

ΣΤΑΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Οι Μοχλοί είναι ένα παράδειγμα συστήματος παράλληλων δυνάμεων και συναντώνται πολύ συχνά στο ανθρώπινο σώμα. Ο μοχλός είναι μια στερεή δοκός η οποία μπορεί να στρέφεται γύρω από ένα σταθερό σημείο ή άξονα. Σ' ένα μοχλό υπάρχουν :

1. Ο άξονας ή υπομόχλιο (Fulcrum) που στο ανθρώπινο σώμα είναι συνήθως ο άξονας μιας άρθρωσης.

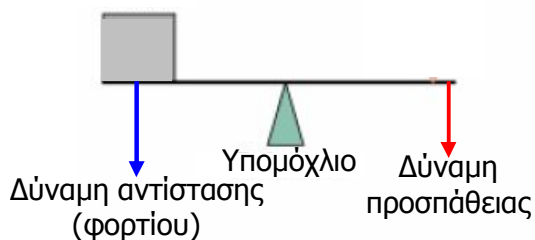
2. Η αντίσταση ή βάρος (Resistance) που μπορεί να είναι το βάρος ενός τμήματος ενός οστού ή μια εξωτερικά εφαρμοζόμενη δύναμη ή βάρος, η οποία αντιτίθεται στην κίνηση.

3. Η δύναμη ή προσπάθεια (Effort) η οποία κινεί ή στηρίζει και στο ανθρώπινο σώμα συνήθως προέρχεται από τη συστολή ενός μυ που συμβάλλει έτσι στην ισορροπία ή στην πρόκληση κίνησης. Το σημείο εφαρμογής της δύναμης προσπάθειας είναι συχνά το σημείο κατάφυσης του μυός.

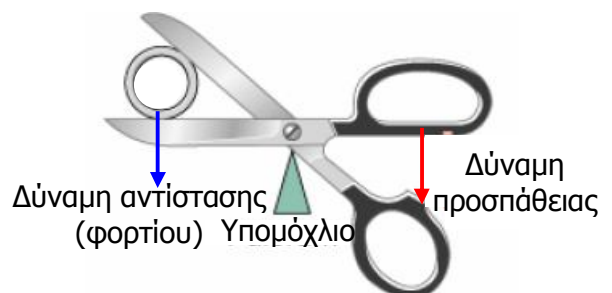
Υπάρχουν τρία είδη μοχλών.

ΜΟΧΛΟΣ Α' ΕΙΔΟΥΣ

Το υπομόχλιο βρίσκεται μεταξύ της δύναμης προσπάθειας και της αντίστασης (φορτίο). Με αυτό το είδος μοχλού μπορούμε να επιτύχουμε είτε κέρδος σε δύναμη είτε κέρδος σε ταχύτητα. Μεγαλύτερη δύναμη επιτυγχάνεται, όταν ο άξονας περιστροφής βρίσκεται πλησιέστερα προς την δύναμη αντίστασης· αντίθετα μεγαλύτερη ταχύτητα επιτυγχάνουμε όταν ο άξονας περιστροφής βρίσκεται πλησιέστερα στη δύναμη προσπάθειας. Παράδειγμα μοχλού Α' είδους (Εικόνα 1α) είναι η τραμπάλα όπου το βαρύτερο παιδί κάθεται πλησιέστερα στον άξονα περιστροφής, με αποτέλεσμα μικρότερη δύναμη προσπάθειας να αντισταθμίζει μεγαλύτερο βάρος (φορτίο). Άλλα παραδείγματα είναι το πόμολο και το ψαλίδι (Εικόνα 1β).

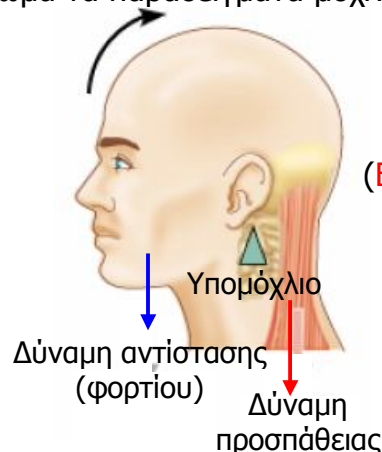


(Εικόνα 1α)



(Εικόνα 1β)

Στο ανθρώπινο σώμα παραδείγματα μοχλού Α' Είδους είναι η στήριξη της κεφαλής όπου ρόλο υπομόχλιου παίζει η ατλαντονιακή άρθρωση, δύναμη προσπάθειας ασκούν οι σπληνοειδείς μύες και δύναμη αντίστασης είναι το βάρος της κεφαλής (Εικόνα 1γ) και ο τρικέφαλος μυς που δρά στην ωλένη ως δύναμη προσπάθειας με υπομόχλιο την άρθρωση του αγκώνα και δύναμη αντίστασης το βάρος του πήχυ, όταν ο πήχυς εκτείνεται. Στο ανθρώπινο σώμα τα παραδείγματα μοχλού Α' είδους είναι σπάνια.



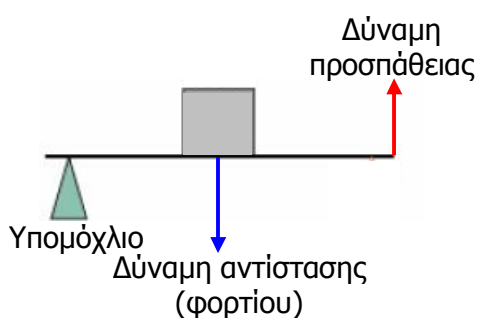
(Εικόνα 1γ)

ΜΟΧΛΟΣ Β΄ ΕΙΔΟΥΣ

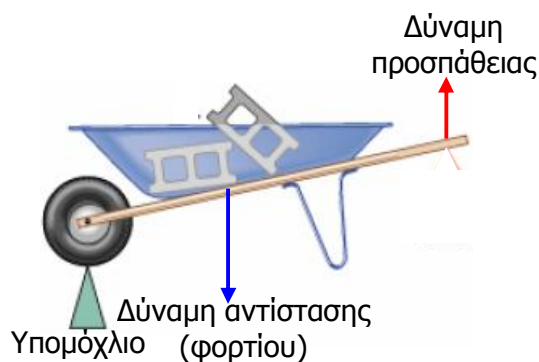
Η αντίσταση (φορτίο) βρίσκεται μεταξύ του υπομόχλιου και της δύναμης προσπάθειας (Εικόνα 2α) .

Χρησιμοποιείται για τη στήριξη ή κίνηση ενός μεγάλου βάρους από μια μικρότερη δύναμη προσπάθειας και ο μοχλοβραχίονας της δύναμης προσπάθειας είναι **μεγαλύτερος** από τον μοχλοβραχίονα της δύναμης αντίστασης, γι' αυτό και θεωρείται ως μεγεθυντής δύναμης. Παραδείγματα **μοχλού Β΄ είδους** είναι η χειράμαξα (Εικόνα 2β) και ο καρυοθραύστης.

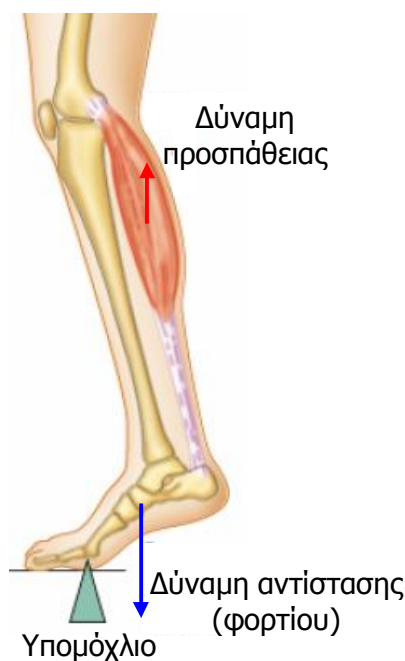
Στο ανθρώπινο σώμα παραδείγματα **μοχλού Β΄ Είδους** είναι η στήριξη του σώματος στα άκρα των δακτύλων με το μεγάλο δάκτυλο να θεωρείται ως υπομόχλιο- άξονας , τους μύς που καταφύονται στη φτέρνα να ασκούν τη δύναμη προσπάθειας και το βάρος του σώματος που ασκείται στον αστράγαλο να είναι η δύναμη αντίστασης (φορτίο) (Εικόνα 2γ). Επίσης, ο πήχης και ο βραχιόνιος (brachialis) μύς είναι μοχλός Β΄ Είδους, διότι το βάρος του πήχου ασκείται μεταξύ της άρθρωσης του αγκώνα και της δύναμης προσπάθειας που ασκεί ο βραχιόνιος μύς. Στο ανθρώπινο σώμα τα παραδείγματα **μοχλού Β΄ είδους** είναι σπάνια.



(Εικόνα 2α)



(Εικόνα 2β)



(Εικόνα 2γ)

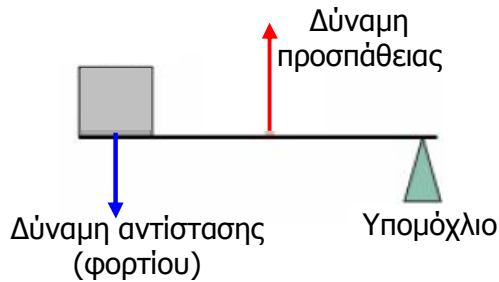
ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Στη βιβλιογραφία διατυπώνεται και η άποψη ότι κακώς αναφέρεται ως παράδειγμα μοχλού Β΄ ΕΙΔΟΥΣ η στήριξη του σώματος στα άκρα των δακτύλων του ποδιού, διότι το σημείο εφαρμογής της δύναμης προσπάθειας, της δύναμης φορτίου και το υπομόχλιο δε βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο στήριξης.

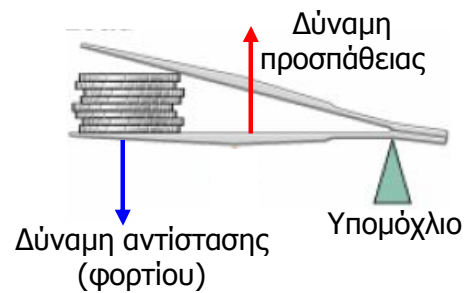
ΜΟΧΛΟΣ Γ΄ ΕΙΔΟΥΣ

Η δύναμη προσπάθειας είναι μεταξύ του υπομόχλιου –άξονα και της δύναμης αντίστασης (φορτίου). Ο μοχλός **Γ΄ ΕΙΔΟΥΣ** (Εικόνα 3α) επιτρέπει την ανάπτυξη ταχύτητας ή κίνησης ενός μικρού βάρους για μεγάλη απόσταση και ο μοχλοβραχίονας της δύναμης προσπάθειας είναι **μικρότερος** από τον μοχλοβραχίονα της δύναμης αντίστασης γι' αυτό και θεωρείται και μειωτής δύναμης, αφού η δύναμη προσπάθειας είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη αντίστασης (φορτίο). Το καλάμι του ψαρέματος και η λαβίδα (Εικόνα 3β) είναι παραδείγματα μοχλού **Γ΄ ΕΙΔΟΥΣ**.

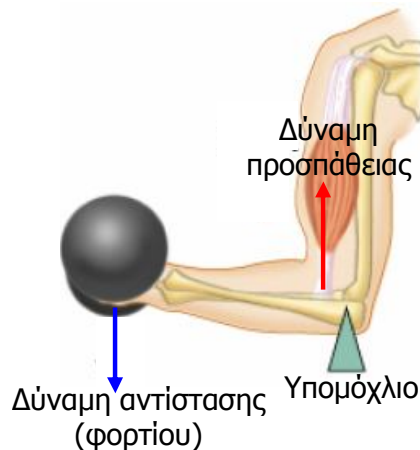
Στο ανθρώπινο σώμα παραδείγματα **μοχλού Γ΄ Είδους** είναι ο Δικέφαλος μύς του βραχίονα του άνω άκρου που καταφύεται στον πήχυ (Κερκίδα) μεταξύ της άρθρωσης του αγκώνα (υπομόχλιο) και του βάρους του πήχου. (Εικόνα 3γ) Στο ανθρώπινο σώμα τα παραδείγματα μοχλών στην συντριπτική τους πλειοψηφία είναι **Γ΄ είδους**.



(Εικόνα 3α)



(Εικόνα 3β)



(Εικόνα 3γ)

ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ

Το Μηχανικό Πλεονέκτημα (ΜΠ) ορίζεται ως το πηλίκο του μοχλοβραχίονα της δύναμης προσπάθειας προς τον μοχλοβραχίονα της δύναμης αντίστασης (φορτίου):

$$\text{ΜΠ} = \frac{\text{Μοχλοβραχίονας δύναμης προσπάθειας}}{\text{Μοχλοβραχίονας δύναμης αντίστασης}}$$

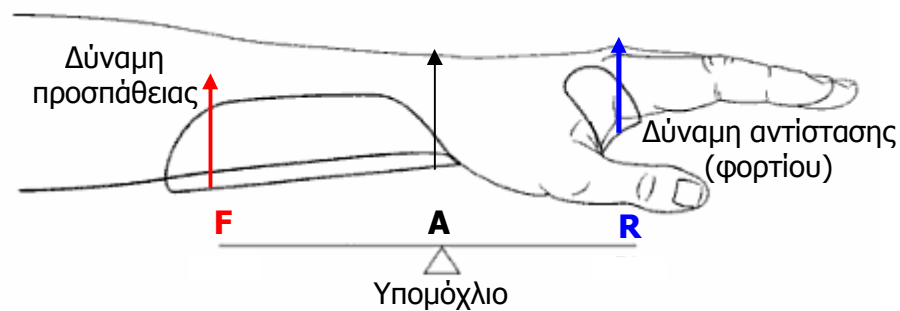
Στους μοχλούς **Α΄ είδους** το Μηχανικό Πλεονέκτημα διαφέρει και εξαρτάται από τη θέση του υπομόχλιου (άξονα) σε σχέση με τη δύναμη προσπάθειας και τη δύναμη αντίστασης.

Στους μοχλούς **Β΄ είδους** όπου ο Μοχλοβραχίονας δύναμης προσπάθειας είναι **μεγαλύτερος** από τον Μοχλοβραχίονας δύναμης αντίστασης το Μηχανικό Πλεονέκτημα είναι $\text{ΜΠ} > 1$, δηλαδή υφίσταται πάντα.

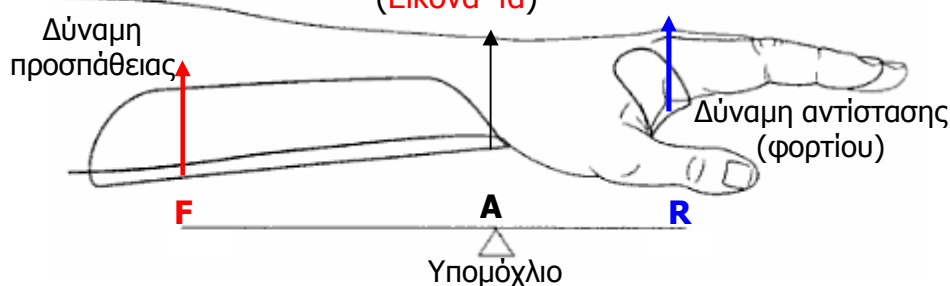
Στους μοχλούς Γ' είδους όπου ο Μοχλοβραχίονας δύναμης προσπάθειας είναι **μικρότερος** από τον Μοχλοβραχίονας δύναμης αντίστασης, το Μηχανικό Πλεονέκτημα είναι $ΜΠ < 1$, δηλαδή δεν υπάρχει.

Το παράδοξο στο ανθρώπινο σώμα είναι ότι οι μοχλοί που προσφέρουν μεγάλο Μηχανικό Πλεονέκτημα είναι σπάνιοι. Αυτό οφείλεται στο ότι τα σώματά μας δεν μεταφέρουν συχνά μεγάλα βάρη και μάλιστα αργά. Αν αυτό συνέβαινε θα μας ενδιέφερε το ΜΠ. Αντίθετα, τα σώματά μας χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε δραστηριότητες που απαιτούν μικρά βάρη να κινούνται γρήγορα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στο ανθρώπινο σώμα κυριαρχεί η παρουσία μοχλών Γ' είδους.

Άλλα κλινικά παραδείγματα μοχλών είναι οι νάρθηκες (splints). (Εικόνα 4). Η άρθρωση που περιβάλλει ο νάρθηκας είναι το υπομόχλιο, ένα τμήμα του αποτελεί τον μοχλοβραχίονα της δύναμης προσπάθειας και το άλλο το μοχλοβραχίονα της δύναμης αντίστασης. Η περιοχή που ενσωματώνεται στο νάρθηκα πρέπει να δέχεται καλά σχεδιασμένη κατανομή της πίεσης και η δύναμη προσπάθειας να αντισταθμίζει τη δύναμη αντίστασης, διαφορετικά ο νάρθηκας γίνεται άβολος και αναποτελεσματικός. Η σύγκριση των εικόνων (4α) και (4β) δείχνει ότι η αύξηση του μοχλοβραχίονα της δύναμης προσπάθειας (FA) σε σχέση με το μοχλοβραχίονα της δύναμης αντίστασης (RA) προκαλεί αύξηση του Μηχανικού Πλεονεκτήματος. Ο νάρθηκας εκ του τρόπου κατασκευής του ασκεί και τη δύναμη προσπάθειας (που είναι ίσου μέτρου με τη δύναμη που ασκεί ο μυς) και τη δύναμη αντίστασης (που είναι ίση με το βάρος του τμήματος του χεριού). Στην εικόνα (4γ) φαίνεται ένας νάρθηκας στην περιοχή του πήχου και του άκρου χεριού.



(Εικόνα 4α)



(Εικόνα 4β)



(Εικόνα 4γ)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ. ΔΥΟ ΑΝΤΙΠΑΛΟΙ.

Όταν η **δύναμη προσπάθειας** καταβάλλεται από ένα μυ και ο μοχλοβραχίονάς της είναι **μικρότερος** από τον μοχλοβραχίονα της **δύναμης αντίστασης**, τότε το μέτρο της δύναμης προσπάθειας είναι μεγάλο, αλλά η δαπάνη σε μυική δύναμη αντισταθμίζεται από το κέρδος σε ταχύτητα και σε μήκος τροχιάς των μακρινότερων αναλογικά από τον άξονα περιστροφής τμημάτων. Αυτό συμβαίνει στους μοχλούς **Γ' είδους** όπου:

Μοχλοβραχίονας δύναμης προσπάθειας < Μοχλοβραχίονας δύναμης αντίστασης
Επειδή το σημείο εφαρμογής της **δύναμης αντίστασης** βρίσκεται μακρύτερα από τον άξονα περιστροφής σε σχέση με αυτό της **δύναμης** προσπάθειας, "θα ταξιδεύει" μεγαλύτερη απόσταση στον ίδιο χρόνο, αλλά μεγαλύτερη απόσταση στον ίδιο χρόνο σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα. Επομένως, οι μοχλοί **Γ' είδους** είναι κατάλληλοι για ρίψη αντικειμένων, λακτίσματα κ.λ.π

Όταν η **δύναμη προσπάθειας** είναι μια εξωτερική δύναμη και ο μοχλοβραχίονάς της είναι **μεγαλύτερος** από τον μοχλοβραχίονα της **δύναμης αντίστασης**, τότε το μέτρο της δύναμης προσπάθειας είναι μικρό σε σχέση με το μέτρο της **δύναμης αντίστασης**, αλλά μικρό είναι τότε και το κέρδος σε ταχύτητα και μήκος τροχιάς. Αυτό συμβαίνει με τους μοχλούς **Β' είδους** και σε όσους από τους μοχλούς **Α' είδους** ισχύει:

Μοχλοβραχίονας δύναμης προσπάθειας > Μοχλοβραχίονας δύναμης αντίστασης

Οι ιδέες αυτές είναι βαθύτατα συνδεδεμένες αφ' ενός με την λογική προστασίας των αρθρώσεων, καθώς και με την χρήση, όσο το δυνατόν δυνατότερων αρθρώσεων για δραστηριότητες και αφ' ετέρου με τις αρχές της μηχανικής του σώματος οι οποίες συνηγορούν υπέρ της διατήρησης των αντικειμένων κοντά στο σώμα, όχι μόνο για λόγους μεγαλύτερης σταθερότητας αλλά και για λόγους καταβολής μικρότερης δύναμης για την ανύψωση αντικειμένων και τη μεταφορά τους.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΩ ΑΚΡΟΥ

Ο σκελετός του άνω άκρου αποτελείται από τα οστά της ωμικής ζώνης δηλαδή του ώμου, με τα οποία το άνω άκρο συνδέεται με τον κορμό, το βραχίονα, τον πήχη (αντιβραχίονα) και το άκρο χέρι. Για την καλύτερη κατανόηση του παραδείγματος που ακολουθεί θα περιοριστούμε στα εξής:

Ο βραχίονας (upper arm) αποτελείται από ένα οστό, το βραχιόνιο οστό (humerus), ο πήχης (forearm) από δύο οστά την κερκίδα (radius) και την ωλένη (ulna), με την ωλένη να είναι μεγαλύτερη σε μήκος από την κερκίδα. Τα οστά του βραχίονα και του πήχου συνδέονται με την άρθρωση του αγκώνα (elbow).

Οι μύες του άνω άκρου είναι γραμμωτοί, όπως όλοι οι σκελετικοί μύες, οι οποίοι ονομάζονται έτσι, επειδή προσφύονται σε οστά. Η πρόσφυση στο πιο ακίνητο οστό ονομάζεται έκφυση και η πρόσφυση στο πιο κινητό κατάφυση. Εδώ, δε θα αποφύγω τον πειρασμό να σχολιάσω τις αντίστοιχες λέξεις της σημερινής Διεθνούς Γλώσσας (έκφυση → origin = πηγή, αρχή, καταγωγή, προέλευση, προέρχομαι, κατάγομαι... και κατάφυση → insertion = εισαγωγή, παρεμβολή, καταχώρηση...). Αν κάποιος δεν έχει διαβάσει τίποτα από τα προηγούμενα και του πω "ο μυς εκφύεται", αν το συνδέσει με το φύομαι συμπεραίνει ότι κάτι που φυτρώνει είναι λογικό να είναι πιο σταθερό (ακίνητο) στο σημείο από το οποίο φυτρώνει (ρίζα) και "ο μυς καταφύεται" είναι λογικό να έχει να κάνει με την κατάληξη αυτού που φύτευσε, άρα αυτή η κατάληξη είναι πιο ελεύθερη να κινείται (φύλλα).

Είναι αυτοτελή όργανα και νευρώνονται από νεύρα του εγκεφαλονωτιαίου νευρικού συστήματος και γι' αυτό λέγονται εκούσιοι μύες. Οι μύες προκειμένου να γίνει μια κίνηση μόνο συστέλλονται, γι' αυτό εμφανίζονται κατά ζεύγη με τον ανταγωνιστή τους μυ. Ακόμη και σε κατάσταση πλήρους χαλάρωσης οι μύες έχουν μια μικρή σύσπαση που λέγεται **μυϊκός τόνος**.

Στο σώμα οι μύες είναι έτσι τοποθετημένοι, ώστε το **μήκος ηρεμίας (relaxing length)** τους να είναι περίπου το **βέλτιστο μήκος (optimal length)** τους. Το **βέλτιστο μήκος (optimal length)** είναι αυτό στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη δύναμη κατά τη διάρκεια μιας τετανικής συστολής, ο όρος τετανική δεν έχει καμία σχέση με το βακτήριο *clostridium tetani* που προκαλεί την ασθένεια του τετάνου, αλλά με την κανονική ανταπόκριση του μυ από τη νευρική διέγερση.

Ισοτονική συστολή είναι αυτή στην οποία η τάση του μυ αρχικά αυξάνεται και έπειτα παραμένει σταθερή καθώς αλλάζει το μήκος του, οπότε παράγει μηχανικό έργο π.χ ανύψωση ενός αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα, κρατάω ένα δέμα και το σηκώνω για να το αποθέσω στο τραπέζι. Κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης συστέλλονται, κυρίως, ο Βραχιόνιος μυς και ο Δικέφαλος μυς, οι οποίοι εκτελούν **ισοτονική συστολή**. Οι **ισοτονικές συστολές** χωρίζονται σε **ομόκεντρες (concentric)** στις οποίες η τάση του μυ υπερνικά την αντίσταση και ο μυς συστέλλεται και σε **έκκεντρες (eccentric)** συστολές όπου η μέγιστη τάση που αναπτύσσει ο μυς είναι μικρότερη από την αντίσταση και ο μυς επιμηκύνεται, λόγω της συστολής κάποιου άλλου μυ ή της έλξης της βαρύτητας.

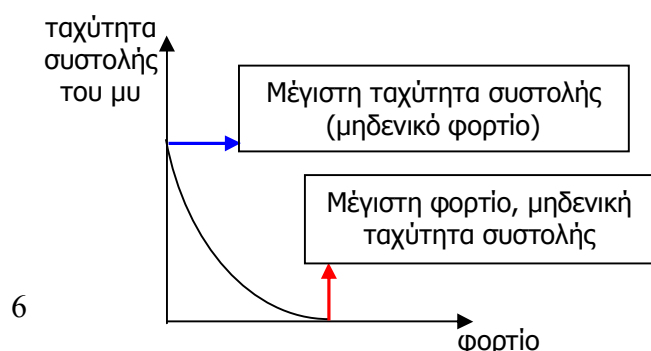
Οι **ισομετρικές συστολές** είναι αυτές στις οποίες το μήκος του μυ δε μικραίνει (βραχύνεται), με αποτέλεσμα η τάση του μυ να αναπτύσσεται σε σταθερό μήκος μυ, να ασκεί έλξη στους **τένοντες**, χωρίς να παράγει μηχανικό έργο και να μην υπερβαίνει ποτέ την αντίσταση. Για παράδειγμα, όταν προσπαθούμε να ανυψώσουμε ένα μεγάλο βάρος, το μήκος του μυ παραμένει σταθερό καθώς συστέλλεται και η τάση αυξάνεται. Στο προηγούμενο παράδειγμα, αν δεν αποθέσω το δέμα στο τραπέζι, αλλά το κρατάω πάνω από την επιφάνεια του τραπεζιού, οι δύο μύες (Βραχιόνιος -Δικέφαλος) εκτελούν **ισομετρική συστολή** για την κάμψη του αντιβράχιου (πήχyu) προς τον βραχίονα (κάμψη του αγκώνα) και δεν παράγουν έργο.

Οι **ισομετρικές συστολές** είναι σημαντικές για τη διατήρηση μιας στάσης, όπως η στήλωση των ποδιών όταν στεκόμαστε ή η συγκράτηση ενός ποτού που το πίνουμε σε γουλιές.

Ο **μυϊκός τόνος** αυξάνεται σε ψυχρό περιβάλλον, με αποτέλεσμα η ισομετρική συστολή να μετατρέπεται σε τρομώδη ισοτονική συστολή (ρίγος) που εξαναγκάζει τους μύες σε παραγωγή μηχανικού έργου, δηλαδή καύσεις στους μύες, άρα και παραγωγή θερμότητας.

Οι **έκκεντρες συστολές**, είναι πολύ σπουδαίες σε πολλές συνηθισμένες κινήσεις. Μέσω αυτών μπορούμε να ασκήσουμε ακριβή έλεγχο στο μέγεθος της παραγόμενης από το μυ τάσης. Όταν μεταβάλλουμε την τάση του μυ σε μία **έκκεντρη συστολή** μπορούμε να ελέγξουμε το μέγεθος της επιμήκυνσης του μυ, όπως ακριβώς μπορούμε να μεταβάλλουμε την τάση σε μια **ομόκεντρη συστολή** π.χ **έκκεντρες συστολές** προκύπτουν καθώς κατεβαίνουμε τα σκαλιά μιας σκάλας και κύκλους από **έκκεντρες** και **ομόκεντρες συστολές** εκτελούμε κατά τη φυσική άσκηση στην οποία, κρατώντας ένα βάρος (αλήτρα), κάμπουμε και εκτείνουμε το σύστημα αγκώνας – πήχyu.

Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας συστολής ενός μυ σε σχέση με το φορτίο:

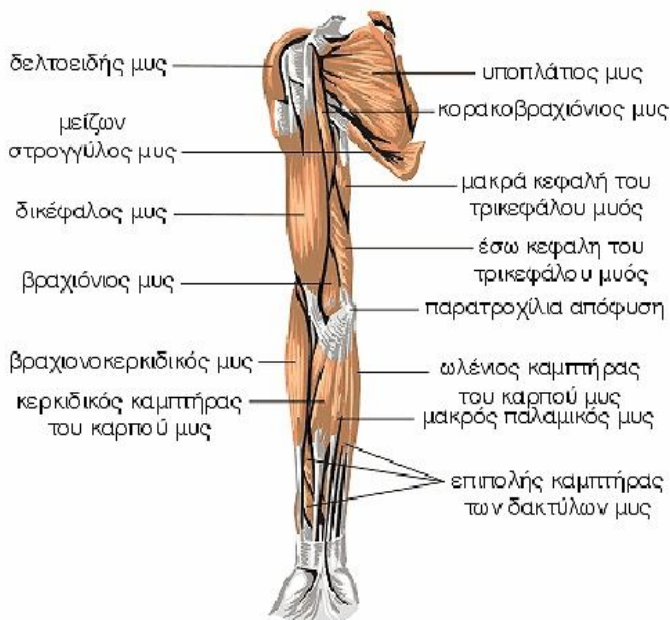


Από το διάγραμμα προκύπτει ότι όταν σηκώνουμε μικρά βάρη – ελαφρά σώματα- η ανύψωση γίνεται με μεγάλη ταχύτητα, όσο αυξάνεται το βάρος η ταχύτητα ανύψωσης μικραίνει μέχρι που μηδενίζεται.

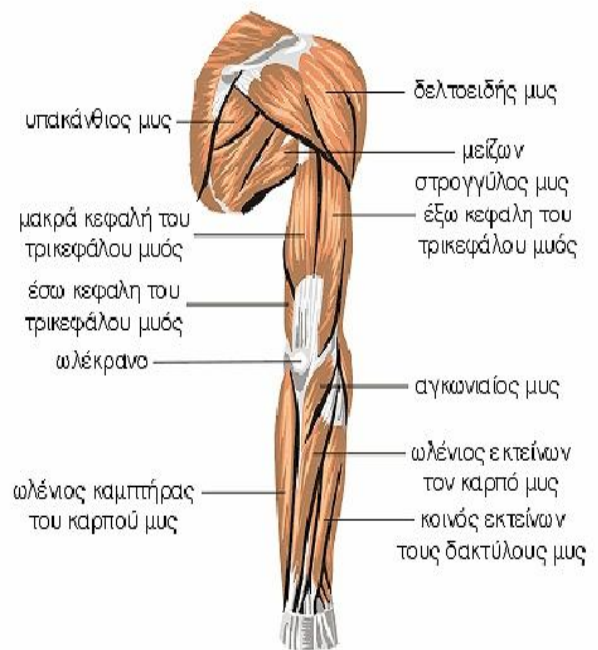
Στο παράδειγμα που ακολουθεί μας ενδιαφέρει ο Δικέφαλος μυς (biceps brachii) του βραχίονα, ανταγωνιστής του οποίου είναι ο Τρικέφαλος μυς (triceps brachii).

Ο Δικέφαλος μυς εκφύεται με δύο εκφυτικές κεφαλές, τη μακρά και τη βραχεία από την ωμοπλάτη και καταφύεται στον πήχυ. Όταν ο Δικέφαλος μυς συστέλλεται με την ενέργειά του κάμπει τον πήχυ προς τον βραχίονα και συγχρόνως μπορεί να τον υπτιάζει. Αντίθετα, στην έκταση του πήχyu συστέλλεται ο Τρικέφαλος. Άλλοι μυς που παίζουν ρόλο στην κίνηση του άνω άκρου είναι ο Βραχιόνιος μυς (brachialis) ο οποίος εκφύεται από το βραχιόνιο οστόν και καταφύεται στην ωλένη και κάμπει τον πήχυ και ο βραχιονοκερκιδικός (brachioradialis) μυς ο οποίος εκφύεται από το βραχιόνιο οστόν και καταφύεται στην κερκίδα, ο οποίος κάμπει τον πήχυ και βοηθάει στον πρηνισμό του.

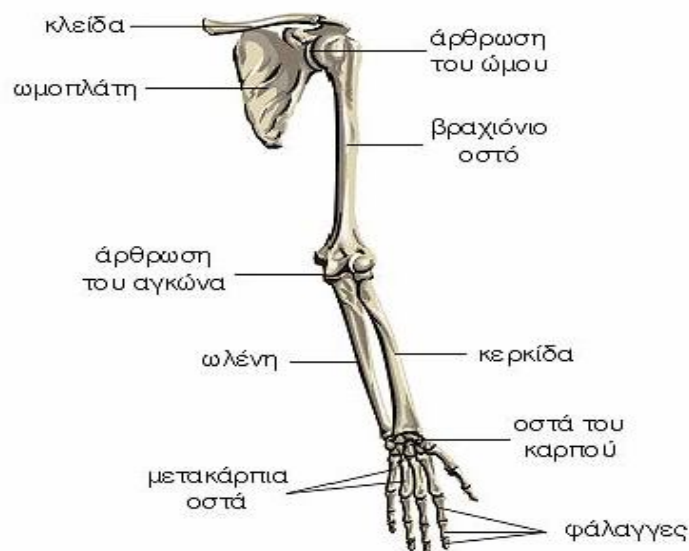
Μυς του Άνω Άκρου- Πρόσθια Επιφάνεια



Μυς του Άνω Άκρου- Οπίσθια Επιφάνεια



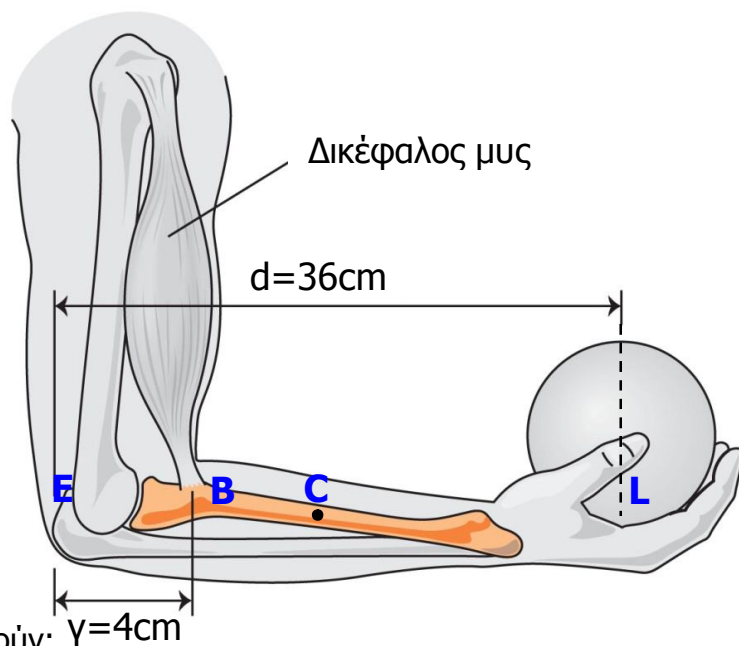
ΟΣΤΑ ΤΟΥ ΑΝΩ ΑΚΡΟΥ



Οι σκελετικοί μύες προσφύονται στα οστά μέσω των τενόντων (tendons) που είναι τα ακραία τμήματα των μυών και αποτελούν τον συνδετικό τους κρίκο με τα οστά. Λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει ο τένοντας του Δικέφαλου, σε μελέτες που έχουν γίνει φαίνεται ότι το σύστημα τένοντας - μάζα πήχυ μπορεί να θεωρηθεί ως σύστημα ελατηρίου – μάζας με φυσική συχνότητα από 2,2-2,5 Hz.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στην εικόνα φαίνεται το άνω άκρο ενός ενήλικα άνδρα που κρατά στο χέρι του ομογενή σφαίρα μάζας $m=5\text{Kg}$, το κέντρο μάζας της οποίας, απέχει από την άρθρωση του αγκώνα E απόσταση $d=36\text{cm}$. Το σύστημα πήχυς – άκρο χέρι μάζας $M=3\text{Kg}$ βρίσκεται σε οριζόντια θέση και είναι κάθετος προς τον βραχίονα και το κέντρο μάζας του C απέχει από την άρθρωση του αγκώνα E απόσταση $l=18,4\text{cm}$. Ο Δικέφαλος μύς καταφύεται μέσω του τένοντα στο σημείο B του πήχυ που απέχει από την άρθρωση του αγκώνα E απόσταση $\gamma=4\text{cm}$ και σχηματίζει με την διεύθυνση του βραχίονα γωνία $\theta=12^\circ$. Να υπολογιστούν: $\gamma=4\text{cm}$



α. Το μέτρο της δύναμης που ασκεί ο Δικέφαλος στον πήχυ.

β. Το μέτρο της δύναμης που ασκείται από τον βραχίονα στον πήχυ στην άρθρωση του αγκώνα.

γ. Ανυψώνουμε τον πήχυ και το σώμα, έτσι, ώστε το σημείο L να βρεθεί στη θέση L_1 που απέχει από την αρχική του θέση κατακόρυφη απόσταση $h=(LL_1)=18\text{cm}$. Ποια η κατακόρυφη ανύψωση BB_1 του σημείου B . Τι παρατηρείτε;

δ. Υποθέτουμε ότι το σύστημα τένοντας του Δικέφαλου μυ – πήχυς – άκρο χέρι - σφαίρα αντιστοιχεί σε σύστημα <<ελατηρίου – μάζας>> σταθεράς k . Αν ο πήχυς εκτελέσει περιοδική κίνηση μεταξύ των θέσεων L_1 και L_2 που είναι συμμετρικές ως προς τη θέση L (curls), παρατηρείται ότι φθάνει από τη θέση L στην ανώτερη θέση L_1 σε χρόνο $\Delta t=0,1\text{s}$, οπότε ο Δικέφαλος μύς φτάνει στην κατάσταση μέγιστης συστολής του. Θεωρώντας ότι η κίνηση του συστήματος είναι τμήμα περιοδικής κίνησης

περιόδου $T_0=2\pi\sqrt{\frac{M+m}{k}}$, να υπολογίσετε τη σταθερά k του «ισοδύναμου ελατηρίου»

και τη συχνότητα της κίνησης του συστήματος «τένοντας Δικεφάλου – πήχυς».

Δίνεται $g=10\text{ m/s}^2$, $\pi^2=10$. Να αγνοήσετε τις δυνάμεις που ασκούν ο Τρικέφαλος μύς (ανταγωνιστής μύς) και ο Βραχιόνιος μύς στον πήχυ.

Να θεωρήσετε ότι $\eta\mu 12^\circ=0,20$ και $\sigma\upsilon\nu 12^\circ=0,98$.

ΛΥΣΗ

α. Από την ισορροπία του πήχου έχουμε:
 $\Sigma T(E)=0 \Rightarrow T_y \cdot (EB) - W(EC) - W_\Sigma(EL)=0 \Rightarrow$
 $T_y \cdot 4 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot 18,4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2} \cdot 36 \cdot 10^{-2}=0$
 $\Rightarrow T_y = 588 \text{ N. (1)}$

$$\text{Αλλά } T_y = T \sin 12^\circ \Rightarrow T = \frac{T_y}{\sin 12^\circ} \quad (1)$$

$$T = 600 \text{ N (2)}$$

β. Επίσης, $\Sigma F_x=0 \Rightarrow T_x=F_x \Rightarrow F_x=T \eta \mu 12^\circ$
(2)
 $\Rightarrow F_x=120 \text{ N (3)}$

$$\Sigma F_y=0 \Rightarrow T_y = W + W_\Sigma + F_y \Rightarrow$$

 $F_y = 588 - 3 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow F_y = 508 \text{ N (4)}$

Επομένως η δύναμη που δέχεται η άρθρωση του αγκώνα είναι:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3)$$

 $\Rightarrow F = 521,98 \text{ N} \approx 522 \text{ N}$

γ. Από τα όμοια τρίγωνα ($\triangle EBB_1$) και ($\triangle ECC_1$) προκύπτει:

$$\frac{(BB_1)}{(LL_1)} = \frac{(EB)}{(EL)} \Rightarrow (BB_1) = 2 \text{ cm. Το σημείο B που βρίσκεται πλησιέστερα στον άξονα}$$

περιστροφής που διέρχεται από το E και είναι κάθετος στο επίπεδο της κίνησης του πήχου, ανυψώνεται 9 φορές λιγότερο σε σχέση με το σημείο L. Δηλαδή, το σημείο L κινείται 9 φορές ταχύτερα από το σημείο B αφού στον ίδιο χρόνο ανυψώνεται 9 φορές περισσότερο. Αυτό είναι «το κέρδος» που προκύπτει από «το τίμημα» της καταβολής πολύ μεγαλύτερης δύναμης προσπάθειας από τον Δικέφαλο ($T=600 \text{ N}$) σε σχέση με τη δύναμη φορτίου $W_\Sigma=50 \text{ N}$.

δ. Ο χρόνος κίνησης του πήχου από τη θέση L στη θέση L_1 , Δt αντιστοιχεί σε ένα τέταρτο της περιόδου, $\Delta t = \frac{T_0}{4}$. Άρα $T_0 = 4\Delta t \Rightarrow T_0 = 0,4 \text{ s}$ (5)

$$\text{Αλλά } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{\kappa}} \Rightarrow \kappa = \frac{4\pi^2(M+m)}{T_0^2} \Rightarrow \kappa = 2000 \text{ N/m. Η συχνότητα είναι}$$

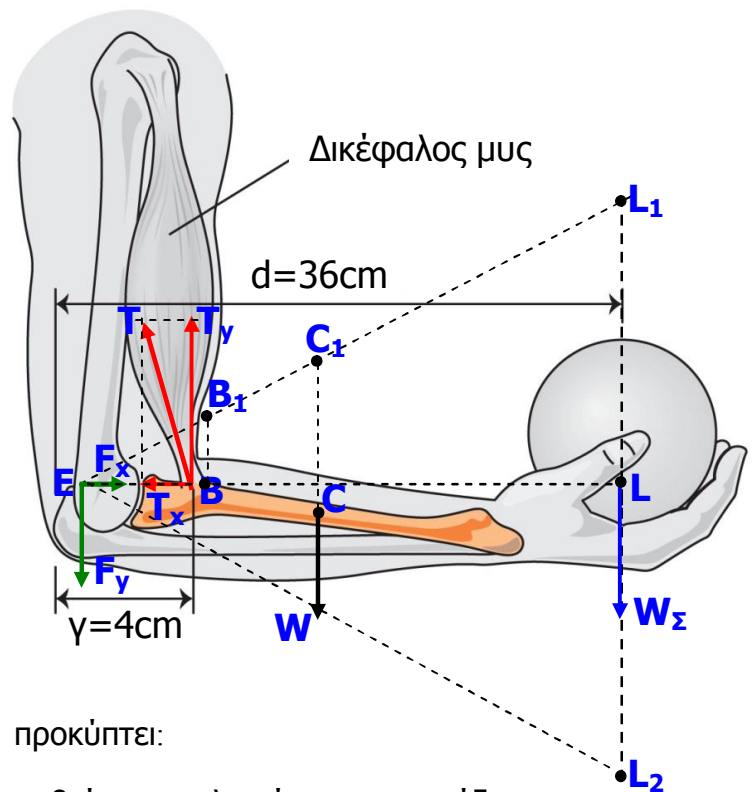
$$f = \frac{1}{T_0} = 2,5 \text{ Hz.}$$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Είναι προφανές ότι η παραπάνω προσέγγιση της κίνησης του συστήματος πήχους – Δικέφαλος μυς στο **δ.** ερώτημα είναι μια υπεραπλούστευση. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα – προσεγγίσεις του θέματος.

Οι S. J. Fellows και P. Rack σε σχετική δημοσίευση (v. 383; Feb 1989, "The Journal of physiology") μεταξύ των άλλων αναφέρουν τα εξής:

Ο συνδυασμός πήχου και τενόντων συμπεριφέρεται σε σχετικά πειράματα ως σύστημα «ελατηρίου - μάζας» με φυσική συχνότητα μεταξύ των 2 - 2,5Hz. Κατά τη διάρκεια αυθορμητών κινήσεων είναι ενεργοί ο Δικέφαλος, ο Βραχιόνιος, ο Βραχιονιοκερκιδικός και επιπροσθέτως ο Τρικέφαλος. Επειδή κατά την κάμψη του πήχου οι δυνάμεις κατανέμονται μεταξύ των τενόντων των παραπάνω μυών και λειτουργούν ως ελατήρια σε παράλληλη σύνδεση, αυτό στην πραγματικότητα αποτελεί ένα σκληρότερο ισοδύναμο ελατήριο από αυτό που αντιστοιχεί στον τένοντα του Δικεφάλου μόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η φυσική συχνότητα του συστήματος τένοντας – μάζα πήχου να είναι υψηλότερη με αποτέλεσμα να μην



είναι εύκολο να επιτευχθούν αυθόρμητες κινήσεις με συχνότητες μεγαλύτερες από 5Hz.

2. Σε άλλα μοντέλα το σύστημα πήχυς – άκρο χέρι θεωρείται ως στερεό με ροπή αδρανείας που δίνεται από τον τύπο της ροπής αδρανείας ελλειψοειδούς, το οποίο όταν στρέφεται περί άξονα που διέρχεται από την άρθρωση του αγκώνα και είναι κάθετος στο επίπεδο της περιστροφής έχει ροπή αδρανείας $I = \frac{M}{5}(b^2 + c^2)$

όπου $M =$ η μάζα του συστήματος πήχυς – άκρο χέρι και $b, c =$ οι δύο άξονες του ελλειψοειδούς που είναι κάθετοι στον τρίτο άξονα περιστροφής.

3. Σε πειραματικές διατάξεις ο υπολογισμός της ροπής αδρανείας του

προηγούμενου συστήματος γίνεται από τη σχέση $I = \frac{T^2 Mgd}{4\pi^2}$ όπου $T =$ η περίοδος

της στροφικής ταλάντωσης που θεωρείται ότι εκτελεί το σύστημα, $M =$ η μάζα του πήχυ και του άκρου χεριού και $d =$ η απόσταση του κέντρου μάζας του συστήματος από την άρθρωση του αγκώνα.

ΣΧΟΛΙΟ

Μελέτες έχουν δείξει ότι η δυνατότητα ανάπτυξης της περιμέτρου του Δικεφάλου μυ (κοινώς «ποντίκι») εξαρτάται από γενετικούς παράγοντες όπως είναι η φύση των μυικών ινών και κυρίως από την απόσταση της κατάφυσης του Δικέφαλου μυ από τον αγκώνα. Όσο πιο μακριά καταφύεται ο Δικέφαλος από την άρθρωση του αγκώνα τόσο μικρότερη είναι η δυνατότητα ανάπτυξης της περιμέτρου του Δικεφάλου. Ας το έχουν λοιπόν αυτό υπόψη τους όσοι ενδιαφέρονται πριν καταφύγουν στην αλόγιστη χρήση διαφόρων «ουσιών»...

Βιβλιογραφία

- 1.** "Occupational therapy for physical Dysfunction" Mary Vining Radomski – Katherine A. Trombly
- 2.** "Human Physiology" Lauralee Sherwood
- 3.** S. J. Fellows και P. Rack "Changes in the length of the human biceps brachii muscle during elbow movements" ("The Journal of physiology", v. 383; Feb 1989)

Ξ. Στεργιάδης