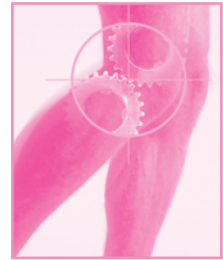


Σκελετικές Θεωρήσεις για την Κίνηση



ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου, ο αναγνώστης θα είναι σε θέση:

1. Να απαριθμεί τις λειτουργίες του σκελετικού συστήματος και τους τύπους οστών που βρίσκονται στο σκελετικό σύστημα και να περιγράφει το ρόλο που διαδραματίζει κάθε τύπος οστού στην ανθρώπινη κίνηση ή στήριξη.
2. Να περιγράφει τα χαρακτηριστικά του συμπαγούς και του σπογγώδους οστού, καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες του οστού, υπό φόρτιση.
3. Να προσδιορίζει την ελαστική περιοχή, το σημείο διαρροής, την πλαστική περιοχή και το σημείο θραύσης στην καμπύλη τάσης-τροπής.
4. Να καθορίζει τους ακόλουθους τύπους φορτίου που πρέπει να απορροφήσει το οστό και να δίνει παραδείγματα για κάθε είδους φορτίου στο σκελετικό σύστημα: συμπίεση / σύνθλιψη, εφελκυσμός, διάτμηση, κάμψη και στρέψη.
5. Να περιγράφει ορισμένους συχνούς τραυματισμούς στο σκελετικό σύστημα και να εξηγεί το φορτίο που τους προκαλεί.
6. Να περιγράφει τους τύπους των χόνδρων και τις λειτουργίες τους στο σκελετικό σύστημα.
7. Να περιγράφει τη λειτουργία των συνδέσμων στο σκελετικό σύστημα.
8. Να περιγράφει όλα τα μέρη που αποτελούν τη διάρθρωση, τους παράγοντες που συμβάλλουν στην αρθρική σταθερότητα και παραδείγματα τραυματισμών στις διαρθρώσεις.
9. Να απαριθμεί τους επτά διαφορετικούς τύπους διαρθρώσεων, δίνοντας παραδείγματα για τον καθένα.
10. Να περιγράφει τα χαρακτηριστικά των συναρθρώσεων και αμφιαρθρώσεων, δίνοντας παραδείγματα για τη κάθε μια.

I. Εισαγωγή

A. Λειτουργίες του Σκελετικού Συστήματος

1. Μοχλοί
2. Στήριξη
3. Άλλες λειτουργίες

B. Αρχιτεκτονική του Οστού

1. Φλοιώδες Οστό
2. Σπογγώδες Οστό

Γ. Τύποι οστών

1. Μακρά Οστά
2. Βραχεία Οστά
3. Πλατιά Οστά

4. Ακανόνιστα Οστά

5. Σησαμοειδή Οστά

II. Βιομηχανικά Χαρακτηριστικά του Οστού

A. Οστίτης Ιστός

1. Σύσταση
2. Απορρόφηση και Εναπόθεση του Οστού
3. Φυσική Δραστηριότητα σε σχέση με την Οστική Αναδόμηση
4. Έλλειψη Δραστηριότητας σε σχέση με την Οστική Αναδόμηση
5. Οστική Εναπόθεση στο Μαλακό Ιστό
6. Οστεοπόρωση

B. Αντοχή και Σκληρότητα του Οστού

1. Ανισότροπα Χαρακτηριστικά
2. Ιξωδοελαστικά Χαρακτηριστικά
3. Ελαστική Απόκριση
4. Πλαστική Απόκριση
5. Ανθεκτικότητα
6. Σκληρότητα
7. Κανονική & Διατμητική Τάση

Γ. Τύποι Φορτίων

1. Δυνάμεις Σύνθλιψης
2. Δυνάμεις Εφελκυσμού
3. Δυνάμεις Διάτμησης
4. Δυνάμεις Κάμψης
5. Δυνάμεις Στρέψης
6. Τραυματισμός σε σχέση με τη Φόρτιση
7. Μυϊκή Δραστηριότητα σε σχέση με τη Φόρτιση
8. Κατάγματα Κόπωσης

III. Χόνδρος

- A. Αρθρικός Χόνδρος
- B. Ινώδης Χόνδρος

IV. Σύνδεσμοι**V. Οστικές Αρθρώσεις**

- A. Διάρθρωση ή Υμενώδης Άρθρωση
 1. Χαρακτηριστικά της Διάρθρωσης
 2. Σταθερότητα της Διάρθρωσης
 3. Εκφυλισμός της Διάρθρωσης
 4. Απλές, Σύμφυτες και Πολύπλοκες Αρθρώσεις
 5. Θέση Κλειδώματος σε σχέση με τη Θέση Χαλάρωσης
- B. Τύποι Διαρθρώσεων
 1. Επίπεδη Άρθρωση
 2. Γωνιώδης Άρθρωση
 3. Τροχοειδής Άρθρωση
 4. Κονδυλοειδής Άρθρωση
 5. Ελλειψοειδής Άρθρωση
 6. Εφριπιοειδής Άρθρωση
 7. Σφαιροειδής Άρθρωση
- Γ. Άλλοι Τύποι Αρθρώσεων
 1. Συνάρθρωση ή Ινώδης Άρθρωση
 2. Αμφιάρθρωση ή Χόνδρινη Άρθρωση

VI. Περιλήψη

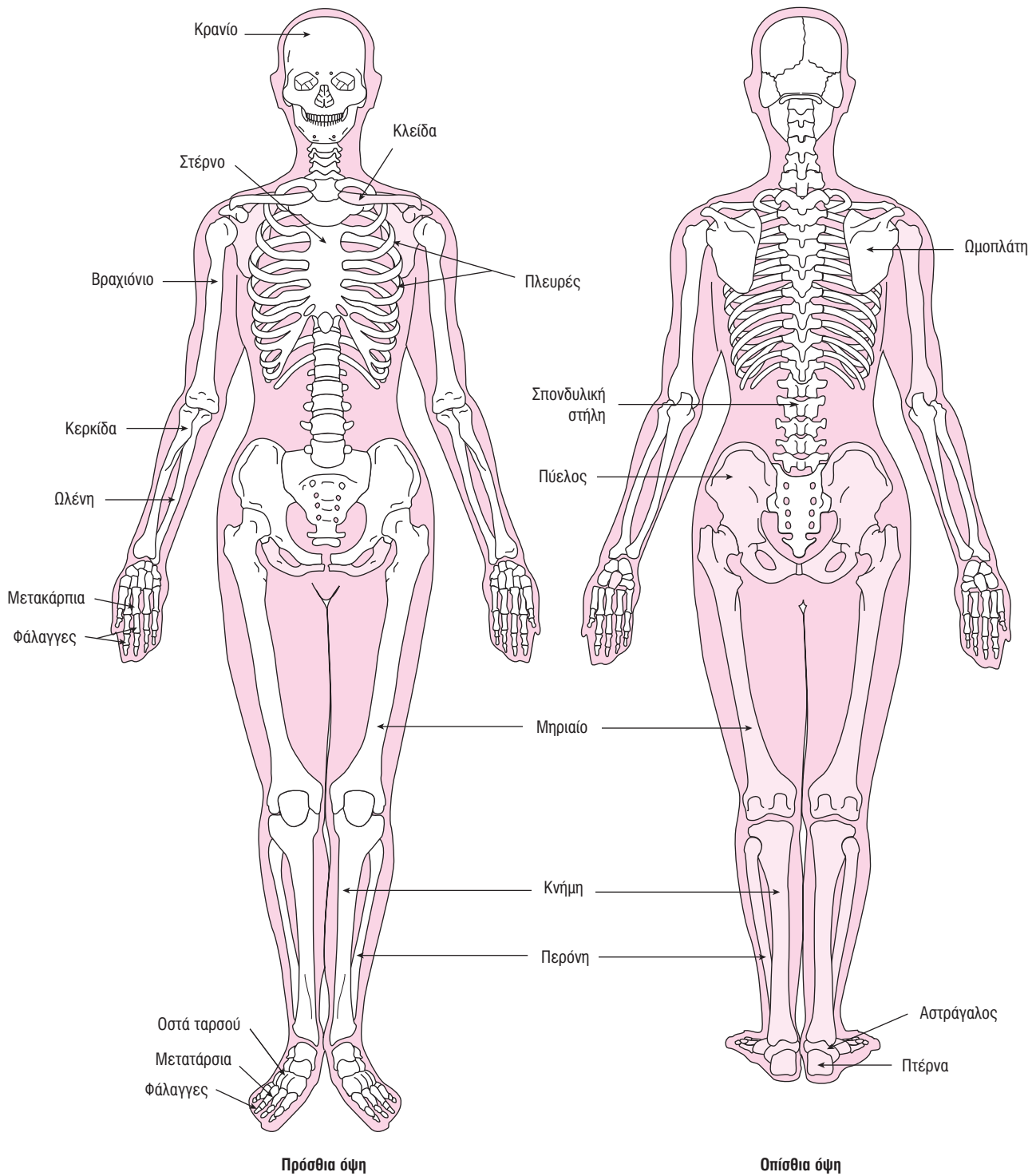
Εισαγωγή

Το σκελετικό σύστημα αποτελείται από οστά, χόνδρους, συνδέσμους και αρθρώσεις. Τα οστά αποτελούν την πλειοψηφία των δομών του σκελετικού συστήματος. Οι αρθρώσεις είναι οι διασταυρώσεις μεταξύ των οστών, ενώ οι σύνδεσμοι συνδέουν τα οστά στις αρθρώσεις και κατά συνέπεια τις ενισχύουν. Ο σκελετός αποτελεί το 20% περίπου του συνολικού βάρους του σώματος. Γενικά, το σκελετικό σύστημα διακρίνεται σε αξονικό και παράλληλο σκελετό. Τα σημαντικότερα οστά του ανθρώπινου σώματος παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-1.

Η μορφή του σκελετού ορίζει το σχήμα και το μέγεθος του σώματος. Ενώ το σωματικό ανάστημα ενός ενήλικα μπορεί κατά προσέγγιση να προβλεφθεί διπλασιάζοντας το ανάστημα που είχε στην ηλικία των 2 ετών, το σκελετικό σύστημα και η μορφή του σκελετού επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη διατροφή, το επίπεδο δραστηριότητας και τις συνήθειες στάσεις του σώματος. Αν και γενικά το μέγεθος και η μορφή των οστών κληρονομούνται, δομικές προσαρμογές στη μορφή, το μέγεθος και τα ανατομικά σημεία μπορούν να προκληθούν από τη μεταφορά του βάρους και τις δυνάμεις που ασκούνται από τους τέ-

νοντες, τους συνδέσμους και τους μύες (31). Κατά την αναπτυξιακή φάση ή στο μη ώριμο σκελετό, η επίδραση της μεταφοράς του βάρους και οι μυϊκές δυνάμεις έχουν ουσιαστική επίδραση στο σχηματισμό του μεγέθους και της μορφής των οστών, απ' ό,τι θα είχαν οι ίδιες δυνάμεις σε έναν ώριμο σκελετό. Γι' αυτόν τον λόγο, κατά την προεφηβική ηλικία, είναι σημαντικό να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους τύπους δραστηριοτήτων και στις συνήθειες στάσεις του σώματος των παιδιών.

Ένα συνηθισμένο παράδειγμα σκελετικής μεταβολής στο μη ώριμο σκελετό είναι η ιδιοπαθής σκολίωση, δηλαδή, η πλευρική κυρτότητα της σπονδυλικής στήλης, η οποία εμφανίζεται σε ποσοστό περίπου 15 έως 20% των κοριτσιών ηλικίας 10 έως 12 ετών. Ονομάζεται ιδιοπαθής, επειδή οι δυνάμεις που προκαλούν την πλευρική κύρτωση δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί. Οφείλεται ίσως στο γεγονός ότι τα νέα κορίτσια αφιερώνουν μεγαλύτερο χρόνο σε δραστηριότητες μεταφοράς του βάρους στο ένα άκρο. Επίσης σχετίζεται με τη στάση του σώματος, που περιλαμβάνει τα γόνατα σε υπερέκταση και αιώρηση του κορμού προς τα πίσω. Οι πιθανές αιτίες είναι εύκολο να τεθούν σε μια υπόθεση, αλλά διαφεύγει ακόμα η επιστημονική αιτιολόγηση αυτής της διαταραχής. Γνωρίζουμε ότι το σκελετικό σύστημα είναι ένα εύ-



ΣΧΗΜΑ 2-1 Πρόσθια όψη (αριστερά) και οπίσθια όψη (δεξιά) των οστών του ανθρώπινου σώματος. (Ανατύπωση με άδεια από Willis, M. C. [1996]. *Medical Terminology: The Language of Health Care*. Baltimore: Williams & Wilkins.)

πλαστο σύστημα, που μπορεί να σχηματιστεί και να διαμορφωθεί μέσω της δραστηριότητας. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η απόκριση του σκελετικού συστήματος, προκειμένου να καθιερωθούν τα κατάλληλα προγράμματα που θα προωθήσουν τη σκελετική υγεία και θα αποτρέψουν έναν πιθανό σκελετικό τραυματισμό.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σκελετικό σύστημα εκτελεί διάφορες και σημαντικές λειτουργίες: τη στήριξη, τη δημιουργία του συστήματος μοχλών, την προστασία, την αποθήκευση και το σχηματισμό αιμοκυττάρων. Δύο απ' αυτές τις λειτουργίες, δηλ. το σύστημα μοχλών και η στήριξη, είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την ανθρώπινη κίνηση.

Μοχλοί

Το σκελετικό σύστημα εξασφαλίζει τους μοχλούς και τους άξονες περιστροφής, με τους οποίους το μυϊκό



ΣΧΗΜΑ 2-2 Τα σκελετικά όρια περιορίζουν την αρθρική κίνηση σε πολλές περιοχές του σώματος. Α. Στην άρθρωση του αγκώνα, η επαφή της ωλεκρανικής απόφυσης στον ωλεκρανικό βόθρο περιορίζει την υπερέκταση του αντιβράχιου. Β. Στο άκρο πόδι, η επαφή του αστραγάλου και της πτέρνας περιορίζει την πελματιαία κάμψη.

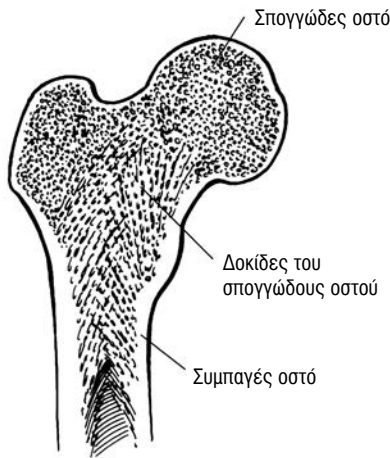
σύστημα είναι σε θέση να προκαλέσει την κίνηση. Ο **μοχλός**, είναι ένα απλό μηχανικό σύστημα που ενισχύει τη δύναμη ή / και την ταχύτητα της κίνησης. Οι μοχλοί είναι κυρίως τα μακρά οστά του σώματος, ενώ οι άξονες είναι οι αρθρώσεις όπου συναντιούνται τα οστά. Στο κεφάλαιο 9 του συγγράμματος παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη των μοχλών.

Η μορφολογία των οστών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο σκελετός συμβάλλει στην κίνηση. **Μορφολογία** είναι το σχήμα και η δομική διάταξη των οστών, καθώς και τα χαρακτηριστικά των αρθρώσεων που συνδέουν τα οστά. Για παράδειγμα, όταν το αντιβράχιο κινείται σε μια θέση μέγιστης κάμψης σε σχέση με το βραχίονα και κατόπιν εκτείνεται έως ότου σταματήσει, η υπερέκταση περιορίζεται εξαιτίας της μορφής των οστών που διαμορφώνουν την άρθρωση του αγκώνα. Αντιθέτως, όταν ο βραχίονας κινείται από τη θέση κάμψης του ώμου κατ' ευθείαν επάνω από το κεφάλι, ακολουθώντας την έκταση του ώμου προς το πίσω μέρος της ανατομικής θέσης, τότε ο βραχίονας θα συνεχίσει προς τη θέση υπερέκτασης, επειδή η δομή της ωμικής άρθρωσης επιτρέπει την κίνηση.

Επιπροσθέτως, ο σκελετός περιορίζει την κίνηση σε άλλες περιοχές του σώματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-2. Η κίνηση πάνω στα δάκτυλα του ποδιού «κλειδώνει» τον αστράγαλο σε σχέση με την πτέρνα και περιορίζει το μέγεθος της πελματιαίας κάμψης. Οι χορευτές θεωρούν σοβαρό τον παραπάνω περιορισμό, δεδομένου ότι επιθυμούν να έχουν μέγιστη πελματιαία κάμψη σε πολλούς ελιγμούς. Ορισμένοι χορευτές υποβάλλονται ακόμη και σε χειρουργική επέμβαση, που περιλαμβάνει τη «λείανση» της οπίσθιας μοίρας του αστραγάλου, έτσι που θα τους επιτρέψει να έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης κατά την πελματιαία κάμψη. Να σημειωθεί ότι οι χορευτές υπόκεινται στην παραπάνω επέμβαση δύο ή τρεις φορές κατά τη διάρκεια της καριέρας τους. Κατανοώντας τη σκελετική δομή και τη μορφή του ανθρώπινου σώματος, διαθέτουμε τη σχετική πληροφόρηση για τη δυνατότητα των κινήσεων σε κάθε άρθρωση, μέσα στα όρια του σκελετικού συστήματος.

Στήριξη

Μια δεύτερη σημαντική λειτουργία του σκελετικού συστήματος είναι η εξασφάλιση δομικής στήριξης. Ο σκελετός μπορεί να διατηρήσει μια στάση προσαρμόζοντας τις υψηλές σε μέγεθος εξωτερικές δυνάμεις, όπως για παράδειγμα, είναι εκείνες που παρατηρούνται στο άλμα. Τα οστά αυξάνονται σε μέγεθος από πάνω προς τα κάτω, αναλογικά με το μέ-



ΣΧΗΜΑ 2-3 Τομή στο κοντινό άκρο του μηριαίου οστού που δείχνει το συμπαγές και το σπογγώδες οστό. Το πυκνό συμπαγές οστό οριοθετεί το εξωτερικό μέρος του οστού, που συνεχίζοντας προς τα κάτω διαμορφώνει τον αυλό / διάφυση του οστού. Το σπογγώδες οστό εντοπίζεται στα άκρα και είναι διακριτό από την δικτυωτή του εμφάνιση. Να προσεχθεί η κυρτότητα των δοκίδων, η οποία διαμορφώνεται για να αντεπεξέλθει στις τάσεις.

γεθος του φερόμενου σωματικού βάρους. Κατά συνέπεια, τα οστά των κάτω άκρων, της κάτω μοίρας της σπονδυλικής στήλης και της πυέλου, είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα των άνω άκρων και του άνω τμήματος του κορμού. Η σύγκριση του βραχιόνιου και του μηριαίου οστού ή των αυχενικών και οσφυϊκών σπονδύλων φανερώνει αυτές τις σχέσεις μεγέθους.

Άλλες λειτουργίες

Υπάρχουν τρεις πρόσθετες λειτουργίες των οστών, οι οποίες δεν σχετίζονται ειδικά με την κίνηση: η προστασία, η αποθήκευση και ο σχηματισμός αιμοκυττάρων. Τα οστά προστατεύουν τον εγκέφαλο και τα εσωτερικά όργανα. Επίσης, αποθηκεύουν λίπος και μέταλλα. Τέλος, ο σχηματισμός των αιμοκυττάρων, αποκαλούμενος αιμοποίηση, πραγματοποιείται μέσα στις κοιλότητες των οστών.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΟΣΤΟΥ

Το οστό αποτελείται από ένα οστικό πλέγμα ανόργανων αλάτων και συνδετικού ιστού, γνωστό ως **ίνες κολλαγόνου**. Τα οστικά κύτταρα αναφέρονται ως **οστεοκύτταρα**. Οι δύο τύποι αυτών των κυττάρων αναφέρονται ως **οστεοβλάστες** και **οστεοκλάστες**. Τα κύτταρα αυτά είναι αρμόδια για την οστική αναδόμηση. Το οστό αποτελείται από δύο τύπους

οστεΐνης ή οστίτη ιστού: το **φλοιώδες** οστό και το **σπογγώδες** οστό. Το σκληρό εξωτερικό στρώμα είναι συμπαγές οστό, ενώ το εσωτερικό, σπογγώδες οστό. Το τμήμα της κεφαλής του μηριαίου οστού φαίνεται στο Σχήμα 2-3 και εμφανίζει την αρχιτεκτονική ενός μακρού οστού. Η αρχιτεκτονική διάταξη του οστίτη ιστού είναι απόλυτα κατάλληλη για τις μηχανικές απαιτήσεις που επιβάλλονται στο σκελετικό σύστημα, κατά τη διάρκεια της σωματικής δραστηριότητας.

Φλοιώδες Οστό

Το φλοιώδες οστό αναφέρεται συχνά ως συμπαγές οστό. Αυτό το οστό δείχνει να είναι στερεό, αλλά από μια πιο προσεκτική εξέταση εμφανίζει πολλές διόδους για τα αγγεία και τα νεύρα. Το εξωτερικό στρώμα του οστού είναι πολύ πυκνό και η πορώδης κατάστασή του είναι λιγότερη από 15% (32).

Το φλοιώδες οστό αποτελείται από ένα σύστημα μικροσωλήνων, τα **πέταλα** που τοποθετούνται το ένα μέσα στον άλλο. Τα πέταλα αποτελούνται από ίνες κολλαγόνου, σε διάταξη μιας διεύθυνσης, ενώ οι ίνες κολλαγόνου των παρακείμενων πετάλων έχουν πάντα διαφορετικές διευθύνσεις. Μια σειρά πετάλων διαμορφώνει τον **οστεώνα** ή **σύστημα Havers**. Οι οστεώνες είναι δομές, με παράλληλο προσανατολισμό στις τάσεις που δέχεται το οστό. Η διάταξη αυτών των δομών και η πυκνότητα του συμπαγούς οστού εξασφαλίζουν την αναγκαία δύναμη και τη σκληρότητα του σκελετικού συστήματος. Το φλοιώδες οστό μπορεί να αντισταθεί σε υψηλά επίπεδα φερόμενου βάρους ή μυϊκής τάσης, ως προς την επιμήκη διεύθυνση, πριν φθάσει στο σημείο θραύσης και υποστεί κάταγμα (31).

Το φλοιώδες οστό είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στην απορρόφηση φορτίων τύπου εφελκυσμού, όταν οι ίνες κολλαγόνου είναι παράλληλες προς αυτά τα φορτία. Είναι χαρακτηριστικό, ότι το κολλαγόνο διατάσσεται σε στρώματα επιμηκών, περιφερειακών και πλάγιων διαμορφώσεων. Αυτό εξασφαλίζει αντίσταση σε δυνάμεις εφελκυσμού διαφορετικών διευθύνσεων, επειδή όσα περισσότερα τέτοια στρώματα υπάρχουν, τόσο μεγαλύτερη δύναμη και σκληρότητα θα έχει το οστό. Επίσης, στα σημεία όπου οι μύες, οι σύνδεσμοι και οι τένοντες συνδέονται με το σκελετό, οι ίνες κολλαγόνου διατάσσονται παράλληλα με την πρόσφυση του μαλακού ιστού και μ' αυτόν τον τρόπο προσφέρουν στις συνδέσεις αυτές μεγαλύτερη αντοχή στον εφελκυσμό.

Ένα παχύ στρώμα συμπαγούς οστού εντοπίζεται στον αυλό των μακρών οστών, εκεί δηλαδή όπου

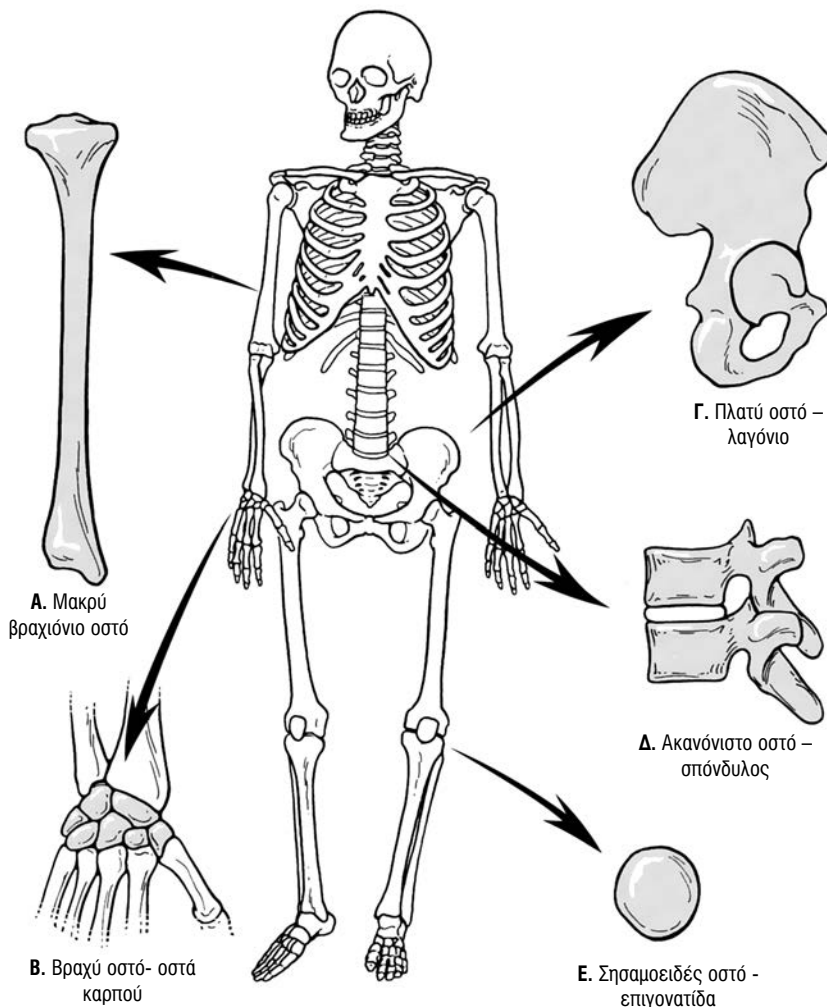
η δύναμη είναι απαραίτητη για να αντιμετωπιστούν τα υψηλά φορτία που επιβάλλονται κατά μήκος του οστού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια δραστηριότητας που φέρει βάρος ως απόκριση σε έντονη μυϊκή τάση. Τα λεπτά στρώματα συμπαγούς οστού εντοπίζονται στα άκρα των μακρών οστών, στις επιφύσεις και επίσης καλύπτουν τα βραχέα ή τα ακανόνιστα οστά.

Σπογγώδες Οστό

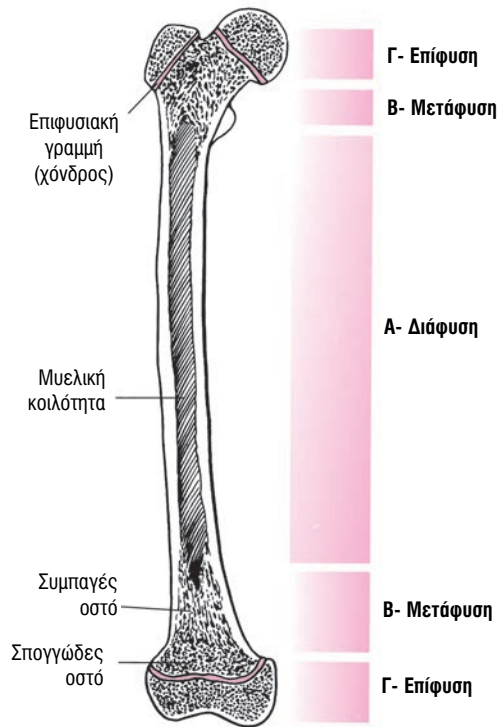
Ο οστικός ιστός εσωτερικά του φλοιώδους οστού αναφέρεται ως δικτυωτό ή σπογγώδες οστό. Αυτό το οστό έχει μια δικτυωτή δομή με πορώδη κατάσταση, μεγαλύτερη από 70% (32). Η δικτυωτή δομή του σπογγώδους οστού, αν και θεωρείται αρκετά άκαμπτη, είναι πιο αδύναμη και λιγότερο σκληρή απ' αυτή του συμπαγούς οστού. Τα μικρά και επίπεδα μέρη του οστού που αποτελούν το σπογγώδες οστό καλούνται **οστικές δοκίδες** (Σχήμα 2-3). Οι οστικές

δοκίδες προσαρμόζονται στη διεύθυνση της τάσης που επιβάλλεται στο οστό, παρέχοντας δύναμη χωρίς την προσθήκη σημαντικού βάρους (5). Το κολλαγόνο βρίσκεται κατά μήκος του άξονα των οστικών δοκίδων, προσφέροντας στο δικτυωτό οστό αντίσταση σε φορτία εφελκυσμού και συμπίεσης / σύνθλιψης.

Η υψηλή πορώδης κατάσταση προσφέρει στο σπογγώδες οστό υψηλή ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης, έτσι ώστε αυτός ο τύπος οστού να αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της ενεργειακής απορρόφησης και της κατανομής των τάσεων, κατά την εφαρμογή φορτίων στη σκελετική δομή (28). Το σπογγώδες οστό δεν είναι τόσο ανθεκτικό όσο το συμπαγές οστό, με αποτέλεσμα να παρατηρείται υψηλή συχνότητα καταγμάτων, ιδιαίτερα σε άτομα της τρίτης ηλικίας. Αυτή η κατάσταση προκαλείται από τη μειωμένη αντοχή σε φορτία συμπίεσης / σύνθλιψης, εξαιτίας της έλλειψης μετάλλων (οστεοπόρωση).



ΣΧΗΜΑ 2-4 Οι διάφοροι τύποι οστών εξυπηρετούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Α. Τα μακρά οστά χρησιμεύουν ως μοχλοί. Β. Τα βραχέα οστά προσφέρουν στήριξη και απορρόφηση των φορτίων. Γ. Τα πλατιά οστά προστατεύουν και προσφέρουν τις μεγάλες μυϊκές περιοχές σύνδεσης. Δ. Τα ακανόνιστα οστά έχουν εξειδικευμένες λειτουργίες. Ε. Τα σησαμοειδή οστά αλλάζουν τη γωνία πρόσφυσης των μυών.



ΣΧΗΜΑ 2-5 Το μακρύ οστό έχει έναν αυλό ή διάφυση (Α) που διευρύνεται προς τα έξω στη μετάφυση (Β) και στην επίφυση (Γ). Στρώματα συμπαγούς οστού αποτελούν τη διάφυση. Η μετάφυση και η επίφυση αποτελούνται από σπογγώδες οστό μέσα σε ένα λεπτό στρώμα συμπαγούς οστού.

ΤΥΠΟΙ ΟΣΤΩΝ

Το σκελετικό σύστημα αποτελείται από διάφορους τύπους οστών που ταξινομούνται σύμφωνα με τη μορφή, τη λειτουργία και την αναλογία του σπογγώδους και του συμπαγούς οστίτη ιστού. Στο Σχήμα 2-4 παρουσιάζονται πέντε τύποι οστών. Αυτοί περιλαμβάνουν τα οστά που χαρακτηρίζονται ως μακρά, βραχέα, πλατιά, ακανόνιστα και σησαμοειδή.

Μακρά Οστά

Τα μακρά οστά είναι μακρύτερα από τα πλατιά. Τα μακρά οστά στο ανθρώπινο σώμα είναι η κλείδα, το βραχιόνιο, η κερκίδα, η ωλένη, το μηριαίο, η κνήμη, η περόνη, τα μετατόρσια, τα μετακάρπια και οι φάλαγγες. Το μακρύ οστό έχει έναν αυλό, τη **διάφυση**, δηλαδή ένα παχύ στρώμα συμπαγούς οστού που περιβάλλει τη μυελική κοιλότητα (Σχήμα 2-5). Η διάφυση διευρύνεται στο τελευταίο τμήμα του οστού, που καλείται **μετάφυση**. Στο μη ώριμο σκελετό, το άκρο του μακρού οστού, η **επίφυση**, διακρίνεται από τη διάφυση με έναν χόνδρινο δίσκο. Η επίφυση αποτελείται από ένα λεπτό εξωτερικό στρώμα συμπαγούς

οστού που καλύπτει το εσωτερικό σπογγώδες οστό. Μια λεπτή άσπρη μεμβράνη, το **περιόστεο**, καλύπτει το εξωτερικό του οστού, με εξαίρεση τα μέρη που καλύπτονται με χόνδρο.

Τα μακρά οστά προσφέρουν στήριξη στο ανθρώπινο σώμα και εξασφαλίζουν ένα διασυνδεδεμένο σύνολο μοχλών και ενώσεων, που επιτρέπει την κίνηση. Ένα μακρύ οστό είναι πιο ανθεκτικό όταν υποβάλλεται σε τάση με δυνάμεις που ενεργούν κατά μήκος του επιμήκη άξονα του οστού. Οι περιοχές πρόσφυσης των μυών και οι οστικές προεξοχές διαμορφώνονται από τις δυνάμεις εφελκυσμού των μυών που προσφύονται στα οστά. Τα περισσότερα μακρά οστά έχουν ακτινωτή μορφή, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται και να ελαχιστοποιούν τα φορτία κάμψης που τους επιβάλλονται.

Βραχέα Οστά

Τα βραχέα οστά, όπως είναι αυτά του καρπού και του ταρσού, αποτελούνται κυρίως από σπογγώδες οστό που καλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα συμπαγούς οστού. Αυτά τα οστά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση των φορτίων και στη μεταβίβαση των δυνάμεων.

Πλατιά Οστά

Ένας τρίτος τύπος οστού, το πλατύ οστό, συναντάται στις πλευρές, στο λαγόνιο, στο στέρνο και στην ωμοπλάτη. Αυτά τα οστά αποτελούνται από δύο στρώματα συμπαγούς οστού, με το σπογγώδες οστό και το μυελό να βρίσκονται ενδιάμεσα. Τα πλατιά οστά προστατεύουν τις εσωτερικές δομές και προσφέρουν ευρείες επιφάνειες για μυϊκή πρόσφυση.

Ακανόνιστα Οστά

Τα ακανόνιστα οστά, όπως εκείνα που βρίσκονται στο κρανίο, τη λεκάνη και τους σπονδύλους, αποτελούνται από σπογγώδες οστό με ένα λεπτό εξωτερικό στρώμα συμπαγούς οστού. Τα οστά αυτά καλούνται ακανόνιστα, λόγω των εξειδικευμένων μορφών και λειτουργιών τους. Εκτελούν ποικίλες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων της υποστήριξης του βάρους, της υπερνίκησης των φορτίων, της προστασίας του νωτιαίου μυελού, της συμβολής στην κίνηση και εξασφαλίζουν τις περιοχές για μυϊκή πρόσφυση.

Σησαμοειδή Οστά

Ο τελευταίος τύπος οστού, το σησαμοειδές οστό, είναι ένα βραχύ οστό που βρίσκεται σφηνωμένο σε έναν

τένοντα ή σε έναν αρθρικό θύλακα. Η επιγονατίδα είναι ένα σησαμοειδές οστό στην άρθρωση του γονάτου: σφηνωμένο στον τένοντα του τετρακέφαλου μυ. Άλλα σησαμοειδή οστά βρίσκονται στη βάση του πρώτου μετατάρσιου στο άκρο πόδι, εκεί όπου τα οστά είναι σφηνωμένα στο μακρινό άκρο του τένοντα το βραχύ καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου του άκρου ποδιού, όπως επίσης και στον αντίχειρα, εκεί όπου τα οστά είναι σφηνωμένα στον τένοντα του βραχύ καμπτήρα του αντίχειρα του άκρου χεριού. Ο ρόλος του σησαμοειδούς οστού είναι να αλλάζει τη γωνία πρόσφυσης του μυός.

Βιομηχανικά Χαρακτηριστικά του Οστού

ΟΣΤΙΤΗΣ ΙΣΤΟΣ

Σύσταση

Ο οστίτης ιστός είναι ανθεκτικός και θεωρείται μια από τις σκληρότερες δομές του ανθρώπινου σώματος, λόγω του συνδυασμού ανόργανων και οργανικών στοιχείων. Τα μέταλλα, το ασβέστιο και το φωσφορικό άλας, μαζί με το κολλαγόνο, είναι τα οργανικά στοιχεία του οστού και αποτελούν περίπου το 60 έως 70% του οστίτη ιστού. Το νερό αποτελεί περίπου το 25 έως 30% του βάρους του οστίτη ιστού (28).

Ο οστίτης ιστός είναι ένα ιξωδοελαστικό υλικό, του οποίου οι μηχανικές ιδιότητες επηρεάζονται από το βαθμό παραμόρφωσής του. Οι **όλκιμες** ιδιότητες του οστού παρέχονται από το κολλαγόνο, η περιεκτικότητα του οποίου δίνει στο οστό τη δυνατότητα να αντισταθεί στα φορτία εφελκυσμού. Το οστό είναι επίσης εύθραυστο και η δύναμή του εξαρτάται από το μηχανισμό φόρτισης. Η εύθραυστη κατάσταση του οστού παρέχεται από τα μεταλλικά συστατικά που του δίνουν τη δυνατότητα να αντισταθεί στα φορτία σύνθλιψης, ιδιότητες οι οποίες εξετάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Απορρόφηση και Εναπόθεση του Οστού

Το οστό είναι ένα υλικό που προσαρμόζεται, ενώ θεωρείται πολύ ευαίσθητο στη μη χρήση, στην ακινητοποίηση ή στα υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και φόρτισης. Ο οστίτης ιστός αυτό-επισκευάζεται και μπορεί να μεταβάλει τις ιδιότητες και την απόκρισή του σε κάθε μηχανική απαίτηση. Αυτό ορίστηκε αρχικά από τον Γερμανό ανατόμο Julius Wolff, ο οποίος έδωσε τη θεωρία της ανάπτυξης των οστών, αποκαλούμενη ως νόμος του Wolff. Αυτός ο νόμος δηλώνει: "Κάθε αλλαγή στη μορφή και τη λειτουργία ενός

οστού ή και μόνον στη λειτουργία του, ακολουθείται από βέβαιες καθορισμένες αλλαγές στην εσωτερική αρχιτεκτονική του και μια εξίσου καθορισμένη δευτερεύουσα αλλαγή στην εξωτερική διαμόρφωσή του, σύμφωνα με τους μαθηματικούς νόμους" (21).

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης αλλά και της ζωής, τα οστά υποβάλλονται σε εξωτερικά φορτία και μυϊκές δυνάμεις και ακολούθως αποκρίνονται σ' αυτά. Το οστό αναδομείται και επισκευάζεται σε όλη τη διάρκεια της ζωής. Είναι ένας δυναμικός και ενεργός ιστός στον οποίο μεγάλες ποσότητες οστού **αφαιρούνται** μέσω της οστικής απορρόφησης και **αντικαθίστανται** μέσω της οστικής εναπόθεσης. Η οστική απορρόφηση ολοκληρώνεται από τα οστεοκύτταρα που καλούνται οστεοκλάστες, ενώ η οστική εναπόθεση από τους οστεοβλάστες. Η διαδικασία αυτή δεν είναι η ίδια σε όλα τα οστά ή ακόμα και σε ένα συγκεκριμένο οστό. Για παράδειγμα, το τμήμα του οστού που βρίσκεται στο ακραίο μέρος του μηριαίου αποκαθίσταται σε 5 έως 6 μήνες, ενώ το οστό στον αυλό (διάφυση) αποκαθίσταται πιο αργά. Στους νέους ενήλικες, η οστική απορρόφηση ισοδυναμεί με την οστική εναπόθεση και η συνολική οστική μάζα είναι σχετικά σταθερή. Όμως, μέσω της άσκησης, η οστική μάζα μπορεί να αυξηθεί ακόμα και κατά τα πρώτα στάδια της ενηλικίωσης, γεγονός που φανερώνει ένα από τα σημαντικότερα οφέλη της σωματικής δραστηριότητας.

Οι οστικές εναποθέσεις υπερβαίνουν τις οστικές απορροφήσεις, όταν απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη ή όταν υπάρχει τραυματισμός του οστού. Κατά συνέπεια, οι αριβαρίστες αναπτύσσουν μεγαλύτερες παχύνσεις στις προσφύσεις των πολύ ενεργών μυών και τα οστά τους είναι πυκνότερα, εκεί όπου οι τάσεις είναι μέγιστες. Στον κυρίαρχο βραχίονα των επαγγελματιών αθλητών της αντισφαίρισης, το πάχος του φλοιώδους οστού είναι 35% μεγαλύτερο από τον αντίστοιχο μη κυρίαρχο βραχίονα (21). Επίσης, η μορφή του οστού αλλάζει κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης, μετά από ένα κάταγμα.

Φυσική Δραστηριότητα

σε σχέση με την Οστική Αναδόμηση

Τα οστά υπόκεινται σε μηχανικές τάσεις, προκειμένου να αυξηθούν και να ενισχυθούν. Κατά συνέπεια, η φυσική δραστηριότητα είναι μία από τις σημαντικές συνιστώσες της ανάπτυξης και της συντήρησης της σκελετικής ακεραιότητας και δύναμης. Ο οστίτης ιστός πρέπει να έχει ένα ελάχιστο καθημερινό ερέθισμα για να διατηρήσει την υγεία του. Το ιστορικό της καθημερινής εφαρμοζόμενης φόρτισης, που περι-

λαμβάνει έναν αριθμό των κύκλων φόρτισης και το μέγεθος της τάσης, επηρεάζει την οστική πυκνότητα. Η διαλειμματική φόρτιση, για 100 κύκλους ημερησίως, έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί σημαντική αύξηση της διατομής του οστού (36). Το σωματικό βάρος και το επίπεδο δραστηριότητας είναι από τους παράγοντες που ρυθμίζουν την οστική πυκνότητα των οστών που φέρουν βάρος. Η αύξηση του επιπέδου δραστηριότητας συμβάλει σε μια μέτρια αύξηση της οστικής μάζας.

Έλλειψη Δραστηριότητας σε σχέση με την Οστική Αναδόμηση

Μετά από μείωση του επιπέδου δραστηριότητας ενός ατόμου παρατηρείται σημαντική οστική απώλεια (36). Για παράδειγμα, οι αστροναύτες σε συνθήκες της μικροβαρυτικής καθώς υποβάλλονται σε μειωμένη δραστηριότητα και απώλεια σωματικού βάρους, χάνουν σημαντική οστική μάζα σε σχετικά σύντομες χρονικές περιόδους. Ορισμένες από τις αλλαγές που εμφανίζονται στο οστό, ως αποτέλεσμα του διαστημικού ταξιδιού, περιλαμβάνουν μείωση ακαμψίας, αύξηση καμπτικής μετατόπισης, μείωση του μήκους του οστού και της φλοιώδους διατομής, όπως και επιβράδυνση της οστικής διάπλασης (37).

Οστική Εναπόθεση στο Μαλακό Ιστό

Η οστεώδη μυοσίτιδα εμφανίζεται όταν οστικές εναποθέσεις δημιουργούνται πάνω στο μαλακό ιστό και κοντά στο οστό, ως απόκριση ασφάλειας σε ένα επαναλαμβανόμενο τραύμα ή σε αιμάτωμα μιας περιοχής. Το σώμα αποκρίνεται αρχικά στα επαναλαμβανόμενα αιματώματα, με την ανάπτυξη ινώδους ιστού, που εξελίσσεται τελικά σε χόνδρο και κατόπιν σε οστό. Η παραπάνω κατάσταση εμφανίζεται συχνά στην πρόσθια μοίρα του μηρού και στην ισχιακή άρθρωση. Οι παίκτες ποδοσφαίρου που επανειλημμένα υποκείνται σε χτυπήματα στο μηρό, είναι επιρρεπείς σ' αυτόν τον τραυματισμό, όπως επίσης και στην ισχιακή περιοχή εξαιτίας των πτώσεων με το ισχίο πάνω στο έδαφος (1). Γνωρίζοντας ότι το σώμα αναπτύσσει ινώδη, χόνδρινη και οστική υπερπλασία σε συγκεκριμένη περιοχή όπου επαναλαμβάνεται ο τραυματισμός, ορισμένοι αθλητές πολεμικών τεχνών προσπαθούν σκόπιμα να προκαλέσουν την παραπάνω βιολογική απόκριση, στα άκρα χέρια και πόδια.

Οστεοπόρωση

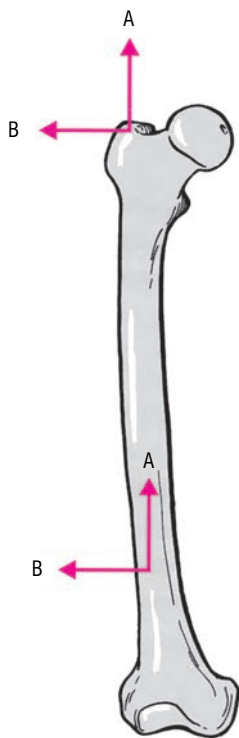
Κατά την εμφάνιση της οστεοπόρωσης, η οστική

απορρόφηση υπερβαίνει την οστική εναπόθεση. Τα συμπτώματα της οστεοπόρωσης αρχίζουν να εμφανίζονται συχνά σε προχωρημένη ηλικία, ιδιαίτερα στις γυναίκες και μετά την εμμηνόπαυση. Όμως, η οστεοπόρωση μπορεί να ξεκινήσει νωρίτερα στη ζωή, όταν μειώνεται η πυκνότητα των οστών σε μέταλλα. Όταν η οστική εναπόθεση δεν μπορεί να συμβαδίσει με την οστική απορρόφηση, η οστική μάζα μειώνεται σε μέταλλα, με συνέπεια να ελαττώνεται η οστική πυκνότητα που συνοδεύεται από απώλεια οστικών δοκίδων. Η απώλεια οστικής πυκνότητας σε μέταλλα, προκαλεί μείωση της σκληρότητας του οστού, ενώ η απώλεια οστικών δοκίδων αποδυναμώνει την οστική δομή. Και οι δύο αυτές απώλειες ενισχύουν την πιθανότητα καταγμάτων (6), που συνήθως κυμαίνονται σε ποσοστό από 2 έως 3.7% σε άτομα χωρίς οστεοπόρωση και το οποίο διπλασιάζεται σχεδόν σε 5 έως 7% σε άτομα με οστεοπόρωση (19).

Οι ακριβείς αιτίες της οστεοπόρωσης δεν έχουν γίνει πλήρως γνωστές, όμως αυτή η κατάσταση έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται με ορμονικούς παράγοντες, θρεπτικές ανισορροπίες και έλλειψη άσκησης. Ο φυσιολογικός όγκος του οστού είναι 1.5 έως 2 L και η φλοιώδης διάμετρός του βρίσκεται σε μέγιστο μέγεθος, μεταξύ των ηλικιών 30 και 40 για άνδρες και γυναίκες (12, 29). Μετά την ηλικία των 30 ετών, υπάρχει ετήσια απώλεια 0.2 έως 0.5% στο βάρος των μετάλλων του οστού (36), επιταχύνοντας την οστική απώλεια μετά την εμμηνόπαυση στις γυναίκες κατά 50%, σε σχέση με τους άνδρες παρόμοιας ηλικίας (29). Ένα σημαντικό μέρος αυτής της οστικής απώλειας ενδέχεται να σχετίζεται με τη συνοδευτική μείωση του επιπέδου δραστηριότητας (36).

Η ήπια ή μέτρια άσκηση μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα των οστών σε μέταλλα, κατά την τρίτη ηλικία (3). Αναφέρεται ότι, η οστική περιεκτικότητα σε μέταλλα, για δρομείς ηλικίας 50 έως 72 ετών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με μη δρομείς. Παρατηρείται επίσης ένα μειωμένο ποσοστό οστικής απώλειας λόγω ηλικίας: Συγκεκριμένα, 4% μέσα σε 2 έτη για τους δρομείς και 6-7% μέσα σε 2 έτη για τους μη δρομείς (23). Όμως, όταν οι δρομείς σταματήσουν το τρέξιμο ή αλλάξουν τη δρομική δραστηριότητα με βόδιση, ως εναλλακτική άσκηση, η οστική απώλεια αυξάνεται αισθητά σε 10-13% (23). Επομένως, ως εναλλακτικές λύσεις του τρεξίματος προτείνονται δραστηριότητες που εξασφαλίζουν υψηλής έντασης φορτία σε μικρές επαναλήψεις, όπως είναι για παράδειγμα οι ασκήσεις με αντιστάσεις.

Ο τρόπος ζωής και οι καθημερινές δραστηριότητες ενός ατόμου φαίνεται να διαδραματίζουν σημα-



ΣΧΗΜΑ 2-6 Το οστό θεωρείται ανισότροπο υλικό, επειδή αποκρίνεται διαφορετικά, όταν οι δυνάμεις εφαρμόζονται σε διαφορετικές διευθύνσεις. Α. Το οστό μπορεί να ανταπεξέλθει σε μεγάλες δυνάμεις που εφαρμόζονται στην επιμήκη διεύθυνση. Β. Το οστό δεν είναι το ίδιο ισχυρό στην διαχείριση δυνάμεων που εφαρμόζονται εγκάρσια στην επιφάνειά του.

ντικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας των οστών. Ειδική μελέτη έδειξε ότι, η εμφάνιση της οστεοπόρωσης ήταν 47% σε πληθυσμό με καθιστικό επάγγελμα, έναντι μόνον 23% σε πληθυσμό, όπου το επάγγελμα περιελάμβανε σκληρή φυσική εργασία (3). Οι ηλικιωμένοι μπορούν σαφέστατα να ωφεληθούν από κάποια μορφή άσκησης με μεταφορά βάρους, ακόμα κι αν η ένταση και η διάρκεια της άσκησης δεν ορίζεται.

Τα επίπεδα οιστρογόνων σε αθλήτριες με ανορεξία και αμηνόρροια σχετίζονται επίσης με την εμφάνιση της οστεοπόρωσης αυτού του πληθυσμού. Τα κατάγματα κόπωσης στον αυχένα του μηριαίου οστού για τις αθλήτριες-δρομείς, ενδέχεται να συνδέονται με σημαντική απώλεια της οστικής πυκνότητας σε μέταλλα, εξαιτίας της οστεοπόρωσης (6). Οι υψηλού επιπέδου αθλήτριες ποικίλων αθλημάτων παρουσιάζουν σημαντική οστική απώλεια, η οποία συνήθως συνδέεται με τις προπονητικές επιβαρύνσεις υψηλής φόρτισης και με διαταραχές της έμμηνου ρύσης. Ορισμένες απ' αυτές τις αθλήτριες χάνουν τόσο πολύ οστική μάζα, όπου τα σκελετικά τους χαρακτηριστικά μοιάζουν με εκείνα των ηλικιωμένων γυναικών.

ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΣΤΟΥ

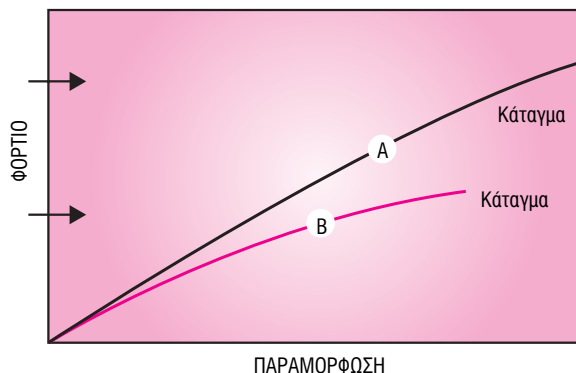
Η συμπεριφορά οποιοδήποτε υλικού, κάτω από συνθήκες φόρτισης, ορίζεται από την αντοχή και τη σκληρότητά του. Όταν σε ένα οστό ή οποιοδήποτε άλλο υλικό, εφαρμόζεται φορτίο από μια εξωτερική δύναμη, παρατηρείται μια εσωτερική αντίδραση. Η αντοχή μπορεί να αξιολογηθεί με τη μελέτη της σχέσης ανάμεσα στο φορτίο που εφαρμόζεται (εξωτερική δύναμη) και στο μέγεθος της παραμόρφωσης (εσωτερική αντίδραση), που εμφανίζεται στο υλικό. Οι μέθοδοι και οι έννοιες αυτού του τύπου αξιολόγησης παρουσιάστηκαν στο 1ο Κεφάλαιο.

Ανισότροπα Χαρακτηριστικά

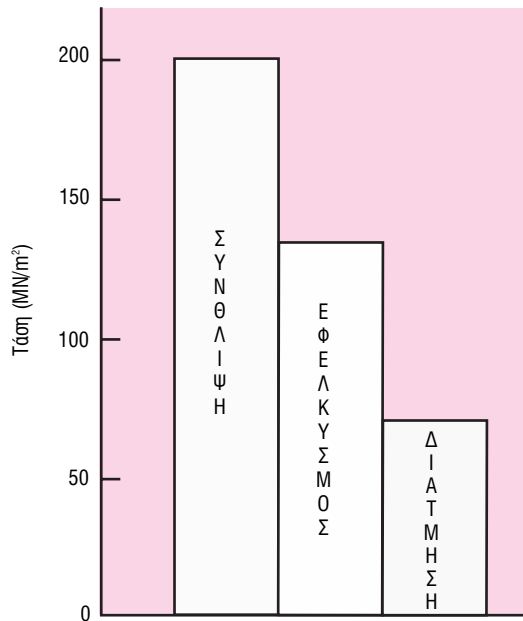
Ο οστίτης ιστός είναι ένα ανισότροπο υλικό, το οποίο δείχνει ότι η συμπεριφορά του οστού ποικίλει ανάλογα με τη διεύθυνση εφαρμογής των φορτίων (Σχήμα 2-6). Γενικά, ο ιστός των μακρών οστών μπορεί να ανταπεξέλθει σε μεγάλα μεγέθη φορτίων στην επιμήκη διεύθυνση και σε μικρότερα φορτία στην επιφάνεια του οστού (31). Τα μακρά οστά είναι ισχυρότερα στην αντίσταση φορτίων σε σχέση με τον επιμήκη άξονα, επειδή είναι συχνή η φόρτισή τους προς αυτή τη διεύθυνση.

Ιξωδοελαστικά Χαρακτηριστικά

Το οστό θεωρείται ένα ιξωδοελαστικό υλικό, που σημαίνει ότι η απόκρισή του εξαρτάται από το ρυθμό και τη διάρκεια εφαρμογής του φορτίου. Με την υψηλότερη ταχύτητα φόρτισης, το οστό μπορεί να αποκριθεί σε μεγαλύτερα φορτία προτού υποστεί



ΣΧΗΜΑ 2-7 Το οστό θεωρείται ιξωδοελαστικό υλικό, επειδή αποκρίνεται διαφορετικά όταν φορτίζεται με διαφορετικό ρυθμό. Α. Όταν φορτίζεται γρήγορα, το οστό αποκρίνεται με περισσότερη σκληρότητα και μπορεί να ανεχθεί μεγαλύτερο φορτίο πριν υποστεί κάταγμα. Β. Όταν φορτίζεται αργά, το οστό δεν είναι το ίδιο σκληρό ή δυνατό και υπόκειται σε κάταγμα με χαμηλότερα φορτία.



ΣΧΗΜΑ 2-8 Οριακή τάση για το φλοιώδες οστό ενήλικου ατόμου (Προσαρμοσμένο με την άδεια από Nordin, M. & Frankel, V.H. [Eds.] [1989]. Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. Philadelphia: Lea & Febiger.)

θραύση ή κάταγμα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-7, όταν το οστό φορτίζεται αργά υπόκειται σε κάταγμα, με ένα φορτίο που αντιστοιχεί περίπου στο μισό του φορτίου στο οποίο το οστό ανταπεξέρχεται σε ένα γρήγορο ρυθμό φόρτισης.

Ελαστική Απόκριση

Στην αρχή της φόρτισης, το οστό παρουσιάζει γραμμική ελαστική απόκριση. Όταν αρχικά εφαρμόζεται ένα φορτίο, το οστό θα παραμορφωθεί μέσω της αλλαγής του μήκους του ή της γωνιακής του μορφής. Το οστό παραμορφώνεται λιγότερο από το 3% (34). Αυτή η παραμόρφωση θεωρείται ότι συμβαίνει μέσα στην ελαστική περιοχή της καμπύλης τάσης-τροπής, επειδή όταν απομακρυνθεί το φορτίο, το οστό θα επιστρέψει στην αρχική του μορφή ή στο αρχικό του μήκος.

Πλαστική Απόκριση

Με συνεχιζόμενα φορτία, ο οστίτης ιστός φθάνει στο σημείο διαρροής του, μετά το οποίο πραγματοποιούνται μικρο-αποσχίσεις στις εξωτερικές του ίνες και διάσπαση των δεσμών στο υλικό του οστού. Αυτό προσδιορίζει την πλαστική περιοχή της καμπύλης τάσης-τροπής. Ο οστίτης ιστός αρχίζει να παραμορφώνεται μόνιμα και τελικά οδηγείται σε κάταγμα, όταν η φόρτιση συνεχιστεί και στην πλαστική περιοχή. Κατά συνέπεια, όταν απομακρύνεται το φορτίο,

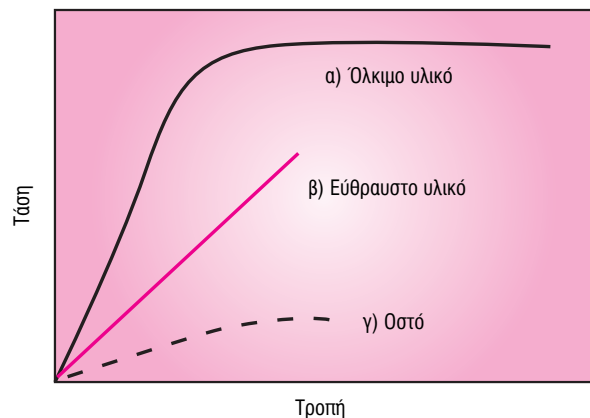
ο οστίτης ιστός δεν επιστρέφει στο αρχικό του μήκος, αλλά διατηρείται μόνιμα σε επιμήκυνση. Αν και το οστό, μπορεί να επιδείξει πλαστική απόκριση, εντούτοις η συνήθης φυσιολογική φόρτιση παραμένει μέσα στα όρια της ελαστικής περιοχής.

Ανθεκτικότητα

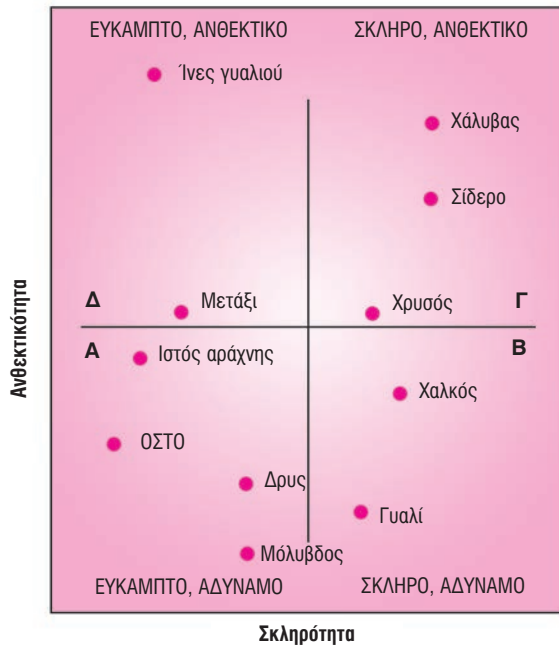
Η ανθεκτικότητα που διαθέτει το οστό ή οποιοδήποτε άλλο υλικό ορίζεται από το σημείο θραύσης ή το φορτίο ανοχής πριν από τη θραύση. Η θραύση του οστού εξαρτάται από τον τύπο του φορτίου στο οποίο υποβάλλεται (Σχήμα 2-8). Η θραύση αυτή διακρίνεται είτε σε ένα μεμονωμένο τραυματικό γεγονός, είτε σε συσσώρευση μικροτραυματισμών. Κατά συνέπεια, οι αντιδράσεις του οστού σε περίπτωση κατάγματος ή κόπωσης είναι σημαντικές. Η ανθεκτικότητα αξιολογείται με βάση την ενεργειακή αποθήκευση ή το εμβαδόν της περιοχής που φαίνεται κάτω από την καμπύλη τάσης - τροπής.

Σκληρότητα

Η σκληρότητα ή ο συντελεστής ελαστικότητας, ορίζεται από την κλίση της καμπύλης παραμόρφωσης του φορτίου, στο εύρος της ελαστικής απόκρισης και θεωρείται αντιπροσωπευτική της αντίστασης του υλικού σ' αυτό φορτίο καθώς παραμορφώνεται η δομή του. Η καμπύλη τάσης - τροπής για ένα όλκιμο, εύθραυστο και οστικό υλικό παρουσιάζεται στο Σχήμα



ΣΧΗΜΑ 2-9 Οι καμπύλες τάσης - τροπής εξηγούν τις διαφορές στη συμπεριφορά μεταξύ όλκιμου υλικού (Α), εύθραυστου υλικού (β) και οστού (γ), το οποίο έχει εύθραυστες και όλκιμες ιδιότητες. Όταν εφαρμόζεται ένα φορτίο, το εύθραυστο υλικό αποκρίνεται γραμμικά και υπόκειται σε θραύση ή κάταγμα πριν υποβληθεί σε οποιαδήποτε μόνιμη παραμόρφωση. Το όλκιμο υλικό εισέρχεται στην πλαστική περιοχή και παραμορφώνεται αρκετά πριν τη θραύση ή το κάταγμα. Το οστό παραμορφώνεται ελαφρώς πριν από τη θραύση.

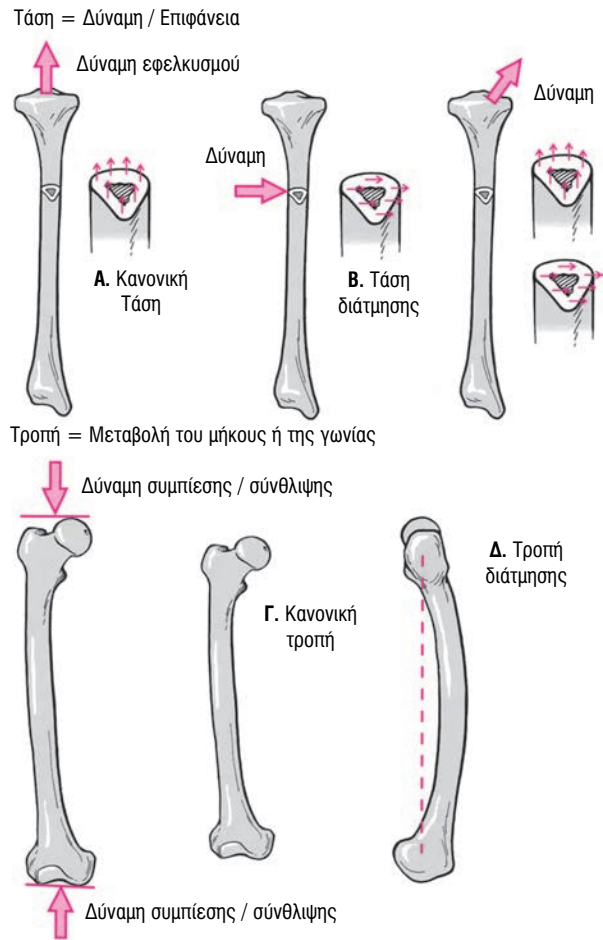


ΣΧΗΜΑ 2-10 Η ανθεκτικότητα και η σκληρότητα ποικίλων υλικών παρουσιάζεται σε γραφική παράσταση με τέσσερα τεταρτημόρια που αντιπροσωπεύουν το υλικό που είναι εύκαμπτο και αδύναμο (Α), σκληρό και αδύναμο (Β), σκληρό και ανθεκτικό (Γ) και εύκαμπτο και ανθεκτικό (Δ). Το οστό κατηγοριοποιείται ως εύκαμπτο και αδύναμο, μαζί με άλλα υλικά, όπως ο ιστός της αράχνης και το δρύινο ξύλο. (Προσαρμοσμένο με άδεια από Shipman, P., Walker, A., and Bichell, D. [1985]. *The Human Skeleton*. Cambridge, MA: Harvard University Press).

2-9. Το οστό δεν είναι τόσο σκληρό όσο το γυαλί ή το μέταλλο και σε αντίθεση μ’ αυτά τα υλικά, δεν αποκρίνεται με γραμμικό τρόπο, επειδή η διαρροή και η παραμόρφωσή του γίνεται με μη ενιαίο τρόπο κατά τη φάση φόρτισης (28).

Όσο υψηλότερο φορτίο επιβάλλεται επάνω στο οστό, τόσο μεγαλύτερη είναι και η παραμόρφωση. Επιπλέον, όταν το φορτίο υπερβαίνει τα ελαστικά όρια του υλικού, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μόνιμη παραμόρφωση και τη θραύση του. Όταν τώρα ένα υλικό συνεχίζει να επιμηκύνεται και να παραμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό στην πλαστική φάση, καλείται όλκιμο υλικό. Το δέρμα είναι ένα παράδειγμα υλικού που θα παραμορφωθεί σε ένα μη αμελητέο βαθμό, πριν τη θραύση. Το οστό έχει ιδιότητες που το κάνουν να αποκρίνεται με εύθραυστο και όλκιμο τρόπο.

Το Σχήμα 2-10 παρουσιάζει τη γραφική παράσταση ποικίλων υλικών, σύμφωνα με την ανθεκτικότητα και τη σκληρότητα. Παραδείγματα υλικών που θεωρούνται σκληρά και αδύναμα είναι το γυαλί και ο χαλκός, σκληρά και ανθεκτικά ο χάλυβας και το σίδηρο, εύκαμπτα και ανθεκτικά οι ίνες γυαλιού και το μετάξι, ενώ εύκα-



ΣΧΗΜΑ 2-11 Η τάση ή η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, μπορεί να είναι κάθετη στο επίπεδο (κανονική τάση) (Α) ή παράλληλη στο επίπεδο (τάση διάτμησης) (Β). Η τροπή ή παραμόρφωση του υλικού, είναι κανονική (Γ), στην οποία το μήκος ποικίλλει, ή διάτμησης (Δ), στην οποία η γωνία διαφοροποιείται.

μπτα και αδύναμα ο δρυς, ο μόλυβδος και ο ιστός αράχνης. Το οστό θεωρείται εύκαμπτο και αδύναμο (33).

Κανονική και Διατμητική Τάση

Η τάση μπορεί να είναι κάθετη στο επίπεδο της διατομής του αντικειμένου που φορτίζεται. Αυτό καλείται **κανονική τάση**. Όταν η τάση εφαρμόζεται παράλληλα στο επίπεδο διατομής, καλείται **διατμητική τάση**. Κάθε τύπος τάσης παράγει μια παραμόρφωση (τροπή). Για παράδειγμα, η κανονική τάση διαμορφώνει την αλλαγή στο μήκος ενός αντικειμένου, ενώ η διατμητική τάση χαρακτηρίζεται με τη μεταβολή στην αρχική γωνία του αντικειμένου. Ένα παράδειγμα κανονικής τάσης και διατμητικής τάσης είναι η απόκριση του μηριαίου οστού σε δραστηριότητα που μεταφέρεται βάρος. Το μηριαίο οστό μικραίνει σε μήκος, ως απόκριση στην κανονική τάση και

κάμπτεται πρόσθια στη διατμητική τάση, που εφαρμόζεται από το σωματικό βάρος (31). Οι δύο αυτές τάσεις αναπτύσσονται ως απάντηση στη φόρτιση της κνήμης, όπως φαίνονται στο Σχήμα 2-11. Επίσης, φαίνονται αυτές οι τάσεις ως απάντηση στη συμπίεση / σύνθλιψη του μηριαίου οστού.

ΤΥΠΟΙ ΦΟΡΤΙΩΝ

Το σκελετικό σύστημα υπόκειται σε ποικίλες εφαρμοζόμενες δυνάμεις, καθώς το οστό φορτίζεται σε διάφορες διευθύνσεις. Τα φορτία παράγονται από τη μεταφορά του σωματικού βάρους, τη βαρύτητα, τις μυϊκές και τις εξωτερικές δυνάμεις. Η τάση και η τροπή, λόγω των δυνάμεων που εφαρμόζονται στα οστά έχουν την ευθύνη για τη διευκόλυνση της οστικής εναπόθεσης. Με τον τρόπο που εφαρμόζονται τα φορτία σε διάφορες διευθύνσεις, διαμορφώνουν πέντε τύπους δυνάμεων: τη σύνθλιψη, τον εφελκυσμό, τη διάτμηση, την κάμψη και τη στρέψη.

Ένας τραυματισμός του σκελετικού συστήματος μπορεί να συμβεί από την υψηλού μεγέθους εφαρμογή ενός απ' αυτούς τους τύπους φορτίου μια φορά ή και μετά από επαναλαμβανόμενη εφαρμογή

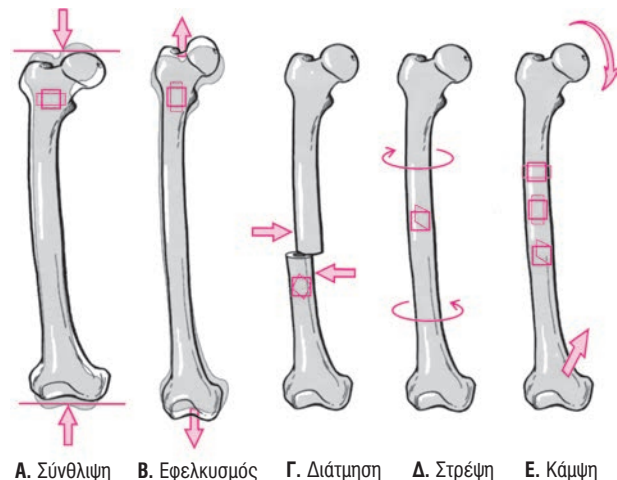
ενός τύπου φορτίου μικρού μεγέθους και σε διάρκεια. Το πρώτο είδος τραυματισμού αναφέρεται ως **τραυματικό κατάγμα**, ενώ το δεύτερο είναι ένα **κάταγμα κόπωσης**. Το Σχήμα 2-12 παρουσιάζει την ακτινογραφία ενός κατάγματος κόπωσης στα μετατάρσια οστά του άκρου ποδιού. Αυτά τα κατάγματα εμφανίζονται ως συνέπεια της συσσώρευσης **μικροτραυματισμών** που επιβάλλονται επάνω στο σκελετικό σύστημα, όταν η φόρτιση του συστήματος είναι τόσο συχνή που η οστική αναδόμηση δεν μπορεί να συμβαδίσει με τη ρήξη του οστίτη ιστού. Η ανάπτυξη του κατάγματος κόπωσης συζητείται πιο αναλυτικά στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.

Δυνάμεις Σύνθλιψης

Μια **δύναμη σύνθλιψης** πιέζει τα άκρα του οστού το ένα προς το άλλο και συνήθως παράγεται από τους μύες, τη μεταφορά του σωματικού βάρους, τη βαρύτητα ή κάποια εξωτερική φόρτιση κατά μήκος του οστού. Η συνθλιπτική τάση και τροπή μικραίνουν το μήκος και αυξάνουν το πλάτος του οστού. Ταυτόχρονα, το οστό απορροφά μέγιστη τάση ως προς το επίπεδο κάθετα στο φορτίο, που προκαλεί η σύνθλι-



ΣΧΗΜΑ 2-12 Τα κατάγματα κόπωσης στο οστό προκαλούνται ως απάντηση στην υπερφόρτωση του σκελετικού συστήματος, έτσι ώστε να εμφανίζονται συσσωρευτικοί μικροτραυματισμοί. Ένα κατάγμα κόπωσης στο δεύτερο μετατάρσιο του άκρου ποδιού, όπως φαίνεται στην ακτινογραφία, προκαλείται μετά από δρομικό τρέξιμο σε σκληρές επιφάνειες ή με σκληρά υποδήματα. Συνδέεται επίσης με άτομα που έχουν υψηλή ποδική καμάρα ενώ μπορεί να δημιουργηθεί μετά από κόπωση των περιφερικών μυών (Ανατύπωση με άδεια από Fu, H. F., and Stone, D. A. [1994]. Sports Injuries. Baltimore: Williams & Wilkins).



ΣΧΗΜΑ 2-13 Το σκελετικό σύστημα υπόκειται σε ποικιλία φορτίων που παραμορφώνουν το οστό. Το τετράγωνο στο μηριαίο οστό δείχνει την αρχική κατάσταση του οστίτη ιστού. Η σκιασμένη περιοχή παρουσιάζει την επίδραση της εφαρμογής δύναμης στο οστό. **A.** Η δύναμη σύνθλιψης προκαλεί μείωση του μήκους και αύξηση του πλάτους. **B.** Η δύναμη εφελκυσμού προκαλεί αύξηση του μήκους και μείωση του πλάτους. **Γ** και **Δ.** Οι δυνάμεις διάτμησης και στρέψης προκαλούν γωνιακή στρέβλωση. **E.** Η δύναμη κάμψης προκαλεί όλες τις παραμορφώσεις που αναφέρονται στη σύνθλιψη, στον εφελκυσμό και στη διάτμηση.

ψη. Το Σχήμα 2-13 παρουσιάζει το αποτέλεσμα της δύναμης σύνθλιψης. Οι δυνάμεις που προκαλεί η συμπίεση / σύνθλιψη είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την αύξηση του οστού.

Όταν εφαρμοστεί μια μεγάλη σε μέγεθος δύναμη σύνθλιψης κι όταν το φορτίο που θα προκληθεί εξαιτίας της ξεπεράσει τα όρια τάσης της δομής, τότε θα προκληθεί κάταγμα. Αρκετές περιοχές του ανθρώπινου σώματος είναι ευαίσθητες στα κατάγματα αυτού του είδους. Οι δυνάμεις σύνθλιψης ευθύνονται για τον επιγονατιδικό πόνο και τη μαλάκυνση, δηλαδή για την αποδόμηση του χόνδρου κάτω από την επιγονατίδα, τραυματισμός που είναι γνωστός ως χονδρομαλάκυνση της επιγονατίδας. Καθώς η άρθρωση του γονάτου κινείται μέσα σε ένα εύρος, η επιγονατίδα κινείται πάνω-κάτω στη μηριαία αύλακα. Το



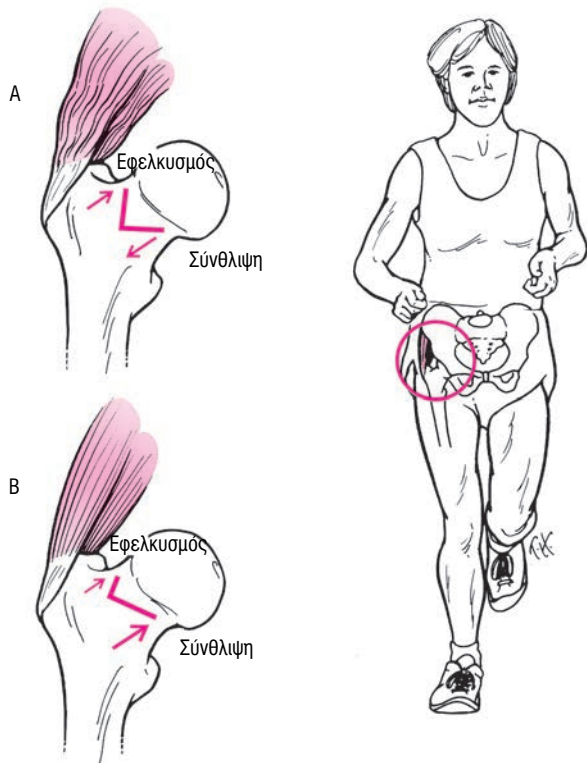
ΣΧΗΜΑ 2-14 Οι οσφυϊκοί σπόνδυλοι μπορούν να υποστούν συνθλιπτικό κάταγμα, στο οποίο το σώμα του σπονδύλου μειώνεται σε μήκος και αυξάνεται σε πλάτος. Αυτός ο τύπος κατάγματος έχει συνδεθεί με τη φόρτιση των σπονδύλων όταν διατηρείται θέση υπερλόρδωσης. (Ανατύπωση με άδεια από Nordin, M., and Frankel, V.H. [1989], *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*. [2nd Ed.]. Philadelphia: Lea & Febiger.)

φορτίο μεταξύ της επιγονατίδας και του μηριαίου οστού αυξάνεται και μειώνεται έως το σημείο όπου η συνθλιπτική επιγονατιδομηριαία δύναμη είναι μέγιστη στις 50° περίπου κάμψης και ελάχιστη στην πλήρη έκταση ή υπερέκταση της άρθρωσης του γονάτου. Η υψηλή σε μέγεθος δύναμη σύνθλιψης, κατά την κάμψη και κυρίως στην πλευρική επιγονατιδομηριαία επιφάνεια, επιφέρει την καταστρεπτική διαδικασία που προκαλεί ρήξη του χόνδρου και της υποκείμενης επιφάνειας της επιγονατίδας (10).

Λόγω της σύνθλιψης παρατηρούνται και τα κατάγματα των σπονδύλων της σπονδυλικής στήλης (11). Συγκεκριμένα, έχουν αναφερθεί κατάγματα στην αυχενική μοίρα σε δραστηριότητες όπως, αθλήματα υγρού στίβου, γυμναστική, πάλη, ράγκμπι, χόκεϊ επί πάγου και ποδόσφαιρο. Φυσιολογικά, η αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης εκτείνεται ελαφρώς, με μια πρόσθια κυρτή καμπύλη. Όταν χαμηλώσει το κεφάλι, η αυχενική μοίρα οδηγείται σε έκταση προς τα έξω, σε περίπου 30° κάμψης. Όταν σ' αυτή τη θέση εφαρμοστεί μια δύναμη, ενάντια στην κορυφή του κεφαλιού, τότε οι αυχενικοί σπόνδυλοι φορτίζονται κατά μήκος από μια δύναμη σύνθλιψης, που δημιουργεί εξάρθρωση ή συνδυαστικό κάταγμα-εξάρθρωση στην πλευρά των σπονδυλικών αυχένων. Η επισήμανση αυτή γίνεται ειδικά στο ποδόσφαιρο και ιδιαίτερα στο χτύπημα της μπάλας με το κεφάλι σε κάμψη (11).

Επίσης, έχουν αναφερθεί συνθλιπτικά κατάγματα στους οσφυϊκούς σπονδύλους αθλητών της άρσης βαρών και σε αθλητές ενόργανης γυμναστικής που φορτίζουν τους σπονδύλους ενώ η σπονδυλική στήλη βρίσκεται σε θέση υπερ-λόρδωσης ή αιώρησης προς τα πίσω (13). Το Σχήμα 2-14 δείχνει την ακτινογραφία ενός κατάγματος στους οσφυϊκούς σπονδύλους και καταδεικνύει τις ιδιότητες της μείωσης του μήκους και της αύξησης του πλάτους, εξαιτίας της συνθλιπτικής δύναμης. Τέλος, κατάγματα αυτού του είδους παρατηρούνται συχνά σε άτομα που πάσχουν από οστεοπόρωση.

Ορισμένες άρσεις στην προπόνηση με βάρη έχουν ως αποτέλεσμα την σπονδυλόλυση, ένα κάταγμα κόπωσης σε συγκεκριμένη περιοχή του σπονδύλου. Οι άρσεις που εμφανίζουν υψηλή συχνότητα αυτού του είδους κατάγματος, είναι από την ολυμπιακή άρση βαρών, το αρασέ και το ενπολέ - ζετέ ενώ από τις άρσεις ισχύος, τα καθίσματα και οι άρσεις θανάτου (13, 14). Στους αθλητές της ενόργανης γυμναστικής, οι τραυματισμοί αυτοί σχετίζονται με τις ακραίες θέσεις έκτασης στην οσφυϊκή μοίρα. Αυτού του είδους οι τραυματισμοί παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7.



ΣΧΗΜΑ 2-15 Α. Κατά τη στάση ή στη φάση της στιγμιαίας στάσης στο βάδισμα και στο δρομικό τρέξιμο, η δύναμη κάμψης που εφαρμόζεται στο μηριαίο αυχένα δημιουργεί μια μεγάλη συμπίεση στο κατώτερο τμήμα και μια δύναμη εφελκυσμού στο ανώτερο τμήμα. **Β.** Όταν ο μέσος γλουτιαίος συσπαστεί, η δύναμη σύνθλιψης αυξάνεται και η δύναμη εφελκυσμού μειώνεται. Αυτό ελαχιστοποιεί την πιθανότητα τραυματισμού, δεδομένου ότι είναι πιθανότερο να εμφανιστεί στον εφελκυσμό.

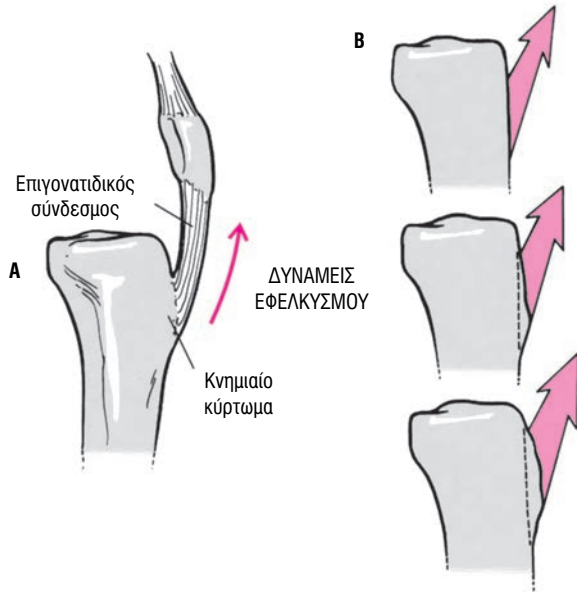
Μια δύναμη σύνθλιψης που θα εφαρμοστεί στην άρθρωση του ισχίου μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την πιθανότητα τραυματισμού του αυχένα του μηριαίου οστού. Η άρθρωση αυτή πρέπει να απορροφά δυνάμεις σύνθλιψης που κυμαίνεται μεταξύ 3 έως 7 φορές του σωματικού βάρους, κατά το βάδισμα (28, 31), ενώ σε άλματα μπορούν να κυμανθούν μέχρι 15 έως 20 φορές το σωματικό βάρος (31). Στην κανονική στάση του σώματος, η άρθρωση του ισχίου δέχεται φορτίο περίπου το ένα τρίτο του σωματικού βάρους, όταν και τα δύο άκρα εφάπτονται στο έδαφος (28). Αυτό δημιουργεί μεγάλη δύναμη σύνθλιψης στην κατώτερη μοίρα του αυχένα του μηριαίου οστού και μια επίσης μεγάλη δύναμη εφελκυσμού στην ανώτερη μοίρα. Στο Σχήμα 2-15 παρουσιάζεται αυτό που συμβαίνει καθώς το σώμα πιέζει προς τη μηριαία κεφαλή, συμπιέζοντας το κάτω μέρος του αυχένα του μηριαίου οστού και απομακρύνοντας το πάνω μέρος, καθώς εξελίσσεται η κάμψη.

Οι απαγωγείς του ισχίου και ειδικότερα ο μέσος γλουτιαίος, συμβάλλει στην υπερνίκηση του σωματικού βάρους, κατά τη στάση. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-15, από τους απαγωγείς παράγεται ένα φορτίο σύνθλιψης στην ανώτερη πλευρά του αυχένα του μηριαίου οστού, που μειώνει τις δυνάμεις εφελκυσμού και την πιθανότητα τραυματισμών στο σημείο αυτό, καθώς, οι δυνάμεις εφελκυσμού προκαλούν το οστικό κάταγμα σε μικρό χρόνο δράσης (28). Ειδικά αναφέρεται ότι στους δρομείς εμφανίζονται κατάγματα στον αυχένα του μηριαίου οστού, επειδή ο μέσος γλουτιαίος κουράζεται και δεν μπορεί να διατηρήσει τη μείωση των υψηλών δυνάμεων εφελκυσμού που ευθύνονται για το κάταγμα (20, 31). Ένα κάταγμα στον αυχένα του μηριαίου οστού μπορεί επίσης να δημιουργηθεί και από μια ισχυρή συστολή των μυών του ισχίου και συγκεκριμένα των απαγωγών και των προσαγωγών, που δημιουργούν υπερβολικές δυνάμεις σύνθλιψης στο ανώτερο τμήμα του.

Δυνάμεις Εφελκυσμού

Η **δύναμη εφελκυσμού** εφαρμόζεται συνήθως στην οστική επιφάνεια και έλκει ή τεντώνει το οστό, έτσι ώστε τείνει να αυξήσει το μήκος και να μειώσει το πλάτος του (Σχήμα 2-13). Η μέγιστη τάση που παρατηρείται, όπως αντιστοίχως και με τη σύνθλιψη, είναι κάθετη στο επίπεδο του φορτίου που εφαρμόζεται. Η πηγή της δύναμης εφελκυσμού είναι συνήθως η τενόντια έλξη, κατά τη μυϊκή συστολή. Όταν ο μύς εφαρμόζει μια δύναμη εφελκυσμού στο σύστημα μέσω του τένοντα, το κολλαγόνο του οστίτη ιστού διατάσσεται σε σειρά με τη δύναμη εφελκυσμού του τένοντα. Το Σχήμα 2-16 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ευθυγράμμισης του κολλαγόνου στο κύρτωμα της κνήμης. Το ίδιο σχήμα δείχνει την επίδραση των δυνάμεων εφελκυσμού στην ανάπτυξη της απόφυσης. Η **απόφυση** είναι μια οστική έκφυση, δηλαδή μια μικρή προεξοχή (φύμα) ή ένα όγκωμα (κύρτωμα). Το Σχήμα 2-16 δείχνει τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται από τις δυνάμεις εφελκυσμού, η απόφυση και το κνημιαίο κύρτωμα.

Η θραύση του οστού εμφανίζεται συνήθως στη θέση της πρόσφυσης των μυών. Οι δυνάμεις εφελκυσμού μπορούν επίσης να δημιουργήσουν συνδεσμικές αποσπάσεις. Μια απόσπαση συνδέσμων ή ένα **κάταγμα απόσπασης**, εμφανίζεται με την απόσχιση ενός μέρους της συνδεσμικής πρόσφυσης του οστού. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται πιο συχνά στα παιδιά απ' ό,τι στους ενήλικες. Τα κατάγματα απόσπασης εκδηλώνονται επίσης όταν η οστική δύναμη



ΣΧΗΜΑ 2-16 Α. Όταν οι δυνάμεις εφελκυσμού εφαρμόζονται στο σκελετικό σύστημα, το οστό δυναμώνει στην κατεύθυνση της έλξης, καθώς οι ίνες κολλαγόνου ευθυγραμμίζονται με το τράβηγμα του τένοντα ή του συνδέσμου. **Β.** Στις δυνάμεις εφελκυσμού οφείλεται η ανάπτυξη αποφύσεων και οστικών εκφύσεων, όπως είναι οι προεξοχές, τα φύματα και τα ογκώματα.

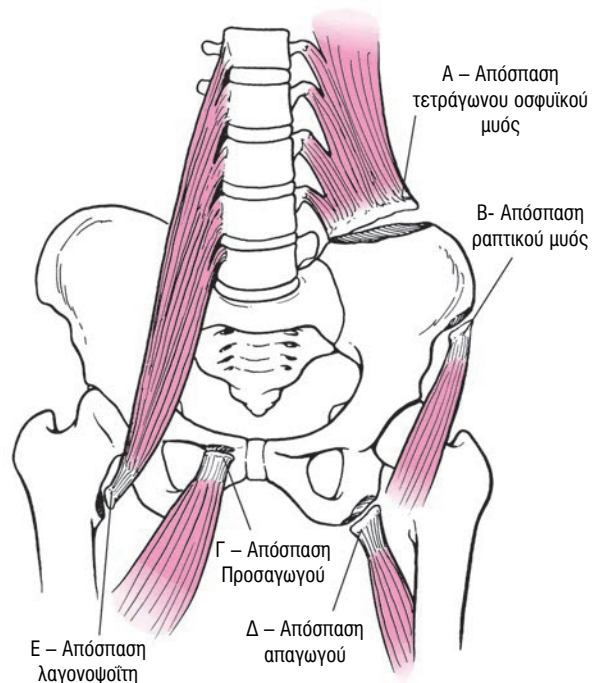
εφελκυσμού δεν είναι επαρκής για να αποτρέψει το κάταγμα. Αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα σε μερικούς από τους τραυματισμούς που εμφανίζονται στο χέρι ρίψης νεαρών αθλητών μπείζμπολ, σε υψηλής ταχύτητας ριπτική κίνηση. Το κάταγμα απόσπασης σ' αυτήν την περίπτωση εντοπίζεται συνήθως στην έσω πλάγια επιγονυλική απόφυση και είναι αποτέλεσμα του παραγόμενου εφελκυσμού από τους καμπτήρες του καρπού.

Δύο άλλα κοινά κατάγματα, αντίστοιχα των παραπάνω, εντοπίζονται στο πέμπτο μετατόρσιο οστό, από τις δυνάμεις εφελκυσμού των περονιαίων μυών και στην πτέρνα, από δυνάμεις ασκούμενες από τους γαστροκνήμιο και υποκνημίδιο μύες. Η δύναμη εφελκυσμού που εκδηλώνεται στην πτέρνα μπορεί επίσης να δημιουργηθεί στη στατική φάση του βηματισμού, δεδομένου ότι η ποδική καμάρα είναι πιεσμένη και η πελματιαία περιτονία που καλύπτει την αντίστοιχη επιφάνεια συμπιέζεται, ασκώντας δυνάμεις εφελκυσμού σ' αυτή. Ορισμένες περιοχές, με αποδεδειγμένα κατάγματα απόσπασης στην πυελική περιοχή, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-17 και εντοπίζονται στις πρόσθιες, οπίσθιες και κατώτερες άκανθες, στον ελάσσονα τροχαντήρα, στο ισχιακό κύρτωμα και στο ηβικό οστό.

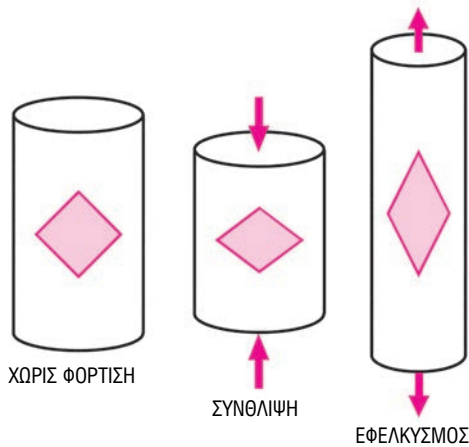
Τα διαστρέμματα και γενικά οι παραμορφώσεις

οφείλονται στις δυνάμεις εφελκυσμού. Για παράδειγμα, ένα τυπικό διάστρεμμα από υπτιασμό της ποδοκνημικής εμφανίζεται όταν το άκρο πόδι βρεθεί σε υπερ-υπτιασμό. Δηλαδή, όταν το πόδι κυλά προς τα πλευρικά του όρια και τεντώνει τους συνδέσμους στην εξωτερική πλευρά της ποδοκνημικής. Οι δυνάμεις εφελκυσμού ευθύνονται και για το πρόσθιο κνημιαίο σύνδρομο. Αυτός ο τραυματισμός, εμφανίζεται όταν οι πρόσθιοι κνημιαίοι ασκούν δύναμη έλξης στην περιοχή πρόσφυσής τους στην κνήμη και τη μεσόστια μεμβράνη, μεταξύ της κνήμης και της περόνης.

Μια άλλη περιοχή που βρίσκεται εκτεθειμένη σε υψηλές δυνάμεις εφελκυσμού είναι το κνημιαίο κύρτωμα, το οποίο μεταβιβάζει αυτές τις δυνάμεις όταν είναι ενεργή η μυϊκή ομάδα του τετρακέφαλου. Αυτή η δύναμη εφελκυσμού, όταν εφαρμόζεται με υψηλά μεγέθη αλλά και σε διάρκεια, μπορεί να προκαλέσει τενοντίτιδα ή φλεγμονή του τένοντα έμπειρων αθλητών. Όμως, σε νεώτερους ή αρχάριους αθλητές, ο τραυματισμός αυτός εμφανίζεται συνήθως στο σημείο της σύνδεσης τένοντα-οστού και μπορεί να οδηγήσει σε φλεγμονή, σε οστική εναπόθεση ή σε συνθλιπτικό κάταγμα του κνημιαίου κυρτώματος. Η



ΣΧΗΜΑ 2-17 Τα κατάγματα απόσπασης μπορούν να προκύψουν λόγω τάσης που εφαρμόζεται από έναν τένοντα ή έναν σύνδεσμο. Οι περιοχές των καταγμάτων αυτών στην πυελική περιοχή περιλαμβάνουν την ανώτερη πρόσθια άκανθα (Α), την κατώτερη πρόσθια άκανθα (Β), το ισχιακό κύρτωμα (Γ), το ηβικό οστό (Δ) και τον ελάσσονα τροχαντήρα (Ε).



ΣΧΗΜΑ 2-18 Η τάση διάτμησης και η παραμόρφωση συνοδεύουν τα φορτία σύνθλιψης και εφελκυσμού.

ασθένεια Osgood-Schlatter χαρακτηρίζει την κατάσταση της φλεγμονής και της οστικής εναπόθεσης στη σύνδεση τένοντα-οστού.

Το οστό ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που περιγράφονται από το νόμο του Wolff (21). Επομένως, διαφορετικά οστά και διαφορετικά τμήματα σε ένα οστό αποκρίνονται αντιστοίχως στα φορτία εφελκυσμού και σύνθλιψης. Για παράδειγμα, η κνήμη και το μηριαίο οστό των κάτω άκρων συμμετέχουν στη μεταφορά του σωματικού βάρους και είναι οστά πιο ανθεκτικά σε φορτία σύνθλιψης. Η περόνη, που δεν συμμετέχει σημαντικά στη μεταφορά του σωματικού βάρους, αλλά είναι μια περιοχή πρόσφυσης των μυών, είναι οστό πιο ανθεκτικό σε δυνάμεις εφελκυσμού (31). Η αξιολόγηση των διαφορών στο μηριαίο οστό φανερώνει μεγαλύτερη ικανότητα αντοχής στη δύναμη εφελκυσμού στο μέσο τρίτο της διάφυσης, το οποίο φορτίζεται μέσω της δύναμης κάμψης, κατά τη μεταφορά του σωματικού βάρους. Ο αυχέννας του μηριαίου οστού μπορεί να ανταπεξέλθει σε μεγάλες συνθλιπτικές δυνάμεις, ενώ οι περιοχές πρόσφυσης των μυών διαθέτουν υψηλή ανθεκτικότητα σε φορτία εφελκυσμού (31).

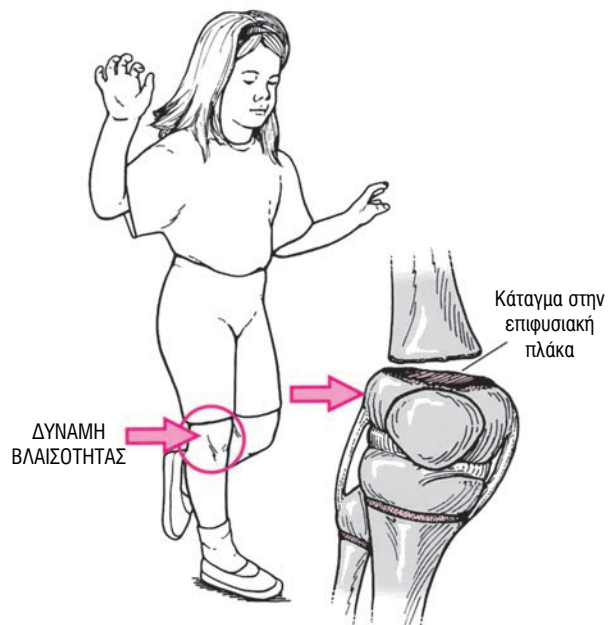
Δυνάμεις Διάτμησης

Η **δύναμη διάτμησης** εφαρμόζεται παράλληλα προς την επιφάνεια ενός αντικειμένου, δημιουργώντας εσωτερική παραμόρφωση υπό γωνιακή διεύθυνση (Σχήμα 2-13). Η μέγιστη τάση που προκαλείται από τη διάτμηση ενεργεί στην επιφάνεια, παράλληλα στο επίπεδο της εφαρμοζόμενης δύναμης. Οι τάσεις διάτμησης εκδηλώνονται όταν ένα οστό υποβάλλεται σε φορτία σύνθλιψης, στρέψης ή και σε συνδυασμό των δύο. Το Σχήμα 2-18 δείχνει πώς μπορεί να αναπτυχθεί η τάση διάτμησης, με την εφαρμογή φορτίων

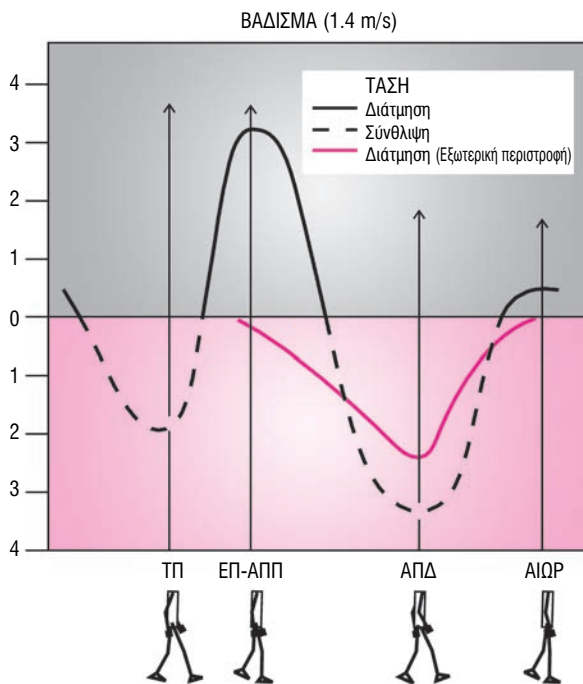
σύνθλιψης ή εφελκυσμού. Αν προσεχθεί η αλλαγή της μορφής του διαμαντιού, θα φανεί πως αυτό υποβάλλεται σε παραμόρφωση μέσω της σύνθλιψης ή του εφελκυσμού, ενώ η δύναμη διάτμησης εφαρμόζεται στην επιφάνεια του οστού. Το οστό οδηγείται σε κάταγμα πιο σύντομα όταν εκτίθεται σε δυνάμεις διάτμησης, από ό,τι σε δυνάμεις στρέψης ή σύνθλιψης. Αυτό συμβαίνει διότι το οστό είναι ανισότροπο και συμπεριφέρεται διαφορετικά όταν φορτίζεται κάτω από διαφορετικές διευθύνσεις.

Οι δυνάμεις διάτμησης ευθύνονται για την παρουσία ορισμένων προβλημάτων στους μεσοσπονδύλιους δίσκους, όπως είναι η σπονδυλολίσηση, στην οποία οι σπόνδυλοι γλιστρούν πρόσθια ο ένας πάνω στον άλλον. Στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης, οι δυνάμεις διάτμησης αυξάνονται με τη μεγάλη κίνηση αιώρησης του κορμού προς τα πίσω ή με την υπερ-λόρδωση (14). Η έλξη του ψοίτη μύος στους οσφυϊκούς σπονδύλους συμβάλει επίσης στην αύξηση της δύναμης διάτμησης, θέμα που θα αναπτυχθεί με λεπτομέρειες στο 7ο Κεφάλαιο.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα καταγμάτων, που οφείλονται κυρίως σε δυνάμεις διάτμησης, εντοπίζονται συνήθως στους μηριαίους κονδύλους και στο κνημιαίο κόνδυλο. Ο μηχανισμός αυτού του τραυματισμού και στις δύο περιπτώσεις, είναι συνήθως η υπερέκταση στο γόνατο, μέσω της σταθεροποίησης



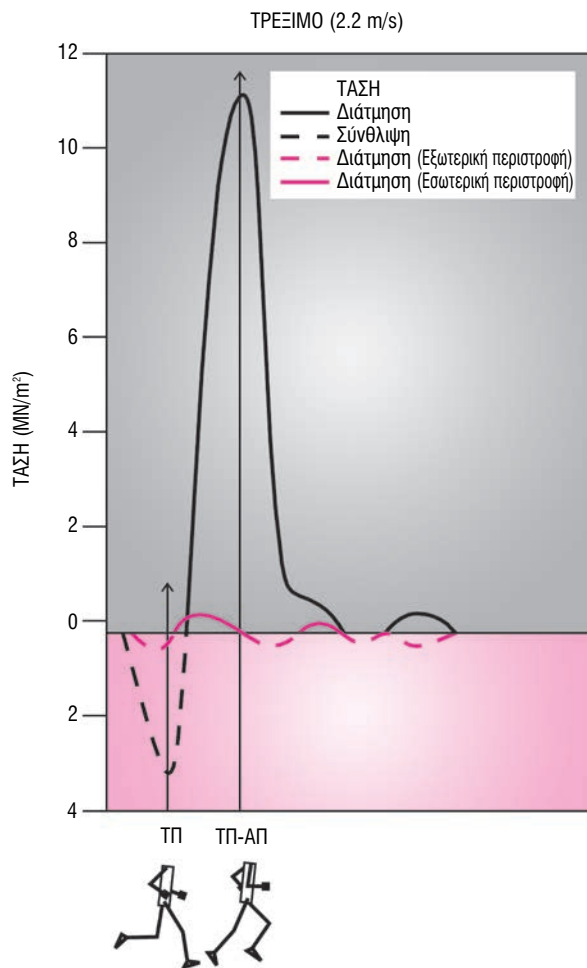
ΣΧΗΜΑ 2-19 Το κάταγμα στην μακρινή μηριαία επίφυση δημιουργείται συνήθως από δύναμη διάτμησης. Παράγεται από τη δύναμη βλαισότητας που εφαρμόζεται στο μηρό ή την κνήμη, με το άκρο πόδι σταθερό και το γόνατο σε υπερέκταση.



ΣΧΗΜΑ 2-20 Τάσεις εφελκυσμού, σύνθλιψης και διάτμησης στην κνήμη ενήλικα κατά τη βάδιση. ΤΠ: Τοποθέτηση Πτέρνας, ΕΠ, Επίπεδο Πόδι; ΑΠΠ, Απογείωση πτέρνας; ΑΠΔ, Απογείωση δακτύλων; ΑΙΩΡ: Αιώρηση (Ανατύπωση με άδεια από Nordin, M., and Frankel, V.H. [1989]. Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. [2nd Ed.]. Philadelphia: Lea & Febiger.)

του άκρου ποδιού και η βλαισιότητα ή η προς τα έσω δύναμη που εφαρμόζεται στο μηρό ή την κνήμη. Στον ενήλικα, αυτή η δύναμη διάτμησης μπορεί να προκαλέσει κάταγμα του οστού, καθώς επίσης και να τραυματίσει τους παράλληλους ή σταυροειδείς συνδέσμους (25). Στο νεαρό άτομο, αυτή η δύναμη διάτμησης μπορεί να δημιουργήσει κατάγματα επίφυσης, όπως αυτό φαίνεται στην κοντινή μηριαία επίφυση. Ο μηχανισμός του τραυματισμού και η βλάβη που προκύπτει απ’ αυτόν, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-19. Τα αποτελέσματα ενός τέτοιου κατάγματος σε ένα νεαρό άτομο είναι σημαντικά, δεδομένου ότι η επίφυση συνεισφέρει σε ποσοστό περίπου 37% της αύξησης του μήκους των οστών (8).

Είναι γνωστό πως το οστό φορτίζεται με περισσότερους από έναν τύπο δύναμης κάθε φορά. Στα Σχήματα 2-20 και 2-21 φαίνονται τα πολλαπλάσια φορτία που απορροφώνται από την κνήμη στο βάδισμα και το δρομικό τρέξιμο, αντιστοίχως (28). Στο βάδισμα και ειδικά στην πτέρνα, δημιουργείται μια συνθλιπτική τάση εξαιτίας του βάρους του σώματος, της επαφής με το έδαφος και της μυϊκής συστολής. Η τάση εφελκυσμού, που είναι αποτέλεσμα της μυϊκής σύσπασης, κυριαρχεί στο μέσο της φάσης στή-



ΣΧΗΜΑ 2-21 Τάσεις εφελκυσμού, σύνθλιψης και διάτμησης στην κνήμη ενήλικα κατά το δρομικό τρέξιμο. ΤΠ, Τοποθέτηση Ποδιού (πρόσθιο μέρος) ΑΠ, Απογείωση. (Ανατύπωση με άδεια από Slaby, F., and Jacobs, E.R. [1990]. Radiographic Anatomy. Philadelphia: Harwal.)

ριξης. Η συνθλιπτική τάση αναπτύσσεται στη φάση προετοιμασίας για την προώθηση, καθώς αυξάνεται η δύναμη που ασκείται στο έδαφος και η ένταση των μυϊκών συστολών. Η δύναμη διάτμησης εμφανίζεται στη φάση προώθησης της στήριξης και φαίνεται να σχετίζεται με τη στρέψη που δημιουργείται μέσω της εξωτερικής περιστροφής της κνήμης.

Στο δρομικό τρέξιμο, η τάση αυξάνεται σημαντικά, ενώ τα πρότυπα αυτής είναι διαφορετικά από τα αντίστοιχα του βαδίσματος. Υπάρχουν ορισμένες ομοιότητες στη φάση της ενεργητικής τοποθέτησης της πτέρνας, δεδομένου ότι η συνθλιπτική τάση προκαλείται από την επαφή με το έδαφος, το βάρος του σώματος και τη μυϊκή συστολή. Αυτό ακολουθείται από μια υψηλή σε μέγεθος τάση εφελκυσμού, που συνεχίζεται κατά τη φάση της τελικής ώθησης των δακτύλων, όπως και στη φάση αιώρησης. Το πρότυ-