



Ηλεκτρομυογραφία

Δρ Σάββας Σπανός
Επίκουρος Καθηγητής

Ορισμός ΗΜΓ

- Κάθε φορά που ένα δυναμικό δράσης διατρέχει μια μυϊκή ίνα, ένα μικρό μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος μεταδίδεται από το μυ μέχρι το δέρμα. Αν συστέλλονται ταυτόχρονα πολλές μυϊκές ίνες, τα ηλεκτρικά δυναμικά αθροίζονται στο δέρμα δίνοντας υψηλές τιμές.
- Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του δέρματος, πάνω από τον αντίστοιχο μυ ή εισάγοντας βελονοειδή ηλεκτρόδια μέσα στο μυ, είναι δυνατή η καταγραφή της ηλεκτρικής διέγερσής του, που καλείται ηλεκτρομυογράφημα (EMG - ΗΜΓ).

Ορισμός ΗΜΓ

- Το ηλεκτρομυογράφημα είναι μια τεχνική καταγραφής των αλλαγών του ηλεκτρικού δυναμικού του μυός, όταν διεγείρεται για συστολή. Είναι δηλαδή, το αλγεβρικό άθροισμα όλων των δυναμικών ενέργειας των κινητικών μονάδων ενός μυ, τα οποία μεταδίδονται κατά μήκος των μυϊκών ινών που βρίσκονται μεταξύ των ηλεκτροδίων καταγραφής.
- Δεν αποτελεί από μόνο του θεραπευτική διαδικασία.
- Δε μετράει την ίδια τη μυϊκή σύσπαση (ή τη δύναμη), αλλά την ηλεκτρική δραστηριότητα που σχετίζεται με τη μυϊκή σύσπαση (ή την ηρεμία).
- Χρησιμοποιείται στην διαγνωστική (κυρίως) αλλά και στην θεραπευτική πρακτική.

Έλεγχος ακεραιότητας του κινητικού συστήματος

Θέσεις που μπορεί να επηρεάσουν ή να προκαλέσουν δυσλειτουργία στην ηλεκτρική δραστηριότητα του μυός:

- Ανώτερος κινητικός νευρώνας (από τον φλοιό έως τον N.M.)
- Κατώτερος κινητικός νευρώνας (από τα πρόσθια κέρατα του N.M. έως την σύναψη)
- Νευρομυϊκή σύνδεση (σύναψη)
- Μυς

Εξοπλισμός ΗΜΓ

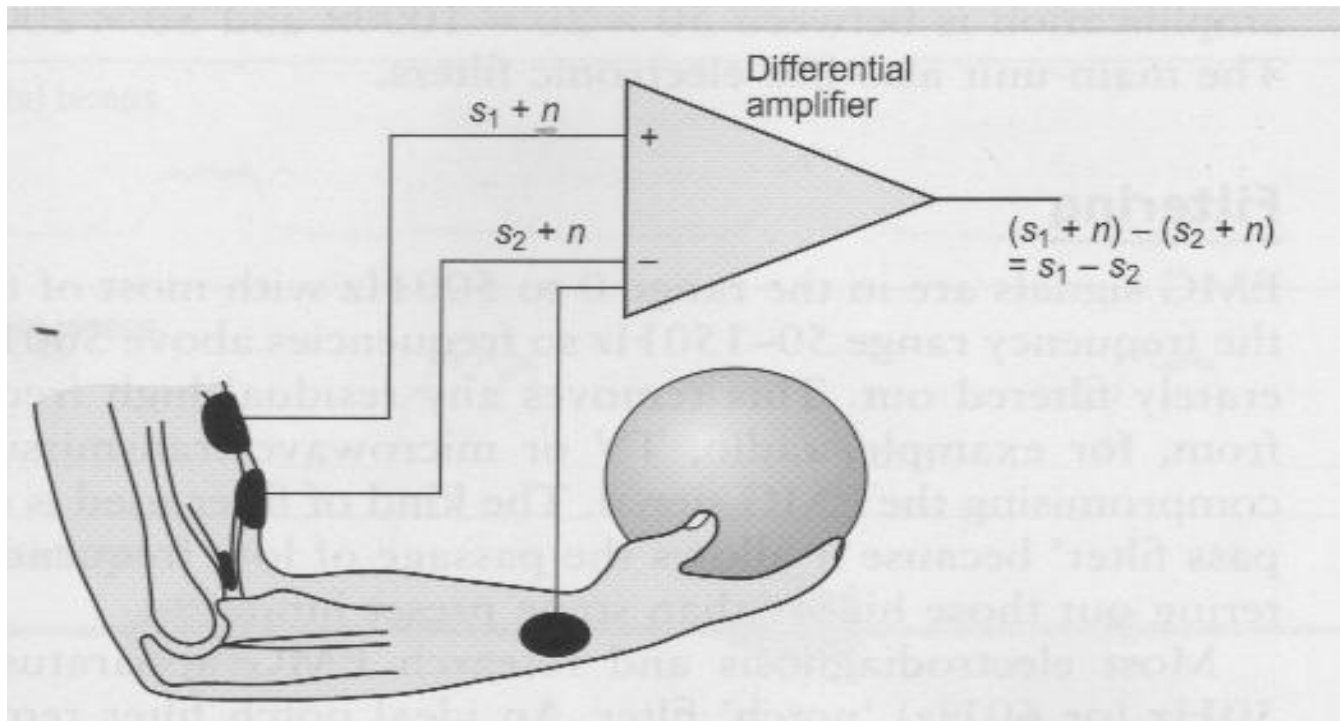
- Λήψη, ενίσχυση & καταγραφή ΗΜΓ σήματος.
- Επεξεργασία, ανάλυση & αναπαράσταση ΗΜΓ σήματος.
- **Διαφορές ποιότητας** μεταξύ ΗΜΓ για biofeedback και για διαγνωστικούς/ερευνητικούς σκοπούς (π.χ. μυϊκός συγχρονισμός & μέγεθος μυϊκής σύσπασης, σε έρευνες κινησιολογίας).
- Ο εξοπλισμός ΗΜΓ που χρησιμοποιείται για biofeedback είναι συνήθως φθηνότερος, λιγότερο ευαίσθητος & με περιορισμένες επιλογές.
- Οι μετρήσεις που προέρχονται από διαφορετικές συσκευές ΗΜΓ δεν μπορούν πάντα να συγκριθούν μεταξύ τους αξιόπιστα.

Ηλεκτρικός θόρυβος

- Το ΗΜΓ σήμα είναι της τάξης του **1mV**. Ο εντοπισμός του δυσχεραίνεται από την **ύπαρξη θορύβου**, δηλαδή ανεπιθύμητης (όχι μουϊκής) ηλεκτρικής δραστηριότητας.
- **Πηγές θορύβου** αποτελούν οι πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως ραδιοτηλεοπτικοί πομποί, λάμπες φθορισμού & πυρακτώσεως, & κυρίως γραμμές παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, μεγαλύτερες ως και 1000 φορές από το ΗΜΓ σήμα.
- **Πηγή θορύβου** μπορεί να αποτελέσει το μήκος των καλωδίων μεταξύ ηλεκτροδίων και ενισχυτή (τα καλώδια δρουν ως κεραίες και λαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρικό θόρυβο).

Ηλεκτρικός θόρυβος

- Ο θόρυβος **μπορεί να ελαχιστοποιηθεί** με χρήση 3 ηλεκτροδίων, 2 ενεργών και 1 ηλεκτροδίου αδιάφορου/γείωσης συνδεδεμένου σε διαφορετικό σημείο του σώματος από αυτό που γίνεται η μέτρηση. Όλα συνδέονται με έναν διαφορικό (προ)**ενισχυτή** που αφαιρεί τον θόρυβο και ενισχύει το σήμα πριν φτάσει στη συσκευή ΗΜΓ (~50 φορές π.χ. σήμα 1mV ενισχύεται σε σήμα 50mV).

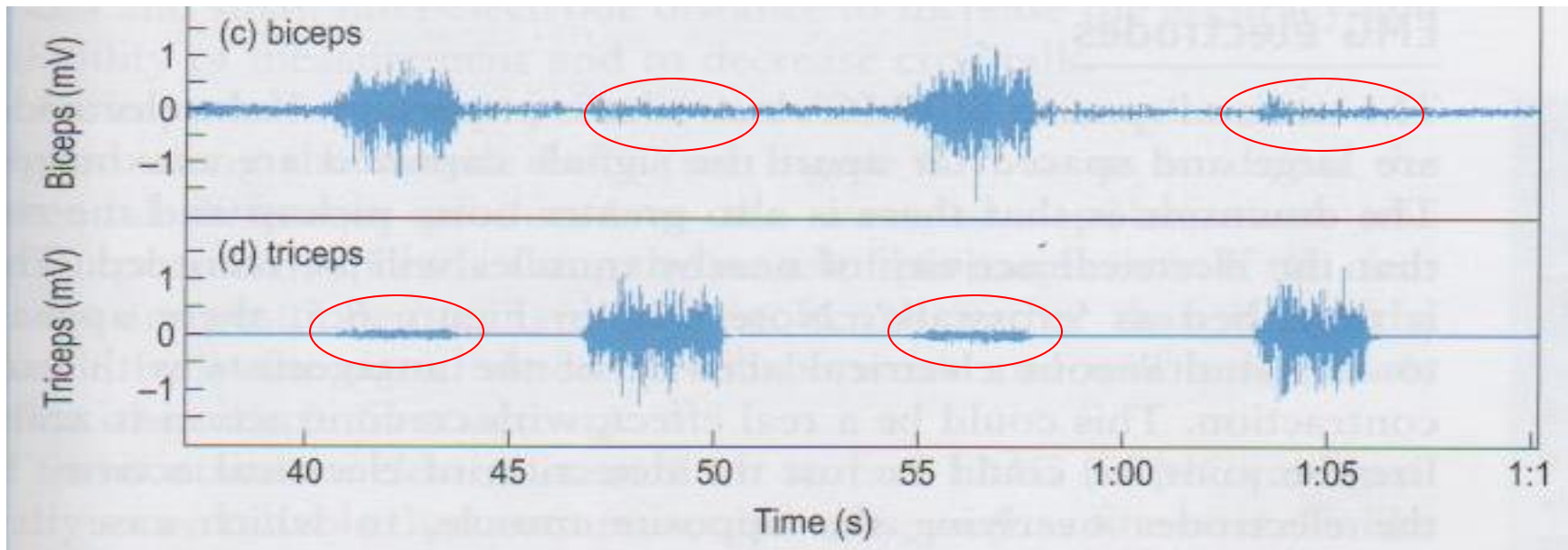


Φιλτράρισμα σήματος

- Η συχνότητα των ΗΜΓ σημάτων κυμαίνεται από 0Hz-500Hz, αλλά το μεγαλύτερο μέρος τους βρίσκεται στο εύρος των 50Hz-150Hz.
- Χρησιμοποιούνται **φίλτρα (χαμηλοπερατό φίλτρο-επιτρέπει συχνότητες κάτω από το προκαθορισμένο όριο)** που αποκόπτουν συχνότητες >500Hz (ραδιόφωνο, τηλεόραση κλπ.), **χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η ΗΜΓ μέτρηση** (Robertson et al 2006).
- Άλλη πηγή θορύβου αποτελεί η κίνηση των καλωδίων & η κίνηση στο επίπεδο ηλεκτροδίου-δέρματος (motion artifacts) που εισάγει παρεμβολές στο φάσμα συχνοτήτων 0Hz-20Hz (Robertson et al 2006).
- Ο θόρυβος αυτός μπορεί να περιοριστεί με καλή σταθεροποίηση των ηλεκτροδίων αλλά όχι να εξαλειφθεί, γι' αυτό χρησιμοποιούνται **φίλτρα (υψηλοπερατό φίλτρο-επιτρέπει συχνότητες πάνω από το προκαθορισμένο όριο)** που αποκόπτουν συχνότητες <20Hz.

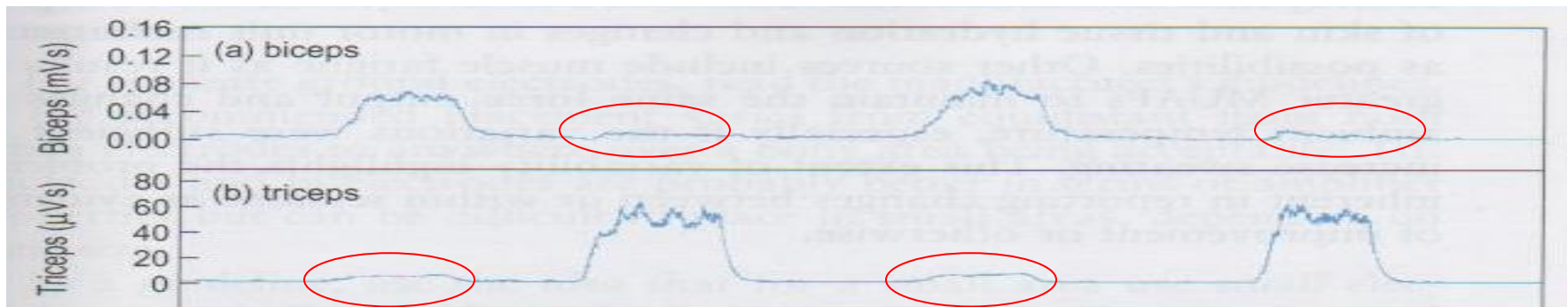
Ερμηνεία ΗΜΓ σήματος

- Το **αρχικό ΗΜΓ (raw EMG)** σήμα αποτελείται από αλληλοεπικαλυπτόμενες κορυφές. Κάθε μία αντιπροσωπεύει το **δυναμικό ενέργειας μιας κινητικής μονάδας (Motor Unit Action Potential - MUAP)**.
- Παρουσιάζει **ασυμμετρία** επειδή οι κινητικές μονάδες ενεργοποιούνται ασύγχρονα & σε διαφορετικές συχνότητες.
- Παρέχει ποιοτική (γενική, **όχι λεπτομερή**) ένδειξη για τη μυϊκή ενεργοποίηση.



Επεξεργασία ΗΜΓ σήματος

- Το ολοκληρωμένο ΗΜΓ (integrated EMG) προσφέρει ποσοστοποίηση (λεπτομερή) & πιο χρήσιμη αξιολόγηση της μυϊκής δράσης.
- Προκύπτει μέσω **ανόρθωσης (rectification)** του αρχικού ΗΜΓ που γίνεται με τη μετατροπή των αρνητικών τιμών σε θετικές & τον υπολογισμό του μέσου όρου τους.
- Δείχνει την πορεία στο χρόνο της μυϊκής ενεργοποίησης, τη μέγιστη παραγόμενη δύναμη & το παραγόμενο έργο (περιοχή ανάμεσα στο γράφημα και τον άξονα χ).
- Το ανορθωμένο ΗΜΓ σήμα μπορεί να αποδοθεί με τη μορφή μιας μπάρας ή ήχου για να παράσχει αντίστοιχη ποιοτική ένδειξη.
- Για σκοπούς **βιοανατροφοδότησης**, η **αναπαράσταση της διακύμανσης** είναι **σημαντικότερη** από την ακριβή ποσοτικοποίηση του αρχικού ΗΜΓ σήματος.



Παράγοντες σφάλματος

- **Θόρυβος.**
- **Μυϊκή κόπωση** (περισσότερες κινητικές μονάδες απαιτούνται για την παραγωγή ή διατήρηση της ίδιας δύναμης).
- **Θερμοκρασία** περιβάλλοντος (ειδικά αν προκαλεί εφίδρωση).
- Η ίδια η **μυϊκή σύσπαση**. Σε ισομετρική σύσπαση το σήμα μπορεί να παρουσιάζει διακύμανση 20% σε υγιείς εθελοντές χωρίς προφανή αλλαγή (Araujo et al 2000). Στους θωρακικούς μύες καταγράφεται & ηλεκτρικό σήμα της καρδιάς.

Απαιτείται:

- **Τυποποίηση** (standardization) της εφαρμογής ΗΜΓ biofeedback.
- **Ελαχιστοποίηση**
- **Προσοχή** στη σύγκριση διαδοχικών θεραπειών με biofeedback για αξιολόγηση της βελτίωσης του ασθενή.

Ηλεκτρόδια (άλατα Ag ή Au ευαίσθητα στις αλλαγές των μυϊκών δυναμικών ενέργειας)

- **Ενεργητικά ή Παθητικά** (με & χωρίς προενίσχυση κοντά στο σημείο εφαρμογής αντίστοιχα).
- **Επιφανειακά** (surface) ή **Βάθους** (intramuscular, needle). Στο biofeedback χρησιμοποιούνται κατά κανόνα επιφανειακά ηλεκτρόδια, είναι λιγότερο ευαίσθητα, περισσότερο σταθερά & ασφαλή (Soderberg & Knutson 2000).
- **Μέγεθος** (0,3-1cm²).
Όσο μεγαλύτερη επιφάνεια καλύπτει κάθε ηλεκτρόδιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του δυναμικού δράσης, το πλάτος (amplitude) του ΗΜΓ & ο μυϊκός όγκος που παρακολουθείται. Μικρότερο μέγεθος επιτρέπει καταγραφή του ΗΜΓ σε μικρούς μύες.

Εφαρμογή ηλεκτροδίων

- Συνήθης διάταξη: 2 ενεργά ηλεκτρόδια & 1 ηλεκτρόδιο αναφοράς.

- Παράλληλα με τη διεύθυνση των μυϊκών ινών.

- Απόσταση (1-4cm).

Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων καθορίζει το μυϊκό όγκο που παρακολουθείται.

- Μεγάλα ηλεκτρόδια σε μεγάλη απόσταση επιτρέπουν καταγραφή μεγαλύτερου σήματος, **αλλά και** καταγραφή μεγαλύτερου θορύβου & δραστηριότητας γειτονικών μυών (crosstalk).

- Η **θέση του ηλεκτροδίου αναφοράς** δεν είναι σημαντική σύμφωνα με τους κατασκευαστές, αν και υποστηρίζεται η καταγραφή ισχυρότερων ΗΜΓ με την τοποθέτηση του σε ίση απόσταση από τα ενεργά ηλεκτρόδια.

Εφαρμογή ηλεκτροδίων

- **Γενική οδηγία:** για μικρή περιοχή (μύες) τοποθέτηση μικρών ηλεκτροδίων σε μικρή απόσταση για αύξηση αξιοπιστίας & ακρίβειας της μέτρησης & μείωση της παρεμβολής από γειτονικούς μύες (Robertson et al 2006).
- Το **βάθος της καταγραφής** (effective depth) δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς, αλλά για ηλεκτρόδια $0,5\text{cm}^2$ σε απόσταση 2cm , είναι κατά προσέγγιση 2cm (Morrish 1999).
- **Προετοιμασία:** Πάντα γίνεται καθαρισμός δέρματος με αλκοολούχο διάλυμα. Η απόξεση με τραχύ υλικό (σφυριδόπανο) & το ξύρισμα είναι περιττά αν διατίθενται ενισχυτές υψηλής απόδοσης ή/και ενεργητικά ηλεκτρόδια.