



Εμβιομηχανικές αρχές και μέθοδοι αξιολόγησης στην Εργονομία Εργονομικό Ηλεκτρομυογράφημα

Δρ Παναγιώτης Β. Τσακλής

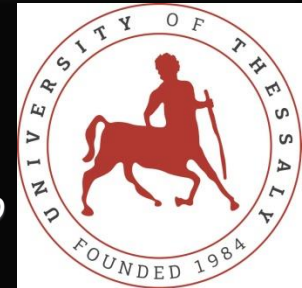
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Εργαστήριο Εμβιομηχανικής & Εργονομίας @ErgoMechLab

ΤΕΦΑΑ – ΠΘ

Assoc Department of Molecular Medicine and Surgery

Karolinska Institute



ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΚΙΝΗΣΙΟΛΟΓΙΑ

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ

ΚΙΝΗΤΙΚΗ

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ
ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ

ΓΡΑΜΜΙΚΗ

ΓΩΝΙΑΚΗ

ΓΡΑΜΜΙΚΗ

ΓΩΝΙΑΚΗ

ΘΕΣΗ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

ΘΕΣΗ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

ΔΥΝΑΜΗ

ΡΟΠΗ

Εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης κίνησης

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤ/ΚΑ

Σύστημα αναφοράς

Χαρακτ/κα Χώρου

Χαρακτ/κα Χρόνου

Χαρ/κα Χώρου/Χρόνου

ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤ/ΚΑ

Χαρακτ/κα Αδράνειας

Χαρακτ/κα Δύναμης

Χαρακτ/κα Ενέργειας

ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΕΚΔΗΛΩΝΟΝΤΑΙ

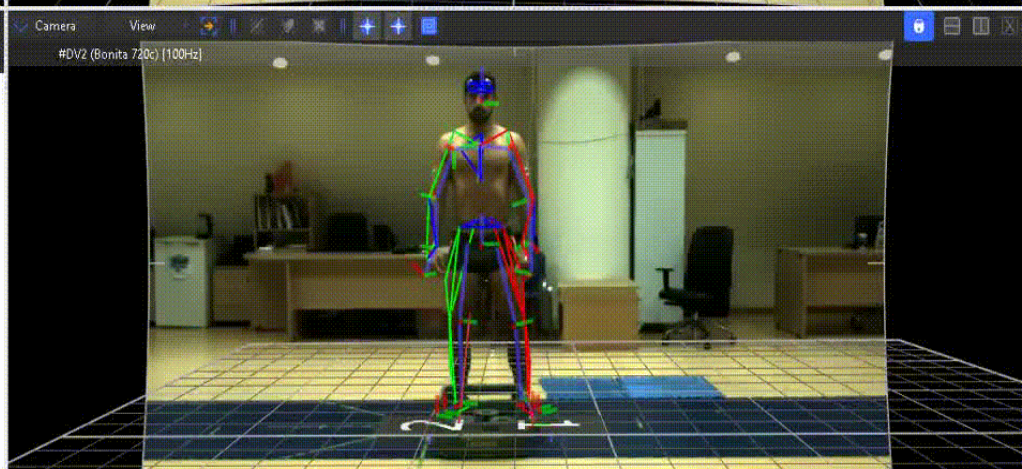
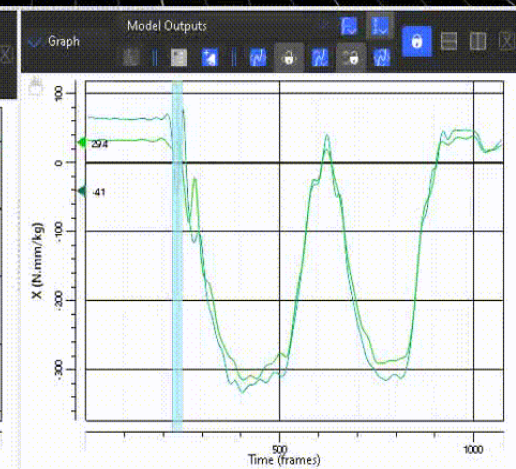
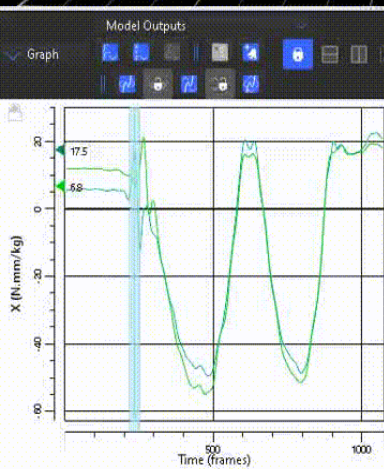
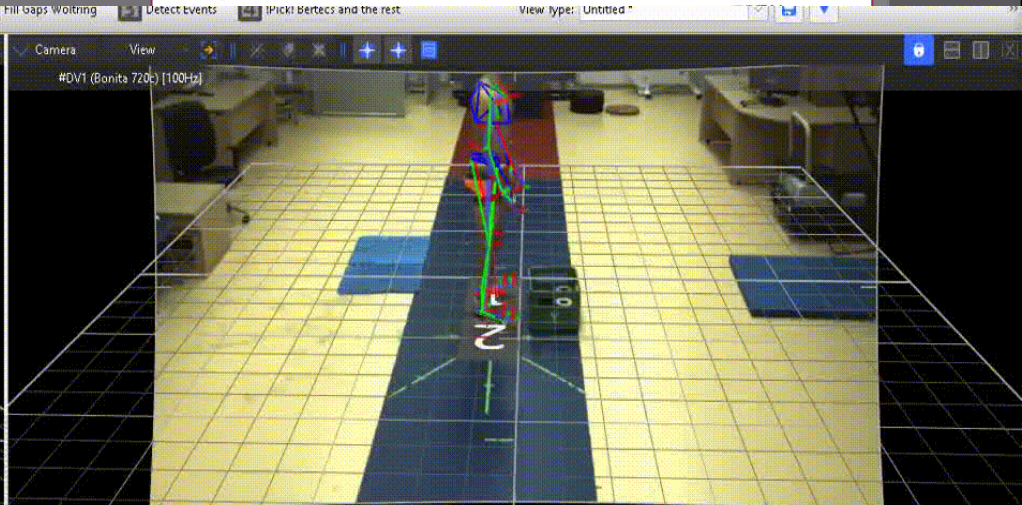
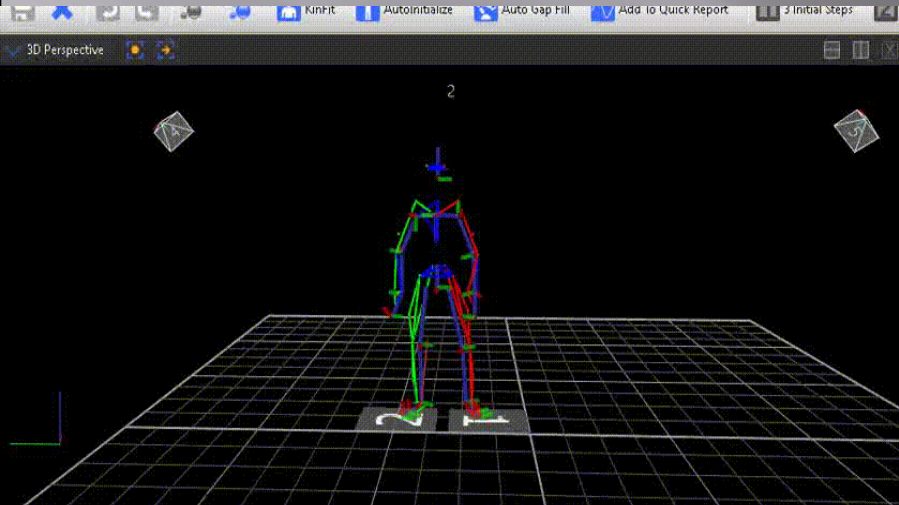
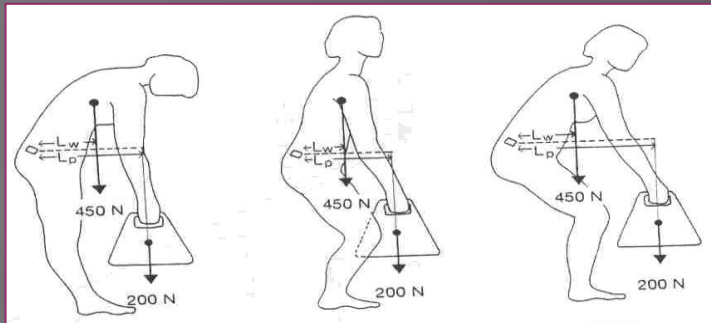
Εξωτερικές Δυνάμεις

Εσωτερικές Δυνάμεις

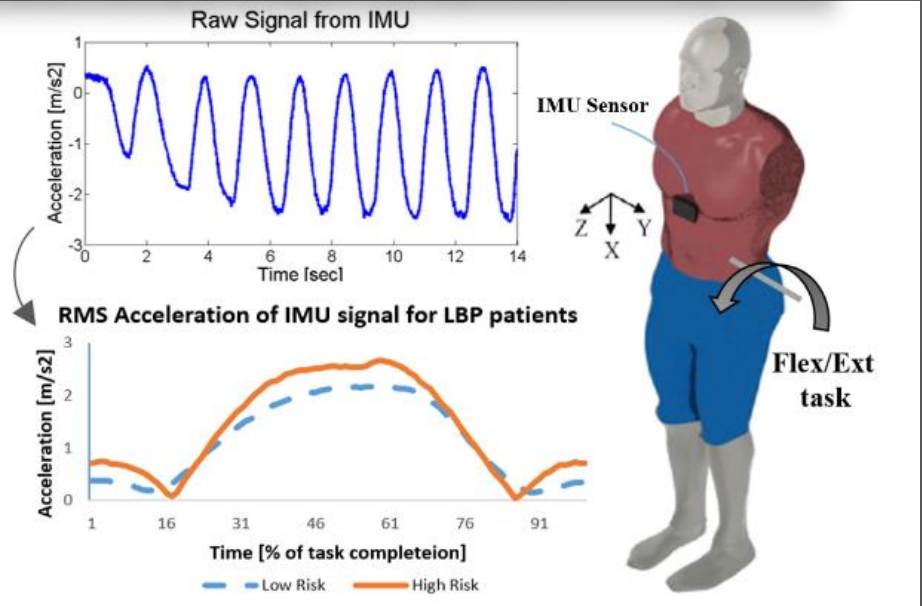
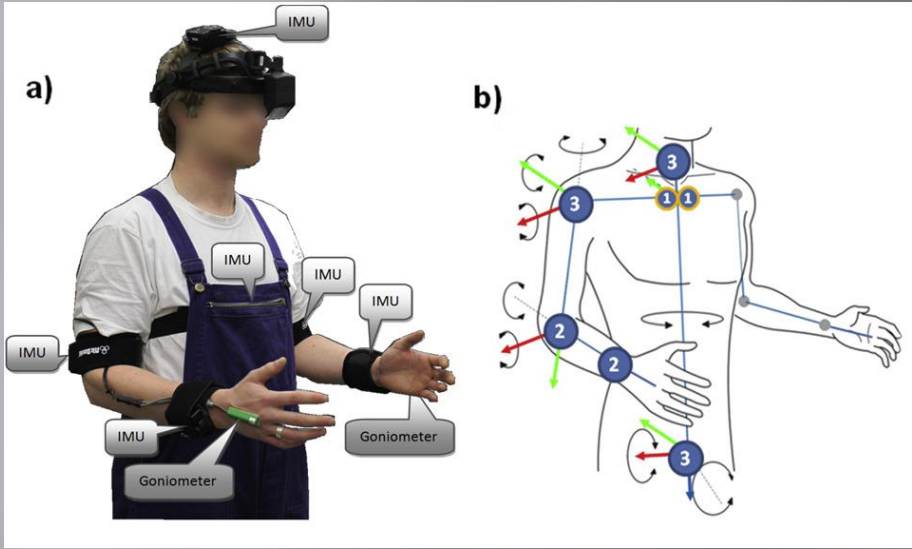
Αλληλεπίδραση
Εξωτερικών/Εσωτερικών

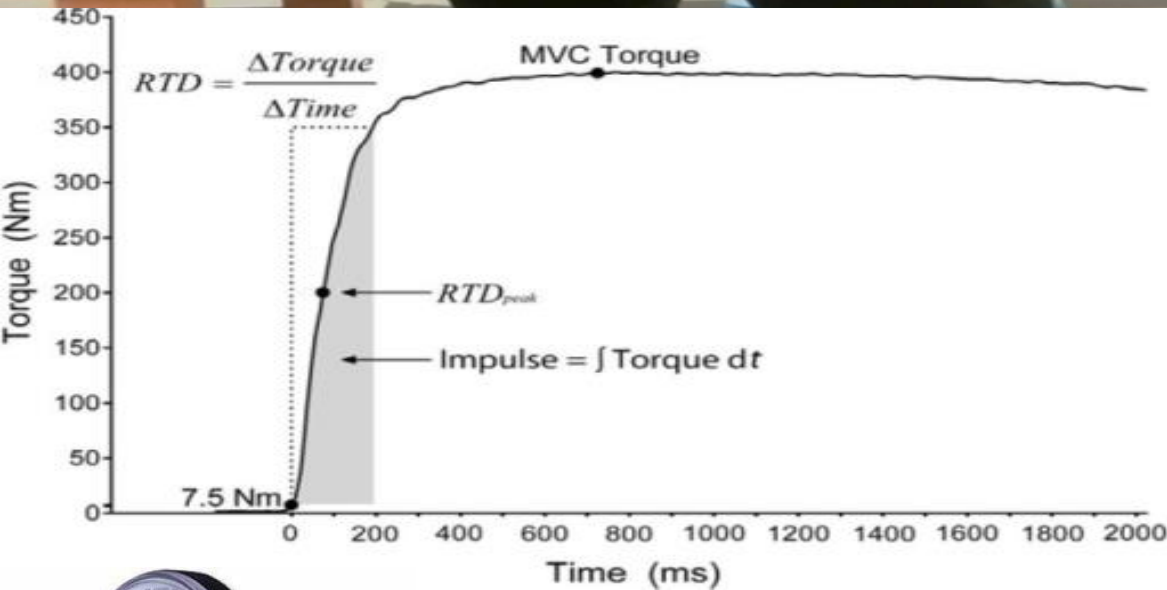
ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Κινηματική και Κινητική ανάλυση – 3D

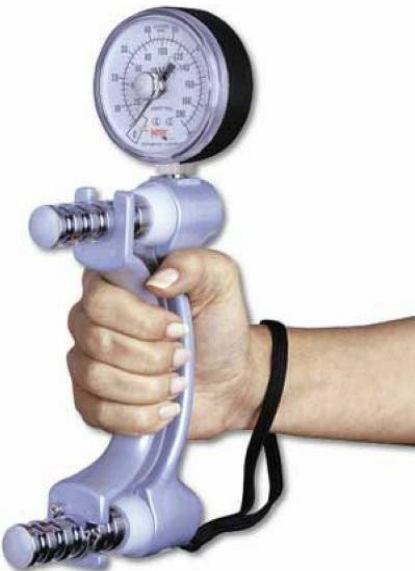


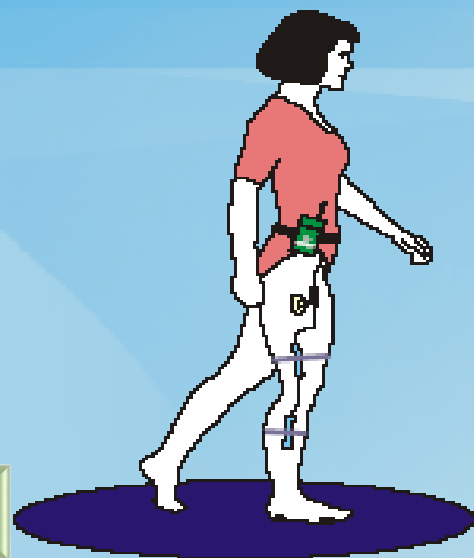
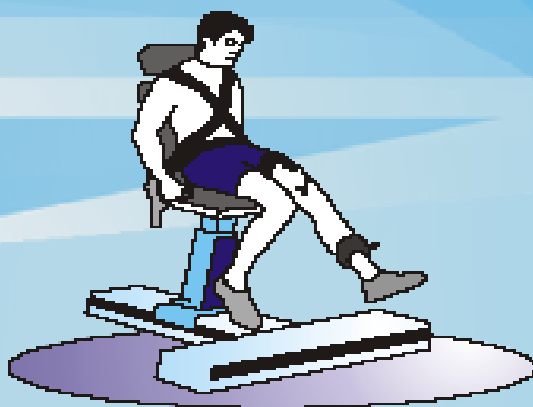
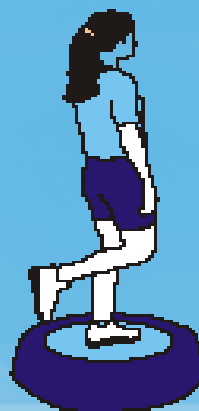
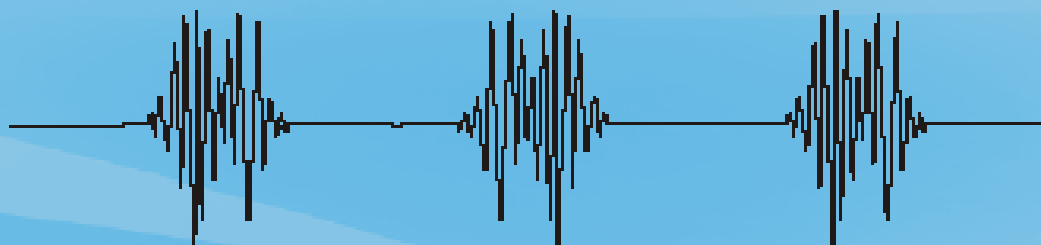
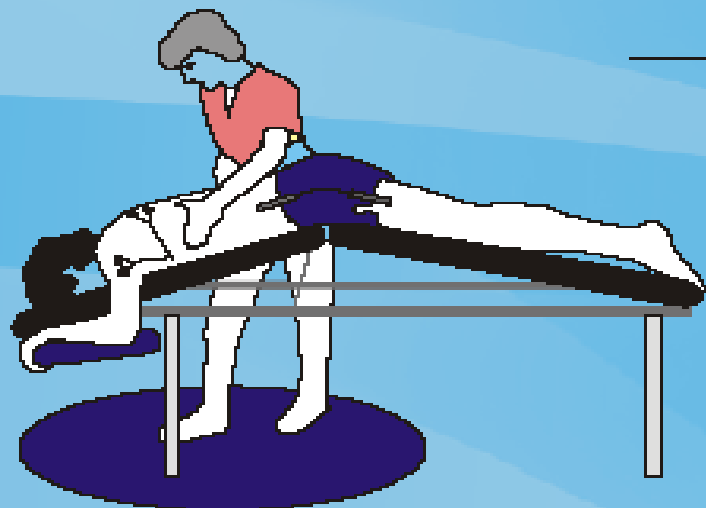
Αδρανιακά συστήματα IMU και εφαρμογές κινηματικής ανάλυσης





muscle tester





ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΥΟΓΡΑΦΗΜΑ

Ορισμός του Ηλεκτρομυογραφήματος (ΗΜΓ)

- ▣ Το ηλεκτρομυογράφημα είναι μία πειραματική τεχνική που έχει σχέση με την ανάπτυξη (εξέλιξη), καταγραφή και ανάλυση των μυοηλεκτρικών σημάτων, τα οποία διαμορφώνονται από φυσιολογικές παραμέτρους στην επιφάνεια της μεμβράνης της μυϊκής ίνας.
- ▣ Νευρολογικό ΗΜΓ: Η μυϊκή απάντηση στον εξωτερικό ηλεκτρικό ερεθισμό αναλύεται όντας ο μυς σε στατική κατάσταση.
- ▣ Κινησιολογικό ΗΜΓ: Η μελέτη της νευρομυϊκής δραστηριοποίησης μυών σε κατάσταση εργασίας, λειτουργικών κινήσεων και προπόνησης.

Χρησιμότητα του ΗΜΓ

- ▣ Το κινησιολογικό ΗΜΓ έχει καθιερωθεί ως ένα εργαλείο εκτίμησης για έρευνα, φυσικοθεραπεία και αποκατάσταση, προπόνηση και αλληλοεπίδραση του ανθρώπινου σώματος με τα βιομηχανικά προϊόντα και τις συνθήκες εργασίας



Χρησιμότητα του ΗΜΓ (συνέχεια)

Ιατρική Έρευνα

- Ορθοπαιδική
- Χειρουργική
- Λειτουργική Νευρολογία
- Ανάλυση στάσης και κίνησης

Αποκατάσταση

- Μεταχειρουργική/ Ατύχημα
- Νευρολογική αποκατάσταση
- Φυσικοθεραπεία
- Θεραπεία ενεργής εκγύμνασης

Εργονομία

- Ανάλυση απαιτήσεων
- Προφύλαξη από κίνδυνο
- Εργονομικός σχεδιασμός
- Πιστοποίηση προϊόντος

Αθλητική Επιστήμη

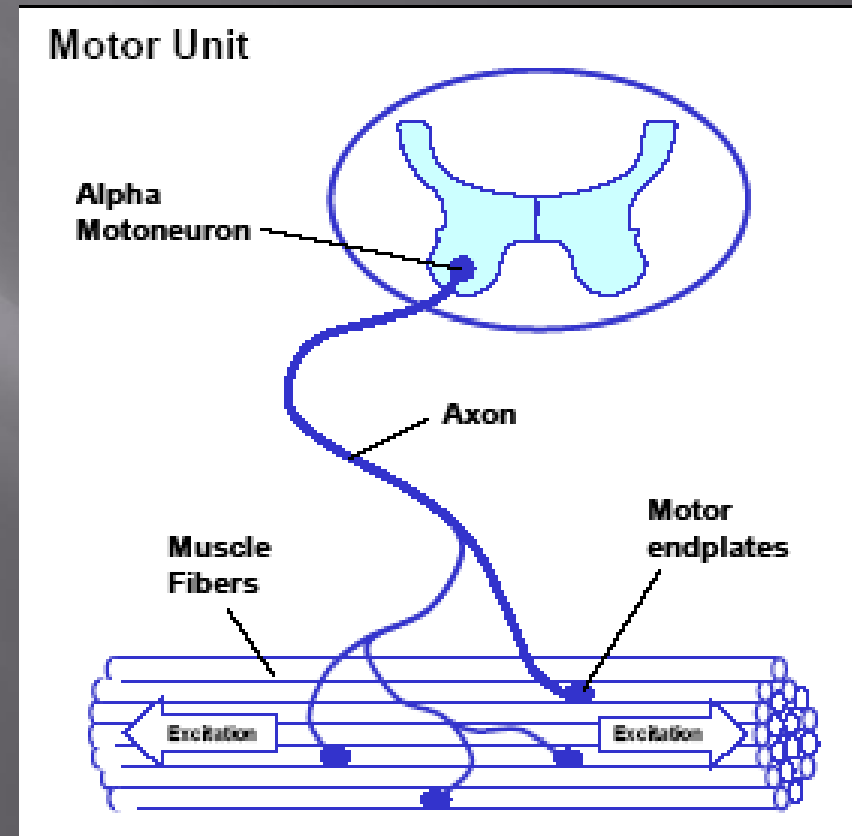
- Βιολογική μηχανική
- Ανάλυση κίνησης
- Εκγύμναση μυϊκής δύναμης
- Αθλητική αποκατάσταση

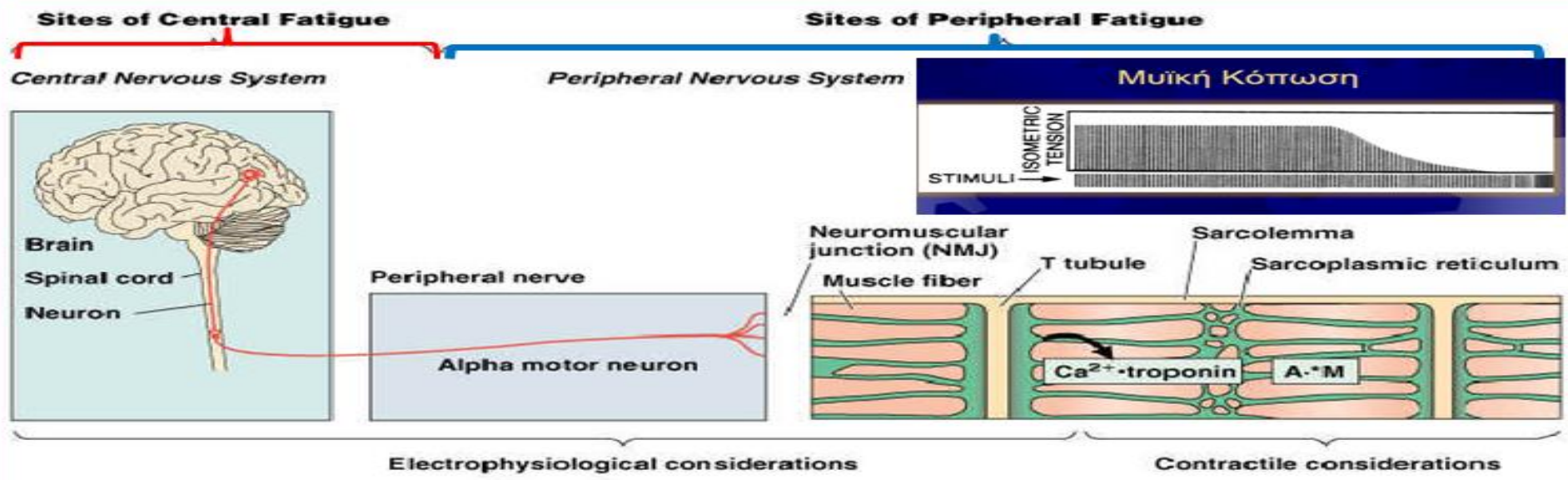
Πλεονεκτήματα του ΗΜΓ

- ✓ Επιτρέπει τον άμεσο έλεγχο του μυός
- ✓ Επιτρέπει την μέτρηση της μυϊκής απόδοσης
- ✓ Βοηθάει στην επιλογή αποφάσεων πριν/μετά το χειρουργείο
- ✓ Τεκμηριώνει την θεραπεία και την άθληση
- ✓ Βοηθάει τον ασθενή να ασκήσει σωστά τους μύες του
- ✓ Επιτρέπει την ανάλυση και την σωστή εκμετάλλευση των αθλητικών δραστηριοτήτων
- ✓ Ανιχνεύει τις μυϊκές απαντήσεις στις εργονομικές μελέτες

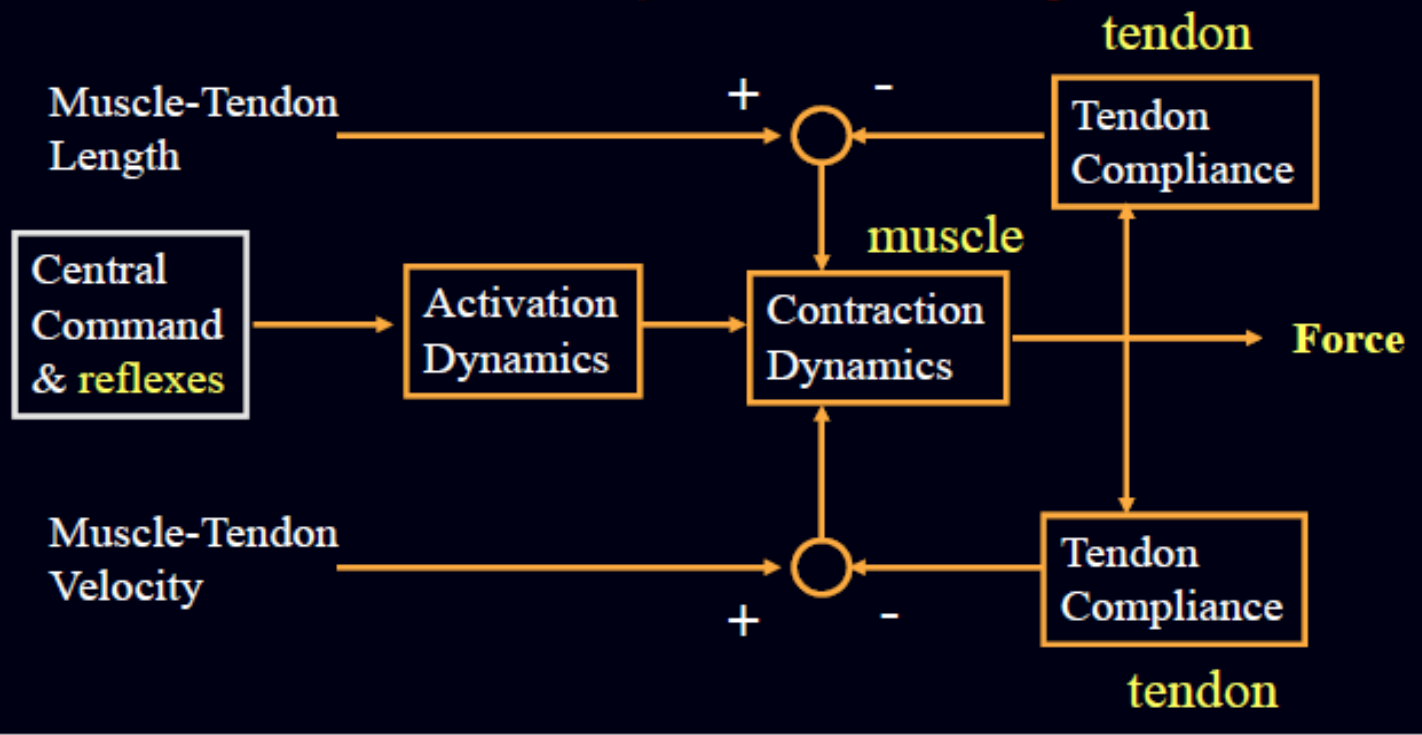
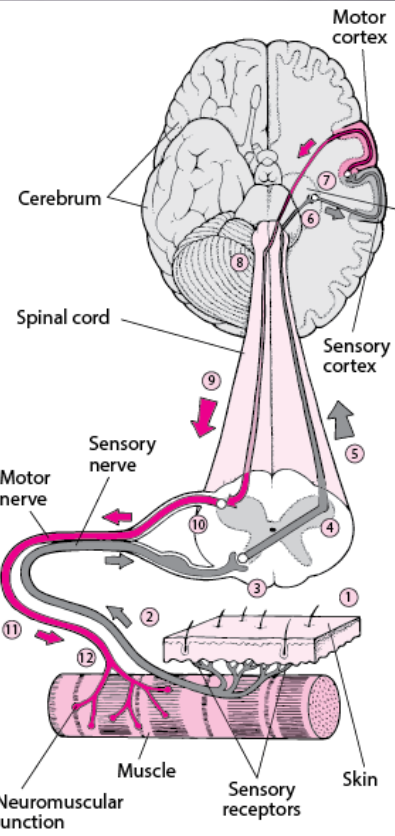
Κινητική Μονάδα

- Είναι η μικρότερη λειτουργική μονάδα για την ερμηνεία του νευρικού ελέγχου της μυϊκής σύσπασης.
- Ορίζεται και αποτελείται από το κυτταρικό σώμα και τους δενδρίτες ενός κινητικού νευρώνα, τις διακλαδώσεις του νευράξονα, και τις μυϊκές ίνες που νευρώνει.
- Ο όρος μονάδα σκιαγραφεί την συμπεριφορά των μυϊκών ινών ενός κινητικού νευρώνα λειτουργώντας ως μία, βρισκόμενες κάτω από τον νευρικό ερεθισμό.

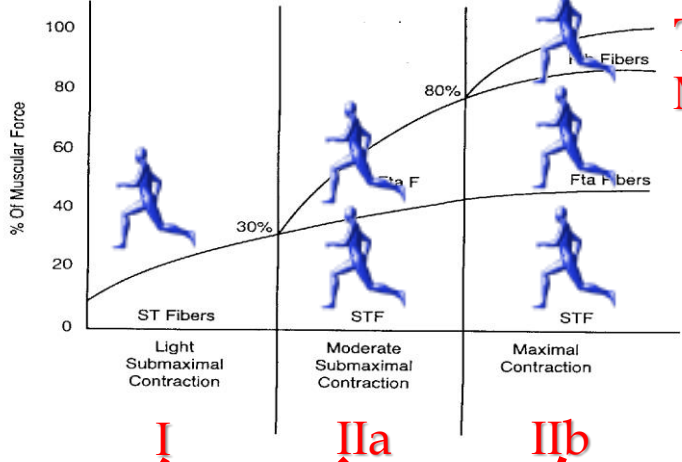




Neuromuscular system modeling



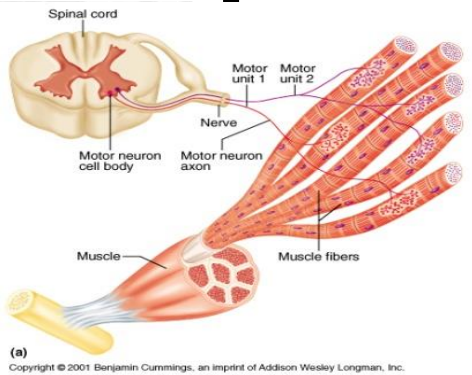
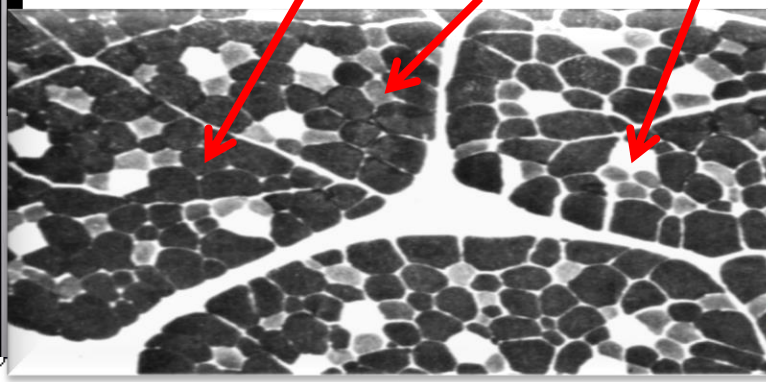
Τύποι Μ. Ινών



Κινητικές Μονάδες

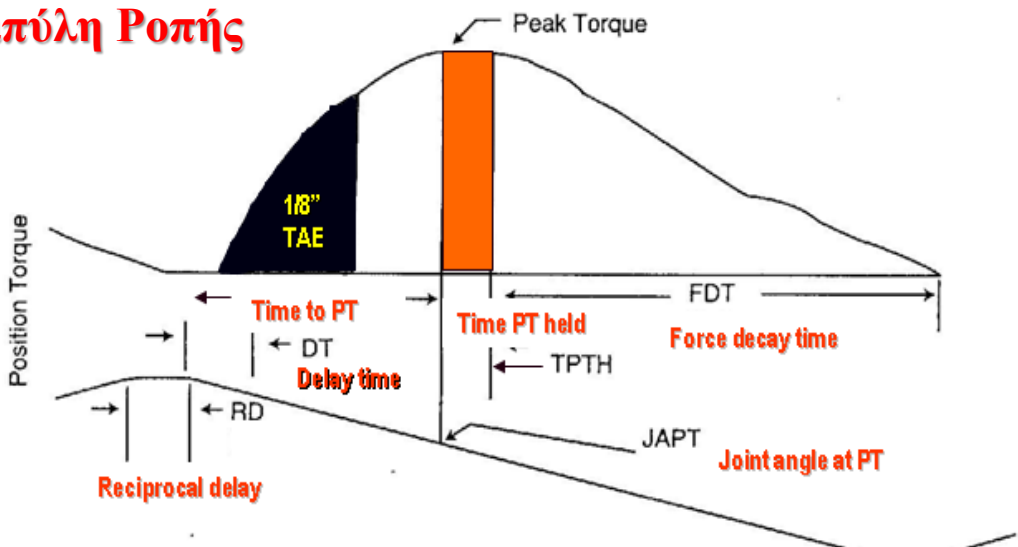


I IIa IIb

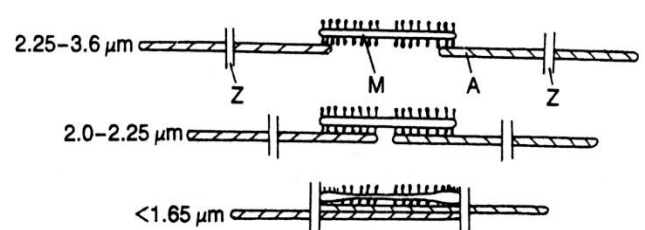
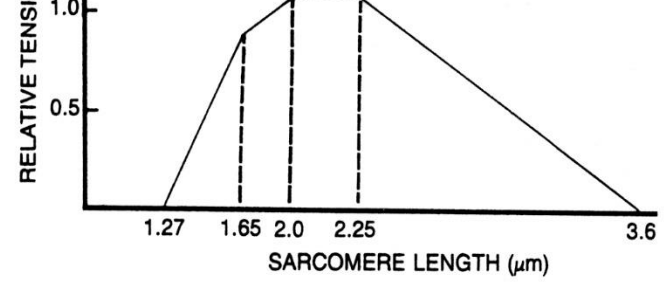


Στόχος: Μυϊκή Ενεργοποίηση...

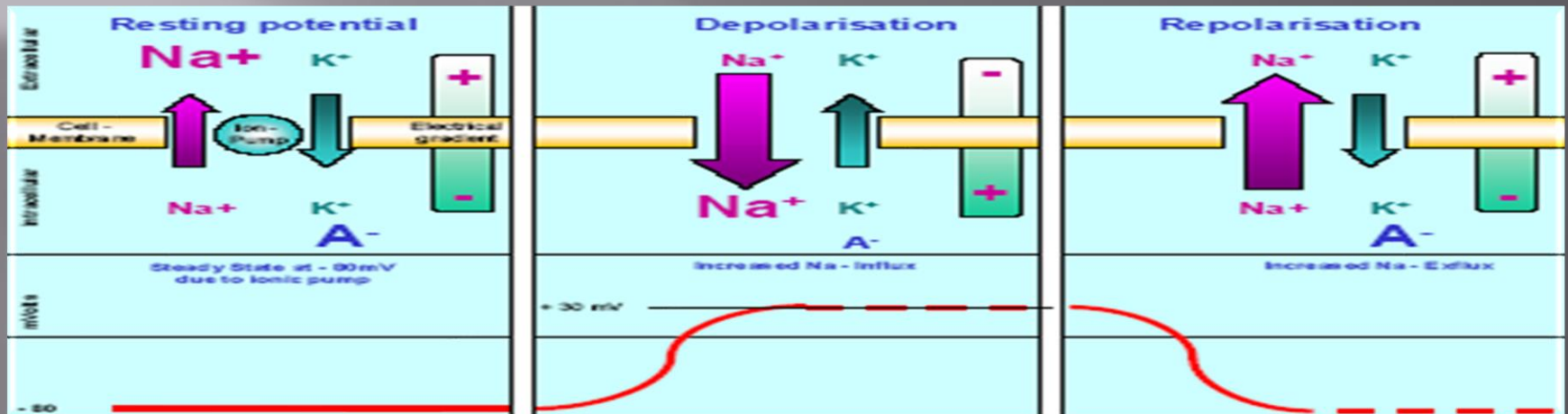
Καμπύλη Ροπής



Μηκο-δυναμική σχέση

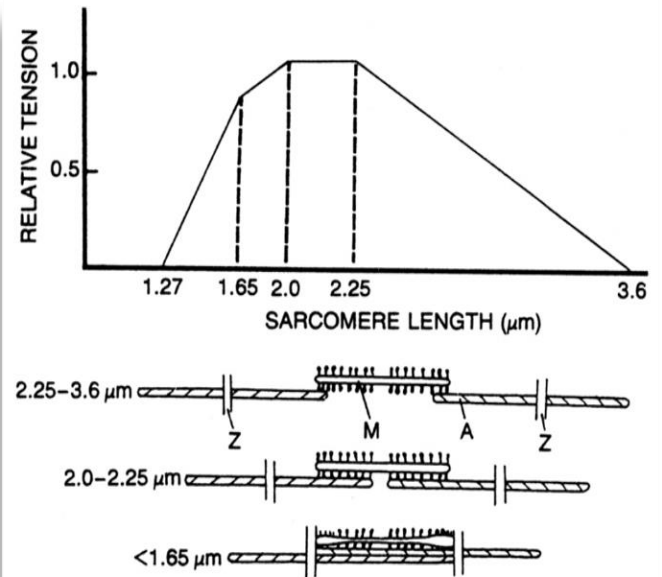
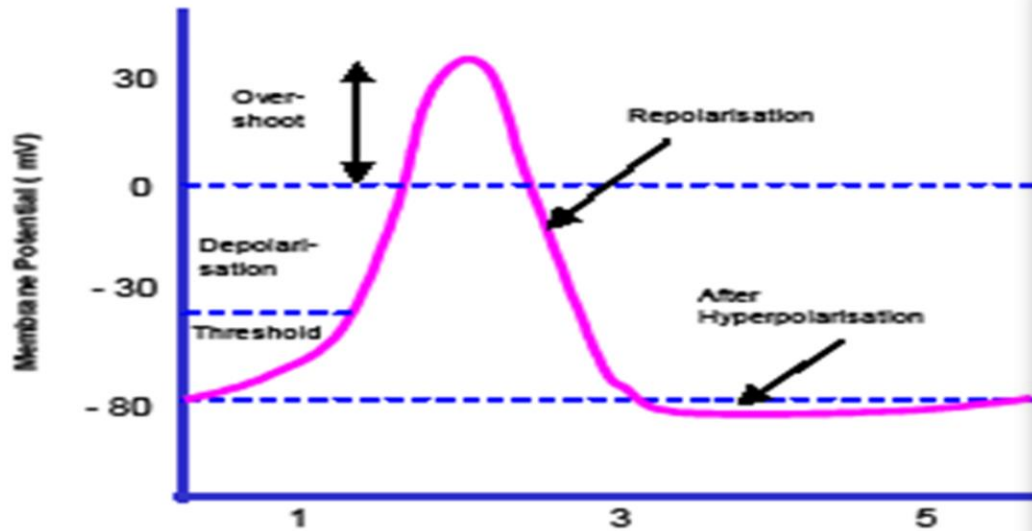


Διεγερσιμότητα της μυϊκής μεμβράνης



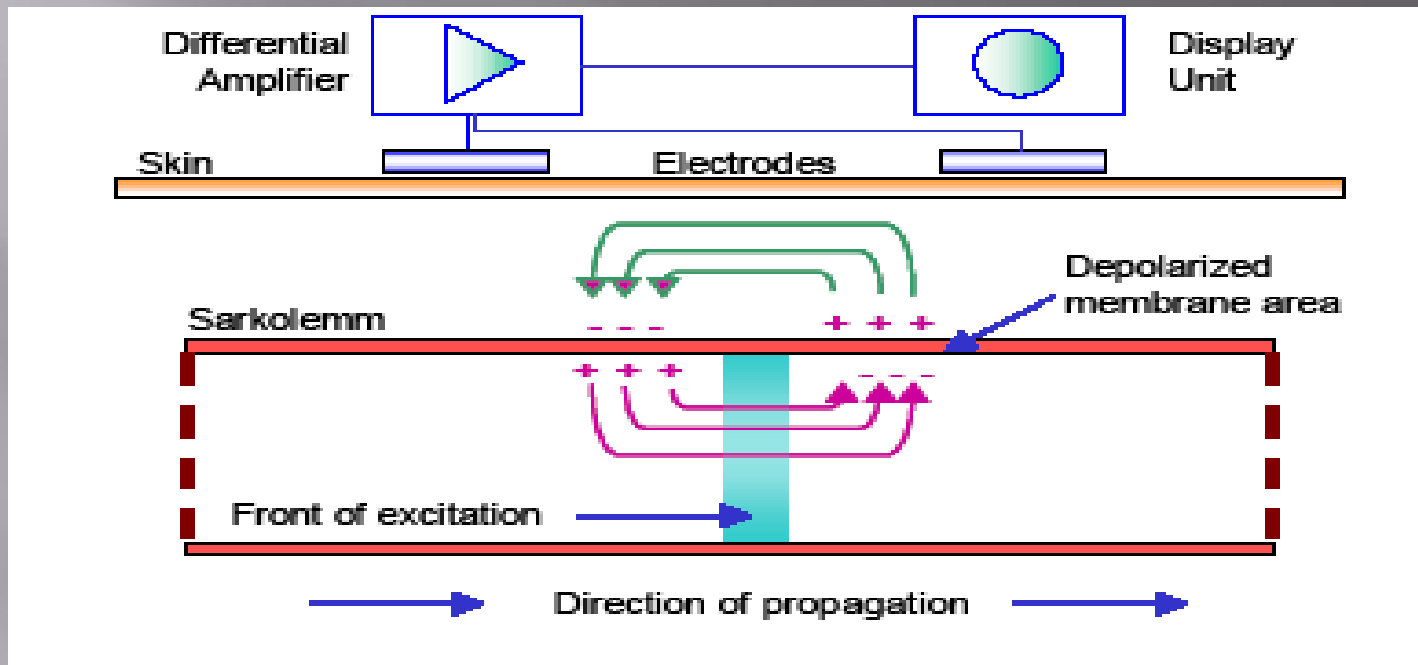
- Το φαινόμενο της διεγερσιμότητας της μυϊκής μεμβράνης εξηγείται από το μοντέλο της ημιπερατής μεμβράνης του σχήματος
- Η ισορροπία των ιόντων Na^+/K^+ μεταξύ του ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου δημιουργεί ένα δυναμικό ηρεμίας (-80,-90 mV)
- Διέγερση α-κινητικού νευρώνα \longrightarrow Μεταφορά διέγερσης
 \downarrow
 Λειτουργία αντλίας ιόντων \longleftarrow Εισροή ιόντων Na^+ στον ενδοκυττάριο χώρο (-80 \longrightarrow +30 mV)
 Εισροή ιόντων Na^+ στον εξωκυττάριο χώρο (+30 \longrightarrow -80 mV)
 Φάση επαναπόλωσης \longleftarrow Φάση εκπόλωσης

Δυναμικό Ενέργειας



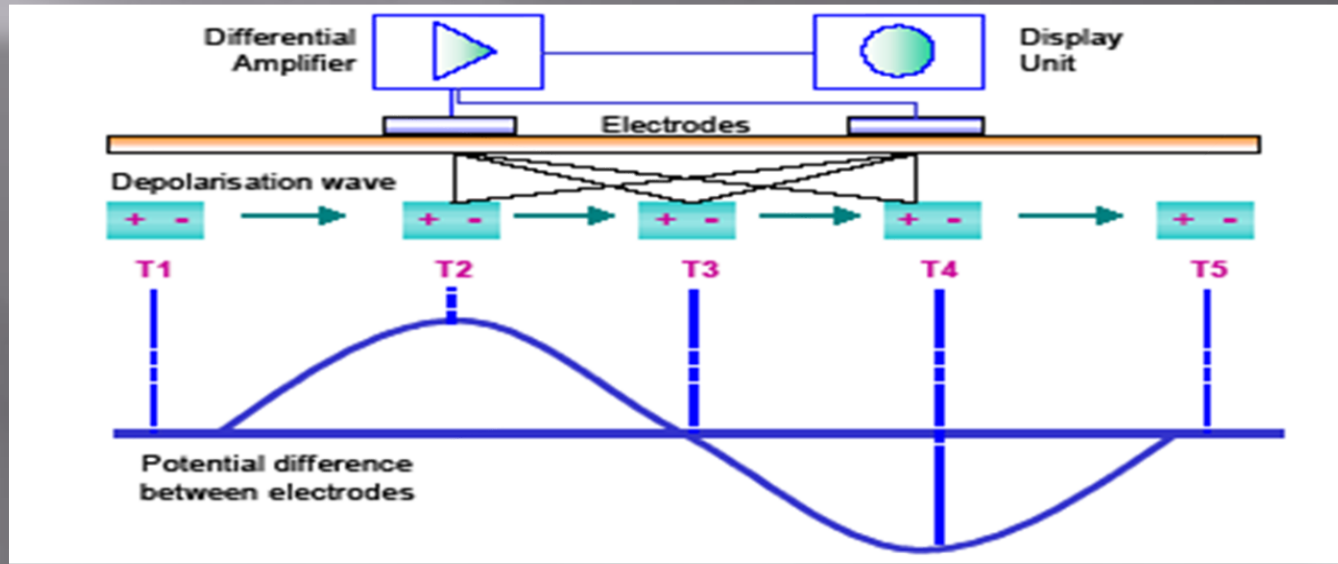
- Με την εισροή ιόντων Na^+ δημιουργείται ένα ηλεκτρικό μονοπολικό "ξέσπασμα" (-80 → +30 mV): Δυναμικό ενέργειας
- Το δυναμικό ενέργειας μεταδίδεται κατά μήκος των μυϊκών ινών αλλά και μέσα στην μυϊκή ίνα
- Η διέγερση προκαλεί έκκριση ιόντων Ca^+ στον ενδοκυττάριο χώρο και αυτή με την σειρά της προκαλεί βράχυνση των συσταλών στοιχείων των μυών. Αυτό είναι ένα συνεχόμενο αλυσιδωτό μοντέλο διέγερσης και σύσπασης.

Δυναμικό Ενέργειας (συνέχεια)



- Το ΗΜΓ βασίζεται στο δυναμικό ενέργειας της μεμβράνης της μυϊκής ίνας που είναι αποτέλεσμα του κύκλου εκπόλωσης / επαναπόλωσης.
- Η έκταση της ζώνης εκπόλωσης είναι 1-3 mm. Μετά την αρχική διέγερση η ζώνη αυτή μεταδίδεται κατά μήκος της μυϊκής ίνας με ταχύτητα 2-6 m/sec και περνά στο μέρος του ηλεκτροδίου.

Αναπαραγωγή και Ανίχνευση του Σήματος



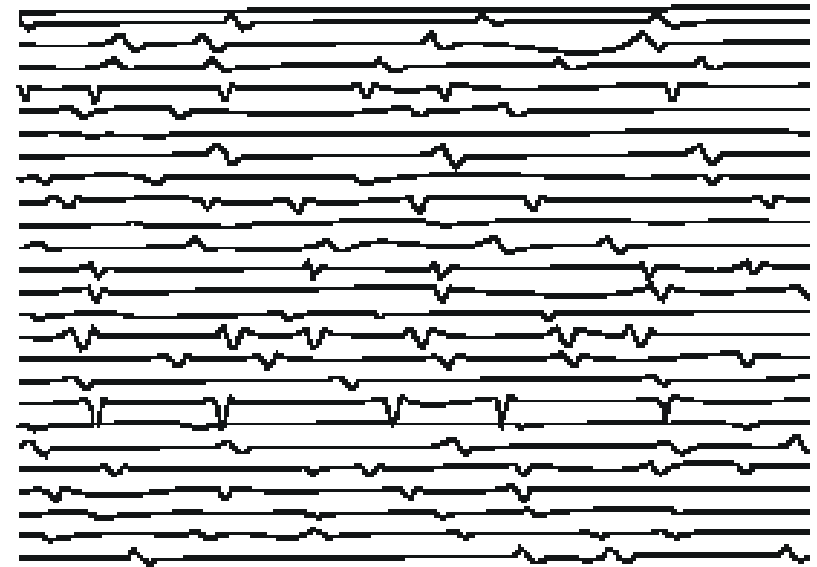
- ▶ Χαρακτηριστική διπολική διαμόρφωση ηλεκτροδίων και μία διαφορική διερεύνηση (ενίσχυση) χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις των κινησιολογικών ΗΜΓ
- ▶ Εξαρτώμενο από την απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, το δίπολο δημιουργεί μία διαφορά δυναμικού.
- ▶ Το μοντέλο του σήματος εξηγεί το πώς το μονοπολικό δυναμικό ενέργειας δημιουργεί ένα δίπολο σήμα μέσα σε αυτή την διαφορική διαδικασία
- ▶ Το ζευγάρι των ηλεκτροδίων καταγράφει το μέγεθος όλων των μυϊκών ινών της κινητικής μονάδας
- ▶ Χαρακτηριστικά συνοψίζονται σε ένα τριφασικό δυναμικό ενέργειας κινητικής μονάδας (MUAP-2) το οποίο διαφέρει στην μορφή και το μέγεθος ανάλογα με τον γεωμετρικό προσανατολισμό των ινών σε σχέση με την περιοχή των ηλεκτροδίων.

Σύνθεση του ΗΜΓ

Ανόρθωση του MUAP

- ▣ Στις κινησιολογικές μελέτες, το δυναμικό ενέργειας της κινητικής μονάδας όλων των ενεργών κινητικών ομάδων είναι ηλεκτρικά ανορθωμένο και παρατηρείται ως ένα δίπολο σήμα με συμμετρική κατανομή

25 mathematically generated MUAPs



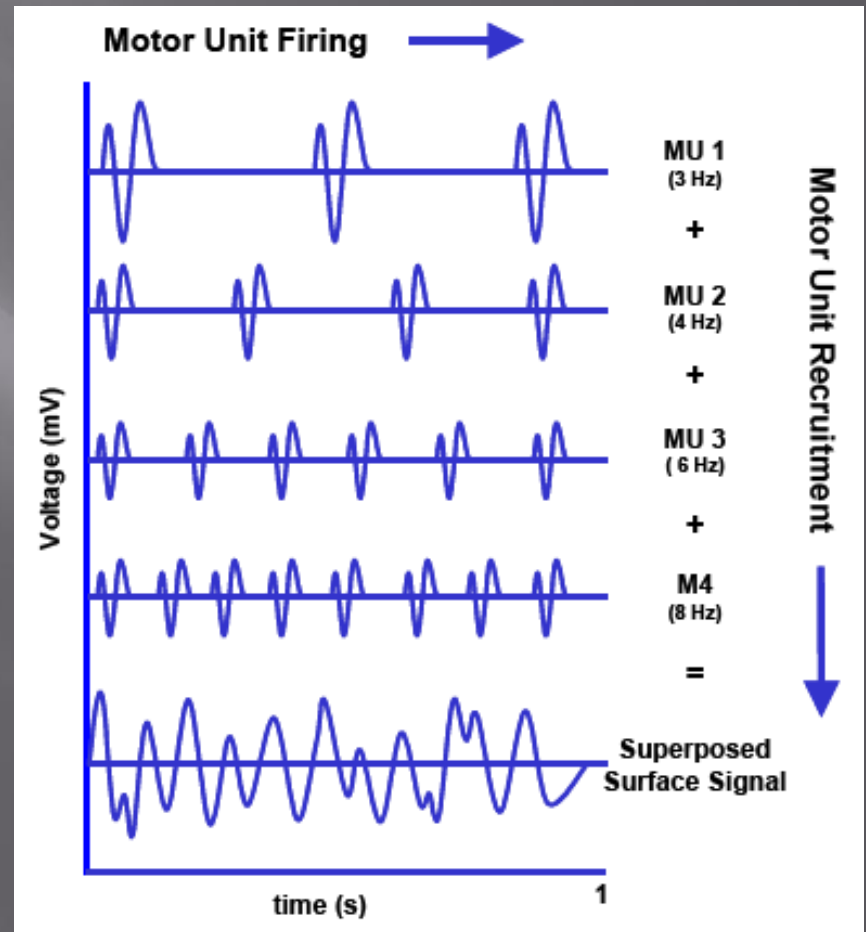
Σ



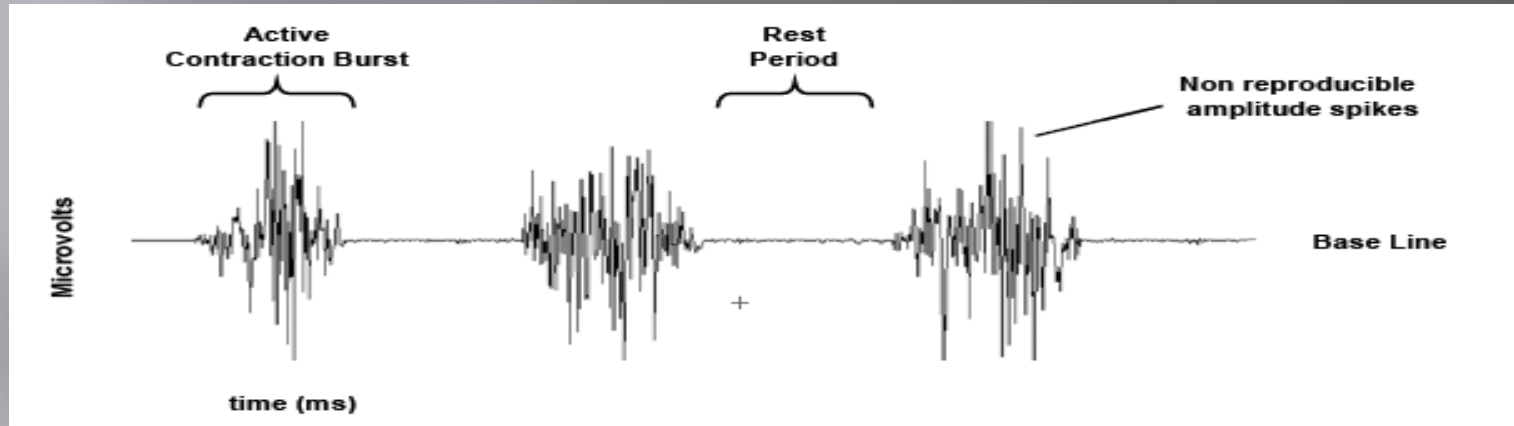
Superposed signal

Αρχή Σήματος – Συχνότητα Ενεργοποίησης

- Είναι οι δύο σημαντικότεροι μηχανισμοί που επηρεάζουν το μέγεθος και την πυκνότητα του παρατηρηθέντος σήματος.
- Είναι οι κύριες στρατηγικές ελέγχου για να ρυθμίσουν την διαδικασία συστολής και να διαμορφώσουν την παραγωγή δύναμης του μυός.

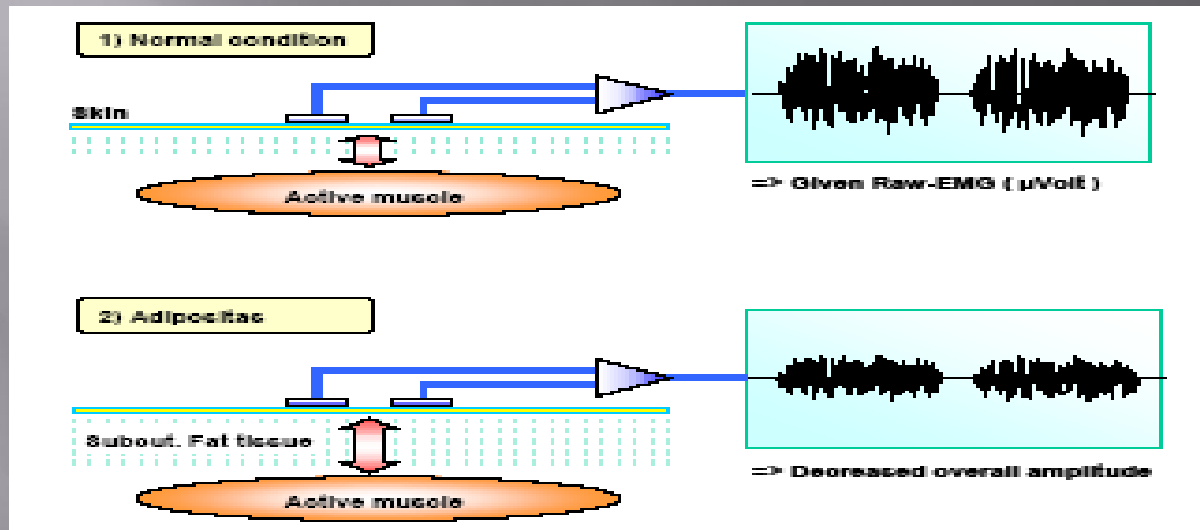


Το Ακατέργαστο ΗΜΓ Σήμα



- Ένα αφιτράριστο και χωρίς επεξεργασία σήμα που ανιχνεύει την ανόρθωση του MUAP, ονομάζεται ακατέργαστο ΗΜΓ σήμα.
- Όταν ο μυς είναι χαλαρός μπορούμε να διακρίνουμε την βασική γραμμή του ΗΜΓ.
- Ο ακατέργαστος θόρυβος των βασικών γραμμών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: την ποιότητα του ενισχυτή, τον θόρυβο του περιβάλλοντος, και την ποιότητα της δεδομένης κατάστασης ανίχνευσης.
- Η έρευνα για την ποιότητα των βασικών ΗΜΓ γραμμών, είναι ένα πολύ σημαντικό σημείο ελέγχου κάθε μέτρησης
- Ο υγιής χαλαρωμένος μυς δεν παρουσιάζει καμία σημαντική ΗΜΓ δραστηριότητα λόγω έλλειψης των δυνατοτήτων αποπόλωσης και δράσης

Παράγοντες που επηρεάζουν το ΗΜΓ σήμα



▶ Χαρακτηριστικά των ιστών

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα διαφέρει στους διάφορους τύπους ιστών (φυσιολογικές αλλαγές, θερμοκρασία). Οι συνθήκες αλλάζουν από άτομο σε άτομο.

▶ Φυσιολογικές αντεγκλήσεις

Γειτονικοί μύες μπορεί να παρεμβάλλουν το σήμα τους στον προς έλεγχο μυ. Οι αντεγκλήσεις αυτές δεν ξεπερνούν το 10-15% του ολικού σήματος. Ηλεκτρομυογραφικές ακίδες μπορεί να παρεμβληθούν στην ΗΜΓ καταγραφή ιδιαίτερα όταν αυτή γίνεται στον άνω κορμό – ωμική ζώνη.

Παράγοντες που επηρεάζουν το ΗΜΓ σήμα (συνέχεια)

- **Αλλαγές στην γεωμετρία μεταξύ μυός και περιοχής ηλεκτροδίων**
Οποιαδήποτε αλλαγή της απόστασης μεταξύ της προέλευσης του σήματος (παραγωγή) και της περιοχής ανίχνευσης θα αλλάξουν την ανάγνωση του ΗΜΓ. Είναι ένα σημαντικό πρόβλημα όλων των δυναμικών μελετών μετακίνησης και μπορεί επίσης να προκληθεί και από την εξωτερική πίεση.
- **Εξωτερικοί θόρυβοι**
Ειδική προσοχή απαιτείται στα πολύ θορυβώδη ηλεκτρικά περιβάλλοντα τα οποία τις περισσότερες φορές δημιουργούν δυνατά βουητά παραγόμενα από την κακή γείωση άλλων ηλεκτρικών εξωτερικών συσκευών.
- **Ηλεκτρόδια και Ενισχυτές**
Η επιλογή/ποιότητα των ηλεκτροδίων και των εσωτερικών ενισχυτών μπορεί να προσθέσουν, εάν παράγουν επιπλέον θόρυβο, το περιεχόμενο σημάτων στην βασική γραμμή ΗΜΓ.



Διαδικασία Προετοιμασίας του Δέρματος

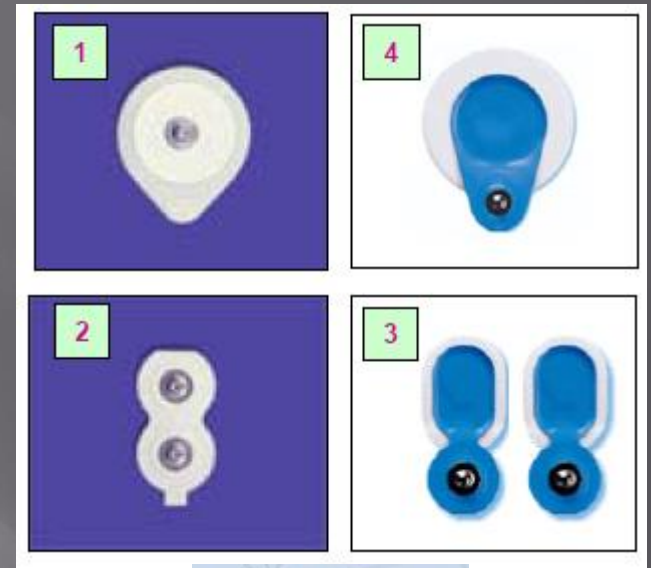
- ▶ Η ποιότητα της μέτρησης του ΗΜΓ εξαρτάται από την κατάλληλη προετοιμασία του δέρματος και την σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων
- ▶ Η κύρια στρατηγική της προετοιμασίας του δέρματος έχει ως στόχο την σταθερή επαφή του ηλεκτροδίου και την χαμηλή σύνθετη αντίσταση του δέρματος
- ▶ Οι περισσότεροι σύγχρονοι ΗΜΓ ενισχυτές είναι σχεδιασμένοι για σύνθετη αντίσταση δέρματος μεταξύ 5-50 KΩm

Διαδικασίες

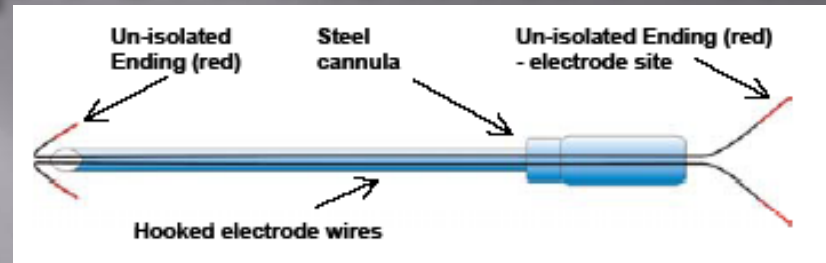
- ▶ Αφαίρεση των τριχών: είναι αναγκαία για την καλύτερη επαφή των ηλεκτροδίων
- ▶ Καθαρισμός δέρματος:
 - ▶ Με ειδικές λειαντικές κρέμες που αφαιρούν τα νεκρά κύτταρα
 - ▶ Με ένα πολύ λεπτό/μαλακό γυαλόχαρτο: με ελεγχόμενη πίεση, 3-4 φορές είναι αρκετές
 - ▶ Με οινόπνευμα χρησιμοποιώντας μία υφασμάτινη πετσέτα

Ηλεκτρόδια Επιφανείας Δέρματος

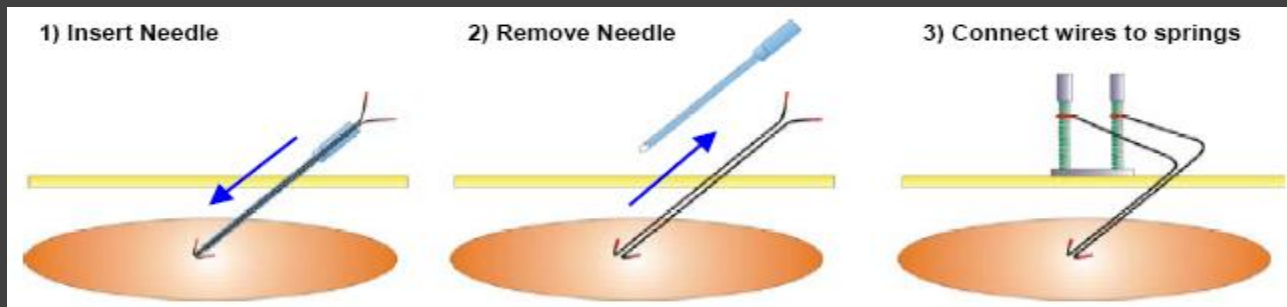
- ▣ Τα ηλεκτρόδια αυτά λόγω των χαρακτηριστικών τους χρησιμοποιούνται στις κινησιολογικές μελέτες
- ▣ Έχουν εύκολο και γρήγορο χειρισμό
- ▣ Μπορούν να ανιχνεύσουν μόνο μύες επιφάνειες
- ▣ Η διάμετρος τους πρέπει να είναι 1 cm ή μικρότερη
- ▣ Η επιλογή ενός τύπου ηλεκτροδίων εξαρτάται έντονα από την δεδομένη έρευνα και κατάσταση. Ένας τύπος ηλεκτροδίου δεν μπορεί να καλύψει όλες τις πιθανές απαιτήσεις



Ηλεκτρόδια Λεπτών Καλωδίων



- Λόγω των μετακινήσεων των μυών στις κινησιολογικές μελέτες είναι σωστό να χρησιμοποιούνται λεπτά, εύκαμπτα ηλεκτρόδια λεπτών καλωδίων μέσα στα βαθύτερα στρώματα των μυών



- Τα αποστειρωμένα, ταξινομημένα κατά ζεύγος ή μονά καλώδια γάντζων εισέρχονται από τις κοίλες βελόνες και ο κατάλληλος εντοπισμός τους γίνεται από την απεικόνιση των υπερήχων

Οδηγίες Εφαρμογής Ηλεκτροδίων

- ▶ Τα υγρά gel ηλεκτρόδια έχουν την καλύτερη εφαρμογή στο δέρμα
- ▶ Χρησιμοποιείτε μικρά ηλεκτρόδια για να αυξήσετε την αποτελεσματικότητα των μετρήσεων
- ▶ Όσο μικρότερο το ηλεκτρόδιο (ενεργή περιοχή ανίχνευσης), τόσο υψηλότερες οι τιμές σύνθετης αντίστασης
- ▶ Επιλέξτε την πιο μικρή απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων για να αυξήσετε την επιλεκτικότητα
- ▶ Η πιο κατάλληλη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι 2 cm
- ▶ Εφαρμόστε τα ηλεκτρόδια παράλληλα στην κατεύθυνση των μυϊκών ινών
- ▶ Επιλέξτε το κύριο μέρος της μυϊκής ατράκτου για καλύτερη επιλεκτικότητα
- ▶ Αποφύγετε τις περιοχές κινητικών σημείων
- ▶ Προσέξτε τα ηλεκτρόδια να βρίσκονται στην ενεργή περιοχή του μυός κατά την διάρκεια της μυϊκής βράχυνσης
- ▶ Χρησιμοποιήστε ένα σύστημα χαρτογράφησης και μέτρησης αποστάσεων μεταξύ των ηλεκτροδίων και συμβουλευτείτε τα ανατομικά σημεία
- ▶ Χρησιμοποιείτε ηλεκτρόδια με αποκεντρωμένη σύνδεση καλωδίων εάν αναμένετε αυξανόμενη πίεση στα ηλεκτρόδια

Ανατομικά Σημεία Αναφοράς

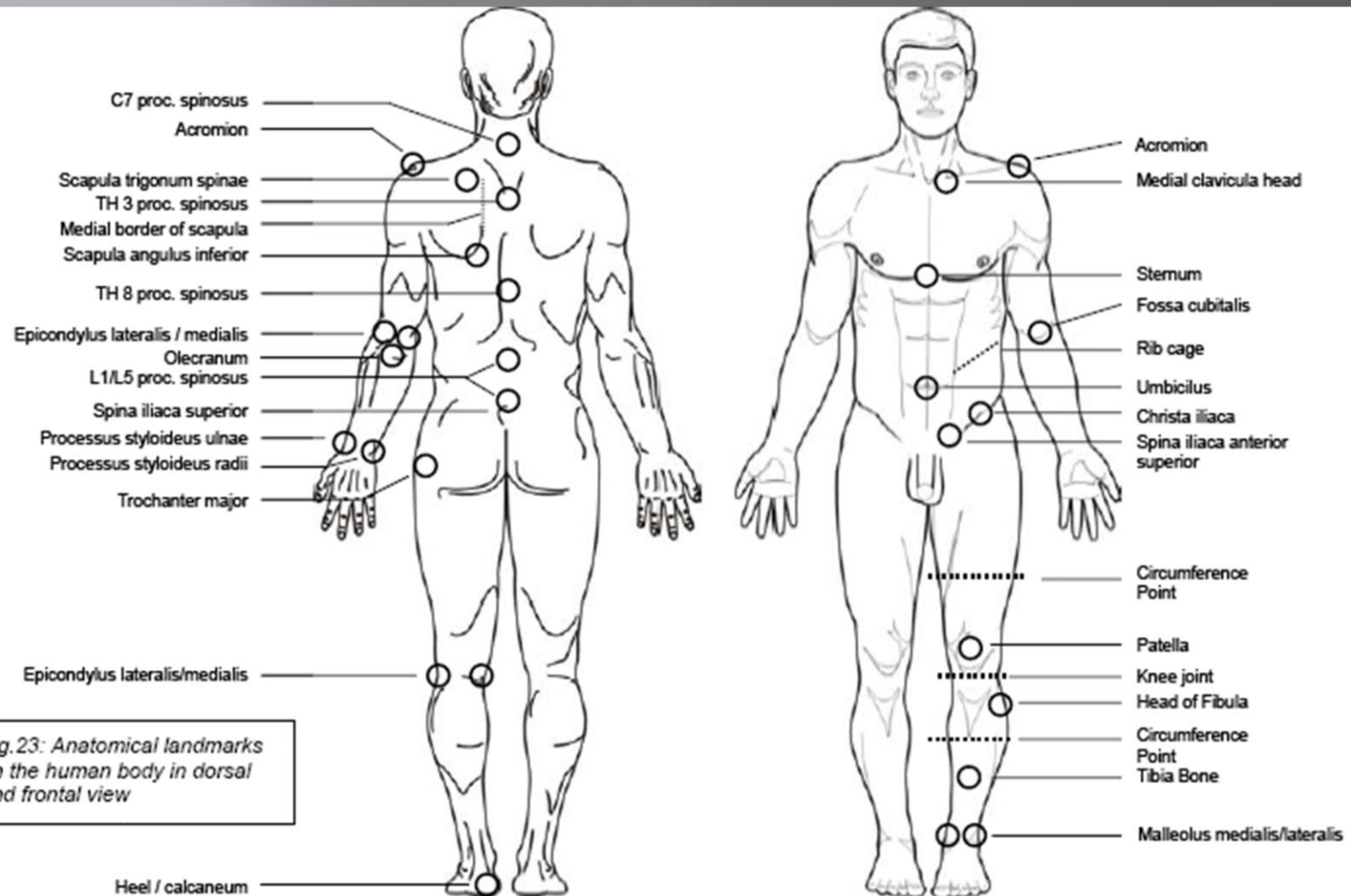


Fig.23: Anatomical landmarks on the human body in dorsal and frontal view

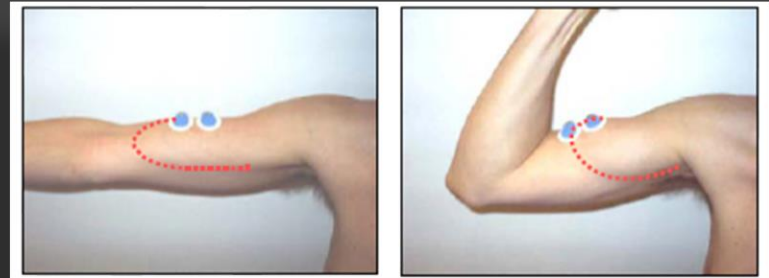
Ειδικά θέματα εφαρμογής των ηλεκτροδίων

Περιοχές Κινητικών Σημείων

- ▣ Ερευνητές συστήνουν να μην τοποθετούνται ηλεκτρόδια στις περιοχές κινητικών σημείων λόγω της μεγάλης αστάθειας των σημάτων στα σημεία αυτά

Σχετική Κινητικότητα της Μυϊκής Ατράκτου

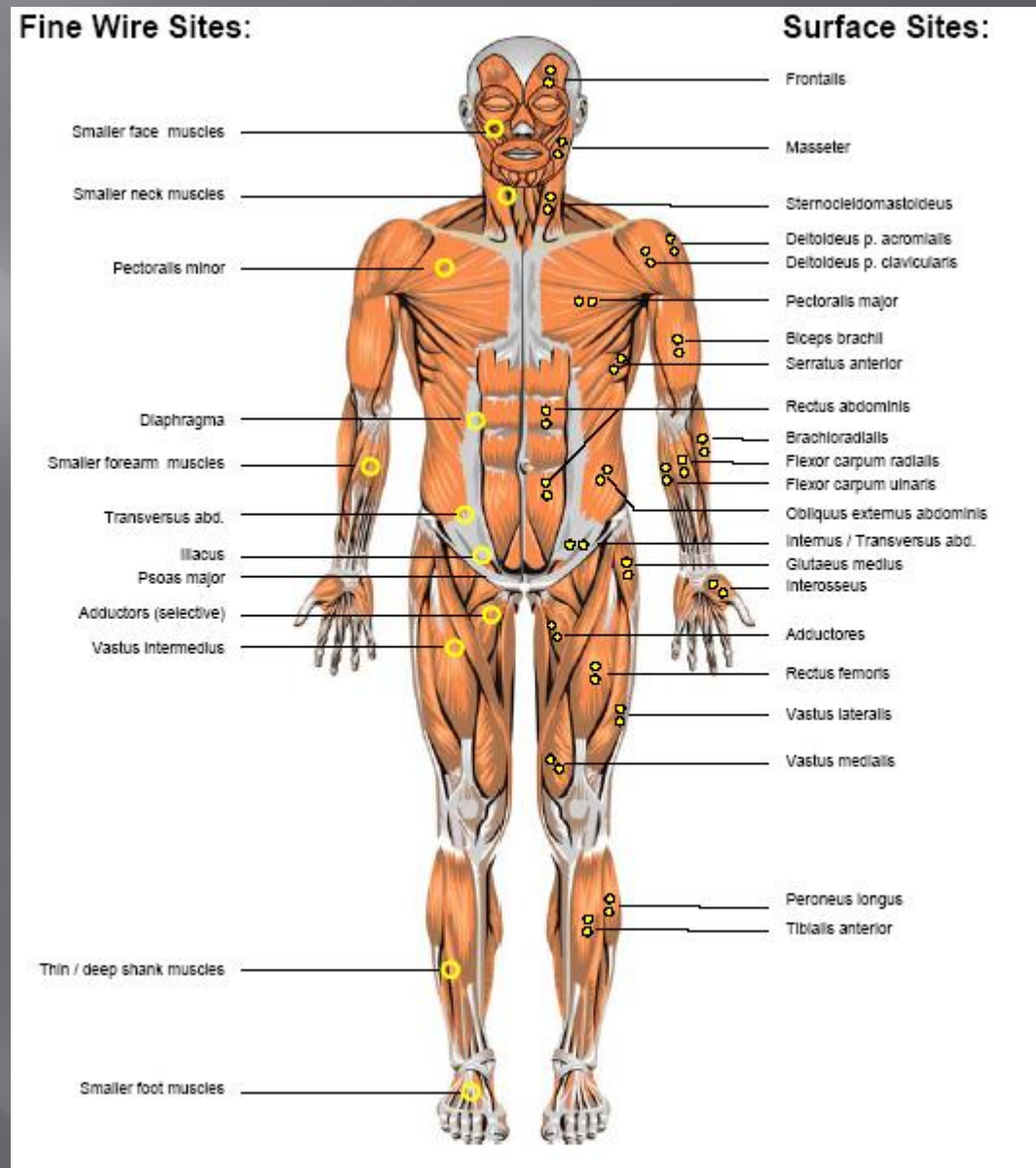
- Είναι αρκετά σημαντική η τοποθέτηση του ζεύγους των ηλεκτροδίων σε ένα κεντρικό σημείο της μυϊκής ατράκτου έχοντας υπόψη την πιθανή μετακίνηση του μυός κατά την διάρκεια της κίνησης



- Ο δικέφαλος βραχιόνιος είναι μυς που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή
- Προσοχή απαιτείται ακόμα όταν το δέρμα βραχύνεται ή επιμηκύνεται

Χάρτης Μυών- Μετωπιαίο Επίπεδο

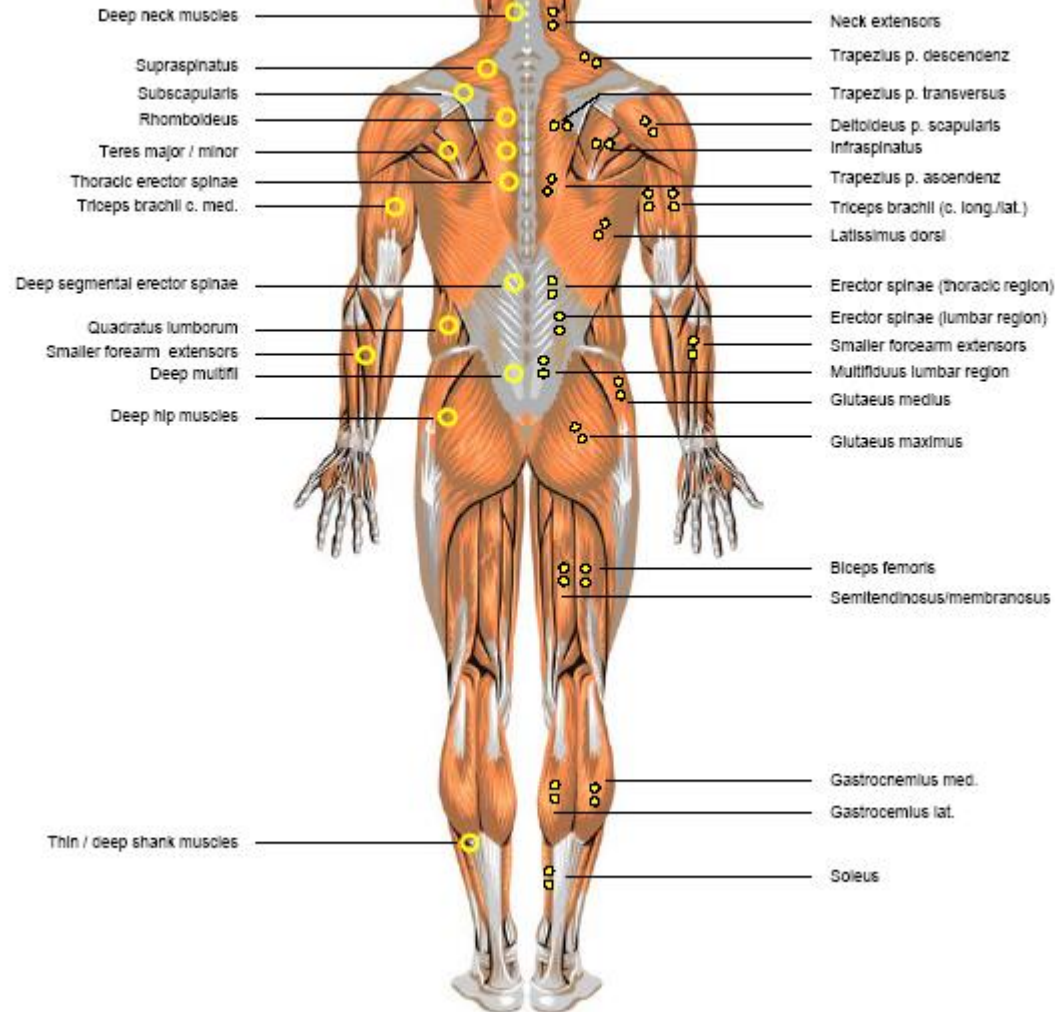
- Ο χάρτης αυτός δείχνει μία επιλογή μυών που είναι χαρακτηριστική στις κινησιολογικές μελέτες

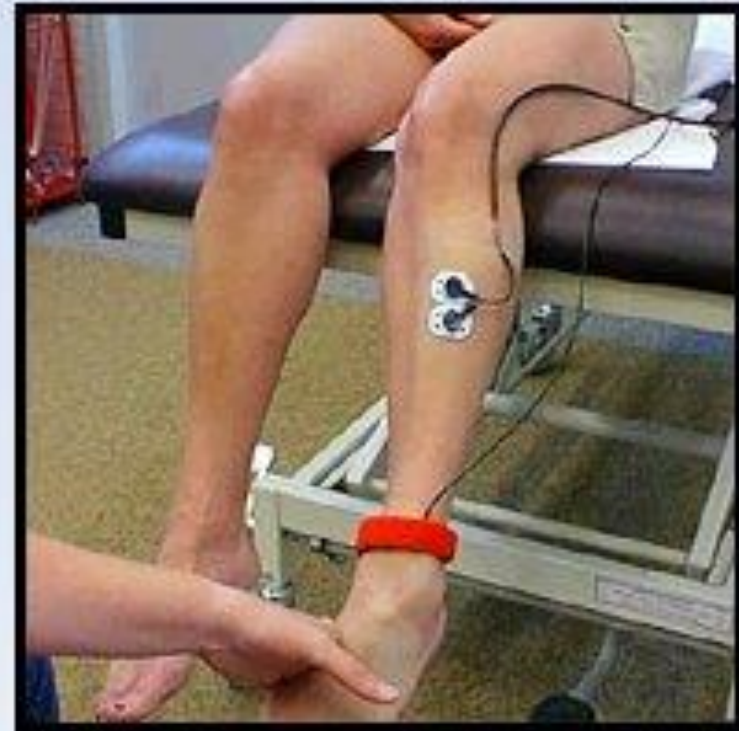


Χάρτης Παχιαίων Μυών

Fine Wire Sites:

Surface Sites:







Muscle: Deltoides
Subdivision: Anterior

Sensor placement procedure

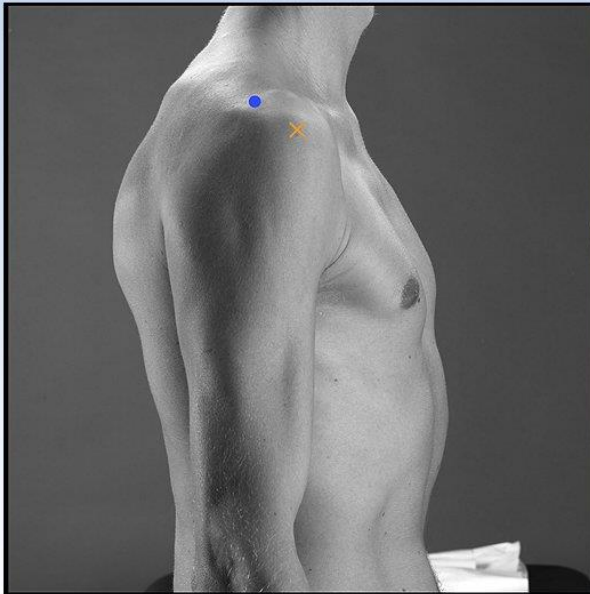
Starting posture: Sitting with the arms hanging vertically and the palm pointing inwards.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at one finger width distal and anterior to the acromion.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the thumb.

Clinical test: Shoulder abduction in slight flexion, with the humerus in slight rotation. In the erect sitting position it is necessary to place the humerus in slight lateral rotation to increase the effect of gravity on the anterior fibres. The anatomical action of the anterior deltoides entails slight medial rotation while pressure is applied against the anteromedial surface of the arm in the direction of adduction and slight extension.



Muscle: Biceps brachii
Subdivision: Short head and long head

Sensor placement procedure

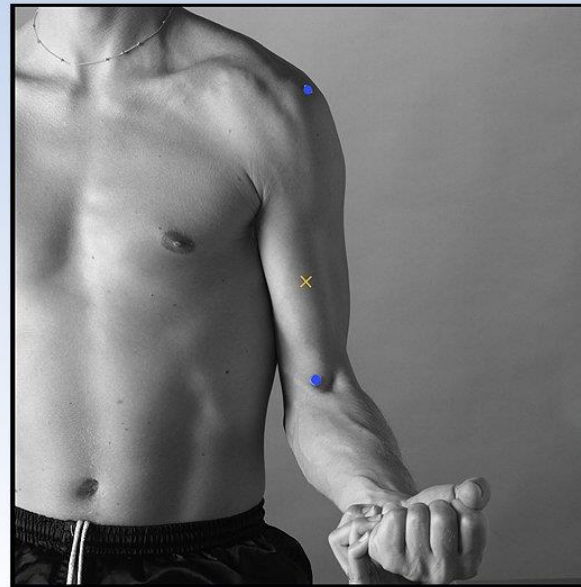
Starting posture: Sitting on a chair with the elbow flexed at a right angle and the dorsal side of the forearm in a horizontal downwards position.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed on the line between the medial acromion and the fossa cubiti at 1/3 from the fossa cubiti.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the fossa cubiti.

Clinical test: Place one hand under the elbow to cushion it from table pressure and flex the elbow slightly below or at a right angle, with the forearm in supination. Press against the forearm in the direction of extension.



Muscle: Deltoides
Subdivision: Medius

Sensor placement procedure

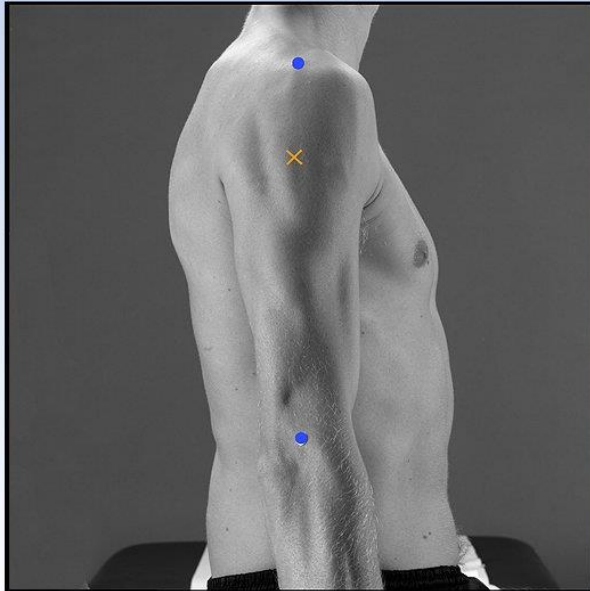
Starting posture: Sitting with the position of the trunk in relation to the arm such that a stable trunk will need no further stabilisation. When the scapula fixation muscles are weak the scapula must be stabilised

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed from the acromion to the lateral epicondyle of the elbow. This should correspond to the greatest bulge of the muscle.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the hand.

Clinical test: The arm should be abducted without rotation. When placing the shoulder in test position, the elbow should be flexed to indicate the neutral position of rotation but may be extended after the shoulder position is established in order to use the extended extremity for a longer lever. Pressure needs to be applied against the dorsal surface of the distal end of the humerus if the elbow is flexed or against the forearm if the elbow is extended.



Muscle: Deltoides
Subdivision: Posterior

Sensor placement procedure

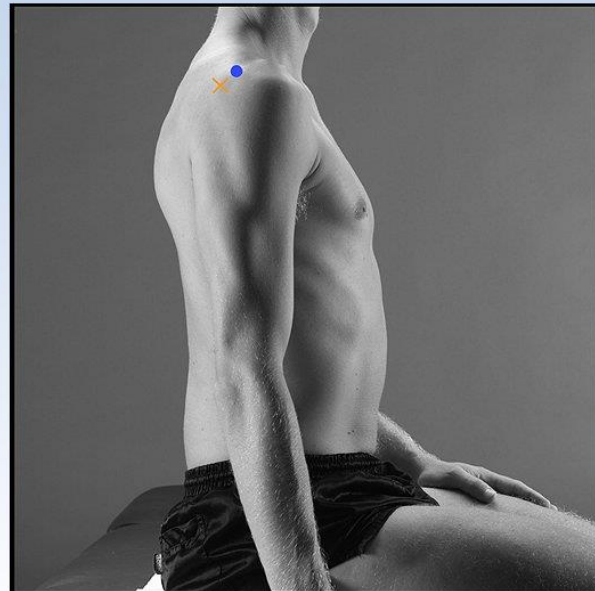
Starting posture: Erect sitting with the arms hanging vertically and the palm of the hand pointing inwards.

Electrode Placement

Location: Centre the electrodes in the area about two finger widths posterior of the acromion.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the little finger.

Clinical test: Abduct the shoulder in slight extension, with the humerus in slight medial rotation. The humerus is placed in slight medial rotation in order to have the posterior fibres in an anti-gravity position. The anatomical action entails slight lateral rotation while pressure is applied against the posterolateral surface of the arm, above the elbow in the direction of adduction and slight flexion.





Muscle: Trapezius
Subdivision: Descendens (upper)

Sensor placement procedure

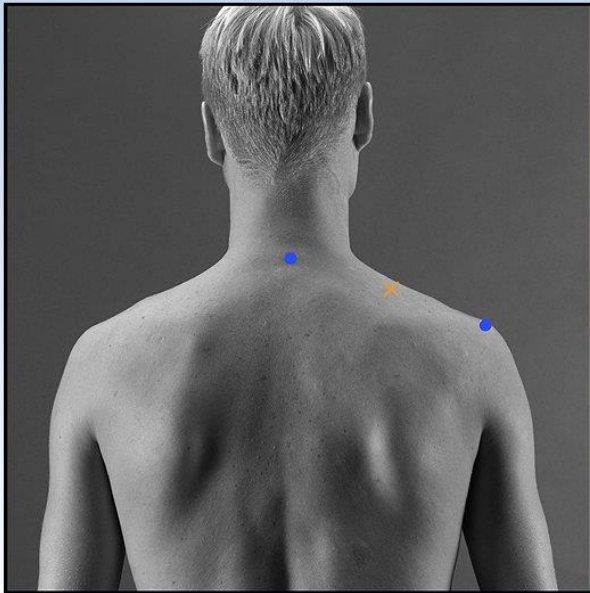
Starting posture: Erect sitting, with the arms hanging vertically.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 50% on the line from the acromion to the spine on vertebra C7.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the spine on vertebra C7.

Clinical test: Elevate the acromial end of the clavicle and scapula; extend and rotate the head and neck toward the elevated shoulder with the face rotated in the opposite direction. Apply pressure against the shoulder in the direction of depression and against the head in the direction of flexion anterolaterally.



Muscle: Trapezius
Subdivision: Transversalis (middle)

Sensor placement procedure

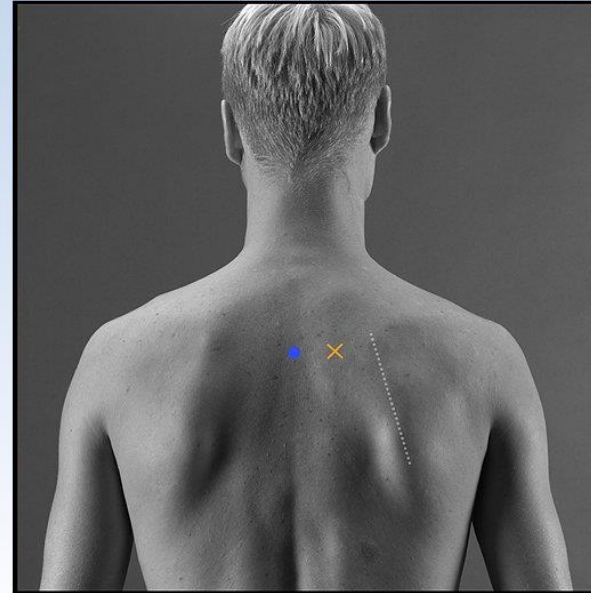
Starting posture: Erect sitting, with the arms hanging vertically.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 50% between the medial border of the scapula and the spine, at the level of T3.

Orientation: In the direction of the line between T5 and the acromion.

Clinical test: The elbow extensors and the posterior shoulder muscles must give necessary fixation in order to use the arm as a lever. Adduction of the scapula from a position of rotation in which the inferior angle is rotated laterally. To obtain this position of the scapula and to obtain leverage for the test, the elbow needs to be extended and the shoulder placed in 90 degrees abduction and lateral rotation. This rotation of the shoulder is denoted by the position of the hand with the palm facing cranially (without elevating the shoulder girdle).



Muscle: Trapezius
Subdivision: Ascendens (lower)

Sensor placement procedure

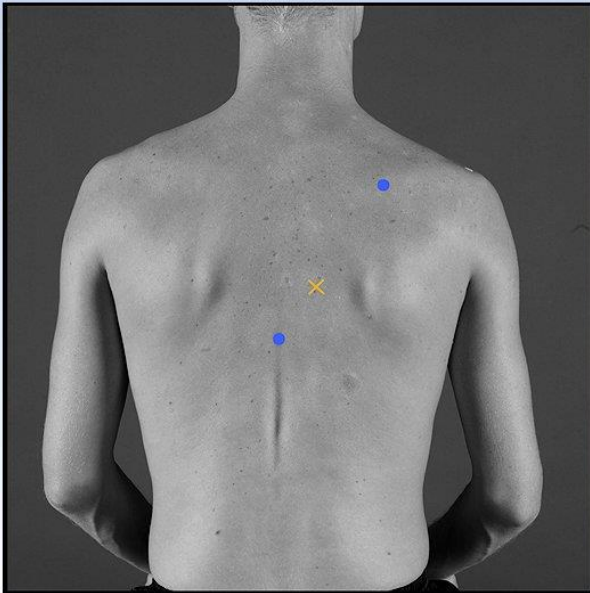
Starting posture: Erect sitting, with the arms hanging vertically.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 2/3 on the line from the trigonum spinea to the 8th thoracic vertebra.

Orientation: In the direction of the line between T8 and the acromion.

Clinical test: Take care that the elbow extensors and shoulder muscles give necessary fixation to use the arm as a lever in this test. Depression, lateral rotation of the inferior angle, and adduction of the scapula. To obtain this position of the scapula in order to place emphasis on the action of the ascending fibres and to obtain leverage for the test, the arm is placed diagonally overhead with the shoulder laterally rotated. Apply pressure against the forearm in downward direction.



Muscle: Multifidus

Sensor placement procedure

Starting posture: Prone with the lumbar vertebral columns slightly flexed.

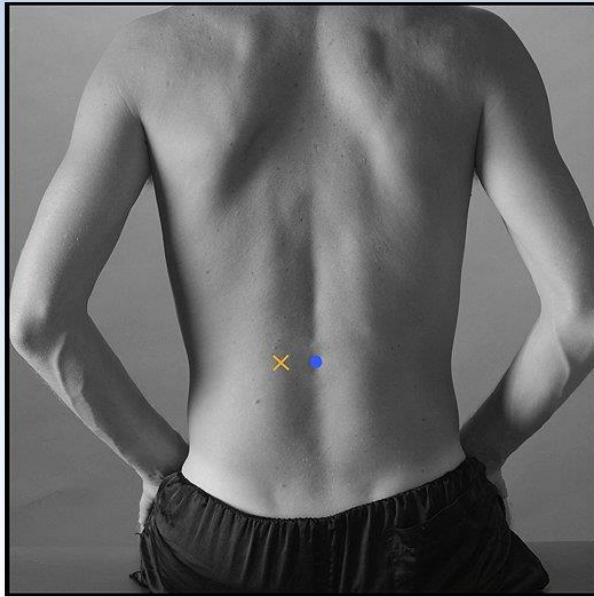
Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed on and aligned with a line from caudal tip posterior spina iliaca superior to the interspace between L1 and L2 interspace at the level of L5 spinous process (i.e. about 2 - 3 cm from the midline).

Orientation: In the direction of the line described above.

Clinical test: Lifting the trunk from a prone position.





Muscle: Erector spinae
Subdivision: longissimus

Sensor placement procedure

Starting posture: Prone with the lumbar vertebral columns slightly flexed.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 2 finger width lateral from the proc. spin. of L1.

Orientation: Vertical

Clinical test: Lifting the trunk from a prone position.



Muscle: Erector spinae
Subdivision: iliocostalis

Sensor placement procedure

Starting posture: Prone with the lumbar vertebral columns slightly flexed.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed 1 finger width medial from the line from the posterior spina iliaca superior to the lowest point of the lower rib, at the level of L2.

Orientation: In the direction of the line between the posterior spina iliaca superior and lowest point of the lower rib.

Clinical test: Lifting the trunk from a prone position.



Muscle: Triceps brachii
Subdivision: Lateral head

Sensor placement procedure

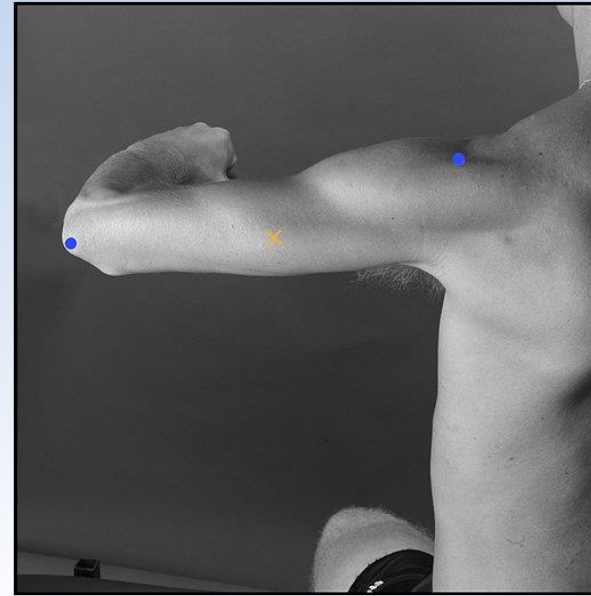
Starting posture: Sitting with the shoulder at approximately 90 degrees abduction with the arm 90 degrees flexed and the palm of the hand pointing downwards.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 50 % on the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon at 2 finger widths lateral to the line.

Orientation: In the direction of the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon process.

Clinical test: Extend the elbow while applying pressure to the forearm in the direction of flexion.



Muscle: Triceps brachii
Subdivision: Long head

Sensor placement procedure

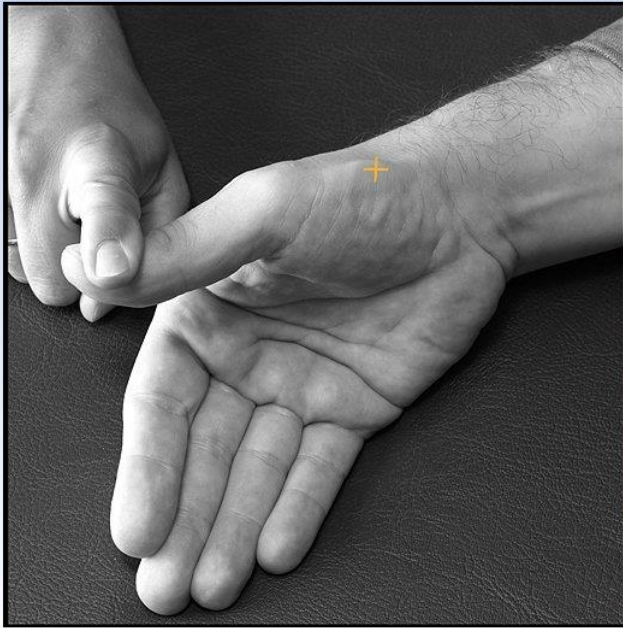
Starting posture: Sitting with the shoulder at approximately 90 degrees abduction with the arm 90 degrees flexed and the palm of the hand pointing downwards.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 50 % on the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon at 2 finger widths medial to the line.

Orientation: In the direction of the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon.

Clinical test: Extend the elbow while applying pressure to the forearm in the direction of flexion.



Muscle: Abductor pollicis brevis

Sensor placement procedure

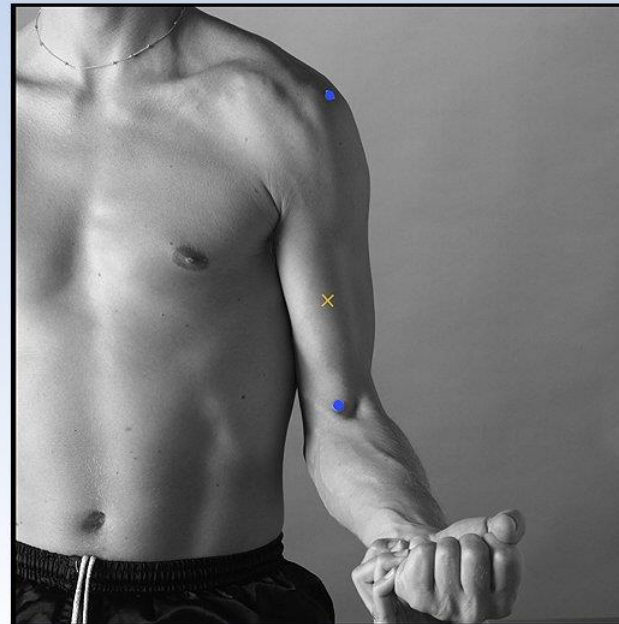
Starting posture: Sitting or supine with the back of the hand stabilised on a table.

Electrode Placement

Location: Slightly medial of the distal 1/4 of the 1st ossa metacarpalia.

Orientation: Parallel to the 1st ossa metacarpalia.

Clinical test: Abduct the thumb ventralward from the palm while applying pressure against the proximal phalanx in the direction of adduction toward the palm.



Muscle: Biceps brachii
Subdivision: Short head and long head

Sensor placement procedure

Starting posture: Sitting on a chair with the elbow flexed at a right angle and the dorsal side of the forearm in a horizontal downwards position.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed on the line between the medial acromion and the fossa cubiti at 1/3 from the fossa cubiti.

Orientation: In the direction of the line between the acromion and the fossa cubiti.

Clinical test: Place one hand under the elbow to cushion it from table pressure and flex the elbow slightly below or at a right angle, with the forearm in supination. Press against the forearm in the direction of extension.



Muscle: Gluteus
Subdivision: Maximus

Sensor placement procedure

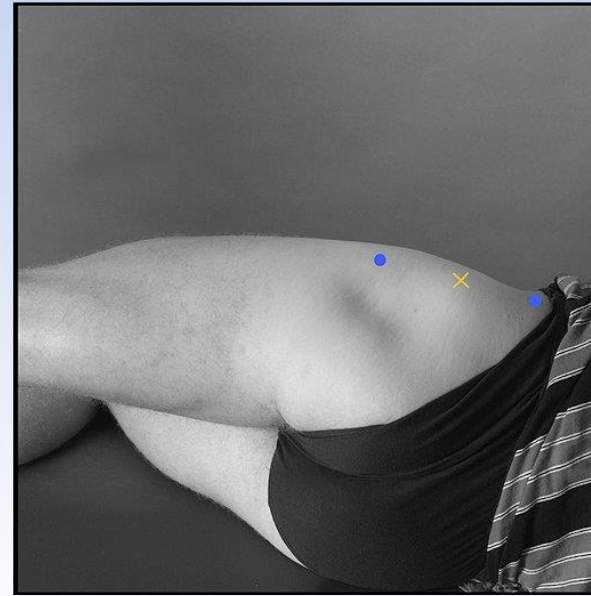
Starting posture: Prone position, lying down on a table.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 50% on the line between the sacral vertebrae and the greater trochanter. This position corresponds with the greatest prominence of the middle of the buttocks well above the visible bulge of the greater trochanter.

Orientation: In the direction of the line from the posterior superior iliac spine to the middle of the posterior aspect of the thigh

Clinical test: Lifting the complete leg against manual resistance.



Muscle: Gluteus
Subdivision: Medius

Sensor placement procedure

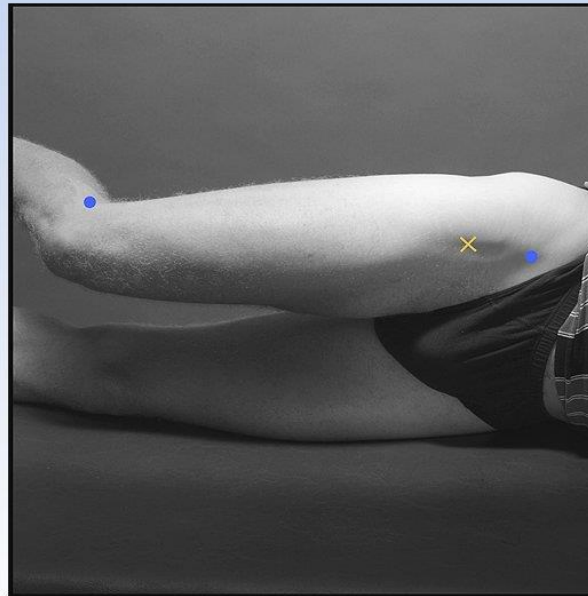
Starting posture: Lying on the side on a table.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 50% on the line from the crista iliaca to the trochanter.

Orientation: In the direction of the line from the crista iliaca to the trochanter.

Clinical test: Lying on the side with the legs spread against manual resistance (holding the ankles)



Muscle: Tensor fasciae latae

Sensor placement procedure

Starting posture: Lying on the side on a table.

Electrode Placement

Location: On the line from the anterior spina iliaca superior to the lateral femoral condyle in the proximal 1/6.

Orientation: In the direction of the line from the anterior spina iliaca superior to the lateral femoral condyle.

Clinical test: Lift and abduct the leg against manual resistance.



Muscle: Quadriceps femoris
Subdivision: Vastus lateralis

Sensor placement procedure

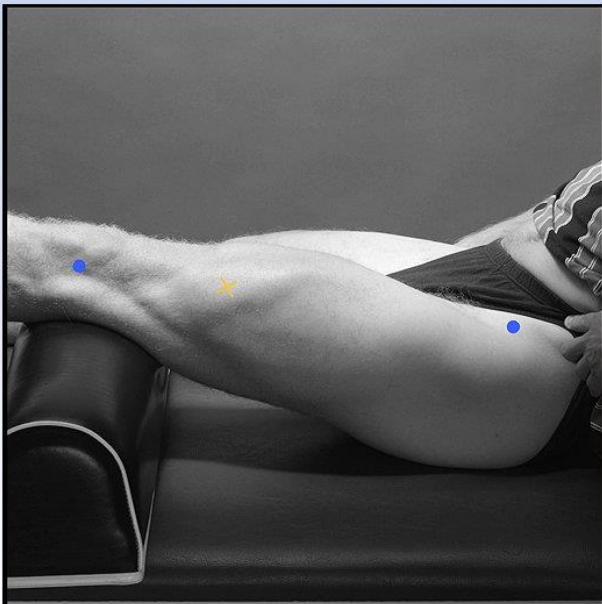
Starting posture: Sitting on a table with the knees in slight flexion and the upper body slightly bend backward.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 2/3 on the line from the anterior spina iliaca superior to the lateral side of the patella.

Orientation: In the direction of the muscle fibres

Clinical test: Extend the knee without rotating the thigh while applying pressure against the leg above the ankle in the direction of flexion.



Muscle: Quadriceps femoris
Subdivision: Vastus medialis

Sensor placement procedure

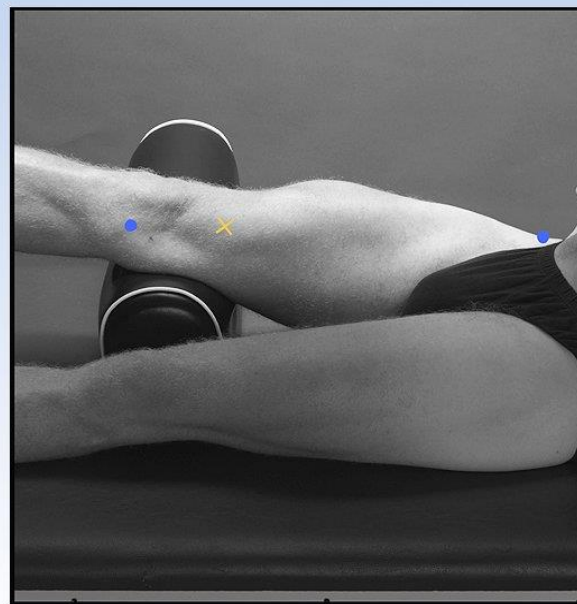
Starting posture: Sitting on a table with the knees in slight flexion and the upper body slightly bend backward.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 80% on the line between the anterior spina iliaca superior and the joint space in front of the anterior border of the medial ligament.

Orientation: Almost perpendicular to the line between the anterior spina iliaca superior and the joint space in front of the anterior border of the medial ligament.

Clinical test: Extend the knee without rotating the thigh while applying pressure against the leg above the ankle in the direction of flexion.



Muscle: Quadriceps femoris
Subdivision: Rectus femoris

Sensor placement procedure

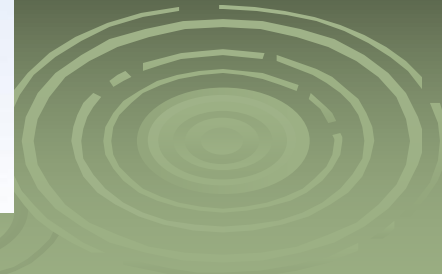
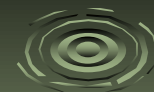
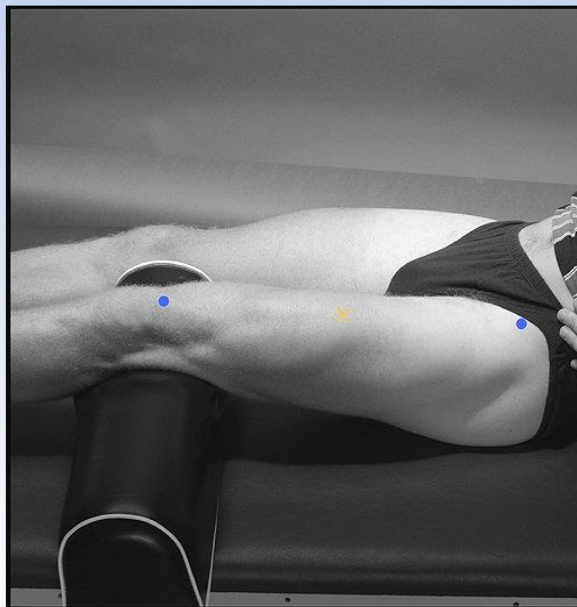
Starting posture: Sitting on a table with the knees in slight flexion and the upper body slightly bend backward.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 50% on the line from the anterior spina iliaca superior to the superior part of the patella

Orientation: In the direction of the line from the anterior spina iliaca superior to the superior part of the patella.

Clinical test: Extend the knee without rotating the thigh while applying pressure against the leg above the ankle in the direction of flexion.





Muscle: Semitendinosus

Sensor placement procedure

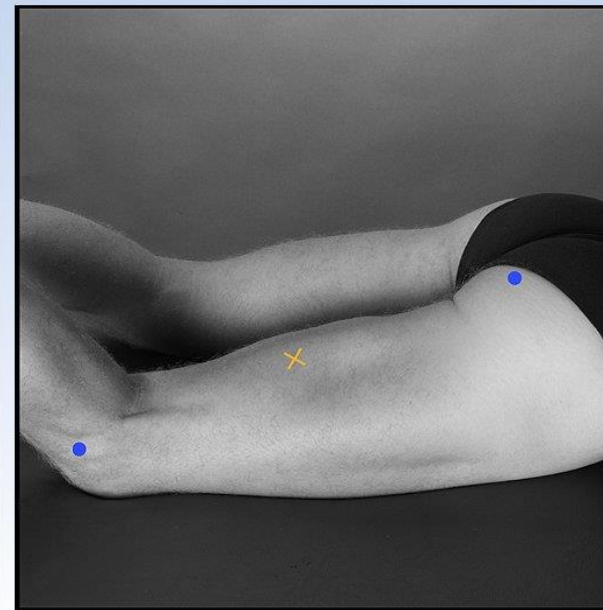
Starting posture: Lying on the belly with the face down and the thigh held down on the table, in medial rotation, and the leg medially rotated with respect to the thigh. The knee needs to be flexed to less than 90 degrees.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 50% on the line between the ischial tuberosity and the medial epicondyle of the tibia.

Orientation: In the direction of the line between the ischial tuberosity and the medial epicondyle of the tibia.

Clinical test: Press against the leg proximal to the ankle in the direction of knee extension.



Muscle: Biceps femoris
Subdivision: Long head and short head

Sensor placement procedure

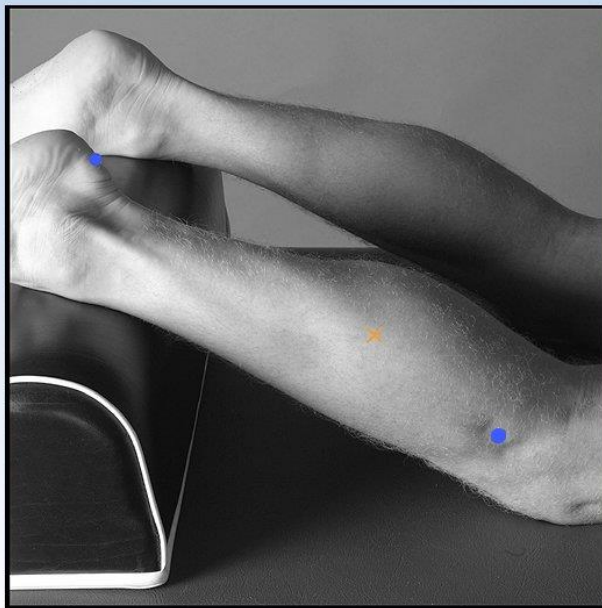
Starting posture: Lying on the belly with the face down with the thigh down on the table and the knees flexed (to less than 90 degrees) with the thigh in slight lateral rotation and the leg in slight lateral rotation with respect to the thigh.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 50% on the line between the ischial tuberosity and the lateral epicondyle of the tibia.

Orientation: In the direction of the line between the ischial tuberosity and the lateral epicondyle of the tibia.

Clinical test: Press against the leg proximal to the ankle in the direction of knee extension.



Muscle: Gastrocnemius
Subdivision: Lateralis

Sensor placement procedure

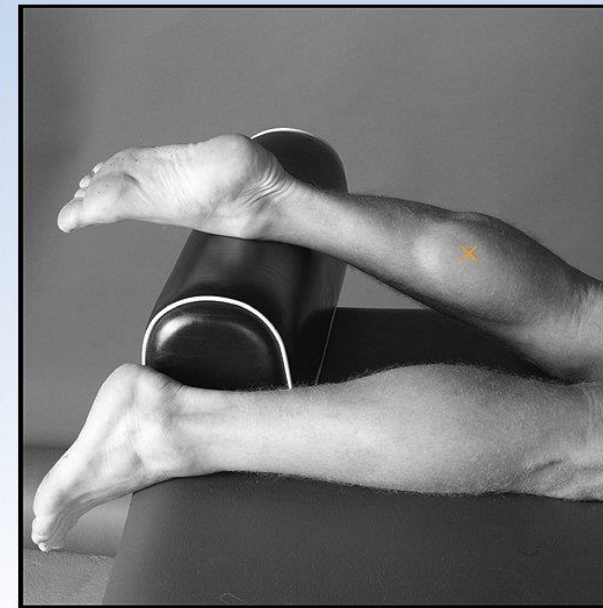
Starting posture: Lying on the belly with the face down, the knee extended and the foot projecting over the end of the table.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 1/3 of the line between the head of the fibula and the heel.

Orientation: In the direction of the line between the head of the fibula and the heel.

Clinical test: Plantar flexion of the foot with emphasis on pulling the heel upward more than pushing the forefoot downward. For maximum pressure in this position it is necessary to apply pressure against the forefoot as well as against the calcaneus.



Muscle: Gastrocnemius
Subdivision: Medialis

Sensor placement procedure

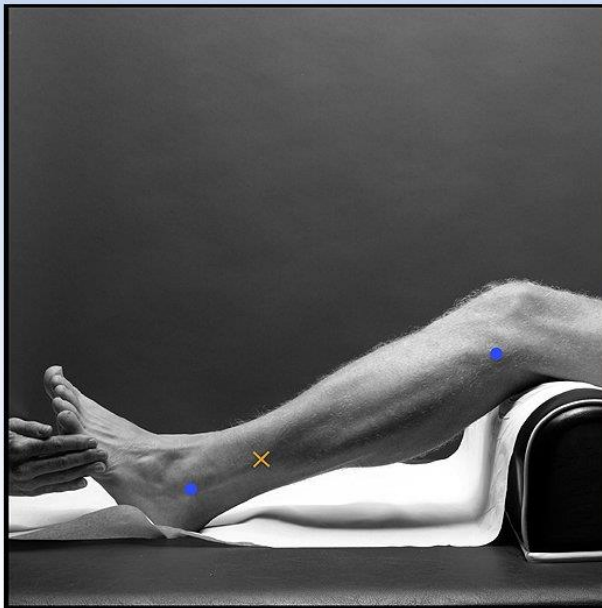
Starting posture: Lying on the belly with the face down, the knee extended and the foot projecting over the end of the table.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed on the most prominent bulge of the muscle.

Orientation: In the direction of the leg (see picture).

Clinical test: Plantar flexion of the foot with emphasis on pulling the heel upward more than pushing the forefoot downward. For maximum pressure in this position it is necessary to apply pressure against the forefoot as well as against the calcaneus.



Muscle: Peroneus brevis

Sensor placement procedure

Starting posture: Sitting with extremity medially rotated.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed anterior to the tendon of the m. peroneus longus at 25% of the line from the tip of the lateral malleolus to the fibula-head.

Orientation: In the direction of the line from the tip of the lateral malleolus to the fibula-head.

Clinical test: Support the leg above the ankle joint. Everse the foot with plantar flexion of the ankle joint while applying pressure against the lateral border and sole of the foot, in the direction of inversion of the foot and dorsiflexion of the ankle joint.



Muscle: Peroneus longus

Sensor placement procedure

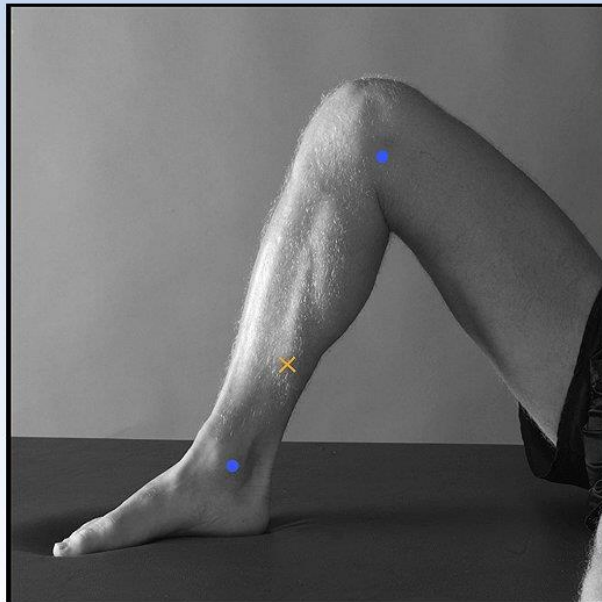
Starting posture: Sitting with extremity medially rotated.

Electrode Placement

Location: Electrodes need to be placed at 25% on the line between the tip of the head of the fibula to the tip of the lateral malleolus.

Orientation: In the direction of the line between the tip of the head of the fibula to the tip of the lateral malleolus.

Clinical test: Support the leg above the ankle joint. Everse the foot with plantar flexion of the ankle joint while applying pressure against the lateral border and sole of the foot, in the direction of inversion of the foot and dorsiflexion of the ankle joint.



Muscle: Soleus

Sensor placement procedure

Starting posture: Sitting with the knee approximately 90 degrees flexed and the heel / foot of the investigated leg on the floor.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 2/3 of the line between the medial condylis of the femur to the medial malleolus.

Orientation: In the direction of the line between the medial condylis to the medial malleolus.

Clinical test: Put a hand on the knee and keep / push the knee downward while asking the subject / patient to lift the heel from the floor.



Muscle: Tibialis anterior

Sensor placement procedure

Starting posture: Supine or sitting.

Electrode Placement

Location: The electrodes need to be placed at 1/3 on the line between the tip of the fibula and the tip of the medial malleolus.

Orientation: In the direction of the line between the tip of the fibula and the tip of the medial malleolus.

Clinical test: Support the leg just above the ankle joint with the ankle joint in dorsiflexion and the foot in inversion without extension of the great toe. Apply pressure against the medial side, dorsal surface of the foot in the direction of plantar flexion of the ankle joint and eversion of the foot.

