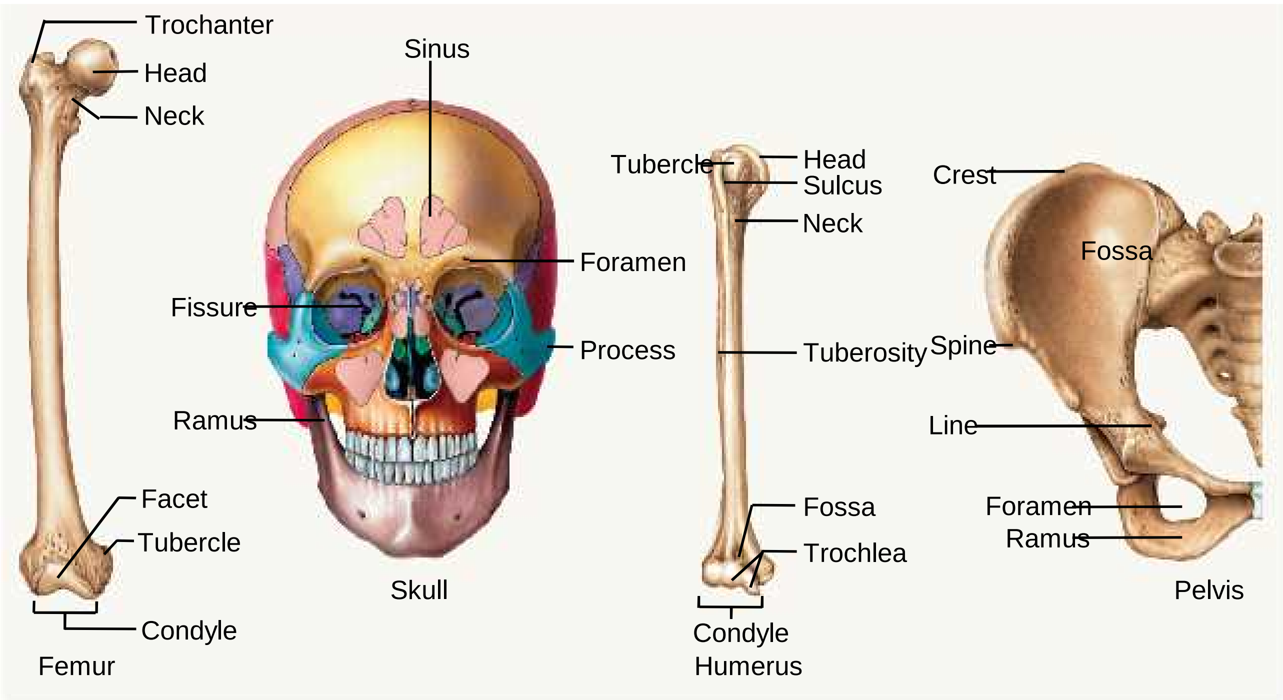
Επίπεδα οστά

Μακρά οστά

Σησαμοειδή οστά

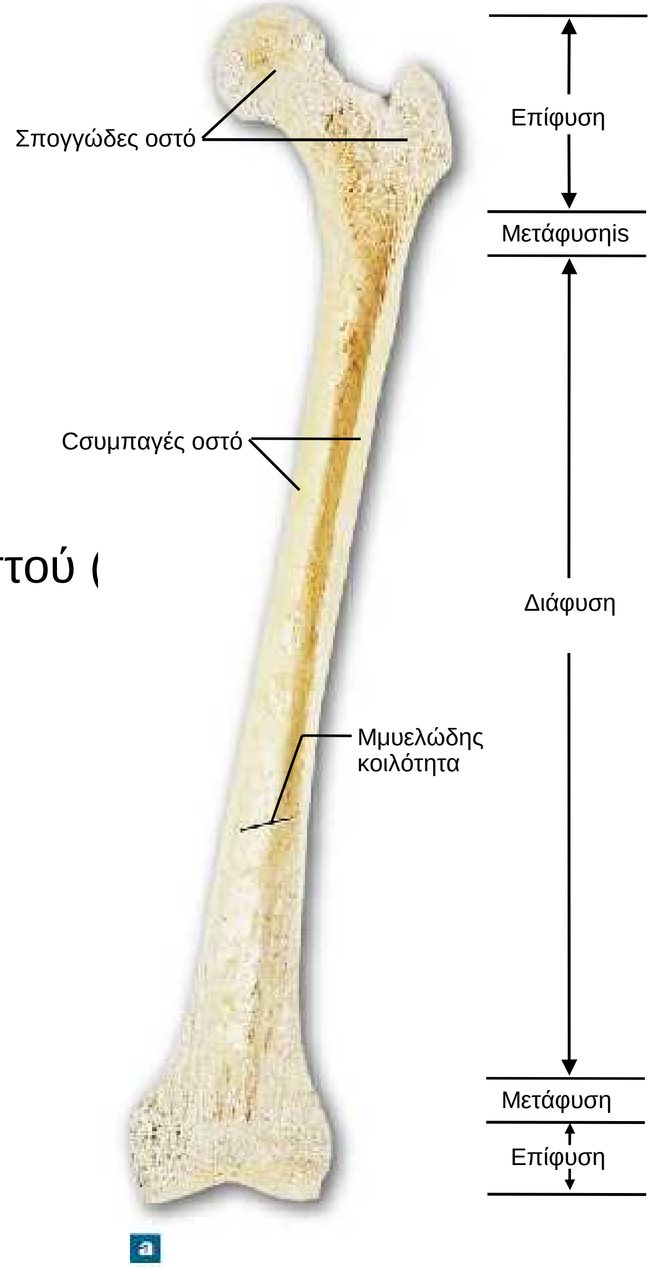
Κατηγορίες οστών

- Με βάση τη μορφοποίηση των οστών
  - ✓ Εσοχές ή αυλάκια (στην επιφάνεια)
  - ✓ Ανυψώσεις ή προεξοχές (στις προσφύσεις τενόντων και συνδέσμων και στις αρθρώσεις)
  - ✓ Τούνελ (σήραγγες – στα σημεία εισόδου αγγείων και νεύρων)



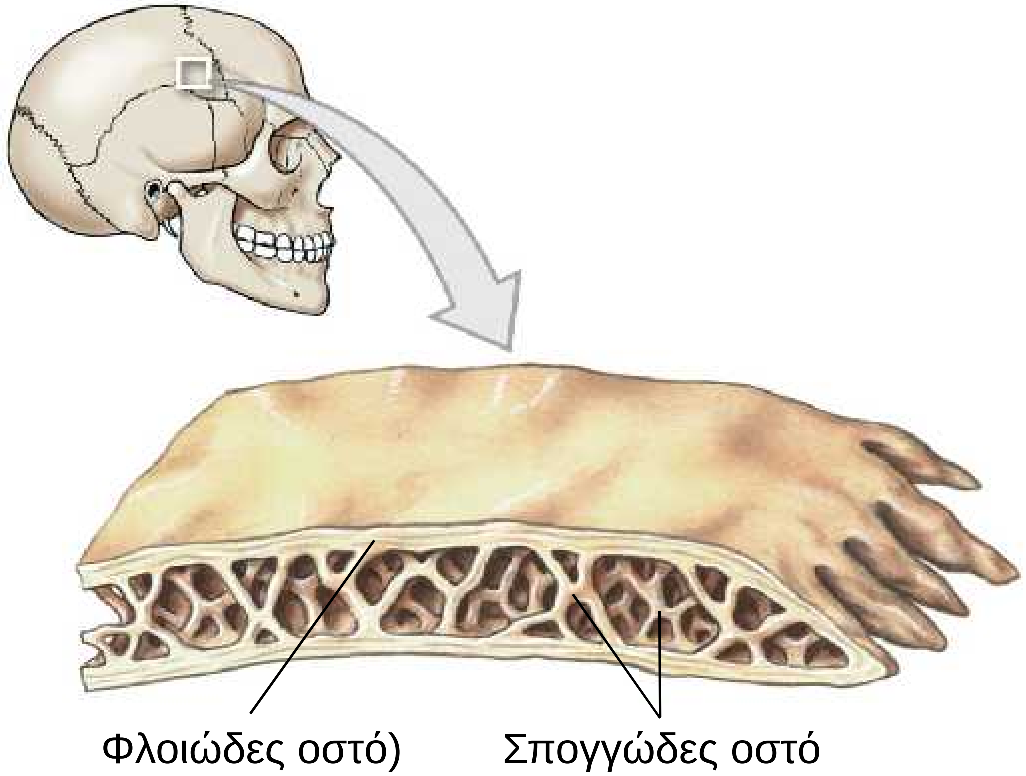
Κατηγορίες οστών

- Η κατασκευή ενός μακρού οστού
  - Η διάφυση
    - The shaft
    - Εξωτερικό μέρος συμπαγούς οστού
    - Ένα εσωτερικό μέρος-κοιλότητα μυελώδους οστού (
  - Η επίφυση
    - Το πλατύ μέρος κάθε άκρου
    - Η άρθρωση (αλληλεπίδραση με άλλα οστά)
    - Κυρίως σπογγώδες οστό
    - Καλύπτεται από το συμπαγές, φλοιώδες οστό
  - Η μετάφυση
    - Το σημείο επαφής διάφυσης και επίφυσης



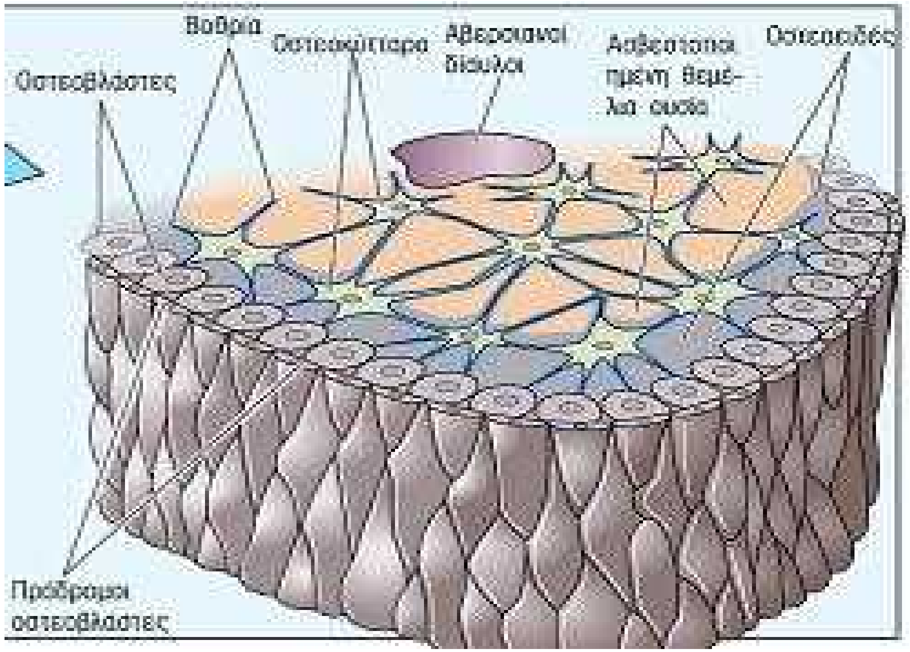
Κατηγορίες οστών

- Ένα επίπεδο οστό μοιάζει με ένα σάντουιτς σπογγώδους οστού το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο στρωμάτων φλοιώδους οστού.



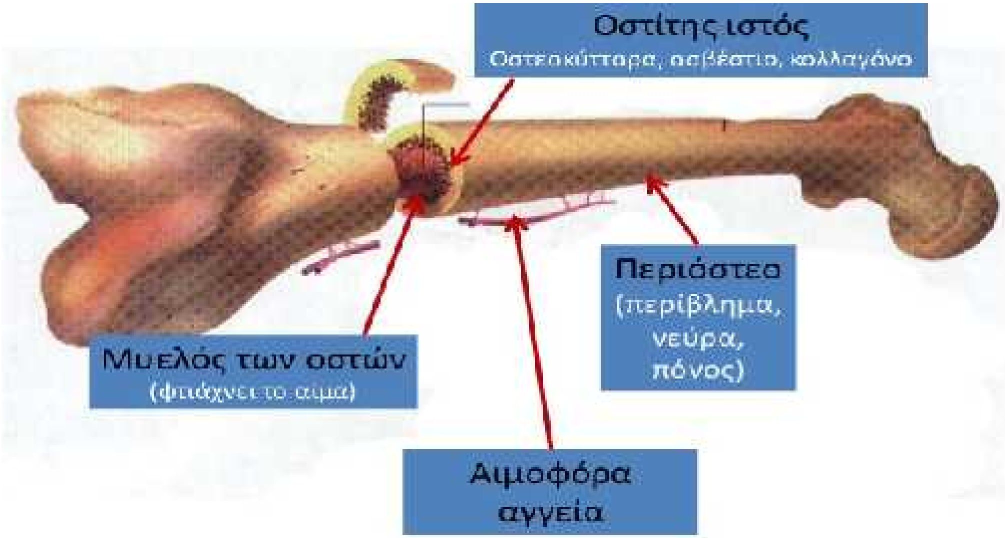
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Τα οστά αποτελούνται από:
  - ✓ Πυκνό συνδετικό ιστό με υποστηρικτικό ρόλο
  - ✓ Κύτταρα με εξειδικευμένη λειτουργία
  - ✓ Συνθέτει και αποτελείται από ασβεστούχα άλατα
  - ✓ Ίνες κολλαγόνου



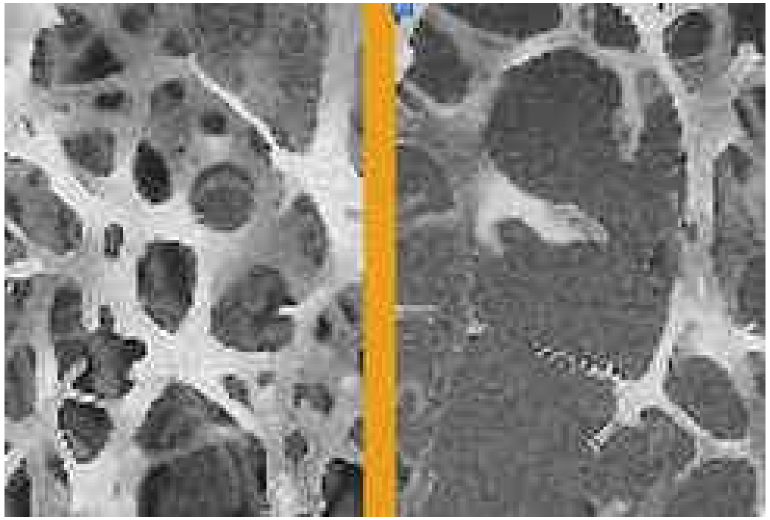
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Η πυκνή οστική μήτρα (θεμέλια ουσία) αποτελείται από:
  - ✓Αποθέματα ασβεστούχων αλάτων
  - ✓Οστεοκύτταρα τοποθετημένα γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία
  - ✓Επιπωματώσεις (κανάλια) για να περνάνε τ' αγγεία και για την ανταλλαγή θρεπτικών στοιχείων και αποβλήτων



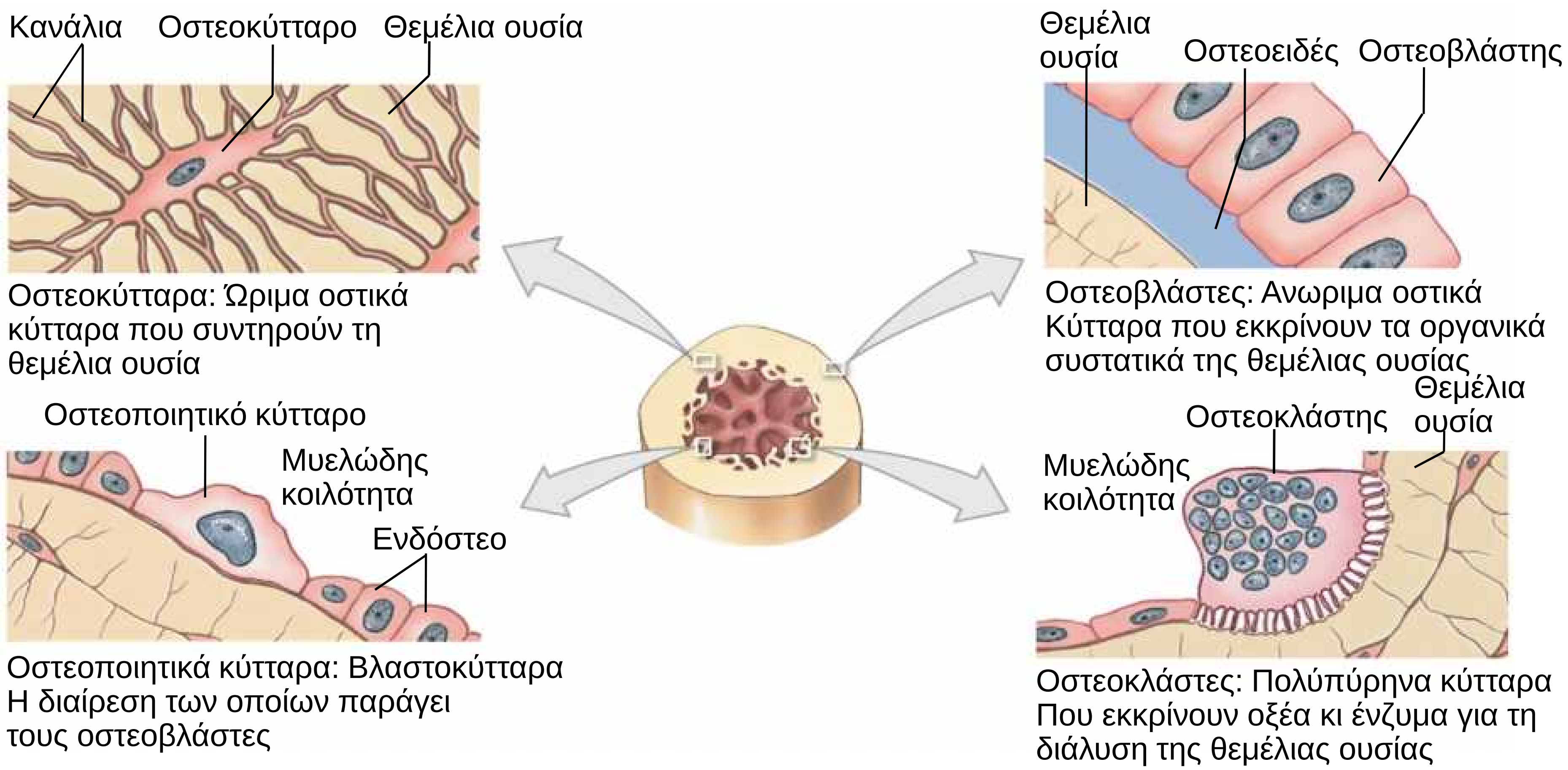
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Περιόστεο
  - ✓ Η εξωτερική επιφάνεια του οστού
  - ✓ Αποτελείται από το εξωτερικό κι εσωτερικό στρώμα κυττάρων
- Θεμέλια ουσία
  - ✓ Αποτελείται από μέταλα – τα 2/3 είναι φωσφορικό ασβέστιο [$Ca_3(PO_4)_2$] που αντιδρά με το υδροξύδιο του ασβεστίου [$Ca(OH)_2$] για να συνθέσει κρυστάλους υδροξυαπατίτη [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] όπου ενσωματώνονται άλατα και ιόντα ασβεστίου
  - ✓ Και πρωτεΐνες (το 1/3 είναι ίνες κολλαγόνου)



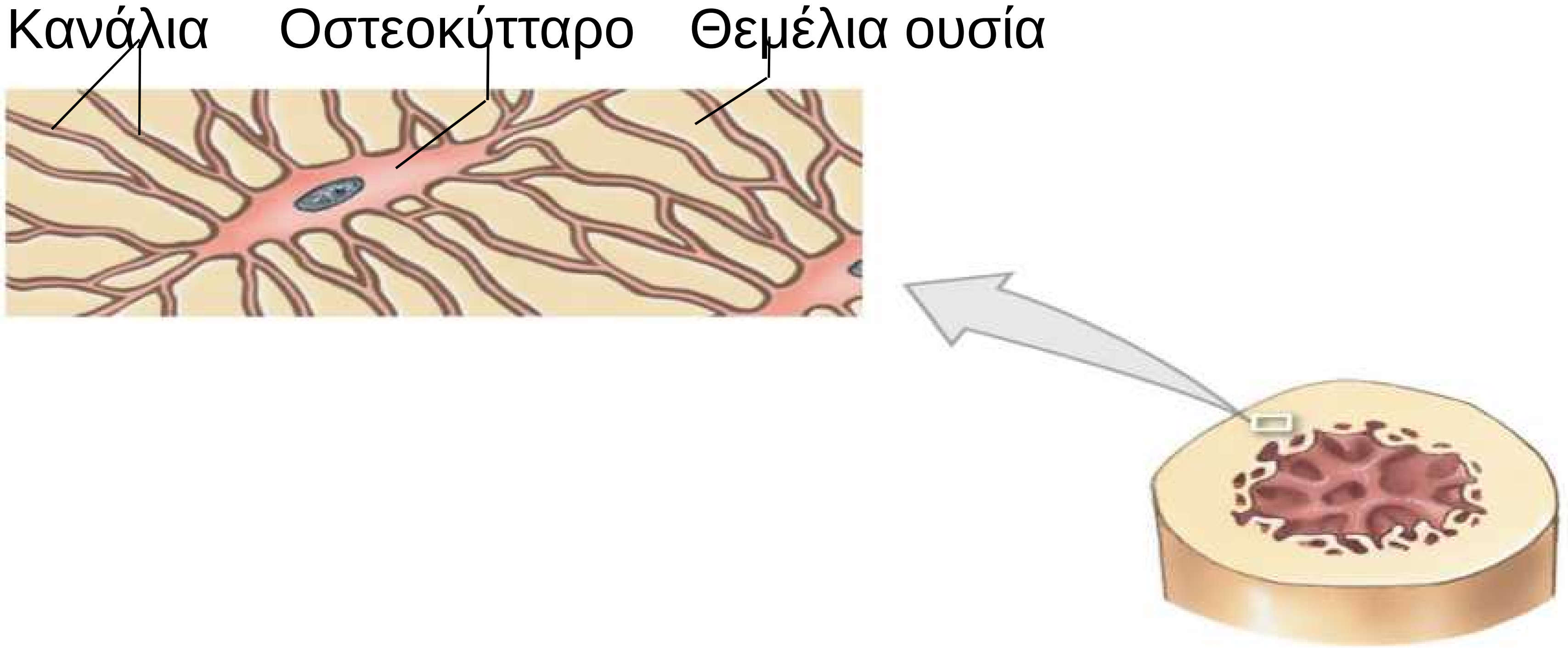
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Τα οστεοκύτταρα ….
  - ✓ 4 είδη κυττάρων που αποτελούν μόνο το 2% της οστικής μάζας: α) τα οστεοκύτταρα, β) οι οστεοβλάστες, γ) τα οστεοποιητικά, δ) οι οστεοκλάστες



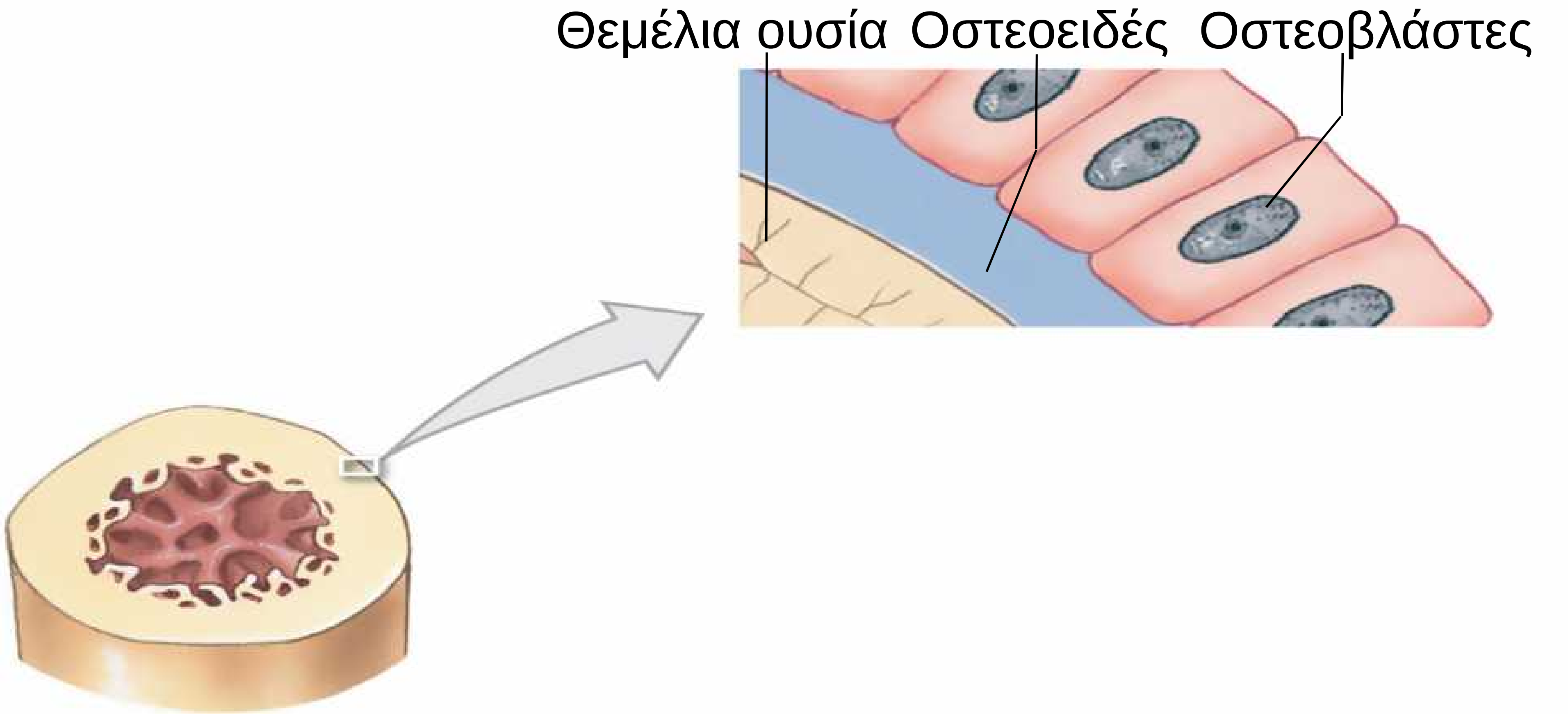
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Οστεοκύτταρα
  - ✓ Ώριμα κύτταρα που συντηρούν τη θεμέλια ουσία (τις πρωτεΐνες και μέταλλα), βοηθούν στην επιδιόρθωση του τραυματισμένου οστού και βρίσκονται σε ειδικούς χώρους μεταξύ διαφορετικών ομόκεντρων στρωμάτων του οστού



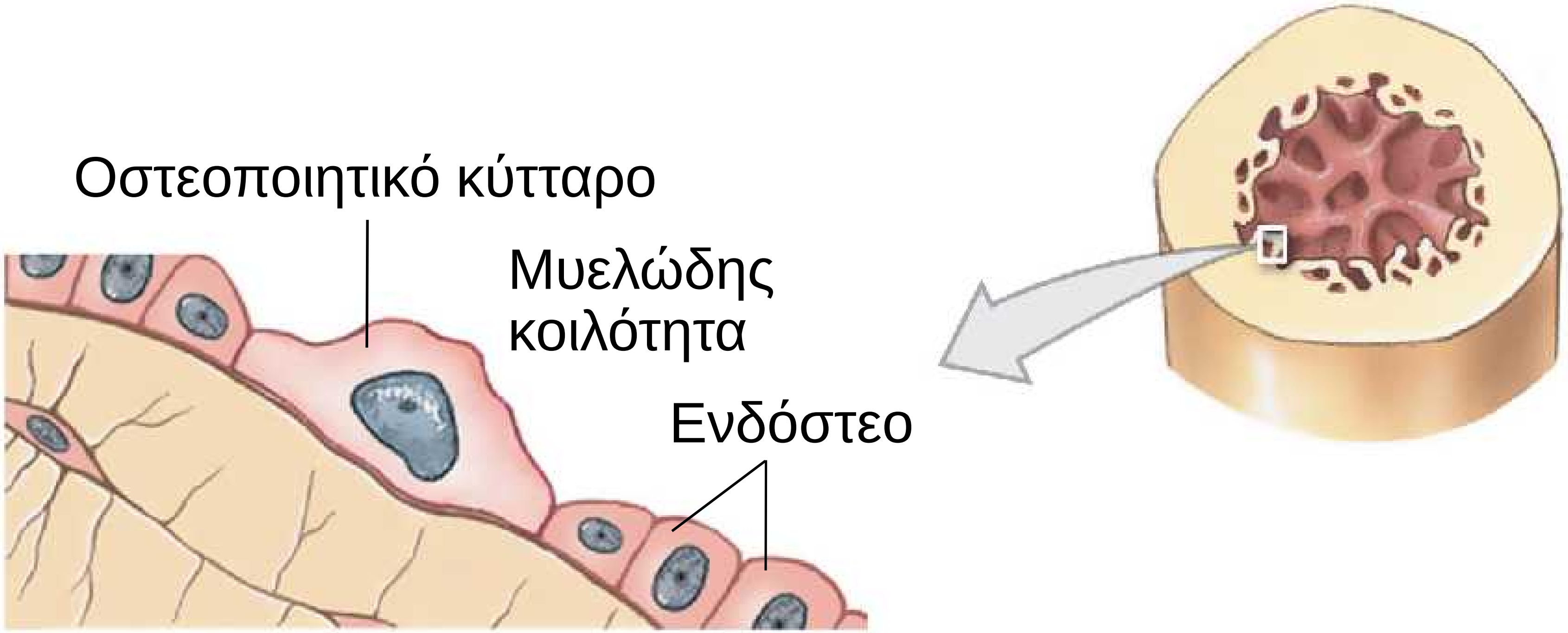
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Οστεοβλάστες
  - ✓ Ανώριμα κύτταρα που εκκρίνουν συστατικά της θεμέλιας ουσίας (οστεογένεση),.
  - ✓ Το οστεοειδές είναι θεμέλια ουσία που παράγεται από τους οστεοβλάστες αλλά δεν έχει ακόμη ασβεστοποιηθεί για να γίνει οστό.



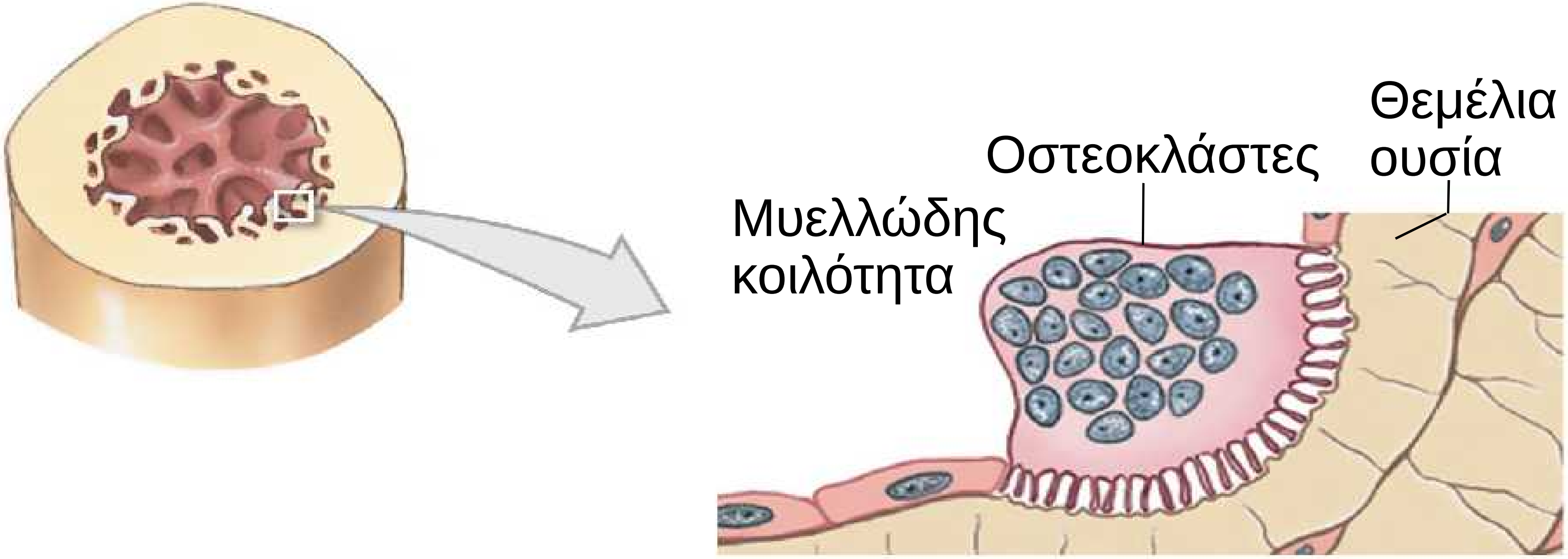
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Οστεοποιητικά κύτταρα
  - ✓ Μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα μπου διαιρούνται και παράγουν οστεοβλάστες.
  - ✓ Βρίσκονται στο ενδόστεο, δηλ. το εσωτερικό στρώμα του περιόστεου και βοηθούν στην επούλωση των καταγμάτων.



Δομή & Λειτουργία των οστών

- Οστεοκλάστες
  - ✓ Τεράστια πολυπύρηνα κύτταρα που εκκρίνουν οξέα και πρωτεολυτικά ένζυμα.
  - ✓ Διαλύουν τη θεμέλια ουσία και απελευθερώνουν τα αποθηκευμένα εκεί μέταλλα.
  - ✓ Παράγονται από βλαστοκύτταρα που δίνουν γένεση στα μακροφάγα.



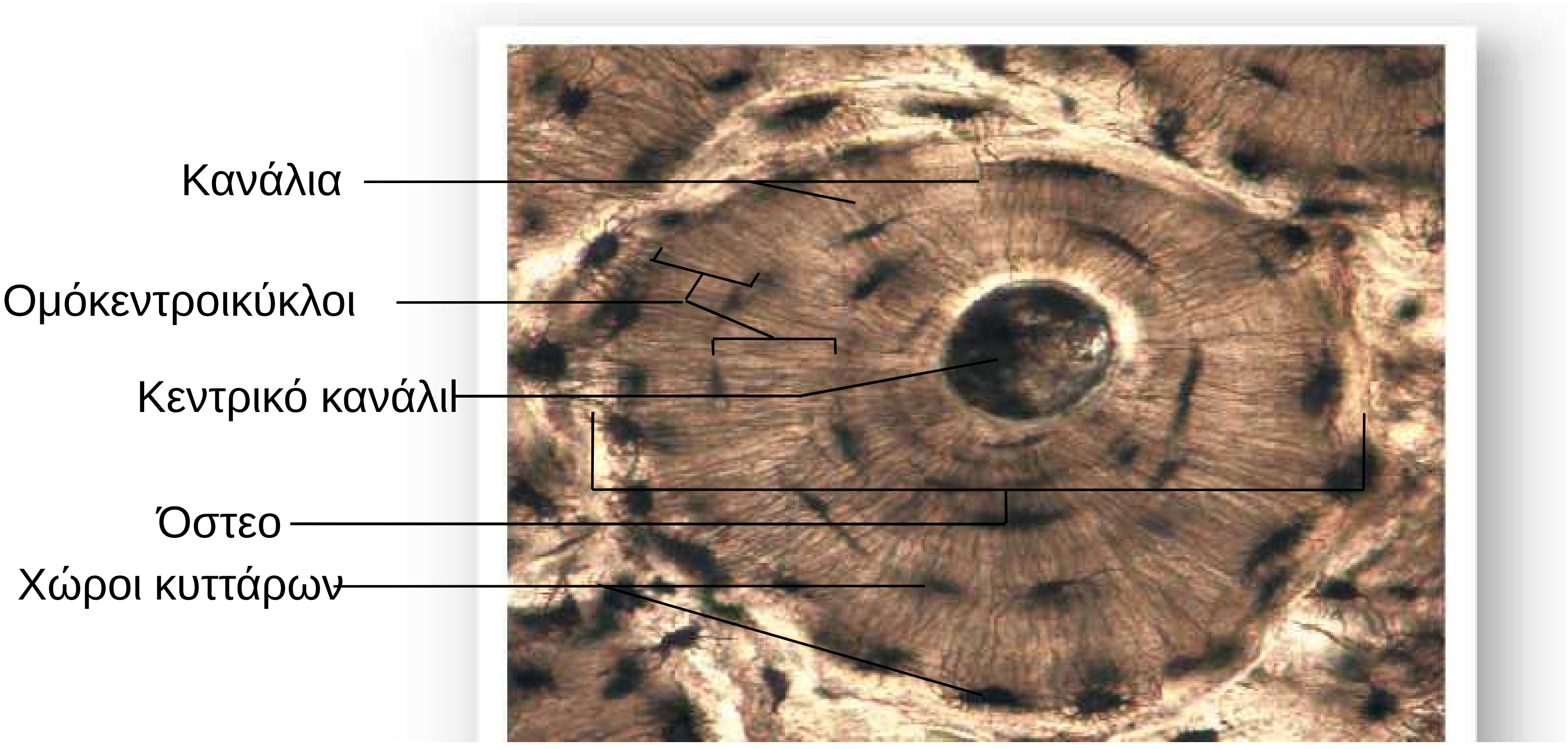
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Ομοιόσταση:
  - ✓ Η δημιουργία οστού από οστεοβλάστες και η ανακύκλωση οστού από τους οστεοκλάστες πρέπει να βρίσκονται σε ισορροπία.
  - ✓ Η μεγαλύτερη διάσπαση οστού εξασθενεί τα οστά.
  - ✓ Η άσκηση, ειδικά αυτή που περιλαμβάνει μεταφορά του σωματικού βάρους αυξάνει τη δραστηριότητα των οστεοβλαστών.

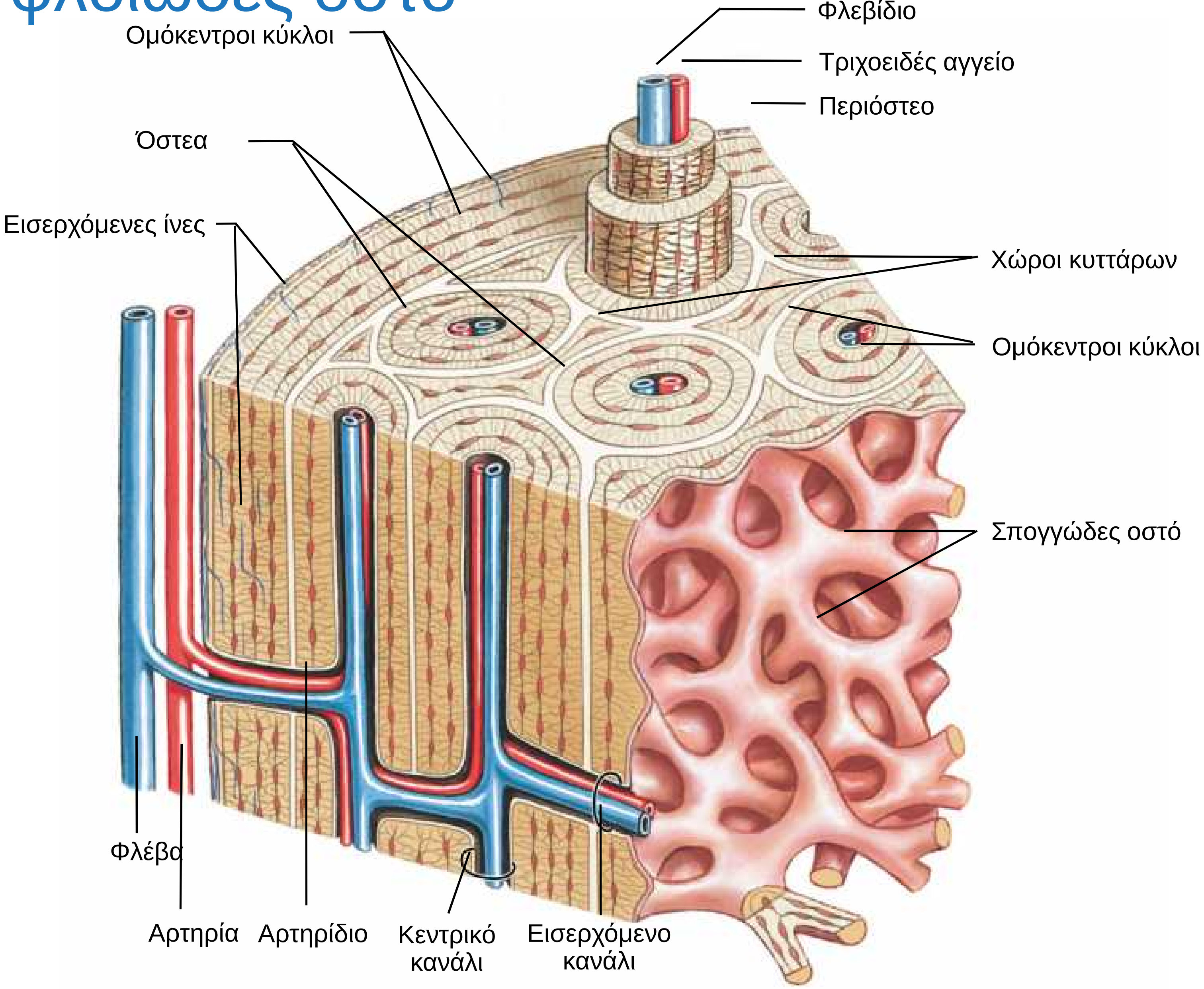
Δομή & Λειτουργία των οστών

- Τα φλοιώδες οστό
  - ✓ Το όστεο αποτελεί τη βασική μονάδα.
  - ✓ Τα οστεοκύτταρα είναι διατεταγμένα σε ομόκεντρους κύκλους (οι οποίοι συνδέουν τα όστεα μεταξύ τους) γύρω από ένα κεντρικό κανάλι με αγγεία. Τα εισερχόμενα κανάλια είναι κάθετα στο κεντρικό κανάλι και μεταφέρουν αίμα μέσα στο οστό και στον μυελό.

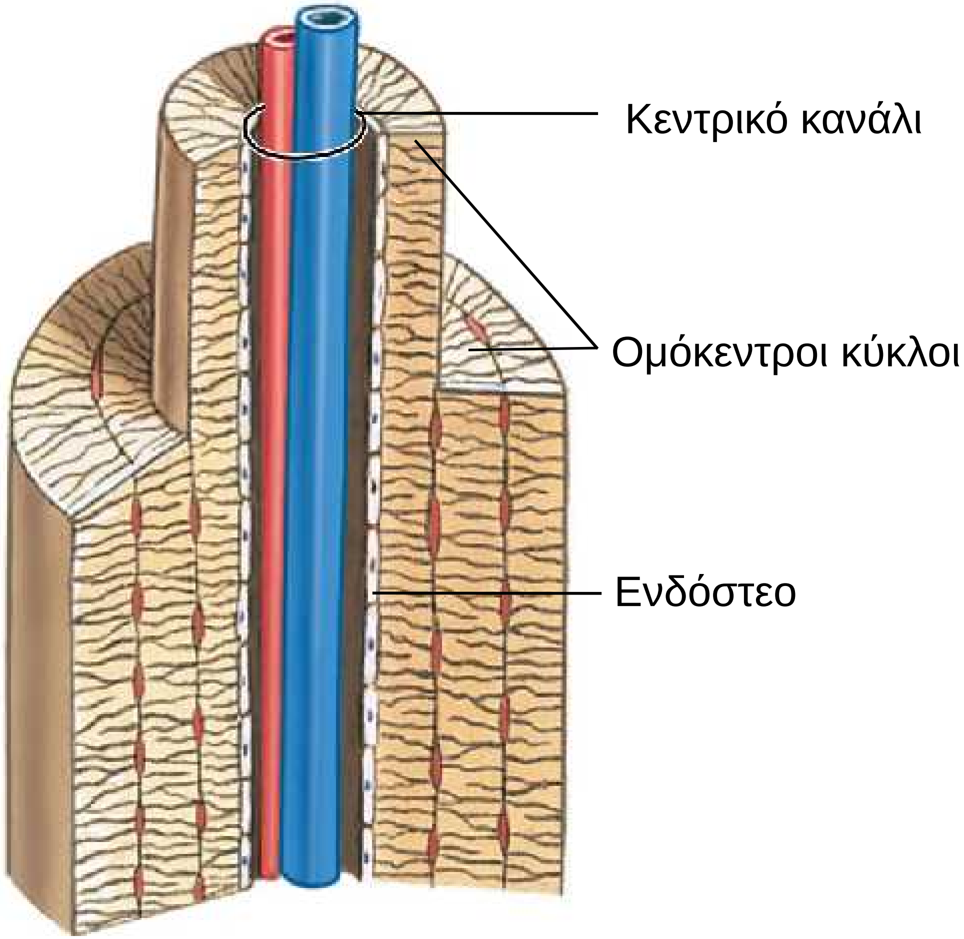
Μία λεπτή τομή φλοιώδους οστού.



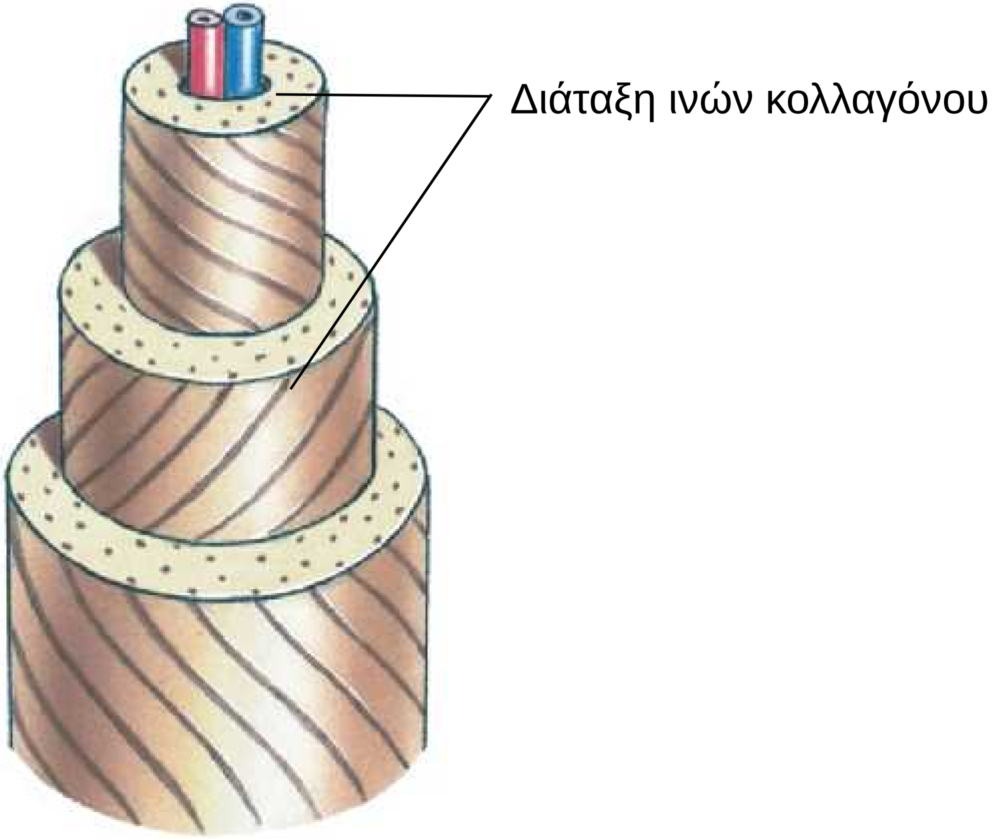
Το φλοιώδες οστό



Το φλοιώδες οστό

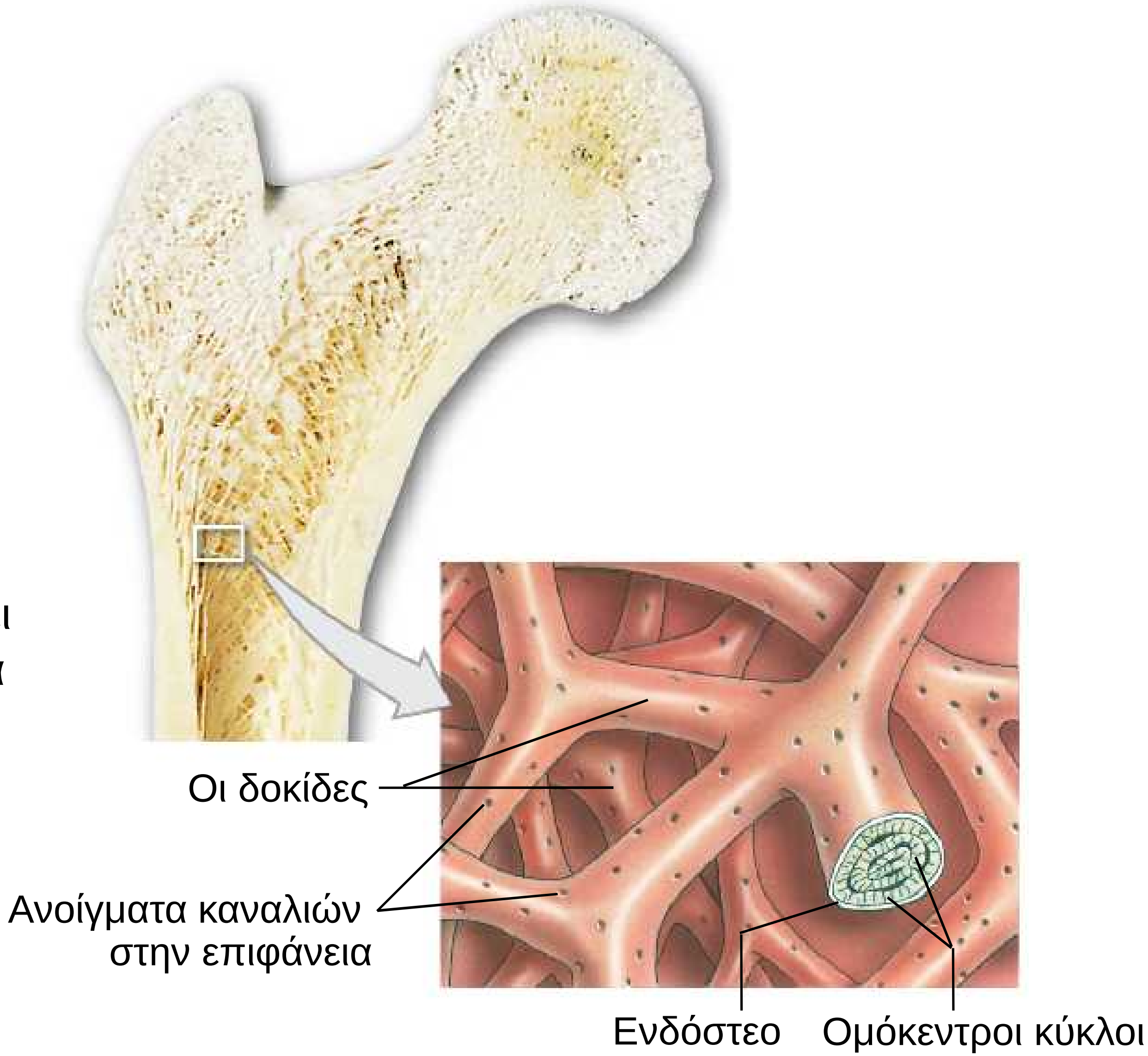


Η διάταξη των ινών κολλαγόνου



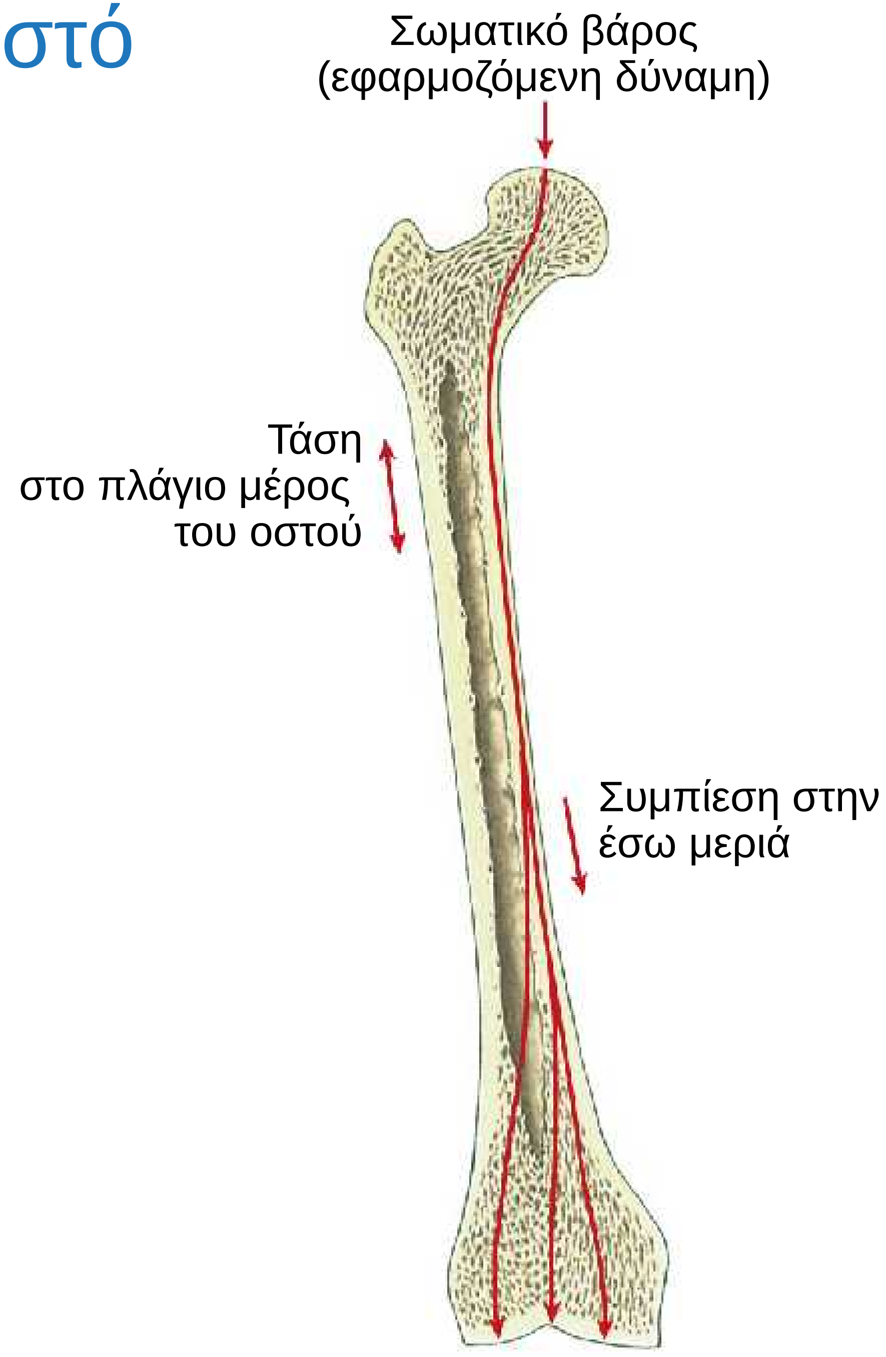
Το σπογγώδες οστό

- ✓ Δεν έχει όστεα αλλά αποτελείται από ένα ανοικτό δίκτυο δοκίδων που δεν έχουν αιμοφόρα αγγεία.
- ✓ Ο χώρος μεταξύ των δοκίδων είναι γεμάτος με κόκκινο μυελό των οστών που δεν έχει αιμοφόρα αγγεία, παράγει ερυθρά αιμοσφαίρια και παρέχει θρεπτικά συστατικά στα οστεοκύτταρα.
- ✓ Ο κίτρινος μυελός του οστού εντοπίζεται σε μερικά οστά, και είναι κίτρινος γιατί αποθηκεύει λίπος.



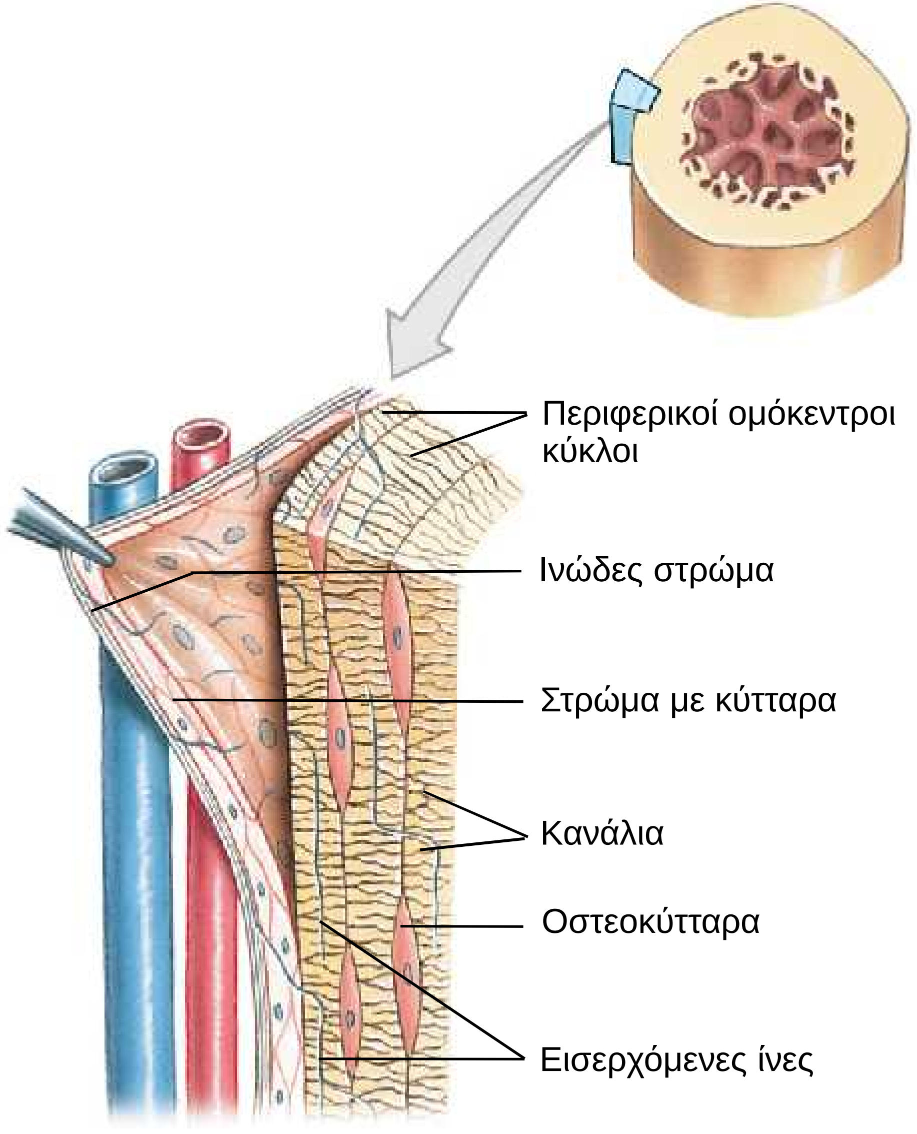
Φλοιώδες & σπογγώδες οστό

- Σταστηρικτικά οστά
  - ✓ Το μηριαίο οστό μεταφέρει βάρος από την άρθρωση του ισχίου στο γόνατο δημιουργώντας φόρτιση (τάση) στην πλάγιο μέρος του οστού και συμπίεση στην έσω μεριά.



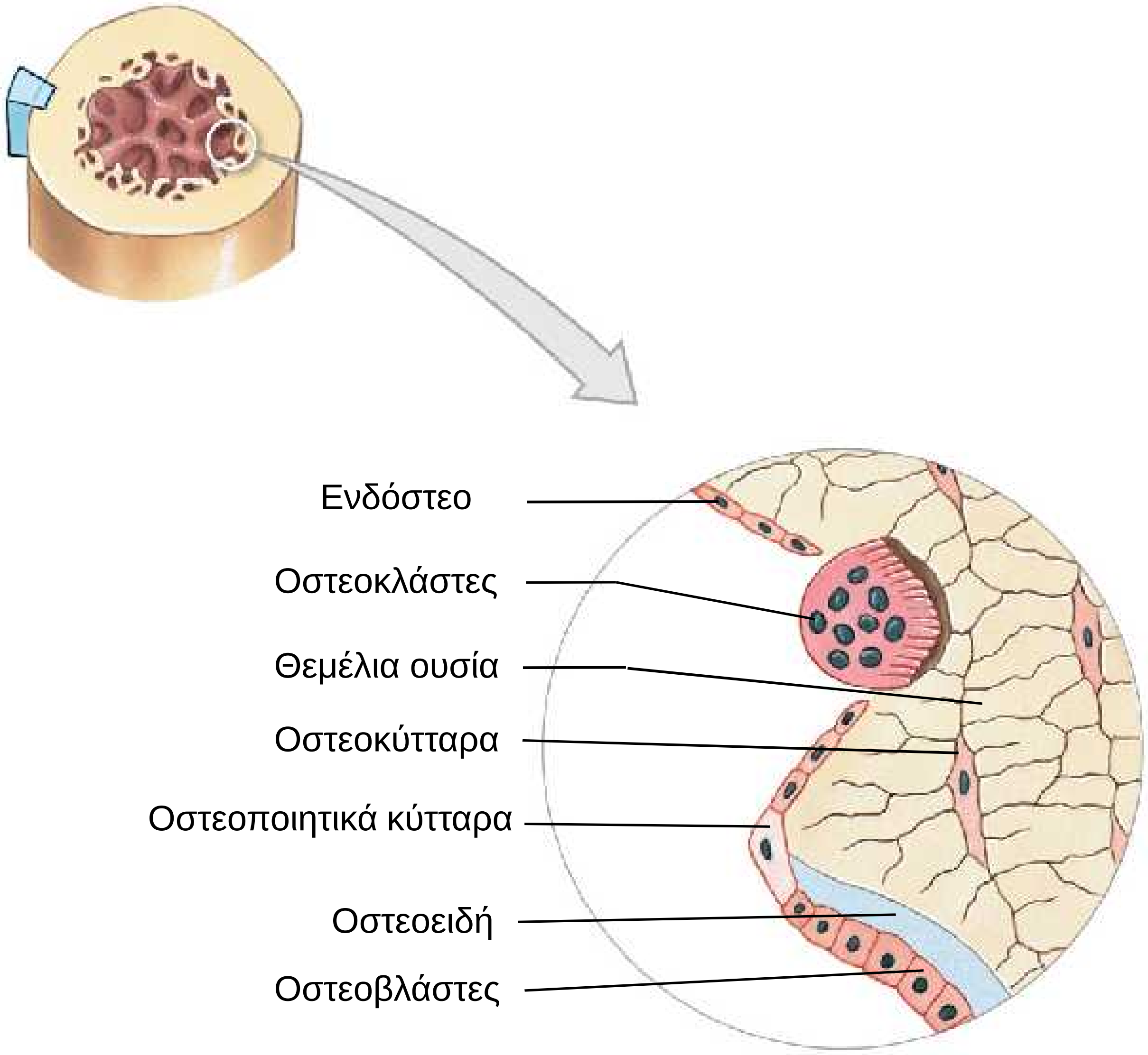
Φλοιώδες & σπογγώδες οστό

- ✓ Το φλοιώδες οστό καλύπτεται από μία μεμβράνη με το περιόστεο στην έξω μεριά το οποίο καλύπτει όλο το οστό εκτός από τα μέρη του που είναι εντός των αρθρικών καψουλών.
- ✓ Το περιόστεο αποτελείται από ένα εξωτερικό, ινώδες στρώμα και από ένα εσωτερικό με κύτταρα. Φέρει εισερχόμενες ίνες κολλαγόνου που ενώνονται με αυτές του υπόλοιπου οστού και με αυτές στις αρθρικές κάψουλες και χρησιμεύουν για την πρόσφυση των τενόντων και των συνδέσμων.
- ✓ Το περιόστεο απομονώνει το οστό από τους ιστούς που βρίσκονται γύρω από αυτό, παρέχει μία οδό απ' όπου περνούν αγγεία και νεύρα ενώ συμμετέχει στην αύξηση κι επούλωση του οστού.



Φλοιώδες & σπογγώδες οστό

- Το ενδόστεο βρίσκεται στο εσωτερικό του φλοιώδους οστού.
- Το μη ολοκληρωμένο στρώμα με κύτταρα περιχαρακώνει την μυελώδη κοιλότητα, καλύπτει τις σπογγώδεις δοκίδες, ευθυγραμμίζει τα κεντρικά κανάλια, περιέχει οστεοβλάστες, οστεοποιητικά κύτταρα και οστεοκλάστες και συμβάλλει στην αύξηση κι επούλωση του οστού.

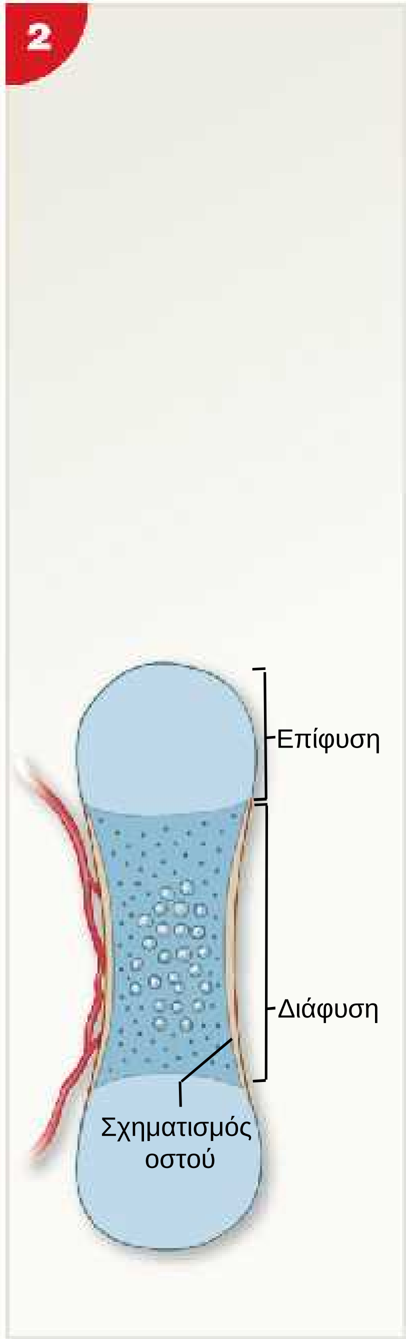


Σχηματισμός & αύξηση του οστού

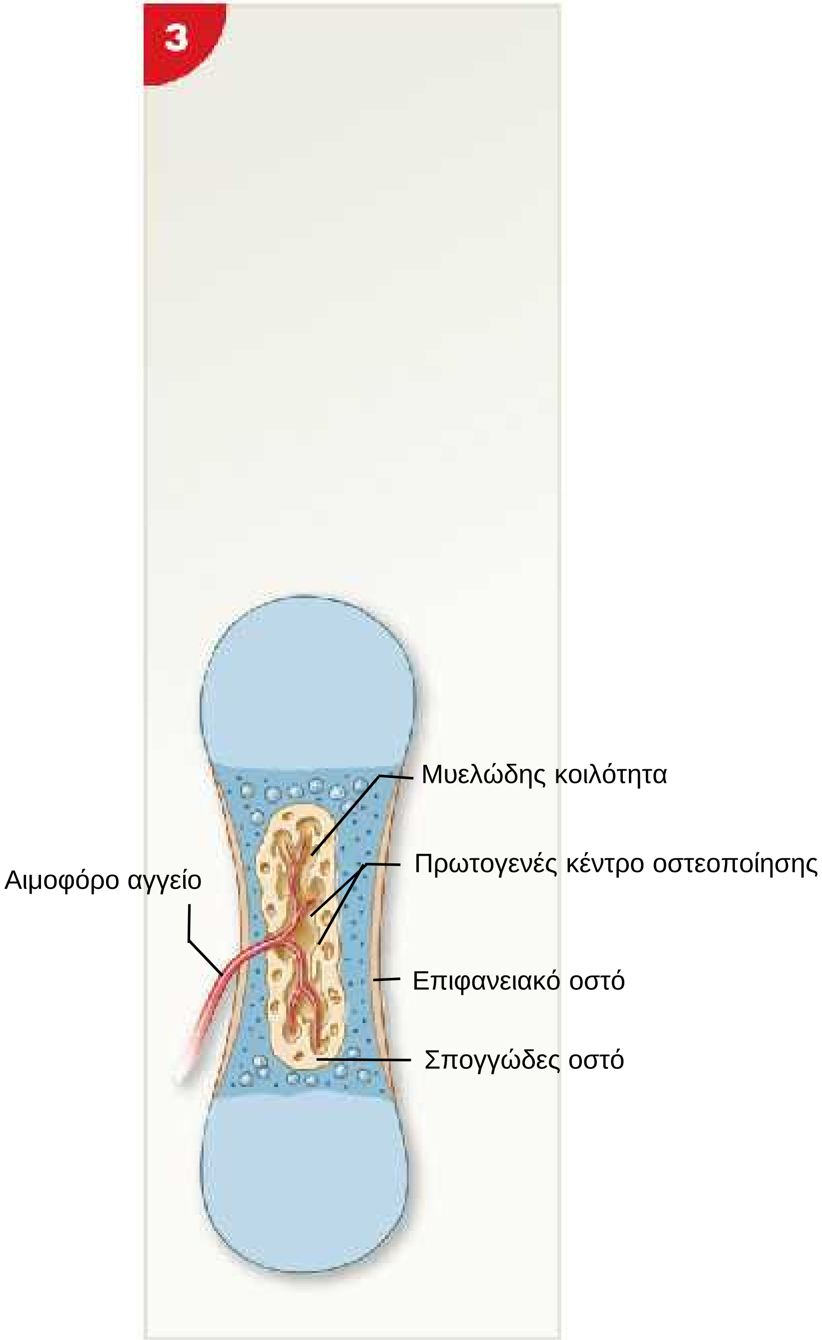
- ✓ Το οστό αυξάνεται μέχρι περίπου τα 20-25 έτη.
- ✓ Η οστεογένεση περιλαμβάνει τον σχηματισμό οστού και την οστεοποίηση που είναι η αντικατάσταση άλλων ιστών με οστό.
- ✓ Η ασβεστοποίηση είναι μέρος του σχηματισμού οστού και περιλαμβάνει την εναπόθεση αλάτων ασβεστίου κατά την οστεοποίηση.
- ✓ Η οστεοποίηση διακρίνεται στην ενδοχονδρική (ξεκινά ως υαλώδης χόνδρος – έτσι δημιουργούνται τα περισσότερα οστά) και στην ενδομεμβρανώδη που περιλαμβάνει 6 στάδια.

Ενδοχονδρική οστεοποίηση

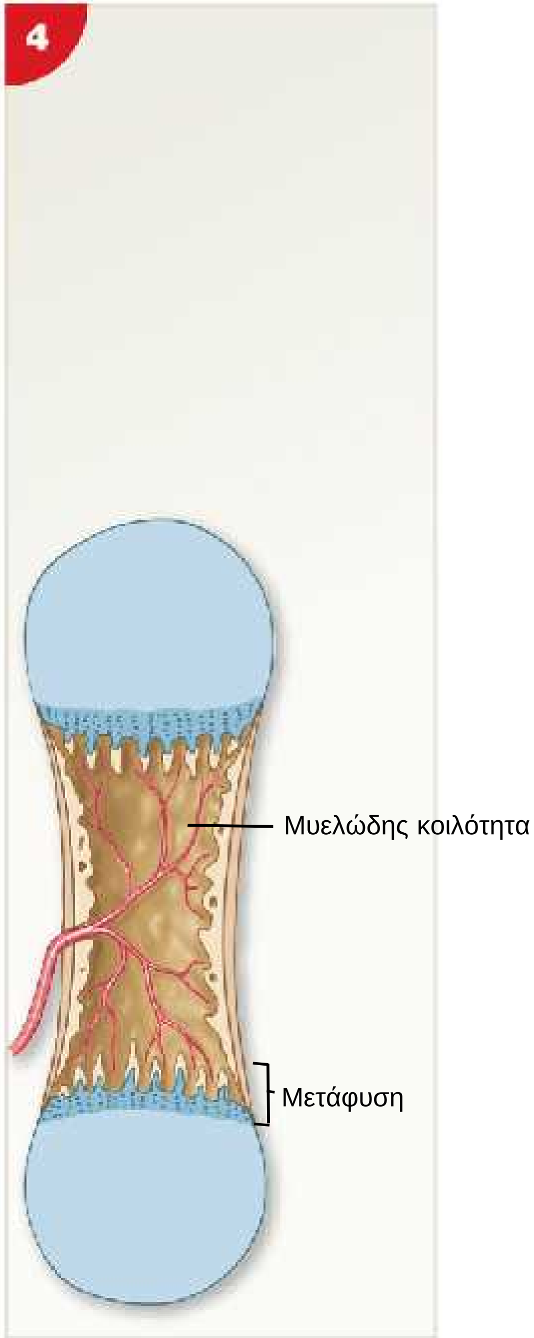
Ενδοχονδρική οστεοποίηση



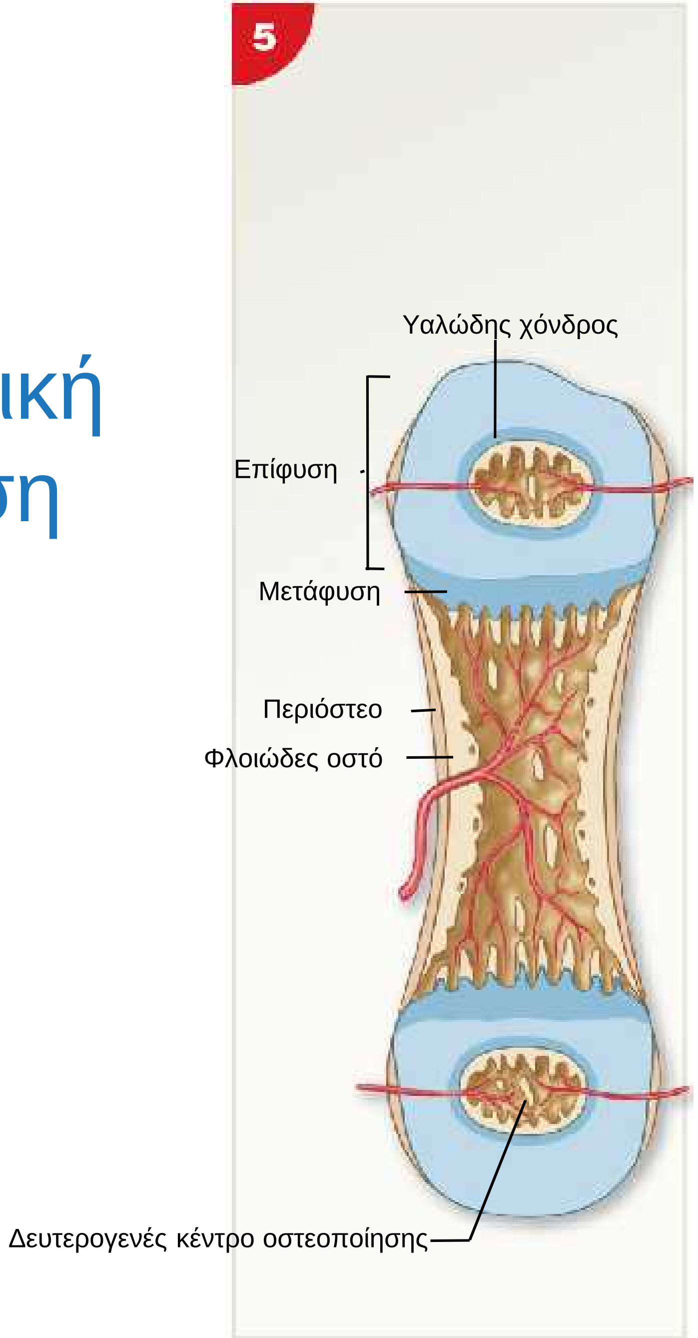
Ενδοχονδρική οστεοποίηση



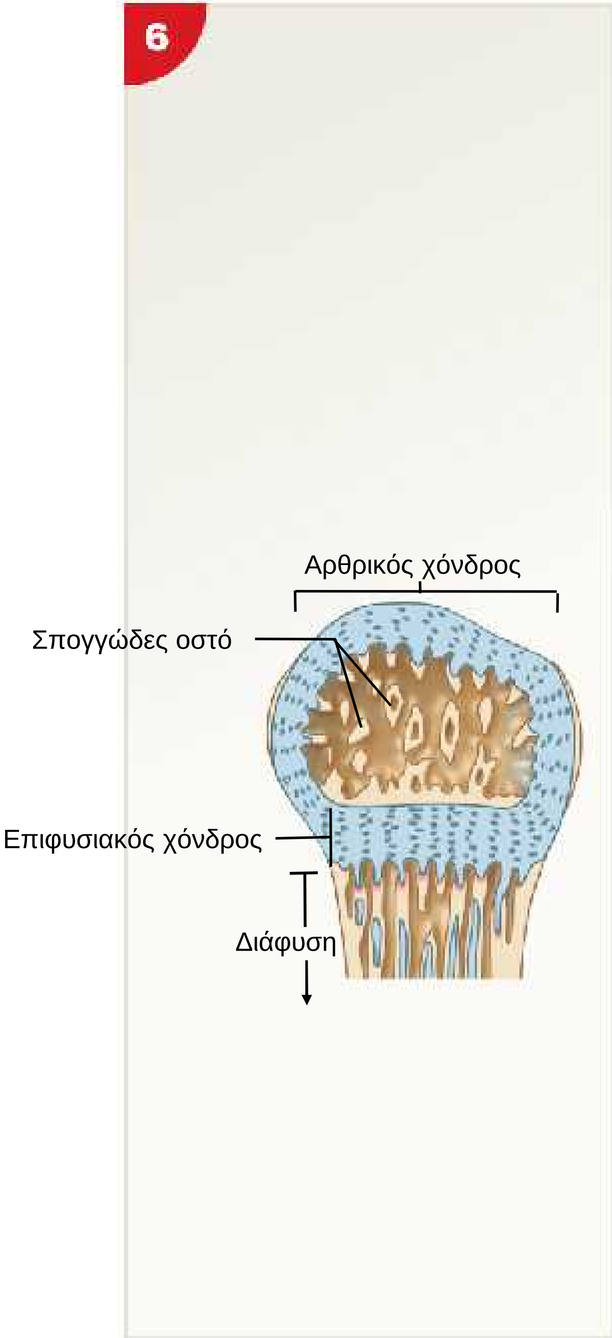
Ενδοχονδρική οστεοποίηση



Ενδοχονδρική οστεοποίηση

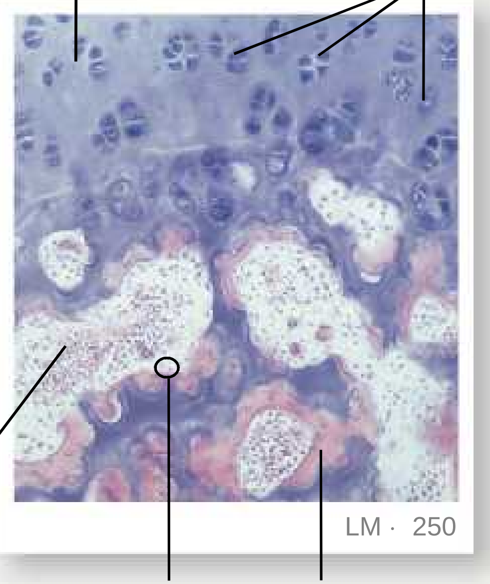


Ενδοχονδρική οστεοποίηση



Ενδοχονδρική οστεοποίηση

7

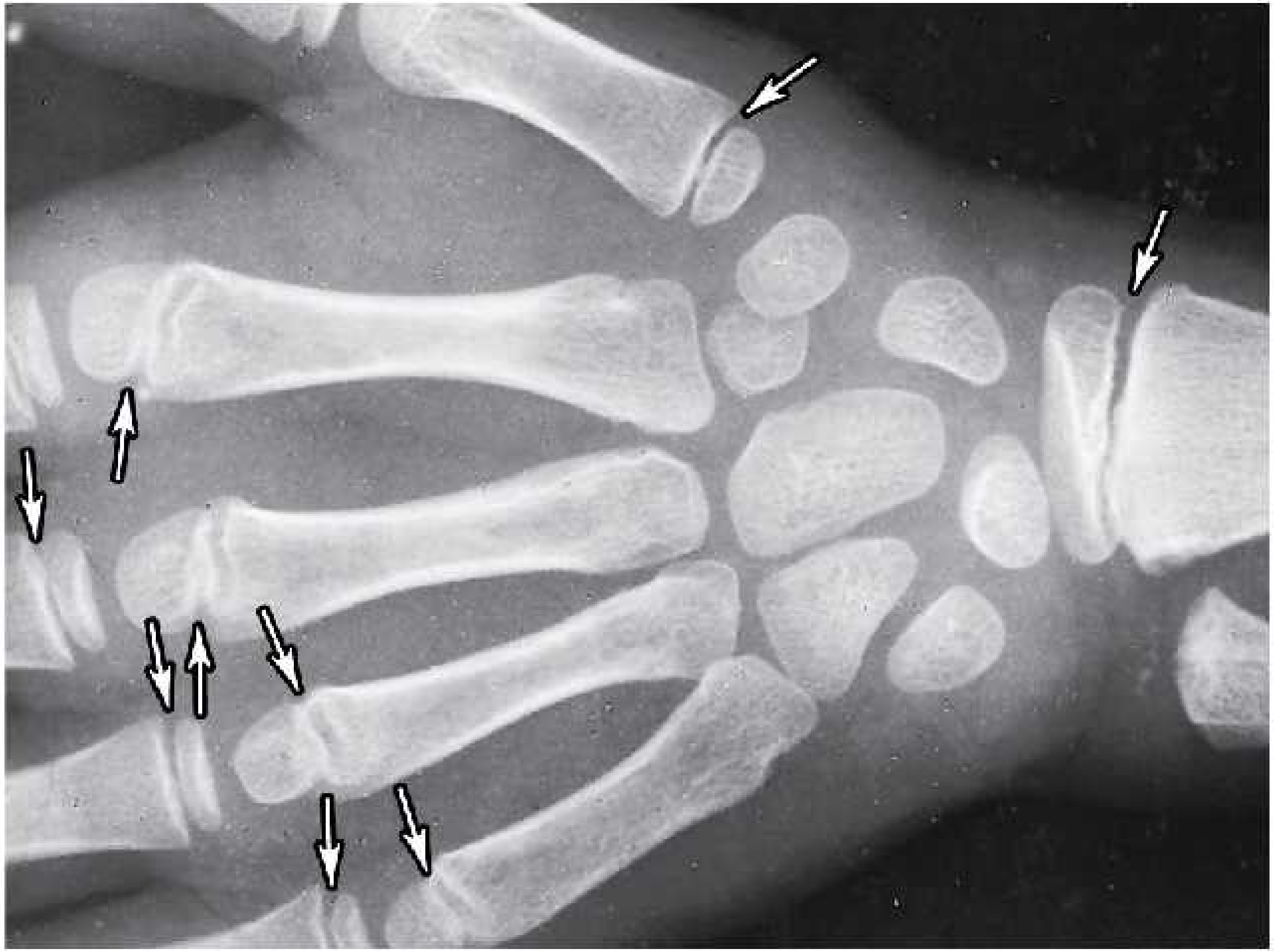


Σχηματισμός & αύξηση του οστού

- ✓ Το φλοιώδες οστό παχαίνει και δυναμώνει το μακρύ οστό με στρώματα περιφερικών ομοκέντρων κύκλων
- ✓ Οι επιφυσιακές γραμμές σχηματίζονται όταν το μακρύ οστό σταματά να αυξάνεται μετά την εφηβεία, οι επιφυσιακοί χόνδροι χάνονται και είναι ορατές σε ακτινογραφία.
- ✓ Όσο διαρκεί η ωρίμανση των μακρών οστών, οι οστεοκλάστες μεγαλώνουν την μυελώδη κοιλότητα και όστεα δημιουργούνται γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία στο φλοιώδες οστό.

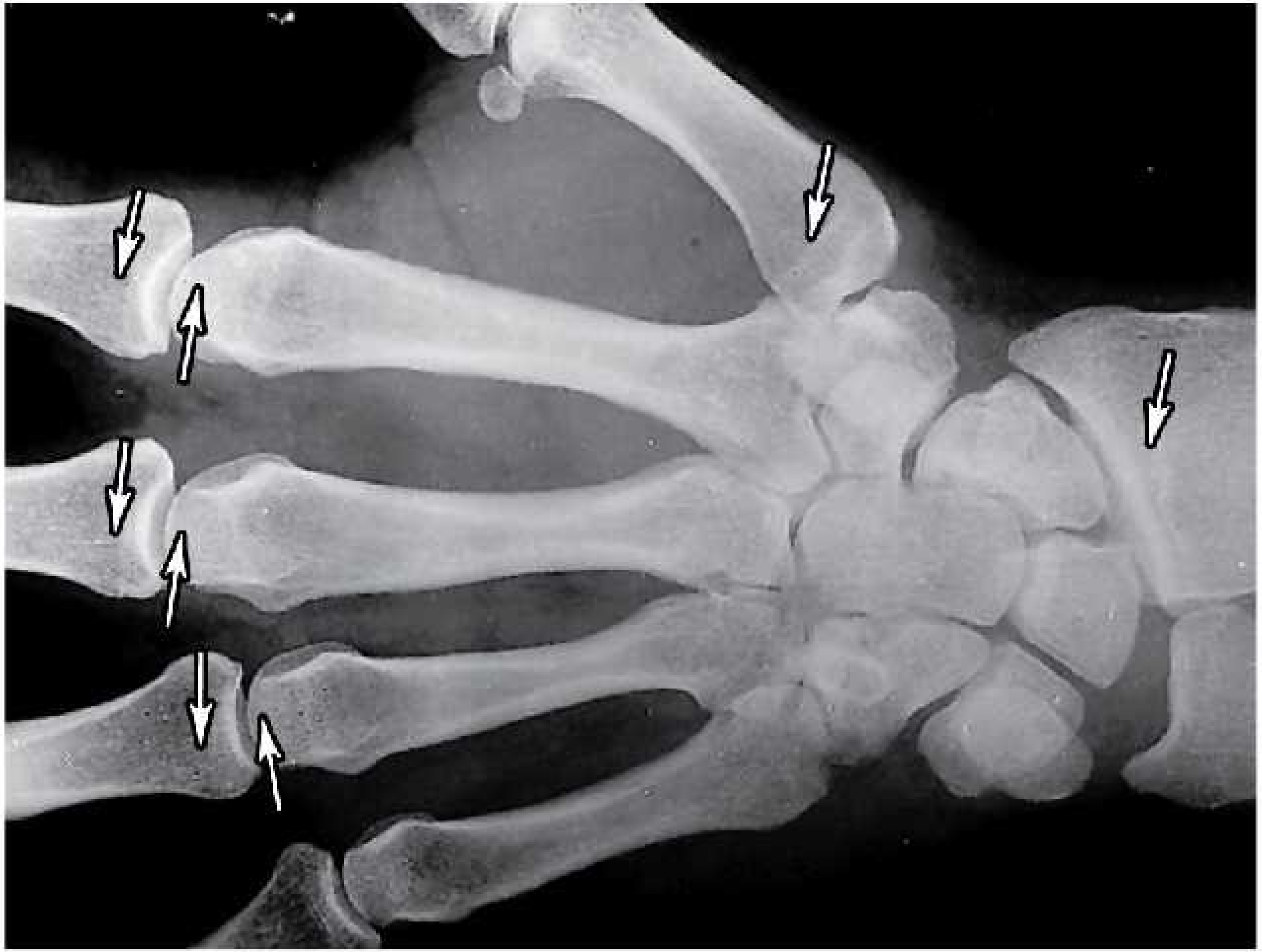
Η αύξηση του οστού στους επιφυσιακούς χόνδρους

Ακτινογραφία αυξανόμενου επιφυασιακού χόνδρου (βέλη)



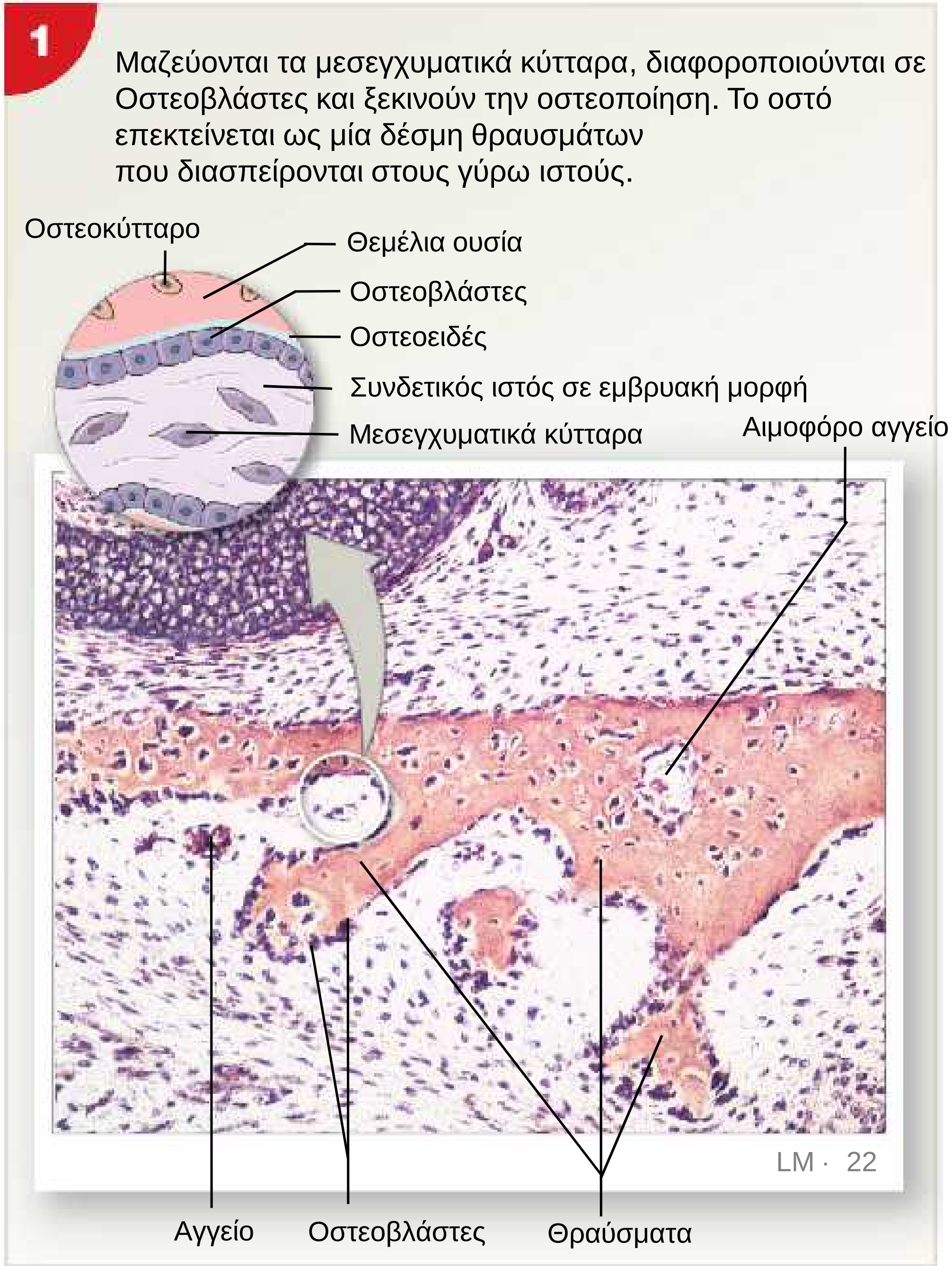
Η αύξηση του οστού στους επιφυσιακούς χόνδρους

Οι επιφυσιακές γραμμές σε έναν ενήλικα (βέλη)



Σχηματισμός & αύξηση του οστού

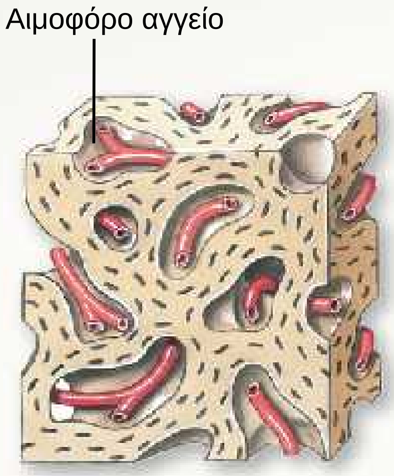
✓ Η ενδομεμβρανώδης οστεοποίηση ονομάζεται και δερμική γιατί γίνεται στο δέρμα και παράγει δερμικά κύτταρα όπως η κάτω γνάθος και η κλείδα. Περιλαμβάνει 3 στάδια.



Ενδομεμβρανώδης οστεοποίηση

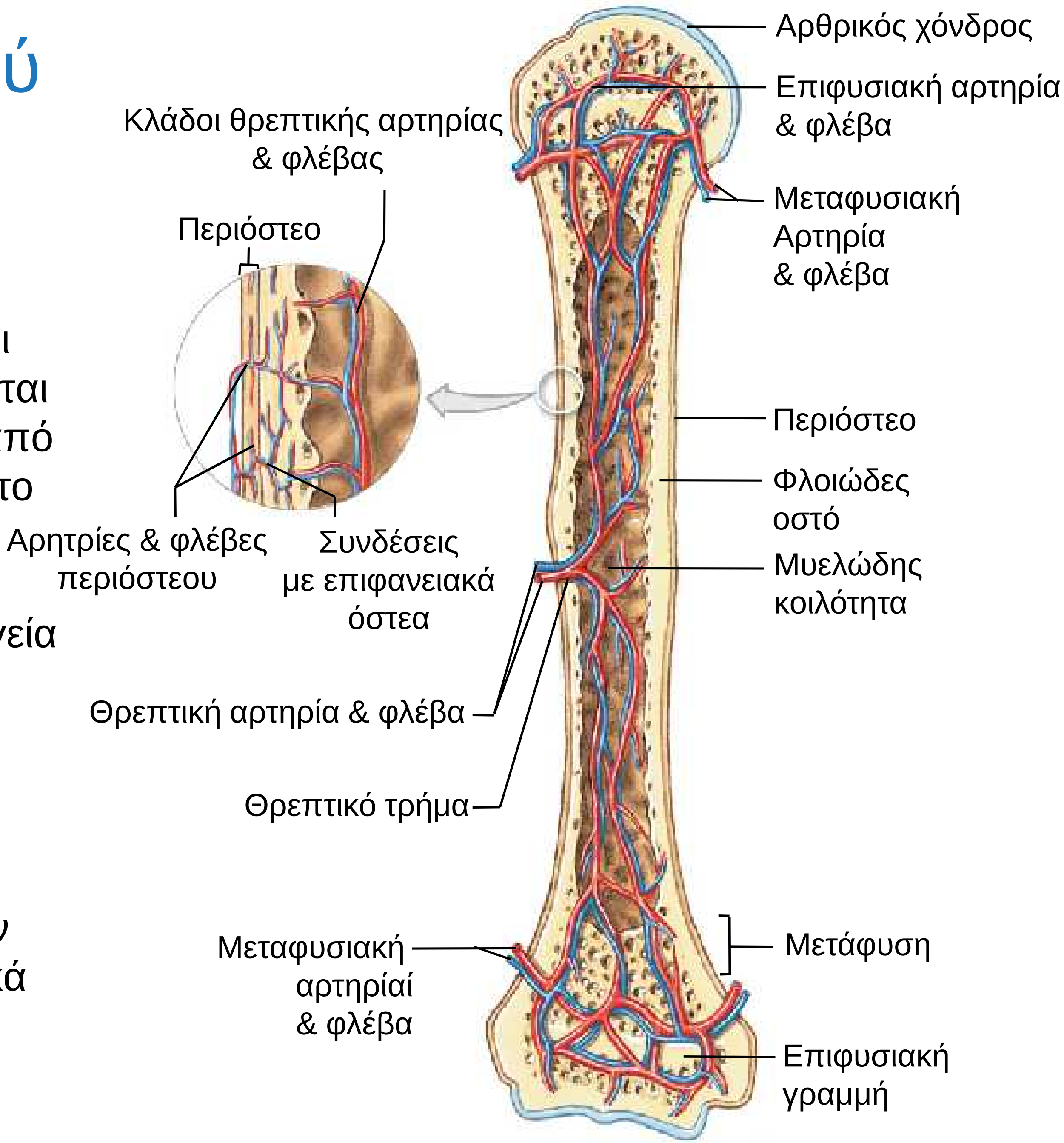
2 As the spicules interconnect, they trap blood vessels within the bone.

3 Μέσα στον χρόνο, το οστό παίρνει τη μορφή Σπογγώδους οστού. Τμήματά του αργότερα θα αφαιρεθούν για τη δημιουργία της Μυελώδους κοιλότητας. Μέσω της ανακύκλωσης, το σπογγώδες οστό που σχηματίζεται έτσι μπορεί να μετατραπεί σε φλοιώδες οστό



Σχηματισμός & αύξηση του οστού

- ✓ Η αιμάτωση των ώριμων οστών:
  1. Αποτελείται από ζευγάρι αρτηρίας και φλέβας που εισέρχεται στη διάφυση μέσα από το θρεπτικό τρήμα (το μηριαίο έχει αρκετά τέτοια ζευγάρια)
  2. Τα μεταφυσιακά αγγεία προμηθεύουν τον επιφυσιακό χόνδρο στον οποίο γίνεται η αύξηση του οστού.
  3. Τα αγγεία του περιόστεου φερνουν αίμα στα επιφανειακά όστεα και στα δευτερογενή κέντρα οστεοποίησης



Σχηματισμός & αύξηση του οστού

- ✓ Ένα δίκτυο λεμφικών αγγείων και αισθητικών νεύρων βρίσκονται στο περιόστεο

Ανακύκλωση του οστού

- Στον ώριμο σκελετό βοηθά στη συντήρηση του οστού, στην αντικατάσταση των αποθεμάτων μετάλλων, στην ανανέωση της θεμέλιας ουσίας.
- Συμμετέχουν τα οστεοκύτταρα, οι οστεοβλάστες και οι οστεοκλάστες.
- Το οστό ανανεώνεται συνεχώς και ο ρυθμός της ανανέωσης εξαρτάται από τον βαθμό εναπόθεσης σε σχέση με το βαθμό διάσπασης.

Επίδραση της άσκησης, ορμονών & διατροφής

- Η άσκηση βοηθά στην ανακύκλωση μετάλλων βοηθώντας το οστό να προσαρμοστεί στη φόρτιση κάνοντας πιο παχιά και δυνατά.
- Η αποσύνθεση του οστού είναι γρήγορη. Μέχρι και το 1/3 της οστικής μάζας μπορεί να χαθεί μέσα σε λίγες εβδομάδες σωματικής αδράνειας.
- Η διατροφική παροχή ασβεστίου και φωσφόρου συν μικρές ποσότητες μαγνησίου, σιδήρου και μαγγανίου βοηθούν.
- Σημαντικοί επίδραση έχουν και συγκεκριμένες ορμόνες.

Επίδραση της άσκησης, ορμονών & διατροφής

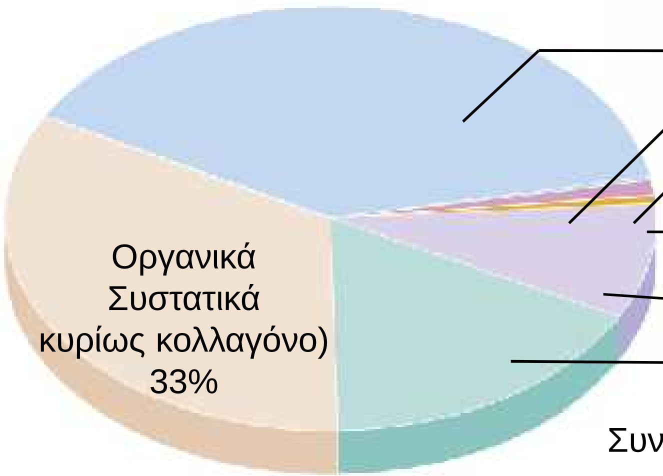
- ✓ Η καλσιτριόλη παράγεται από τα νεφρά, βοηθά στην απορρόφηση ασβεστίου και φώσφορου από τον γαστρεντερικό σωλήνα και η σύνθεσή της απαιτεί βιταμίνη D_3 (χολεκαλσιφερόλη).
- ✓ Η βιταμίνη C απαιτείται για σύνθεση κολλαγόνου και διέγερση της διαφοροποίησης των οστεοβλαστών.
- ✓ Η βιταμίνη A διεγείρει την οστεοβλαστική δραστηριότητα.
- ✓ Οι βιταμίνες K και B_{12} βοηθούν στη σύνθεση πρωτεϊνών του οστού.
- ✓ Η αυξητική ορμόνη και η θυροξίνη ενεργοποιούν την αύξηση των οστών.
- ✓ Τα οιστρογόνα και τα ανδρογόνα ενεργοποιούν τους οστεοβλάστες.
- ✓ Η καλσιτονίνη και η παραθυροειδής ορμόνη (PTH) ρυθμίζουν τα επίπεδα ασβεστίου και φωσφόρου

Δράση Ορμονών επί της οστικής Μάζας

Ορμόνες που ευνοούν τον οστικό σχηματισμό και αυξάνουν την οστική μάζα
Ινσουλίνη
Αυξητική Ορμόνη
Ινσουλινομιμητικός αυξητικός παράγοντας Ι (IGF-I)
Οιστρογόνα
Τεστοστερόνη
1,25-$(OH)_2$D3 (οστεοποίηση και όχι οστεοειδές)
Καλσιτονίνη
Ορμόνες που ευνοούν την οστική επαναφομοίωση και μειώνουν την οστική μάζα
Παραθορμόνη
Κορτιζόλη
Θυρεοειδικές ορμόνες

Ομοιόσταση ασβεστίου

- ✓ Τα οστά χρησιμεύουν για την αποθήκευση ασβεστίου και άλλων μετάλλων.
- ✓ Το ασβέστιο είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο σώμα και είναι σημαντικό για τις μεμβράνες, τα νεύρα, τα μυϊκά κύτταρα και τα καρδιακά κύτταρα.



Σύσταση οστού	Το οστό περιέχει…….
Ασβέστιο39%	99% του συνολικού ασβεστίου
Φώσφορος 0.2%	4% του συνολικού φώσφορου
Νάτριο0.7%	35% του συνολικού νατρίου
Μαγνήσιο0.5%	50% του συνολικού μαγνησίου
Καρβονικό άλας 9.8%	80% του καρβονικού άλατος
Φωσφορικές ρίζες 17%	99% των συνολικών φωσφορικών ριζών
Συνολική ανόργανη ουσία 67%	

Ομοιόσταση ασβεστίου

- ✓ Τα ιόντα ασβεστίου στο σώμα πρέπει να ρυθμίζονται συνεχώς.
- ✓ Η ομοιόσταση του διατηρείται μέσω της καλσιτονίνης και της PTH που ελέγχουν την αποθήκευση, απορρόφηση και απέκκρισή του.
- ✓ Η καλσιτονίνη και PTH επηρεάζουν τα οστά στα οποία αποθηκεύται το ασβέστιο, τον γαστρεντερικό σωλήνα απ' όπου απορροφάται και τα νεφρά απ' όπου απεκκρίνεται.
- ✓ Η PTH παράγεται από τους παραθυροειδείς αδένες στον αυχένα και αυξάνει τα επίπεδα ασβεστίου διεγείροντας τους οστεοκλάστες, αυξάνοντας την εντερική απορρόφηση και μειώνοντας την απέκκρισή του από τα νεφρά.
- ✓ Η καλσιτονίνη εκκρίνεται από τα κύτταρα C του θυρεοειδούς και μειώνει τα επίπεδα ασβεστίου αναστέλλοντας την οστεοκλαστική δραστηριότητα και αυξάνοντας την απέκκριση του από τα νεφρά.

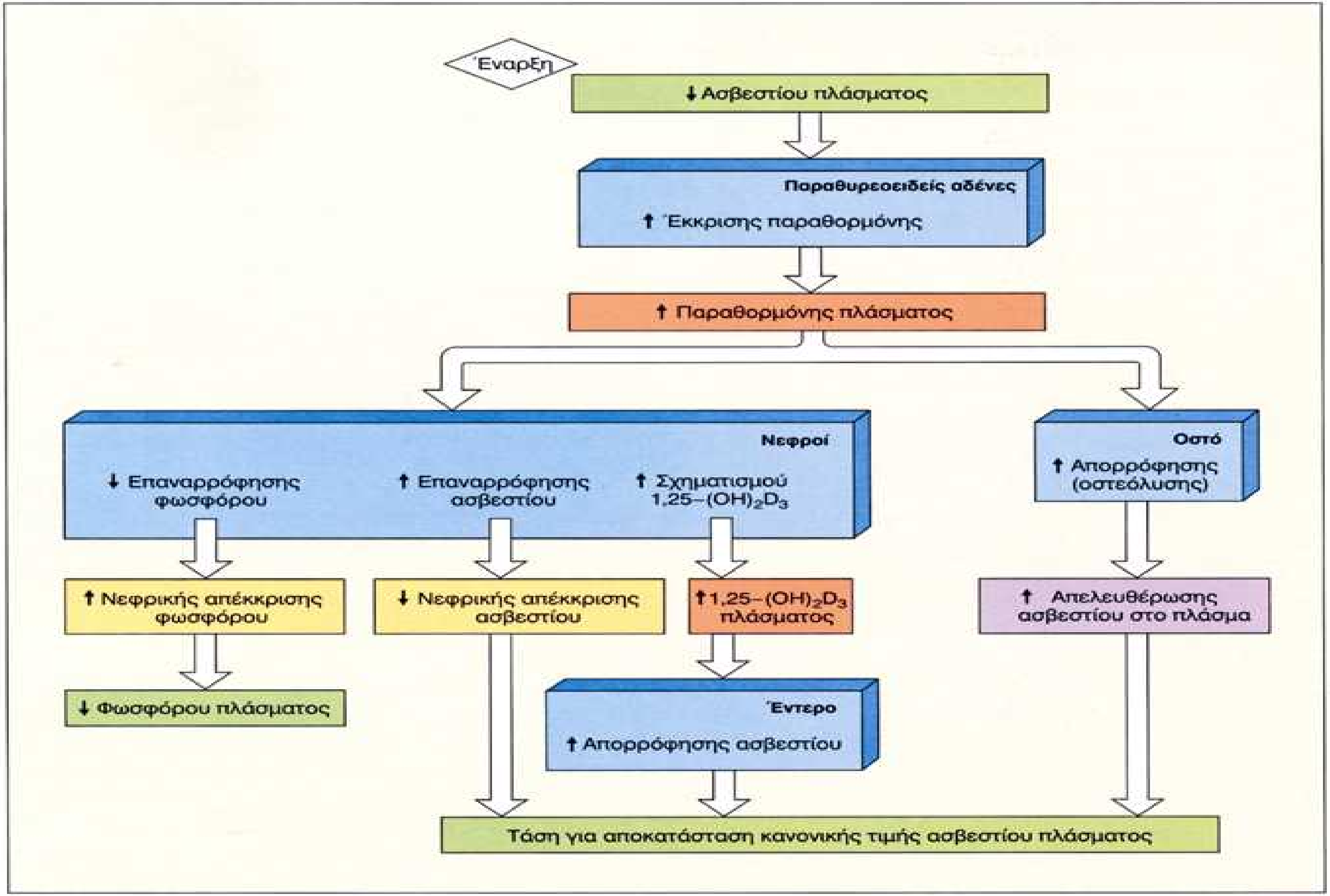
Αποβολή ασβεστίου-Νεφροί

- Περίπου το 60% του Ca^{++} διηθείται στα νεφρικά σωμάτια και το περισσότερο από αυτό επαναρροφάται. Το υπόλοιπο 40% είναι προσδεμένο με πρωτεΐνες.
- Δεν παρατηρείται σωληναριακή έκκριση ασβεστίου.
- Απέκκριση Ca^{++} = Διηθημένη – **Απορροφούμενη ποσότητα**

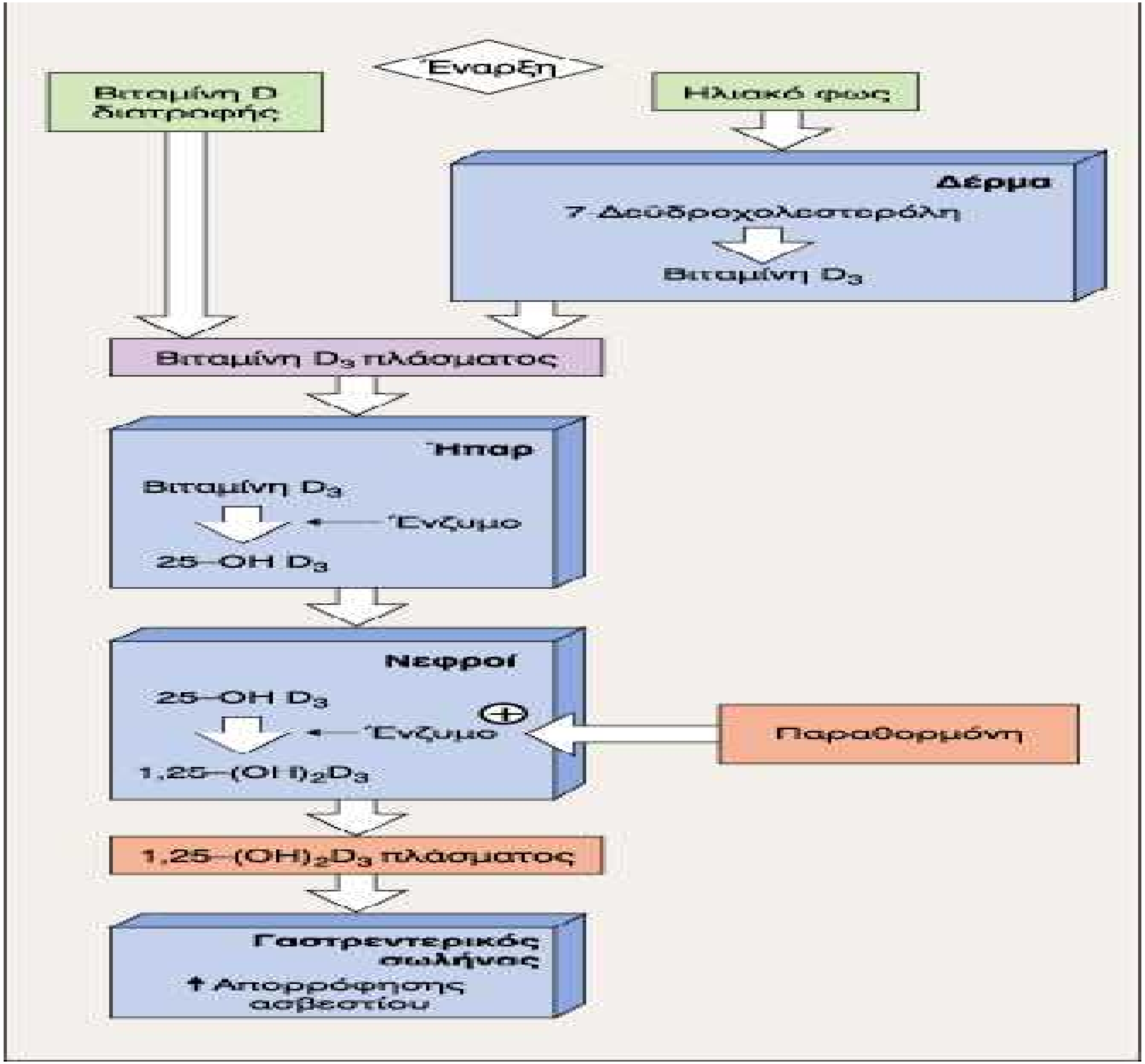
Πρόσληψη ασβεστίου-Γαστρεντερικός σωλήνας

- Αντίθετα με το Na, K και H_20 τα οποία απορροφούνται σχεδόν κατά 100% από το γαστρεντερικό σωλήνα το Ca^{++} δέχεται ορμονικό έλεγχο όσον αφορά την απορρόφηση του από τον εντερικό αυλό προς το αίμα (ΚΥΡΙΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΜΟΙΟΣΤΑΣΙΑΣ Ca^{++}).

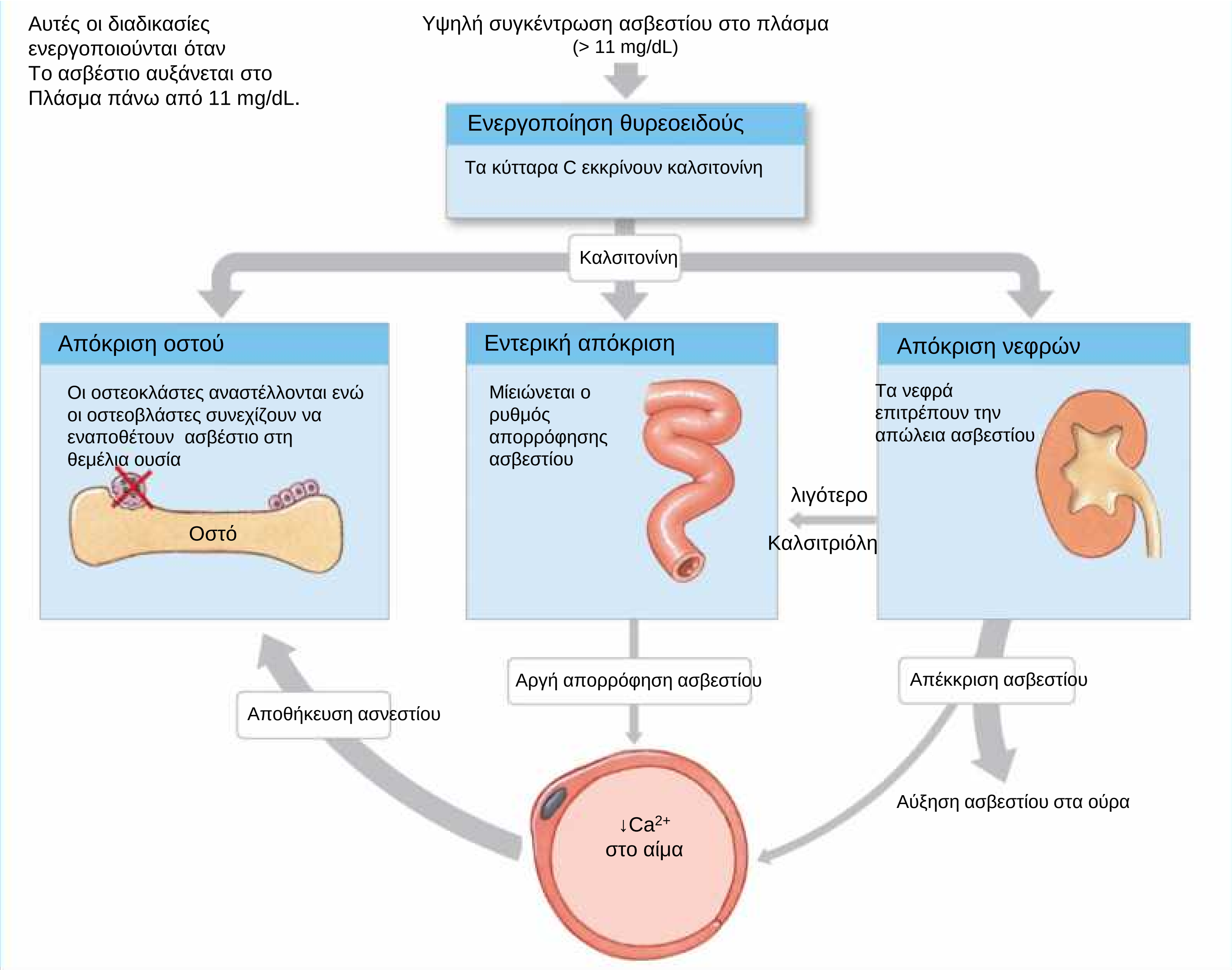
Αύξηση ασβεστίου



Βιταμίνη D και παραθορμόνη



Μείωση ασβεστίου



Καλσιτονίνη

- Ορμονικό πεπτίδιο το οποίο εκκρίνεται από τα παραθυλακιώδη κύτταρα του θυρεοειδούς αδένα.
- Ελαττώνει τη συγκέντρωση του Ca^{++} στο πλάσμα
- + [Ca^{++}] στο πλάσμα
- + καλσιτονίνη
- - δράση οστεοκλαστών
- - οστεόλυση
- - απελευθέρωση Ca^{++} στο πλάσμα
- - [Ca^{++}] πλάσματος
- Δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ρύθμιση [Ca^{++}] αλλά στην προστασία του σκελετού του σώματος από υπερβολική οστεόλυση

Ασβέστιο

Μπορεί να βρεθεί στα γαλακτοκομικά προϊόντα όπως το γάλα, το γιαούρτι και το τυρί.

Υπάρχουν πολλά ενισχυμένα προϊόντα με ασβέστιο. Π.χ. στην Αγγλία, υπάρχει αλεύρι εμπλουτισμένο σε ασβέστιο με αποτέλεσμα το ψωμί να αποτελεί καλή πηγή.

Τα όσπρια, τα καρύδια, τα αποξηραμένα φρούτα και τα πράσινα λαχανικά όπως το σπανάκι παρέχουν ασβέστιο όπως και το ψάρι όταν τρώγεται με τα κόκκαλα (π.χ. κονσέρβα σαρδέλες.

Ασβέστιο

Μερικές τροφές παρέχουν σημαντικές ποσότητες ασβεστίου αλλά επίσης περιέχουν ουσίες που μειώνουν την απορρόφησή του από το σώμα.

Π.χ. τα άλατα του φυτικούόξέος στα δημητριακά ολικής άλεσης και στα όσπρια και το οξαλοξικό στο σπανάκι.

Για τους χορτοφάγους, καλή λύση είναι η κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων προϊόντων σόγιας όπως το τοφού και τα ποτά σόγιας που είναι ενισχυμένα με ασβέστιο.

Ρύθμιση Ασβεστίου

- **Χαμηλή** συγκέντρωση Ca^{++} επιφέρει κράμπες και σπασμούς
- **Αυξημένη** συγκέντρωση Ca^{++} επιφέρει αρρυθμίες και καταστολή της νευρομυϊκής διεγερσιμότητας (πρόσδεση σε πρωτεΐνες της Κ.Μ. και μεταβολές στο δυναμικό μεμβράνης- άνοιγμα και κλείσιμο διαύλων ιόντων).

Βιταμίνη D

Η βιταμίνη D είναι σημαντική για την απορρόφηση του ασβεστίου από την τροφή.

Η βιταμίνηD δημιουργείται στο δέρμα από το ηλιακό φως. Ορισμένα άτομα μπορεί να μην εκτίθενται επαρκώς στον ήλιο.

Καλές πηγές βιταμίνης D είναι τα ιχθυέλαια, τα αυγά, το βούτυρο, το κρέας και οι μαργαρίνες που ενισχύονται με βιταμίνη D όπως και τα δημητριακά.

Κατάγματα

- ✓ Ρωγμές ή σπάσιμο των οστών εξαιτίας φυσικού στρες.
- ✓ Επουλώνονται σε 4 στάδια:
  1. Αιμορραγία
  2. Κύτταρα του ενδόστεου και περιόστεου
  3. Οστεοβλάστες
  4. Οι οστεοβλάστες και τα οστεοκύτταρα επουλώνουν το κάταγμα για έως και 1 χρόνο μετά.

Κατάγματα

- Αιμορραγία
  - Σχηματίζεται θρόμβος(αιμάτωμα)
  - Σχηματίζεται ένα ινώδες δίκτυο
  - Μέρος του οστού νεκρώνει
- Τα κύτταρα του ενδόστεου και περιόστεου
  - Διαιρούνται και μετακινούνται στην περιοχή του κατάγματος
  - Μαλακός ιστός σταθεροποιεί το κάταγμα: ιστός χόνδρου και οστού περιβάλει το κάταγμα ενώ εσωτερικά γίνεται το ίδιο στην μυελώδη κοιλότητα

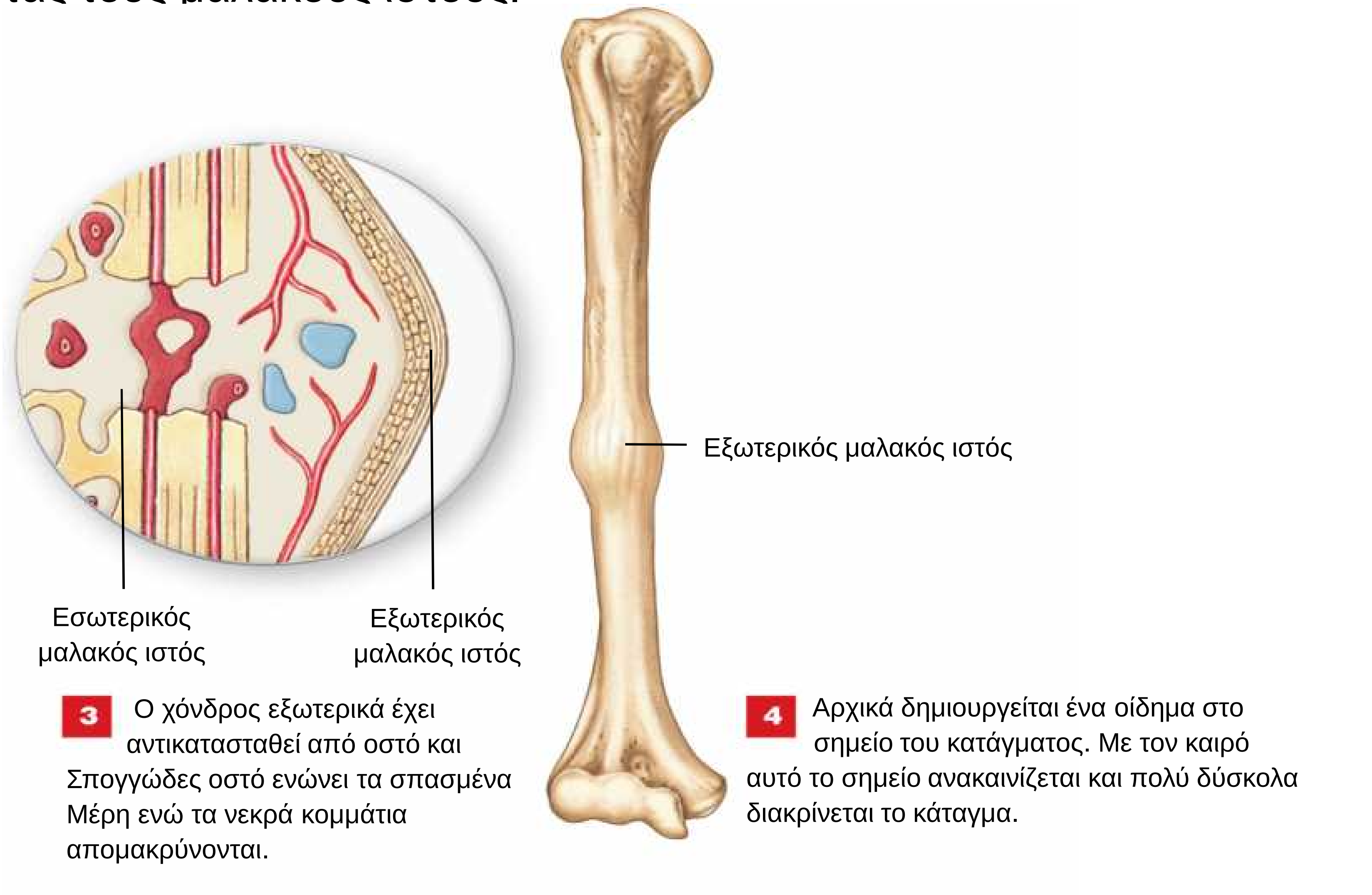
Επούλωση του Κατάγματος

1 Αμέσως μετά από κάταγμα έρχεται το αιμάτωμα. Μετά από αρκετές ώρες, Αναπτύσσεται ένας θρόμβος.

2 Σχηματίζεταιι μαλακός ιστός εσωτερικά στο σπογγώδες οστό κι ένας εξωτερικά.

Επούλωση του Κατάγματος

- ✓ Οι οστεοβλάστες αντικαθιστούν τον κεντρικό χόνδρο του εξωτερικού μαλακού ιστού με σπογγώδες οστό.
- ✓ Οι οστεοβλάστες και τα οστεοκύτταρα ανανεώνουν το οστό για έως κι 1 έτος μειώνοντας τους μαλακούς ιστούς.



Γήρανση και οστά

- Τα οστά γίνονται πιο λεπτά και εξασθενημένα με τη γήρανση.
- Η οστεοπενία ξεκινά στα 30-40 (οι γυναίκες χάνουν 8% οστικής μάζας και οι άντρες 3% ανά δεκαετία). Μετά τα 45 29% οι γυναίκες και 18% οι άνδρες,
- Επηρεάζονται περισσότερο οι επιφύσεις, οι σπόνδυλοι της ΣΣ και οι γνάθοι με αποτέλεσμα πιο εύθραυστα άκρα, μείωση του ύψους και απώλεια δοντιών.
- Τα οιστρογόνα και ανδρογόνα βοηθούν στη διατήρηση της οστικής μάζας. Η εμμηνόπαυση επιταχύνει την απώλεια οστικής μάζας.
- Η οστεοκλαστική δραστηριότητα αυξάνει στον καρκίνο με αποτέλεσμα την έντονη οστεοπόρωση.

Φυσιολογικό σπογγώδες οστό

Οστεοπορωτικό σπογγώδες οστό

Πρόληψη Οστεοπόρωσης

- Πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας με μετατόπιση Σ.Β.
- Λήψη οιστρογόνων σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες
- Λήψη Ca^{++} (1000 mg ημερησίως προεμμηνοπαυσιακά και 1200-1500 mg ημερησίως μετεμμηνοπαυσιακά)

Θεραπεία Οστεοπόρωσης

- Διφωσφονικά (παρέμβαση στην απορρόφηση των οστών από τους οστεοκλάστες)
- Καλσιτονίνη, 1,25-$(OH)_2$D3, οιστρογόνα, φθοριούχο νάτριο (διεγείρουν τους οστεοβλάστες για τη δημιουργία καινούριου οστού)

Θεραπεία και αναστροφή της εμμηνόπαυσης

- Αύξηση του σωματικού βάρους η οποία προέρχεται από ένα θετικό ισοζύγιο θερμίδων επιφέρει:

1. Μεγαλύτερη αύξηση της οστικής πυκνότητας (ΟΠ)
2. Μικρότερη συχνότητα σε κατάγματα κόπωσης

- Ωστόσο, η ΟΠ παρέμεινε σε χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με φυσιολογικά άτομα
- **Συμπέρασμα:**

1. Όσο πιο γρήγορα αντιμετωπιστεί η εμμηνόπαυση τόσο πιο εύκολη είναι η αναστροφή στη χαμένη ΟΠ

2. Είναι πολύ δύσκολο για μία αθλήτρια να επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα-ΠΡΟΛΗΨΗ

Θετικές επιδράσεις της άσκησης στο μεταβολισμό των οστών

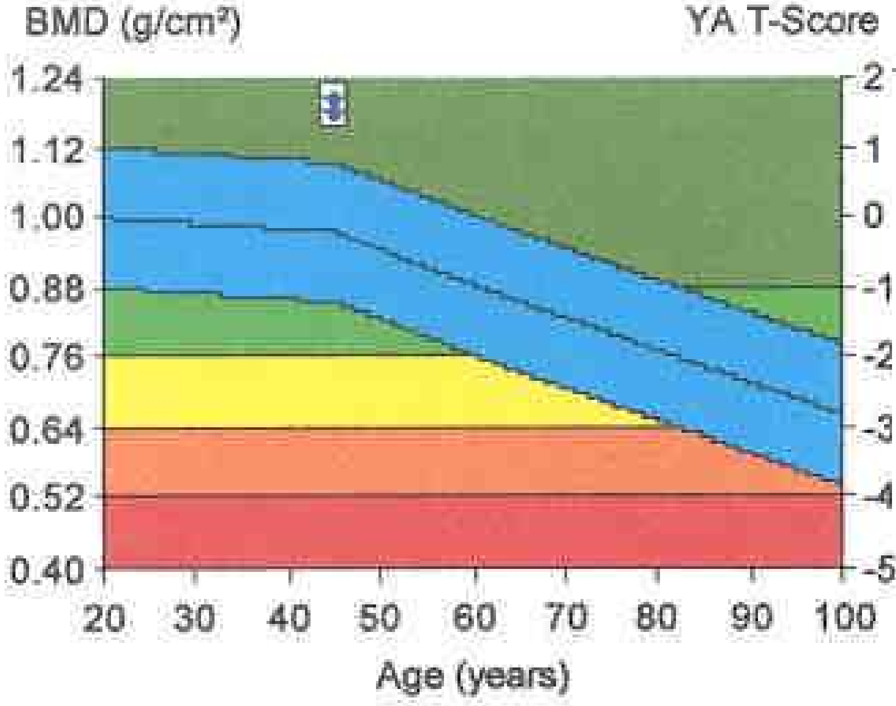
- Έχει βρεθεί πως ο συνδυασμός άσκησης και λήψης οιστρογόνων οδηγούν στην αύξηση της ΟΠ με επιπρόσθετο τρόπο.
- Παράλληλα η άσκηση επιφέρει αύξηση στα επίπεδα αναβολικών ορμονών (τεστοστερόνη, αυξητική ορμόνη, ινσουλινομιμητικός αυξητικός παράγοντας-Ι) που με τη σειρά τους αυξάνουν τη δραστηριοποίηση των οστεοβλαστών και την ΟΠ

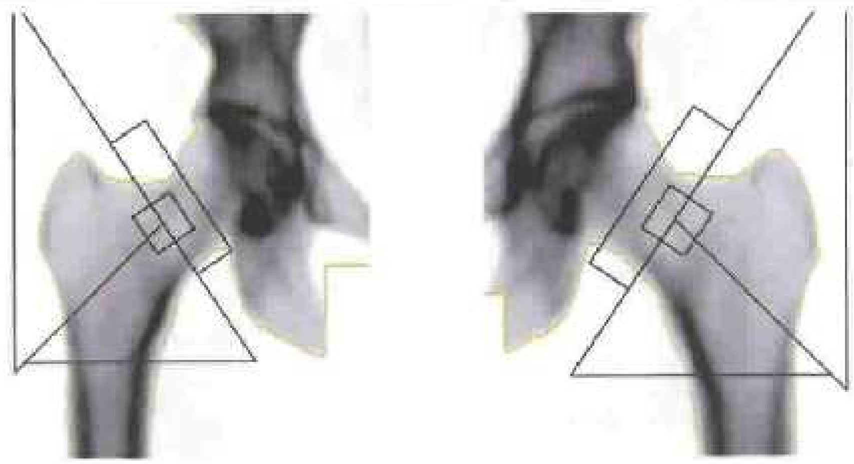
Μέτρηση της οστικής επιμετάλλωσης

- Δηλαδή ασβεστίου, φωσφόρου και υφροξειδίου
- Με απορροφησιομετρία διπλής ενεργειακής δέσμης (DXA)
- Η DXA προσαρμόζει τη μάζα ανά εμβαδόν οστού (aBMD)

Κατηγορίες aBMD κατά WHO : Τ σκορ

- Φυσιολογικές τιμές: μέσο όρο 1 SD (π.χ. νεαρές Καυκάσιες γυναίκες)
- Μειωμένες τιμές (οστεοπενία): 1-2,5 SD κάτω από τον μέσο όρο
  - ♦ 2-3 φορές μεγαλύτερος κίνδυνος κατάγματος
- Οστεοπόρωση = > 2,5 SD πιο κάτω από το μέσο όρο
  - ♦ 5 φορές μεγαλύτερος κίνδυνος κατάγματος

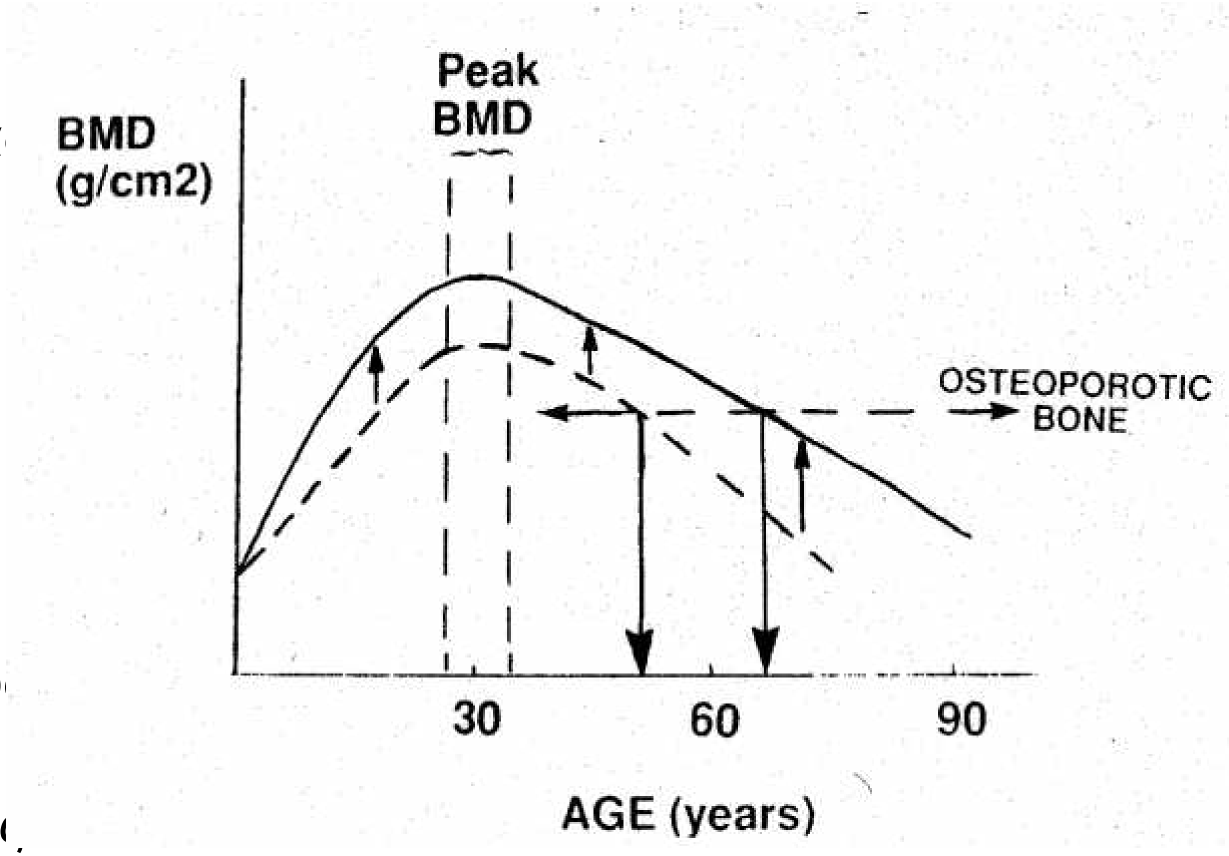




	[redacted] 1,6	[redacted] 2,7		[redacted] 3	
Region	**BMD**	**Young-Adult**		**Age-Matched**	
Total	**(g/cm²)**	**(%)**	**T-Score**	**(%)**	**Z-Score**
Left	1.185	119	1.5	122	1.8
Right	1.206	121	1.7	124	1.9
Mean	1.196	120	1.6	123	1.8
Difference	0.020	2	0.2	2	0.2

Η οστεοπόρωση ξεκινά στην παιδική ηλικία

- Τα επίπεδα οστικής μάζα στην παιδική ηλικία κι εφηβεία επηρεάζουν τον κίνδυνο κατάγματος.
- Η μέγιστη τιμή οστικής μάζας είναι πιθανά ο πιο σημαντικός παράγοντας.
- Η μέγιστη τιμή οστικής μάζας επιτυγχάνεται προ το τέλος της εφηβείας.
- 10% αύξηση της μέγιστη τιμής οστικής μάζας μπορεί να μειώσει το κίνδυνο κατάγματος κατά 50%.



From: Kemper, Pediatric Exercise Science 2000;12:198-216.

Bone Increases Rapidly During Puberty

Areal bone mineral density gains in femoral neck during puberty. From Theintz et al., J Clin Endocrine Metab 1992; 75:1060-1065.

Η φυσική δραστηριότητα είναι σημαντική για τη βελτιστοποίηση της οστικής μάζας

- Οι μυϊκές φορτίσεις αυξάνουν τη δύναμη και οι δυνάμεις βαρύτητας τα οστά.
- Η ένταση είναι πιο σημαντική από τη διάρκεια

Οξεία επίδραση της άσκησης

- Άσκηση με βάρη και αερόβια άσκηση οξείας μορφής αυξάνουν την έκκριση της τεστοστερόνης, της αυξητικής ορμόνης και του IGF-I
- Η αυξημένη έκκριση παρατηρείται τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες
- Η ίδια αντίδραση παρατηρείται και στα ηλικιωμένα άτομα, με τη μόνη διαφορά ότι η αύξηση είναι χαμηλότερου βαθμού απ’ ότι σε νεαρότερα άτομα
- Αυξημένη ανακύκλωση του οστού (turnover) μπορεί να οδηγήσει αυξημένη βιοσύνθεση του οστού

Μακροχρόνια επίδραση της άσκησης-αναβολικές ορμόνες

- Η μακροχρόνια άσκηση με βάρη και μεγάλο προπονητικό όγκο επιφέρει αύξηση στην τεστοστερόνη, αυξητική ορμόνη και IGF-I. Αυτή η αύξηση συνδέεται με αυξημένη ΟΠ
- Ο IGF-I μπορεί να αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα στην αύξηση της ΟΠ

IGF-I και οστική πυκνότητα

- Θηλυκές Επίμυες
- Διάρκεια: 9 εβδομάδες
- Άσκηση: τρέξιμο στο διάδρομο
- Αποτελέσματα:
- αύξηση του IGF-I στο αίμα και στα οστά
- Θετική συσχέτιση μεταξύ του IGF-I και δημιουργίας οστού τόσο στα μακριά οστά όσο και στα οστά της οσφυϊκής μοίρας
- Ο IGF-I που δημιουργείται στα οστά αποτελεί το συνδετικό παράγοντα μεταξύ της αυξημένης μηχανικής τάσης που αναπτύσσεται με την άσκηση και της δημιουργίας οστού

Παραθορμόνη

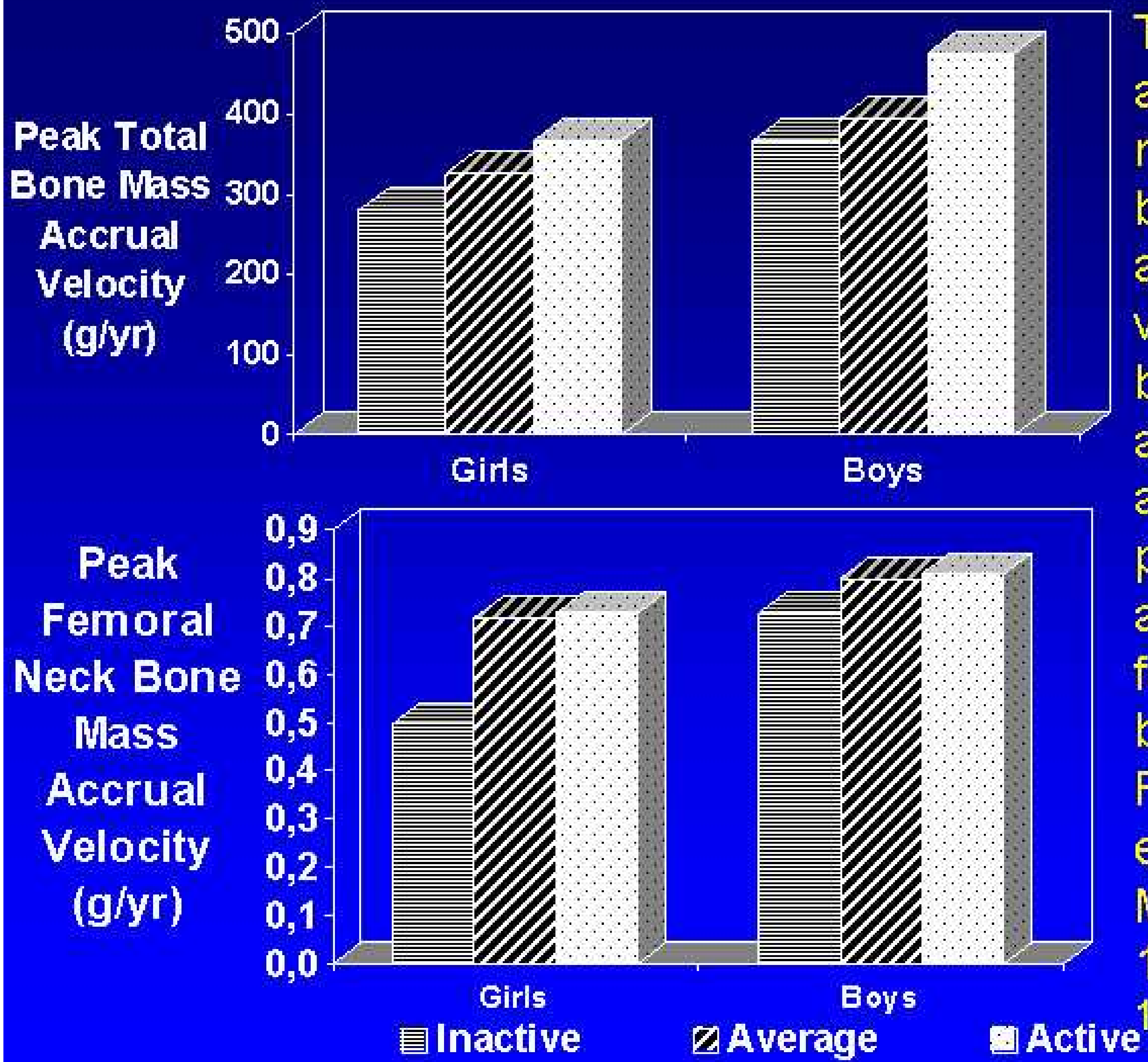
- Η άσκηση με βάρη αυξάνει τα επίπεδα της παραθορμόνης αλλά και την ΟΠ σε μεταεμμηνοπαυσιακές γυναίκες
- Ίσως η διαλειμματική άσκηση και όχι η συνεχόμενη, μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα της παραθορμόνης και να έχει θετικές επιδράσεις στο μεταβολισμό των οστών διαμέσου της δραστηριοποίησης των οστεοβλαστών
- Περισσότερη έρευνα (προπονητικά πρωτόκολλα, επίπεδα παραθορμόνης και οστική πυκνότητα)

Καλσιτονίνη-Βιταμίνη D

- Όσον αφορά την καλσιτονίνη υπάρχουν λίγες και διφορούμενες απόψεις. Μερικές έρευνες δείχνουν ότι αυξάνουν τα επίπεδα, μερικές ότι μειώνονται και μερικές ότι δε μεταβάλλονται
- Περισσότερη έρευνα
- Όσον αφορά τη βιταμίνη D έχει βρεθεί πως τόσο η άσκηση με βάρη όσο και η αερόβια άσκηση αυξάνουν σημαντικά τα επίπεδα της βιταμίνης D (μπορεί να συνδέεται με την αυξημένη έκκριση της αυξητικής ορμόνης)

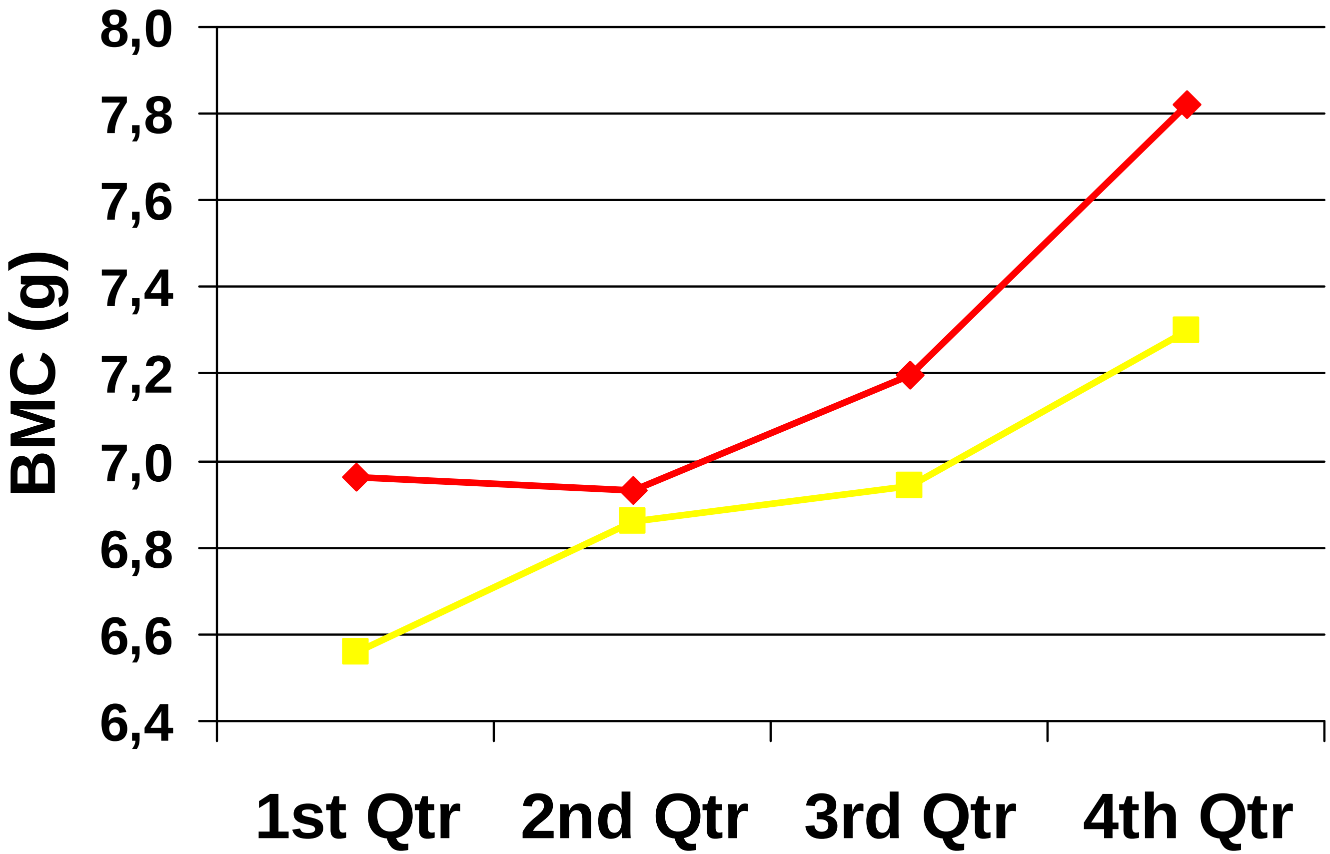
Το οστό προσαρμόζεται καλύτερα στο υψηλό φορτίο με ασυνήθιστους ρυθμούς

- Εξειδίκευση οστών: π.χ. τα κυρίαρχα χέρια στα αθλήματα ρακέτας
- Το βέλτιστο φορτίο διαφέρει από τη μεγάλη διάρκεια και τη χαμηλή ένταση αναφορικά με την καρδιοαγγειακή υγεία.



Total body and femoral neck peak bone mineral accrual velocity (g/yr) by inactive, average, and active physical activity groups for girls and boys. From Bailey et al., J Bone Miner Res 1999; 15:1672-1679.

Η επιμετάλλωση μετά από έντονη ΦΔ σε 5χρονα παιδιά



Προσαρμογή ως προς την ηλικία, βάρος και ύψος

12% Δ BMC διαφορά

From Janz et al., Pediatrics 2001;107:1387-93.

Κυριότερα ευρήματα μελετών παρατήρησης πάνω στη σχέση ΦΔ και μετρήσεις οστού

- Μ Διαφορές 2-20% μεταξύ δραστήριων και μη δραστήριων ατόμων.
- Οι περισσότεροι συμμετέχοντες ήταν Καυκάσιοι.
- Λίγες μελέτες ερευνούν την επίδραση του φύλου.
- Λίγα δεδομένα πάνω στην αλληλεπίδρασυ ΦΔ και ωρίμανσης.
- Προβλήματα με την DXA .

Κυριότερα ευρήματα παρεμβατικών μελετών

- Υψηλή ένταση, πρωτόκολλα μεταφοράς σωματικού βάρους.
- Οι περισσότερες αναφέρουν μία θετική επίδραση.
- Οι μετρήσεις αφορούσαν κυρίως το μηριαίο και είχαν μεγάλη συνέπεια.
- Υπάρχουν ενδείξεις αλληλεπίδρασης ΦΔ και ωρίμανσης.
- Οι σύγχρονες μελέτες δεν χρησιμοποιούν μόνο DXA.

Προβλήματα;;;;;

- Υπάρχουν αρκετές έρευνες οι οποίες υποδεικνύουν πως η οστική πυκνότητα αυξάνεται με τη συστηματική άσκηση.
- Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις πως η υπερβολική άσκηση σε συνδυασμό με μειωμένη ενεργειακή πρόσληψη μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στα οστά.
- Αυτό μπορεί να συμβαίνει επειδή πραγματοποιούνται ορισμένες ορμονικές αλλαγές σε μία προσπάθεια του οργανισμού να διατηρήσει τα επίπεδα ενέργειας ή δε μπορεί να αντεπεξέλθει στο υπερβολικό στρες της άσκησης.

Θεωρία του αρνητικού ισοζυγίου θερμίδων

- Ίδια πρόσληψη θερμίδων τόσο από αθλήτριες με κανονική όσο και με προβλήματα περιόδου
- Ωστόσο οι πρώτες γυμνάζονται για μικρότερο χρονικό διάστημα και η ένταση της άσκησης είναι μικρότερη συγκριτικά με τις δεύτερες
- Αύξηση της πρόσληψης των θερμίδων μπορεί να αναστρέψει τις ανωμαλίες της έμμηνους ρύσης σε αθλήτριες χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση τους

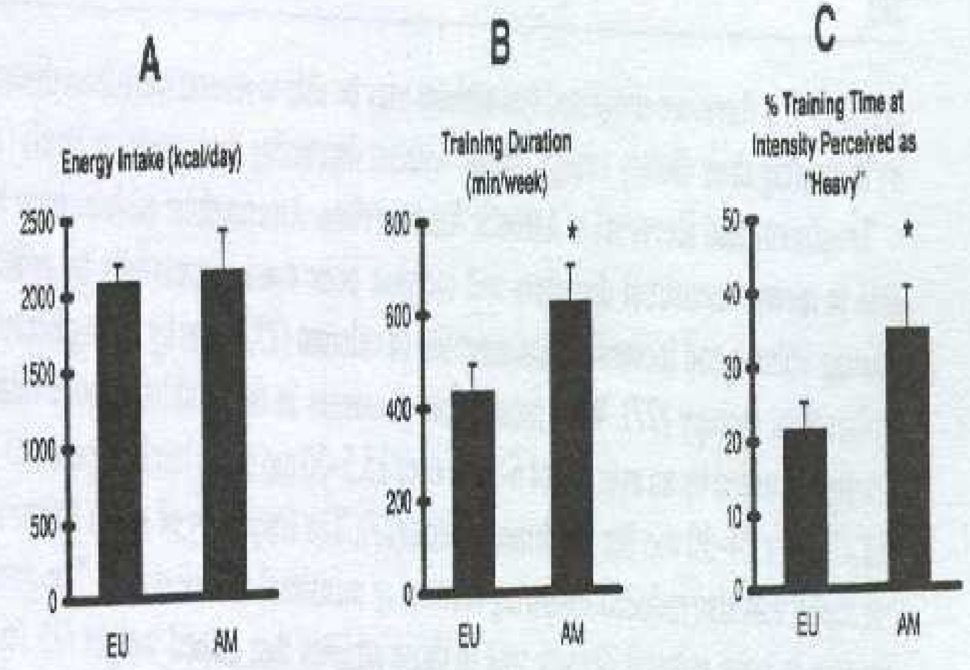


Fig. 1. EU = eumenorrheic athletes; AM = amenorrheic athletes. This is one form of experimental evidence for the "low energy availability" hypothesis proposed by Loucks et al. *(16)* in the development of amenorrhea with exercise training. For an equivalent level of energy intake, amenorrheic athletes were found to have a greater training volume and intensity when compared to eumenorrheic athletes (data taken from ref. *17*). This implies that amenorrheic athletes have a lower energy availability (where energy availability = energy intake – energy expenditure). *Amenorrheic means are significantly different from eumenorrheic means ($p < 0.05$).

Ποιες αθλήτριες επηρεάζονται

1. Δρομείς μεγάλων αποστάσεων
2. Μπαλαρίνες
3. Ενοργανίστριες
4. Αθλήτριες παγοδρομίας
5. Κωπηλάτριες

- Σε αυτές τις κατηγορίες αθλητών (1,2) η επίδραση της μετατόπισης του σώματος δεν έχει θετική επίδραση αφού παρουσιάζουν χαμηλότερη ΟΠ ακόμα και σε εκείνα τα μέρη του οστού που επιβαρύνονται και επίσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα σε stress fractures

Αιτιολογία της Αθλητικής εμμηνόπαυσης

1. Αρνητικό ισοζύγιο θερμίδων
2. Αυξημένα επίπεδα καταβολικών ορμονών (π.χ. κορτιζόλης) εξαιτίας των χρόνιων επιδράσεων της άσκησης

- Οι ανωτέρω παράγοντες μπορεί να επηρεάζουν το ρυθμό έκκρισης της εκλυτικής ορμόνης της γοναδοτρόπου ορμόνης από τον υποθάλαμο, και αυτό με τη σειρά του έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της έκκρισης της ωχρονιακής ορμόνης (LH) και της θυλακιώδους ορμόνης (FSH) από την πρόσθια υπόφυση

Παραθορμόνη

- Η αυξημένη ένταση και ο μεγάλος προπονητικός όγκος επιφέρουν μεγαλύτερη έκκριση των κατεχολαμινών και με τη σειρά τους επιφέρουν αυξημένη έκκριση στην παραθορμόνη
- Παρατηρήθηκε πως αθλήτριες με χαμηλή ΟΠ που έκαναν συνεχόμενη άσκηση παρουσίαζαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ΟΠ και της παραθορμόνης (όσο πιο ψηλά επίπεδα παραθορμόνης τόσο χαμηλότερη ΟΠ)
- Περισσότερη έρευνα

Καλσιτονίνη-Βιταμίνη D

- Χαμηλή έκκριση καλσιτονίνης σε αθλήτριες με χαμηλή ΟΠ και αυξημένα επίπεδα Ca συγκριτικά με αθλήτριες οι οποίες παρουσίαζαν κανονική ΟΠ (απουσία προστατευτικής δράσης).
- Χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D σε εμμηνοπαυσιακές δρομείς με χαμηλή ΟΠ συγκριτικά με αθλήτριες με κανονική έμμηνο ρύση αλλά και με ομάδα ελέγχου
- Περισσότερη έρευνα

Αθλητική εμμηνόπαυση

- Η έντονη και ογκώδης προπονητικά προπόνηση οδηγεί σε αθλητική εμμηνόπαυση
- Μείωση παραγωγής οιστρογόνων και προγεστερόνης
- Μείωση της περιεκτικότητας του οστού σε ιχνοστοιχεία

Θεραπεία και αναστροφή της εμμηνόπαυσης

1. Μείωση του προπονητικού όγκου
2. Αύξηση της πρόσληψης ασβεστίου
3. Hormone replacement therapy

Οι παραπάνω παράγοντες ενεργούν συνεργετικά και αυξάνουν την οστική πυκνότητα (~10% στην οσφυϊκή χώρα και ~4% στην κεφαλή του μηριαίου οστού)

Αρνητικές επιδράσεις της άσκησης στο μεταβολισμό των οστών

- Τα οιστρογόνα και η προγεστερόνη επιφέρουν:

1. Αύξηση στην απορρόφηση ασβεστίου από το έντερο
2. Επηρεασμό των οστεοβλαστών και οστεοκλαστών

- Η υπερβολική σε όγκο άσκηση μπορεί να οδηγήσει σε αθλητική εμμηνόπαυση

Effect of Rhythmic Gymnastics on Volumetric Bone Mineral Density and Bone Geometry in Premenarcheal Female Athletes and Controls

S. Tournis, E. Michopoulou, I. G. Fatouros, I. Paspati, M. Michalopoulou, P. Raptou, D. Leontsini, A. Avloniti, M. Krekoukia, V. Zouvelou, A. Galanos, N. Aggelousis, A. Kambas, I. Douroudos, G. P. Lyritis, K. Taxildaris, and N. Pappaioannou

Laboratory of Research of Musculoskeletal System "Th. Garofalidis" (S.T., I.P., P.R., V.Z., A.G., G.P.L., N.P.), University of Athens, KAT Hospital, 14561 Athens, Greece; and Department of Physical Education and Sports Science (E.M., I.G.F., M.M., D.L., A.A., M.K., N.A., A.K., I.D., K.T.), Democritus University of Thrace, 69100 Komotini, Greece

TABLE 1. Physical and dietary characteristics of the two groups

	RG (n = 26)	Controls (n = 23)	*P*
Age (yr)	11.26 ± 0.17	10.87 ± 0.13	0.096
Weight (kg)	31.07 ± 0.69	40.34 ± 1.71	<0.001
Height (cm)	142.75 ± 1.60	145.76 ± 1.10	0.13
$Height_{SDS}$	−0.14 (2.2)	0.30 (2.49)	0.085
Sitting height (cm)	75.80 ± 0.60	76.81 ± 0.80	0.33
BMI (kg/m^2)	15.20 ± 0.18	18.85 ± 0.58	<0.001
BMI_{SDS}	−1.10 (2.44)	0.23 (3.02)	<0.001
Skinfold sum (mm)	42.63 (32.55)	81.00 (183.00)	<0.001
Bone age (yr)	10.61 ± 0.25	11.24 ± 0.23	0.079
Tanner stage[a]	I:10, II:13, III:3	I:7, II:12, III:4	0.767
Tibial length (cm)	32.84 ± 0.34	33.65 ± 0.56	0.22
Training age (yr)	4.34 ± 0.25	NA	
Dietary calcium intake (mg/d)	1004.16 ± 62.97	916.83 ± 60.72	0.32
Dietary vitamin D intake (IU/d)	147.48 ± 7.92	146.17 ± 12.14	0.92
Protein intake (mg/d)	60.26 ± 3.16	64.77 ± 3.52	0.34
Energy intake (KJ/d)	5985.40 ± 377.99	6943.75 ± 439.15	0.103
Physical activity (METs/d)	46.8 ± 1.36	34.4 ± 1.20	0.002

TABLE 2. Biochemical characteristics of the study group

	RG	Control	*P*
Calcium (mg/dl) (NR, 8.2–10.2)	9.85 ± 0.08	9.56 ± 0.09	0.025
Phosphate (mg/dl) (NR, 3.6–5.8)	5.41 ± 0.11	5.19 ± 0.10	0.17
iPTH (pg/ml) (NR,15–65)	36.01 ± 1.85	45.34 ± 3.14	0.012
25(OH)D (nmol/liter) (NR, 37.5–190)	102.22 ± 4.2	87.46 ± 3.74	0.013
P1NP (μg/liter)	684.62 ± 49.49	785.88 ± 43.1	0.133
sCTX (ng/ml)	1.65 ± 0.07	1.77 ± 0.08	0.320

Data are presented as means ± SE. NR, Normal range.

TABLE 3. vBMD, BMC, and bone geometric characteristics assessed by pQCT

	RG	Control	*P*
10 mm proximal to the distal surface of the distal metaphysis			
Total BMC (mg)	251.10 ± 10.43	210.96 ± 11.24	0.022
Total vBMD (mg/cm^3)	301.45 ± 6.58	283.75 ± 7.09	0.105
Total CSA (mm^2)	836.53 ± 31.18	741.97 ± 33.61	0.069
Trabecular BMC (mg)	92.92 ± 6.21	73.24 ± 6.70	0.058
Trabecular vBMD (mg/cm^3)	243.61 ± 9.7	216.05 ± 10.46	0.088
Trabecular CSA (mm^2)	376.31 ± 14.03	333.75 ± 15.13	0.069
38% site			
Total BMC (mg)	272.73 ± 5.47	218.19 ± 5.90	<0.001
Total vBMD (mg/cm^3)	789.76 ± 12.47	732.55 ± 13.45	0.007
Total CSA (mm^2)	346.87 ± 8.04	300.34 ± 8.67	0.001
Cortical BMC (mg)	243.82 ± 5.45	187.17 ± 5.88	<0.001
Cortical vBMD (mg/cm^3)	1043.70 ± 8.28	1042.31 ± 8.93	0.919
Cortical CSA (mm^2)	233.85 ± 5.28	179.78 ± 5.70	<0.001
CRTHK (mm)	4.53 ± 0.09	3.60 ± 0.10	<0.001
PERI (mm)	65.96 ± 0.80	61.22 ± 0.86	0.001
ENDO (mm)	37.48 ± 0.91	38.59 ± 0.98	0.461
SSIp (mm^3)	1129.74 ± 38.01	858.92 ± 40.98	<0.001
14% site			
Total BMC (mg)	187.77 ± 3.58	162.27 ± 3.86	<0.001
Total vBMD (mg/cm^3)	471.99 ± 10.71	449.81 ± 11.55	0.210
Total CSA (mm^2)	402.70 ± 11.01	362.94 ± 11.87	0.032
Trabecular BMC (mg)	29.30 ± 2.13	20.96 ± 2.30	0.021
Trabecular vBMD (mg/cm^3)	164.88 ± 12.75	129.12 ± 13.75	0.092
Trabecular CSA (mm^2)	181.07 ± 4.95	163.17 ± 5.34	0.032
Cortical BMC (mg)	123.64 ± 2.98	104.79 ± 3.21	<0.001
Cortical vBMD (mg/cm^3)	984.79 ± 7.69	971.57 ± 8.29	0.296
Cortical CSA (mm^2)	125.63 ± 2.77	107.71 ± 2.99	<0.001
SSIp (mm^3)	964.57 ± 31.70	810.68 ± 34.18	0.005
66% site			
Muscle area (mm^2)	4551.06 ± 85.76	4094.89 ± 92.46	0.002

Pediatric Exercise Science, 2011, 23, 560-572

Elite Premenarcheal Rhythmic Gymnasts Demonstrate Energy and Dietary Intake Deficiencies During Periods of Intense Training

Eleni Michopoulou, Alexandra Avloniti, Antonios Kambas, Diamanda Leontsini, and Maria Michalopoulou
Democritus University of Thrace

Symeon Tournis
University of Athens

Ioannis G. Fatouros
Democritus University of Thrace

Table 2 Daily Energy and Macronutrient Intake for Rhythmic Gymnasts and Controls

Measurements	Units	Rhythmic Gymnasts (n = 40)	Controls (n = 40)
Energy/kg	kcal/kg	50.2 ± 13.4	43.8 ± 13.9
Carbohydrates	% kcal	57.3 ± 7.5	49.2 ± 6.1†
	g/d	235.4 ± 74.2	220.6 ± 68.1†
Fat	% kcal	28.3 ± 5.4	37.3 ± 7.6†
	g/d	40.0 ± 12.3	73.6 ± 16.1†
Proteins	% kcal	13.8 ± 2.7	13.5 ± 3.8
	g/d	56.6 ± 19.6	60.5 ± 28.6
Cholesterol	mg	195.5 ± 32.9	241.5 ± 41.6†
Fiber	g	14.3 ± 6.3	16.1 ± 6.7
Water	L	1.9 ± 0.5	2.2 ± 0.8

Data are presented as mean ± *SD*; †denotes a significant difference ($p < .05$) between groups.

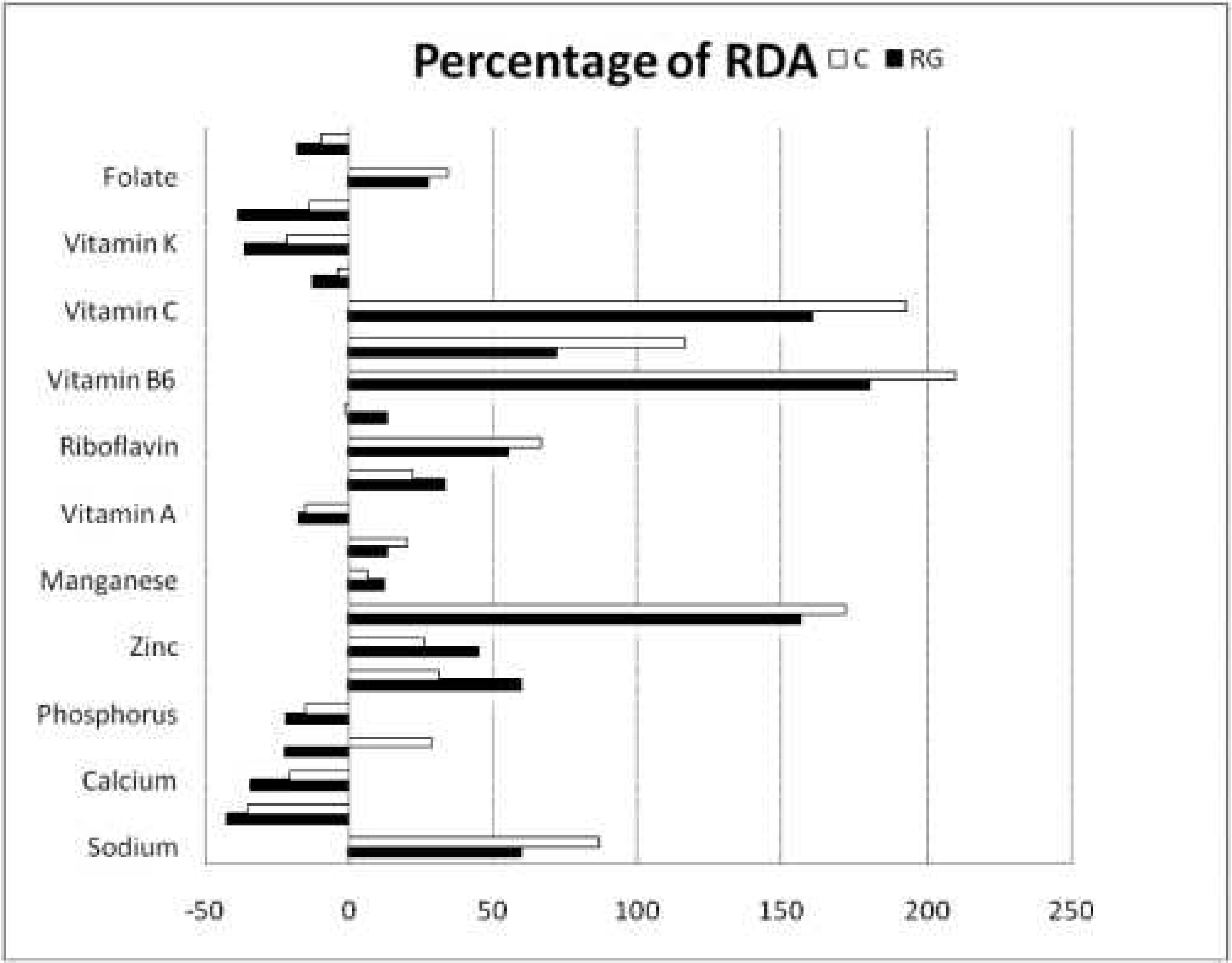


Figure 1 — Mean daily fiber, water, and micronutrient intakes expressed as percent deficits from the recommended dietary allowances (RDA) levels. White bars represent the rhythmic gymnasts (RG) and the black bars represent the controls (C).

Table 3 **Mean Daily Micronutrient Intakes for Rhythmic Gymnasts and Controls**

Measurements	Rhythmic Gymnasts ($n = 40$)	Controls ($n = 40$)	RDA
Sodium (g/day)	2.4 ± 0.7	2.8 ± 1.0	1.5
Potassium (g/day)	2.6 ± 0.6	2.9 ± 0.9	4.5
Calcium (mg/day)	862.3 ± 164.8	1031.4 ± 191.8†	1,300
Magnesium (mg/day)	293.3 ± 81.6	309.5 ± 104.1	240
Phosphorus (mg/day)	976.7 ± 235.2	1056.6 ± 275.7	1,250
Iron (mg/day)	12.8 ± 2.8	10.5 ± 2.5	8
Zinc (mg/day)	11.6 ± 3.1	10.1 ± 2.9	8
Copper (mg/day)	1.8 ± 0.7	1.9 ± 0.6	0.7
Manganese (mg/day)	1.8 ± 0.8	1.7 ± 0.5	1.6
Selenium (mg/day)	45.4 ± 9.6	48.1 ± 10.8	40
Vitamin A (mg/day)	497.6 ± 101.9	508.5 ± 128.1	600
Thiamin (mg/day)	1.2 ± 0.4	1.1 ± 0.3	0.9
Riboflavin (mg/day)	1.4 ± 0.5	1.5 ± 0.7	0.9
Niacin (mg/day)	13.6 ± 5.2	11.8 ± 4.5	12
Vitamin B6 (mg/day)	2.8 ± 1.1	3.1 ± 1.3	1
Vitamin B12 (mg/day)	3.2 ± 2.3	3.9 ± 2.6	1.8
Vitamin C (mg/day)	117.4 ± 44.9	131.7 ± 78.2	45
Vitamin D (mg/day)	4.4 ± 1.8	4.8 ± 1.5	5
Vitamin K (mg/day)	38.6 ± 18.4	46.9 ± 21.3	60
Vitamin E (mg/day)	6.8 ± 1.3	9.5 ± 1.8†	11
Folate (µg/day)	382.4 ± 135.8	402.5 ± 164.3	300
Pantothenic acid (mg/day)	3.3 ± 1.9	3.6 ± 2.1	4

Data are presented as mean± *SD*; †denotes a significant difference ($p < .05$) between groups.

Table 4 Mean Daily Energy Expenditure and Intake for Rhythmic Gymnasts and Controls

	Rhythmic Gymnasts (*n* = 40)	Controls (*n* = 40)
DEE (kcal/day)	1864.5 ± 185.8	1671.6 ± 152.1[†]
Caloric intake (kcal)	1641.7 ± 419.6	1793.8 ± 572.5
Differences		
%	-11.9% ± 2.4	7.3% ± 3.1[†]
kcal/day	-222.8 ± 35.6	122.2 ± 24.6[†]

Data are presented as mean± *SD*; [†]denotes a significant difference ($p < .05$) between groups; BMI: body mass index, DEE: daily energy expenditure.

METABOLISM CLINICAL AND EXPERIMENTAL 62 (2013) 1811–1818

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

Metabolism

www.metabolismjournal.com

Physical activity is associated with bone geometry of premenarcheal girls in a dose-dependent manner

Maria Michalopoulou [a], *Antonis Kambas* [a], *Diamanda Leontsini* [a], *Athanasios Chatzinikolaou* [a], *Dimitrios Draganidis* [a], *Alexandra Avloniti* [a], *Dimitrios Tsoukas* [b], *Eleni Michopoulou* [a], *Georgios P. Lyritis* [c], *Nikolaos Papaioannou* [c], *Symeon Tournis* [c], *Ioannis G. Fatouros* [a,*]

[a] *Department of Physical Education and Sport Sciences, Democritus University of Thrace, University Campus, 69100 Komotini, Greece*
[b] *University of Athens, Department of Toxicology, Medical School, Athens, Greece*
[c] *Laboratory of Research of Musculoskeletal System "Th. Garofalidis", University of Athens, KAT Hospital, 14561 Athens, Greece*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 7 February 2013
Accepted 13 August 2013

Keywords:

ABSTRACT

Objective. To determine the relationship between habitual physical activity (PA) level and peripheral qualitative computed tomography-determined quantitative tibia characteristics of premenarcheal girls.

Methods. Premenarcheal girls matched for age (10–13 years), bone age and maturity level were assigned into: a) low PA group (LPA, n = 25), b) moderate PA group (MPA, n = 17), and c)

Table 2 – Tibia's bone geometry, vBMD, and BMC as assessed by pQCT in the three groups.

	Mean ± SD/Median & Range				
	LPA	MPA	HPA	p	η^2/r
10 mm proximal to distal surface of the distal metaphysis					
Total BMC (mg)[a]	210.7 ± 30.7	224.1 ± 30.9	234.61 ± 54.7	.256	.054
Total vBMD (mg/cm³)[b]	249, 102.46 (258.51 ± 32.4)	277.65, 97 (278.75 ± 27.2)	286.90, 77.26 (277.90 ± 23.7)	.174	.234
Total CSA (mm²)[a]	668.9 ± 95.7	796.5 ± 84.3	801.0 ± 99.4	<.001[*,‡]	.295
Trabecular BMC (mg)[‡]	66.66, 30.10 (67.7 ± 9.1)	79.11, 52.99 (76.3 ± 13.1)	80.59, 84.45 (82.0 ± 26.3)	.099	.212
Trabecular vBMD (mg/cm³)[‡]	212.00, 39.20 (207.9 ± 12.4)	213.20, 116,50 (213.8 ± 28.9)	224.40, 215,10 (234.6 ± 49.3)	.079	.285
Trabecular CSA (mm²)[a]	330.1 ± 58.0	356.8 ± 39.6	367.6 ± 53.7	.113	.085
38% site					
Total BMC (mg)[a]	234.9 ± 35.0	247.5 ± 33.6	275.9 ± 28.1	.001[*,†]	.244
Total vBMD (mg/cm³)[a]	693.0 ± 56.6	742.0 ± 61.2	807.1 ± 65.4	<.001[*,†]	.386
Total CSA (mm²)[a]	322.3 ± 47.5	336.4 ± 8.1	364.6 ± 28.7	.021[*]	.146
Cortical BMC (mg)[a]	177.9 ± 21.0	213.4 ± 27.9	254.6 ± 24.1	<.001[*,†,‡]	.640
Cortical vBMD (mg/cm³)[b]	1005.8, 346.02 (1008.3 ± 82.9)	1032.5, 160.5 (1044.1 ± 35.8)	1054.3, 89.2 (1056.0 ± 22.4)	.025[*]	.376
Cortical CSA (mm²)[a]	195.1 ± 33.0	204.7 ± 27.7	230.7 ± 22.5	.001[*,†]	.253
CRTHK (mm)[a]	3.7 ± 0.5	3.9 ± 0.4	4.4 ± 0.5	.002[*,†]	.233
PERI (mm)[a]	63.4 ± 4.9	64.8 ± 5.5	65.5 ± 3.2	.404	.036
ENDO[2] (mm)[b]	40.65, 16.09 (39.7 ± 4.6)	39.38, 26.40 (40.2 ± 6.3)	41.20, 6.58 (41.3 ± 1.6)	.446	.208
SSIp (mm³)[a]	827.6 ± 141.6	1006.1 ± 175.0	1058.9 ± 230.2[a]	.003[*,‡]	.213
14% site					
Total BMC (mg)[b]	179.16, 97.08 (175.1 ± 24.7)	176.98, 92.06 (177.9 ± 25.2)	190.12, 47.74 (192.8 ± 10.1)	.015[*,†]	.431
Total vBMD (mg/cm³)[a]	449.6 ± 45.5	458.2 ± 45.5	478.2 ± 53.0	.357	.041
Total CSA (mm²)[a]	391.1 ± 55.2	390.1 ± 59.3	413.3 ± 47.1	.331	.044
Trabecular BMC (mg)[b]	21.00, 11 (20.1 ± 2.7)	22.19, 12.11 (21.5 ± 3.3)	26.68, 53.94 (28.2 ± 12.1)	.001[*,†]	.635
Trabecular vBMD (mg/cm³)[b]	129.89, 84.20 (129.2 ± 21.4)	145.85, 90.50 (143.7 ± 23.5)	148.30, 274.10 (172.1 ± 69.8)	.063	.300
Trabecular CSA (mm²)[a]	165.7 ± 15.1	175.4 ± 26.6	183.6 ± 21.5	.061	.108
Cortical BMC (mg)[a]	109.7 ± 20.6	119.9 ± 17.1	126.9 ± 12.5	.047[*]	.117
Cortical vBMD (mg/cm³)[a]	961.6 ± 41.4	992.4 ± 27.5	1003.3 ± 22.3	.001[*,‡]	.257
Cortical CSA (mm²)[b]	121.00, 57 (113.9 ± 20.0)	115.75, 57.75 (120.8 ± 16.4)	129.39, 43 (129.1 ± 9.6)	.029[*,†]	.359
SSIp (mm³)[a]	892.9 ± 187.8	947.1 ± 183.7	1022.8 ± 161.1	.050[*]	.115
66% site					
Muscle area (mm²)[a]	4026.8 ± 626.4	4230.4 ± 790.3	4618.4 ± 317.2	.013[*]	.163

Data are represented as means ± SD (the median is also shown for variables analyzed with a non-parametric test). An η^2 or an r was used in the last column as an effect size coefficient when a parametric test or a non-parametric test was used for the specific variable, respectively. Analysis of variance revealed that premenarcheal girls demonstrating VPA tend to exhibit greater pericortical thickness, CSA and BMC in cortical bone, greater BMC, vBMD and SSIp in trabecular bone and greater total BMC and vBMD when compared to their physically inactive or moderately active counterparts. MPA exhibited greater values of cortical BMC and SSIp than LPA. BMC: Bone mineral content, vBMD, Volumetric bone mineral density, CSA: Cross sectional area, PERI: Periosteal circumference, ENDO: Endocortical circumference, SSIp: Polar stress strength index, LPA: Low physical activity, MPA: Moderate physical activity, HPA: High physical activity.

[a] A parametric statistical test (one-way ANOVA) was used.

Responses of Bone Metabolism Markers to Various Levels of Physical Activity in Healthy Pre-adolescent Girls

Antonis Kambas,[1] Diamanda Leontsini,[1] Ioannis Athanailidis,[1] Konstantinos Makris,[2] Eleni Michopoulou,[1] Alexandra Avloniti,[1] Athanasios Chatzinikolaou,[1] Athanasios Z. Jamurtas,[3,4] Stampoulis T,[1] Symeon Tournis,[2] Ioannis G. Fatouros[1]

[1] Department of Physical Education and Sport Science, Democritus University of Thrace, Komotini, Greece,

[2] Laboratory of Research of Musculoskeletal System "Th. Garofalidis", University of Athens, KAT Hospital, Athens, Greece,

[3] University of Thessaly, School of Physical Education and Sport Sciences, Karies, Trikala, 42100, Greece

[4] Institute of Human Performance and Rehabilitation, Center for Research and Technology–Thessaly, Trikala, Greece

Variables	Mean ± SD		
	Low PA	Moderate PA	High PA
CREATINI	.81±.31	.81±.13	.81±.12
CA	9.7±.59	9.7±.61	9.8±.44
CREATININE/CA	.08±.03	.08±.01	.08±.01
P	5.4±.57	5.4±.45	5.6±.62
TSH	2.45±.71	2.54±.55	2.63±1.1
BSAP (bone specific	58.1±11.5†	66.7±12.5	78.1±12.2
OSTEOCALC	132.4±37.9	132.1±22.8	150.7±32.5
PTH (parathyroid	49.2±16.5¥	43.2±10.2	38.5±9.4
BITD	37.1±7.5	39.4±6.6	42.5±9.4
PINP	675.3±214.1	658.5±194.7	799.9± 167.5
NTX (n terminal	80.1±17.05¥	78.8±16.2¥¥	63.9±13.4
CROSSLAP	1.8±.43	1.7±.33	1.7±.34
ESTRADIO	19.3±13.5†	23.2±14.9	31.9±18.4
TESTOSTE	.18±.09	.17±.09	.17±.14
FSH	4.6±2.5	4.3±2.5	4.6±2.6
LH	1.8±.86	1.6±1.4	1.4±1.8
ALP1	278.8±73.2†	301.2±59.7††	360.4±52.7

† LPA<HPA, ††MPA<HPA, †††LPA<MPA, ¥LPA>HPA, ¥¥MPA>HPA

The Osteogenic Potential of Different Sport Activities During Childhood & Preadolescence

Bones & Sports: The Komotini Study

Purpose of the Study

Determine the specific effects of various sport activities on bone development and bone-related metabolites.

Methodology

375 αγύμναστα παιδιά 6-12 ετών

6-8 ετών — Αγόρια, Κορίτσια

9-12 ετών — Αγόρια, Κορίτσια

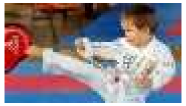
ΟΜΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΧΟΛΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ

N = 40

ΣΤΙΒΟΣ

N = 40

ΠΟΛΕΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ

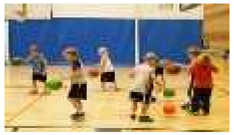


N = 40

ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΓΥΜΝΑΣΤΙΚΗ

N = 25

ΜΠΑΣΚΕΤ



N = 30

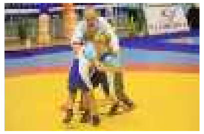
ΒΟΛΕΪ

N = 30

N = 60

ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟ

N = 15

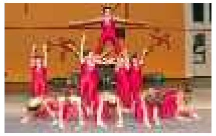


ΠΑΛΗ

N = 40

ΚΟΛΥΜΒΗΣΗ

N = 25

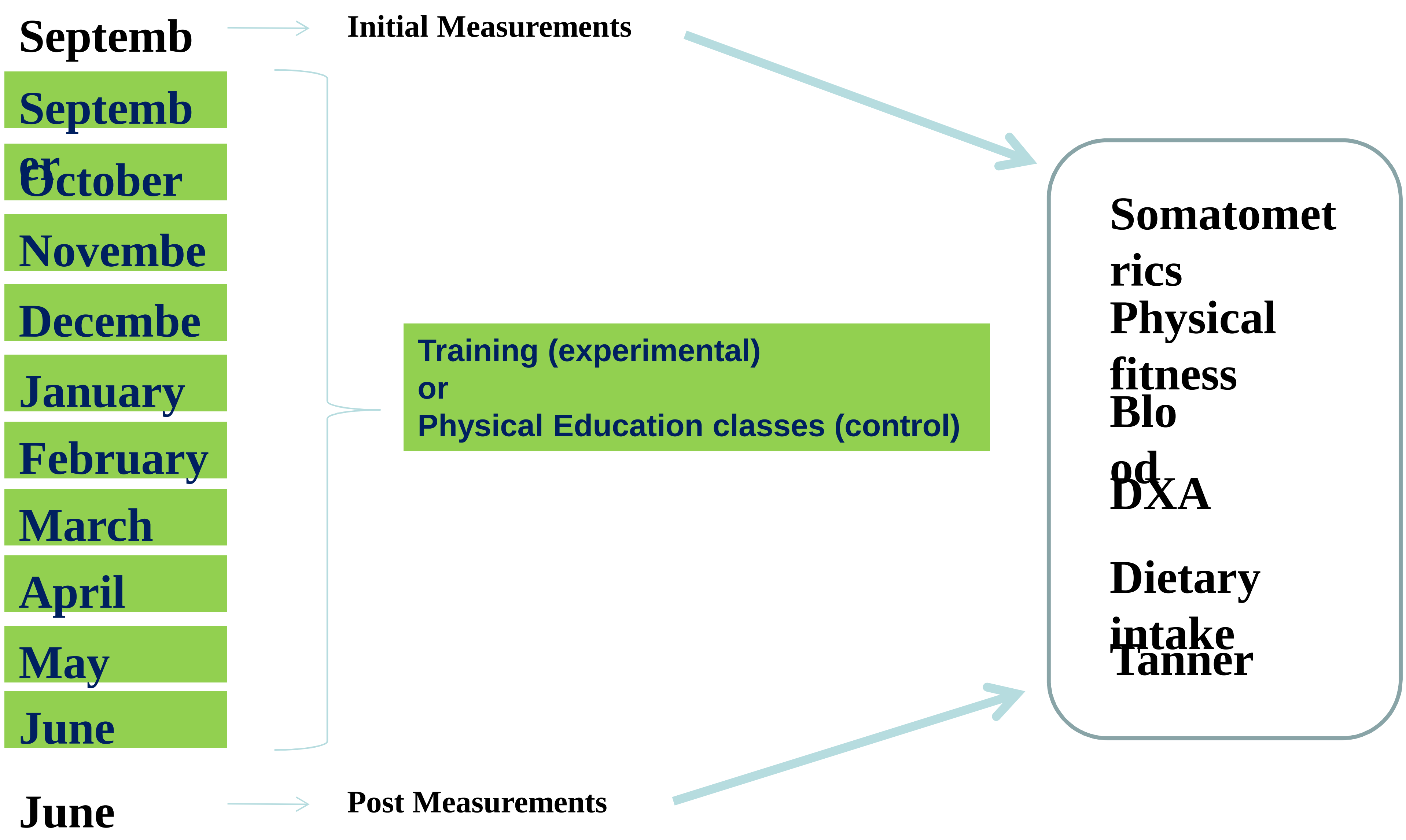


ΡΥΘΜΙΚΗ ΓΥΜΝΑΣΤΙΚΗ

N = 30

ΤΕΝΙΣ

Research Design



Measurements

Somatometrics →
- Body weight & height (BMI)
- % Body fat with DXA
- Body widths & lengths
- Body circumferences

Physical fitness →
- Endurance
- Muscle Strength 8 muscle endurance
- Flexibility
- Speed and muscle power
- Motor performance/dexterity

Blood →
- Serum →

So far
Sclerostin
Calcium
Phosphorus
Magnesium
Alkaline phosphatase
creatinine

DXA →
- Hip
- Lumbar spine
- Wrist

Dietary intake →
- Macro- & micro nutrient intake
- Caloric intake

Tanner →
- Biological maturation

Training

Duration: 60 min/training session
Frequency: 3 training sessions/week
Training length: 9 months
Monitoring: one training session every 3 months
Diet monitoring: 7-day diet recalls (once every 3 months)

- September
- October
- Novembe
- Decembe
- January
- February
- March
- April
- May
- June

Heart rate (for all sports)

Accelerometry (for all sports)

Training (experimental)
or
Physical Education classes (control)

Habitual Physical activity (24h) for a week – 3 times during training

GPS monitoring for outdoor sports
Distance covered
Speed zones (m)
Acceleration zones (m)
Deceleration zones (m)

Measurement of jumps