



Η εκμάθηση της βάδισης είναι μια φιλόδοξη δραστηριότητα από την προοπτική της εμβιομηχανικής.
Ariel Skelly/Getty Images.

- Οι σπουδές στην ανατομία, τη φυσιολογία, τα μαθηματικά, τη φυσική και τη μηχανική παρέχουν βασικές γνώσεις στους εμβιομηχανικούς.

εμβιομηχανική

εφαρμογή των μηχανικών αρχών για τη μελέτη των έμβιων οργανισμών

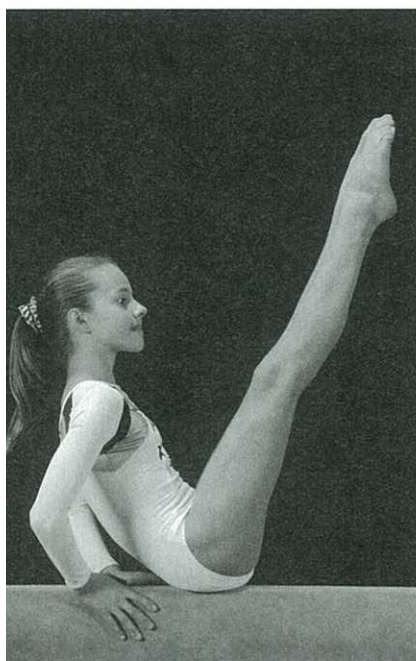
Γιατί κάποιοι παίκτες του γκολφ δεν κτυπούν ολόκληρο το μπαλάκι; Πώς μπορεί ένας εργάτης να αποφύγει την οσφυαλγία; Ποια στοιχεία μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα γυμναστής για να βοηθήσει τους μαθητές να καταλάβουν την τεχνική της επαναφοράς στην πετοσφαίριση; Γιατί κάποιοι ηλικιωμένοι έχουν την τάση να πέφτουν; Όλοι έχουμε θαυμάσει τις ρευστές και γεμάτες χάρη κινήσεις αθλητών υψηλού επιπέδου. Έχουμε επίσης παρατηρήσει τα αδέξια πρώτα βήματα ενός μικρού παιδιού, την αργή βάδιση ενός τραυματισμένου ατόμου με γυψονάρθηκα και τη διστακτική, άνιση βάδιση ενός ηλικιωμένου ατόμου που χρησιμοποιεί μια βακτηρία. Ουσιαστικά σε κάθε τάξη σωματικής δραστηριότητας περιλαμβάνεται ένας φοιτητής που μαθαίνει νέες δεξιότητες με εξαιρετική ευκολία και ένας φοιτητής που παραπατά όταν εκτελεί ένα άλμα, ή που δεν πετυχαίνει τη μπάλα όταν προσπαθεί να την χτυπήσει, να την επαναφέρει, κτλ. Τι επιτρέπει σε κάποια άτομα να εκτελούν πολύπλοκες κινήσεις τόσο εύκολα, ενώ άλλα έχουν προφανείς δυσκολίες με σχετικά απλές κινητικές δεξιότητες;

Αν και οι απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά ενδέχεται να έχουν τη ρίζα τους στη φυσιολογία, την ψυχολογία, ή την κοινωνιολογία, αυτά τα προβλήματα είναι εμβιομηχανικής φύσης. Το παρόν βιβλίο αποτελεί μια βάση για τον εντοπισμό, την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων σχετικά με την εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης.

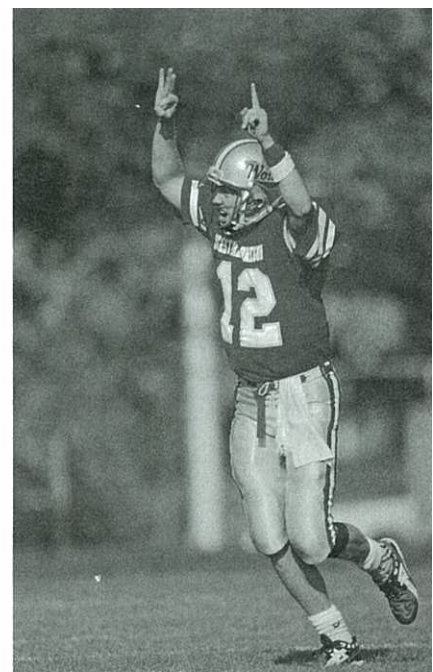
ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ: ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ

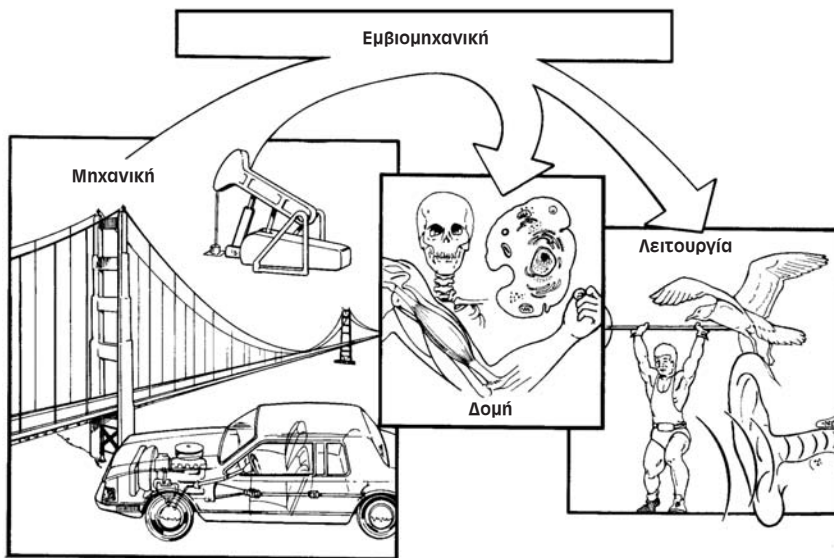
Ο όρος *εμβιομηχανική* συνδυάζει το πρόθεμα «εμβιο» που αφορά στη ζωή με το πεδίο της μηχανικής που αφορά στη μελέτη της δράσης των δυνάμεων. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα υιοθέτησε τον όρο εμβιομηχανική κατά τη διάρκεια της αρχής της δεκαετίας 1970-80 για να περιγράψει την επιστήμη σχετικά με τη μελέτη των μηχανικών παραμέτρων των έμβιων οργανισμών. Για το πεδίο της κινησιολογίας και της επιστήμης της άσκησης ο έμβιος οργανισμός με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι το ανθρώπινο σώμα. Στις δυνάμεις υπό μελέτη περιλαμβάνονται οι εσωτερικές δυνάμεις που παράγονται από τους μυς και οι εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο σώμα.

Οι εμβιομηχανικοί χρησιμοποιούν τα εργαλεία της *μηχανικής*, του κλάδου της φυσικής που αφορά στην ανάλυση της ενέργειας των δυνά-



Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά ενδέχεται να προδιαθέτουν έναν αθλητή για να είναι επιτυχημένος σε ένα άθλημα, ή να αποτελούν μειονέκτημα για ένα άλλο. (Και οι δύο φωτογραφίες) Χωρίς δικαιώματα/ CORBIS.



**ΕΙΚΟΝΑ 1-1**

Η εμβιομηχανική αφορά στην εφαρμογή των αρχών της μηχανικής για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία των έμβιων οργανισμών.

μεων, για τη μελέτη των ανατομικών και λειτουργικών παραμέτρων των έμβιων οργανισμών (Εικόνα 1-1). Η **στατική** και η **δυναμική** είναι δύο βασικοί υποκλάδοι της μηχανικής. Η στατική αφορά στη μελέτη των συστημάτων που είναι σε μια κατάσταση σταθερής κίνησης, δηλαδή είτε σε ηρεμία (χωρίς καθόλου κίνηση), είτε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Η δυναμική αφορά στη μελέτη των συστημάτων όπου υπάρχει επιτάχυνση.

Η **κινηματική** και η **κινητική** είναι περαιτέρω υποδιαιρέσεις της εμβιομηχανικής μελέτης. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί οπτικά κατά την παρακολούθηση ενός κινούμενου σώματος ονομάζεται κινηματική της κίνησης. Η κινηματική αφορά στη μελέτη του μεγέθους, της ακολουθίας και του χρονισμού της κίνησης, χωρίς αναφορά στις δυνάμεις που προκαλούν, ή προκύπτουν από την κίνηση. η κινηματική μιας άσκησης, ή η εκτέλεση μιας αθλητικής δεξιότητας, είναι γνωστή και ως φόρμα, ή τεχνική. Ενώ με την κινηματική περιγράφεται η εμφάνιση της κίνησης, η κινητική αφορά στη μελέτη των δυνάμεων που σχετίζονται με την κίνηση. Η δύναμη μπορεί να είναι μια έλξη, ή μια ώθηση που δρα σε ένα σώμα. Η μελέτη της ανθρώπινης εμβιομηχανικής μπορεί να αφορά σε ερωτήματα, όπως αν η ποσότητα της δύναμης που παράγουν οι μύες είναι η ιδανική για τον επιθυμητό σκοπό της κίνησης.

Αν και η εμβιομηχανική είναι ένα σχετικά νέο πεδίο επιστημονικής έρευνας, τα εμβιομηχανικά ζητήματα ενδιαφέρουν πολλούς επιστημονικούς κλάδους και επαγγελματικά πεδία. Οι εμβιομηχανικοί μπορεί να προέρχονται από την επιστήμη της ζωολογίας, την ορθοπαιδική, την καρδιολογία, την αθλητιατρική, τη βιοϊατρική τεχνολογία, τη φυσικοθεραπεία, ή την κινησιολογία. Ο κοινός παρανομαστής είναι το ενδιαφέρον για τις εμβιομηχανικές παραμέτρους της δομής και της λειτουργίας των έμβιων οργανισμών.

Η εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης είναι μια υποκατηγορία της **κινησιολογίας**, της μελέτης της ανθρώπινης κίνησης. Αν και κάποιοι εμβιομηχανικοί μελετούν θέματα, όπως η μετακίνηση της στρουθοκάμηλου, η αιματική ροή μέσα από στενωτικές αρτηρίες, ή η μικροαποτογράφηση των οδοντικών κοιλοτήτων, το παρόν βιβλίο επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στην εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης από την προοπτική του αναλυτή της κίνησης.

Η εμβιομηχανική επίσης είναι ένας επιστημονικός κλάδος της. Η αθλητιατρική είναι ένας γενικός όρος ομπρέλα, ο οποίος εμπεριέχει τις κλινικές και επιστημονικές παραμέτρους της άσκησης και της άθλησης. Το Αμερικανικό κολέγιο αθλητιατρικής (American College of Sports Medicine – ACSM) είναι ένα παράδειγμα οργανισμού για την αλλη-

μηχανική

κλάδος της φυσικής για την ανάλυση των ενεργειών των δυνάμεων στα σωματίδια και τα μηχανικά συστήματα

στατική

κλάδος της μηχανικής σχετικά με τα συστήματα σε κατάσταση σταθερής κίνησης

δυναμική

κλάδος της μηχανικής σχετικά με συστήματα που υπόκεινται σε επιτάχυνση

κινηματική

μελέτη της περιγραφής της κίνησης, περιλαμβανομένων των ζητημάτων του χρόνου και του χώρου

κινητική

μελέτη της ενέργειας των δυνάμεων

κινησιολογία

μελέτη της ανθρώπινης κίνησης

αθλητιατρική

κλινικές και επιστημονικές παράμετροι της άθλησης και της άσκησης

λεπίδραση μεταξύ επιστημόνων και κλινικών που ενδιαφέρονται για ζητήματα σχετικά με την αθλητιατρική.

Ποια προβλήματα μελετούν οι εμβιομηχανικοί επιστήμονες;

Όπως είναι αναμενόμενο, δεδομένων των διαφόρων επιστημονικών και επαγγελματικών πεδίων που αντιπροσωπεύονται, οι εμβιομηχανικοί μελετούν ποικίλα ερωτήματα, ή προβλήματα. Για παράδειγμα, οι ζωολόγοι έχουν εξετάσει τα πρότυπα μετακίνησης δεκάδων ειδών ζώων, τα οποία βαδίζουν, τρέχουν, τριποδίζουν και καλπάζουν με ελεγχόμενες ταχύτητες πάνω σε κυλιόμενο τάπητα, προκειμένου να προσδιορίσουν γιατί τα ζώα επιλέγουν ένα συγκεκριμένο μήκος και ρυθμό διασκελισμού για μια δεδομένη ταχύτητα. Έχουν βρει ότι με το τρέξιμο καταναλώνεται τελικά λιγότερη ενέργεια από ότι με τη βάδιση σε μικρά ζώα, με μέγεθος μέχρι αυτό του σκύλου, αλλά ότι το τρέξιμο είναι πιο ενεργοβόρο από τη βάδιση για μεγαλύτερα ζώα, όπως είναι τα άλογα (16). Μια από τις προκλήσεις αυτού του είδους έρευνας είναι να ανευρεθεί ο τρόπος να πειστεί μια γάτα, ένας σκύλος, ή μια γαλοπούλα να τρέξουν πάνω σε έναν κυλιόμενο τάπητα (Εικόνα 1-2).

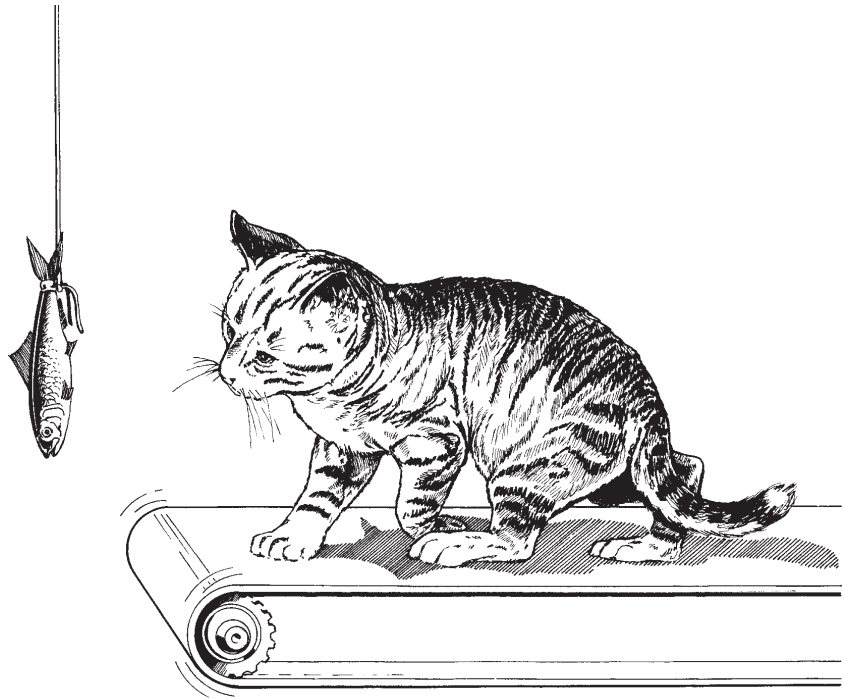
Στους ανθρώπους το ενεργειακό κόστος του τρεξίματος αυξάνεται με την ταχύτητα του τρεξίματος, όπως και με την ποσότητα του βάρους που μεταφέρει ο δρομέας. Έχει παρατηρηθεί ότι οι αρχάριοι δρομείς αναπτύσσουν μια πιο οικονομική κινηματική με την πάροδο μερικών εβδομάδων, καθώς προσαρμόζονται στην προπόνηση (13). Είναι ενδιαφέρον ότι οι ερευνητές έχουν δείξει ότι το τρέξιμο χωρίς υποδήματα, ή με τα μικρότερα δυνατά υποδήματα, είναι πιο οικονομικό από το τρέξιμο με σχετικά υποδήματα, πιθανώς λόγω της αποθήκευσης και της επιστροφής της ελαστικής ενέργειας μέσω του ποδιού (14).

Ο οργανισμός NASA (National Aeronautics and Space Administration) των ΗΠΑ προωθεί μια άλλη διεπιστημονική ερευνητική εμβιομηχανική γραμμή για την κατανόηση της επίδρασης της μικροβαρύτητας στο ανθρώπινο μυοσκελετικό σύστημα. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι αστροναύτες, οι οποίοι έχουν παραμείνει εκτός βαρυτικού πεδίου της Γης για λίγες μόλις ημέρες, επιστρέφουν με μυϊκή ατροφία, μεταβολές στο καρδιαγγειακό και ανοσοποιητικό σύστημα, με μειωμένη οστική πυκνότητα και αντοχή, ειδικά στα κάτω άκρα (20). Το ζήτημα

• Στην έρευνα κάθε νέα μελέτη, διερεύνηση ή πείραμα σχεδιάζεται συνήθως για ένα συγκεκριμένο ερώτημα ή πρόβλημα.

ΕΙΚΟΝΑ 1-2

Από την έρευνα της εμβιομηχανικής σχετικά με τη βάδιση ζώων ανακύπτουν κάποια ενδιαφέροντα προβλήματα.



της οστικής απώλειας, πιο συγκεκριμένα, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για μακροχρόνιες διαστημικές πτήσεις. Η αυξημένη απορρόφηση οστού και η μειωμένη απορρόφηση ασβεστίου φαίνεται ότι αποτελούν τις αιτίες του προβλήματος (βλέπε Κεφάλαιο 4) (19).

Από τις πρώτες ημέρες των διαστημικών πτήσεων οι εμβιομηχανικοί έχουν σχεδιάσει και κατασκευάσει διάφορα μηχανήματα άσκησης για χρήση στο διάστημα, προκειμένου να αντικαταστήσουν τις επίγειες δραστηριότητες διατήρησης του φυσιολογικού οστού. Ένα μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στον σχεδιασμό κυλιόμενων ταπήτων για χρήση στο διάστημα, με τους οποίους φορτίζονται τα οστά των κάτω άκρων με ρυθμό παραμόρφωσης και μηχανικής υπερφόρτισης που είναι ιδανικός για τη διέγερση του σχηματισμού νέου οστού. Μια άλλη προσέγγιση αφορά στον συνδυασμό εκούσιας μυϊκής συστολής με ηλεκτρικό ερεθισμό για τη διατήρηση της μυϊκής μάζας και τόνου (25). Μέχρι τώρα, ωστόσο, δεν έχει βρεθεί κάποιο επαρκές υποκατάστατο για τη φόρτιση του σωματικού βάρους, προκειμένου να προληφθεί η οστική και μυϊκή απώλεια στο διάστημα.

Η διατήρηση της επαρκούς οστικής πυκνότητας είναι ένα ζήτημα και στη Γη. Η οστεοπόρωση είναι μια κατάσταση, στην οποία η οστική πυκνότητα και αντοχή επηρεάζονται τόσο πολύ, έτσι, ώστε οι καθημερινές δραστηριότητες ενδέχεται να προκαλέσουν οστικό πόνο και κάταγμα. Η κατάσταση αυτή εκδηλώνεται στους περισσότερους ηλικιωμένους, εκδηλώνεται νωρίτερα στις γυναίκες και η επίπτωσή της αυξάνεται συνεχώς παγκοσμίως, καθώς αυξάνεται ο μέσος όρος ηλικίας του πληθυσμού. Περίπου το 40% των γυναικών θα παρουσιάσουν ένα, ή περισσότερα οστεοπορωτικά κατάγματα μετά την ηλικία των 50 ετών, ενώ μετά την ηλικία των 60 ετών περίπου το 90% όλων των καταγμάτων σε άνδρες και γυναίκες σχετίζεται με την οστεοπόρωση. Το πιο συχνό σημείο κατάγματος είναι οι σπόνδυλοι, με την παρουσία ενός κατάγματος να αποτελεί ένδειξη για αυξημένο ενδεχόμενο κίνδυνο για μελλοντικό κάταγμα σε σπόνδυλο, ή στο ισχίο (8). Το ζήτημα αναλύεται σε βάθος στο Κεφάλαιο 4.

Ένα άλλο προβληματικό πεδίο για τους εμβιομηχανικούς που μελετούν τους ηλικιωμένους είναι η ελλειμματική κινητικότητα. Η ηλικία σχετίζεται με μειωμένη ισορροπιστική ικανότητα, και οι ηλικιωμένοι λικνίζονται και πέφτουν πιο πολύ από ότι τα νεαρά άτομα, αν και οι λόγοι για τις μεταβολές αυτές δεν είναι καλά κατανοητοί. Οι πτώσεις, και ειδικότερα τα κατάγματα ισχίου σχετικά με πτώσεις, είναι εξαιρετικά σοβαρά, συνήθη και δαπανηρά ιατρικά προβλήματα για τους ηλικιωμένους. Κάθε έτος οι πτώσεις προκαλούν μεγάλα ποσοστά καταγμάτων καρπού, κρανιοεγκεφαλικών κακώσεων, σπονδυλικών καταγμάτων και κακώσεων, όπως και άνω του 90% των καταγμάτων ισχίου στις ΗΠΑ (17). Διάφορες εμβιομηχανικές ερευνητικές ομάδες διερευνούν τους εμβιομηχανικούς παράγοντες που επιτρέπουν στα άτομα να αποφεύγουν τις πτώσεις, τα χαρακτηριστικά της ασφαλούς προσγείωσης μετά από πτώση, τις δυνάμεις που επιβάλλονται στα διάφορα μέρη του σώματος κατά τη διάρκεια μιας πτώσης, όπως και τη δυνατότητα του προστατευτικού ρουχισμού και πατώματος να αποτρέπουν κακώσεις λόγω πτώσης (17). Από υποσχόμενες έρευνες για την ανάπτυξη στρατηγικών παρέμβασης προκύπτει ότι το σημείο κλειδί για την πρόληψη των πτώσεων ενδέχεται να είναι η ικανότητα περιορισμού της κίνησης του κορμού (7). Οι ηλικιωμένοι μπορούν να μάθουν γρήγορα στρατηγικές για τον περιορισμό της κίνησης του κορμού μέσω εργοεξειδικευμένης εκπαίδευσης, σε συνδυασμό με ασκήσεις για ολόκληρο το σώμα.

Από την κλινική εμβιομηχανική έρευνα έχουν προκύψει αποτελέσματα για τη βελτίωση της βάδισης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση, μια κατάσταση που αφορά σε υψηλά επίπεδα μυϊκής τάσης και σπαστικότητα. Η βάδιση ενός ατόμου με εγκεφαλική παράλυση χαρακτηρίζεται από υπερβολική κάμψη γόνατος κατά τη διάρκεια της φάσης στάσης. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χειρουργική επιμήκυνση των τενόντων των οπίσθιων μηριαίων για τη βελτίωση της έκτασης γόνατος κατά τη διάρκεια της βάδισης. Σε κάποιους ασθενείς,

• *Η USOC ξεκίνησε να χρηματοδοτεί την έρευνα στην αθλητιατρική το 1981. Άλλες χώρες ξεκίνησαν να χρηματοδοτούν την έρευνα για να βελτιώσουν τις επιδόσεις κορυφαίων αθλητών στις αρχές της δεκαετίας 1970-80.*

• *Οι δοκιμασίες πρόσκρουσης των προστατευτικών αθλητικών κρανών διεξάγεται με επιστημονικό τρόπο σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια.*

βελτίωση, ένα μέρος της επιτυχίας του Oerter ήταν το αποτέλεσμα της καλύτερης τεχνικής μετά από την εμβιομηχανική ανάλυση (18). Οι περισσότερες τροποποιήσεις της τεχνικής υψηλού επιπέδου αθλητών οδηγούν σε σχετικά μέτριες βελτιώσεις, επειδή οι επιδόσεις τους σχετίζονταν ήδη με άνω του μέσου όρου τεχνική.

Ένα μέρος της έρευνας των αθλητικών εμβιομηχανικών έχει γίνει σε συνεργασία με το Τμήμα αθλητιατρικής της Ολυμπιακής Επιτροπής των ΗΠΑ (United States Olympic Committee – USOC). Τυπικά, η έρευνα αυτή γίνεται με άμεση συνεργασία με τον εθνικό προπονητή του αθλήματος έτσι, ώστε να εξασφαλιστεί η πρακτική εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Από την έρευνα μέσω της χορηγίας της USOC έχουν προκύψει πολλές νέες πληροφορίες για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κορυφαίων επιδόσεων σε διάφορα αθλήματα. Εξαιτίας των συνεχών εξελίξεων στην επιστημονική ανάλυση του εξοπλισμού, ο ρόλος του αθλητικού εμβιομηχανικού στη βελτίωση των επιδόσεων πιθανότατα θα είναι πιο σημαντικός μελλοντικά.

Η επιρροή της εμβιομηχανικής γίνεται αισθητή και σε αθλήματα που είναι δημοφιλή στο γενικό μη αθλητικό πληθυσμό, όπως είναι το γκολφ. στα γήπεδα γκολφ και τα καταστήματα που πωλούν σχετικό εξοπλισμό διατίθενται βιντεοσκοπημένες αναλύσεις μέσω υπολογιστή από εμβιομηχανικούς. Η επιστήμη της εμβιομηχανικής μπορεί να παίξει ρόλο στη βελτιστοποίηση της απόστασης και της ακρίβειας όλων των χτυπημάτων στο γκολφ, μέσω της ανάλυσης των γωνιών του σώματος, των δυνάμεων στις αρθρώσεις και των προτύπων της μυϊκής δραστηριοποίησης (24). Μια συχνή σύσταση για την τεχνική είναι η διατήρηση ενός σταθερού κέντρου περιστροφής για τη μετάδοση της δύναμης στο μπαλάκι (11).

Άλλα ζητήματα που απασχολούν τους αθλητικούς εμβιομηχανικούς αφορούν στην ελαχιστοποίηση των αθλητικών κακώσεων μέσω του εντοπισμού επισφαλών τακτικών και του σχεδιασμού ασφαλούς εξοπλισμού και ένδυσης. Για παράδειγμα, από την έρευνα σε δρομείς αναφυκτικής έχει προκύψει ότι οι πιο σοβαροί ενδεχόμενοι κίνδυνοι για κακώσεις υπέρχρησης είναι τα προπονητικά σφάλματα, όπως είναι η ξαφνική αύξηση της διανυόμενης απόστασης, ή της έντασης, η υπερβολική συσσώρευση διανυόμενων αποστάσεων, και το τρέξιμο σε ανώμαλες επιφάνειες (6). Η πολυπλοκότητα των ζητημάτων σχετικά με την ασφάλεια επιτείνεται όταν το άθλημα βασίζεται στη χρήση εξοπλισμού. Η αξιολόγηση των προστατευτικών κρανών αφορά όχι μόνο στην παροχή αξιόπιστης προστασίας, αλλά επίσης και στον έλεγχο ότι το κράνος δεν περιορίζει υπερβολικά την περιφερειακή όραση του χρήστη.

Μια επιπρόσθετη επιπλοκή είναι ότι ο εξοπλισμός που έχει σχεδιαστεί για την παροχή προστασίας σε ένα τμήμα του σώματος, ενδέχεται να συμβάλλει στην πιθανότητα πρόκλησης κάκωσης σε ένα άλλο τμήμα του μυοσκελετικού συστήματος. Οι σύγχρονες μπότες χιονοδρομίες και οι ιμάντες τους, αν και προστατεύουν αποτελεσματικά την ποδοκνημική και το κάτω τμήμα της κνήμης από τραυματισμούς, δυστυχώς συμβάλλουν στην παραγωγή ροπών στρέψης στο γόνατο, όταν ο χιονοδρόμος χάνει την ισορροπία του.

Οι ερασιτέχνες αθλητές Αλπικής χιονοδρομίας, κατά συνέπεια, παρουσιάζουν υψηλότερη επίπτωση ρήξης πρόσθιου χιαστού συνδέσμου από όλους τους αθλητές άλλων αγωνισμάτων (15). Οι κακώσεις στη χιονοσανίδα είναι επίσης πιο συχνές όταν χρησιμοποιούνται άκαμπτες, ή ευλύγιστες μπότες, αν και περισσότερες από τις μισές κακώσεις στη χιονοσανίδα αφορούν στο άνω άκρο (23).

Ένα πεδίο της εμβιομηχανικής έρευνας που αφορά στην ασφάλεια και στις επιδόσεις είναι ο σχεδιασμός του υποδήματος. Τα σύγχρονα αθλητικά υποδήματα έχουν σχεδιαστεί για να προλαμβάνουν την υπερβολική φόρτιση και τις σχετικές κακώσεις και για να επαυξάνουν τις επιδόσεις. Επειδή το έδαφος, ή η επιφάνεια του αγωνιστικού χώρου, το υπόδημα και το ανθρώπινο σώμα αποτελούν ένα αλληλεπιδραστικό σύστημα, τα αθλητικά υποδήματα έχουν εξειδικευμένο σχεδιασμό ανάλογα με το άθλημα την επιφάνεια και διάφορα ανατομικά ζητήματα. Τα

υποδήματα του ράγκμπι για χρήση σε τεχνητό τάπητα έχουν σχεδιαστεί για την ελαχιστοποίηση του ενδεχόμενου κινδύνου για τραυματισμό του γόνατος. Διατίθενται υποδήματα για τρέξιμο για εκπαίδευση και αγωνιστική δραστηριότητα στο χιόνι και στον πάγο. Στην πράξη τα σύγχρονα αθλητικά υποδήματα διαθέτουν πλέον τόσο εξειδικευμένο σχεδιασμό για συγκεκριμένες δραστηριότητες, ώστε η χρήση ενός ακατάλληλου υποδήματος μπορεί να συμβάλλει στην πιθανότητα κάκωσης. Μια νέα θεώρηση είναι το τρέξιμο χωρίς υποδήματα, ή με την ελάχιστη προστασία του ποδιού, είναι πιο οικονομικό και συμβάλλει στην προστασία έναντι κακώσεων σχετικών με δρομικές δραστηριότητες.

Από τα παραδείγματα αυτά αναδεικνύεται η ποικιλία των θεμάτων, με τα οποία ασχολείται η εμβιομηχανική έρευνα, με κάποια παραδείγματα επιτυχιών και κάποια πεδία όπου υπάρχουν προκλήσεις. Είναι ξεκάθαρο ότι οι εμβιομηχανικοί συμβάλλουν στη βελτίωση της γνωσιακής βάσης για το πλήρες εύρος της ανθρώπινης κίνησης, από τη βάδιση ενός παιδιού με σωματικά ελλείμματα μέχρι την τεχνική ενός κορυφαίου αθλητή. Αν και πολυδιάστατη, η έρευνα αυτή βασίζεται στην εφαρμογή αρχών της μηχανικής για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων σε έμβιους οργανισμούς. Το παρόν βιβλίο αποτελεί μια εισαγωγή σε πολλές από τις αρχές αυτές και εστιάζεται σε μερικούς από τους τρόπους, με τους οποίους οι εμβιομηχανικές αρχές μπορούν να εφαρμοστούν για την ανάλυση της ανθρώπινης κίνησης.

Τι προσφέρει η μελέτη της εμβιομηχανικής;

Όπως καθίσταται προφανές από την προηγούμενη ενότητα, οι εμβιομηχανικές αρχές εφαρμόζονται από τους επιστήμονες και τους επαγγελματίες σε διάφορα πεδία για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με την ανθρώπινη υγεία και επιδόσεις. Η γνώση των βασικών εμβιομηχανικών εννοιών είναι απαραίτητο στοιχείο ενός ικανού καθηγητή φυσικής αγωγής, φυσικοθεραπευτή, ιατρού, προπονητή, ή ειδικού άσκησης.

Από ένα εισαγωγικό μάθημα στην εμβιομηχανική παρέχεται μια βασική κατανόηση των αρχών της μηχανικής και των εφαρμογών τους για την ανάλυση της ανθρώπινης κίνησης. Ο αναλυτής της ανθρώπινης κίνησης πρέπει να είναι σε θέση να απαντήσει στα παρακάτω τύπου ερωτήματα σχετικά με την εμβιομηχανική: Γιατί η κολύμβηση δεν είναι η καλύτερη μορφή άσκησης για τα άτομα με οστεοπόρωση; Ποια είναι η εμβιομηχανική αρχή, στην οποία βασίζονται τα μηχανήματα άσκησης με μεταβλητή αντίσταση; Ποιος είναι ο ασφαλέστερος τρόπος ανύψωσης ενός αντικειμένου; Είναι εφικτό να καθοριστεί ποιες κινήσεις είναι περισσότερο/λιγότερο οικονομικές βάσει οπτικής παρατήρησης; Ποια πρέπει να είναι η γωνία ρίψης μιας μπάλας για τη μέγιστη δυνατή αντίσταση; Από ποια γωνία και απόσταση είναι καλύτερο να παρατηρηθεί ένας ασθενής να βαδίζει προς τα κάτω σε μια ράμπα, ή ένας παίκτης της πετοσφαίρισης όταν επαναφέρει τη μπάλα; Ποιες στρατηγικές χρησιμοποιεί ένας ηλικιωμένος, ή ένας αμυντικός στο ράγκμπι για να βελτιστοποιήσει τη σταθερότητά του; Γιατί δεν μπορούν κάποια άτομα να επιπλεύσουν;

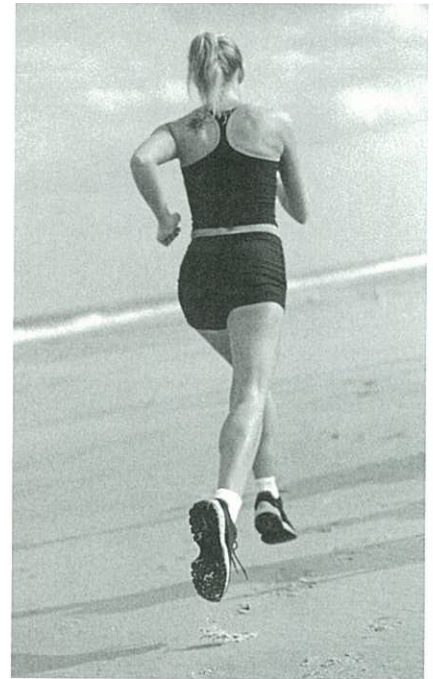
Η μελέτη των στόχων στην αρχή κάθε κεφαλαίου είναι ένας καλός τρόπος να τονιστεί το εύρος των εμβιομηχανικών ζητημάτων που καλύπτονται σε εισαγωγικό επίπεδο. Για όσους επιθυμούν μια καριέρα σχετικά με την οπτική παρατήρηση και ανάλυση της ανθρώπινης κίνησης, η γνώση των θεμάτων αυτών θα είναι ανεκτίμητη.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Η επιστημονική έρευνα συνήθως στοχεύει στην παροχή μιας λύσης για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, ή μιας απάντησης σε ένα συγκεκριμένο ερώτημα. Ακόμη και για τον μη ερευνητή, όμως, η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων είναι μια πρακτική αναγκαιότητα για τη λειτουργία εντός μιας σύγχρονης κοινωνίας. Η χρήση εξειδικευμένων προβλημάτων είναι επίσης μια αποτελεσματική προσέγγιση για την ανάδειξη βασικών εμβιομηχανικών εννοιών.



Οι μπότς Άλπικής χιονοδρομίας μπορούν να επαυξήσουν τις πιθανότητες για κάκωση στο γόνατο, όταν ο χιονοδρόμος απολέσει την ισορροπία του.
© Photodisc/Getty Images.



Τα υποδήματα για δρομικές δραστηριότητες είναι πλέον πολύ εξειδικευμένα. Ingram Publishing



Ένας παγοδρόμος έχει την τάση να συνεχίσει να ολισθαίνει με σταθερή ταχύτητα και κατεύθυνση λόγω της αδράνειας. © Susan Hall.

αδράνεια

η τάση ενός σώματος να αντιστέκεται στη μεταβολή της κινητικής του κατάστασης

Όταν οι μύες στις αντίθετες πλευρές μιας άρθρωσης αναπτύσσουν εφελκυσμό, τι καθορίζει την κατεύθυνση της κίνησης της άρθρωσης; Προς ποια κατεύθυνση θα κολυμπήσει ένας κολυμβητής που κινείται κάθετα προς το ρεύμα του ποταμού; Τι καθορίζει αν μια ώθηση μπορεί να μετακινήσει ένα βαρύ έπιπλο; Οι απαντήσεις για τα ερωτήματα αυτά βασίζονται στην κινητική, τη μελέτη των δυνάμεων.

Το ανθρώπινο σώμα παράγει και αντιστέκεται σε δυνάμεις κατά τη διάρκεια των καθημερινών δραστηριοτήτων. Οι δυνάμεις της βαρύτητας και της τριβής επιτρέχουν τη βάδιση και τον χειρισμό αντικειμένων με προβλέψιμους τρόπους όταν οι μύες παράγουν τις εσωτερικές δυνάμεις. Η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες αφορά στην εφαρμογή των δυνάμεων σε ρακέτες, ρόπαλα και άλλο αθλητικό εξοπλισμό και στην απορρόφηση δυνάμεων μετά από πρόσκρουση με μια μπάλα, το έδαφος ή το πάτωμα, ή έναν αντίπαλο σε αθλήματα επαφής. Στο παρόν κεφάλαιο εισάγονται βασικές κινητικές έννοιες που αποτελούν τη βάση για την κατανόηση των δυνατοτήτων αυτών.

Βασικές έννοιες σχετικά με την κινητική

Η κατανόηση των εννοιών της αδράνειας, της μάζας, του βάρους, της πίεσης, του όγκου, της πυκνότητας, του ειδικού βάρους, της ροπής στρέψης και της ώθησης αποτελεί μια χρήσιμη βάση για την κατανόηση των επιδράσεων των δυνάμεων.

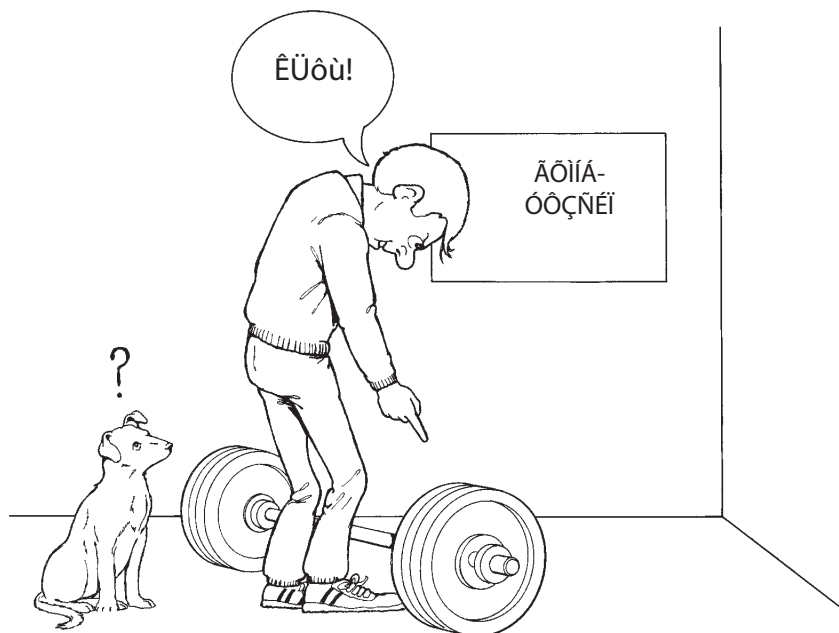
Αδράνεια

Στην καθομιλουμένη η **αδράνεια** σημαίνει την αντίσταση στη δράση, ή στην αλλαγή (Εικόνα 3-1). Παρομοίως, ο μηχανικός ορισμός είναι η αντίσταση στην επιτάχυνση. Η αδράνεια είναι η τάση ενός σώματος να διατηρεί την τρέχουσα κινητική του κατάσταση, είτε είναι ακίνητο, είτε κινείται με σταθερή ταχύτητα. Για παράδειγμα, μια ράβδος που ζυγίζει 150 kg και είναι ακίνητο στο έδαφος, έχει την τάση να παραμένει ακίνητη. Ένας παγοδρόμος που ολισθαίνει πάνω σε μια λεία επιφάνεια από πάγο έχει την τάση να συνεχίσει να ολισθαίνει σε ευθεία γραμμή με σταθερή ταχύτητα.

Αν και η αδράνεια δεν έχει μονάδες μέτρησης, η ποσότητα της αδράνειας που διαθέτει ένα σώμα είναι ευθέως ανάλογη προς τη μάζα. Όσο

ΕΙΚΟΝΑ 3-1

Ένα στατικό αντικείμενο τείνει να διατηρήσει την ακίνητή του κατάσταση λόγω της αδράνειας.



περισσότερη μάζα έχει ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο τείνει να διατηρεί την τρέχουσα κινητική κατάστασή του και τόσο πιο δύσκολο είναι να διαταραχθεί η κατάσταση αυτή.

Μάζα

Η **μάζα** (m) είναι η ποσότητα της ύλης, από την οποία αποτελείται ένα σώμα. Η πιο συχνή μονάδα μέτρησης στο μετρικό σύστημα είναι το χιλιόγραμμα (kg), ενώ η αγγλική μονάδα για τη μάζα είναι το *slug*, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από το kg .

μάζα

ποσότητα της ύλης που περιέχεται σε ένα αντικείμενο

Δύναμη

Μια δύναμη (F) μπορεί να θεωρηθεί ως μια ώθηση, ή έλξη που δρα πάνω σε ένα σώμα. Κάθε δύναμη χαρακτηρίζεται από το μέγεθός της, την κατεύθυνση και το σημείο εφαρμογής σε ένα δεδομένο σώμα. Το βάρος του σώματος, η τριβή και η αντίσταση του αέρα, ή του νερού είναι όλες δυνάμεις που δρουν συχνά στο ανθρώπινο σώμα. Η δράση μιας δύναμης προκαλεί την επιτάχυνση της μάζας του σώματος:

$$F = ma$$

Οι μονάδες δύναμης είναι το γινόμενο μονάδων μάζας επί μονάδων επιτάχυνσης (a). Στο μετρικό σύστημα η πιο κοινή μονάδα δύναμης είναι το Newton (N), η οποία είναι η ποσότητα της δύναμης που απαιτείται για την επιτάχυνση μάζας 1 kg κατά 1 m/s^2 :

$$1 \text{ N} = (1 \text{ kg})(1 \text{ m/s}^2)$$

Στο Αγγλικό σύστημα η πιο κοινή μονάδα μέτρησης δύναμης είναι η λίβρα (lb). Μια λίβρα δύναμης είναι η ποσότητα της δύναμης που χρειάζεται για την επιτάχυνση μάζας 1 slug κατά 1 ft/s^2 , και 1 lb ισούται με 4.45 N :

$$1 \text{ lb} = (1 \text{ slug})(1 \text{ ft/s}^2)$$

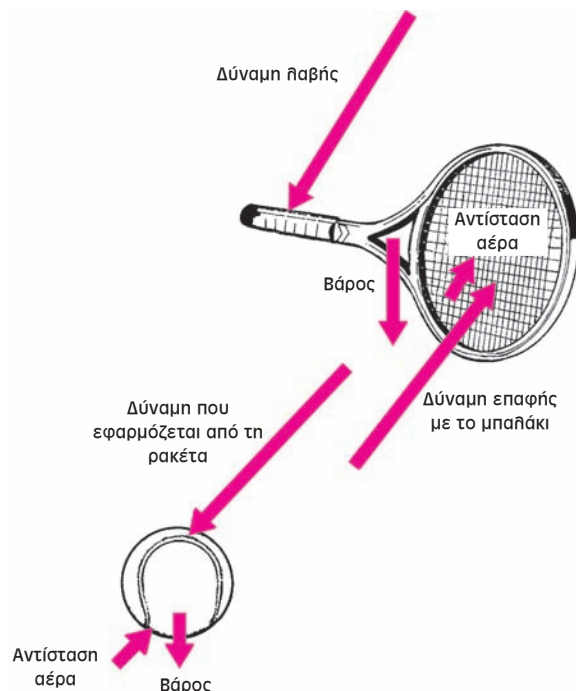
Επειδή τις περισσότερες φορές δρα ταυτόχρονα ένας αριθμός δυνάμεων, κατασκευή ενός **διαγράμματος ελεύθερου σώματος** είναι συνήθως το πρώτο βήμα για την ανάλυση των επιδράσεων των δυνάμεων σε ένα σώμα, ή σύστημα. Ελεύθερο σώμα μπορεί να είναι κάθε αντικείμενο, σώμα, ή μέρος του σώματος, το οποίο αποτελεί το επίκεντρο της ανάλυ-

δύναμη

ώθηση ή έλξη, το γινόμενο μάζας και επιτάχυνσης

διάγραμμα ελεύθερου σώματος

σχέδιο όπου φαίνεται ένα ορισμένο σύστημα σε απομόνωση με όλα τα διανύσματα των δυνάμεων που ενεργούν στο σύστημα

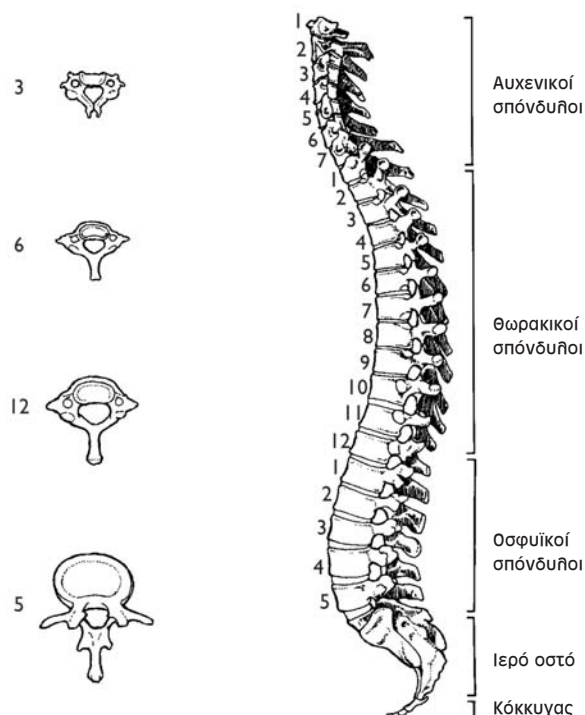


ΕΙΚΟΝΑ 3-2

Δύο διαγράμματα ελεύθερων σωμάτων όπου φαίνονται οι ενεργές δυνάμεις.

ΕΙΚΟΝΑ 3-7

Το εμβαδόν της επιφάνειας των σπονδυλικών σωμάτων αυξάνεται όσο περισσότερο βάρος υποστηρίζεται.



σημείο κήλης δίσκου, αν και άλλοι παράγοντες ενδέχεται να έχουν κάποιον ρόλο (βλέπε Κεφάλαιο 9). Η ποσοστοποίηση της μηχανικής καταπόνησης παρουσιάζεται στο Ενδεικτικό Πρόβλημα 3.3.

κάμψη

ασύμμετρη φόρτιση που παράγει εφελκυσμό στη μια πλευρά του επιμήκους άξονα του σώματος και συμπίεση στην άλλη πλευρά

αξονικός

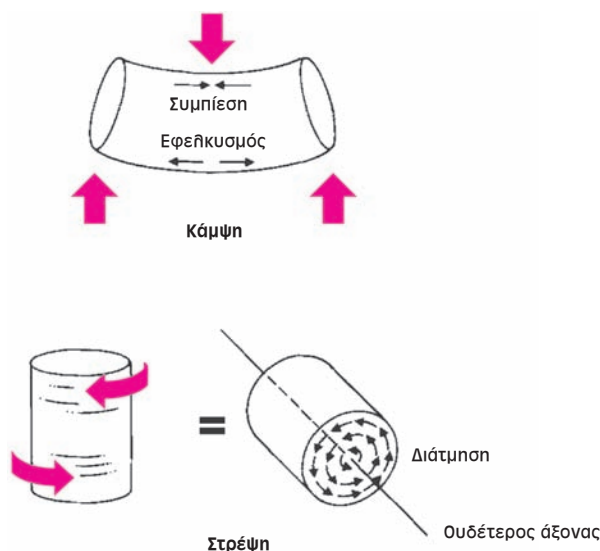
κατευθύνεται κατά μήκος του διαμήκη άξονα ενός σώματος

Συστροφή, Κάμψη και συνδυασμένες φορτίσεις

Ένας κάπως πιο πολύπλοκος τύπος φόρτισης είναι η **κάμψη**. Η γνήσια συμπίεση και εφελκυσμός είναι και οι δύο **αξονικές** δυνάμεις, δηλαδή κατευθύνονται κατά μήκος του διαμήκη άξονα της επηρεαζόμενης δομής. Όταν μια έκκεντρη (ή μη αξονική) δύναμη εφαρμόζεται σε μια δομή, η δομή κάμπτεται (λυγίζει), οπότε παράγεται συμπιεστική μηχανική καταπόνηση στη μια πλευρά και εφελκυστική μηχανική καταπόνηση στην αντίθετη πλευρά (Εικόνα 3-8).

ΕΙΚΟΝΑ 3-8**(Αντί στρέψη Συστροφή)**

Τα αντικείμενα που φορτίζονται σε κάμψη υπόκεινται σε συμπίεση στη μια πλευρά και σε εφελκυσμό στην άλλη. Τα αντικείμενα που φορτίζονται σε συστροφή αναπτύσσουν εσωτερική διατμητική μηχανική τάση, με τη μέγιστη τάση να εντοπίζεται στην περιφέρεια και καθόλου τάση στον ουδέτερο άξονα.



ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3.3

Πόση συμπίεστική μηχανική τάση εφαρμόζεται στον μεσοσπονδύλιο δίσκο Ο1-Ο2 μιας γυναίκας βάρους 625 N, δεδομένου ότι περίπου το 45% του σωματικού βάρους υποστηρίζεται από τον δίσκο (α) όταν στέκεται όρθια στην ανατομική θέση και (β) όταν στέκεται όρθια κρατώντας μια αποσκευή βάρους 222 N; (Υποθέστε ότι η αποσκευή έχει οριζόντιο προσανατολισμό και ότι το εμβαδόν της είναι 20 cm²).

Λύση

1. Δεδομένα: $F = (625)(0.45)$

$$A = 20 \text{ cm}^2$$

Τύπος: $\text{τάση} = F/A$
 $(625 \text{ N})(0.45)/20 \text{ cm}^2$
 $\text{τάση} = 14 \text{ N/cm}^2$

2. Δεδομένα: $F = (625\text{N})(0.45) + 222 \text{ N}$

Τύπος: $\text{τάση} = F/A$
 $\text{τάση} =$
 $\text{τάση} = 25.2 \text{ N/cm}^2$

Η **συστροφή** λαμβάνει χώρα όταν η δομή αναγκάζεται να περιστραφεί γύρω από τον διαμήκη άξονά της, τυπικά όταν ένα άκρο αυτής είναι καθηλωμένο. Τα στρεπτικά κατάγματα κνήμης στο ράγκμπι είναι σύνηθες φαινόμενο, όπως και σε ατυχήματα σε χιονοδρομία, όπου το πόδι είναι καθηλωμένο σε μια θέση, ενώ το υπόλοιπο σώμα συστρέφεται.

Η παρουσία περισσότερων της μιας μορφών φόρτισης είναι γνωστή ως **συνδυασμένη φόρτιση**. Επειδή το ανθρώπινο σώμα υπόκειται σε μυριάδες ταυτόχρονα εφαρμοζόμενες δυνάμεις κατά τη διάρκεια καθημερινών δραστηριοτήτων, αυτός είναι ο πιο συχνό τύπος φόρτισης του σώματος.

συστροφή

περιστροφή του σώματος που παράγει φόρτιση γύρω από τον διαμήκη άξονά του

συνδυασμένη φόρτιση

ταυτόχρονη ενέργεια περισσότερων της μιας γνήσιων μορφών φόρτισης

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Όταν μια δύναμη ενεργεί σε ένα αντικείμενο, υπάρχουν δύο πιθανές επιδράσεις. Η πρώτη είναι η επιτάχυνση, και η δεύτερη είναι η παραμόρφωση, η αλλαγή του σχήματος δηλαδή. Όταν ένας δύτες εφαρμόζει δύναμη στην άκρη του βατήρα, ο βατήρας επιταχύνεται και παραμορφώνεται. Η ποσότητα της παραμόρφωσης που εκδηλώνεται ως απόκριση σε μια δεδομένη δύναμη εξαρτάται από την ακαμψία του αντικειμένου, στο οποίο εφαρμόζεται η δύναμη.

Όταν εφαρμόζεται μια εξωτερική δύναμη στο ανθρώπινο σώμα, το ενδεχόμενο πρόκλησης μιας κάκωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ανάμεσα σε αυτούς είναι η τιμή και η κατεύθυνση της δύναμης, όπως και το εμβαδόν της επιφάνειας κατανομής της δύναμης. Επίσης σημαντικές, ωστόσο, είναι και οι φυσικές ιδιότητες των φορτιζόμενων ιστών του σώματος.

Η σχέση μεταξύ της ποσότητας της εφαρμοζόμενης δύναμης σε μια δομή και της απόκρισης της δομής αποδίδεται με μια καμπύλη φόρτισης-παραμόρφωσης (Εικόνα 3-9). Στην περίπτωση μικρών σχετικών φορτίσεων λαμβάνει χώρα παραμόρφωση, αλλά η απόκριση είναι ελαστική, κάτι που σημαίνει ότι κατά την άρση της δύναμης η δομή επανέρχεται στο αρχικό μέγεθος και σχήμα. Επειδή τα πιο άκαμπτα υλικά επιδεικνύουν λιγότερη παραμόρφωση ως απόκριση σε μια δεδομένη φόρτιση, η μεγαλύτερη ακαμψία αποδίδεται ως πιο έντονη κλίση στην καμπύλη φόρτισης-παραμόρφωσης στην ελαστική περιοχή. Αν η εφαρμοζόμενη δύναμη προκαλέσει παραμόρφωση, η οποία υπερβαίνει το **όριο ελαστικότητας** της δομής, τότε η απόκριση θα είναι πλαστική, κάτι που σημαίνει ότι κάποιο ποσοστό της παραμόρφωσης θα είναι μόνιμο.

παραμόρφωση

μεταβολή του σχήματος

όριο ελαστικότητας

σημείο στην καμπύλη φόρτισης-παραμόρφωσης, μετά το οποίο η παραμόρφωση είναι μόνιμη

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ _____

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ _____

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Χρησιμοποιείτε έναν χάρακα για να μετρήσετε τις διαστάσεις της σόλας ενός από τα υποδήματά σας σε εκατοστόμετρα. Με όσο περισσότερη ακρίβεια είναι εφικτή υπολογίστε κατά προσέγγιση το εμβαδόν της σόλας. (Αν έχετε το κατάλληλο εργαλείο, μπορείτε να υπολογίσετε με μεγαλύτερη ακρίβεια το εμβαδόν μετρώντας την περίμετρο της σόλας). Γνωρίζοντας το σωματικό σας βάρος, υπολογίστε την ποσότητα της πίεσης που ασκείται πάνω από τη σόλα του ενός υποδήματος. Πόση μεταβολή της πίεσης θα προκύψει αν μεταβάλλονταν το σωματικό σας βάρος κατά 22 N (5 lb);

Υπολογισμός εμβαδού: _____

Εμβαδόν: _____

Σωματικό βάρος: _____

Υπολογισμός πίεσης: _____

Πίεση: _____

Υπολογισμός πίεσης με μεταβολή 22 N (5 lb) του σωματικού βάρους: _____

Πίεση: _____

2. Τοποθετήστε ένα μεγάλο δοχείο γεμάτο κατά τα τρία τέταρτα με νερό πάνω σε μια ζυγαριά και καταγράψτε το βάρος του. Για τον υπολογισμό του όγκου ενός αντικείμενου, βυθίστε εντελώς το αντικείμενο εντός του δοχείου, κρατώντας το ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού. Καταγράψτε τη μεταβολή του βάρους στη ζυγαριά. Αφαιρέστε το αντικείμενο από το δοχείο. Χύστε προσεκτικά νερό από το δοχείο σε έναν δοσομετρητή μέχρι το δοχείο να ζυγίζει το αρχικό του βάρος, μείον τη μεταβολή του βάρους που καταγράφηκε. Ο όγκος του νερού στο δοσομετρητή είναι ο όγκος του βυθισμένου αντικείμενου. (Βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείτε τις σωστές μονάδες μέτρησης για την καταγραφή του όγκου).

Βάρος δοχείου με νερό: _____

Μεταβολή βάρους με το βυθισμένο αντικείμενο: _____

Όγκος αντικείμενου: _____

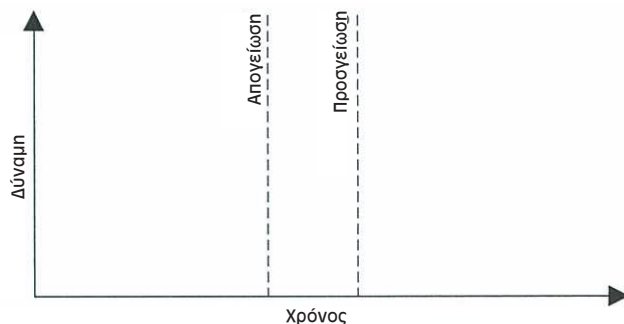
3. Καθλώστε την μια άκρη ενός μολυβιού με μια μέγγενη. Πιάστε την άλλη άκρη του μολυβιού με ένα κλειδί και εφαρμόστε μια καμπτική φόρτιση στο μολύβι μέχρι να αρχίσει να σπάει. Παρατηρήστε τη φύση της θραύσης.

Σε ποια πλευρά του μολυβιού ξεκίνησε η θραύση; _____

Είναι το μολύβι πιο ανθεκτικό στη συμπίεση, ή στον εφελκυσμό; _____

Επαναλάβετε την άσκηση χρησιμοποιώντας ένα άλλο μολύβι και εφαρμόζοντας μια φόρτισης συστροφής. Πώς ερμηνεύετε τη φύση της αρχικής θραύσης όσον αφορά στην κατανομή της διατμητικής καταπόνησης εντός του μολυβιού;

4. Πειραματιστείτε ωθώντας ανοικτή μια πόρτα μέσω της εφαρμογής δύναμης με το ένα δάκτυλο. Εφαρμόστε δύναμη σε απόσταση 10 cm, 20 cm, 30 cm και 40 cm από τους αρμούς. Γράψτε μια σύντομη παράγραφο όπου εξηγείται σε ποια απόσταση εφαρμογής της δύναμης είναι πιο εύκολο/δύσκολο να ανοίξετε την πόρτα.
5. Σταθείτε πάνω σε μια ζυγαριά μπάνιου και εκτελέστε ένα κατακόρυφο άλμα, ενώ κάποιος άλλος παρατηρεί προσεκτικά το πρότυπο μεταβολής του καταγραφόμενου βάρους στη ζυγαριά. Επαναλάβετε το άλμα αρκετές φορές, όσες χρειαστεί ο παρατηρητής για να καθορίσει το πρότυπο. Αλλάξτε θέσεις και παρατηρείστε το πρότυπο μεταβολής του βάρους ενώ το άλλο άτομο εκτελεί το άλμα. Από κοινού σχεδιάστε ένα γράφημα της μεταβολής της εφαρμοζόμενης δύναμης (κατακόρυφος άξονας) στον χρόνο (οριζόντιος άξονας) κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του κατακόρυφου άλματος.



Τι αντιπροσωπεύει η περιοχή κάτω από την καμπύλη; _____



Η μέση κερκιδωλενική άρθρωση είναι ένα παράδειγμα συνδέσμων, όπου τα οστά συγκρατούνται μαζί μέσω ινώδους ιστού. Ευγενική παραχώρηση από McGraw-Hill Companies, Inc.



Οι στερνοκλειδικές αρθρώσεις είναι παραδείγματα συγχονδρώσεων, όπου τα αρθρούμενα οστά ενώνονται μέσω μιας λεπτής στιβάδας υαλώδη χόνδρου. Ευγενική παραχώρηση από McGraw-Hill Companies, Inc.

Οι αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος καθοδηγούν την κατευθυντικότητα των τμημάτων του σώματος. Η ανατομική δομή μιας δεδομένης άρθρωσης, π.χ. ένα μη τραυματισμένο γόνατο, δεν διαφέρει πολύ από άτομο σε άτομο, όπως και οι κατευθύνσεις προς τις οποίες επιτρέπεται να κινηθούν τα σχετικά τμήματα σώματος, όπως είναι ο μηρός και η κνήμη. Ωστόσο, οι διαφορές στη σχετική ανελαστικότητα ή χαλαρότητα των περιβαλλόντων μαλακών μορίων οδηγούν σε διαφορές του εύρους τροχιάς της κίνησης. Στο παρόν κεφάλαιο θα συζητηθούν οι εμβιομηχανικές παράμετροι της λειτουργίας των αρθρώσεων, περιλαμβανομένων των εννοιών της σταθερότητας και της ευκαμψίας της άρθρωσης, όπως και οι σχετικές επιπτώσεις για την πιθανότητα κάκωσης.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ

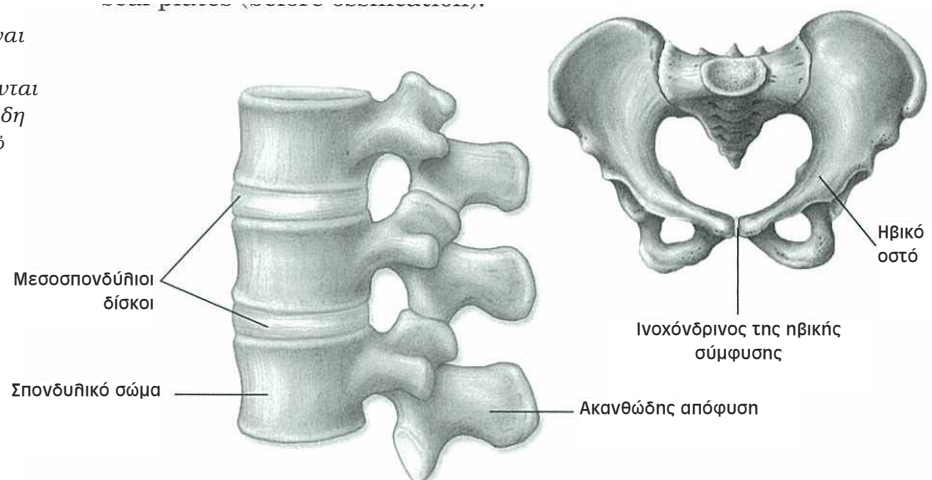
Οι ανατόμοι έχουν κατηγοριοποιήσει τις αρθρώσεις με αρκετούς τρόπους, βάσει της πολυπλοκότητας της άρθρωσης, τον αριθμό των αξόνων, της γεωμετρίας της άρθρωσης, ή των δυνατοτήτων για κίνηση. Επειδή το παρόν βιβλίο επικεντρώνεται στην ανθρώπινη κίνηση, παρουσιάζεται ένα σύστημα ταξινόμησης των αρθρώσεων βάσει των δυνατοτήτων για κίνηση.

Μη κινούμενες αρθρώσεις

1. Συναρθρώσεις: Πρόκειται για ινώδεις αρθρώσεις που εξασθενούν τις δυνάμεις (απορρόφηση κραδασμών), αλλά επιτρέπουν λίγη, ή καθόλου κίνηση των διαρθρούμενων οστών.
 - α. Ραφές: Στις αρθρώσεις αυτές οι ακανόνιστες αρθρικές επιφάνειες των οστών διαθέτουν αύλακες και ενώνονται και συνδέονται στενά μεταξύ τους μέσω ινών, οι οποίες αποτελούν συνέχεια του περιόστεου. Οι ίνες ξεκινούν να οστεοποιούνται στην αρχή της ενήλικης ζωής και τελικά αντικαθίστανται εντελώς από οστό. Το μόνο παράδειγμα τέτοιων αρθρώσεων στο ανθρώπινο σώμα είναι οι ραφές του κρανίου.
 - β. Συνδεσμώσεις: Στις αρθρώσεις αυτές τα οστά συνδέονται από πυκνό ινώδη ιστό, οπότε η επιτρεπόμενη κινητικότητα είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Σχετικά παραδείγματα είναι η ακρωμιοκορακοειδής, η μέση κερκιδωλενική, η μέση κνημοπερονιαία και η κάτω κνημοπερονιαία άρθρωση.

Ελαφρώς κινούμενες αρθρώσεις

1. Αμφιαρθρώσεις: Αυτές οι χόνδρινες αρθρώσεις εξασθενούν τις εφαρμοζόμενες αρθρώσεις και επιτρέπουν περισσότερη κίνηση στα παρακείμενα οστά από ότι οι συναρθρώσεις.



Ο ινώδης χόνδρος ανευρίσκεται (Α) στην ηβική σύμφυση που διαχωρίζει τα ηβικά οστά και (Β) στους μεσοσπονδύλιους δίσκους μεταξύ παρακείμενων σπονδύλων. McGraw-Hill Companies, Inc.

- α. Συγχρονδρώσεις: Στις αρθρώσεις αυτές τα αρθρούμενα οστά διατηρούνται μαζί από μια λεπτή στιβάδα υάλινου χόνδρου. Σχετικά παραδείγματα είναι οι στερνοπλευρικές αρθρώσεις και οι επιφυσσιακές πλάκες (πριν από την οστεοποίηση).
- β. Συμφύσεις: Στις αρθρώσεις αυτές τα οστά διαχωρίζονται από έναν ινοχόνδριο δίσκο. Σχετικά παραδείγματα είναι οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι και η ηβική σύμφυση.



Σημειώνεται ο δίσκος από υαλώδη χόνδρο που διαχωρίζει τα οστά της ηβικής σύμφυσης, μια τυπική εικόνα μιας συνδέσμωσης. Ευγενική παραχώρηση από McGraw-Hill Companies, Inc.

Ελεύθερα κινούμενες αρθρώσεις

1. Διαρθρώσεις ή υμενώδεις αρθρώσεις: Στις αρθρώσεις αυτές οι αρθρικές επιφάνειες των οστών καλύπτονται με **αρθρικό χόνδρο**, η άρθρωση περιβάλλεται από έναν **αρθρικό θύλακα**, και μια υμενώδης μεμβράνη που καλύπτει το εσωτερικό του αρθρικού θύλακα εκκρίνει ένα λιπαντικό, γνωστό ως το **αρθρικό υγρό** (Εικόνα 5-1). Υπάρχουν πολλοί τύποι υμενωδών αρθρώσεων.
 - α. Επίπεδες: Στις αρθρώσεις αυτές οι αρθρικές επιφάνειες των οστών είναι σχεδόν επίπεδες, και η μόνη επιτρεπόμενη κίνηση είναι η μη αξονική ολίσθηση. Σχετικά παραδείγματα είναι οι μεσομετατάρσιες, οι μεσοκαρπιαίες και οι μεσοταρσικές αρθρώσεις, όπως και οι αποφυσιακές αρθρώσεις των σπονδύλων.
 - β. Γίγγλυμες: Η μια αρθρική επιφάνεια είναι κυρτή και η άλλη είναι κοίλη στις αρθρώσεις αυτές. Οι ισχυροί καθεκτικοί σύνδεσμοι περιορίζουν την κίνηση σε ένα μόνο επίπεδο. Σχετικά παραδείγματα είναι η βραχιονωλένια άρθρωση και οι μεσοφαλαγγικές αρθρώσεις.
 - γ. Τροχοειδείς: Στις αρθρώσεις αυτές επιτρέπεται η στροφή γύρω από έναν άξονα. Σχετικά παραδείγματα είναι η ατλαντοαξονική άρθρωση και η άνω και κάτω κερκιδωλενική άρθρωση.
 - δ. Κονδυλοειδείς (ελλειψοειδείς): Η μια αρθρική επιφάνεια έχει ελλειπτικό κυρτό σχήμα και η άλλη έχει αμοιβαία κοίλο σχήμα στις αρθρώσεις αυτές. Επιτρέπονται η κάμψη, η έκταση, η απαγωγή, η προσαγωγή και η περιαγωγή στις αρθρώσεις αυτές. Σχετικά παραδείγματα είναι η δεύτερη ως πέμπτη μετακαρπιοφαλαγγική άρθρωση και κερκιδοκαρπική άρθρωση.
 - ε. Εφιπιοειδείς: Οι αρθρικές επιφάνειες έχουν το σχήμα σέλας ιππασίας στις αρθρώσεις αυτές. Η κινητικότητα είναι η ίδια με αυτή της κονδυλοειδούς άρθρωσης, αλλά επιτρέπεται μεγαλύτερο εύρος τροχιάς της κίνησης. Ένα παράδειγμα είναι η καρπομετακάρπια άρθρωση του αντίχειρα.

αρθρικός χόνδρος

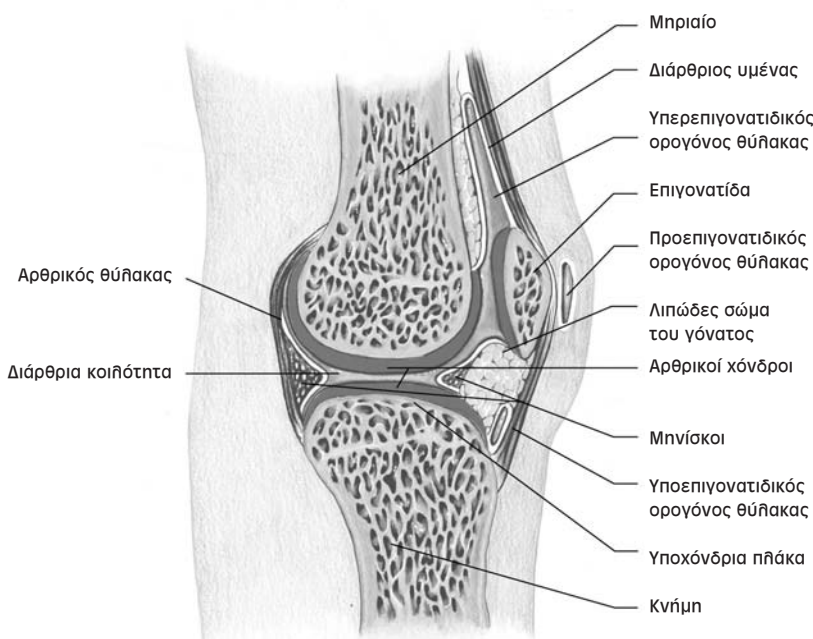
προστατευτική στιβάδα από πυκνό, λευκό συνδετικό ιστό που καλύπτει τις αρθρικές επιφάνειες του οστού στις διαρθρώσεις

αρθρικός θύλακας

μεμβράνη με δύο στιβάδες που περιβάλλει κάθε υμενώδη άρθρωση

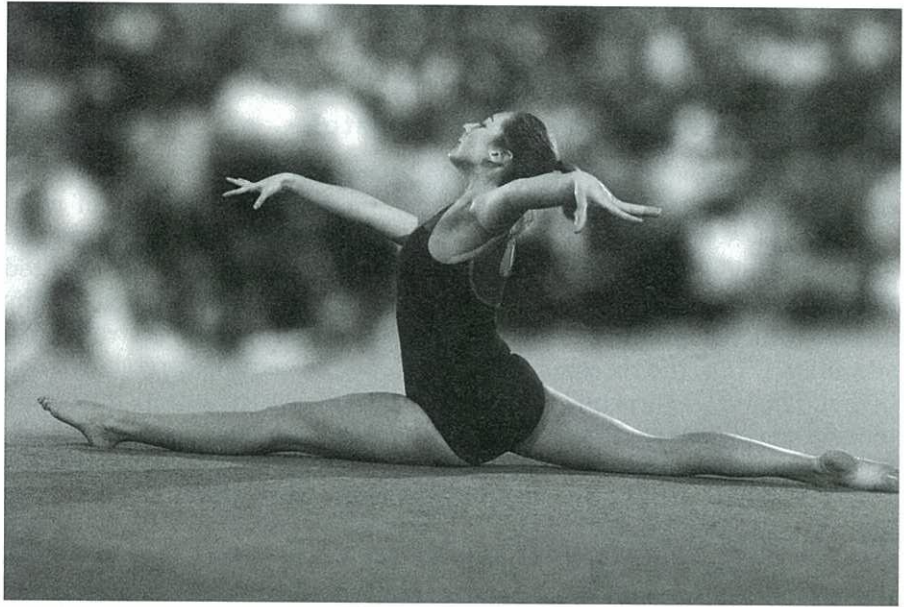
αρθρικό υγρό

διαυγές, ελαφρώς κιτρινωπό υγρό που παρέχει λίπανση εντός του αρθρικού θύλακα στις υμενώδεις αρθρώσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 5-1

Το γόνατο είναι ένα παράδειγμα υμενώδους άρθρωσης, με αρθρικό θύλακα, διάρθρια κοιλότητα και αρθρικό χόνδρο. Από Shier, Butler and Lewis, *Hole's Human Anatomy and Physiology*, © 1996. Αναδημοσίευση κατόπιν άδειας από McGraw-Hill Companies, Inc.



Η ρυθμική γυμναστική είναι ένα άθλημα, όπου απαιτείται πολλή ευκαμψία στις κύριες αρθρώσεις του σώματος. © 2009 Jupiterimages Corporation.

Η επιθυμητή ποσότητα ευκαμψίας της άρθρωσης εξαρτάται κυρίως από τις δραστηριότητες, στις οποίες επιθυμεί να συμμετέχει το άτομο. Οι γυμναστές και οι χορευτές προφανώς χρειάζεται να έχουν περισσότερη ευκαμψία στις αρθρώσεις από τους μη αθλητές. Ωστόσο, οι αθλητές αυτοί χρειάζεται να έχουν και δυνατούς μυς, τένοντες και συνδέσμους για καλές επιδόσεις και για αποφεύγουν τους τραυματισμούς. Αν και οι μεγάλοι και ογκώδεις μύες ενδέχεται να περιορίζουν τον εύρος τροχιάς της κίνησης, μια ιδιαίτερα δυνατή και σταθερή άρθρωση μπορεί επίσης να διαθέτει και μεγάλο εύρος τροχιάς κίνησης.

Οι αθλητές και οι ερασιτέχνες δρομείς συνήθως εκτελούν διατάξεις πριν ξεκινήσουν την αθλητική δραστηριότητα, προκειμένου να ελαττώσουν τις πιθανότητες για κάκωση. Υπάρχουν κάποια στοιχεία, σύμφωνα με τα οποία η εκτέλεση διατάσεων μειώνει την επίπτωση των μυϊκών ρήξεων, και από την έρευνα προκύπτει ότι η αυξημένη ευκαμψία των αρθρώσεων μεταφράζεται σε μικρότερη επίπτωση επαγόμενων από πλειομετρική άσκηση μυϊκών βλαβών (1, 7, 32). Τονίζεται, όμως, ότι οι διατάσεις πρέπει να εκτελούνται εντός 15 λεπτών πριν από τη σωματική δραστηριότητα, προκειμένου να υπάρχει μια άμεση επίδραση για την πρόληψη του τραυματισμού (Woods). Η διάταση, ωστόσο, δεν έχει καμιά επίδραση για την πρόληψη κακώσεων τύπου υπέρχρησης (32), ενώ κάποιοι ερευνητές αναφέρουν ότι είναι δεν είναι πιθανό να ελαττώνεται με τις διατάσεις η πιθανότητα για κάκωση (3).

Αν και τα άτομα συνήθως γίνονται λιγότερο εύκαμπτα καθώς γηράσκουν, το φαινόμενο αυτό φαίνεται ότι αποδίδεται κυρίως στα μειωμένα επίπεδα σωματικής δραστηριότητας, παρά σε εγγενείς μεταβολές της διαδικασίας γήρανσης. Άσχετα από την ηλικία του ατόμου, αν δεν διατείνονται οι κολλαγόνοι ιστοί που διασχίζουν μια άρθρωση, θα βραχυνθούν. Αντίστοιχα, όταν οι ιστοί διατείνονται σε τακτική βάση, επιμηκύνονται και αυξάνεται η ευκαμψία τους. Η ευκαμψία μπορεί να αυξηθεί σημαντικά στους ηλικιωμένους που συμμετέχουν σε πρόγραμμα τακτικής άσκησης και διατάσεων (27).

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΚΑΜΨΙΑΣ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

Η αύξηση της ευκαμψίας των αρθρώσεων είναι συχνά ένα σημαντικό στοιχείο των θεραπευτικών προγραμμάτων αποκατάστασης, όπως και των προγραμμάτων για την προπόνηση αθλητών στο άθλημα που έχουν επιλέξει. Η αύξηση, ή η διατήρηση της ευκαμψίας, αφορά στη διάταση των ιστών που περιορίζουν το εύρος τροχιάς στην άρθρωση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές προσεγγίσεις για τη διάταση των ιστών αυτών, ενώ κάποιες θα είναι πιο αποτελεσματικές από κάποιες άλλες εξαιτίας των διαφορετικών εκλυόμενων νευρομυϊκών αποκρίσεων.

Νευρομυϊκή απόκριση στη διάταση

Στη μυοτενόντια ένωση και στους τένοντες στα δύο άκρα των μυών εντοπίζονται αισθητικοί υποδοχείς, τα **τενόντια όργανα Golgi** (Golgi Tendon Organs – GTO) (Εικόνα 5-10). Συνδέονται περίπου 10-15 μυϊκές ίνες σε ευθεία γραμμή, ή σε σειρά, με κάθε GTO. Οι υποδοχείς αυτοί διεγείρονται από την τάση που αναπτύσσεται στη μυοτενόντια μονάδα. Αν και η τάση που παράγεται από τη μυϊκή συστολή, και η τάση που παράγεται από την παθητική μυϊκή διάταση, μπορούν να ερεθίσουν τα GTO, ο ουδός για τον ερεθισμό μέσω της παθητικής μυϊκής διάτασης είναι πολύ υψηλότερος. Τα GTO αποκρίνονται μέσω των νευρωνικών συνδέσεων τους με την αναστολή της ανάπτυξης τάσης στον ενεργοποιημένο μυ (προάγεται η μυϊκή χαλάρωση) και μέσω της έναρξης της ανάπτυξης τάσης στους ανταγωνιστές μυς.

Εντός των μυϊκών ινών υπάρχουν διάσπαρτοι και άλλοι αισθητικοί υποδοχείς. Οι υποδοχείς αυτοί, οι οποίοι είναι παράλληλα προσανατολισμένοι προς τις ίνες, είναι γνωστοί ως **μυϊκές άτρακτος** λόγω του σχήματός τους (Εικόνα 5-11). Κάθε μυϊκή άτρακτος αποτελείται από περίπου 3-10 μικρές μυϊκές ίνες, τις ενδοκαψικές ίνες, οι οποίες περικλείονται ενός ελύτρου από συνδετικό ιστό.

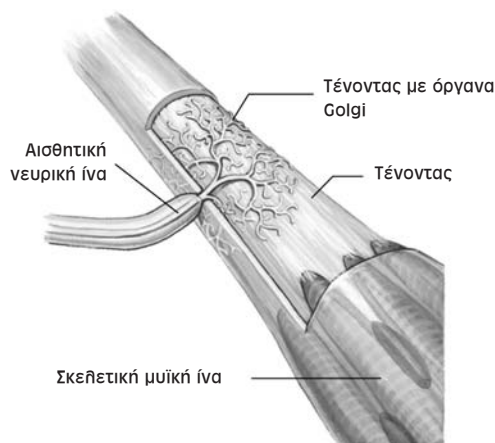
Οι μυϊκές άτρακτοι αποκρίνονται τόσο στην ποσότητα της μυϊκής επιμήκυνσης (στατική απόκριση), όσο και στον ρυθμό της μυϊκής επιμήκυνσης (δυναμική απόκριση). Οι ενδοκαψικές ίνες, γνωστές και ως ίνες πυρηνικής αλυσίδας, ευθύνονται κατά κύριο λόγο για το στατικό στοιχείο και οι ενδοκαψικές ίνες γνωστές ως ίνες πυρηνικού σάκου, ευθύνονται για το δυναμικό στοιχείο. Αυτοί οι δύο τύποι ενδοκαψικής ίνας λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά επειδή η δυναμική απόκριση είναι πολύ πιο ισχυρή από τη στατική, με έναν αργό ρυθμό διάτασης δεν ενεργοποιείται η μυϊκή άτρακτος μέχρι να διαταθεί σε σημαντικό βαθμό ο μυς (9). Κάποιοι μύες υποδέχονται μεγαλύτερη απόκριση από τις μυϊκές άτρακτους σε σχέση με άλλους. Για παράδειγμα, ο υποκνημίδιος υποδέχεται περισσότερη μυϊκή ανατροφοδότηση από τις μυϊκές άτρακτους από τον γαστροκνήμιο, τόσο κατά την ηρεμία, όσο και κατά τη μυϊκή ενεργοποίηση (51).

τενόντιο όργανο Golgi

αισθητικός υποδοχέας που αναστέλλει την ανάπτυξη τάση στον μυ και εκκλύει την ανάπτυξη τάση στους ανταγωνιστές μυς

μυϊκή άτρακτος

αισθητικός υποδοχέας που εκκλύει την αντανάκλαστική συστολή ενός μυός υπό διάταση και αναστέλλει την ανάπτυξη τάσης στους ανταγωνιστές μυς



ΕΙΚΟΝΑ 5-10

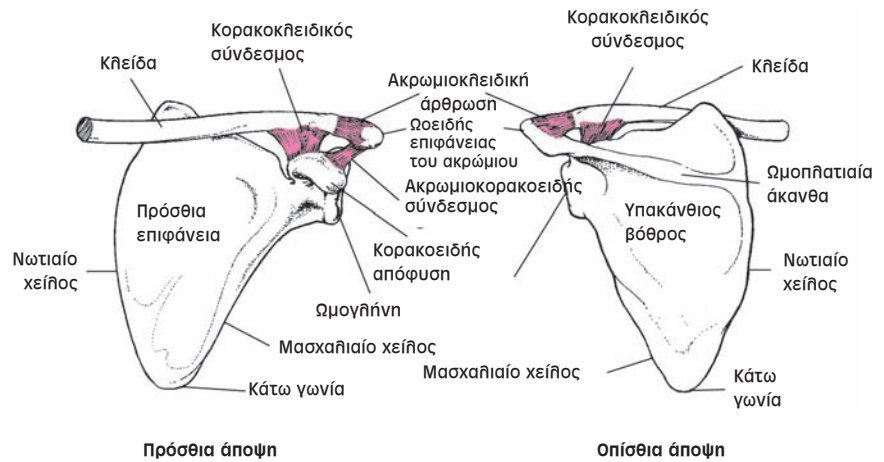
Σχηματική αναπαράσταση ενός τενόντιου οργάνου Golgi.

Από Shier, Butler and Lewis, *Hole's Human Anatomy and Physiology*, © 1996.

Αναδημοσίευση κατόπιν άδειας από McGraw-Hill Companies, Inc.

ΕΙΚΟΝΑ 7-2

Η ακρωμιοκλειδική και η κορακοκλειδική άρθρωση.



• Η ακραία κινητικότητα της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης είναι εφικτή σε βάρος της σταθερότητας της άρθρωσης.

γληνοειδές χείλος

Χείλος από μαλακό ιστό στην περιφέρεια της ωμογλήνης που προσθέτει σταθερότητα στην γληνοβραχιόνια άρθρωση

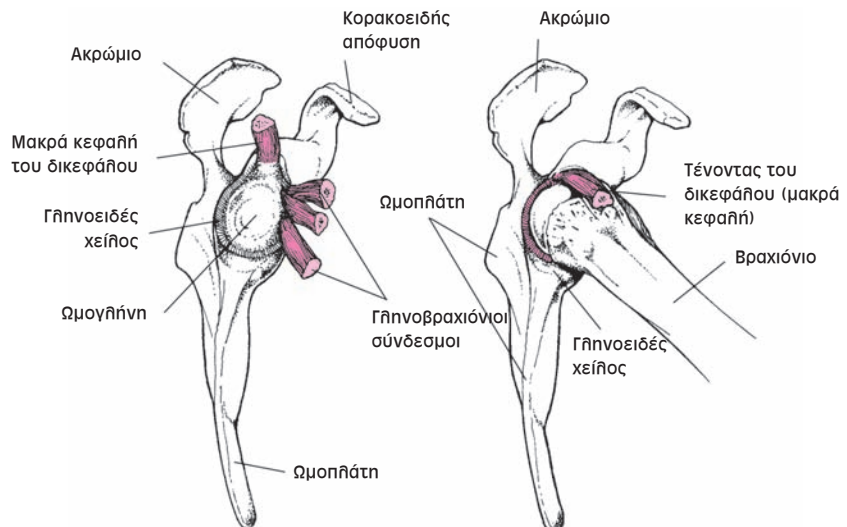
Κατά την παθητική στροφή του άνω άκρου, παρατηρούνται μεγάλες μετατοπίσεις της βραχιόνιας κεφαλής εντός της ωμογλήνης στα όρια του εύρους τροχιάς. Οι μυϊκές δυνάμεις κατά τη διάρκεια της ενεργητικής στροφής τείνουν να περιορίζουν το εύρος τροχιάς των κινήσεων στον ώμο, οπότε περιορίζεται και η συνοδή μετατόπιση της βραχιόνιας κεφαλής.

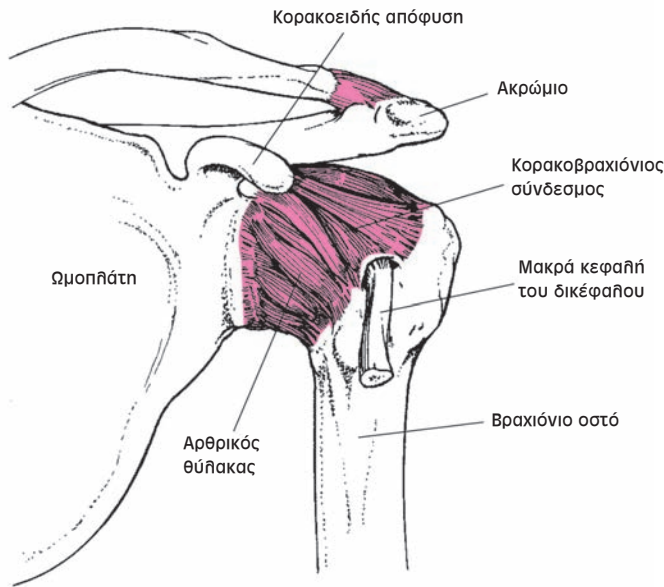
Στην περιφέρεια της ωμογλήνης υπάρχει το **γληνοειδές χείλος**, μια παρυφή που αποτελείται από μέρους του αρθρικού θύλακα, του τένοντα της μακράς κεφαλής του δικεφάλου βραχιονίου και τους γληνοβραχιόνιους συνδέσμους. Αυτό το χείλος από πυκνό ινώδη και ινοχόνδρινο ιστό έχει τριγωνική εγκάρσια διατομή και προσφύεται στην περιφέρεια της γλήνης (50). Το χείλος προσδίδει βάθος στην ωμογλήνη και προσθέτει σταθερότητα στην άρθρωση (50). Ο αρθρικός θύλακας που περιβάλλει τη γληνοβραχιόνια άρθρωση παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-4. Αρκετοί σύνδεσμοι συνενώνονται με τον θύλακα της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης, περιλαμβανομένων του άνω, μέσου και κάτω γληνοβραχιονίου συνδέσμου στην πρόσθια πλευρά της άρθρωσης, και του κορακοβραχιονίου συνδέσμου στην άνω επιφάνεια.

Οι τένοντες τεσσάρων μυών συνενώνονται με τον αρθρικό θύλακα. Αυτοί είναι γνωστοί ως οι μύες του **πέταλου των στροφών**, επειδή συμμετέχουν στη στροφή του βραχιονίου, και επειδή οι τένοντές τους σχηματίζουν ένα πέταλο από κολλαγόνο γύρω από τη γληνοβραχιόνια

ΕΙΚΟΝΑ 7-3

Η γληνοβραχιόνια άρθρωση.



**ΕΙΚΟΝΑ 7-4**

Ο αρθρικός θύλακας του ώμου συμβάλλει στη σταθερότητα της άρθρωσης.

άρθρωση. Πρόκειται για τον υπερακάνθιο, τον υπακάνθιο, τον ελάσσονα στρογγύλο και τον υποπλάτιο μυ. Ο υπερακάνθιος, υπακάνθιος και ο ελάσσων στρογγύλος συμμετέχουν στην έξω στροφή, ενώ ο υποπλάτιος στην έσω στροφή. Οι έξω στροφείς μύες του πέταλου ανταλλάσσουν μυϊκά δεσμάτια μεταξύ τους, κάτι που αυξάνει την ικανότητα για γρήγορη ανάπτυξη τάσης και τη λειτουργική ισχύ (17). Το πέταλο των στροφέων περιβάλλει την άρθρωση στην οπίσθια, άνω και πρόσθια επιφάνεια. Η τάση από τους μύς του πέταλου των στροφέων έλκει τη βραχιόνια κεφαλή προς την ωμογλήνη, κάτι που συνεισφέρει σημαντικά στην ελάχιστη σταθερότητα της άρθρωσης (28). Οι μύες του πέταλου των στροφέων και ο δικέφαλος βραχιόνιος αναπτύσσουν τάση για την παροχή σταθερότητας στον ώμο πριν από την κίνηση του βραχιονίου (7). Η αρνητική πίεση εντός του αρθρικού θύλακα της άρθρωσης συμβάλλει και αυτή στη σταθερότητα της άρθρωσης. Η άρθρωση είναι πιο σταθερή στη θέση μέγιστης σύνταξης, όταν το βραχιόνιο είναι σε απαγωγή και έξω στροφή.

πέταλο στροφέων

ζώνη από τους τένοντες του υποπλάτιου, του υπερακάνθιου, του υπακάνθιου και του ελάσσονα στρογγύλου, η οποία προσφύεται στη βραχιόνια κεφαλή

Ωμοπλατοθωρακική άρθρωση

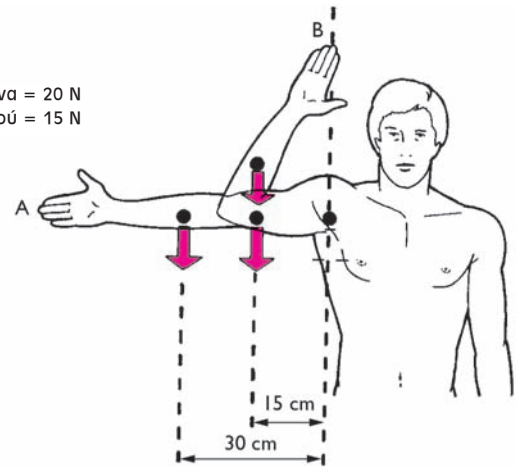
Επειδή η ωμοπλάτη μπορεί να κινηθεί στο οβελιαίο και στο μετωπιαίο επίπεδο σε σχέση με τον κορμό, η περιοχή μεταξύ της πρόσθιας επιφάνειας της ωμοπλάτης και του θωρακικού τοιχώματος κάποιες φορές αναφέρεται ως η ωμοπλατοθωρακική άρθρωση. Οι μύες που προσφύονται στην ωμοπλάτη επιτελούν δύο λειτουργίες. Πρώτον, μπορούν να συσταλούν για τη σταθεροποίηση της περιοχής του ώμου. Για παράδειγμα, όταν κάποιος σηκώνει μια πολύ βαριά αποσκευή από το έδαφος, ο ανελκτήρας της ωμοπλάτης, ο τραπεζοειδής και οι ρομβοειδείς αναπτύσσουν τάση για την υποστήριξη της ωμοπλάτης, και στη συνέχεια ολόκληρου του ώμου μέσω της ακρωμιοκλειδικής άρθρωσης. Δεύτερον, οι μύες της ωμοπλάτης μπορούν να διευκολύνουν τις κινήσεις του άνω άκρου μέσω της κατάλληλης τοποθέτησης της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης. Κατά τη διάρκεια μιας ρίψης πάνω από το επίπεδο της κεφαλής, για παράδειγμα, οι ρομβοειδείς συστέλλονται για να κινήσουν ολόκληρο τον ώμο προς τα πίσω ενώ το βραχιόνιο εκτελεί οριζόντια απαγωγή και έξω στροφή κατά τη διάρκεια της προπαρασκευαστικής φάσης. Καθώς ο βραχιόνιος και το χέρι κινούνται προς τα εμπρός για την εκτέλεση της ρίψης, απελευθερώνεται η τάση των ρομβοειδών για να εκτελεστεί η κίνηση προς τα εμπρός στη γληνοβραχιόνια άρθρωση.

ΕΙΚΟΝΑ 7-16

Η ροπή στρέψης που παράγεται στον ώμο από κάθε τμήμα του άνω άκρου ισούται με το γινόμενο του βάρους του τμήματος επί τον μοχλοβραχίονα ροπής του τμήματος.

Προσαρμοσμένο από *Chaffin DB and Andresson GBJ, Occupational Biomechanics, (2nd ed), New York, 1991, John Wiley & Sons.*

Βάρος του βραχίονα = 20 N
Βάρος του αντιβράχιου / χεριού = 15 N

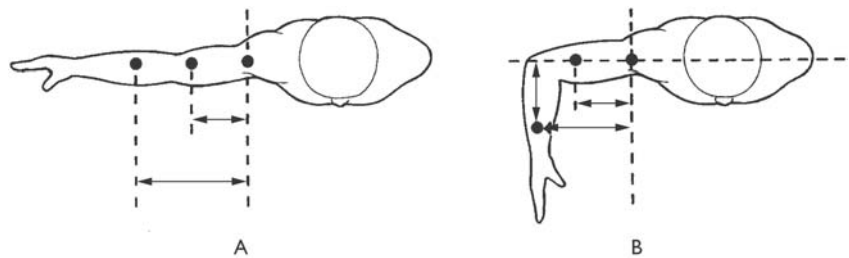


$$\text{Ροπή του ώμου}_A = (20 \text{ N})(15 \text{ cm}) + (15 \text{ N})(30 \text{ cm}) \\ = 750 \text{ Ncm}$$

$$\text{Ροπή του ώμου}_B = (20 \text{ N})(15 \text{ cm}) + (15 \text{ N})(15 \text{ cm}) \\ = 525 \text{ Ncm}$$

Αν και το βάρος του άνω άκρου είναι μόλις περίπου το 5% του σωματικού βάρους, το μήκος του οριζόντια εκτεταμένου άνω άκρου οδηγεί σε μεγάλους μοχλοβραχίονες των τμημάτων αυτού, οπότε οι μύες του ώμου πρέπει να αντιρροπήσουν μεγάλες ροπές στρέψης. Όταν οι μύες αυτοί συστέλλονται προς υποστήριξη του εκτεταμένου άνω άκρου, η γληνοβραχιόνια άρθρωση υποδέχεται συμπιεστικές δυνάμεις, οι οποίες εκτιμάται ότι φτάνουν στο 50% του σωματικού βάρους (4). Αν και η φόρτιση αυτή μειώνεται στο μισό, όταν ο αγκώνας είναι σε πλήρη κάμψη λόγω της βράχυνσης των μοχλοβραχιόνων του αντιβράχιου και του χεριού, εφαρμόζεται μια ροπή στο βραχιόνιο, για την αντιστάθμιση της οποίας απαιτείται η ενεργοποίηση επιπρόσθετων μυών του ώμου (Εικόνα 7-17).

Οι μύες που προσφύονται στο βραχιόνιο υπό μικρές γωνίες σε σχέση με την ωμογλήνη συμβάλλουν κυρίως στη διάτμηση ως αντίδραση προς τη συμπίεση της άρθρωσης. Οι μύες αυτοί εκπληρώνουν τον σημαντικό ρόλο της σταθεροποίησης του βραχιονίου εντός της ωμογλήνης ενάντια στις συστολές των ισχυρών μυών που διαφορετικά θα εξάρθρωναν την άρθρωση.

**ΕΙΚΟΝΑ 7-17**

A. Το βάρος των τμημάτων του άνω άκρου παράγει μια ροπή στρέψης στο μετωπιαίο επίπεδο στον ώμο με τους σχετικούς μοχλοβραχίονες ροπής.

B. Το βάρος του άνω τμήματος του κορμού παράγει μια ροπής στρέψης στο μετωπιαίο επίπεδο στον ώμο. Το βάρος του αντιβράχιου/χεριού παράγει ροπή στρέψης τόσο στο μετωπιαίο, όσο και στο οβελιαίο επίπεδο στον ώμο με τους σχετικούς μοχλοβραχίονες ροπής.

Προσαρμοσμένο από *Chaffin DB and Andresson GBJ, Occupational Biomechanics, (2nd ed), New York, 1991, John Wiley & Sons.*

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1

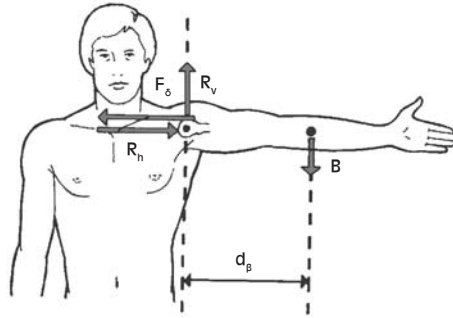
Χρησιμοποιώντας τις απλουστευμένες υποθέσεις των Poppen και Walker (31), ένα διάγραμμα ελεύθερου σώματος για το βραχίονα και τον ώμο μπορεί να κατασκευαστεί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Εάν το βάρος του βραχίονα είναι 33 N, ο μοχλοβραχίονας για όλο το βραχίονα είναι 30 cm, και ο μοχλοβραχίονας για τον δελτοειδή (F_δ) είναι 3 cm, πόση δύναμη πρέπει να παραχθεί από τον δελτοειδή για να διατηρηθεί ο βραχίονας σε αυτή τη θέση. Ποιο είναι το μέγεθος της δύναμης αντίδρασης της άρθρωσης (R);

Δεδομένα

$$B = 33 \text{ N}$$

$$d_\beta = 30 \text{ cm}$$

$$d_\delta = 3 \text{ cm}$$

**Επίλυση**

Η ροπή που δημιουργείται στον ώμο από τη μυϊκή δύναμη πρέπει να είναι ίση με τη ροπή που δημιουργείται στον ώμο από το βάρος του βραχίονα, αποφέροντας μηδενική συνολική ροπή.

$$\sum M_\omega = 0$$

$$\sum M_\omega = F_\delta \cdot d_\delta - B \cdot d_\beta$$

$$0 = F_\delta \cdot 3 \text{ cm} - 33 \text{ N} \cdot 30 \text{ cm}$$

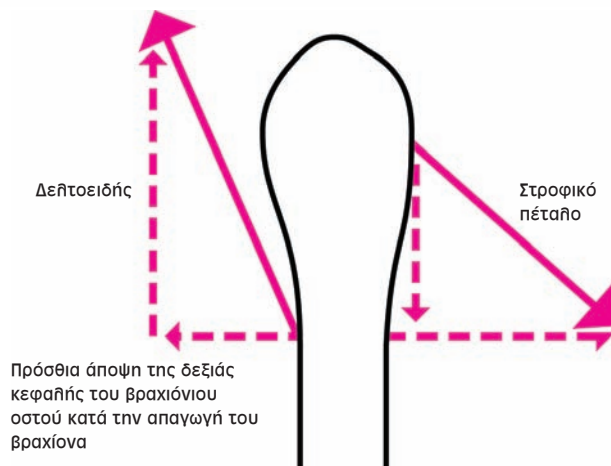
$$F_\delta = (33 \text{ N} \cdot 30 \text{ cm}) / 3 \text{ cm}$$

$$F_\delta = 330 \text{ N}$$

Αφού η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης της άρθρωσης (R) και η F_δ είναι οι μόνες δυο οριζόντιες δυνάμεις παρούσες, και αφού ο ώμος είναι ακίνητος, αυτές οι δυνάμεις πρέπει να είναι ίσες και αντίθετες. Το μέγεθος της R επομένως είναι το ίδιο με το μέγεθος της F_δ .

$$R = 330 \text{ N}$$

Note: Both components of the joint reaction force are directed through the joint center, and so have a moment arm of zero with respect to the center of rotation.

**ΕΙΚΟΝΑ 7-18**

Για την απαγωγή του βραχιόνιου οστού απαιτείται η συντονισμένη ενέργεια του δελτοειδή και των μυών του πέταλου των στροφών. Επειδή οι κατακόρυφες συνιστώσες της μυϊκής δύναμης κατά βάση αναιρούν η μια την άλλη, οι αντίθετα κατευθυνόμενες οριζόντιες συνιστώσες παράγουν στροφή του βραχιόνιου.