Αρχές Νευροδιέγερσης

Τηλέμαχος Παρασκευόπουλος

Ο στόχος κάθε τεχνικής περιοχικής αναισθησίας είναι η έγχυση του τοπικού αναισθητικού να γίνει γύρω από το νεύρο–στόχο ή μέσα σε ένα διαμέρισμα που το περιέχει. Αρχικά, οι νευρικοί αποκλεισμοί πραγματοποιήθηκαν βάσει ανατομικών οδηγών σημείων, χρησιμοποιώντας το αίσθημα της παραισθησίας που προκαλεί η επαφή της βελόνας με τους περιφερικούς νευρικούς σχηματισμούς. Μειονεκτήματα της τεχνικής της παραισθησίας είναι η θεωρητική αύξηση του κινδύνου πρόκλησης νευρικής βλάβης και η εξάρτηση της τεχνικής από την υποκειμενική αίσθηση που αναφέρει ο ασθενής (απουσία μίας αντικειμενικής απάντησης που να μπορεί να εκτιμήσει ο αναισθησιολόγος). Επιπλέον, η αίσθηση της παραισθησία είναι έντονα δυσάρεστη και μη ανεκτή από ορισμένους ασθενείς.

Με την τεχνική της νευροδιέγερσης γίνεται η προσπάθεια εφαρμογής ενός αντικειμενικού τρόπου εντοπισμού των νευρικών σχηματισμών. Οι νευροδιεγέρτες προκαλούν ένα μικρής έντασης και διάρκειας συνεχές ρεύμα (DC). Όταν η κορυφή της βελόνας είναι αρκετά κοντά στον αναζητούμενο νευρικό σχηματισμό, μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος δίερχεται από το περιφερικό νεύρο. Όταν η ένταση του ρεύματος που διέρχεται από τον νευρικό σχηματισμό είναι μεγαλύτερη από μία τιμή (ειδική για κάθε είδος νευρικής ίνας), τότε προκαλείται εκπόλωση των νευρικών ινών. Ανάλογα με το είδος των νευρικών ινών που περιέχονται στο νεύρο που εντοπίζεται παρατηρείται μυική σύσπαση (κινητικές ίνες), αισθητική απάντηση (αισθητικές ίνες) ή μικτή απάντηση.

Φυσιολογία του νευρικού κυττάρου

Σε κατάσταση ηρεμίας, το ηλεκτρικό δυναμικό στην έσω επιφάνεια της μεμβράνης του νευρώνα είναι κατά 70mV αρνητικότερο από την έξω επιφάνεια λόγω της μεταφοράς ιόντων από την αντλία ιόντων Na+/K+, της περιορισμένης διαπερατότητας της μεμβράνης από Na+σε συνθήκες ηρεμίας και λόγω της παγίδευσης ανιόντων στο εσωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης. Ένα ηλεκτρικό ερέθισμα που επιδρά στη μεμβράνη, προκαλεί παροδική αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης στα ιόντα Na+, με αποτέλεσμα την είσοδο Na+ στο εσωτερικό του κυττάρου. Αυτή η κίνηση ιόντων οδηγεί σε αύξηση του δυναμικού στο εσωτερικό της μεβράνης, η οποία είναι ανάλογη της έντασης του ερεθίσματος που επιδρά πάνω στην μεμβράνη.

Δυναμικό ενέργειας (εκπόλωση της μεμβράνης) προκαλείται όταν το ερέθισμα αναγκάζει το δυναμικό της μεμβράνης να γίνει θετικότερο από έναν ουδό δυναμικού (-55mV). Κατά το δυναμικό ενέργειας, το δυναμικό της έσω επιφάνειας της μεμβράνης του νευρώνα αυξάνεται ταχέως σε μια τιμή περίπου 100mV θετικότερη του δυναμικού ηρεμίας (δηλαδή το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται περίπου +30mV). Στη συνέχεια, το δυναμικό ενέργειας μεταδίδεται ως ηλεκτρική διέγερση κατά μήκος του νευράξονα.

Οι δύο βασικές προϋποθέσεις προκειμένου να εκπολωθεί η μεμβράνη ενός νευρώνα από ένα ηλεκτρικό ερέθισμα είναι : 1) το ερέθισμα πρέπει να έχει επαρκή ένταση ώστε το δυναμικό της μεμβράνης να γίνει θετικότερο από τον ουδό (-55mV) και 2) το ερέθισμα πρέπει να εφαρμοστεί για επαρκές χρονικό διάστημα στη μεμβράνη ώστε να προκαλέσει δυναμικό ενεργείας.

Συνεπώς, ηλεκτρικά ερεθίσματα χαμηλής έντασης δεν μπορούν να προκαλέσουν δυναμικό ενεργείας όσο χρόνο και να εφαρμοστούν σε μία νευρική ίνα, ενώ ηλεκτρικά ερεθίσματα υψηλής έντασης δεν προκαλούν δυναμικό ενεργείας εάν εφαρμοστούν στην μεμβράνη για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η ένταση και ο χρόνος που απαιτείται, ώστε ένα ερέθισμα να προκαλέσει εκπόλωση της μεμβράνης, διαφέρουν ανάλογα με το είδος και το μέγεθος της νευρικής ίνας.

Ορισμοί

Ρεοβάση (Ir) ονομάζεται η ελάχιστη ένταση του ηλεκτρικού ερεθίσματος που μπορεί να προκαλέσει δυναμικό ενεργείας σε ένα νεύρο. Δηλαδή, ερεθίσματα έντασης μικρότερης από τη ρεοβάση δεν προκαλούν δυναμικό ενεργείας στο νεύρο, όσο χρόνο και αν εφαρμοστούν.

Χροναξία (C) ονομάζεται το ελάχιστο χρονικό διάστημα που πρέπει να εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό ερέθισμα, το οποίο έχει ένταση διπλάσια από την ρεοβάση, για να προκαλέσει δυναμικό ενεργείας σε ένα νεύρο. Η χροναξία είναι διαφορετική ανάλογα με το είδος της κάθε νευρικής ίνας (πινακας 1). Οι κινητικοί νευρώνες έχουν μικρότερη χροναξία από τους αισθητικούς νευρώνες. Συνεπώς, ένα ηλεκτρικό ερέθισμα μικρής διάρκειας (π.χ. 0,1msec) μπορεί να διεγείρει επιλεκτικά τους κινητικούς νευρώνες ενός μικτού νεύρου, ενώ οι αισθητικοί νευρώνες δεν θα εκπολωθούν. Προϋπόθεση της επιλέκτικής αυτής διέγερσης των κινητικών νευρώνων είναι το βραχύ ηλεκτρικό ερέθισμα να έχει και χαμηλή ένταση καθώς ερεθίσματα υψηλής έντασης μπορούν να διεγείρουν τόσο τους κινητικούς όσο και τους αισθητικούς νευρώνες.

Σημασία της μονωμένης βελόνας

Οι μη μονωμένες βελόνες διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια αγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος με αποτέλεσμα η πυκνότητα ρεύματος (το ρεύμα που διέρχεται ανά μονάδα επιφανείας) στην κορυφή της βελόνας να είναι σχετικά χαμηλή. Αντίθετα, οι μονωμένες βελόνες χαρακτηρίζονται από υψηλή πυκνότητα ρεύματος στην κορυφή της βελόνας. Μεγαλύτερη πυκνότητα ρεύματος επιτρέπει την κινητική απάντηση σε μικρότερες τιμές έντασης, καθώς η διέγερση ενός νεύρου εξαρτάται από το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από την μεμβράνη του. Συνεπώς, οι μονωμένες βελόνες παρέχουν τη δυνατότητα νευροδιέγερσης με χαμηλές εντάσεις ερεθίσματος και επιτρέπουν μεγαλύτερη ακριβεία στον εντοπισμό ενός περιφερικού νεύρου σε σχέση με τις μη μονωμένες βελόνες. Στην πράξη, σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως μονωμένες βελόνες.

Χαρακτηριστικά νευροδιεγέρτη

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συγχρονου νευροδιεγέρτη είναι: 1) η δυνατότητα παροχής ρεύματος σταθερής έντασης (ανεξάρτητα από τις αντιστάσεις του δέρματος και των ιστώ), 2) η διάθεση εύχρηστων μέσων ρύθμισης των παραμέτρων του χορηγούμενου ερεθίσματος και 3) η ύπαρξη ένδειξης δυσλειτουργίας - αποσύνδεσης του κυκλώματος.

Κάθε νευροδιεγέρτης διαθέτει δύο πόλους, ένα αρνητικό (κάθοδος) που συνδέεται με τη βελόνα και ένα θετικό (άνοδος) που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο δέρματος. Βασικές ρυθμίσεις που μπορεί ο χρήστης να μεταβάλει σε ένα νευροδιεγέρτη είναι η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα χορήγησης ερεθισμάτων.

Η ένταση του ερεθίσματος μετράται σε mAmpere, η διαρκεια σε msec και η συχνότητα σε Hz. Κατά την αναζήτηση ένος περιφερικού νεύρου με τη βελόνα, σκοπός είναι να προκαλέσουμε

σύσπαση των μυών που νευρώνονται από το περιφερικό νεύρο που αναζητούμε, αποφεύγοντας τη διέγερση των αισθητικών νευρικών ινών που μεταφέρονται στο ίδιο νεύρο. Για το λόγο αυτο, χρησιμοποιούμε αρχικά ερέθισματα σχετικά χαμηλής έντασης (~ 1mA), μικρής διάρκειας (0,1msec) και συχνότητας 2Hz αναζητώντας την αναμενώμενη κινητική απάντηση. Όταν παρατηρήσουμε τη μυϊκή σύσπαση που περιμένουμε, χαμηλώνουμε την ένταση του χορηγούμενου ερεθίσματος και προσπαθούμε με τροποποιητικές κινήσεις να διατηρήσουμε την κινητική απάντηση. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνουμε την ακρίβεια του εντοπισμού, δηλαδή την εγγύτητα της κορυφής της βελόνας με το νεύρο. Η διατήρηση των μυϊκών συσπάσεων με ρεύμα χαμηλής έντασης (0,2-0,5mA), θεωρείται κλινικά ικανοποιητικός εντοπισμός και επιτρέπει την έγχυση του τοπικού αναισθητικού. Στην περίπτωση που οι μυϊκές συσπάσεις διατηρούνται με ερεθίσματα μικρότερης έντασης από 0,2mA, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα ενδονευρικής θέσης της κορυφής της βελόνας και απαιτείται μερική απόσυρσή της.

Βιβλιογραφία

Barrett, Harmon, Loughnane, Finucane, Shorten. Peripheral nerve blocks and perioperative pain relief. Chapter 6. Peripheral nerve block materials. Saunders 2004.

Kaiser H, Neisser HC, Hans V. Fundamentals and requirements of peripheral electric nerve stimulation. A contribution to the improvement of safety standards for regional anesthesia. Reg Anesth 1990; 13: 143-7

Jose De Andres, Xavier Sala- Blanch. Peripheral nerve stimulators in the practice of brachial plexus anesthesia: A Review. Reg Anesth Pain Med 2001;26:48-483

Tsai PP, Vuckovic I, Dilberovic F, Obhodzas M, Kapur E, Divanovic KA, Hadzic A. Intensity of the stimulating current may not be a reliable indicator of intraneural needle placement. Reg Anesth Pain Med 2008;33:207-10

Hadzic A. Textbook of Regional Anesthesia and Acute Pain. Management, McGraw-Hill, New York, 2007

	Νευρική ίνα	**Χρονοξία** (msec)
Εμμύελες	Αα (κινητικές)	0,05-0,1
Εμμύελες	Αδ	0,17
Αμύελες	C	0,4

Πινακας 1