

Στατικές δυνάμεις

Η μηχανική είναι ο κλάδος της φυσικής που ασχολείται με την επίδραση των δυνάμεων στην κίνηση των σωμάτων. Ήταν ο πρώτος κλάδος της φυσικής που εφαρμόστηκε με επιτυχία σε ζωντανά συστήματα, όσον αφορά κυρίως στην κατανόηση της κίνησης των ζώων. Οι σημερινές βασικές αρχές της μηχανικής διαμορφώθηκαν από τον Isaac Newton, του οποίου η βασικότερη εργασία στη μηχανική ήταν το *Principia Mathematica*, που εκδόθηκε το 1687. Ωστόσο, η μελέτη της μηχανικής είχε ξεκινήσει πολύ νωρίτερα. Η αρχή της εντοπίζεται στους Έλληνες φιλοσόφους του 4ου π.Χ. αιώνα. Οι αρχαίοι Έλληνες, που είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο για την επιστήμη όσο και για τον αθλητισμό, ήταν οι πρώτοι που εφάρμοσαν φυσικές αρχές πάνω στο θέμα της κίνησης των ζώων. Ο Αριστοτέλης γράφει «το ζώο που κινείται προκαλεί την αλλαγή της θέσης του πιέζοντας αυτό που βρίσκεται από κάτω του... Οι δρομείς τρέχουν ταχύτερα όταν κουνούν τα χέρια τους, καθώς στην έκταση των χεριών βρίσκεται ένα είδος κλίσης προς τα χέρια και τους καρπούς». Παρά το γεγονός ότι ορισμένα στοιχεία που διατυπώνουν οι Έλληνες φιλόσοφοι δεν είναι σωστά, η μελέτη τους για τις θεμελιώδεις αρχές της φύσης σηματοδότησε την έναρξη της επιστημονικής σκέψης.

Μετά την παρακμή της αρχαίας Ελλάδας, η επιστημονική έρευνα πέρασε σε μια περίοδο ηρεμίας που διήρκεσε μέχρι την Αναγέννηση, η οποία έφερε μια αναβίωση σε πολλούς τομείς, μεταξύ των οποίων και στην επιστήμη. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο Leonardo da Vinci (1452–1519) έκανε λεπτομερείς παρατηρήσεις των κινήσεων των ζώων και της λειτουργίας των μυών. Μετά τον da Vinci, εκατοντάδες άνθρωποι έχουν συμβάλει στο να είμαστε σήμερα σε θέση να κατανοήσουμε την κίνηση των ζώων χρησιμοποιώντας τις βασικές αρχές της μηχανικής. Οι μελέτες τους έχουν υποβοηθηθεί από τη βελτίωση αναλυτικών τεχνικών και την ανάπτυξη κατάλληλων οργάνων, όπως είναι η φωτογραφική μηχανή και το ηλεκτρονικό χρονόμετρο. Σήμερα, η μελέτη της ανθρώπινης κίνησης αποτελεί ενότητα του πεδίου της κινησιολογίας, η οποία μελετά την ανθρώπινη κίνηση όπως κυρίως εφαρμόζεται στον αθλητισμό, και της εμβιομηχανικής, ενός ευρύτερου πεδίου που ασχολείται όχι μόνο με την κίνηση των μυών, αλλά επίσης με τη φυσική συμπεριφορά των οστών και των οργάνων, όπως είναι οι πνεύμονες και η καρδιά. Η ανάπτυξη προσθετικών μελών, μηχανικών αρθρώσεων και μηχανικών καρδιών είναι ένα ενεργό πεδίο έρευνας της εμβιομηχανικής.

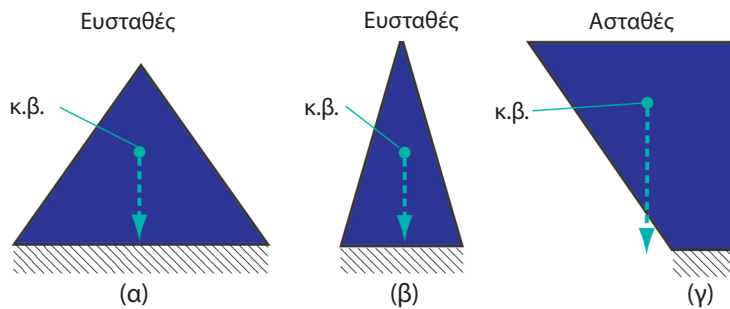
Η μηχανική, όπως και κάθε άλλος τομέας της επιστήμης, ξεκινά με κάποιες συγκεκριμένες θεμελιώδεις αρχές και κατόπιν παρέχει τους κανόνες με τους οποίους αυτές σχετίζονται. Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται περιληπτικά οι βασικές αρχές της μηχανικής, παρέχοντας μια ανασκόπηση και όχι μια αναλυτική περιγραφή του θέματος. Θα ξεκινήσουμε τη συζήτησή μας για τη μηχανική με την εξέταση των στατικών δυνάμεων που ενεργούν στο ανθρώπινο σώμα. Πρώτα θα συζητήσουμε την ευστάθεια και την ισορροπία και κατόπιν θα υπολογίσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται από τους σκελετικούς μυς στα διάφορα μέρη του σώματος.

1.1 ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

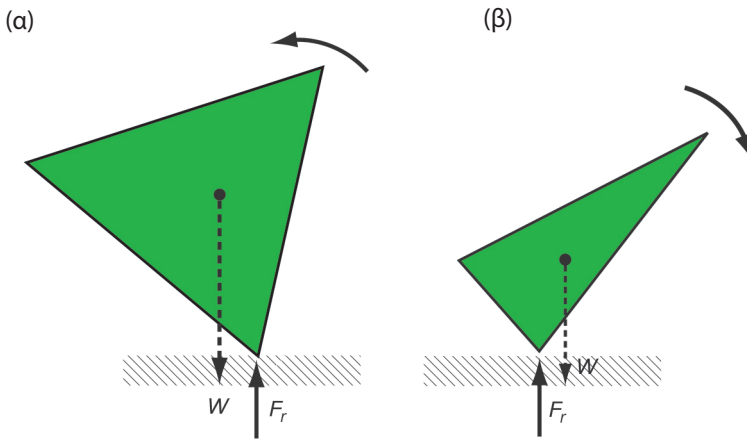
Η Γη ασκεί μια ελκτική δύναμη στη μάζα ενός αντικειμένου· στην πραγματικότητα, κάθε στοιχειώδης μάζα του αντικειμένου έλκεται από τη Γη. Το άθροισμα αυτών των ελκτικών δυνάμεων είναι το βάρος του αντικειμένου. Το βάρος αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μια δύναμη που ασκείται σε ένα μοναδικό σημείο καλούμενο κέντρο μάζας ή κέντρο βάρους. Όπως αναφέρεται στο Παράρτημα Α, ένα σώμα βρίσκεται σε στατική ισορροπία όταν το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων και των ροπών που ασκούνται στο σώμα είναι μηδέν. Αν το σώμα δεν στηρίζεται, η δύναμη της βαρύτητας το επιταχύνει και το σώμα δεν βρίσκεται σε ισορροπία. Για να βρίσκεται ένα σώμα σε ευσταθή ισορροπία, πρέπει να στηρίζεται καταλλήλως.

Η θέση του κέντρου βάρους (κ.β.) σε σχέση με τη βάση στήριξης είναι αυτή που ορίζει αν ένα σώμα βρίσκεται σε ευστάθεια ή όχι. Ένα σώμα βρίσκεται σε ευσταθή ισορροπία υπό την επίδραση της βαρύτητας, όταν το κέντρο βάρους του βρίσκεται ακριβώς πάνω από τη βάση στήριξης του σώματος (Εικόνα 1.1α, β). Υπό αυτήν τη συνθήκη, η δύναμη της αντίδρασης που ασκείται στη βάση στήριξης αναιρεί την επίδραση της δύναμης της βαρύτητας και της ροπής που προκαλείται από αυτήν. Αν το κέντρο βάρους είναι εκτός της βάσης στήριξης, η ροπή τείνει να ανατρέψει το σώμα (Εικόνα 1.1γ).

Όσο ευρύτερη είναι η βάση στην οποία στηρίζεται ένα σώμα, τόσο πιο σταθερό είναι, δηλαδή τόσο πιο δύσκολο να ανατραπεί. Αν ένα σώμα με ευρεία βάση στήριξης, όπως αυτό της Εικόνας 1.1α, εκτραπεί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2α, η



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Ευστάθεια σωμάτων.



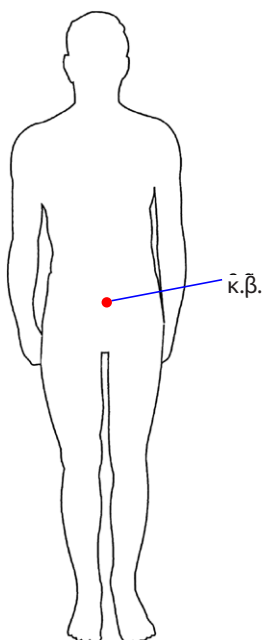
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 Η ροπή που δημιουργείται από το βάρος (α) επαναφέρει το σώμα στην αρχική του θέση, (β) εκτρέπει το σώμα.

ροπή που προκαλείται από το βάρος του τείνει να το επαναφέρει στην αρχική του θέση (η F_r είναι η δύναμη της αντίδρασης που ασκείται στη βάση του σώματος). Η ίδια εκτροπή σε ένα σώμα με περιορισμένη βάση στήριξης προκαλεί μια ροπή ικανή να το εκτρέψει (Εικόνα 1.2β). Αντίστοιχοι συλλογισμοί αποδεικνύουν ότι ένα σώμα είναι περισσότερο ευσταθές, αν το κέντρο βάρους του είναι πιο κοντά στη βάση στήριξης του.

1.2 ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Το κέντρο βάρους ενός ανθρώπου σε όρθια θέση με τα χέρια στα πλάγια του σώματος βρίσκεται περίπου στο 56% του ύψους του ανθρώπου, από τη βάση των ποδιών του (Εικόνα 1.3). Το κέντρο βάρους μετακινείται καθώς ο άνθρωπος κινείται ή γέρνει. Τελικά, ο άνθρωπος πέφτει όταν το κέντρο βάρους του μετακινηθεί εκτός της θέσης των ποδιών.

Όταν κουβαλάμε ένα ανομοιογενές φορτίο, το σώμα τείνει να το αντισταθμίσει γέρνοντας και προεκτείνοντας τα άκρα, ώστε να μετακινήσει το κέντρο βάρους πάνω από τα πόδια. Για παράδειγμα, όταν ένας άνθρωπος μεταφέρει ένα βάρος στο ένα χέρι, το άλλο χέρι απομακρύνεται από το σώμα και ο κορμός γέρνει μακριά από το βάρος (Εικόνα 1.4). Αυτή η τάση του σώματος να αντισταθμίσει την ανομοιογενή κατανομή του βάρους συχνά μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σε άτομα που έχουν χάσει το ένα χέρι, καθώς η συνεχής επίπονη κάμψη του κορμού μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης. Γι' αυτόν τον λόγο, συχνά συνιστάται σε αυτά τα άτομα να φορούν τεχνητό μέλος, ακόμη και αν δεν μπορούν να το χρησιμοποιούν, ώστε να εξισορροπείται η κατανομή του βάρους.



ΕΙΚΟΝΑ 1.3 Το κέντρο βάρους ενός ατόμου.

1.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να υπόκειται και σε άλλες δυνάμεις εκτός από το βάρος. Ας υπολογίσουμε το μέτρο της δύναμης που ασκείται στον ώμο και θα ανατρέψει έναν άνθρωπο που στέκεται σε όρθια θέση. Οι διαστάσεις του ανθρώπου που θα εξετάσουμε παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.5. Αν αυτή η εξωτερική δύναμη δεν υφίσταται, ο άνθρωπος βρίσκεται σε ευσταθή ισορροπία, καθώς το κέντρο βάρους του βρίσκεται πάνω από τα πόδια του, τα οποία αποτελούν τη βάση στήριξης. Η ασκούμενη δύναμη F_a τείνει να ανατρέψει το σώμα. Όταν το σώμα ανατραπεί, αυτό θα γίνει με το να περιστραφεί γύρω από το σημείο A, υποθέτοντας ότι δεν θα ολισθήσει. Η αριστερόστροφη ροπή T_a γύρω από αυτό το σημείο, η οποία προκαλείται από την ασκούμενη δύναμη, είναι

$$T_a = F_a \times 1,5 \text{ m} \quad (1.1)$$

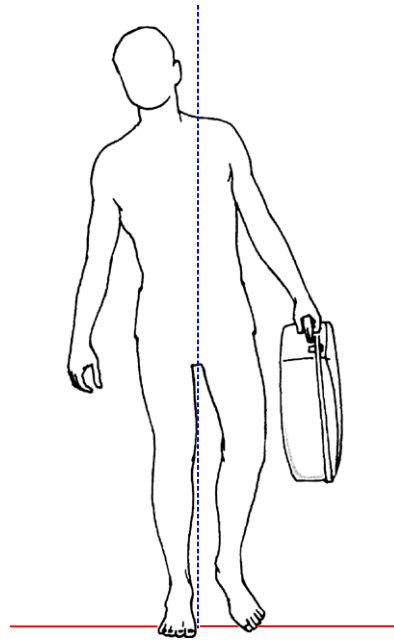
Η αντίθετη ροπή επαναφοράς T_w εξαιτίας του βάρους του ανθρώπου είναι

$$T_w = W \times 0,1 \text{ m} \quad (1.2)$$

Θεωρώντας ότι η μάζα του ανθρώπου είναι 70 kg, το βάρος του W είναι

$$W = mg = 70 \times 9,8 = 686 \text{ newton (N)} \quad (1.3)$$

(όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία έχει μέτρο 9,8 m/s²)



ΕΙΚΟΝΑ 1.4 Άνθρωπος που μεταφέρει βάρος.

Η ροπή επαναφοράς, η οποία προκαλείται από το βάρος, είναι επομένως 68,6 newton-meter (N-m). Ο άνθρωπος είναι στο όριο ανατροπής όταν οι δύο ροπές είναι ακριβώς ίσες, δηλαδή όταν $T_a = T_w$ ή

$$F_a \times 1,5 \text{ m} = 68,6 \text{ N-m} \quad (1.4)$$

Επομένως, η δύναμη που απαιτείται για να ανατρέψει έναν άνθρωπο σε όρθια θέση είναι

$$F_a = 68,6/1,5 = 45,7 \text{ N (10,3 lb)} \quad (1.5)$$

Στην πραγματικότητα, ένας άνθρωπος μπορεί να δεχθεί πολύ μεγαλύτερες πλευρικές δυνάμεις χωρίς να χάσει την ισορροπία του, με το να γείρει τον κορμό του σε κατεύθυνση αντίθετη με την ασκούμενη δύναμη (Εικόνα 1.6). Αυτό απομακρύνει το κέντρο βάρους μακριά από το σημείο περιστροφής αυξάνοντας τη ροπή επαναφοράς που προκαλείται από το βάρος του σώματος.

Η ευστάθεια σε μια δύναμη τείνει να αυξηθεί και με το άνοιγμα των ποδιών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.7 και περιγράφεται στην Άσκηση 1-1.

1.4 ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΙ ΜΥΕΣ

Οι σκελετικοί μύες, οι οποίοι παράγουν κινήσεις του σκελετού, αποτελούνται από πολλές εκατοντάδες παράλληλες ίνες περιτυλιγμένες από ένα εύκαμπτο περίβλημα