

Μηχανική των Στερεών Σωμάτων

Κατά την ανάπτυξη της Μηχανικής των Στερεών θα χρησιμοποιηθεί ή έννοια τόσο του υλικού σημείου, που αναφέρθηκε προηγουμένως, όσο και ή έννοια του πραγματικού στερεού σώματος.

4.1. Στατική

Η Στατική μελετά τις δυνάμεις και τις συνθήκες ισορροπίας τους.

Η δύναμη ορίζεται ως τό αίτιο είτε της μεταβολής της κινητικής καταστάσεως ή της παραμορφώσεως των διάφορων σωμάτων. Η δύναμη (F) είναι ένα άνυσματικό μέγεθος που ορίζεται από την επιτάχυνση (γ) που προσδίδει σε μία μάζα (m), σύμφωνα με τη σχέση $F=mn\gamma$. Η σχέση αυτή αποτελεί έναν τρόπο έκφρασεως του **Θεμελιώδους Νόμου της Μηχανικής**. Επίσης αναφέρεται και ως **2ο Άξιώμα του Νεύτωνα**.

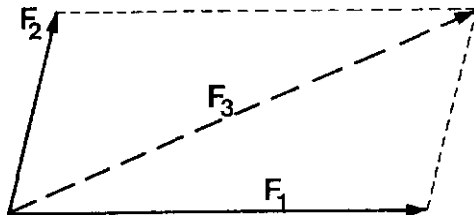
Μία δύναμη μπορεί να επιδρά σε ένα σώμα είτε άμεσα (όπως π.χ. ή δύναμη που ασκεί ό ποδοσφαιριστής στην μπάλα, λακτίζοντάς την) είτε έμμεσα (όπως π.χ. ή δύναμη που ασκεί ένας μαγνήτης σε έναν άλλο μαγνήτη που βρίσκεται κοντά του). Στη δεύτερη περίπτωση υπεισέρχεται ή έννοια του πεδίου, δηλαδή του χώρου μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε σώματα με ορισμένες ιδιότητες. Οί δυνάμεις αυτές ασκούνται σε μαγνητικές ποσότητες (μαγνητικό πεδίο), ηλεκτρικές ποσότητες (ηλεκτρικό πεδίο), ποσότητες μάζας (πεδίο βαρύτητας) κ.λ.π.

Δύο δυνάμεις έχουν ίσο μέτρο (και καταχρηστικά λέγεται ότι «είναι ίσες»), όταν, στην περίπτωση που επιδρούν στο ίδιο υλικό σημείο, σε αντίθετες φορές, ή μία εξουδετερώνει την άλλη.

Δύο δυνάμεις, που επιδρούν στο 'ίδιο υλικό σημείο, προκαλούν τό 'ίδιο αποτέλεσμα που θα προκαλούσε μία τρίτη δύναμη, ή οποία παρέχεται από τή διαγώνιο του παραλληλόγραμμου που σχηματίζουν οί δύο δυνάμεις. Ο κανόνας αυτός, που είναι γνωστός ως κανόνας του παραλληλόγραμμου, χρησιμοποιείται για τή σύνθεση των

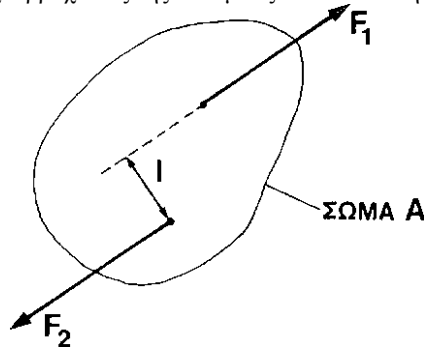
δυνάμεων. "Αν οί δυνάμεις που ασκούνται σε ένα υλικό σημείο είναι περισσότερες των δύο, αρχικά γίνεται σύνθεση δύο δυνάμεων, και μετά σύνθεση της συνισταμένης των δύο αυτών δυνάμεων με μία άλλη, τρίτη δύναμη κ.ο.κ. Κατά παρόμοιο τρόπο γίνεται ή ανάλυση μιας δυνάμεως σε περισσότερες συνιστώσες. Στο σχήμα 4.1 παρέχεται σχηματική παράσταση του κανόνα του παραλληλόγραμμου.

"Όταν σε ένα σώμα επιδρούν πολλές δυνάμεις, των οποίων ή συνισταμένη είναι ίση προς μηδέν, δέν παρατηρείται μεταβολή της κινητικής του καταστάσεως: δηλαδή αν τό σώμα ήταν ακίνητο εξακολουθεί να παραμένει ακίνητο, ενώ, αν κινιόταν, εξακολουθεί να κινείται με τήν 'ίδια ταχύτητα. Τά 'ίδια συμβαίνουν, αν στο σώμα δέν επιδρά καμιά δύναμη. Σύμφωνα με τό **1ο Άξιώμα του Νεύτωνα** ή **Νόμο της Άδράνειας**, κάθε σώμα διατηρεί τήν κινητική του κατάσταση άμετάβλητη, αν δέν επιδρά πάνω του καμιά δύναμη.



Σχήμα 4.1. Σχηματική παράσταση του κανόνα του παραλληλόγραμμου. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτόν υπολογίζεται ότι η δύναμη F είναι η συνισταμένη των δυνάμεων F_1 και F_2 .

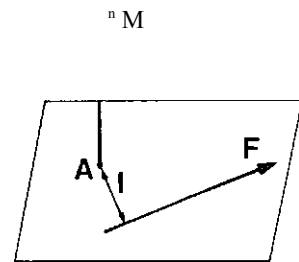
Ως **Ζεύγος Δυνάμεων** χαρακτηρίζεται σύστημα δύο παράλληλων δυνάμεων, οι οποίες έχουν το ίδιο μέτρο αλλά αντίθετες φορές και επιδρούν στο ίδιο σώμα. Στο σχήμα 4.4. παρουσιάζεται ένα ζεύγος δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα Α. Η συνισταμένη των δύο αυτών δυνάμεων είναι ίση προς μηδέν και ο φορέας της βρίσκεται σε άπειρη απόσταση. Το ζεύγος των δυνάμεων δεν μπορεί να αντικατασταθεί από μία μόνο δύναμη, γιατί προκαλεί στο σώμα μία κίνηση περιστροφής. Τέτοια κίνηση δεν μπορεί να προκαλείται συνεχώς από μία μόνο σταθερή δύναμη. "Ένα ζεύγος δυνάμεων χαρακτηρίζεται από τη ροπή του. Ως **Ροπή Ζεύγους Δυνάμεων** ορίζεται ένα άνυσματικό μέγεθος (**M**), το οποίο είναι ίσο με το γινόμενο του μέτρου της μιας από τις δύο ίσες δυνάμεις (**F**) επί την απόστασή τους (**l**), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, σύμφωνα με τη σχέση $M=F.l$. Η κάθετη απόσταση μεταξύ των δύο παράλληλων δυνάμεων χαρακτηρίζεται ως μο- γλοβραχίονας της δυνάμεως. Η διεύθυνση της ρο-



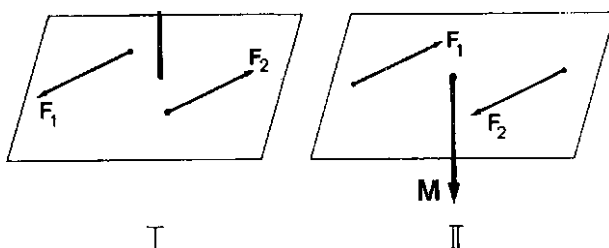
Σχήμα 4.4. Το ζεύγος των δυνάμεων F_1 και F_2 , που επιδρούν στο σώμα Α, έχει ροπή ίση με $F.l$, όπου l είναι ο μογλοδρα- χίονας του ζεύγους και F το μέτρο καθεμιάς των δυνάμεων F_1 και F_2 .

πής του ζεύγους δυνάμεων είναι κάθετη στο επίπεδο των δύο δυνάμεων. Η φορά της ροπής του ζεύγους **M** δυνάμεων του σχήματος 4.4 είναι τέτοια ώστε να προχωρεί δεξιόστροφος κοχλίας (δηλαδή να βιδώνεται μία συνηθισμένη βίδα), αν στραφεί κατά τη φορά περιστροφής κατά την οποία τείνει να περιστραφεί το επίπεδο που ορίζεται από τις δύο παράλληλες δυνάμεις. (Ο συνδυασμός αυτός κατά τον οποίο ο δεξιόστροφος κοχλίας προχωρεί, αν στραφεί κατά τη φορά που τείνει να περιστραφεί το επίπεδο με την επίδραση του ζεύγους δυνάμεων, λέγεται κανόνας του δεξιόστροφου κοχλίου). Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η ροπή του ζεύγους δύο δυνάμεων.

Ροπή Δυνάμεως ως προς σημείο (**M**) είναι ένα άνυσματικό μέγεθος, το οποίο είναι ίσο με το γινόμενο της δυνάμεως (**F**) επί την κάθετη απόστασή της (**l**) από το σημείο αυτό (**A**), δηλαδή $M=F.l$, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6. Η διεύθυνση της ροπής είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τη δύναμη και το σημείο στο οποίο επιδρά. Η φορά της ροπής δυνάμεως καθορίζεται σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου.



Σχήμα 4.6. Ροπή δυνάμεως ως προς σημείο. Η φορά της ροπής καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου. F είναι η δύναμη, A το θεωρούμενο σημείο, l ή (κάθετη) απόσταση μεταξύ σημείου A και δυνάμεως F και M ή ροπή.



Σχήμα 4.5. Η φορά της ροπής ενός ζεύγους δυνάμεων καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου. **I:** Φορά προς τα πάνω. **II:** Φορά προς τα κάτω.

Κατά τό **Θεώρημα των Ροπών**, όταν σε ένα σώμα επιδρούν περισσότερες τής μιας ροπές, ή συνισταμένη των ροπών αυτών είναι ίση πρός τή ροπή που προκαλεί ή συνισταμένη των δυνάμεων στίς όποιες οφείλονται οι επιμέρους ροπές. Οι δυνάμεις θεωρούνται ότι διέρχονται **άπό** τό αυτό σημείο.

Πίεση. Συνήθως μία δύναμη δέν επιδρά μόνο σε ένα σημείο αλλά σε μία ευρύτερη επιφάνεια. **Ως** πίεση (P) ορίζεται τό πηλίκο τής δυνάμεως (dF) που ασκείται κάθετα σε μία στοιχειώδη επιφάνεια (dS) διά τής επιφάνειας αυτής, δηλαδή

Συνήθως ό όρος πίεση (pressure) αναφέρεται σε υγρά καί αέρια, ενώ σε στερεά αναφέρεται καί ό όρος τάση (stress). Η πίεση καί ή τάση έχουν τίς ίδιες διαστάσεις. Η πίεση που ασκεί ένα στερεό σώμα σε άλλα, μπορεί νά δειχτεί μέ τήν τοποθέτηση ενός αντικειμένου μεγάλου βάρους πάνω στην άμμο, όποτε παρατηρείται ότι ή άμμος υπο-χωρεί εξαιτίας τής πίεσεως που ασκείται πάνω της από τό βαρύ αντικείμενο. "Όσο μεγαλύτερη είναι ή σχέση βάρους: επιφάνειας (που ακουμπά στην άμμο) του σώματος αυτού, τόσο περισσότερο τό σώμα βυθίζεται στην άμμο. Περισσότερα γιά τήν πίεση αναγράφονται στό κεφάλαιο τής Ύδροστατικής.

4.2. Κινηματική

Η Κινηματική μελετά τήν κίνηση των διάφορων σωμάτων, χωρίς νά μελετά συγχρόνως καί τά αίτια που τήν προκαλούν, δηλαδή τίς δυνάμεις.

Ευκολότερα μελετάται ή κίνηση ενός ύλικού σημείου.

"Ένα σώμα κινείται ως προς ένα σύστημα αναφοράς, όταν μεταβάλλει τή θέση του ως προς τό σύστημα αυτό. Η τροχιά του κινητού είναι ό γεωμετρικός τόπος των διαδοχικών θέσεων από τίς όποιες διέρχεται τό κινητό, όταν κινείται από τήν αρχική στην τελική του θέση. Η τροχιά ενός κινητού μπορεί νά είναι ευθύγραμμη ή καμπυλόγραμμη. Επίσης ή καμπυλόγραμμη τροχιά μπορεί νά βρίσκεται σε ένα επίπεδο, όποτε χαρακτηρίζεται ως επίπεδη, ή νά αλλάζει επίπεδο, όποτε χαρακτηρίζεται ως στρεβλή. Η μετατόπιση του κινητού είναι ή ευθεία γραμμή που συνδέει τήν αρχική καί τήν τελική θέση του κινητού.

Η θέση του κινητού στο χώρο καθορίζεται, σε κάθε χρονική στιγμή, από τίς τρεις συντεταγμένες του χώρου

(X, Y, Z), που θεωρούνται ως τό σύστημα αναφοράς, τό όποιο θεωρείται ακίνητο. Έτσι προκύπτει ότι τό κινητό έχει τό πολύ τρεις βαθμούς ελευθερίας. Παράδειγμα κινητού μέ τρεις βαθμούς ελευθερίας είναι τό αεροπλάνο. Παράδειγμα κινητού μέ δύο βαθμούς ελευθερίας είναι ένα πλοίο που ταξιδεύει σε ήρεμη θάλασσα. Παράδειγμα κινητού μέ ένα βαθμό ελευθερίας είναι ή κίνηση ενός τραίνου στίς σιδηροτροχιές.

Η **ταχύτητα** (v) είναι ένα άνυσματικό μέγεθος, που ορίζεται ως τό διάστημα (ds), που διανύει ένα κινητό σε στοιχειώδες χρονικό διάστημα (dt), διά του χρονικού αυτού διαστήματος.

Σχετική ταχύτητα είναι ή ταχύτητα ενός σώματος, ως προς άλλο σώμα, τό όποιο θεωρείται ακίνητο, ανεξάρτητα άν τό δεύτερο αυτό σώμα κινείται ή όχι, ως προς τρίτο, ακίνητο, σώμα.

Η **επιτάχυνση** (γ) είναι ένα άνυσματικό μέγεθος, που ορίζεται ως ή μεταβολή τής ταχύτητας (du) ενός κινητού, σε στοιχειώδες χρονικό διάστημα (dt), διά του χρονικού αυτού διαστήματος.

Στήν «Ιατρική Φυσική» ή Μηχανική θά διαιρεθεί στή Μηχανική τών Στερεών καί στή Μηχανική τών Ρευστών, αλλά σέ ορισμένες περιπτώσεις Οά γίνει χρήση καί τής

των μυών). Η βαρύτητα προκαλεί μία συνεχή εξωτερική δύναμη. Πολλές φορές χρειάζεται νά εξουδετερωθεί αὐτή ἡ δύναμη καί αὐτό πετυχαίνεται μέ τήν

έννοιας τοῦ ὕλικου σημείου.

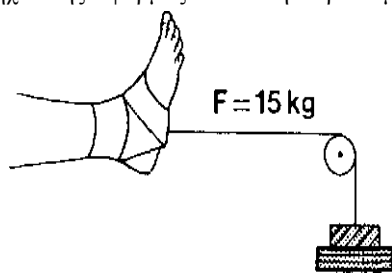
Ἡ Μηχανική τών Στερεών διακρίνεται σέ Στατική, Κινηματική καί Δυναμική, ἐνώ ἡ Μηχανική τών Ρευστών διακρίνεται σέ Στατική καί Δυναμική. Ἡ ἐννοια τής Κινηματικῆς τών Ρευστών δέν ἀναπτύσσεται ξεχωριστά, ἀλλά σέ συνδυασμό μέ τή Δυναμική τών Ρευστών.

3.2. Σχέσεις Μηχανικῆς καί Ἰατρικῆς

Ἡ Μηχανική, ὡς Κεφάλαιο, παρουσιάζει ἐνδιαφέρον γιά τήν Ἰατρική Φυσική κυρίως στά ἐξῆς θέματα: Τήν Ὑδροδυναμική, γιά τήν κατανόηση ορισμένων ἀπό τίς φυσικές ἀρχές πού διέπουν τήν κυκλοφορία τοῦ αἵματος, τήν Ἐμβιο-Μηχανική, γιά τή μελέτη τής ἐπιδράσεως διάφορων δυνάμεων στό ἀνθρώπινο σῶμα καί τήν κατασκευή διάφορων συσκευῶν γιά τήν υποβοήθηση τών φυσιολογικῶν λειτουργιῶν, τή μελέτη τών Βιο-Υλικῶν πού χρησιμοποιοῦνται ὡς προσθετικά ὕλικά στό ἀνθρώπινο σῶμα (π.χ. ἦλοι γιά ἐνδοοστική ἐμφύτευση) καί τή μελέτη τών μηχανικῶν ιδιοτήτων (π.χ. ἐλαστικότητα) τών ὀργάνων καί ἰστών τοῦ ἀνθρώπινου σώματος.

Πολλές ἄλλες ἀρχές τής Μηχανικῆς εἶναι ἀπαραίτητες γιά τήν κατανόηση διάφορων φυσιολογικῶν λειτουργιῶν, ὅπως π.χ. τής λειτουργίας τών πνευμόνων καί τής ἀναπνοῆς.

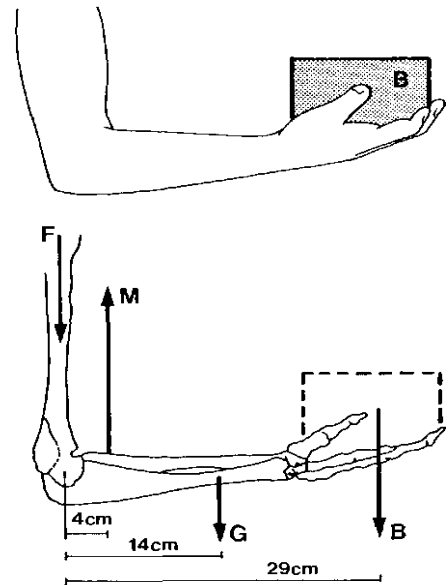
Ὅρισμένες δραστηριότητες πού χαρακτηρίζουν τό ζωικό βασίλειο ἀναφέρονται στήν κίνηση, τής ὁποίας αἴτιο εἶναι ἡ ἐπίδραση δυνάμεων. Οἱ νόμοι τής Μηχανικῆς ἐφαρμόζονται στήν προκειμένη περίπτωση.



Σχῆμα 3.1. Ἡ δύναμη F ἐφαρμόζεται στό κάτω ἄκρο γιά θεραπευτικούς λόγους εἶναι μία εὐθύγραμμη δύναμη, πού ἡ τιμή τής καθορίζεται

Πρώτος ὁ Leonardo da Vinci, τό 15ο αἰῶνα, κατάλαβε τή σημασία τής Μηχανικῆς στή Βιολογία. Ἰδιαίτερη γνώση τής Μηχανικῆς καί τής ἐφαρμογῆς τής στόν ἀνθρώπο απαιτεῖται γιά τήν ἀσκηση τής ἐιδικότητας τής Φυσιοθεραπείας (Φυσικῆς Ἰατρικῆς καί Αποκαταστάσεως). Οἱ δυνάμεις πού ἀσκοῦνται στό ἀνθρώπινο σῶμα ἢ στά διάφορα μέρη του εἶναι εἴτε ἐξωτερικές (ὅπως π.χ. κατά τούς τραυματισμούς) εἴτε ἐσωτερικές (ὅπως π.χ. οἱ οφειλόμενες στή λειτουργία

ἐμβύθιση τοῦ σώματος (ἢ μέρους αὐτοῦ) σέ νερό, ὅποτε στό σῶμα ἐπιδρά ἐκτός ἀπό τή βαρύτητα καί ἡ δύναμη τής ἀνώσεως, ἡ ὁποία εἶναι ἀντίθετη πρὸς τή βαρύτητα. Στίς διαστημικές πτήσεις, ἡ ἔλξη τής γῆς, μέ ορισμένες συνθήκες, μειώνεται καί τό βάρος τοῦ σώματος ἐλαττώνεται. Σέ ορισμένες περιπτώσεις τό ἀνθρώπινο σῶμα μπορεῖ νά βρεθεῖ ἐκτός τοῦ πεδίου βαρύτητας καί αὐτό ἔχει πάρα πολλές συνέπειες στίς φυσιολογικές λειτουργίες (π.χ. κυκλοφορία). Ἀντίθετα, σέ περιπτώσεις



ταχείας ἐπιταχύνσεως, σέ διαστημικά ταξίδια, ἡ ἐπιτάχυνση τής βαρύτητας (g) αὐξάνεται κατά πολύ καί αὐτό δημιουργεῖ προβλήματα.

Δυνάμεις στό Ἀνθρώπινο σῶμα

Σχῆμα 3.2. Δυνάμεις στό ἀνθρώπινο σῶμα. Τό βάρος B ὑποστηρίζεται ἀπό τό ἀκρο τοῦ χεριοῦ καί τό ἀντιβράχιο. Οἱ παράλληλες δυνάμεις πού ἀσκοῦνται εἶναι οἱ ἐξῆς: M ἡ δύναμη τών καμπτήρων μυῶν, G ἡ ἐπίδραση τής βαρύτητας στό ἀντιβράχιο, F ἡ δύναμη τοῦ βραχίονα στήν ὠλένη. Παρουσιάζονται ἐπίσης οἱ ἀποστάσεις μεταξύ τών διαφορῶν δυνάμεων.

Σέ πολλές περιπτώσεις ἐφαρμόζονται δυνάμεις σέ διάφορα μέρη τοῦ ἀνθρώπινου σώματος, συνήθως ὑπό τή μορφή διάφορων βαρῶν. Οἱ δυνάμεις αὐτές κατατάσσονται σέ διάφορες κατηγορίες: εὐ-Οὐγράμμες, παράλληλες, συνιστάμενες ἢ ἄλλες.

Στό σχῆμα 3.1 παρουσιάζεται μία εὐθύγραμμη δύναμη πού προκαλεῖ ἐκταση στό κάτω ἄκρο, γιά θεραπευτικούς λόγους.

Στό σχήμα 3.2 παρουσιάζονται οι παράλληλες δυνάμεις που ασκούνται κατά τη συγκράτηση ενός βάρους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

Η ανάπτυξη του κεφαλαίου της Μηχανικής, που είναι ήδη γνωστό στους πρωτοετείς φοιτητές, θα είναι εξαιρετικά σύντομη και θα διατυπωθούν κάπως έκτενέστερα μόνο όσα σημεία έχουν μεγαλύτερη σχέση με την Ίατρική, στα κεφάλαια 4 και 5.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Άλεξοπούλου, Κ.: Γενική Φυσική, Τόμος 1ος, Μηχανική-
Ακουστική, Αθήνα 1960 Cabane, M. et Mouren, J.M.:
Mecanique, McGraw Hill, 1977. Williams, M. and Lissner, H.R.:
Biomechanics of Human Motion, Saunders, 1969.

Δυνάμεις τριβής

Η τριβή και η απώλεια ενέργειας ως αποτέλεσμα της τριβής εμφανίζεται παντού στην καθημερινή μας ζωή. Η τριβή περιορίζει την απόδοση των μηχανών όπως στις ηλεκτρικές γεννήτριες και στα αυτοκίνητα. Από την άλλη μεριά χρησιμοποιούμε τη δύναμη της τριβής για να περπατήσουμε, να πιάσουμε ένα σκοινί ή να φρενάρουμε το αυτοκίνητο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

Η βάρδια είναι μια λειτουργία του ανθρώπου στην οποία συνεισφέρει σημαντικά η δύναμη της τριβής. Αν η τριβή δεν υπήρχε θα ήταν αδύνατο να περπατήσουμε. Όταν η φτέρνα ακουμπήσει στο έδαφος, το πόδι ασκεί δύναμη σε αυτό. Η δύναμη αυτή αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια κάθετη και μία οριζόντια. Η κάθετη συνιστώσα (κάθετη στο έδαφος) είναι ίση με την αντίσταση του εδάφους (N). Η οριζόντια συνιστώσα (παράλληλη στο έδαφος) F_H , είναι ίση με το άθροισμα των δυνάμεων της τριβής. Η μέγιστη δύναμη τριβής δίνεται από τη σχέση:

$$T = \mu \times N$$

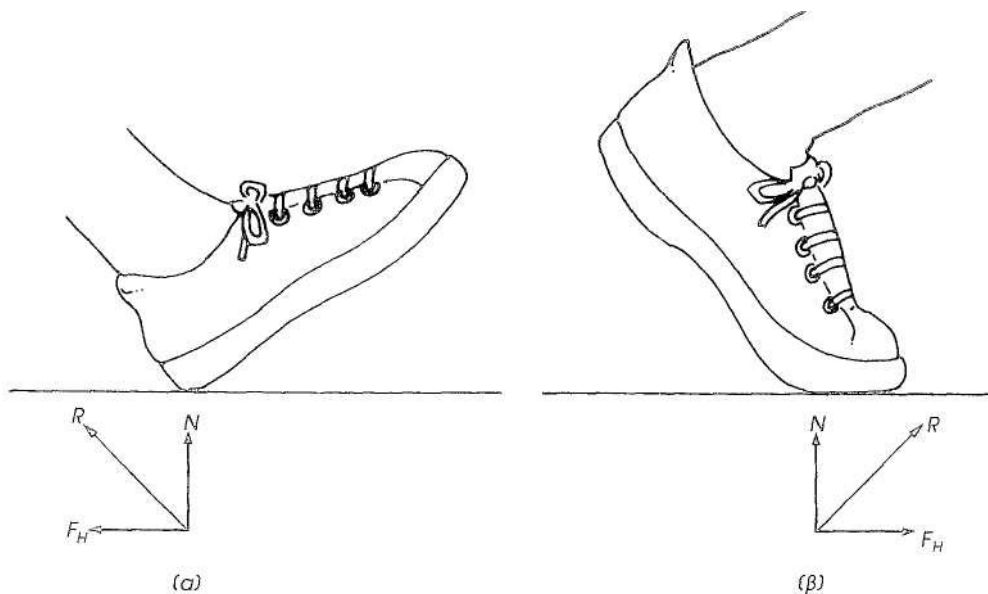
Όπου N είναι η αντίσταση του εδάφους και μ ο συντελεστής τριβής μεταξύ των δύο επιφανειών. Η τιμή του μ εξαρτάται από τα δύο υλικά που έρχονται σε επαφή και είναι ανεξάρτητη από το εμβαδόν τους. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται τιμές του συντελεστή τριβής μ για διάφορα υλικά.

Η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης που ασκείται από τη φτέρνα στο έδαφος κατά το περπάτημα (Εικόνα 3.1α) έχει μετρηθεί και έχει βρεθεί περίπου ίση με $0,15 W$, όπου W το βάρος του ανθρώπου. Η σχέση αυτή δίνει πόση πρέπει να είναι η τιμή της τριβής ώστε το πόδι να μην γλιστρήσει. Αν $N \cong W$, τότε αναπτύσσεται δύναμη τριβής ίση με

$$T = \mu \times W$$

Για ελαστική σόλα παπουτσιού πάνω σε στεγνή τσιμεντένια επιφάνεια, η μέγιστη τιμή της τριβής μπορεί να είναι $T \cong W$, που είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη οριζόντια συνιστώσα $0,15 W$. Γενικά, η δύναμη της τριβής είναι αρκετά μεγάλη και στην περίπτωση που η φτέρνα ακουμπάει στο έδαφος αλλά και στην περίπτωση που τα δάκτυλα του ποδιού σηκώνονται, έτσι ώστε να μην γλιστράμε (Εικόνα 3.1β). Μερικές φορές, ο άνθρωπος γλιστράει όταν περπατάει πάνω σε

βρεγμένη, παγωμένη ή λιπαρή επιφάνεια όπου ο συντελεστής τριβής μ είναι μικρότερος από 0,15. Αν περπατάμε με μικρά βήματα μπορούμε να αποφύγουμε την ολίσθηση.



Εικόνα 1. Φυσιολογικό βάδην, (α) όταν η φτέρνα ακουμπάει στο έδαφος ασκείται σε αυτή δύναμη R . Οι δύο συνιστώσες της R , η κάθετη N και η οριζόντια F_H , επιβραδύνουν το πόδι και το σώμα. Η τριβή F_H που αναπτύσσεται μεταξύ της φτέρνας και του εδάφους εμποδίζει την ολίσθηση προς τα εμπρός,

(β) όταν το πέλμα απομακρύνεται από το έδαφος, η τριβή F_H εμποδίζει την ολίσθησή του προς τα πίσω και την επιτάχυνση του σώματος προς τα εμπρός,

Για την πραγματοποίηση της κίνησης είναι αναγκαίο να υπερνικηθούν οι τριβές που αναπτύσσονται στις αρθρώσεις. Ασθένειες, όπως η αρθρίτιδα, αυξάνουν την τριβή στις αρθρώσεις. Για φυσιολογικές αρθρώσεις η τιμή της τριβής είναι πολύ μικρή. Ο συντελεστής τριβής στις αρθρώσεις των οστών είναι συνήθως πολύ μικρότερος από αυτόν των κατασκευαστικών υλικών (Πίνακας 1). Έγγραφο 57 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ. Έγγραφο 57 Υπαρξη ασθένειας στις αρθρώσεις προκαλεί σημαντική αύξηση της τιμής της τριβής. Το υγρό της μεμβράνης της άρθρωσης χρησιμοποιείται για τη λίπανσή της. Για την ακριβή συμπεριφορά του υγρού αυτού οι απόψεις διίστανται. Η λίπανση των αρθρώσεων εξετάζεται περαιτέρω.

Το σάλιο που προστίθεται κατά τη μάσηση των τροφών λειτουργεί σαν λιπαντικό. Αν καταπιούμε ένα κομμάτι ξηρού ψωμιού θα πονέσουμε λόγω της έλλειψης του σάλιου. Τα περισσότερα από τα μεγάλα όργανα του σώματος βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και απαιτούν λίπανση, π.χ. η καρδιά. Επίσης κάθε φορά που αναπνέουμε οι πνεύμονες κινούνται μέσα στο θώρακα και τα έντερα κάνουν μια μικρή ρυθμική κίνηση (περίσταση) όταν μεταφέρουν το φαγητό στον τελικό προορισμό του. Τα όργανα απαιτούν λίπανση και για το λόγο αυτό καλύπτονται από βλέννα για τη μείωση των τριβών στο ελάχιστο.

Πίνακας 1. Τιμές συντελεστή ολίσθησης

Υλικό	μ [στατική τριβή]
Ατσάλι σε ατσάλι	0,15
Λάστιχο αυτοκινήτου σε ξηρό τσιμεντένιο δρόμο	1,00
Λάστιχο αυτοκινήτου σε βρεγμένο τσιμεντένιο δρόμο	0,7
Ατσάλι σε πάγο	0,03
Μεταξύ τένοντα και περιβλήματός του	0,013
Κοινή άρθρωση οστού	0,003

Δυνάμεις σε μυς και αρθρώσεις

Εδώ εξετάζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος, σε συγκεκριμένες αρθρώσεις και δίνονται παραδείγματα σύνδεσης των μυών με τους τένοντες και τα οστά του σκελετού. Κι αυτό διότι η κίνηση και γενικότερα η ζωή του ανθρώπου εξαρτώνται άμεσα από τη συστολή των μυών.

1 Οι μύες και η κατάταξή τους

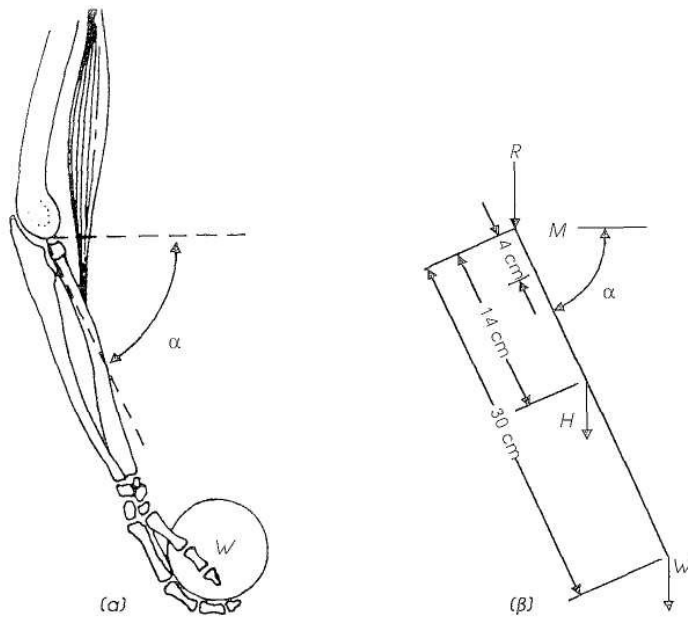
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατάταξης των μυών του ανθρώπινου σώματος. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η περιγραφή των μυών σύμφωνα με το

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

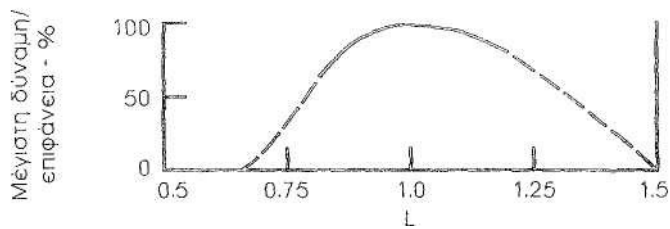
πώς φαίνονται κάτω από το φως ενός μικροσκοπίου. Οι σκελετικοί μύες αποτελούνται από ίνες που παρουσιάζουν φωτεινές και σκοτεινές λωρίδες εναλλασσόμενες μεταξύ τους, που ονομάζονται *γραμμώσεις* και οι μύες αυτοί ονομάζονται *γραμμωτοί μύες*. Οι γραμμώσεις έχουν διάμετρο μικρότερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας και μήκος μερικών εκατοστών. Οι υπόλοιποι μύες που δεν αποτελούνται από γραμμώσεις ονομάζονται *λείοι μύες*.

Οι ίνες των γραμμωτών μυών συνδέονται με τους τένοντες σχηματίζοντας δέσμες ινών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δεσμών είναι οι δικέφαλοι και οι τρικέφαλοι μύες. Εξετάζοντας σε μικροσκοπικό επίπεδο τις ίνες των γραμμωτών μυών παρατηρούμε ότι αποτελούνται από *μυϊκά ινίδια* τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από νημάτια.

Στην εικόνα 6β παρουσιάζονται οι δυνάμεις που πρέπει να λάβουμε υπόψη για μια αυθαίρετη γωνία α . Υπολογίζοντας τις ροπές που δημιουργούνται, γύρω από την άρθρωση παρατηρούμε ότι η μυϊκή δύναμη M παραμένει σταθερή συναρτήσει της γωνίας α ! (Όπως θα δεις αν κάνεις τον υπολογισμό, αυτό οφείλεται στο ότι σε κάθε όρο της εξίσωσης των ροπών εμφανίζεται ο ίδιος τριγωνομετρικός αριθμός της γωνίας α .) Παρόλα αυτά, το μήκος του δικέφαλου μυ μεταβάλλεται με τη γωνία. Κάθε μυς μπορεί να συσταλθεί σε ένα ελάχιστο μήκος και να διασταλθεί σε ένα μέγιστο. Στα δύο αυτά άκρα, η δύναμη που καταβάλλει ο μυς είναι πολύ μικρή. Σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο, ο μυς ασκεί τη μέγιστη δύναμη (βλέπε Εικόνα 7). Αν ο δικέφαλος σηκώσει το βάρος σε γωνία 90° , η γωνία που σχηματίζει με το αντιβράχιο δεν επηρεάζει τη δύναμη που ασκείται αλλά μεταβάλλει το μήκος του μυ. Είναι δυνατό να αντιληφθούμε τα όρια του δικέφαλου αν δοκιμάσουμε να σηκώσουμε το σώμα μας κρεμάμενοι από μία μπάρα (μονόζυγο). Όταν τα χέρια μας είναι τελείως τεντωμένα, δυσκολευόμαστε να σηκώσουμε το σώμα μας και καθώς το πηγούνι μας πλησιάζει τη μπάρα, οι δικέφαλοι μύες που έχουν ήδη συσταλθεί, αδυνατούν να συσταλθούν περισσότερο.



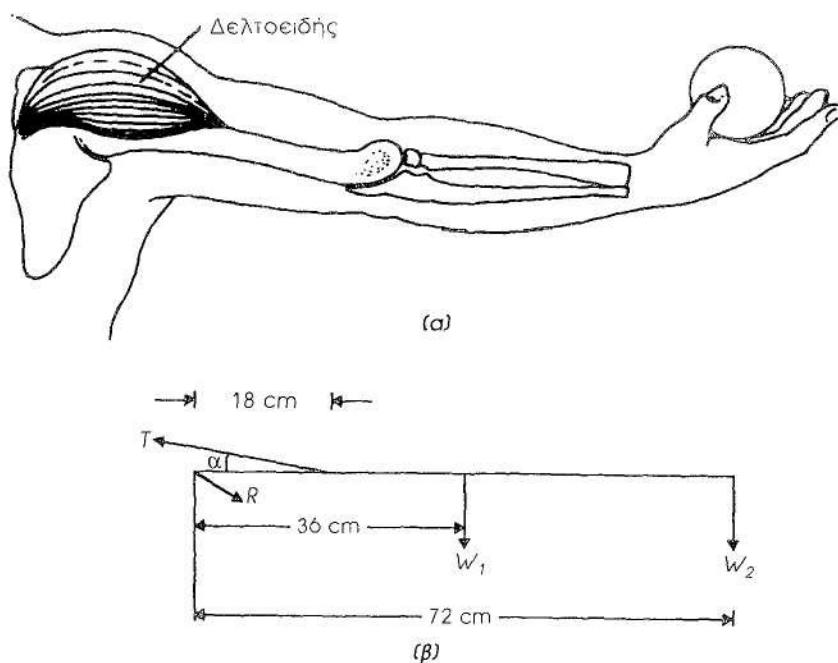
Εικόνα 6. Το αντιβράχιο σχηματίζοντας γωνία α με το οριζόντιο επίπεδο, (α) Οι μύες και τα οστά (β) Οι δυνάμεις και οι διαστάσεις.



Εικόνα 7. Το βέλτιστο μήκος του μυ για την παραγωγή δύναμης είναι περίπου το μήκος L που έχει ο μυς σε κατάσταση ηρεμίας. Όταν ο μυς συμπιεσθεί κατά 80% του μήκους του L , ο μυς δεν μπορεί να συσταθεί περισσότερο και η δύναμη που μπορεί να παράγει είναι κατά πολύ μικρότερη. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που τεντώνουμε το μυ σε μήκος 20% μεγαλύτερο από το φυσιολογικό. Εάν δε ο μυς τεντωθεί κατά $2L$ είναι δυνατόν να προκληθεί μη αναστρέψιμος τραυματισμός του.

Το χέρι σηκώνεται και συγκρατείται οριζόντια στο ύψος των ώμων από το δελτοειδή μυ (Εικόνα 8α). Στην εικόνα 8β παρουσιάζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στην περίπτωση αυτή. Αθροίζοντας τις ροπές που δημιουργούνται γύρω από την άρθρωση του ώμου υπολογίζουμε την τάση T :

$$T = (2W_1 + 4W_2)/\sin \alpha \quad (3.1)$$



Εικόνα 8. Υψώνοντας το δεξιό βραχίονα, (α) Απεικονίζονται ο δελτοειδής μυς και τα οστά. (β) Απεικονίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στο βραχίονα. T είναι η δύναμη από το δελτοειδή για μια συγκεκριμένη γωνία α , R είναι η δύναμη αντίδρασης στην άρθρωση του ώμου, W , είναι το βάρος του

βραχίονα με σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους του, και W_2 το βάρος που συγκρατείται από το χέρι (σφαίρα).

Αν $\alpha = 16^\circ$, το βάρος του χεριού $W_1 = 68 \text{ N}$, και το βάρος που συγκρατείται από το χέρι $W_2 = 45 \text{ N}$ τότε $T = 1145 \text{ N}$. Η δύναμη που απαιτείται για να συγκρατήσει το χέρι ψηλά είναι πολύ μεγάλη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

Η σπονδυλική στήλη

Τα οστά αποτελούν την κύρια δομική στήριξη του ανθρώπινου σώματος (Εικόνα 4.1). Εξετάζοντας το σχήμα αυτό, παρατηρούμε ότι η επιφάνεια διατομής των οστών που στηρίζουν το ανθρώπινο σώμα, γενικά αυξάνει από το κεφάλι ως τα άκρα των ποδιών. Τα οστά αυτά παρέχουν τη στήριξη του επιπρόσθετου βάρους των μυών και των ιστών. Οι αρχές της μηχανικής για την κατασκευή κτιρίων εφαρμόζονται και στην περίπτωση του ανθρώπινου σώματος: η μεγαλύτερη δύναμη στήριξης απαιτείται στη βάση. (Σημείωσε ότι, υπάρχουν εξαιρέσεις: το μηριαίο οστό είναι μεγαλύτερο από το οστό της κνήμης και της περόνης - οστά που στηρίζουν το πόδι).

Τα οστά που στηρίζουν μέρος του βάρους του σώματος είναι βελτιστοποιημένα για να εκτελούν το έργο στήριξης. Το εξωτερικά ή συμπαγές οστό είναι κατασκευασμένο για να αντέχει σε φορτία που το συμπιέζουν. Το εσωτερικά σπογγώδες ή πορώδες οστό, στα άκρα των μακρών οστών και τους σπονδύλους, αποτελείται από νηματοειδή ινίδια (δοκίδες) που παρέχουν δύναμη όντας ταυτόχρονα ελαφριές. Παραδείγματα τέτοιου είδους κατασκευών από τη μηχανική είναι οι κυψελοειδείς κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την ενδυνάμωση των φτερών ενός αεροπλάνου, η χρήση μικρού βάρους ινών από γραφίτη σε σύνθετα υλικά, και ο σκελετός των κτιρίων.

Οι σπόνδυλοι αποτελούν παράδειγμα οστών που σηκώνουν αρκετό φορτίο. Η σπονδυλική στήλη φαίνεται στην εικόνα 3.9. Παρατήρησε ότι από τον αυχένα (αυχενική μοίρα) προς την οσφυϊκή μοίρα αυξάνει το πάχος και το εμβαδόν της διατομής των σπονδύλων. Για τη στήριξη της επιπλέον μάζας που βρίσκεται, πάνω από το διαδοχικό σπόνδυλο απαιτείται επιφάνεια με μεγαλύτερο εμβαδόν. Μεταξύ των σπονδύλων υπάρχουν ινώδεις δίσκοι οι οποίοι απορροφούν τις ασκούμενες προς τα κάτω δυνάμεις και άλλες προσκρούσεις στη σπονδυλική στήλη. Εντούτοις, η πίεση

(δύναμη/επιφάνεια) είναι σχεδόν η ίδια για όλους τους δίσκους. Οι δίσκοι διαρρηγνύονται σε πίεση περίπου 10^7 N/m^2 (10^7 Pa , 100 atm).

Το μήκος της σπονδυλικής στήλης, σε σχέση με τη φυσιολογική της τιμή, περίπου $0,7 \text{ m}$ (άνδρας), μειώνεται ελαφρά κατά $0,015 \text{ m}$ ($1,5 \text{ cm}$) όταν

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

σηκωνόμαστε από τον ύπνο. Η σπονδυλική στήλη επανέρχεται στο αρχικό της μήκος μετά το νυχτερινό ύπνο. Της, το μήκος της σπονδυλικής στήλης μειώνεται με την ηλικία, συνήθως ως αποτέλεσμα οστεοπόρωσης και συμπίεσης των δίσκων, καταστάσεις που παρουσιάζονται συνήθως σε ηλικιωμένες γυναίκες. Η οστεοπόρωση προκαλεί εξασθένηση του οστού και τελικά τη συμπίεσή του. Η οστεοπόρωση εξετάζεται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Η σπονδυλική στήλη, για την ευστάθεια του σώματος, παρουσιάζει μια φυσιολογική καμπύλωση. Βλέποντάς την από τη δεξιά πλευρά, το χαμηλότερο μέρος της σχηματίζει ένα «S» (βλέπε Εικόνα 9). Αποκλίσεις από το φυσιολογικό σχήμα της σπονδυλικής στήλης προκαλούν λόρδωση, κύφωση και σκολίωση. Η *λόρδωση*, είναι μία μεγάλη καμπύλωση της σπονδυλικής στήλης.

Η σκολίωση είναι μία κατάσταση στην οποία η σπονδυλική στήλη έχει σχήμα «S» όταν την βλέπουμε από πίσω (Εικόνα 10γ). Η φυσιολογική στάση του σώματος φαίνεται στην εικόνα 10δ.

Οι δίσκοι της σπονδυλικής στήλης μπορούν να αντέξουν τάση (δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας) $1,1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ πριν υποστούν διάρρηξη.

(α) Αν το εμβαδόν της διατομής των δίσκων σου είναι 10 cm^2 , ποια είναι η μέγιστη δύναμη που μπορεί να εφαρμοστεί ώστε να μην επέλθει διάρρηξη αυτών;

[Απάντηση: $1,1 \times 10^4 \text{ N}$]

β) Εκτίμησε την τάση σε ένα δίσκο που βρίσκεται στο ύψος του κέντρου βάρους του σώματος σου όταν στέκεσαι όρθιος.

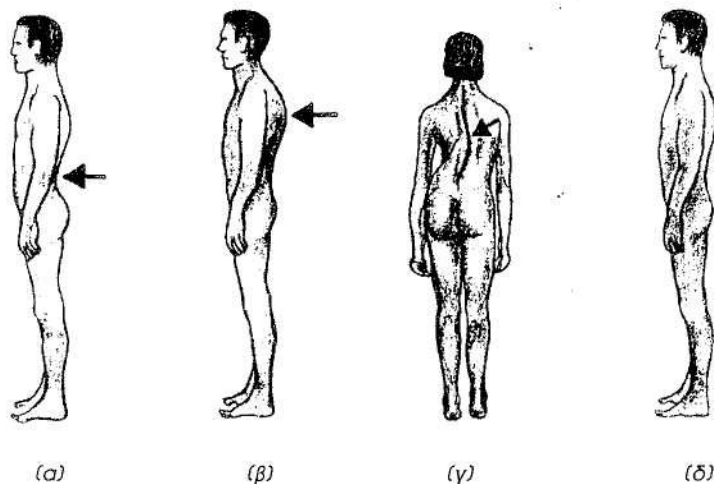
[Απάντηση: $3,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$]

(γ) Ποιες καταστάσεις μπορεί να προκληθούν όταν η τάση στο συγκεκριμένο σπόνδυλο είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που υπολόγισες προηγουμένως;

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Σταθερότητα του σώματος στην όρθια στάση

Σε έναν άνθρωπο που στέκεται όρθιος, όπως αυτός φαίνεται από πίσω, το κέντρο βάρους του βρίσκεται στο ύψος της πυέλου του μπροστά από το άνω μέρος του ιερού οστού, περίπου στο 58% του ύψους του ανθρώπου πάνω από το έδαφος. Μία κάθετη γραμμή περνάει από το κέντρο βάρους ανάμεσα στα πόδια. Ανεπαρκής λειτουργία των μυών, ατυχήματα, ασθένειες, εγκυμοσύνες, υπέρβαρες καταστάσεις ή λανθασμένη στάση, αλλάζουν τη θέση του κέντρου βάρους σε μη φυσιολογική θέση μέσα στο σώμα όπως φαίνεται στην εικόνα 11. Μια υπέρβαρη κατάσταση προκαλεί μετακίνηση του κέντρου βάρους προς τα εμπρός, μετακινώντας την κάθετη προβολή του κάτω από το πρόσθιο μέρος του πέλματος όπου η ισορροπία είναι λιγότερο σταθερή. Το άτομο σε αυτή την περίπτωση ισορροπεί γέρνοντας ελάχιστα προς τα πίσω.



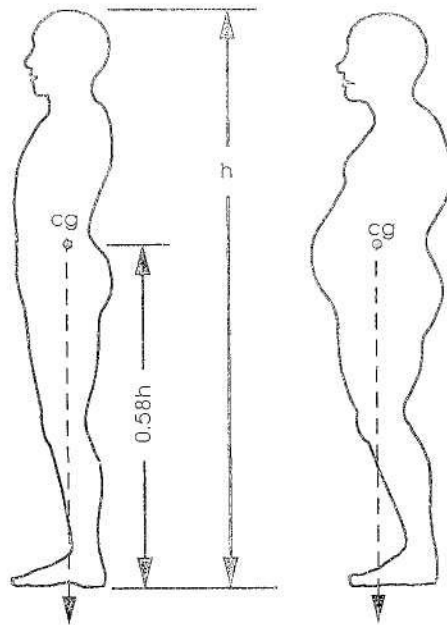
Εικόνα 10. Ανώμαλες καταστάσεις τις σπονδυλικής στήλης, (α) λόρδωση, (β) κύφωση, και (γ) σκολίωση, (δ) Φυσιολογική στάση σώματος.

Για τη διατήρηση της ισορροπίας κατά την όρθια στάση, πρέπει η κάθετη προβολή του κέντρου βάρους να παραμένει μέσα στην περιοχή που καλύπτεται από την επιφάνεια των πελμάτων σου (Εικόνα 12α). Αν η κάθετη προβολή του κέντρου βάρους σου είναι έξω από αυτήν την περιοχή, τότε θα γείρεις και θα πέσεις. Όταν τα πόδια σου είναι πολύ κοντά μεταξύ τους (Εικόνα 12α), είσαι λιγότερο σταθερός από ό,τι όταν βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους (Εικόνα 12β). Παρομοίως, αν

το κέντρο βάρους σου χαμηλώσει, τότε αυτό σου προσδίδει, μεγαλύτερη ευστάθεια. Ένα μπαστούνι ή μία πατερίτσα προσδίδει μεγαλύτερη ευστάθεια στο σώμα επίσης (Εικόνα 12γ). Συγκρίνοντας την ευστάθεια ενός ανθρώπου με αυτή ενός τετραπόδου ζώου, είναι σαφές ότι το ζώο είναι περισσότερο ευσταθές γιατί η επιφάνεια μεταξύ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

των τεσσάρων ποδιών του είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια μεταξύ των δύο ποδιών του ανθρώπου. Με αυτό τον τρόπο γίνεται κατανοητό γιατί ένα μωρό χρειάζεται περίπου δέκα μήνες για να είναι ικανό να σταθεί όρθιο, ενώ ένα νεογέννητο τετράποδο ζώο το καταφέρνει σε λιγότερο από δύο ημέρες (τα άγρια, σε λιγότερο από μία ώρα) μια κατάσταση απαραίτητη για την επιβίωση.

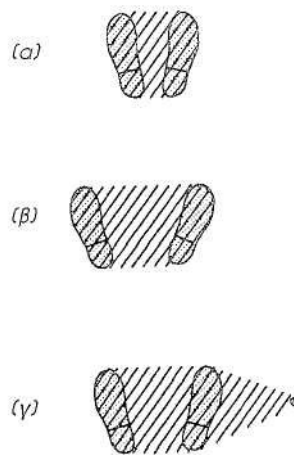


Εικόνα 11. (α) Το κέντρο βάρους ενός φυσιολογικού ατόμου βρίσκεται σε ύψος περίπου ίσο με το 58% του ύψους του ατόμου, πάνω από το πέλμα των ποδιών του. (β) Μια υπέρβαρη κατάσταση μπορεί να μετακινήσει το κέντρο βάρους σε τέτοια θέση, ώστε η κάθετη προβολή του να τείνει να βρεθεί έξω από την πρόσθια πλευρά των πελμάτων, με αποτέλεσμα το σώμα για να ισορροπεί ενεργοποιεί έντονα τους μύς της πλάτης, προκαλώντας έτσι πιθανή καταπόνηση τους.

Το σώμα εξισορροπεί τη θέση του όταν σηκώνει μία βαριά βαλίτσα με το ένα χέρι. Το άλλο χέρι κινείται προς τα έξω και το σώμα γέρνει προς την αντίθετη πλευρά από αυτήν που βρίσκεται, το βάρος έτσι ώστε το κέντρο βάρους του να βρίσκεται στην κατάλληλη θέση για ισορροπία. (Προσπάθησε να σηκώσεις στο πλάι το πλαστικό καλάθι που χρησιμοποίησες στο Πρόβλημα 3.1 για να δεις τι συμβαίνει). Άτομα με το ένα χέρι, ακρωτηριασμένο, βρίσκονται στην ίδια κατάσταση με το άτομο που μεταφέρει μια βαλίτσα. Αντισταθμίζουν το βάρος του εναπομείναντος χεριού

γέρνοντας το κορμί τους. Όμως, διαρκές λύγισμα του κορμιού προκαλεί καμπύλωση της σπονδυλικής στήλης. Σύνηθες προσθετικό είναι ένα τεχνητό χέρι βάρους ίσου με το βάρος του χεριού που λείπει. Παρόλο που ένα ψεύτικο χέρι δεν λειτουργεί, βοηθάει στην πρόληψη της στρέβλωσης της σπονδυλικής στήλης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57



Εικόνα 12. Το σώμα παραμένει σταθερό όσο η κάθετη προβολή του κέντρου βάρους παραμένει μέσα στη σκιαγραφημένη επιφάνεια ανάμεσα στα πόδια του. (α) Η επιφάνεια όταν τα πόδια βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, (β) όταν τα πόδια βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους, και (γ) η επιφάνεια όταν χρησιμοποιείται μπαστούνι ή πατερίτσα.

Δυνάμεις κατά τη σύγκρουση

Όταν ένα μέρος του σώματος (ή ολόκληρο το σώμα) συγκρουστεί με κάποιο αντικείμενο, επιβραδύνεται πολύ γρήγορα εξαιτίας των μεγάλων δυνάμεων που αναπτύσσονται. Αν θεωρήσουμε ότι η επιβράδυνση είναι σταθερή και ότι η κίνηση γίνεται σε μία διάσταση, μπορούμε να εφαρμόσουμε το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Η δύναμη ισούται με τη μεταβολή της ορμής ή πιο απλά:

$$F = ma = m(\Delta v/\Delta t) = \Delta(mv)/\Delta t$$

όπου $F = 0$ ο ρυθμός μεταβολής της ορμής του σώματος.

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί την αρχική μορφή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα.

Παραδείγματα δυνάμεων κατά τη σύγκρουση

Το παρακάτω παράδειγμα αποδεικνύει ότι ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα μπορεί να εφαρμοστεί για την εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα όταν αυτό συγκρούεται με κάποιο αντικείμενο:

Παράδειγμα: Άτομο που περπατά με ταχύτητα 1 m/sec χτυπά κατά λάθος το κεφάλι του σε ένα ασάλινο δοκάρι. Υπέθεσε ότι το κεφάλι του σταματάει περίπου σε $\Delta t = 0,01$ sec αφού διανύσει απόσταση 0,005 m (5 mm). Αν η μάζα του κεφαλιού είναι 3 Kg ποια είναι η τιμή της δύναμης που προκαλεί την επιβράδυνσή του;

Απάντηση: Η μεταβολή στην ορμή του κεφαλιού είναι $\Delta(mv) = (3 \text{ Kg})(0 \text{ m/sec}) - (3 \text{ Kg})(1 \text{ m/sec}) = -3 \text{ Kg m/sec}$ (το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι η ορμή του κεφαλιού μειώνεται και επομένως ότι η δύναμη ασκείται σε αντίθετη φορά από αυτή της κίνησης.) Επομένως, $F = (-3 \text{ Kg m/sec})/(0,01 \text{ sec}) = -300 \text{ N}$.

Παράδειγμα: Αν, στο παραπάνω ατύχημα, το δοκάρι έχει ελαστική βάρδα πάχους 0,02 m (2 cm), ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη επιβράδυνση του κεφαλιού είναι $\Delta t = 0,04$ sec. Ποια είναι η τιμή της δύναμης που προκαλεί την επιβράδυνση κάτω από αυτές τις συνθήκες;

Απάντηση: $F = \Delta(mv)/\Delta t = (-3 \text{ Kg m/sec})/(0,04 \text{ sec}) = -75 \text{ N}$, σημαντικά μικρότερη από αυτή του παραπάνω παραδείγματος.

Παράδειγμα κινητήριας δύναμης στο εσωτερικό του σώματος είναι η φαινόμενη αύξηση του βάρους όταν η καρδιά χτυπά (συστολή). Περίπου 0,06 Kg αίματος αποκτούν ταχύτητα περίπου ίση με 1 m/sec σε χρόνο $t = 0,1$ sec. Η ανιούσα ορμή

που αποκτά η συγκεκριμένη μάζα του αίματος είναι $(0,06 \text{ kg})(1 \text{ m/sec}) = 0,06 \text{ Kg m/sec}$ και επόμενους η δύναμη αντίδρασης που προκαλεί την κίνηση αυτή είναι $(0,06 \text{ kg m/sec})/(0,1 \text{ sec}) = 0,6 \text{ N}$. Η δύναμη αυτή είναι ικανή να προκαλέσει αισθητή αναπήδηση σε ένα ευαίσθητο δυναμόμετρο .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

Αν πηδήξεις από ύψος 1 m και προσγειωθείς χωρίς να λυγίσεις τα γόνατά σου είναι πολύ πιθανό να υποστείς σοκ. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το σώμα επιβραδύνεται δια μέσου της συμπίεσης των πελμάτων. Μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του σώματος ακριβώς πριν από τη σύγκρουση, 4,5 m/s (16 km/hr). Και αν η βάρβα συμπίεστεί κατά 1 cm το σώμα σταματά σε 0,005 sec (5 msec) περίπου. Στην περίπτωση αυτή, η δύναμη που ασκείται στα πόδια σου είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερη από το βάρος σου (δηλαδή 100 g, βλέπε Εικόνα 17). Αν προσγειωθείς σε στρώμα, ο χρόνος που χρειάζεται για να σταματήσεις θα είναι μεγαλύτερος και αν αντιδράσεις φυσιολογικά, θα προσγειωθείς στα δάκτυλα των ποδιών και στη συνέχεια θα λυγίσεις τα γόνατά σου ώστε η επιβράδυνση να διαρκέσει περισσότερο. Με τον τρόπο αυτό, η δύναμη που ασκείται στα πόδια σου κατά την προσγείωση μειώνεται.

Το bungee jumping είναι μια ψυχαγωγική δραστηριότητα κατά την οποία το άτομο δένεται με ένα ελαστικό σκοινί και πηδάει από πολύ μεγάλο ύψος. Για μεγάλη απόσταση το σκοινί επιβραδύνει το άτομο. Η ελεύθερη πτώση και η επιτάχυνση προκαλεί ανατριχίλα. Σύμφωνα με την εικόνα 17, οι αποστάσεις επιβράδυνσης θα πρέπει να είναι μέγα

Επιζώντες πτώσεων από μεγάλα ύψη

Είναι πολύ πιθανό να σκεφτείς ότι αν πηδήξεις ή πέσεις από μεγάλο ύψος, η πιθανότητα να επιζήσεις είναι μηδενική, εκτός αν προσγειωθείς πάνω σε ένα τεράστιο αερόσακο. Στην πραγματικότητα η πιθανότητα να επιζήσεις είναι πολύ μικρή, αλλά όχι μηδενική. Υπάρχουν άνθρωποι που έχουν επιζήσει από πτώσεις από μεγάλα ύψη. Όλα εξαρτώνται από τον τρόπο και τον τόπο στον οποίο θα πέσεις! Αν προσγειωθείς πάνω σε ένα θάμνο, στα κλαδιά ενός δέντρου, σε παχύ στρώμα χιονιού ή στην πλευρά ενός λόφου, οι δυνάμεις που επιδρούν στο σώμα σου μπορεί να είναι τόσο μικρές ώστε τελικά να επιβιώσεις. Στην εικόνα 17 δίνεται μια συνοπτική εκτίμηση των κινδύνων από πρόσκρουση στο έδαφος καθώς και καταγεγραμμένες

περιπτώσεις πτώσης. Στην εικόνα δίνεται η ταχύτητα τη στιγμή της σύγκρουσης συναρτήσει της απόστασης που απαιτείται για την πλήρη επιβράδυνση (ακινητοποίηση). Κάποιος θα μπορούσε κάλλιστα να σχεδιάσει την ταχύτητα συναρτήσει του απαιτούμενου χρόνου, αλλά συνήθως η μέτρηση της απόστασης είναι πιο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

εύκολη. Στην εικόνα οι διαγώνιες γραμμές αντιστοιχούν σε τιμές επιβράδυνσης σε μονάδες επιτάχυνσης βαρύτητας g , όπου $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$. Για παράδειγμα, επιβράδυνση ίση με $10 g$, αντιστοιχεί σε δύναμη δεκαπλάσια του βάρους του αντικειμένου. Η διπλή γραμμή αναπαριστά μια εκτίμηση του ορίου επιβίωσης.

Συγκρούσεις που συνδέονται με οχήματα

Πολύ μεγάλες επιταχυντικές ή επιβραδυντικές δυνάμεις ασκούνται σε επιβάτες αυτοκινήτων που συγκρούονται με υψηλές ταχύτητες. Αποτελέσματα των δυνάμεων αυτών είναι κατάγματα οστών, εσωτερικά τραύματα και ο θάνατος.

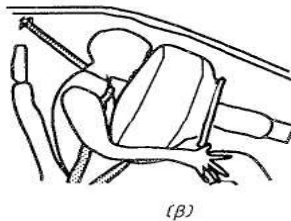
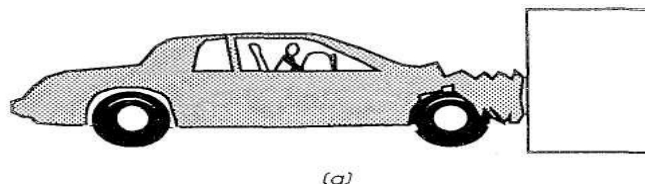
Το 1960, στην Αμερική, ξεκίνησε ένα ομοσπονδιακό πρόγραμμα ασφάλειας για τα αυτοκίνητα. Πολύ νωρίτερα, οι ένοπλες δυνάμεις, η NASA, και επιστημονικές ομάδες μελέτησαν τις δυνάμεις που μπορεί να ανεχθεί το ανθρώπινο σώμα. Για μικρές ελεγχόμενες δυνάμεις, η μελέτη διεξήχθη χρησιμοποιώντας εθελοντές. Για ακραίες περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκαν πτώματα, κούκλες ή ζώα για τον προσδιορισμό των ορίων ανοχής.

Θεώρησε τη μετωπική σύγκρουση ενός αυτοκινήτου με ένα σταθερό εμπόδιο, ένα από τα πολύ συχνά και σοβαρά ατυχήματα. Τι θα συμβεί στο αυτοκίνητο και στους επιβάτες του κατά τη σύγκρουση; Το μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να κάμπτεται κατά τη σύγκρουση. Πιο συγκεκριμένα είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να συνθλίβεται σε διάφορα μέρη, ξεκινώντας από τον προφυλακτήρα, επιμηκύνοντας έτσι την απόσταση της σύγκρουσης (ή το χρόνο) (βλέπε Εικόνα 18α). Το πρόσθιο μέρος του αυτοκινήτου υπόκειται σε σοβαρές ζημιές, ενώ το εσωτερικό του είναι δυνατό να μην υποστεί καμία, με αποτέλεσμα οι επιβάτες να τραυματιστούν ελάχιστα ή καθόλου. Το μέγεθος των ζημιών εξαρτάται από τα πρόσθετα συστήματα ασφάλειας του αυτοκινήτου: ζώνη ασφαλείας, αερόσακος, που προστατεύουν το κεφάλι και τον κορμό του ανθρώπινου

σώματος κατά τη σύγκρουση (Εικόνα 18β). Έχει αποδειχθεί στατιστικά ότι τα συστήματα αυτά προστατεύουν από τραυματισμούς ή αποτρέπουν ακόμη και το θάνατο. Παρόλα αυτά, εσφαλμένη χρήση των ζωνών ασφαλείας ή εσφαλμένη τοποθέτηση καθισμάτων για βρέφη οδηγούν ακριβώς στο αντίθετο αποτέλεσμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

Λόγω των κινδύνων που εγκυμονούν για τις συγκρούσεις των αυτοκινήτων, απαιτείται από τη νομοθεσία μια σειρά συστημάτων ασφαλείας στα αυτοκίνητα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται υποστηρίγματα του κεφαλιού, ζώνες ασφαλείας τριών σημείων, τιμόνια που απορροφούν ενέργεια, πλευρικές μπάρες ασφαλείας για την προστασία των επιβατών κατά τη σύγκρουση κ.ά. Πληροφορίες σαν αυτές της εικόνας 17 χρησιμοποιούνται τόσο για το σχεδιασμό μεθόδων επείγουσας εκτόξευσης από πολεμικά αεροσκάφη, όσο και στο σχεδιασμό ασφαλείας επιβατικών αεροσκαφών και αυτοκινήτων. Για παράδειγμα, εάν ένας πιλότος πρόκειται να εκτοξευθεί κατακόρυφα προς τα πάνω, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις επιδράσεις αυτής της επιτάχυνσης. Γνωρίζοντας τα όρια του ανθρώπινου σώματος, κάθε δύναμη επιτάχυνσης στο ανθρώπινο σώμα και ο χρόνος εφαρμογής της μπορούν να ρυθμισθούν έτσι, ώστε η πιθανότητα τραυματισμού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης να ελαχιστοποιείται.



Εικόνα 18. (α) Ένα αυτοκίνητο συγκρούεται μετωπικά και σταματάει σε μικρή απόσταση. Η απόσταση που απαιτείται για την πλήρη επιβράδυνση είναι περίπου 1 m αν το αυτοκίνητο είναι σχεδιασμένο για να συνθλίβεται αρχικά το πρόσθιο μέρος του. (β) Ο οδηγός, που φορά ζώνη ασφαλείας, γέρνει μπροστά. Ο αερόσακος που «ανοίγει» προστατεύει τον κορμό και το κεφάλι του οδηγού από τη σύγκρουση στο τιμόνι ή στο ταμπλό.

Επιπλέον οι πληροφορίες που δίνονται στην εικόνα 17 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση κράνων για τους ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές και για αθλητές του μπίτζμπολ, του ποδοσφαίρου κτλ. Κάθε κράνος σχεδιάζεται έτσι ώστε να μειώνει την επίδραση της επιβράδυνσης, απορροφώντας τους κραδασμούς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 57

κατά τη σύγκρουση. Για τα κράνη των μοτοσικλετιστών, βασικό κριτήριο για το σχεδιασμό τους, αποτελεί η ικανότητα που έχει το κεφάλι (του οδηγού) να ανθίσταται σε μια σύγκρουση με ταχύτητα 24 km/hr πάνω σε σταθερή, άκαμπτη, επίπεδη επιφάνεια, γεγονός που μπορεί να συμβεί αν πέσεις όταν ταξιδεύεις με αυτήν την ταχύτητα. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το κράνος πρέπει να είναι κατάλληλα άκαμπτο κατά την συμπίεση, ενώ το εσωτερικό του κράνους (μαξιλάκια) να απορροφά τους κραδασμούς και να μειώνει τις δυνάμεις που ασκούνται στο κεφάλι. Πρέπει, όμως, να λαμβάνουμε υπόψη μας ότι τα συστήματα ασφαλείας δεν μας προστατεύουν απόλυτα.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	Εκτίμησε τη δύναμη που ασκείται στο μέτωπο του οδηγού αν η μάζα του κεφαλιού του είναι 3 Kg, η ταχύτητά του είναι 15 m/sec. Υπέθεσε ότι αντί για τον αερόσακο, χρησιμοποιείται μαξιλάρι πάνω στο οποίο σταματάει το κεφάλι του οδηγού σε χρόνο 0,02 sec. [Απάντηση: $F_{\max} = 2,3 \times 10^3 \text{ N}$]
-----------------	--

Επιδράσεις της επιτάχυνσης στον άνθρωπο

Η επιτάχυνση του ανθρώπινου σώματος προκαλεί μια σειρά επιδράσεων, όπως (1) μια φαινομενική αύξηση ή μείωση του βάρους του σώματος, (2) αλλαγή της εσωτερικής υδροστατικής πίεσης, (3) παραμόρφωση των ελαστικών ιστών του σώματος και (4) τα διαφορετικής πυκνότητας εναιωρήματα παρουσιάζουν την τάση να διαχωριστούν στα συστατικά τους. Αν η επιτάχυνση είναι αρκετά μεγάλη, το σώμα χάνει τον έλεγχο γιατί οι μύες δεν του παρέχουν την κατάλληλη δύναμη για να αντισταθμίσει τις μεγάλες δυνάμεις της επιτάχυνσης. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες επιτάχυνσης, το αίμα μπορεί να συσσωρευτεί σε διάφορες περιοχές μέσα στο σώμα. Η θέση που μπορεί να συσσωρευτεί το αίμα εξαρτάται από τη κατεύθυνση της επιτάχυνσης.

