

# Μυοσκελετικό σύστημα- Βασικές γνώσεις

Χ. Χατζηπαπός

Οστά	4
Αρθρώσεις	7
Μύες	11
Νεύρα	13

Ο οστίτης ιστός αποτελείται κατά το 1/3 από οργανικό τμήμα (organic component) και κατά τα 2/3 από ανόργανο τμήμα (inorganic component). Τα οστικά κύτταρα αποτελούν το 2% του οργανικού τμήματος. Το υπόλοιπο 98% αντιστοιχεί στη θεμέλια ουσία που με τους κρυστάλλους φωσφορικού ασβεστίου του ανόργανου τμήματος αποτελούν την εξωκυττάρια ουσία (Εικόνα 1.1).

### ΚΥΤΤΑΡΑ ΟΣΤΙΤΗ ΙΣΤΟΥ

Η βιο-προσαρμοστικότητα του οστού στα επαναλαμβανόμενα φορτία καθορίζεται από κύτταρα που περιβάλλονται από μεταλλωμένη ουσία συνδετικού ιστού, από ίνες κολλαγόνου και θεμέλια ουσία. Τα οστικά κύτταρα προέρχονται από διάφορες κυτταρικές σειρές και εκτελούν ποικιλία λειτουργιών, περιλαμβάνοντας τη δημιουργία θεμέλιας ουσίας, επιμετάλλωσης και απορρόφησης.

Οι οστεοβλάστες προέρχονται από μεσεγγυματικά κύτταρα του οστικού μυελού και βρίσκονται σε κάθε οστική επιφάνεια πάνω στην οποία συμβαίνει ενεργητική παραγωγή οστού. Η κύρια λειτουργία τους είναι να συνθέτουν και να εκκρίνουν την οργα-



**Εικόνα 1.1** Ο οστίτης ιστός. Εικόνα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. (Ευγενής προσφορά του Θέσπι Στ. Δημητρίου, Καθηγητή Ανατομίας του ΔΠΘ)

νική ουσία του οστού. Όταν οι οστεοβλάστες σταματούν να δημιουργούν οστό, μπορούν να παραμείνουν στην επιφάνειά του, μειώνοντας παράλληλα τη συνθετική τους δραστηριότητα, και λέγονται τότε κύτταρα επιφανείας (bone-lining cells). Ειδάλλως, περιβάλλονται από θεμέλια ουσία και μετατρέπονται σε οστεοκύτταρα. Συγκρινόμενα με τους οστεοβλάστες, τα κύτταρα επιφανείας είναι πιο επιμήκη και περιέχουν λιγότερα οργανίδια. Ο κύριος ρόλος τους είναι να συστέλλονται και να εκκρίνουν ένζυμα που απομακρύνουν το λεπτό στρώμα οστεοειδούς που καλύπτει τη μεταλλωμένη οργανική ουσία. Οι οστεοκλάστες στη συνέχεια μπορούν να προσκολληθούν και να ξεκινήσουν την οστική απορρόφηση.

Τα οστεοκύτταρα αποτελούν το περισσότερο του 90% των κυττάρων στον σκελετό του ενήλικα. Είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, αλλά και με ενεργούς οστεοβλάστες και κύτταρα επιφανείας με μεγάλο αριθμό κυτταροπλασματικών προεξοχών οι οποίες βρίσκονται σε κανάλια (canaliculi) μέσα στη θεμέλια ουσία. Οι διασυνδέσεις αυτές είναι πιθανόν να καθιστούν δυνατά τα κύτταρα να αντιλαμβάνονται τις παραμορφώσεις που επιφέρουν στο οστό τα μηχανικά φορτία και να συντονίζουν τη διεργασία της οστικής διαμόρφωσης.

Οι οστεοκλάστες προέρχονται από εξωσκελετικά, αιματοποιητικά αρχέγονα κύτταρα. Είναι ευμεγέθη, ευκίνητα, πολυπύρρηνα και ανευρίσκονται σε οστικές επιφάνειες που υπόκεινται σε απορρόφηση. Για να απορροφήσουν τη θεμέλια ουσία οι οστεοκλάστες προσκολλώνται στην επιφάνεια του οστού και δημιουργούν ένα όξινο περιβάλλον εκκρίνοντας πρωτόνια και ένζυμα.

### ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΑ ΟΥΣΙΑ

Η εξωκυττάρια ουσία του οστού αποτελείται τόσο από οργανικούς όσο και από ανόργανους παράγοντες.

Το ανόργανο τμήμα συμβάλλει στο 65% του υγρού βάρους του οστού και αποτελείται κυρίως από ασβέστιο και φώσφορο σε κρυστάλλους υδροξυαπατίτη:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Άλλα ιόντα που ανιχνεύονται στην εξωκυττάρια ουσία του οστού, σε μικρότερες ποσότητες, είναι ο άνθρακας, το άζωτο, το χλώριο, το μαγνήσιο και το φθόριο. Το ανόργανο τμήμα επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες: χρησιμεύει ως αποθήκη ιόντων και συμβάλλει κύρια στη δύναμη και στην ακαμψία του οστού.

Το οργανικό τμήμα αποτελείται από ινίδια κολλαγόνου και μία μεσινίδια θεμέλια ουσία την οποία



συνθέτουν περισσότερες από 200 μη κολλαγονικές πρωτεΐνες, όπως η οστεοκαλσίνη, η οστεονεκτίνη, η οστεοποντίνη και άλλες γλυκοπρωτεΐνες. Τα οργανικά αυτά συστατικά δίνουν στο οστό την ελαστικότητα και την ευκαμψία του και τα μακρομόρια φαίνεται να συμβάλλουν στη δομή και στη λειτουργική του ποιότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ουσίας παράγεται από τους οστεοβλάστες, και το κολλαγόνο τύπου I παρατηρείται σε μεγαλύτερη αφθονία. Τα μόρια του κολλαγόνου εκκρίνονται στον εξωκυττάριο χώρο ως προκολλαγόνο. Μετά συγκροτούνται σε ινίδια τα οποία καταναέονται στον χώρο έτσι ώστε να διευκολύνεται η επικάθιση του ασβεστίου και των φωσφορικών κρυστάλλων.

## ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΟΣΤΟΥ

Ο ανθρώπινος σκελετός αποτελείται από:

- μακρά αυλοειδή οστά,
- πλατιά οστά και
- βραχέα οστά.

## ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΥΦΗ ΤΟΥ ΟΣΤΟΥ

- Τα μακρά-αυλοειδή οστά μακροσκοπικά αποτελούνται από το περίοστεο, τη φλοιώδη μοίρα, τη σπογγώδη μοίρα και τον αυλό. Το σώμα ή διάφυση είναι κυλινδρικό, ενώ τα άκρα ή επιφύσεις είναι περισσότερο ογκώδεις και παρουσιάζουν λείες αρθρικές επιφάνειες με τις οποίες συνδέονται με τα γειτονικά οστά. Παραδείγματα αποτελούν η κνήμη και τα μετατόρσια.
- Τα πλατιά οστά στερούνται αυλού. Παρουσιάζουν μία έσω επιφάνεια κοίλη, και μία έξω κυρτή. Αποτελούνται από δύο πλάκες συμπαγούς οστού,

μεταξύ των οποίων βρίσκεται το σπογγώδες οστό. Παραδείγματα αποτελούν η ωμοπλάτη και το στέρνο.

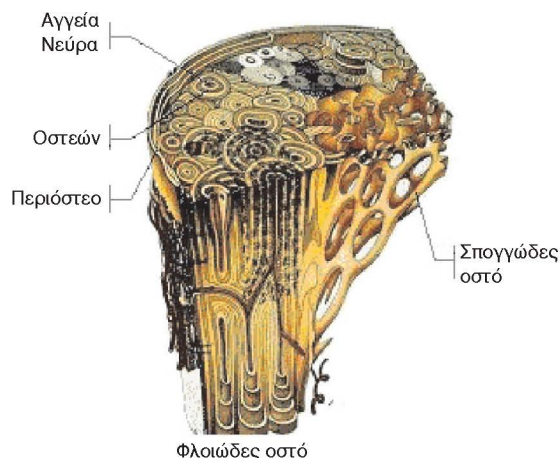
- Τα βραχέα οστά έχουν σχήμα κυβικό και είναι πολύ μικρά. Παρουσιάζουν συνήθως μεγάλο αριθμό αρθρικών επιφανειών. Αποτελούνται εξωτερικά από μία λεπτή στιβάδα συμπαγούς οστού και εσωτερικά από σπογγώδες οστό. Παραδείγματα αποτελούν ο αστράγαλος και το σκαφοειδές του τάρσου (Εικόνα 1.2).

Η βασική δομική μονάδα της φλοιώδους μοίρας του οστού είναι ο οστεώνας. Αποτελείται από μία σειρά ομόκεντρων πεταλίων από μεταλλωμένη ουσία που περιβάλλουν έναν κεντρικό αυλό, τον σωλήνα Havers, είναι παράλληλα με τον επιμήκη άξονα του οστού και διελαύνονται από σωλήνες που περιέχουν αγγεία και νεύρα. Επίσης, οι σωλήνες του Volkmann είναι και αυτοί αγγειονευροφόροι, διαφέρουν όμως από τους προηγούμενους στο ότι τα τοιχώματά τους δεν είναι ομόκεντρα, αλλά ακανόνιστα και τοποθετημένοι λοξά ή εγκάρσια, έτσι ώστε να αναστομώνουν τους σωλήνες του Havers (Εικόνα 1.3).

Η σπογγώδης οστέινη ουσία αποτελείται από οστέινα πετάλια και δοκίδες με ακανόνιστο προσανατολισμό. Ανάμεσα στα πετάλια και στις δοκίδες υπάρχουν χώροι που ονομάζονται μυελοκυψέλες. Οι οστεώνες χωρίζονται μεταξύ τους από λεπτές στιβάδες οργανικής ουσίας. Το 80% του σκελετού αφορά στο συμπαγές, σκληρό, εξωτερικό περιβλημα, τον φλοιό (φλοιώδης μοίρα του οστού). Το υπόλοιπο 20% αφορά στο σπογγώδες οστό (σπογγώδης μοίρα), ένα δίκτυο από οστέινες κυψέλες επί τα εντός του φλοιώδους περιβλήματος. Οι δύο τύποι οστού συνυπάρχουν σε διαφορετικό ποσοστό σε κάθε συγκεκριμένο οστό και έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες (Εικόνα 1.4).



**Εικόνα 1.2** Βραχέα οστά του άκρου ποδός. (Ευγενής προσφορά του Θέσπι Στ. Δημητρίου, Καθηγητή Ανατομίας του ΔΠΘ)



**Εικόνα 1.3** Μακροσκοπική δομή μακρού οστού.

Συγκρινόμενο με το φλοιώδες, το σπογγώδες οστό έχει μεγαλύτερη πορώδη υφή και είναι λιγότερο ικανό να αντέξει φορτία. Επίσης, ο λόγος «επιφάνεια προς όγκος» είναι μεγαλύτερος, όπως και η μεταβολική δραστηριότητα, τα οποία το καθιστούν ικανό να αντιδρά γρηγορότερα στα μηχανικά φορτία.

Τα οστά ως όργανο δέχονται το 5-10% της καρδιακής αιμάτωσης. Τα μακρά οστά αιματώνονται από τρεις πηγές:



**Εικόνα 1.4** Οστικές δοκίδες, όπως φαίνονται σε παρασκευασμα γόνατος. (Ευγενής προσφορά του Θέσπι Στ. Δημητρίου, Καθηγητή Ανατομίας του ΔΠΘ)

- Την τροφοφόρο αρτηρία, η οποία είναι κλάδος από μεγαλύτερες συστηματικές αρτηρίες, εισέρχεται στο οστό από το τροφοφόρο τρήμα και διακλαδίζεται σε ανερχόμενο και κατερχόμενο κλάδο (Εικόνα 1.5). Αυτοί χωρίζονται περαιτέρω σε αρτηρίδια στο ενδόστεο τα οποία αιματώνουν τα έσω 2/3 του ώριμου φλοιού της διάφυσης, μέσω μικρότερων τριχοειδών στα συστήματα Havers. Το σύστημα αγγείωσης της τροφοφόρου αρτηρίας είναι υψηλής πίεσης.
- Τα αγγεία του περισστέου τροφοδοτούν κυρίως το εξωτερικό 1/3 του ώριμου φλοιού της διάφυσης και αποτελούν σύστημα χαμηλής πίεσης.
- Το μεταφυσιακό – επιφυσιακό σύστημα εκπορεύεται κυρίως από τα περιαρθρικά αγγειακά πλέγματα.

Εκτός της τροφοφόρου αρτηρίας, η οποία συνοδεύεται από την αντίστοιχη φλέβα, οι υπόλοιπες αρτηρίες δεν συνοδεύονται από φλέβες, οι οποίες συνθέτουν ένα δικό τους δίκτυο. Η αρτηριακή ροή στο ώριμο οστό είναι φυγόκεντρος (από έσω προς τα έξω), αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης που έχει το σύστημα της τροφοφόρου αρτηρίας και των αρτηριών του περισστέου. Σε περίπτωση κατάγματος, όπως και στον αναπτυσσόμενο σκελετό, η φορά αιμάτωσης είναι αντίθετη. Αρχικά, με τη διακοπή της συνέχειας του οστού, έχουμε ελάττωση της ροής στην εστία



**Εικόνα 1.5** Ενδοθήλιο αρτηρίας. Εικόνα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. (Ευγενής προσφορά του Θέσπι Στ. Δημητρίου, Καθηγητή Ανατομίας του ΔΠΘ)



του κατάγματος. Σταδιακά αυξάνεται, με κορύφωση της αύξησης τις δύο εβδομάδες και επιστροφή στο φυσιολογικό μεταξύ 2-3 μηνών.

Τα νεύρα των οστών βρίσκονται κυρίως στο περιόστεο και εισέρχονται εντός του οστού μέσω της τροφοφόρου αρτηρίας. Αποτελούν τμήμα του συμπαθητικού συστήματος και είναι υπεύθυνα για την «εν τω βάθει» αισθητικότητα. Στο περίοστεο επίσης υπάρχουν αισθητικές ίνες πόνου.

## ΔΙΑΠΛΑΣΗ ΟΣΤΩΝ

Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους διάπλασης των οστών:

- Η χονδρογενής οστέωση αφορά στην πλειονότητα των οστών του σκελετού. Αδιαφοροποίητα κύτταρα εκκρίνουν χόνδρινη ουσία και διαφοροποιούνται σε χονδροκύτταρα. Η ουσία αυτή επιμεταλλώνεται και εισχωρούν σε αυτή αγγειακοί κλαδίσκοι οι οποίοι μεταφέρουν οστεοπρογεννητικά κύτταρα. Οι οστεοκλάστες απορροφούν τον επασβεστωμένο χόνδρο και οι οστεοβλάστες παράγουν οστό.
- Στην υμενογενή οστέωση αδιαφοροποίητα μεσεγχειματικά κύτταρα συναθροίζονται σε στρώματα, διαφοροποιούνται σε οστεοβλάστες και εναποθέτουν οργανική ουσία η οποία επιμεταλλώνεται για να δημιουργήσει οστό. Παραδείγματα αυτού του τύπου οστέωσης είναι τα οστά της λεκάνης, του κρανίου και η κλείδα.

Μια ιδιαίτερη κατηγορία ανάπλασης είναι αυτή από εναπόθεση (apposition) νέων στιβάδων οστού επάνω σε μια ήδη υπάρχουσα οστική επιφάνεια από οστεοβλάστες. Παράδειγμα αποτελούν η αύξηση κατά πλάτος των οστών από το περίοστεο και η φάση οστικής κατασκευής κατά την οστική ανακατασκευή (remodeling).

Η διάπλαση σε κάθε οστό ξεκινά σε καθορισμένη χρονική περίοδο ανάπτυξης από τους πυρήνες οστέωσης. Υπάρχουν για τα μακρά οστά τρεις πυρήνες οστέωσης, δύο για τις επιφύσεις και ένας για τη διάφυση. Η αύξηση σε πάχος των οστών γίνεται από το περίοστεο, ενώ σε μήκος γίνεται από την αυξητική πλάκα ή συζευκτικό χόνδρο (growth plate). Αυτή αποτελείται από τρεις ζώνες: τη ζώνη κάλυψης ή ηρεμίας, τη ζώνη πολλαπλασιασμού και την υπερτροφική ζώνη προς την πλευρά της διάφυσης, όπου και γίνεται η οστέωση των κυττάρων που παράγονται από τις δύο περιφερικότερες ζώνες. Βλάβη στον αυξητικό χόνδρο προκαλεί διαταραχή έως και πλήρη αναστολή

της αύξησης του οστού. Στα κορίτσια η αύξηση σε μήκος των οστών ολοκληρώνεται στην ηλικία των 15-17 ετών ενώ στα αγόρια στα 16-18 έτη.

## ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΟΣΤΩΝ

Κατά τη φυσική δραστηριότητα, δυνάμεις από τη σύσπαση των μυών και την αντίδραση του εδάφους καταλήγουν στην οστική εσωτερική τάση (stress), η οποία ορίζεται ως το φορτίο ή η δύναμη στη μονάδα της επιφάνειας και στην οστική παραμόρφωση (strain), η οποία ορίζεται ως παραμόρφωση του οστού ή αλλαγή στη διάστασή του. Σε κλινικούς όρους, το οστικό stress είναι μέτρο της εφαρμοζόμενης δύναμης και το οστικό strain είναι μέτρο του ποσοστού επιμήκυνσης ή της παραμόρφωσης που συμβαίνει σε δεδομένη κατεύθυνση.

Η επαφή με το έδαφος κατά τη διάρκεια ακόμη και της απλής βάδισης εξασκεί δυνάμεις στον ανθρώπινο σκελετό. Στο τρέξιμο έχει αποδειχθεί ότι η αντίδραση του εδάφους αναλογεί στο διπλάσιο έως και πενταπλάσιο του σωματικού βάρους, ενώ στα άλματα μπορεί να φτάσει το 12πλάσιο του σωματικού βάρους. Οι στιγμιαίες αυτές δυνάμεις που συνδέονται με την αντίδραση του εδάφους μεταδίδονται από τον άκρο πόδα προς την κεφαλή, υφιστάμενες παράλληλα εξασθένιση.

Ένας αριθμός παραγόντων (Πίνακας 1.1) επηρεάζει το μέγεθος αυτών των δυνάμεων, τη μετάδοσή τους και την εξασθένησή τους.

## 2 ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ

Η άρθρωση αποτελείται από ένα σύνολο ιστών, οι οποίοι συνδέουν δύο ή περισσότερα γειτονικά οστά.

**Πίνακας 1.1** Παράγοντες που επηρεάζουν την οστική αντίδραση στα φορτία.

Χαρακτηριστικά της εφαρμοζόμενης δύναμης	Η κατεύθυνση Το μέγεθος Η συχνότητα
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οστού	Το σχήμα Η εγκάρσια διατομή Η μικρο-αρχιτεκτονική
Η ποιότητα του οστού	Η οστική πυκνότητα Η σύσπαση
Η μυϊκή σύσπαση	