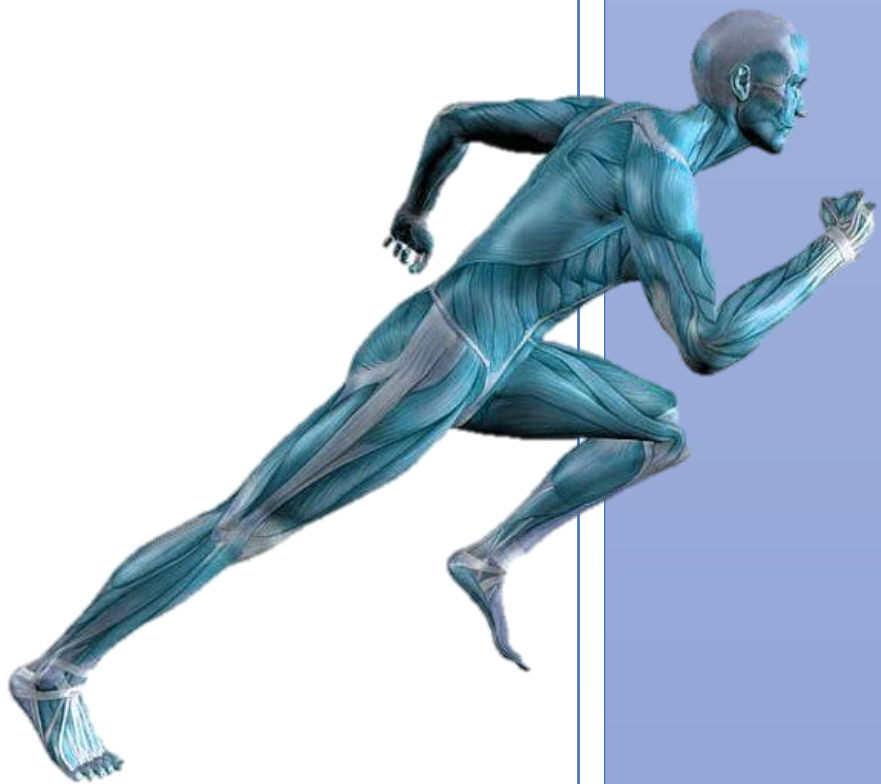




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΦΥΣΙΚΗ Ι**

ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ



ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2021-2022

1^ο ΕΞΑΜΗΝΟ

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΧΑΙΡΕΤΑΚΗ

mm21077

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Εισαγωγή	4
Τι ονομάζουμε εμβιομηχανική ;.....	4
Η Εμβιομηχανική ως επιστήμη	4
1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ	6
1.1 Δυνάμεις	6
1.1.1 Τι ονομάζουμε «δύναμη» ; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της ;	6
1.1.2. Οι νόμοι του Νεύτωνα	7
1.1.3. Σχέση μεταξύ ορμής και δύναμης	8
1.2 Ροπές.....	8
1.2.1 Η έννοια της περιστροφικής δυναμικής.....	8
1.2.2. Τι ονομάζουμε «ροπή» ; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της ;	9
1.2.3. Ροπή ζεύγους	9
1.2.4. Ροπή αδράνειας.....	10
1.2.5. Στροφορμή.....	10
2. ΣΤΑΤΙΚΗ	12
2.1. Ισορροπία	12
2.1.1. Τι ονομάζουμε «ισορροπία» ενός σώματος ; Πόσα και ποια είδη ισορροπίας υπάρχουν ;	12
2.1.2. Συνθήκες ισορροπίας στην ανθρώπινη κίνηση.....	12
2.2. Κέντρο Μάζας (ΚΜ)	12
2.3. Η έννοια της σταθερότητας.....	13
2.3.1. Σταθερότητα στην όρθια στάση του ανθρώπινου σώματος	13
3. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ	15
3.1. Πόσα και ποια είδη κίνησης υπάρχουν ;.....	15
3.2. Γραμμικά κινηματικά μεγέθη	15
3.2.1. Μετατόπιση	15
3.2.2. Ταχύτητα	15
3.2.3. Επιτάχυνση	15
3.3. Γωνιακά κινηματικά μεγέθη	16
3.3.1. Γωνιακή μετατόπιση	16

3.3.2. Γωνιακή ταχύτητα	17
3.3.3. Γωνιακή επιτάχυνση	17
4. ΚΙΝΗΤΙΚΗ.....	18
4.1. Έργο.....	18
4.1.1. Μηχανικό Έργο	18
4.1.2. Φυσιολογικό έργο	19
4.2. Ενέργεια	19
4.3. Ισχύς.....	20
4.3.1. Πως υπολογίζεται η ισχύς στο ανθρώπινο σώμα ;	20
Συμπεράσματα	21
Βιβλιογραφία	22

Περίληψη

Μολονότι το ανθρώπινο σώμα είναι ένα απίστευτα πολύπλοκο βιολογικό σύστημα, υπόκεινται στους ίδιους θεμελιώδεις νόμους της μηχανικής που διέπουν τις υλικές δομές. Η εφαρμογή των νόμων της μηχανικής στα βιολογικά συστήματα και ειδικότερα στο κινητικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος αναφέρεται ως εμβιομηχανική. Στόχος της εμβιομηχανικής είναι η μελέτη της κίνησης των μελών του σώματος, ή και του ίδιου του σώματος ως ολότητα, υπό το πρίσμα των φυσικών νόμων και ειδικότερα των νόμων της κλασικής μηχανικής. Στη συγκεκριμένη εργασία, αρχικά παρατίθενται ορισμένες πληροφορίες για την επιστήμη της εμβιομηχανικής και στην συνέχεια παρουσιάζεται η σύνδεση ανάμεσα στις τέσσερις ενότητες της κλασικής μηχανικής, δυναμική, στατική, κινηματική και κινητική και της επιστήμης της εμβιομηχανικής.

Abstract

Although the human body is an incredibly complex biological system, it is subject to the same fundamental laws of mechanics that govern material structures. The application of the laws of mechanics to biological systems, and in particular to the motor system of the human body, is referred to as biomechanics. The aim of biomechanics is to study the motion of the body parts, or the body as a totality, in the perspective of the laws of physics, in particular the laws of classical mechanics. In this paper, first some information about the science of biomechanics is given and then the connection between the four sections of classical mechanics, dynamics, statics, kinematics and kinetics, and the science of biomechanics is presented.

Εισαγωγή

Τι ονομάζουμε εμβιομηχανική ;

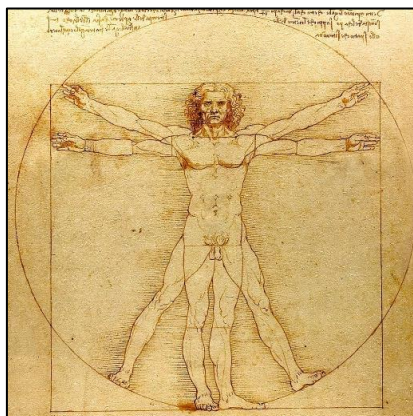
Ως **εμβιομηχανική** ορίζεται η εφαρμογή των νόμων της μηχανικής στα βιολογικά συστήματα και ειδικότερα στο κινητικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος. Εξετάζει την κίνηση των μελών του σώματος, ή και του ίδιου του σώματος ως ολότητα, υπό το πρίσμα των φυσικών νόμων και ειδικότερα των νόμων της κλασικής μηχανικής. 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.

Η Εμβιομηχανική ως επιστήμη

Πριν τον 19^ο αιώνα

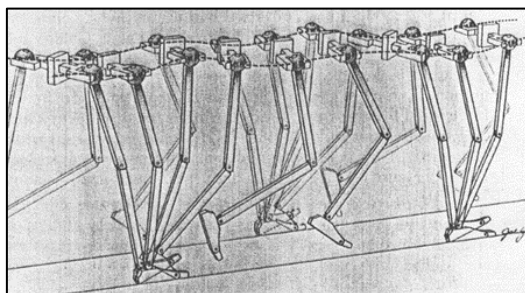
Ενδιαφέρον για τη μελέτη της κίνησης των ζωντανών οργανισμών παρουσιάζεται από τους αρχαίους χρόνους. Οι αρχαίοι Έλληνες φυσικοί, φιλόσοφοι ενδιαφέρθηκαν για τη μηχανική της κίνησης του ανθρώπου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν αρχές της κίνησης του Αριστοτέλη με βάση παρατηρήσεις και λογικούς συλλογισμούς καθώς και οι ανακαλύψεις Αρχιμήδη στη στατική, που μέρος της ισχύει ακόμη και σήμερα.

Εκτός από Έλληνες και αλλοεθνείς διανοούμενοι συνέβαλαν στην ανάπτυξη της εμβιομηχανικής. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι θεωρείται ότι είναι αυτός με τη μεγαλύτερη συμβολή στην ανάπτυξη της εμβιομηχανικής. Ανάλυσε την κίνηση του ανθρώπου στηριζόμενος σε δεδομένα της ανατομίας και της μηχανικής. Καθόρισε τις αναλογίες και τα μήκη των μελών του ανθρώπινου σώματος εξετάζοντας πολλά πτώματα, ενώ προσπάθησε να παρουσιάσει το σώμα γεωμετρικά. Υποστήριξε ότι η επιστήμη της βιομηχανικής είναι περισσότερο χρήσιμη από όλες τις άλλες γιατί όπως αποδεικνύεται όλα τα ζωντανά σώματα, που έχουν την ικανότητα κίνησης, δρουν υπό τους νόμους της.



Εικόνα 1. Ο «Άνθρωπος του Βιτρούβιου» (1490)

Οι Γερμανοί φυσιολόγοι W. και E. Weber διερεύνησαν πειραματικά τη βαδιστική κίνηση του ανθρώπου και δημοσίευσαν το 1836 την εργασία «Μηχανική των βαδιστικών μελών του ανθρώπου».



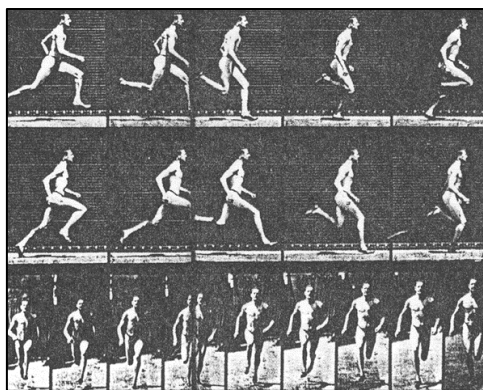
Εικόνα 2. «Μηχανική των βαδιστικών μελών του ανθρώπου».(1836)

19^{ος} και 20^{ος} αιώνες

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και τις αρχές του 20^{ου} παρουσιάζονται οι πρώτες ολοκληρωμένες μελέτες για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου σώματος (Harles, 1860, Broune & Fisher, 1889, Fisher 1906).

Ο Γάλλος φυσιολόγος Etienne Jules Marey (1830-1904) εισήγαγε τη μέθοδο της διαδοχικής φωτογράφισης για καταγραφή κινηματικών χαρακτηριστικών.

Ο Eadweard Muybridge χρησιμοποίησε 24 κάμερες με ηλεκτρικό δυναμικό από δύο μπαταρίες για τη μελέτη της κίνησης του ανθρώπου και των ζώων με διαδοχικές φωτογραφίες. Δημοσίευσε το 11τομο «Animal Locomotion» το 1887 που επανακυκλοφόρησε το 1955 με τίτλο «The Human Figure in Motion».



Εικόνα 3. «The Human Figure in Motion». (1955)

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα σημαντική ήταν η συμβολή των Hill και Fenn.

Μελετήθηκε η συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος σε κινήσεις μεγάλης ταχύτητας και σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας (Dempster, 1955, Whitsett, 1963, Hanavan, 1968, Clauser et al., 1969).

21^{ος} αιώνας

Η εξέλιξη της σύγχρονης τεχνολογίας είναι υπεύθυνη για το γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης της σύγχρονης εμβιομηχανικής.

1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Δυναμική (*dynamics*) είναι ο κλάδος της μηχανικής που εξετάζει τις αιτίες της κίνησης, δηλαδή τα στοιχεία που την προκαλούν και την επηρεάζουν. Πιο συγκεκριμένα, οι αιτίες αυτές είναι οι διάφορες δυνάμεις που δρουν σε ένα σύστημα.

Η αναζήτηση των αιτιών της κίνησης αρχίζει από την αρχαία εποχή (Αριστοτέλης, Γαλιλαίος), όμως ο ακρογωνιαίος λίθος για τη μηχανική της ανθρώπινης κίνησης είναι οι νόμοι της κίνησης που περιγράφονται από τον Ισαάκ Νεύτωνα (Newton).

1.1 Δυνάμεις

1.1.1 Τι ονομάζουμε «δύναμη» ; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της ;

Ως **δύναμη** ορίζεται η αιτία που προκαλεί την μεταβολή της κίνησης των σωμάτων. Εμπεριέχει την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων. Ασκείται πάντα από ένα σώμα πάνω σε ένα άλλο, έλκοντας ή ωθώντας το.

Οι δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση και οι οποίες επηρεάζουν την κίνηση του ανθρώπου μπορούν να διακριθούν σε δυνάμεις επαφής και δυνάμεις μη-επαφής. Οι δυνάμεις επαφής είναι αυτές που ασκούνται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν αυτά βρίσκονται σε άμεση επαφή, ενώ οι δυνάμεις μη-επαφής ασκούνται μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους.

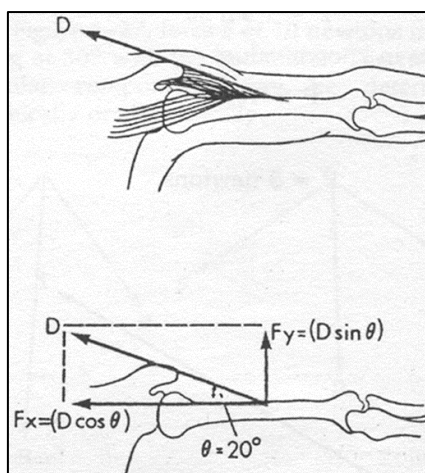
Ως δύναμη μη-επαφής αναφέρουμε τη δύναμη βαρύτητας, ενώ κυριότερες δυνάμεις επαφής για την ανθρώπινη κίνηση είναι : η δύναμη αντίδρασης του εδάφους, η αρθρική δύναμη αντίδρασης, η τριβή, η δύναμη αντίστασης στα ρευστά, η δύναμη αδράνειας, η μυϊκή δύναμη, η ελαστική δύναμη.

Η δύναμη, επίσης, είναι διανυσματικό μέγεθος. Γι' αυτό, προκειμένου να οριστεί απαιτείται ο προσδιορισμός του σημείου εφαρμογής της, από το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φοράς της.

Για παράδειγμα, στον ανθρώπινο κινητικό μηχανισμό, το σημείο εφαρμογής της μυϊκής δύναμης είναι συνήθως το σημείο κατάφυσης του μυός πάνω στο οστό. Παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει μόνο ένα σημείο κατάφυσης, για μεθοδολογικούς λόγους θεωρούμε ότι υπάρχει ένα καταφυτικό σημείο.

Η δύναμη παριστάνεται με βέλος, του οποίου το μήκος δείχνει το μέτρο της και η αρχή του βέλους την κατεύθυνση προς την οποία ασκείται η δύναμη.

Φορέας ή γραμμή δράσης της δύναμης είναι μια ευθεία γραμμή απεριορίστου μήκους στη διεύθυνση δράσης της δύναμης. Μια δύναμη μπορεί να προσδώσει σε ένα σώμα την ίδια επιτάχυνση αν δρα οπουδήποτε κατά μήκος της γραμμής δράσης της. Ο προσανατολισμός της γραμμής δράσης ορίζεται αναφορικά με ένα σύστημα συντεταγμένων X-Y και δίδεται ως γωνιακή θέση (γωνία εφαρμογής).



Εικόνα 4. Ανάλυση της δύναμης του δελτοειδούς μυός (D) σε στροφική συνιστώσα (F_y) και σε σταθεροποιοί συνιστώσα (F_x). Η γωνία εφαρμογής είναι 20° .

1.1.2. Οι νόμοι του Νεύτωνα

Μιας και το μυοσκελετικό σύστημα του ανθρώπου αποτελεί απλά μια σειρά σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, μερικές από τις βασικές αρχές της Φυσικής που ανέπτυξε ο Ισαάκ Νεύτων είναι χρήσιμες.

Οι νόμοι του Νεύτωνα είναι οι ακόλουθοι :

- 1^{ος} | ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ : Κάθε σώμα παραμένει σε κατάσταση ηρεμίας ή ευθύγραμμης ομαλής κίνησης εφόσον δεν επιδρούν πάνω του εξωτερικές δυνάμεις με σκοπό να μεταβάλλουν την κινητική του κατάσταση.

Το αξίωμα αυτό αποτελεί μια ποιοτική περιγραφή της μεταβολής της κινητικής κατάστασης ενός σώματος, διατυπώνοντας ότι η μεταβολή της θέσης του ή της ταχύτητάς του είναι αποτέλεσμα της επίδρασης κάποιας δύναμης.

Θεωρητικά η ακινησία και η ευθύγραμμη ομαλή κίνηση έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, μόνο που όταν υπάρχει κίνηση το σώμα έχει ορμή και περικλείει ενέργεια.

- 2^{ος} | ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ : Η μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος (επιτάχυνση) είναι ανάλογη της δύναμης που την προκαλεί και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του σώματος.

Η εξίσωση που περιγράφει τον 2^ο νόμο είναι : $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$

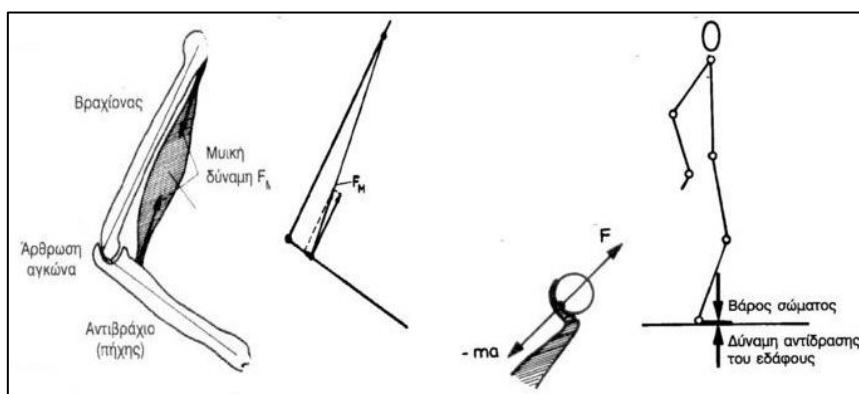
Όταν σε ένα σώμα εφαρμοστεί κάποια δύναμη αυτό θα αποκτήσει επιταχυνόμενη κίνηση που θα διαρκέσει όσο υπάρχει η εφαρμογή της δύναμης. Όταν η δύναμη σταματήσει να εφαρμόζεται, τότε η κίνηση του σώματος θα σταματήσει να είναι επιταχυνόμενη και το σώμα θα συνεχίσει να κινείται λόγω της αδράνειάς του.

- 3^{ος} | ΝΟΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ : Για κάθε δράση (δύναμη) υπάρχει μια αντίδραση (αντίθετη δύναμη) ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς, δηλαδή : $F_{1-2} = - F_{2-1}$.

Από τον συγκεκριμένο νόμο, προκύπτει ότι η δύναμη εμφανίζεται πάντα κατά ζεύγη. Σε κάθε δύναμη (δράση) αντιστοιχεί και μια αντίθετη προς αυτή δύναμη (αντίδραση). Οι δύο δυνάμεις (δράση και αντίδραση) εφαρμόζονται σε διαφορετικά σώματα (γι' αυτό δεν τίθεται θέμα ισορροπίας στο σώμα).

Η δράση και η αντίδραση είναι συμβατικές ονομασίες. Συνήθως δράση είναι η δύναμη που ασκούμε πάνω σε ένα αντικείμενο, ενώ η δύναμη του αντικειμένου πάνω στο σώμα μας ονομάζεται αντίδραση. Στην ανθρώπινη κίνηση συνήθως δράση είναι η δύναμη που εφαρμόζεται στην κατάφυση, στο σχετικά κινητό μέλος.

Η δράση και η αντίδραση χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της κίνησης. Λόγω της αδυναμίας μελέτης της μυϊκής δύναμης άμεσα (δυναμόμετρο μέσα στο μυ) χρησιμοποιούμε τη μέτρηση της δύναμης που δέχεται ένα αντικείμενο ή η γη από το σώμα (δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους).



Εικόνα 5. Παραδείγματα δυνάμεων δράσης – αντίδρασης

1.1.3. Σχέση μεταξύ ορμής και δύναμης

Αρχικά, ως ορμή ορίζεται το γινόμενο της μάζας ενός σώματος επί την ταχύτητά του και είναι διανυσματικό μέγεθος, με διεύθυνση ίδια με εκείνη της ταχύτητας του σώματος.

Η εξίσωση που περιγράφει την ορμή είναι : $\mathbf{p} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{u}$

Από τη εξίσωση $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$ αν όπου α βάλουμε $\Delta \mathbf{u} / \Delta t$ και πολλαπλασιάσουμε τα δύο μέλη με Δt έχουμε :

$$\mathbf{F} \cdot \Delta t = \mathbf{m} \cdot \Delta \mathbf{u} \Rightarrow \mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$$

Η τελική εξίσωση αποδεικνύει την σχέση ανάμεσα στην ορμή και στην δύναμη.

1.2 Ροπές

1.2.1 Η έννοια της περιστροφικής δυναμικής

Η περιστροφική δυναμική ασχολείται με τα φαινόμενα στα οποία ένα σώμα κινείται περιστροφικά υπό την επίδραση κάποιας δύναμης.

Οι εκούσιες κινήσεις του ανθρώπινου σώματος είναι περιστροφικές, καθώς η ανάπτυξη μυϊκών δυνάμεων έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση στις διάφορες αρθρώσεις.

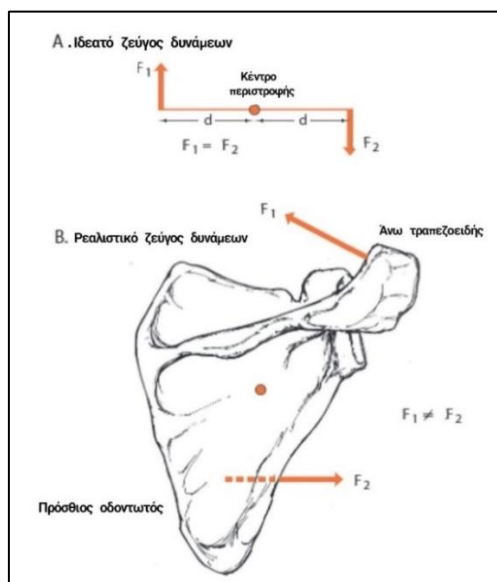
1.2.2. Τι ονομάζουμε «ροπή» ; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της ;

Η **ροπή** ή **ροπή περιστροφής** (M) προκαλείται από μια δύναμη (F) που ενεργεί σε μια απόσταση (r) από το κέντρο της περιστροφής ενός σώματος. Η ροπή τείνει να προκαλέσει περιστροφή και καθορίζεται από τη εξίσωση εξωτερικού γινομένου : $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$. Η ροπή, επίσης, αντιπροσωπεύεται από ένα διάνυσμα που περνά από το σημείο αναφοράς (π.χ. το κέντρο της περιστροφής) και είναι κάθετο τόσο στο διάνυσμα της δύναμης όσο και της απόστασης.

1.2.3. Ροπή ζεύγους

Αν δύο δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα, δημιουργούν μία ροπή, έχουν το ίδιο μέτρο, την ίδια διεύθυνση αλλά αντίθετη φορά και το άθροισμα των διανυσμάτων τους είναι ίσο με το μηδέν αποτελούν ένα ζεύγος δυνάμεων.

Στο μυοσκελετικό σύστημα, όλες αυτές οι συνθήκες δεν ικανοποιούνται συχνά, έτσι τα καθαρά ζεύγη δυνάμεων είναι σπάνια. Γενικά, οι μύες είναι «αρμόδιοι» για την παραγωγή και των δυνάμεων και των ροπών, κατά συνέπεια προκαλούν τόσο τις μεταφορικές όσο και τις περιστροφικές κινήσεις του ανθρώπου.



Εικόνα 6. Ζεύγη δυνάμεων στην περιοχή της ωμοπλάτης.

Διάκριση μεταξύ ενός ιδεατού ζεύγους δυνάμεων (Α) και ενός περισσότερο ρεαλιστικού (Β).

Εντούτοις, υπάρχουν παραδείγματα στο ανθρώπινο σώμα στα οποία δύο ή περισσότεροι μύες συνεργάζονται προκειμένου να παράγουν μια ροπή, όπως ο άνω τραπεζοειδής και ο πρόσθιος οδοντωτός (στην ωμοπλάτη). Αν και οι δυνάμεις αυτών των μυών δεν έχουν ταυτόσημα μέτρα ή διευθύνσεις, η περίπτωση αυτή αναφέρεται συχνά ως ζεύγος δυνάμεων.

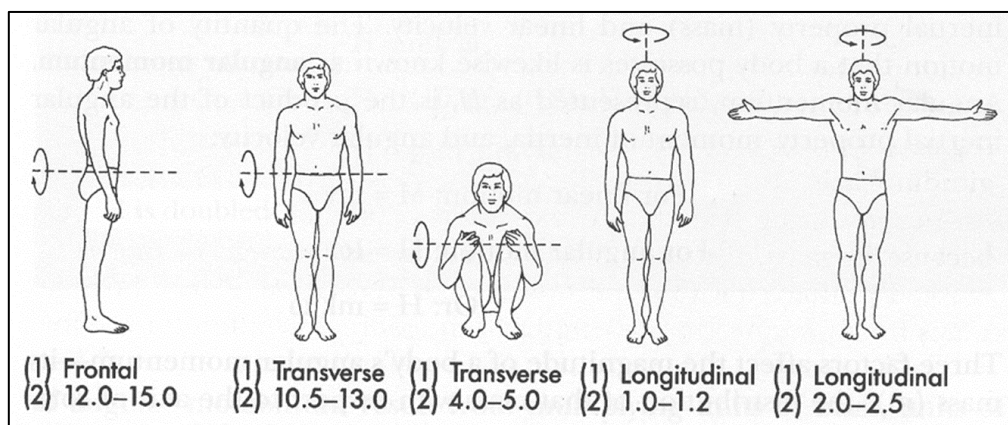
1.2.4. Ροπή αδράνειας

Ροπή αδράνειας ενός σώματος ως προς ένα σημείο ή έναν άξονα περιστροφής, είναι η ιδιότητα της μάζας να διατηρεί την περιστροφική κινητική της κατάσταση, είτε αυτή είναι ομαλή περιστροφική κίνηση είτε ηρεμία.

Η **ροπή αδράνειας** (I) ισούται : $I = m \cdot r^2$

όπου m είναι η μάζα και r η απόσταση της μάζας από το σημείο περιστροφής.

Στο μέγεθος της ροπής αδράνειας συνεισφέρει περισσότερο η απόσταση της μάζας από το σημείο περιστροφής παρά η ίδια η μάζα του σώματος.



Εικόνα 7. Μεταβολές στη ροπή αδράνειας του ανθρώπινου σώματος ανάλογα με την στάση του σώματος και αναφορικά με τους άξονες περιστροφής.

1.2.5. Στροφορμή

Στροφορμή (G) είναι η ορμή ενός περιστρεφόμενου σώματος και ισούται με τη ροπή αδράνειας επί την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής : $G = I \cdot \omega$

Η στροφορμή είναι αποτέλεσμα εξωτερικών ροπών δύναμης που εφαρμόζονται πάνω σε ένα σώμα.

Αρχή διατήρησης της στροφορμής : Αν δεν εφαρμοστεί καμιά εξωτερική ροπή, η στροφορμή ενός σώματος παραμένει σταθερή.

Για να διατηρηθεί σταθερή η στροφορμή, πρέπει αυξάνοντας τη ροπή αδράνειας (I), να μειωθεί ανάλογα η γωνιακή ταχύτητα (ω) του σώματος, ενώ μειώνοντας τη ροπή αδράνειας να αυξηθεί η γωνιακή ταχύτητα.

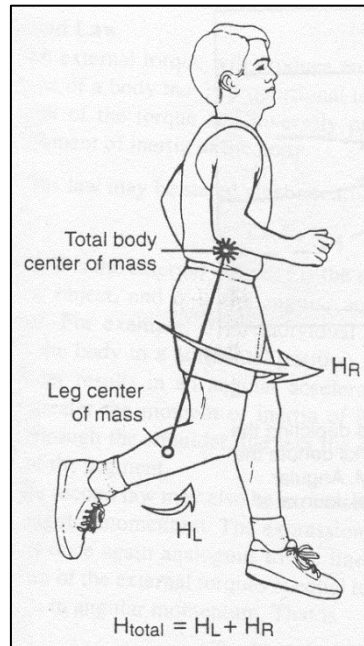
Κατά την κίνηση του ανθρώπινου σώματος, περιστρέφονται πολλά μέλη του. Έτσι, κάθε σωματικό μέλος έχει μια στροφορμή γύρω από το κέντρο μάζας του εκάστοτε μέλους, καθώς και μια στροφορμή γύρω από το συνολικό κέντρο μάζας σώματος (ΚΜΣ).

Η στροφορμή του σωματικού μέλους γύρω από το κέντρο μάζας του λέγεται **τοπική στροφορμή** (local angular momentum), ενώ η στροφορμή του μέλους

γύρω από το συνολικό κέντρο μάζας σώματος **απομακρυσμένη στροφορμή** (remote angular momentum).

Η συνολική στροφορμή ενός σωματικού μέλους είναι το άθροισμα της τοπικής και της απομακρυσμένης στροφορμής:

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{Local}} + H_{\text{Remote}}$$



Εικόνα 8. Η συνολική στροφορμή του ενός ποδιού είναι το άθροισμα της τοπικής και της απομακρυσμένης στροφορμής.

2. ΣΤΑΤΙΚΗ

Ως **στατική** (*statics*) ορίζεται ο κλάδος της μηχανικής σχετικά με τα συστήματα σε κατάσταση σταθερής κίνησης, δηλαδή είτε σε ηρεμία (χωρίς καθόλου κίνηση), είτε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα.

2.1. Ισορροπία

2.1.1. Τι ονομάζουμε «ισορροπία» ενός σώματος ; Πόσα και ποια είδη ισορροπίας υπάρχουν ;

Ένα σώμα βρίσκεται σε ισορροπία όταν δεν υπάρχει καμιά δύναμη ή ροπή δύναμης που να επηρεάζει τη θέση του.

Υπάρχουν *τρία* είδη ισορροπίας :

- **Ευσταθής** : Αυτή που αν εφαρμόσουμε μια δύναμη στο σώμα, αυτό τείνει να επανέλθει στην παλιά του θέση.
- **Ασταθής** : Αυτή που αν εφαρμόσουμε μια δύναμη το σώμα, αυτό δεν επανέρχεται στη θέση του και συνεχίζει να κινείται.
- **Αδιάφορη** : Αυτή που αν εφαρμόσουμε μια δύναμη στο σώμα, αυτό μετακινείται και σταματά, χωρίς να συνεχίσει να κινείται και χωρίς να επανέλθει στην αρχική του θέση.

2.1.2. Συνθήκες ισορροπίας στην ανθρώπινη κίνηση

Γενικά, όταν ένα σώμα δέχεται δυνάμεις, μεταβάλλει την κινητική του κατάσταση και κατ' επέκταση και τη θέση του, δηλαδή μετατοπίζεται. Επίσης, όταν οι δυνάμεις αυτές «δημιουργούν» ροπές, τότε το σώμα περιστρέφεται.

Προκειμένου το σώμα να ισορροπήσει πρέπει να ισχύουν οι δύο παρακάτω προϋποθέσεις :

- το σύνολο όλων των δυνάμεων είναι ίσο με μηδέν, δηλαδή $F_1 + F_2 + \dots + F_n = 0$ ή $\Sigma F_i = 0$ ($\Sigma F_x = 0$ και $\Sigma F_y = 0$).
- το σύνολο όλων των ροπών είναι ίσο με μηδέν, δηλαδή $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$ ή $\Sigma M_j = 0$ (όπου $j = 1$ έως n).

2.2. Κέντρο Μάζας (ΚΜ)

Το **κέντρο μάζας (ΚΜ)** ενός σώματος είναι το σημείο γύρω από το οποίο η μάζα του σώματος είναι όμοια κατανεμημένη σε όλες τις κατευθύνσεις, είναι το σημείο γύρω από το οποίο το άθροισμα των ροπών (που προκαλούνται από το βάρος των διαφόρων μελών του σώματος) ισούται με μηδέν (κέντρο ισορροπίας του σώματος).

Στο ανθρώπινο σώμα το ΚΜ ή δεν έχει σταθερή ανατομική θέση ή ορίζεται από την σε κάθε στιγμή θέση των μελών ή μπορεί να βρίσκεται και εκτός του σώματος!

Το ΚΜ αντιπροσωπεύει όλη τη μάζα του σώματος που θεωρητικά βρίσκεται συγκεντρωμένη σε αυτό το σημείο. Πολλές φορές στη βιοκινητική, κλάδο της εμβιομηχανικής, αυτό το σημείο χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κίνηση ολόκληρου του σώματος (π.χ. η δυναμική της ταχύτητας ενός σπρίντερ).

2.3. Η έννοια της σταθερότητας

Ως **σταθερότητα** μπορούμε να ονομάσουμε την αντίσταση στην απώλεια της ισορροπίας.

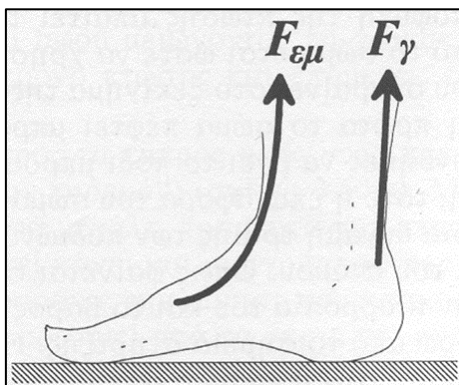
Επιφάνεια στήριξης ενός σώματος είναι η περιοχή που περικλείεται από τα ακραία σημεία στήριξης του σώματος. Όταν το διάνυσμα του βάρους περνά μέσα από την επιφάνεια στήριξης, τότε το σώμα έχει σταθερότητα.

2.3.1. Σταθερότητα στην όρθια στάση του ανθρώπινου σώματος

Στο ανθρώπινο σώμα για να υπάρχει σταθερότητα θα πρέπει η προβολή του ΚΜ να περνά μέσα από μία επιφάνεια στήριξης.

Στην όρθια στάση το σώμα στηρίζεται σε δύο σημεία, τα κέντρα των ποδοκνημικών αρθρώσεων. Στο μετωπιαίο επίπεδο έχει ευσταθή ισορροπία (δύο σημεία στήριξης), ενώ στο προσθιοπίσθιο επίπεδο έχει ασταθή ισορροπία (στήριξη πάνω στην άρθρωση).

Υπό την επίδραση αυτών των δυνάμεων η άρθρωση κρατείται σε συγκεκριμένη γωνιακή θέση ώστε να ισορροπεί το σώμα. Υπό την επίδραση των ροπών δύναμης των μυών του κορμού, εμποδίζεται η πτώση του κορμού προς τα μπροστά και το σώμα ισορροπεί.



Εικόνα 9. Η ισορροπία στο προσθιοπίσθιο επίπεδο επιτυγχάνεται με τη συνεχή αλληλεπίδραση των καμπτήρων και εκτεινόντων μυών της ποδοκνημικής ($F_{εμ}$ και $F_{γ}$).

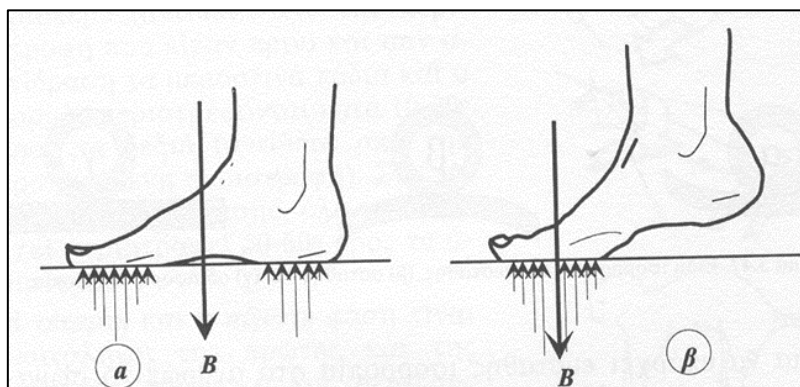
Ανάλογα με την μετατόπιση του ΚΜ στον προσθιοπίσθιο άξονα, αναπτύσσονται και αντίστοιχες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους για ισορροπία του σώματος. Σε κατάσταση ισορροπίας στην όρθια στάση, οι πιέσεις στην επιφάνεια στήριξης είναι κατανομημένες μπροστά και πίσω.

Αν το άτομο σταθεί στα δάχτυλα το ΚΜ θα μετακινηθεί προς τα μπροστά και οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους θα αναπτυχθούν στο μπροστινό μέρος της

στήριξης. Αν η προβολή του ΚΜ βγει έξω από την επιφάνεια στήριξης τότε παραβιάζεται η ισορροπία και το σώμα πέφτει μπροστά.

Το σώμα μπορεί να χάσει την ισορροπία του και να περιστραφεί προς τα μπροστά είτε λόγω ανάπτυξης εσωτερικών (μυϊκών) δυνάμεων, είτε από την άσκηση εξωτερικής δύναμης που προκαλεί ροπή ανατροπής.

Προς αποφυγή της ανατροπής βγάζουμε το πόδι μπροστά ως στήριγμα. Όταν όμως το πόδι δεν μπορεί να βγει μπροστά, τότε για να αποφευχθεί η πτώση και να επανέλθει το σώμα στη θέση ισορροπίας απαιτείται μεγάλη δύναμη τριβής μεταξύ του εδάφους και των ποδιών, καθώς και σειρά αντισταθμιστικών κινήσεων από το άτομο για αποφυγή της πτώσης.



Εικόνα 10. (α) Όρθια στάση ανθρώπου (β) Στάση ανθρώπου πάνω στα δάκτυλα

3. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ

Η **κινηματική** (*kinematics*) είναι ο κλάδος της μηχανικής και ο πρώτος τομέας της δυναμικής που ασχολείται με την περιγραφή της κίνησης, περιλαμβανομένων των ζητημάτων του χρόνου και του χώρου.

Μεταβλητές που εξετάζονται είναι η *αλλαγή θέσης του κινητού* (μετατόπιση), ο *ρυθμός μεταβολής της θέσης του κινητού* (ταχύτητα) και ο *ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας* (επιτάχυνση), χωρίς να γίνεται αναφορά στις δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση.

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι μπορεί να είναι *γραμμικές* (να βασίζονται στη μετατόπιση που μετριέται σε μέτρα ή υποδιαιρέσεις τους) ή να είναι *γωνιακές* (να βασίζονται στη μετατόπιση που μετριέται σε ακτίνια και τις υποδιαιρέσεις τους). *Είναι διανυσματικά μεγέθη με αρχή, μέτρο, διεύθυνση και φορά.*

3.1. Πόσα και ποια είδη κίνησης υπάρχουν ;

Υπάρχουν τα εξής είδη κινήσεων :

- **Μεταφορική** : Όταν όλα τα σημεία του σώματος διαγράφουν τις ίδιες, παράλληλα ή μία με την άλλη καμπύλες, δεν υπάρχει κάποια περιστροφή γύρω από τον άξονα του σώματος.
- **Περιστροφική** : Όταν όλα τα σημεία του σώματος διαγράφουν ομόκεντρους κύκλους γύρω από το σημείο περιστροφής. Το σημείο περιστροφής μπορεί να βρίσκεται τόσο εντός όσο και εκτός του σώματος.
- **Ο συνδυασμός μεταφορικής και περιστροφής κίνησης.**

3.2. Γραμμικά κινηματικά μεγέθη

Τα γραμμικά κινηματικά μεγέθη είναι τα κάτωθι :

3.2.1. Μετατόπιση

Η ευθεία που ενώνει δύο διαδοχικές θέσεις ενός κινητού και είναι διανυσματικό μέγεθος.

3.2.2. Ταχύτητα

Το πηλίκο της διανυόμενης απόστασης δια του απαιτούμενου χρόνου και είναι διανυσματικό μέγεθος. Διακρίνεται σε μέση και στιγμιαία.

3.2.3. Επιτάχυνση

Το πηλίκο της μεταβολής της ταχύτητας δια του διανυόμενου χρόνου και είναι διανυσματικό μέγεθος. Όταν η τιμή της είναι θετική, το σώμα επιταχύνεται ενώ όταν η τιμή της είναι αρνητική, το σώμα επιβραδύνεται.

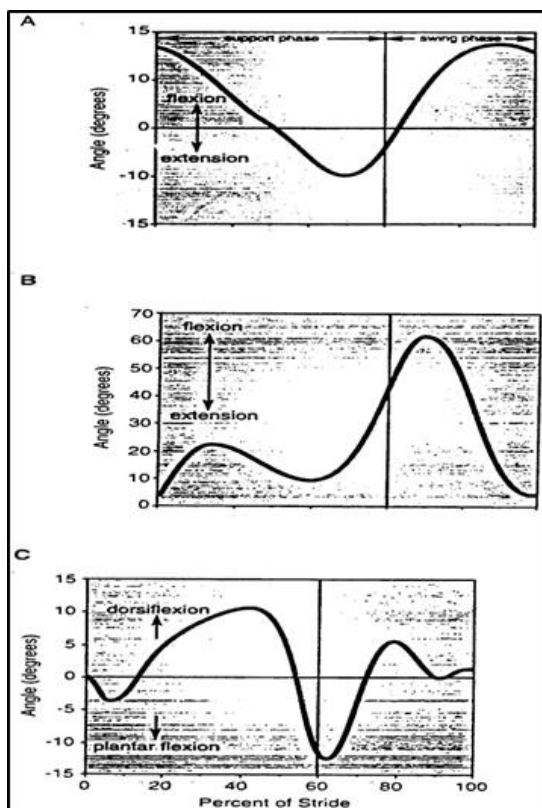
3.3. Γωνιακά κινηματικά μεγέθη

Τα γωνιακά κινηματικά μεγέθη είναι τα κάτωθι :

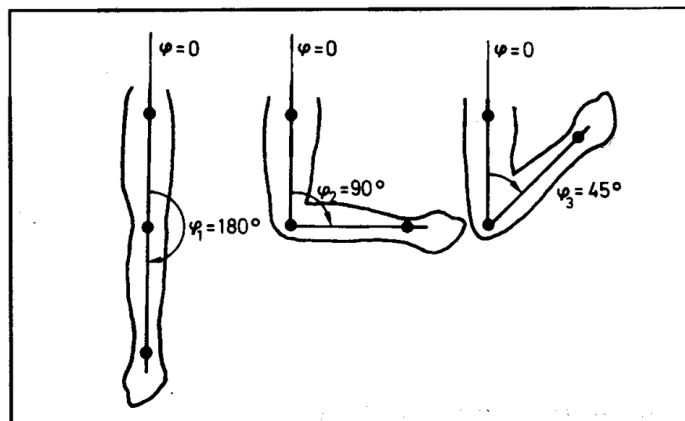
3.3.1. Γωνιακή μετατόπιση

Η γωνία που καλύπτει η ακτίνα περιστροφής ενός σώματος σε κάποια χρονική περίοδο t και μετρίεται σε ακτίνια (rad) και είναι διανυσματικό μέγεθος.

Γωνιακές μετατοπίσεις στο ανθρώπινο σώμα συμβαίνουν σε διάφορα μέλη (π.χ. βραχίονας) και στις αρθρώσεις.



Εικόνα 11. Γωνίες στο διασκελισμό της βάδισης (A) στο ισχίο (B) στο γόνατο (C) στην ποδοκνημική.



Εικόνα 12. τρεις διαφορετικές θέσεις του πήχη ως προς το βραχίονα.

3.3.2. Γωνιακή ταχύτητα

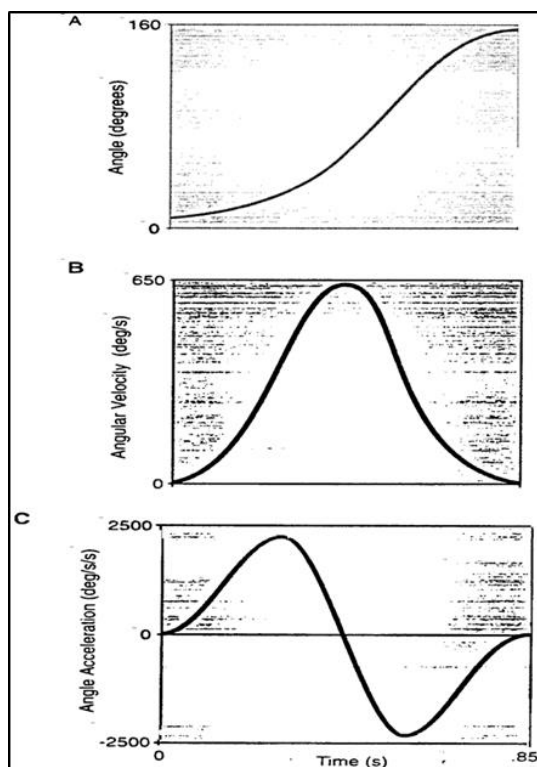
Είναι το πηλίκο της μεταβολής της γωνίας δια του απαιτούμενου χρόνου.

Διακρίνεται στη **σταθερή** και στη **μεταβαλλόμενη** γωνιακή ταχύτητα.

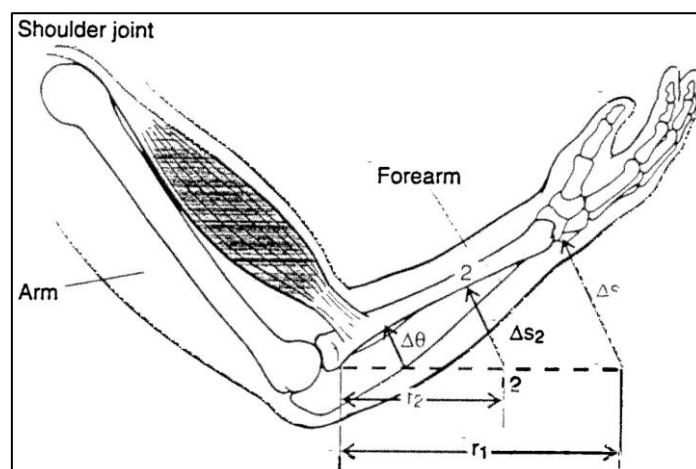
3.3.3. Γωνιακή επιτάχυνση

Είναι το πηλίκο της μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας δια του απαιτούμενου χρόνου ($\alpha = \Delta\omega/\Delta t$).

Διακρίνεται στη **μέση** και στη **στιγμιαία** γωνιακή επιτάχυνση.



Εικόνα 13. (Α) γωνία κάμψης του αγκώνα (Β) γωνιακή ταχύτητα (C) γωνιακή επιτάχυνση.



Εικόνα 14. Κάμψη του αγκώνα

4. ΚΙΝΗΤΙΚΗ

Ως **κινητική** (*kinetics*) ορίζεται ο κλάδος της μηχανικής και ο δεύτερος τομέας της δυναμικής που ασχολείται με μελέτη των δυνάμεων που σχετίζονται με την κίνηση.

4.1. Έργο

Ως **έργο** ορίζουμε την ποσότητα της ενέργειας που παράγεται ή καταναλώνεται από ένα σώμα κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής στην κινητικής του κατάστασης.

4.1.1. Μηχανικό Έργο

Μηχανικό έργο (W) είναι το γινόμενο της δύναμης F που μετακινεί το σώμα επί τη μετατόπιση x του σώματος. Δηλαδή : $W = F \cdot S$

Όταν η δύναμη εφαρμόζεται υπό γωνία (ϕ) ως προς την διεύθυνση της μετατόπισης, τότε για τον υπολογισμό του έργου λαμβάνουμε υπόψη τη συνιστώσα της δύναμης που έχει την ίδια διεύθυνση με αυτή της μετατόπισης

$$W = F \cdot \cos\phi \cdot S$$

Η λειτουργία των μυών παράγει δύο ειδών μηχανικό έργο : το **εσωτερικό** και το **εξωτερικό**.

- **Εσωτερικό έργο** : το έργο που παράγεται από τους μυς στην προσπάθειά τους να κινήσουν τον «εαυτό» τους και το κινητό μέρος της άρθρωσης προς μια ορισμένη κατεύθυνση, χωρίς όμως η προσπάθειά τους να έχει κανένα εξωτερικό αποτέλεσμα (κίνηση των μελών γύρω από το ΚΜ).
- **Εξωτερικό έργο** : το έργο που παράγεται από τους μυς όταν κατά την ενεργοποίησή τους έχουμε ως αποτέλεσμα την μετατόπιση κάποιου αντικειμένου ή την προώθηση του ΚΜ στο χώρο.

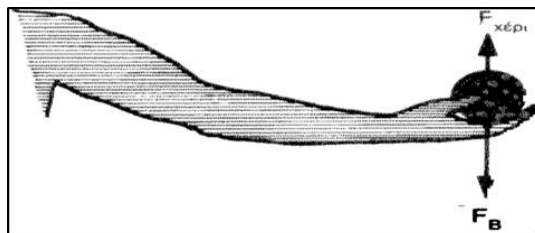
Σε μια ανθρώπινη κίνηση το συνολικό παραγόμενο έργο είναι το άθροισμα του εσωτερικού και του εξωτερικού. Το εξωτερικό έργο υπολογίζεται από τη δύναμη που δέχεται συνολικά το σώμα και από τη μετατόπισή του, ενώ για τον υπολογισμό του εσωτερικού πρέπει να γνωρίζουμε την κίνηση των μελών του σώματος ως προς το ΚΜ, τις μάζες των μελών και τις ροπές που προκαλούν τις μετατοπίσεις.

Ανάλογα με τον τύπο της μυϊκής συστολής, έχουμε την παραγωγή θετικού ή αρνητικού μηχανικού έργου.

- **Θετικό μηχανικό έργο** : όταν επικρατεί ομόκεντρη συστολή των αγωνιστών μυών σε μια κίνηση.
- **Αρνητικό μηχανικό έργο** : όταν επικρατεί η έκκεντρη συστολή των αγωνιστών μυών.

4.1.2. Φυσιολογικό έργο

Έστω ότι στη παλάμη ενός ανθρώπου, έχει τοποθετηθεί μια σφαίρα, η οποία μένει ακίνητη εξαιτίας των δυνάμεων δράσης – αντίδρασης που ασκούνται στο σύστημα παλάμη – σφαίρα. Λόγω της ακινησίας, δεν υπάρχει μηχανικό έργο.



Σε αυτή την περίπτωση, η κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με τη μυϊκή συστολή μετρίεται με μεθόδους της φυσιολογίας (π.χ. με την κατανάλωση οξυγόνου) και ονομάζεται **φυσιολογικό έργο**. Δεν έχει καμία σχέση με το μηχανικό έργο αφού δεν υπάρχει μετατόπιση (ισομετρική συστολή, αύξηση της τάσης του μυός χωρίς μεταβολή του μήκους του).

4.2. Ενέργεια

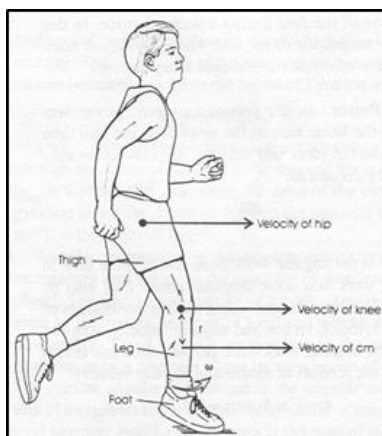
Ως **ενέργεια** ορίζουμε την ικανότητα ενός σώματος να παράγει έργο.

Η ενέργεια στη φύση απαντάται σε διάφορες μορφές όπως *θερμική, ακουστική, χημική, μηχανική* κ.λπ. Η **μηχανική ενέργεια** απασχολεί τη εμβιομηχανική και έχει τις μορφές της *κινητικής, δυναμικής και ελαστικής* ενέργειας.

Στην ανθρώπινη κίνηση, η ενέργεια προέρχεται από τον μεταβολισμό (χημική ενέργεια) και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας που είναι η θερμίδα (cal).

1 cal είναι η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός γραμμαρίου νερού από 14,5 °C σε 15,5 °C και είναι : **1 cal = 4,185 Joule**.

Έστω το παράδειγμα ενός ανθρώπου που τρέχει.



Στον τύπο $E_{\text{δυν}} + E_{\text{κιν}} = \text{σταθερό}$ (Διατήρηση της Μηχανικής Ενέργειας) πρέπει να προστεθεί και η κινητική ενέργεια κατά την περιστροφική κίνηση ($E_{\text{περ}}$).

Έτσι : $E_{\text{συνολ}} = mgh + \frac{1}{2} m \cdot u^2 + \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$

Στο παράδειγμά μας η κίνηση της κνήμης είναι και μεταφορική και περιστροφική.

Αν $I = 0,0393 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m = 2,53 \text{ kg}$ και $r = 0,146 \text{ m}$:

Έχουμε $E_{\text{περ}} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 = 0,0192\omega^2$

Επίσης $E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m \cdot u^2 = \frac{1}{2} m \cdot (\omega \cdot r)^2 = 0,0376\omega^2$

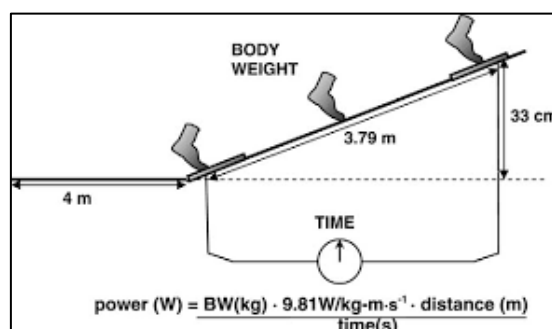
Σε αυτή την περίπτωση η συνεισφορά της μεταφορικής κινητικής ενέργειας είναι διπλάσια της αντίστοιχης περιστροφικής.

4.3. Ισχύς

Ως **ισχύ** ορίζουμε το πηλίκο του παραγόμενου έργου στη μονάδα του χρόνου.

4.3.1. Πως υπολογίζεται η ισχύς στο ανθρώπινο σώμα ;

Ένας τρόπος μέτρησης της συνολικής ισχύος του ανθρώπινου σώματος είναι το Margaria test (1966). Σε αυτό, το άτομο καλείται να ανεβεί σκαλοπάτια τρέχοντας με μέγιστη ταχύτητα. Με δεδομένα το βάρος του, την κατακόρυφη μετατόπισή του και τη διάρκεια της προσπάθειας, υπολογίζεται η ισχύς.



Εικόνα 15. Margaria Test για τον προσδιορισμό της ισχύος του ανθρώπου.

Ένας έμμεσος τρόπος υπολογισμού της ισχύος στον άνθρωπο είναι αυτός που γίνεται με τη μέτρηση του καταναλισκόμενου οξυγόνου. Από τον όγκο του οξυγόνου που καταναλώνεται σε ένα χρονικό διάστημα για την καύση λιπών, υδατανθράκων και πρωτεϊνών, υπολογίζουμε την απελευθερούμενη ενέργεια στη μονάδα του χρόνου.



Εικόνα 16. Μέτρηση Βασικού Μεταβολισμού.

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα για την σύνταξη της εργασίας είναι :

- Η εμβιομηχανική αποτελεί μια επιστήμη η οποία κίνησε το ενδιαφέρον των διανοούμενων ήδη από την αρχαιότητα.
- Στόχος της επιστήμης αυτής είναι η μελέτη και η επεξήγηση της λειτουργίας όλων των έμβιων όντων και φυσικά του ανθρώπου.
- Η Φυσική αποδεικνύεται μια επιστήμη που δεν εξηγεί μόνο φαινόμενα υλικών δομών αλλά συμβάλλει ενεργά στην μελέτη της ανθρώπινης κίνησης.
- Ειδικότερα :
 - στην δυναμική, η δύναμη εξηγεί την αλληλεπίδραση μεταξύ των μελών του ανθρώπινου σώματος.
 - στην στατική, ο άνθρωπος ισορροπεί μόνο όταν ισορροπεί μεταφορικά και περιστροφικά.
 - στην κινηματική, η ανθρώπινη κίνηση στηρίζεται στις δυνάμεις και τις ροπές που δημιουργούν οι μύες.
 - στην κινητική, ο άνθρωπος παράγει έργο, καταναλώνει και παράγει ενέργεια αλλά χαρακτηρίζεται και από ισχύ.

Βιβλιογραφία

1. <http://docplayer.gr/183917607-Viologikis-mihanikis-ergastirio-enviomihanikis-ergonomias-ergomech-lab.html>
2. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/PE_U_112/%CE%9A%CE%99%CE%9D%CE%97%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%A7%CE%9F%CE%A3-%CE%99%CE%94%CE%99%CE%9F%CE%94%CE%95%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91-%CE%9A%CE%99%CE%9D%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf
3. https://sportbook.gr/wp-content/uploads/2019/01/Vasiki-Emviomihaniki_deigma.pdf
4. <https://docplayer.gr/122298434-Vasikes-arhes-enviomihanikis.html>
5. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/PE_U_112/%CE%95%CE%BC%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%B7%201.pdf
6. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/PE_U_112/%CE%95%CE%BC%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%B7%202.pdf
7. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/PE_U_112/%CE%A3%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%A4%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%91-2020.pdf
8. <https://slideplayer.gr/slide/11142792/>
9. [Εμβιομηχανική – Ενότητες 1 έως 12 – Αθανάσιος Τσιόκανος, Γιάννης Γιάκας, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.](#)