

Νευροφυσιολογικές και άλλες νευροδιαγνωστικές δοκιμασίες

Susan Shin¹, Sarah Zubkov², Deborah R. Horowitz¹, and David M. Simpson¹

¹ Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, NY, USA

² Temple University Hospital, Philadelphia, PA, USA

Μελέτη αγωγιμότητας νεύρων (Ηλεκτρονευρογράφημα, ΗΝΓ) και Ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ)

Ο ρόλος του ηλεκτρομυογραφήματος στην κλινική πράξη

Οι ΗΜΓραφικές μελέτες αποτελούν μια επέκταση της νευρολογικής εξέτασης. Ο κλινικός ιατρός πρέπει να σκεφθεί την παραπομπή των ασθενών για τους οποίους υποπτεύεται κάποια διαταραχή του περιφερικού νευρικού συστήματος (ΠΝΣ). Στις διαταραχές αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται διαταραχές που επηρεάζουν τα πρόσθια κέρατα του νωτιαίου μυελού, τις νωτιαίες ρίζες, το γάγγλιο της οπίσθιας ρίζας, το πλέγμα, το περιφερικό νεύρο, τη νευρομυϊκή σύναψη, τη μεμβράνη (σαρκείλημα) του μυός και τον μυ. Ο νευροφυσιολογικός έλεγχος μπορεί να κατευθύνει τη διαχείριση και την περαιτέρω διερεύνηση, ενώ συχνά μπορεί να οδηγήσει σε συγκεκριμένη διάγνωση. Επιπρόσθετα, το ΗΝΓ/ΗΜΓ προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη βαρύτητα της βλάβης του μυός ή του νεύρου και τη χρονική διάρκεια της πάθησης συμβάλλοντας καθοριστικά στην πρόγνωση.

Παραπομπή ασθενών

- Οι ασθενείς που παραπέμπονται για ΗΜΓ μελέτη πρέπει να προσέρχονται προετοιμασμένοι με τη διάγνωση της παραπομπής, το σχετικό ιστορικό και τα κλινικά ευρήματα.
- Πριν από την επίσκεψη στους ασθενείς πρέπει να δοθεί μια σύντομη περιγραφή για το τι περιλαμβάνει η εξέταση, αλλά και μια προειδοποίηση ότι μπορεί να προκαλέσει λίγη δυσφορία. Οι περισσότεροι ασθενείς δεν βρίσκουν τη δοκιμασία ιδιαίτερα επώδυνη.
- Για ασθενείς στους οποίους υπάρχει υποψία διαταραχής της νευρομυϊκής σύναψης η πρωινή δόση της πυριδοστιγμίνης δεν πρέπει να χορηγηθεί, εφόσον αυτό είναι ασφαλές.
- Η χορήγηση των αντιπηκτικών και αντιαιμοπεταλιακών φαρμάκων συνήθως δεν χρειάζεται να ανασταλεί για το ΗΜΓ με βελόνη.

Ασφάλεια ασθενή

Παρότι το ΗΝΓ σπάνια σχετίζεται με σοβαρές ανεπιθύμητες ενέργειες, ειδικοί πληθυσμοί ασθενών μπορεί να διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο.

- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε ασθενείς που φέρουν καρδιακές συσκευές όπως βη-

ματοδοτές. Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος ηλεκτρικού τραύματος αυξάνει σε ασθενείς με κεντρικούς καθετήρες και καλώδια που βρίσκονται σε στενή επαφή με την καρδιά. Πρέπει να αποφεύγονται τα κεντρομελικά σημεία ερεθισμού, όπως η μασχάλη ή το σημείο του Erb. Σε ασθενείς που έχουν εξωτερικά καλώδια βηματοδότη δεν θα πρέπει να διενεργείται η εξέταση.

- Το ΗΜΓ είναι το επεμβατικό τμήμα της εξέτασης το οποίο απαιτεί την είσοδο ενός βελονοειδούς ηλεκτροδίου μέσα στον μυ.

Οι κίνδυνοι από το ΗΜΓ περιλαμβάνουν την αιμορραγία, τη μόλυνση και σπάνια πνευμοθώρακα. Ένα περιορισμένο ΗΜΓ μπορεί να διενεργηθεί με ασφάλεια σε ασθενείς που λαμβάνουν αντιπηκτικά, ωστόσο θα πρέπει να αποφεύγονται εν τω βάθει μύες στους οποίους δεν μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά εξωτερική πίεση.

Ανατομία

Το περιφερικό νευρικό σύστημα αποτελείται από κινητικούς και αισθητικούς νευρώνες και τα περιφερικά τους νεύρα, τη νευρομυϊκή σύναψη και τον μυ. Τα κρανιακά νεύρα III έως XII αποτελούν επίσης μέρος του ΠΝΣ.

- Οι κύριοι κινητικοί νευρώνες βρίσκονται στην πρόσθια μοίρα της φαιάς ουσίας του νωτιαίου μυελού ή στο πρόσθιο κέρα.
- Οι κινητικοί νευρώνες των κρανιακών νευρών βρίσκονται εντός του εγκεφαλικού στελέχους.
- Οι αισθητικοί νευρώνες βρίσκονται εκτός του νωτιαίου μυελού, στο γάγγλιο της οπίσθιας ρίζας.
 - Τα κύτταρα εντός του γαγγλίου της οπίσθιας ρίζας είναι δίπολα
 - Εγγύς τμήμα = αισθητική νευρική ρίζα
 - Περιφερικό τμήμα = αισθητικές ίνες του περιφερικού νεύρου.
 - Η δίπολη φύση του αισθητικού νευρώνα είναι σημαντική για τη νευροανατομική εντοπιστική
 - Σε βλάβες που εντοπίζονται κεντρικά του αισθητικού γαγγλίου παράγονται φυσιολογικά αισθητικά δυναμικά, π.χ. ριζοπάθεια
 - Σε βλάβες του ίδιου του αισθητικού γαγγλίου ή περιφερικότερα επηρεάζονται τα αισθητικά νευρικά δυναμικά, π.χ. γαγγλιονοπάθεια, πλεγματοπάθεια ή περιφερική νευροπάθεια.
- Τα μικτά νωτιαία νεύρα σχηματίζονται από κινητικές και αισθητικές ρίζες που αναδύονται από κάθε τμήμα του νωτιαίου μυελού.
 - Τα νωτιαία νεύρα χωρίζονται σε οπίσθιο και πρόσθιο κλάδο
 - Οι Α5-Θ1 πρόσθιοι κλάδοι συνενώνονται, για να σχηματίσουν το βραχιόνιο πλέγμα, το οποίο νευρώνει τα άνω άκρα
 - Οι Ο1-Ι2 πρόσθιοι κλάδοι συνενώνονται, για να σχηματίσουν το οσφυοϊερό πλέγμα, τα οποία νευρώνει τα κάτω άκρα.
- Τα περιφερικά νεύρα των άκρων είναι οι τελικοί κλάδοι του βραχιονίου και του οσφυοϊερού πλέγματος.
 - Ταξινομούνται περαιτέρω με βάση τη διάμετρό τους, τον βαθμό της μυελίνωσής τους και τη λειτουργία τους
 - Λειτουργική ταξινόμηση: κινητικά, αισθητικά, σωματικά, νεύρα ΑΝΣ

- Το ΗΝΓ ελέγχει μόνο τις παχιές εμμύελες νευρικές ίνες, με τη μεγαλύτερη ταχύτητα αγωγής
- Η νευροπάθεια των μικρών ινών δεν μπορεί να διαγνωστεί με ΗΝΓ/ΗΜΓ
- Σε ασθενείς με δυσαισθησία και φυσιολογικό ΗΝΓ θα πρέπει να σκεφθούμε τη βιοψία δέρματος και την εξέταση νευρικών ινών της επιδερμίδας.
- Μυοτόμια: μύες που νευρώνονται από μία νευρική ρίζα ή τμήμα του νωτιαίου μυελού.
- Δερμοτόμια: δερματικές περιοχές που νευρώνονται από ένα νωτιαίο τμήμα.
- Νευρομυϊκή σύναψη: διεπαφή μεταξύ των τελικών κλωνίων (νευρείλημα) του νευράξονα και των μυϊκών ινών (σαρκείλημα), γνωστό και ως τελική κινητική πλάκα.
- Τα τελικά κλωνία σχηματίζουν βολβοειδείς δομές που αποκαλούνται τελικά συναπτικά κυστίδια, οι οποίες περιέχουν κυστίδια με τον νευροδιαβιβαστή ακετυλοχολίνη (ACh).

Φυσιολογία

Τα περιφερικά νεύρα μεταδίδουν πληροφορίες από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό στα τελικά όργανα (μύες, δέρμα και σπλάγχνα). Η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται μέσω ενός σύνθετου συνόλου ηλεκτρικών και χημικών συμβάντων εντός του νεύρου και της νευρομυϊκής σύναψης. Η εκπόλωση των νευρών οδηγεί στην παραγωγή των δυναμικών ενεργείας. Η εκπόλωση στα τελικά κλωνία του άξονα προκαλεί τη διάνοιξη των διαύλων ασβεστίου, η οποία επιτρέπει την εισροή ιόντων ασβεστίου και αυτό οδηγεί στην απελευθέρωση ακετυλοχολίνης (ACh) στη νευρομυϊκή σύναψη. Η σύνδεση της ACh στον υποδοχέα ACh οδηγεί στην εκπόλωση της τελικής πλάκας της νευρομυϊκής σύναψης, η οποία καταλήγει σε ένα δυναμικό ενεργείας της μυϊκής ίνας.

Μελέτες αγωγιμότητας νεύρων (ηλεκτρονευρογράφημα, ΗΝΓ)

Οι μελέτες αγωγιμότητας νεύρων περιλαμβάνουν την ηλεκτρική διέγερση ενός προσβάσιμου κινητικού, αισθητικού ή μικτού νεύρου σε ορισμένο σημείο κατά μήκος της πορείας του. Εφαρμόζεται στο δέρμα ένα ηλεκτρικό ρεύμα μικρής διάρκειας, το οποίο προκαλεί την εκπόλωση των αξόνων που βρίσκονται κάτω από το σημείο διέγερσης. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί δυναμικά ενεργείας τα οποία μεταδίδονται τόσο κεντρικά, όσο και περιφερικά του σημείου διέγερσης. Τα προκλητά αυτά κινητικά και αισθητικά δυναμικά ενεργείας καταγράφονται ως μία κυματομορφή.

Ορισμοί-“κλειδιά”:

- ΣΜΔΕ: σύνθετο μυϊκό δυναμικό ενεργείας
- ΑΔΕ: αισθητικό δυναμικό ενεργείας
- ΗΝΓ: ηλεκτρονευρογράφημα/μελέτη αγωγιμότητας νεύρων
- ΤΑ: ταχύτητα αγωγής
- Ορθόδρομο: περιγράφει δυναμικά που μεταδίδονται προς την κατεύθυνση της φυσιολογικής αγωγής των νεύρων
- Αντίδρομο: περιγράφει δυναμικά που μεταδίδονται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της φυσιολογικής αγωγής των νεύρων.

Μελέτη αγωγιμότητας κινητικών νεύρων

Συνήθεις μελέτες αγωγιμότητας κινητικών νεύρων:

- Άνω άκρο: μέσο και ωλένιο.

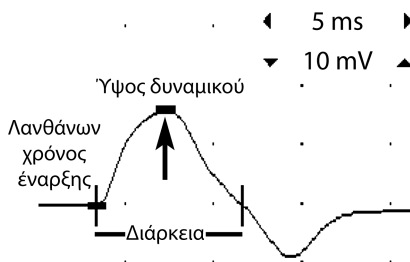
- Κάτω άκρο: περωναίο και κνημιαίο.
- Αναλόγως των κλινικών ενδείξεων μπορεί να ελεγχθούν συγκεκριμένα νεύρα, π.χ. κερκιδικό νεύρο για πτώση άκρας χειρός.

Αναφορικά με τον τρόπο που διενεργείται η μελέτη, η Εικόνα 3.1 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) δείχνει ένα παράδειγμα ελέγχου του μέσου νεύρου με καταγραφή στον βραχύ αγωγό του αντίχειρα.

- Επιφανειακά ηλεκτρόδια τοποθετούνται επάνω στον μυ που νευρώνεται από το νεύρο το οποίο θα ελεγχθεί:
 - Ηλεκτρόδιο καταγραφής στη γαστέρα του μυός (τελική κινητική πλάκα)
 - Ηλεκτρόδιο αναφοράς σε ένα ηλεκτρικά σιωπηλό μέρος όπως τένοντας ή οστό
 - Μια απόσταση 3 με 4 cm μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται ιδανική.
- Η γείωση τοποθετείται μεταξύ των ηλεκτροδίων διέγερσης και καταγραφής.
- Τοποθετούμε τον ερεθιστή επάνω από το μέσο νεύρο στον καρπό.

Ο ερεθιστής στέλνει ένα σύντομο ηλεκτρικό παλμό ρεύματος ο οποίος προκαλεί την εκπόλωση του νεύρου, το οποίο τελικά προκαλεί την εκπόλωση των μυϊκών ινών. Η άθροιση όλων των δυναμικών ενεργείας των μυϊκών ινών που βρίσκονται κάτω από το καταγραφικό ηλεκτρόδιο καταγράφεται ως κυματομορφή η οποία ονομάζεται σύνθετο μυϊκό δυναμικό ενεργείας (ΣΜΔΕ) (Εικόνα 3.2).

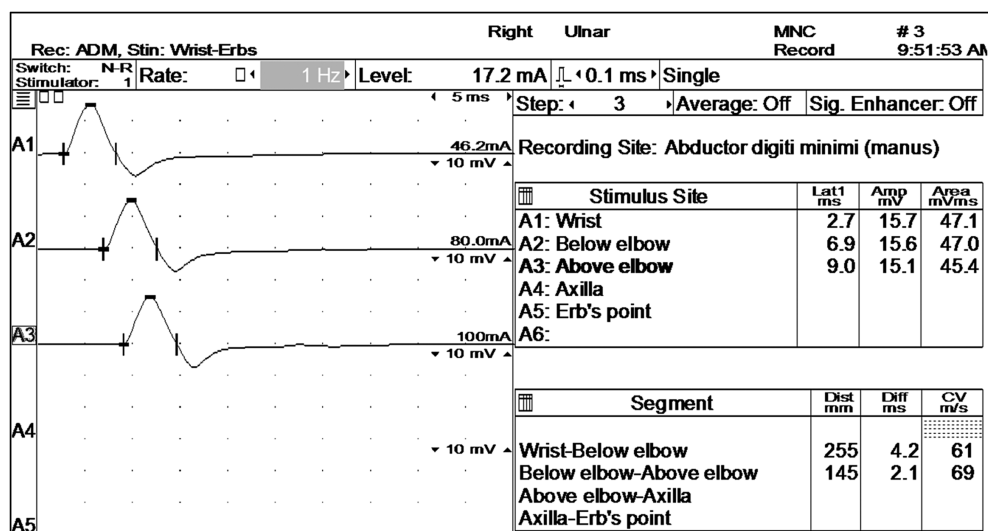
- *Λανθάνων χρόνος έναρξης* = αρχική ανοδική εκτροπή της κυματομορφής του ΣΜΔΕ από την ισοηλεκτρική γραμμή:
 - Μετρείται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, αντικατοπτρίζει την αγωγιμότητα κατά μήκος του νεύρου, την αγωγιμότητα του μυός, καθώς και τον χρόνο μετάδοσης στη νευρομυϊκή σύναψη.
- Η *Διάρκεια* αντιπροσωπεύει τον συγχρονισμό της εκπόλωσης των μυϊκών ινών:
 - Μπορεί να αυξηθεί σε απομυελινωτικές παθήσεις που οδηγούν στην επιβράδυνση μερικών μόνο κινητικών αξόνων.
- *Ταχύτητα αγωγής*:
 - Υπολογίζεται διαιρώντας την απόσταση αγωγής του ερεθίσματος μεταξύ του σημείου του περιφερικού και του κεντρικού ερεθισμού, με τον χρόνο αγωγής μεταξύ των δύο αυτών σημείων.
 - Απαιτεί τόσο έναν περιφερικό όσο και έναν κεντρικό ερεθισμό, προκειμένου να αποκλεισθεί ο περιφερικός κινητικός λανθάνων χρόνος (έναρξης), ο οποίος περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία από την ταχύτητα αγωγής του νεύρου.



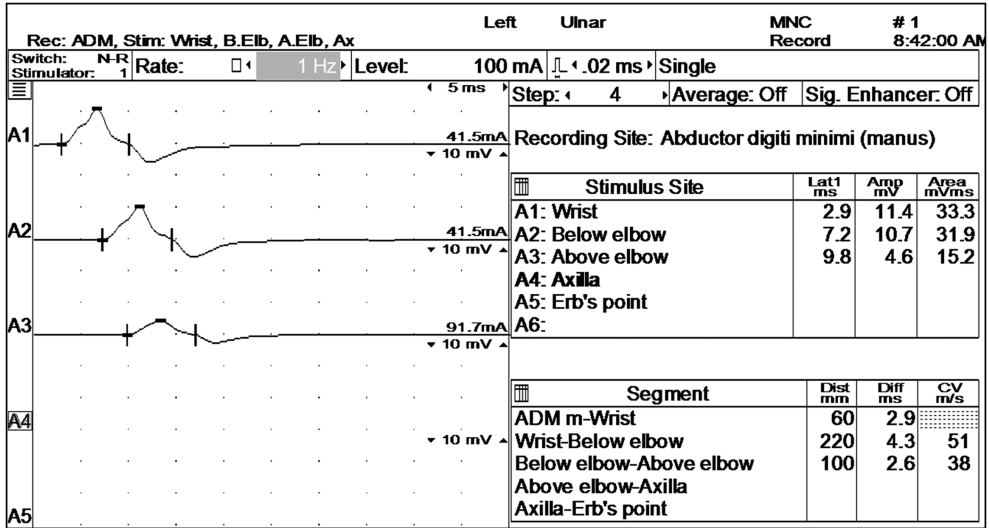
Εικόνα 3.2 Κυματομορφή σύνθετου μυϊκού δυναμικού ενεργείας.

Μπλοκ αγωγής

- Προκύπτει ως συνέπεια σοβαρής απομυελίνωσης κατά την πορεία ενός κινητικού νεύρου που προκαλεί επιβράδυνση ή μερικό αποκλεισμό των νευρικών ώσεων.
- Το ηλεκτροφυσιολογικό κριτήριο είναι η ελάττωση του κινητικού δυναμικού $\geq 40\text{-}50\%$:
 - Εξάιρεση σε αυτό τον κανόνα αποτελεί ο ερεθισμός του κνημιαίου νεύρου στον ιγνυακό βόθρο.
 - Το νεύρο βρίσκεται σε βάθος καθιστώντας δύσκολο τον ερεθισμό όλων των μυϊκών ινών (ειδικά σε παχύσαρκους ασθενείς).
 - Ελάττωση του δυναμικού έως 30-40% μπορεί να είναι φυσιολογική.
- Το μπλοκ αγωγής μπορεί να βρεθεί σε:
 - Εστιακή συμπίεση νεύρου στα συνήθη σημεία παγίδευσης:
 - περνιαίο νεύρο στην κεφαλή της περόνης
 - ωλένιο νεύρο στον αγκώνα (Εικόνα 3.3 και Εικόνα 3.4).
 - Επίκτητες, ανοσο-επαγόμενες, απομυελινωτικές παθήσεις όπως το σύνδρομο Guillain-Barré (Guillain-Barré syndrome, GBS) και η χρόνια φλεγμονώδης απομυελινωτική πολυριζονευροπάθεια (chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy, CIDP).
 - Η εικόνα 3.5 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) αναπαριστά μπλοκ αγωγής του ωλενίου νεύρου στο αντιβράχιο, μη συνήθη θέση παγίδευσης.
 - Το μπλοκ αγωγής γενικά ΔΕΝ παρατηρείται σε κληρονομικές απομυελινωτικές νευροπάθειες όπως η νόσος Charcot-Marie-Tooth (CMT) τύπου 1.
 - Η εικόνα 3.6 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) δείχνει ομοιόμορφη ελάττωση της ταχύτητας αγωγής, χωρίς μπλοκ αγωγής, σε έναν ασθενή με CMT τύπου 1Α. Παρατηρούμε τη σημαντική παράταση του τελικού λανθάνοντα χρόνου και την ελάττωση της ταχύτητας αγωγής, με διατήρηση, ωστόσο, φυσιολογικού δυναμικού.



Εικόνα 3.3 Φυσιολογική κυματομορφή ωλενίου νεύρου.



Εικόνα 3.4 Εστιακή ωλένια νευροπάθεια με ελάττωση ταχύτητας αγωγής στον αγκώνα και μπλοκ αγωγής.

- Αυτό οφείλεται στην ομοιόμορφη απομυελίνωση κατά μήκος του νεύρου, σε αντίθεση με επίκτητες απομυελινωτικές παθήσεις, οι οποίες είναι πολυεστιακές και στις οποίες ένα σημείο σοβαρής προσβολής συχνά οδηγεί σε μπλοκ αγωγής.
- Χρονική διασπορά προκαλείται, όταν μεμονωμένες νευρικές ίνες εκπολώνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές:
 - Συμβαίνει ως φυσιολογικό φαινόμενο, διότι οποιοδήποτε κινητικό ή αισθητικό νεύρο αποτελείται από ίνες οι οποίες διαφέρουν στον βαθμό της μυελίνωσης.
 - Είναι πιο έκδηλο κατά τον ερεθισμό σε κεντρικότερα σημεία στο σώμα, διότι οι μικρές εμμύελες ίνες καθυστερούν περισσότερο συγκριτικά με μεγάλες εμμύελες ίνες, όσο αυξάνει η απόσταση.
 - Προκαλεί μια ήπια αύξηση της διάρκειας του ΣΜΔΕ και ήπια ελάττωση του ύψους του δυναμικού και του εμβαδού της καμπύλης ΣΜΔΕ σε φυσιολογική μελέτη αγωγιμότητας κινητικού νεύρου.
 - Γίνεται ιδιαίτερα έκδηλη σε απομυελινωτικές βλάβες που προκαλούν ελάττωση της ταχύτητας αγωγής και συχνά συνοδεύουν το μπλοκ αγωγής.

F-κύμα

- Είδος καθυστερημένης απάντησης που εκλύεται, όταν εφαρμόζεται υπερμέγιστο ερέθισμα πάνω στο περιφερικό τμήμα ενός κινητικού νεύρου, που προκαλεί τη μετάδοση του ρεύματος τόσο ορθόδρομα, όσο και αντίδρομα από το σημείο του ερεθισμού.
- Το F-κύμα παράγεται, όταν το αντίδρομο ρεύμα μεταδίδεται κεντρικότερα και διεγείρει ένα μικρό αριθμό κινητικών νευρώνων στο νωτιαίο μυελό, οι οποίοι κατόπιν πυροδοτούν ένα ερέθισμα ορθόδρομα προς τα κάτω στην πορεία του νεύρου, ώστε να προκαλέσουν την εκπόλωση μερικών μυϊκών ινών.
- M-κύμα: αρχική κυματομορφή (ΣΜΔΕ) που παράγεται από το ορθόδρομο ρεύμα.

- Τα F-κύματα έχουν πάντα χαμηλότερο δυναμικό από το M-κύμα και διαφέρουν σε μορφολογία και τελικό λανθάνοντα χρόνο (βλέπε Εικόνα 3.7 στη συνοδευτική ιστοσελίδα).
- Κλινική σημασία:
 - Ευαίσθητη μέτρηση για την ανίχνευση βλαβών που επηρεάζουν το εγγύς τμήμα του νεύρου.
 - Δομική βλάβη που επηρεάζει τη νευρική ρίζα, π.χ. κήλη μεσοσπονδυλίου δίσκου που προκαλεί ριζοπάθεια.
 - Ανοσο-επαγόμενες απομυελινωτικές παθήσεις όπως οξεία φλεγμονώδης απομυελινωτική πολυριζονευροπάθεια (acute inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy, AIDP) –η παράταση ή κατάργηση των F-κυμάτων μπορεί να είναι οι πρώτες διαταραχές που διαπιστώνονται, επειδή συνήθως προσβάλλονται τα εγγύς τμήματα.
- Προσοχή στην ερμηνεία παθολογικών F-κυμάτων:
 - Μπορεί να επηρεαστούν από ένα αριθμό παραγόντων εκτός από βλάβη του εγγύς τμήματος του νεύρου: παθολογική ταχύτητα αγωγής νεύρου, παθολογικός τελικός λανθάνων χρόνος ή πολύ υψηλός ασθενής.

Αντανακλαστικό Η

- Πρόκειται για έναν άλλο τύπο καθυστερημένης απάντησης που παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αγωγιμότητα κατά μήκος του εγγύς τμήματος ενός νεύρου.
- Εξαρτάται τόσο από αισθητικές προσαγωγές όσο και από κινητικές απαγωγές ίνες, σε αντίθεση με το F-κύμα, το οποίο είναι αμιγώς κινητικό.
- Θεωρείται το ηλεκτροφυσιολογικό ισοδύναμο του κλινικά παραγόμενου αχίλλειου τε- νόντιου αντανακλαστικού.
- Προκαλείται εφαρμόζοντας υπομέγιστο ερέθισμα στο κνημιαίο νεύρο στον ιγνυακό βόθρο, καταγράφοντας από τους μυς της γαστροκνημίας:
 - Αυτό ενεργοποιεί μικτά κινητικά και αισθητικά νεύρα τα οποία δεν επαρκούν για να παράξουν άμεση κινητική απάντηση, αλλά ενεργοποιούν προσαγωγές οδούς της μυϊκής ατράκτου.
 - Αισθητικές ίνες μεταφέρουν το ερέθισμα στο νωτιαίο μυελό όπου συνάπτονται με κύτταρα των προσθίων κεράτων, τα οποία μεταδίδουν το ερέθισμα κατά μήκος των κινητικών ινών και στον μυ.
 - Το Η-κύμα μειώνεται όσο η άμεση κινητή απάντηση (M-κύμα) γίνεται πιο έντονη με την αύξηση ρεύματος (βλέπε Εικόνα 3.8 στη συνοδευτική ιστοσελίδα).
- Κλινική σημασία:
 - I1 ριζοπάθεια
 - Πολυνευροπάθεια
 - Απουσία αντανακλαστικού Η είναι πρώιμο εύρημα στην AIDP.

Μελέτη αγωγιμότητας αισθητικών νεύρων

Οι συνήθεις μελέτες αισθητικής αγωγιμότητας νεύρων:

- Άνω άκρο: μέσο, ωλένιο και κερκιδικό.
- Κάτω άκρο: γαστροκνημιαίο και επιπολής περνιαίο.
- Ανάλογα με τις κλινικές ενδείξεις μπορεί να ελεγχθούν συγκεκριμένα νεύρα:

- Το έξω και το έσω δερματικό αισθητικό νεύρο του αντιβραχίου είναι σημαντικά στη διερεύνηση βραχιόνιας πλεγματοπάθειας.
- Τα σαφή νεύρα είναι σημαντικά για τη μηριαία νευροπάθεια.
- Τα έσω και έξω πελματιαία νεύρα είναι σημαντικά για το σύνδρομο ταρσιαίου σωλήνα.
- Το ραχιαίο δερματικό νεύρο του ωλενίου για την ωλένια νευροπάθεια: καρπός έναντι αγκώνα.

Η εικόνα 3.9 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) δείχνει τη διαδικασία στη αντίδρομη μελέτη της αισθητικής αγωγιμότητας του μέσου νεύρου, με δακτυλιοειδή ηλεκτρόδια που καταγράφουν από τον δείκτη.

- Δακτυλιοειδή ηλεκτρόδια τοποθετούνται επάνω στη δερματική επιφάνεια που νευρώνεται από το υπό εξέταση νεύρο.
- Η γείωση τοποθετείται μεταξύ των ηλεκτροδίων διέγερσης και καταγραφής.
- Τοποθετούμε τον ερεθιστή επάνω από το μέσο νεύρο στον καρπό.
- Η δοκιμασία μπορεί επίσης να διενεργηθεί ορθόδρομα, οπότε τα δακτυλιοειδή ηλεκτρόδια δίνουν ηλεκτρικό ερέθισμα και η καταγραφή γίνεται πάνω από το μέσο νεύρο. Σημαντικές διαφορές μεταξύ της μελέτης αγωγιμότητας αισθητικών νεύρων συγκριτικά με τα κινητικά:
 - Το ύψος των ΑΔΕ μετριέται σε μικροβόλτ (μV) σε σύγκριση με το ΣΜΔΕ, το οποίο μετριέται σε χιλιοστά του βολτ (mV, βλέπε Εικόνα 3.10 στη συνοδευτική ιστοσελίδα).
 - Τα μικρά αισθητικά δυναμικά επηρεάζονται πιο πολύ από τεχνικούς παράγοντες:
 - Χαμηλές θερμοκρασίες των άκρων (<30°C για τα κάτω άκρα, <32°C για τα άνω άκρα) προκαλούν ψευδή αύξηση του δυναμικού και ελάττωση της ταχύτητας αγωγής.
 - Ηλεκτρικά παράσιτα από το περιβάλλον.
 - Η αισθητική μελέτη ελέγχει μόνο τις αισθητικές ίνες των νεύρων, ενώ η κινητική αντικατοπτρίζει τον χρόνο αγωγιμότητας κατά μήκος του κινητικού νεύρου, της νευρομυϊκής σύναψης (ΝΜΣ), καθώς και των μυϊκών ινών.
 - Η μέτρηση της ταχύτητας αγωγής του αισθητικού νεύρου απαιτεί μόνο ένα σημείο ερεθισμού:
 - ΤΑ αισθητικού νεύρου = λανθάνων χρόνος έναρξης/απόσταση μεταξύ του ερεθιστή και του ενεργού καταγραφικού ηλεκτροδίου.

Ειδικές δοκιμασίες: αντανακλαστικό βλεφάρου (blink reflex) και δοκιμασία επαναλαμβανόμενων νευρικών ερεθισμάτων

Αντανακλαστικό βλεφάρου

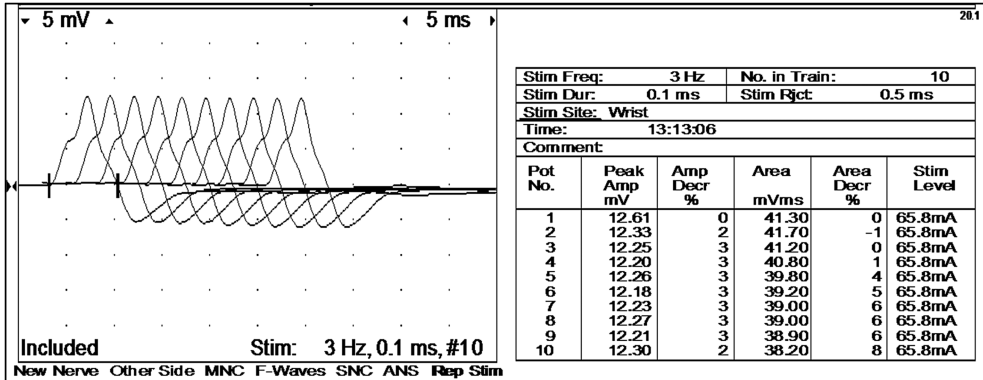
- Αξιολογεί το τρίδυμο και το προσωπικό νεύρο και θεωρείται το ηλεκτρικό ανάλογο του κλινικά εκλυόμενου αντανακλαστικού του κερατοειδούς:
 - Προσαγωγό σκέλος = αισθητικές ίνες από τον υπερκόγχιο κλάδο του τριδύμου νεύρου.
 - Απαγωγό σκέλος = κινητικές ίνες του προσωπικού νεύρου.
- Μπορεί να ανιχνεύσει βλάβες κατά μήκος του αντανακλαστικού τόξου τόσο περιφερικά, όσο και κεντρικά εντός του εγκεφαλικού στελέχους.
- Διενέργεια της εξέτασης:

- Καταγραφικά ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω στους σφιγκτήρες μυς των βλεφάρων αμφοτερόπλευρα.
- Το ερέθισμα εφαρμόζεται στο υπερκόγχιο νεύρο στην υπερκόγχια εντομή στο έσω τμήμα του φρυδιού.
- *R1 απάντηση.* Η πρώιμη απάντηση αντικατοπτρίζει τον χρόνο αγωγιμότητας κατά μήκος της προσαγωγού οδού του τριδύμου νεύρου προς τον αισθητικό του πυρήνα που εντοπίζεται στη μεσότητα της γέφυρας, κατόπιν διαμέσου δισυναπτικών οδών μεταξύ του αισθητικού πυρήνα του τριδύμου και του πυρήνα του προσωπικού νεύρου που εντοπίζεται στην κατώτερη γεφυρική καλύπτρα, και τελικά διαμέσου της απαγωγού οδού του ομόπλευρου προσωπικού νεύρου.
- *R2 απάντηση.* Η καθυστερημένη απάντηση αντικατοπτρίζει τη σύναψη στον πυρήνα της νωτιαίας δεσμίδας του τριδύμου νεύρου στην ομόπλευρη γέφυρα και προμήκη, ακολουθούμενη από ερεθίσματα που μεταδίδονται διαμέσου πολλαπλών συνάψεων στη γέφυρα και στο πλάγιο του προμήκη τόσο προς τους αντίπλευρους όσο και τους ομόπλευρους πυρήνες του προσωπικού, και τελικά στις απαγωγές οδούς και των δύο προσωπικών νεύρων.
- Η εικόνα 3.11 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) δείχνει ένα φυσιολογικό αντανακλαστικό βλεφάρου.
- Η εικόνα 3.12 (στη συνοδευτική ιστοσελίδα) αναπαριστά μια πλήρη βλάβη του δεξιού προσωπικού νεύρου. Παρατηρούμε απουσία R1 και R2 δυναμικών αλλά φυσιολογικό αντίπλευρο R2 δυναμικό, όταν διεγείρεται η προσβεβλημένη πλευρά. Όταν ερεθίζεται η φυσιολογική πλευρά, τα ομόπλευρα R1 και R2 δυναμικά παράγονται, αλλά δεν παράγεται το αντίπλευρο R2 δυναμικό.

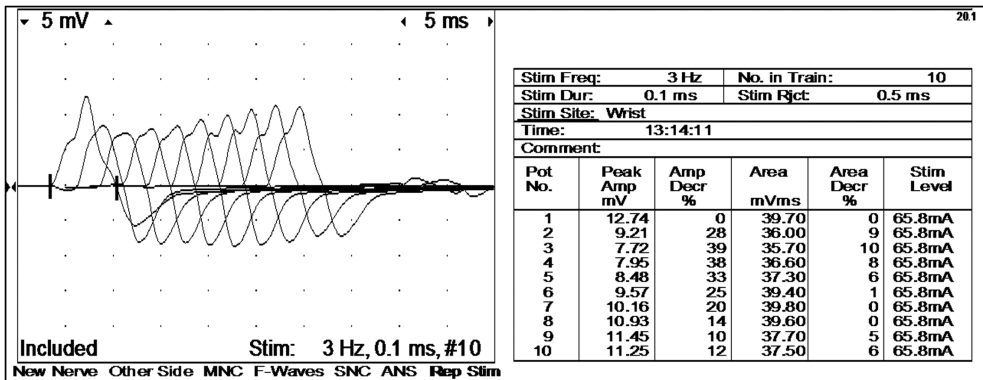
Δοκιμασία επαναλαμβανόμενων νευρικών ερεθισμάτων (ΔΕΕ)

Αυτή είναι μια σημαντική δοκιμασία για την αξιολόγηση ασθενών με διαταραχές της νευρομυϊκής σύναψης, κυρίως της βαρείας μυασθένειας.

- Συνήθως ελέγχονται δύο νεύρα, ένα περιφερικό και ένα κεντρικό:
 - Καταγραφή στο ωλένιο νεύρο από τον απαγωγό μυ του μικρού δακτύλου.
 - Καταγραφή στο παραπληρωματικό νεύρο από τον τραπεζοειδή μυ.
 - Η ευαισθησία αυξάνει, όταν ελέγχονται κλινικά προσβεβλημένοι μύες.
- Εφαρμόζεται μια σειρά από 5 έως 10 υπερμέγιστα ερεθίσματα με συχνότητα 2 ή 3 Hz και καταγράφεται το ΣΜΔΕ, όπως και στην κινητική μελέτη ρουτίνας (Εικόνα 3.13).
- Η δοκιμασία είναι θετική, εάν υπάρχει σταδιακή ελάττωση του δυναμικού μεγαλύτερη από 10% στη διάρκεια των πέντε πρώτων ερεθισμάτων:
 - Το ελάχιστο δυναμικό συνήθως καταγράφεται μεταξύ του δεύτερου και του τέταρτου ερεθίσματος.
 - Η ελαττωμένη απάντηση μπορεί να σταθεροποιηθεί και να βελτιωθεί μετά το πέμπτο ερέθισμα, εξαιτίας της κινητοποίησης δευτερογενών αποθεμάτων ακετυλοχολίνης στη νευρομυϊκή σύναψη.
 - Τυπικά δίνει μια χαρακτηριστική καμπύλη σχήματος U στη ΔΕΕ, η οποία είναι πολύ χαρακτηριστική διαταραχής της νευρομυϊκής σύναψης (Εικόνα 3.14).
- Ευόδωση μετά από άσκηση (μετα-τετανική):
 - Μια διόρθωση στην ελαττωμένη απάντηση εμφανίζεται μετά από σύντομη άσκηση 10-δευτερολέπτων του υπό εξέταση μύος.



Εικόνα 3.13 Φυσιολογική καταγραφή αναφοράς του αριστερού ωλένιου νεύρου, επαναληπτικά ερεθίσματα (καταγραφή: απαγωγός μικρού δακτύλου, ερέθισμα: καρπός).



Εικόνα 3.14 Θετική δοκιμασία επαναλαμβανόμενων ερεθισμάτων με ελαττωμένη απάντηση στο αριστερό ωλένιο (καταγραφή: απαγωγός μικρού δακτύλου, ερέθισμα: καρπός).

- Η βραχείας διάρκειας μέγιστη σύσπαση του μύος προκαλεί μια παροδική αύξηση στα προσυναπτικά επίπεδα ασβεστίου, η οποία οδηγεί σε μια προσωρινή αύξηση στην απελευθέρωση ακετυλοχολίνης και κατά συνέπεια στη διόρθωση της ελαττωμένης απάντησης.
- Εξάντληση μετά από άσκηση (μετα-τετανική):
 - Επιδείνωση της ελάττωσης της απάντησης λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων ακετυλοχολίνης σε επόμενες δοκιμασίες.
 - Συνήθως συμβαίνει σε δοκιμασίες που καταγράφονται περίπου στα 3 με 4 λεπτά.

Ταχεία δοκιμασία επαναλαμβανόμενων νευρικών ερεθισμάτων (ΔΕΕ) σε υποψία προσυναπτικής διαταραχής (σύνδρομο Lambert-Eaton, αλλαντίαση)

- Υψηλή συχνότητα (10-50 Hz).
- Αξιολογεί προσυναπτικές διαταραχές της νευρομυϊκής σύναψης όπως το μυασθενικό σύνδρομο Lambert-Eaton.

- Σε ταχεία ΔΕΕ συσσωρεύεται περισσότερο ασβέστιο στο προσυναπτικό άκρο, επειδή δεν αφήνουμε να περάσει αρκετός χρόνος, ώστε το ασβέστιο που εισήχθη προηγουμένως να αντληθεί ενεργητικά προς τα έξω. Αυτό προκαλεί αύξηση της απελευθέρωσης ακετυλοχολίνης λόγω των υψηλών επιπέδων ασβεστίου.
- Η παθολογική ποσοστιαία αύξηση του CMAP (>100%) υποδηλώνει προσυναπτική διαταραχή.
- Παρόμοια ευρήματα μπορούν να προκύψουν με δοκιμασία ευόδωσης μετά από άσκηση.
- Τα περισσότερα εργαστήρια προτιμούν να χρησιμοποιούν τη δοκιμασία ευόδωσης μετά από άσκηση αντί για ταχεία ΔΕΕ, η οποία μπορεί να είναι δυσάρεστη για τους ασθενείς.

Ηλεκτρομυογραφία

Η ηλεκτρομυογραφία (ΗΜΓ) ακολουθεί τις μελέτες αγωγιμότητας νεύρων και είναι ζωτικής σημασίας τμήμα της ηλεκτροφυσιολογικής αξιολόγησης. Το ΗΜΓ περιλαμβάνει την είσοδο ενός συγκεντρικού βελονοειδούς ηλεκτροδίου μέσα σε μυς. Η βελόνη ανιχνεύει τα ηλεκτρικά δυναμικά που παράγονται από τις μυϊκές ίνες, τα οποία μελετώνται, ώστε να ανιχνευθούν ανωμαλίες στον μυ (μυοπαθητικές) ή στη νεύρωσή του (νευρογενείς). Όταν εξετάζεται ένας μυς με ΗΜΓ θα πρέπει να αναλυθούν προσεκτικά συγκεκριμένες παράμετροι. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η παρουσία αυτόματης δραστηριότητας, η επιστράτευση των κινητικών μονάδων, το μέγεθος και τα πρότυπα ενεργοποίησης, τα οποία θα συζητηθούν λεπτομερώς σε αυτή την ενότητα. Πριν από την εξέταση θα πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά οι μύες προκειμένου να γίνει ακριβής διάγνωση (βλέπε Πίνακα 3.1 και Πίνακα 3.2).

Αυτόματη δραστηριότητα

Η ανάλυση της αυτόματης δραστηριότητας αρχίζει, όταν η βελόνη εισάγεται σε ένα χαλαρό μυ. Η φυσιολογική δραστηριότητα εισόδου παράγεται, καθώς η βελόνη διασχίζει ταχέως τον μυ παράγοντας μια σύντομη ηλεκτρική εκφόρτιση που διαρκεί λιγότερο από 300 ms. Η παρουσία δραστηριότητας εισόδου είναι σημαντική, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η βελόνη βρίσκεται εντός του μύος αντί σε υποδόριο ιστό. Οποιοσδήποτε κυματομορφές επιμένουν

Πίνακας 3.1 ΗΜΓ ευρήματα που ανευρίσκονται σε νευρογενείς διαταραχές

	Αυτόματη δραστηριότητα	Μορφολογία των δυναμικών των κινητικών μονάδων			Πρότυπο πυροδότησης
		Διάρκεια	Φάσεις	Ύψος δυναμικού	Επιστράτευση
Αξονική: οξεία	Όχι	Φυσιολογική	Φυσιολογικές	Φυσιολογικό	Ελαττωμένη
Αξονική: υποξεία	Ναι	Φυσιολογική προς αυξημένη	Αυξημένες	Φυσιολογικό προς αυξημένο	Ελαττωμένη
Αξονική: χρόνια	Όχι / Ναι	Αυξημένη	Αυξημένες	Αυξημένο	Ελαττωμένη
Απομυελινωτική χωρίς μπλοκ αγωγής	Όχι	Φυσιολογική	Φυσιολογικές	Φυσιολογικό	Φυσιολογική
Απομυελινωτική με μπλοκ αγωγής	Όχι	Φυσιολογική	Φυσιολογικές	Φυσιολογικό	Ελαττωμένη

Πίνακας 3.2 ΗΜΓ ευρήματα που ανευρίσκονται σε μυοπάθειες

	Αυτόματη δραστηριότητα	Μορφολογία των δυναμικών των κινητικών μονάδων			Πρότυπο πυροδότησης
		Διάρκεια	Φάσεις	Ύψος δυναμικού	Επιστράτευση
Μυοπαθητική: οξεία	Όχι / Ναι	Σύντομη	Αυξημένες	Μικρό	Φυσιολογική ή πρώιμη
Μυοπαθητική: χρόνια	Όχι / Ναι	Σύντομη ή Μακρά	Αυξημένες	Μικρό ή Αυξημένο	Φυσιολογική ή πρώιμη
Μυοπαθητική: τελικού σταδίου	Όχι / Ναι	Σύντομη ή Μακρά	Αυξημένες	Μικρό ή Αυξημένο	Έντονα ελαττωμένη

μετά τα 300 ms θεωρούνται παθολογικές, με μια εξαίρεση όταν η βελόνη βρίσκεται κοντά στη νευρομυϊκή σύναψη, όπου μπορεί να ανιχνευθούν θόρυβος από την τελική κινητική πλάκα ή αιχμές της τελικής κινητικής πλάκας.

Φυσιολογική αυτόματη δραστηριότητα

- Θόρυβος της τελικής κινητικής πλάκας: χαρακτηριστικός ήχος “κοχυλιού” στο ΗΜΓ, που αντιπροσωπεύει τα δυναμικά της τελικής κινητικής πλάκας.
- Αιχμές της τελικής κινητικής πλάκας: μπορεί να βρεθούν μαζί με τον θόρυβο της τελικής κινητικής πλάκας και δημιουργούνται από δυναμικά ενεργείας των μυϊκών ινών:
 - Διφασικής μορφολογίας με μια αρχική αρνητική απόκλιση που πυροδοτούν ακανόνιστα.
 - Δεν πρέπει να θεωρηθούν εσφαλμένα ως ινιδικά δυναμικά, τα οποία είναι παθολογικά.

Η προσεκτική εξέταση της αυτόματης δραστηριότητας είναι ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα της δοκιμασίας με βελόνη:

- Ορισμένες εκφορτίσεις, όπως η μυοτονία, απαντώνται σε συγκεκριμένες μυοπάθειες.
- Το πρότυπο της αυτόματης δραστηριότητας μπορεί να βοηθήσει στην εντόπιση της ανατομικής βλάβης:
 - Διεγερσιμότητα της μυϊκής μεμβράνης περιορισμένη μόνο σε κεντρομελικούς μυς σε φλεγμονώδη μυοπάθεια.
 - Δυναμικά απονεύρωσης απαντώνται εντός ενός μυοτομίου σε ριζοπάθεια.
- Η παρουσία αυτόματης δραστηριότητας μπορεί να παράσχει ενδείξεις σχετικά με τον χρόνο μιας βλάβης:
 - Τα ινιδικά δυναμικά και τα θετικά αιχμηρά κύματα μπορεί να μην εμφανισθούν πριν από την πάροδο 2-3 εβδομάδων μετά από αξονική βλάβη του νεύρου.

Παθολογική αυτόματη δραστηριότητα

- Ινιδικά δυναμικά και θετικά αιχμηρά δυναμικά:
 - Παράγονται από αυτόματη εκπόλωση των μυϊκών ινών και έχουν την ίδια ηλεκτροφυσιολογική σημασία με την ενεργό απονεύρωση.
 - Συνήθως παρατηρούνται σε νευροπαθητικές διαταραχές (π.χ. νευροπάθεια, νόσος κινητικού νεύρου και ριζοπάθεια), καθώς επίσης σε φλεγμονώδεις μυοπάθειες και ορισμένες μυϊκές δυστροφίες.