

Παρακλίνιος Έλεγχος του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος κατά την Αναισθησία και στη Μονάδα Εντατικής Θεραπείας

Κ. ΚΑΡΑΚΟΥΛΑΣ

Εισαγωγή

Κλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι η υποξία, η αυξημένη ενδοκρανιος πίεση, η αρτηριακή υπόταση και οι σπασμοί σχετίζονται άμεσα με την νευρολογική έκβαση του ασθενούς. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη για την εφαρμογή τεχνικών ελέγχου της λειτουργίας του κεντρικού νευρικού συστήματος (Κ.Ν.Σ.) οι οποίες να περιλαμβάνουν την μέτρηση της εγκεφαλικής αιματικής ροής (cerebral blood flow, CBF), της οξυγόνωσης του εγκεφάλου και γενικότερα της λειτουργίας των νευρώνων. Οι μεταβολές στην CBF που προκαλούνται από τα αναισθητικά και τα οπιοειδή ή κατά την εγκεφαλική αυτορρύθμιση μπορούν να μετρηθούν με την χρησιμοποίηση του διακρανιακού doppler, της ροομετρίας με λέιζερ doppler και τα συστήματα θερμοικών μετρήσεων. Η υπέρυθρη φασματοσκοπία φαίνεται ότι έχει την δυνατότητα μη επεμβατικής μέτρησης του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο στον εγκέφαλο καθώς και της διαθεσιμότητας αυτού στα μιτοχόνδρια των εγκεφαλικών κυττάρων. Οι τεχνικές μέθοδοι ελέγχου της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου όπως η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (HEΓ, electroencephalography, EEG) και τα αισθητικά προκλητά δυναμικά (Sensory Evoked Potentials, SEPs) είναι επίσης ειδικές και ευαίσθητες στις μεταβολές της λειτουργίας των νευρώνων λόγω εγκεφαλικής ισχαιμίας.

Ο στόχος του συνεχούς ελέγχου της λειτουργίας του ΚΝΣ είναι η διάκριση της εγκεφαλικής υποξίας και ισχαιμίας κατά την αναισθησία και την αντιμετώπιση του ασθενούς στην μονάδα εντατικής θεραπείας. Η συνεχής λοιπόν λήψη πληροφοριών που αφορούν τις μεταβολές των φυσιολογικών παραμέτρων σε συνάρτη-

ση με το χρόνο, θα πρέπει να γίνεται με σκοπό την προστασία της φυσιολογικής λειτουργίας των νευρώνων. Οι μετρήσεις της εγκεφαλικής αιματικής ροής, της οξυγόνωσης του εγκεφάλου και της λειτουργίας των εγκεφαλικών κυττάρων διευκολύνουν την φαρμακολογική και χειρουργική αντιμετώπιση των ασθενών και έτσι αποτρέπονται ή περιορίζονται οι βλάβες των νευρώνων.

Οι συσκευές ελέγχου του εγκεφάλου, όπως και αυτές των άλλων συστηματικών παραμέτρων ή οργανικών συστημάτων, μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την ακρίβεια των μετρήσεων που παρέχουν καθώς και με την χρησιμότητα των δεδομένων που λαμβάνονται στην κλινική πράξη (πίνακας 1). Έτσι είναι δύσκολο να σχεδιαστεί μια συσκευή ελέγχου (monitor) η οποία να είναι συγχρόνως και ειδική και ευαίσθητη.

Πίνακας 1

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	
Ακρίβεια	Εφαρμογή στην κλινική πράξη
Επιρρεασμός μετρήσεων	Ευαισθησία
Ακρίβεια μετρήσεων	Θετική προγνωστική αξία
	Ειδικότητα
	Αρνητική προγνωστική αξία
	Καθορισμός φυσιολογικών ορίων
	Ταχύτητα
	Χρησιμότητα στην κλινική πράξη
	Διάγνωση
	Παραζουήθηση
	Πρόγνωση
	Θεραπευτική κατεύθυνση

Τον έλεγχο των διαφόρων φυσιολογικών παραμέτρων (monitoring) του νευροχειρουργικού ασθενούς μπορούμε να τον διακρίνουμε στον βασικό, που θα

πρέπει να εφαρμόζεται σε κάθε ασθενή και στον ειδικό, που καθορίζεται ανάλογα με την συγκεκριμένη κατάσταση του ασθενούς. Ο τελευταίος υποδιαιρείται στον έλεγχο της ηλεκτρικής δραστηριότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος, των εγκεφαλικών αιμοδυναμικών παραμέτρων και τον έλεγχο της προσφοράς και χρησιμοποίησης του οξυγόνου από τον νευρικό ιστό.

ΒΑΣΙΚΟ MONITORING

Ο έλεγχος της πίεσης του αίματος, της καρδιακής συχνότητας και του ρυθμού, η επάρκεια του αερισμού, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της διούρησης θα πρέπει να γίνεται σε κάθε ασθενή.

Ο έλεγχος της αρτηριακής πίεσης του αίματος χρησιμοποιώντας μη επεμβατικές τεχνικές (με το Doppler ή την ταλαντωσιμετρία) είναι υποχρεωτικός σε όλους τους ασθενείς που υποβάλλονται σε νευροχειρουργική επέμβαση. Ο άμεσος έλεγχος της αρτηριακής πίεσης χρησιμοποιείται όταν ενδείκνυται, αλλά συγχρόνως η περιχειρίδα για την έμμεση εκτίμηση της πίεσης του αίματος, θα πρέπει να παραμένει στον ασθενή.

Το ηλεκτροκαρδιοσκόπιο για τον συνεχή έλεγχο του ηλεκτροκαρδιογραφήματος απαιτείται επίσης σε όλες τις νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Οι χειρισμοί στο εγκεφαλικό στέλεχος συχνά συνοδεύονται με μεταβολές στην καρδιακή συχνότητα και τον ρυθμό οι οποίες θα πρέπει να διακρίνονται και να αντιμετωπίζονται άμεσα.

Η εφαρμογή καθετήρα για τον έλεγχο της κεντρικής φλεβικής πίεσης ή και καθετήρα της πνευμονικής αρτηρίας για τον έλεγχο των πιέσεων πλήρωσης της καρδιάς θα πρέπει να εφαρμόζεται στους ασθενείς με σοβαρή καρδιαγγειακή πάθηση.

Συχνά η κεφαλή, οι αεραγωγοί και το άνω τμήμα του θώρακος του ασθενούς δεν είναι άμεσα προσπελάσιμα από τον αναισθησιολόγο. Το προκάρδιο ή το οισοφάγιο στηθοσκόπιο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των καρδιακών και πνευμονικών ήχων. Στις περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος αερώδους πνευμονικής εμβολής θα πρέπει επιπρόσθετα να εφαρμόζεται διαδερμική συσκευή υπερήχων Doppler για την διάκριση της στροβιλώδους ροής στα μεγάλα φλεβικά αγγεία και τον κόλπο της δεξιάς καρδιάς.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του σώματος θεωρούνται πολύ σημαντικές εφ' όσον μεγάλο ποσό θερμό-

τητας μπορεί να χαθεί από την τομή της κρανιοτομίας και η προκαλούμενη υποθερμία να καθυστερήσει την αφύπνιση του ασθενούς στο τέλος της επέμβασης. Η αύξηση επίσης της θερμοκρασίας του σώματος θα πρέπει να σημειώνεται γιατί για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τους 37°C προκαλείται εκθετική αύξηση του εγκεφαλικού μεταβολικού ρυθμού για το οξυγόνο (Cerebral Metabolic Rate for Oxygen, CMRO₂), ενώ αυξάνει γραμμικά η εγκεφαλική αιματική ροή (CBF).

Ο συνεχής έλεγχος του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης (SpO₂) με την βοήθεια του παλμικού οξυμέτρου και του τελοεκπνευστικού διοξειδίου (ETCO₂) με τον καπνογράφο, σήμερα θεωρούνται θεμελιώδη σε όλες τις χειρουργικές επεμβάσεις και θα πρέπει έτσι να χρησιμοποιούνται και σ' όλους τους νευροχειρουργικούς ασθενείς.

Η διούρηση, το ειδικό βάρος των ούρων (ιδιαίτερα σε επεμβάσεις στην υπόφυση) και ο έλεγχος της γλυκόζης (στα ούρα και στο αίμα) θα πρέπει επιπρόσθετα να ελέγχονται με στόχο την φυσιολογική ομοιοστασία των νευρώνων και εν γένει του οργανισμού.

Ανάλογα δε με τον τύπο του χειρουργείου, την χρονική διάρκεια της επέμβασης και την προεγχειρητική κατάσταση του ασθενούς θα πρέπει να χρησιμοποιούνται και επιπρόσθετες μέθοδοι ελέγχου απ' αυτές που αναφέρθηκαν. Η αιτιολογημένη χρήση μιάς ειδικής μεθόδου εξαρτάται από την δυνατότητά της να ελέγχει παραμέτρους του ασθενούς που η διατήρησή τους σε φυσιολογικά όρια επηρεάζουν την πορεία και την έκβαση του. Οι μη επεμβατικές δε τεχνικές είναι προτιμότερες από τις επεμβατικές, όταν οι πληροφορίες που λαμβάνονται είναι ίσης αξίας.

ΕΙΔΙΚΟ MONITORING

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ Κ.Ν.Σ

Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (HEG, Electroencephalography, EEG)

Ιδανικά η ΗΕΓ φαίνεται να είναι μια σημαντική μη επεμβατική μέθοδος ελέγχου της εγκεφαλικής λειτουργίας για τον αναισθητοποιημένο ασθενή. Οτιδήποτε επηρεάζει τον μεταβολισμό του εγκεφάλου (υποξία,

ισχαιμία, υπερκαπνία, αναισθησία) αντανακλάται με μεταβολές στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ).

Σήμερα πολλοί κατασκευαστές συσκευών ΗΕΓ έχουν τροποποιήσει τον αρχικό τους σχεδιασμό. Με την επεξεργασία των σημάτων διά μέσου ηλεκτρονικού υπολογιστή, έχουν προσθέσει δυνατότητες ώστε το ΗΕΓ να γίνει περισσότερο φιλικό στον χρήστη. Ακόμη όμως και μ' αυτές τις απλουστεύσεις απαιτείται εκπαιδευμένος τεχνικός για να βοηθά τον αναισθησιολόγο στην αξιολόγηση του ασθενούς αν και η υπεραπλούστευση των δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή ή λανθασμένη εκτίμηση των πληροφοριών.

Το ΗΕΓ επιπλέον παρέχει στον αναισθησιολόγο πληροφορίες σχετικά με το βάθος της αναισθησίας για την βέλτιστη δυνατή αναισθητική αντιμετώπιση. Οι τεχνικές όμως δυσκολίες, το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για την εφαρμογή του στο πεδίο αυτό αντισταθμίζουν μάλλον τα πλεονεκτήματά του.

Η διάκριση μιας επικείμενης νευρολογικής βλάβης με τον ηλεκτροεγκεφαλογραφικό έλεγχο δίνει την δυνατότητα στον αναισθησιολόγο να ενεργήσει έγκαιρα ώστε να αποφευχθεί μια μόνιμη εγκεφαλική βλάβη. Τέλος η μέθοδος μπορεί να χρησιμεύσει ακόμη και στην πρόγνωση της νευρολογικής έκβασης του ασθενούς.

Σήμερα πιο συχνά χρησιμοποιείται στην χειρουργική των εγκεφαλικών αγγείων, τις επεμβάσεις που απαιτούν καρδιοπνευμονική παράκαμψη και στην εφαρμογή της αναισθησιολογικής τεχνικής της ελεγχόμενης υπότασης.

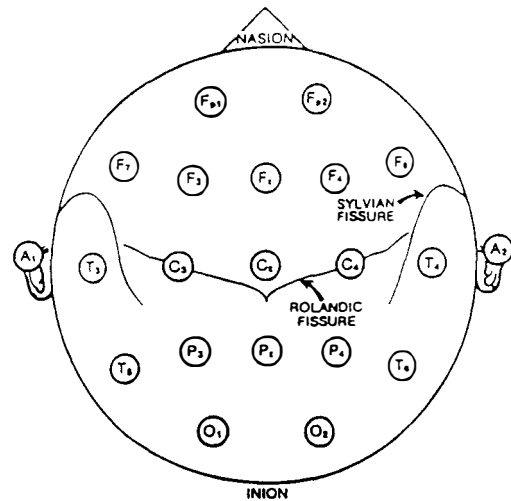
Βασικές αρχές και τεχνικές έννοιες της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας

Οι κυματομορφές στο ΗΕΓ είναι το άθροισμα των διεγερτικών και ανασταλτικών συναπτικών δυναμικών που παράγονται από τα εγκεφαλικά κύτταρα του εγκεφαλικού φλοιού, επηρεαζόμενα από τις ρυθμικές εκπολώσεις του θαλάμου. Η ηλεκτρική δραστηριότητα συνδέεται άμεσα με την μεταβολική δραστηριότητα και έτσι το ΗΕΓ επηρεάζεται και από παράγοντες που επιδρούν στον μεταβολισμό των εγκεφαλικών κυττάρων, όπως είναι η πρόσληψη του οξυγόνου ή η φλοιϊκή αιματική ροή.

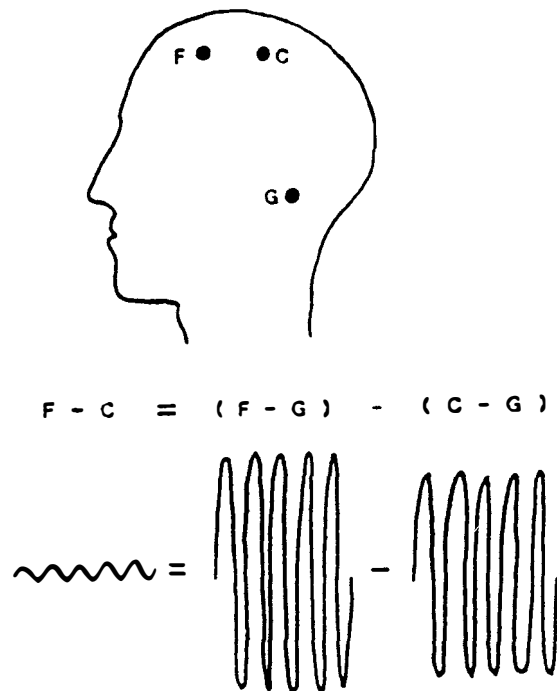
Συνήθως χρησιμοποιείται το διεθνές σύστημα τοποθέτησης των ηλεκτροδίων όπως φαίνεται και στο σχήμα 1. Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την επί % περίμετρο της κεφαλής του ασθενούς και την απόσταση από την μύτη στο ινίο.

Συμβατικά στην αριστερή πλευρά του κρανίου δίνονται μονοί αριθμοί ενώ στην δεξιά ζυγοί. Οι κωδικοί που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ηλεκτροδίων είναι:

- Fp μετωπιαίου πόλου
- F μετωπιαίο
- C κεντρικό
- P βρεγματικό
- O ινιακό
- Z μέσης γραμμής



Σχήμα 1. Διεθνές σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων για την καταγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

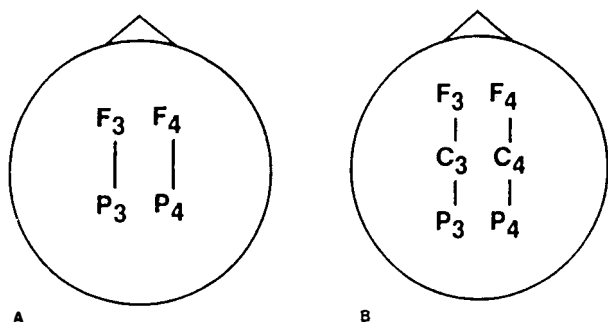


Σχήμα 2. Τα ενεργά ηλεκτρόδια F και C και το ηλεκτρόδιο αναφοράς G.

Στο χειρουργείο συνήθως δεν χρησιμοποιούνται όλες οι διαθέσιμες απαγωγές καταγραφής. Οι απαγωγές στο ΗΕΓ χρησιμοποιούν δυο ενεργά ηλεκτρόδια και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς (monopolar montage). Στο σχήμα 2 φαίνεται ότι επιλέγεται το σημείο αναφοράς G και οι μετρήσεις γίνονται μεταξύ των F-G και C-G. Η διαφορά μεταξύ αυτών των μετρήσεων είναι και η διαφορά των F-C. Οι ηλεκτρικές παρεμβολές (artifacts) αποκόπτονται και ενισχύεται μόνο η διαφορά μεταξύ των F και C (common mode rejection).

Θέση των ηλεκτροδίων

Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι συμμετρική ώστε και το σήμα του ΗΕΓ να είναι συμμετρικό. Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων εξαρτάται επίσης και από τις πληροφορίες που επιδιώκουμε να ελέγξουμε. Σαν χρυσός κανόνας παραμένει το κλασσικό ΗΕΓ των 16 επαγωγών. Για την διάκριση όμως της σφαιρικής ισχαιμίας, στον ασθενή που έχει υποβληθεί σε θεραπευτικό κώμα, ή για τον έλεγχο του βάθους της αναισθησίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια απλή αμφοτερόπλευρη μετωπο-βρεγματική ή μετωπο-κροταφική απαγωγή (σχήμα 3α), εφ' όσον κλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι περισσότερες μεταβολές που συμβαίνουν κατά την χειρουργική επέμβαση και την αναισθησία στο χειρουργείο, μπορούν να ελέγχονται και χωρίς σύνθετο montage.



Σχήμα 3α. Η θέση των δύο απαγωγών για τον έλεγχο της ολικής ισχαιμίας και τον βάθους αναισθησίας.

Σχήμα 3β. Η θέση των απαγωγών για την εκτίμηση της ισχαιμίας από την μέση εγκεφαλική αρτηρία.

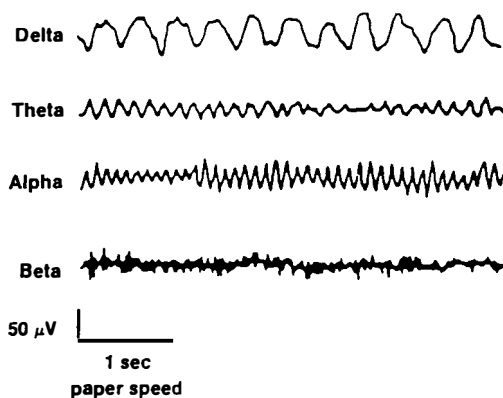
Βασική αρχή είναι ότι η ΗΕΓ καταγραφή από ένα ηλεκτρόδιο αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική δραστηριότητα της άμεσα παρακείμενης περιοχής του εγκεφάλου. Η τοποθέτηση ηλεκτροδίων μόνο στην μετωπομαστοειδή χώρα για παράδειγμα μπορεί να είναι επαρκής για την

εκτίμηση της συνολικής ισχαιμίας αλλά πιθανά ανεπαρκής για τον έλεγχο της ισχαιμίας από την μέση εγκεφαλική αρτηρία. Έτσι όταν χρησιμοποιούνται απαγωγές λιγότερες από τις κλασσικές 16 θα πρέπει να τοποθετούνται με τρόπο ώστε να ελέγχεται και η περιοχή που αιματώνει η μέση εγκεφαλική αρτηρία. Το σχήμα 3β δείχνει την τοποθέτηση των απαγωγών που εκπληρώνουν αυτό το σκοπό.

Ερμηνεία του ΗΕΓ και Φυσιολογικά ευρήματα

Το ηλεκτρικό σήμα που δημιουργείται από τον εγκεφαλικό φλοιό είναι χαμηλής ενέργειας, γύρω στα 2 με 200mV, συγκρινόμενο με τα 500 με 1.000mV του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Η ερμηνεία του ΗΕΓ περιλαμβάνει την μέτρηση της συχνότητας και του δυναμικού καθώς και της μορφολογίας της κυματομορφής.

Συχνότητα: Η ηλεκτρική κυματομορφή του ΗΕΓ υποδιαιρείται σε τέσσερις ημιτονοειδείς κυματομορφές (sinus waves) με ιδιαίτερες συχνότητες (κύκλους/δευτ. ή Hertz) ως ακολούθως (σχήμα 4):



Σχήμα 4. Οι τέσσερις βασικές ηλεκτροεγκεφαλογραφικές κυματομορφές.

Κύματα δέλτα (δ) 0 - 3 Hz. Αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλά δυναμικά και χαμηλή συχνότητα παρατηρούμενα στον βαθύ ύπνο, την βαθιά αναισθησία ή διάφορες παθολογικές καταστάσεις του ΚΝΣ.

Κύματα θήτα (θ) 4 - 7 Hz. Τα κύματα θήτα εμφανίζονται κυρίως στα πρόωρα νεογνά, στα υγιή παιδιά κατά την διάρκεια του ύπνου και κατά τον υπεραερισμό. Είναι επίσης χαρακτηριστικά κατά την γενική αναισθησία.

Κύματα άλφα (α) 8 - 13 Hz. Τα κύματα α εμφανίζονται τυπικά σε άτομα που βρίσκονται σε ηρεμία ή σε διέγερση και με τα μάτια κλειστά. Τα κύματα α προέρχο-

νται κυρίως από τις βρεγματοϊνιακές περιοχές.

Κύματα βήτα (β) 14 - 30 Hz. Αυτά είναι χαμηλού δυναμικού, ταχείας συχνότητας και τυπικά εμφανίζονται σε ξύπνια και με πλήρη συνείδηση άτομα.

Η ισοηλεκτρική γραμμή στο ΗΕΓ σημαίνει παύση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και εμφανίζεται σε ισχαιμία, υποθερμία, κώμα, αναισθησία με ισοφλουράνιο περισσότερο από 2 MAC και στον εγκεφαλικό θάνατο.

Δυναμικό: Το δυναμικό περιγράφεται με το ύψος της κυματομορφής και εκφράζεται σε microvolts. Έτσι διακρίνουμε:

Χαμηλά δυναμικά: λιγότερο από 20 μV

Μεσαία δυναμικά: 20 με 50 μV

Υψηλά δυναμικά: περισσότερο από 50 μV

Συμμετρία: Η φυσιολογική εγκεφαλική δραστηριότητα είναι συμμετρική. Η οξεία ασυμμετρία μπορεί να σημαίνει πιθανή βλάβη μιας περιοχής νευρικών κυττάρων. Ωστόσο ασυμμετρία κατά την διάρκεια μιας νευροχειρουργικής αγγειακής επέμβασης όπως η καρωτιδική ενδαρτηριεκτομή, όπου επηρεάζεται η περιοχή που αρδεύεται από την μέση εγκεφαλική αρτηρία, εμφανίζεται συχνά με ελάττωση της συχνότητας του ΗΕΓ στην αντίστοιχη πλευρά χωρίς όμως να επηρεάζεται η έκβαση.

Επίδρασεις από την αναισθησία

Κάτω από γενική αναισθησία η ποικιλομορφία του φυσιολογικού ΗΕΓ ελαττώνεται και οι περιοχικές δια-

φορές στην συχνότητα και το δυναμικό ελαχιστοποιούνται. Οι κυματομορφές γίνονται παρόμοιες και αυτός είναι ένας άλλος λόγος για τον οποίο μερικοί νευροαναισθησιολόγοι εφαρμόζουν μια μόνο απλή αμφοτερόπλευρη μετωπο-βρεγματική ή μετωπο-κροταφική απαγωγή. Το ΗΕΓ ποικίλει ανάλογα με τον αναισθητικό παράγοντα που χορηγείται, αλλά επειδή οι περισσότεροι αναισθησιολόγοι χρησιμοποιούν συνδυασμό φαρμάκων, το γεγονός αυτό είναι μικρής πρακτικής σημασίας. Οι αλλαγές τυπικά εμφανίζονται με την αύξηση του βάθους της αναισθησίας και είναι κυρίως δόσοεξαρτώμενες παρά σχετιζόμενες με τον χρησιμοποιούμενο παράγοντα.

Κατά την εισαγωγή οι συνήθεις δόσεις θειοπεντάλης προκαλούν χαρακτηριστικά αλλαγή στο β κύμα του ΗΕΓ με αύξηση του δυναμικού, διασπορά και ελάττωση της συχνότητας στο φάσμα του α κύματος.

Όταν η συγκέντρωση αναισθητικού είναι μικρότερη από 1 MAC ο ρυθμός α μεταπίπτει σε β και εμφανίζεται ευρέως μια ρυθμική κυματομορφή στο φάσμα των χαμηλών β και των α συχνοτήτων. Όσο η αναισθησία βαθιάνει, η φάση διέγερσης εξαφανίζεται και συμβαίνει προοδευτική ελάττωση στην συχνότητα του κύματος.

Όταν η συγκέντρωση του αναισθητικού αυξάνει περισσότερο από 1 MAC, το ΗΕΓ αποκλίνει από την θ κυματομορφή στην δ με προοδευτική ελάττωση της συχνότητας και τελικά ελάττωση και του δυναμικού με κατάληξη ένα ισοηλεκτρικό ΗΕΓ. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει την επίδραση στο ΗΕΓ των διάφορων παθοφυσιολογικών μεταβολών και αναισθησιολογικών παρεμβάσεων.

Πίνακας 2

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΗΕΓ	
Αυξημένη συχνότητα	Ελαττωμένη συχνότητα
Υπεροξία	Ψηλό δυναμικό
Υπερκαπνία	Υποξία
Υποξία	Υποκαπνία
Σπασμοί	Υποθερμία
Χαμηλές δόσεις βαρβιτουρικών	Βαρβιτουρικά
Χαμηλές δόσεις Βενζ/πινών	Ετομιδάτη
Πρωτοξειδίο του Αζώτου 30-70%	Ναρκοτικά
Εισπνεόμενοι αναισθ. παράγοντες < 1MAC	Εισπν. αναισθ. παράγοντες > 1MAC
Κεταμίνη	
Χαμηλή συχνότητα, Χαμηλό δυναμικό	Ισοηλεκτρικό
Υποξία	Εγκεφαλικός θάνατος
Υπερκαπνία	Υποξία (PaO ₂ < 25 mm Hg)
Βαρβιτουρικά	Υποθερμία
Υπογλυκαιμία	Βαρβιτουρικό κώμα
	Ισοφλουράνιο > 2MAC

Επεξεργασία της ΗΕΓ καταγραφής

Το κλασικό ΗΕΓ καταγράφει τις μεταβολές του δυναμικού σε σχέση με τον χρόνο. Η ανάλυση με ηλεκτρονικό υπολογιστή μετατρέπει τα σύνθετα αυτά δεδομένα, με την βοήθεια της ταχείας ανάλυσης Fourier (Fast Fourier Transformation, FFT), σε ισχύ (τετραγωνισμένο δυναμικό) σε συνάρτηση με την συχνότητα. Η ανάλυση Fourier χρησιμοποιεί ένα σύνθετο μαθηματικό υπολογισμό για να ελαττώσει την σύνθετη ΗΕΓ κυματομορφή σε αρμονικά ημιτονοειδή κύματα (sinus waves). Η παρουσίαση του ακατέργαστου ΗΕΓ σήματος παραμένει όμως ακόμη πολύ σημαντική δίνοντας στον παρατηρητή την δυνατότητα ευρύτερης αξιολόγησης των δεδομένων. Ο έλεγχος έτσι του ΗΕΓ των 16 απαγωγών από έμπειρο παρατηρητή παραμένει ο χρυσός κανόνας.

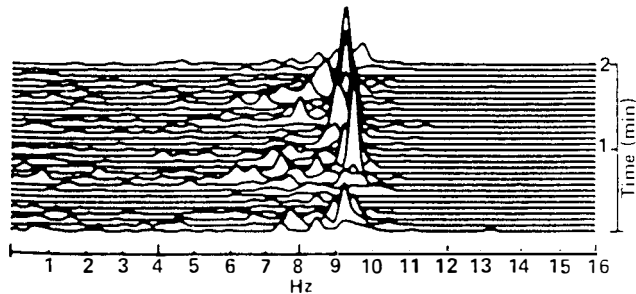
Η συσκευή ελέγχου της εγκεφαλικής λειτουργίας (Cerebral Function Monitor, CFM) εμφανίζει μια απλουστευμένη μορφή του ΗΕΓ όπου το δυναμικό των ημιτονοειδών κυμάτων μετράται και παρουσιάζεται σε καταγραφική ταινία σαν το μέσο μέγιστο δυναμικό. Αυτή η τροποποίηση καταγράφει το παράγωγο της ισχύος και της συχνότητας. Η καταγραφή του ανώτερου ορίου παριστάνει, κορυφή προς κορυφή, το δυναμικό στο ψηλότερο του σημείο, ενώ το χαμηλότερο όριο παριστάνει το χαμηλότερο σημείο του δυναμικού. Αυτό το monitor αρχικά σχεδιάστηκε για την παρακολούθηση της ΗΕΓ δραστηριότητας στην μονάδα εντατικής. Αν και παραμένει ένα καλό monitor για την διάκριση της ολικής ισχαιμίας του εγκεφάλου, είναι ανεπαρκές στην διάκριση της εστιακής ισχαιμίας καθώς του βάθους της αναισθησίας.

Η συσκευή ανάλυσης της εγκεφαλικής λειτουργίας (Cerebral Function Analysing Monitor) είναι μια μεταγενέστερη έκδοση του CFM και προσφέρει το στοιχείο της ταξινόμησης της συχνότητας και του δυναμικού.

Η ανάλυση του φάσματος της ισχύος (Power-Spectrum Analysis) ταξινομεί το ΗΕΓ, το αναλύει και το ψηφοποιεί χρησιμοποιώντας την ταχεία ανάλυση Fourier. Για να απλοποιηθούν τα δεδομένα θα πρέπει να καθοριστεί η μονοδιάστατη περιγραφή του φάσματος της ισχύος. Εφ' όσον η κυματομορφή απλουστεύεται, πολλές από τις πληροφορίες που περιέχονται σ' αυτή διαγράφονται και έτσι οι πληροφορίες που απορρέουν μ' αυτό τον τρόπο ανάλυσης μπορεί να είναι παραπλανητικές. Το πλεονέκτημα όμως της τεχνικής

αυτής είναι η απλότητα των παρουσιαζόμενων πληροφοριών καθώς και η δυνατότητα διάκρισης της συνολικής εγκεφαλικής ισχαιμίας. Ωστόσο η μέθοδος είναι πολύ ευαίσθητη στις εξωτερικές παρεμβολές και την μετακίνηση.

Η διάταξη του συμπιεσμένου φάσματος (Compressed Spectral Array) είναι μια τριών διαστάσεων παρουσίαση της συχνότητας και της ισχύος σε σχέση με τον χρόνο (σχήμα 5). Η συχνότητα καταγράφεται στον άξονα X, η ισχύς στον άξονα Z και ο χρόνος στον Y.



Σχήμα 5. Η καταγραφή της διάταξης του συμπιεσμένου φάσματος από φυσιολογικά ενήλικα η οποία δείχνει μία κορυφή που σχετίζεται με τον ρυθμό α.

Αυτή η γραφική καταγραφή των πληροφοριών παρουσιάζεται με σαφήνεια σε μια δυο διαστάσεων οθόνη. Ένα μειονέκτημα αυτού του τύπου παρουσίασης είναι ότι η υψηλού δυναμικού δραστηριότητα τείνει να προκαλεί ασάφεια στην ταυτόχρονη χαμηλού δυναμικού δραστηριότητα στην ίδια συχνότητα. Αυτό προκαλεί απώλεια ορισμένων δεδομένων η οποία γίνεται σημαντική όταν παρατηρούμε τις τάσεις (trends) της καταγραφής. Αυτός ο τύπος παρουσίασης μπορεί επίσης να περιλαμβάνει την απόκλιση του φάσματος της συχνότητας. Η απόκλιση αυτή είναι πολύ χρήσιμη στην εκτίμηση του βάθους της αναισθησίας αλλά δεν αντανακλά με σαφήνεια και τις δυο πλευρές του ΗΕΓ και έτσι μπορεί να μην διακρίνει την περιοχική ισχαιμία.

Έλεγχος των προκλητών δυναμικών

Τα αισθητικά προκλητά δυναμικά (Sensory Evoked Potentials, SEPs) είναι ένα πολύτιμο διαγνωστικό εργαλείο στην νευρολογική πρακτική. Οι τεχνικές των προκλητών δυναμικών επιτρέπουν επίσης τους αναισθησιολόγους και τους χειρουργούς την διεγχειρητική εκτίμηση της λειτουργικής ακεραιότητας του νευρικού συστήματος.

Τα αισθητικά προκλητά δυναμικά (SEPs) είναι η ηλεκτροφυσιολογική εκδήλωση της απάντησης του νευρικού συστήματος σε αισθητικά ερεθίσματα. Χρησιμοποιώντας τα οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials, VEPs) για παράδειγμα, δημιουργείται μια κυματομορφή στην ινιακή περιοχή όταν χορηγήσουμε στροβοσκοπικό φως στα μάτια του ασθενούς.

Τα προκλητά δυναμικά είναι συνήθως πολύ χαμηλού δυναμικού (0,1-20 μ V), πολύ μικρότερου από το δυναμικό του ΗΕΓ και έτσι δεν μπορούν να καταγραφούν στη λήψη μιας κανονικής ηλεκτροεγκεφαλογραφικής καταγραφής. Γι' αυτό το λόγο τα SEPs πρέπει να διαχωριστούν και να διακριθούν από την ηλεκτροεγκεφαλογραφική καταγραφή και τις συνοδές ηλεκτρικές παρεμβολές. Αυτό σήμερα επιτυγχάνεται με καταγραφικά συστήματα που επεξεργάζονται τα σήματα με την βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η προκύπτουσα κυματομορφή παρουσιάζεται σαν μια μεταβολή του δυναμικού σε σχέση με τον χρόνο και χαρακτηρίζεται από την καθυστέρηση σε σχέση με το ερέθισμα (σε milliseconds) και το δυναμικό (σε microvolts).

Κλινική χρήση των προκλητών δυναμικών

Τα SEPs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της λειτουργίας των νευρώνων σε αναισθητοποιημένους ασθενείς και μπορούν όχι μόνο να αντανakλούν τα ειδικά αισθητικά ερεθίσματα αλλά επίσης να είναι και γενικοί δείκτες της νευρολογικής λειτουργίας παρακείμενων δομών.

Πολλές κλινικές μελέτες αναφέρουν ότι η χρήση των SEPs κατά την διάρκεια νευροχειρουργικών, ορθοπε-

δικών και αγγειακών επεμβάσεων έχει ελαττώσει την μετεγχειρητική επίπτωση νευρολογικών επιπλοκών. Τα σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (somatosensory evoked potentials, SSEPs) χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις του σπονδυλικού σωλήνα ή του νωτιαίου μυελού, τα ακουστικά προκλητά δυναμικά του στελέχους (brainstem auditory evoked potentials, BAEPs) στις επεμβάσεις του οπίσθιου κρανιακού βόθρου και τα VEPs στις επεμβάσεις κοντά στο οπτικό νεύρο ή το οπτικό χίασμα. Ο έλεγχος των προκλητών δυναμικών μπορεί να αντικαταστήσει την χρήση των τεχνικών διεγχειρητικής αφύπνισης (awareness) των ασθενών για την εκτίμηση της νευρολογικής εικόνας. Έχει επίσης δείξει ότι η χρήση BAEPs κατά την αναισθησία υποδεικνύει την διεγχειρητική συνείδηση κατά την αναισθησία.

Αρκετές μεταβλητές που βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο του αναισθησιολόγου μπορούν να επηρεάσουν τα SEPs. Σ' αυτές περιλαμβάνονται τα αναισθητικά και άλλα φάρμακα που δρουν στο ΚΝΣ (πίνακας 3), η θερμοκρασία, η αρτηριακή πίεση του αίματος, οι πιέσεις των αερίων του αρτηριακού αίματος και ο αιματοκρίτης. Ανεπιθύμητες μεταβολές στις παραπάνω παραμέτρους μπορεί να προκαλέσουν δυσμενή έκβαση στους ασθενείς που υποβάλλονται σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις υπό γενική αναισθησία. Ωστόσο οι μεταβολές στα SEPs μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σαν πρώιμα σημεία νευρικής δυσλειτουργίας υποδεικνύοντας στους αναισθησιολόγους και τους χειρουργούς τις κατάλληλες παρεμβάσεις ώστε να προληφθούν μόνιμες βλάβες των νευρικών δομών.

Πίνακας 3

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΑ SEPs						
Φάρμακο	SSEPs		BAEPs		VEPs	
	Υστέριση	Δυναμικό	Υστέριση	Δυναμικό	Υστέριση	Δυναμικό
Ισοφλουράνιο	↑	↓	↑	0	↑	↓
Αλοθάνιο	↑	↓	↑	0	↑	0
N ₂ O	0	↓	0	0	↑	↓
Βαρβιτουρικά	↑	↓	↑	0	↑	↓
Ετομιδάτη	↑	↑	↑	↓		
Δρομπεριδόλη	↑	↓				
Διαζεπάμη	↑	↓	0	0		
Μιδαζολάμη	0	↓				
Φεντανύλη	↑	↓	0	0		
Μορφίνη	↑	↓				
Πεθιδίνη	↑	↑ / ↓				

Ο διεγχειρητικός έλεγχος των προκλητών δυναμικών μπορεί να είναι χρήσιμος όταν συντρέχουν οι παρακάτω συνθήκες:

- ένα τμήμα του νευρικού συστήματος που μπορεί να ελεγχθεί με τα SEPs, υπάρχει η πιθανότητα να υποστεί βλάβη,
- οι θέσεις χορήγησης και καταγραφής των ερεθισμάτων είναι προσπελάσιμες κατά την διάρκεια της επέμβασης
- υπάρχει διαθέσιμος τεχνολογικός εξοπλισμός και έμπειρο προσωπικό ώστε η λήψη και εκτίμηση των δεδομένων να είναι ακριβής
- μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες παρεμβάσεις από τον αναισθησιολόγο και τον χειρουργό για την προστασία της νευρικής λειτουργίας όταν συμβούν ενδεικτικές μεταβολές των SEPs.

Ταξινόμηση των αισθητικών προκλητών δυναμικών

Σήμερα τα SEPs ταξινομούνται σύμφωνα με τις ιδιαίτερες μεθόδους αισθητικού ερεθισμού, την καθυστέρηση της καταγραφής τους μετά τον ερεθισμό, τις αποστάσεις μεταξύ του δημιουργούμενου ερεθίσματος και των ηλεκτροδίων καταγραφής και των νευρώνων που προκαλούν τις κυματομορφές.

Μέθοδοι αισθητικού ερεθισμού

Οι μέθοδοι αισθητικού ερεθισμού που βρίσκονται σήμερα σε κλινική χρήση περιλαμβάνουν τα σωματοαισθητικά, τα ακουστικά και τα οπτικά ερεθίσματα. Οι ηλεκτροφυσιολογικές απαντήσεις που καταγράφονται μετά απ' αυτά ονομάζονται σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (somatosensory evoked potentials, SSEPs), ακουστικά προκλητά δυναμικά (auditory evoked potentials, AEPs ή brainstem auditory evoked potentials, BAEPs) και οπτικά προκλητά δυναμικά (visual evoked potentials, VEPs) αντίστοιχα.

1. Μετερεθιστική υστέρηση (Poststimulus latency)

Το χρονικό διάστημα από τον ερεθισμό της αισθητικής οδού μέχρι την καταγραφή του προκλητού δυναμικού που δημιουργείται είναι γνωστό σαν μετερεθιστική υστέρηση. Αυτή μπορεί να είναι μικρή (λιγότερη από 10msec για τα AEPs έως λιγότερα από 40msec για μερικά SSEPs), μέση (20-120msec) ή μεγάλη (120-500msec). Σ' αυτή την ταξινόμηση υπάρχει και ανατομική βάση. Τα μικρής καθυστέρησης SSEPs προέρχονται

από υποφλοιώδεις περιοχές του εγκεφάλου ενώ τα μέσης και μακράς διάρκειας προέρχονται από τον εγκεφαλικό φλοιό.

Η ταχύτητα αγωγής και ο χρόνος της κεντρικής αγωγής (central conduction time, CCT) είναι μετρήσιμες προερχόμενες από μετερεθιστικές καθυστερήσεις και βοηθούν στην εκτίμηση και ταξινόμηση της νευρολογικής λειτουργίας. Η μετερεθιστική υστέρηση των προκλητών δυναμικών και η απόσταση από την θέση εφαρμογής του ερεθίσματος έως την θέση του ηλεκτροδίου καταγραφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ταχύτητας αγωγής. Ο χρόνος μεταξύ των προκλητών δυναμικών που δημιουργούνται στο ακουστικό νεύρο, στον αυχενικό νωτιαίο μυελό ή το εγκεφαλικό στέλεχος και αυτών που δημιουργούνται στον θάλαμο του μεσεγκέφαλου ή τον κυρίως αισθητικό φλοιό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου της κεντρικής αγωγής (CCT). Ο χρόνος κεντρικής αγωγής των σωματοαισθητικών και των ακουστικών προκλητών δυναμικών μπορεί να είναι διαγνωστικά σημαντικός υποδεικνύοντας παθοφυσιολογικές μεταβολές της εγκεφαλικής λειτουργίας.

2. Η απόσταση μεταξύ του σημείου ερεθισμού και των ηλεκτροδίων καταγραφής.

Τα προκλητά δυναμικά ταξινομούνται και σαν κοντινού ή μακρινού πεδίου (near-field, far-field), εξαρτώμενα από την απόσταση μεταξύ των σημείων της νευροφυσιολογικής δημιουργίας τους και των καταγραφικών ηλεκτροδίων.

3. Ανάλογα με τους νευρώνες που τα προκαλούν

Τα SEPs ταξινομούνται επίσης σαν φλοιϊκά και υποφλοιώδη δυναμικά ανάλογα με την θέση των νευρώνων που δημιουργούν τις κυματομορφές. Τα φλοιϊκά προκλητά δυναμικά προέρχονται από τα πυραμιδικά κύτταρα του εγκεφαλικού φλοιού. Τα υποφλοιώδη προκλητά δυναμικά προέρχονται από του αισθητικούς νευράξονες και τους νευρώνες των υποφλοιωδών πυρήνων. Όταν τα υποφλοιώδη προκλητά δυναμικά καταγράφονται από τα ηλεκτρόδια του κρανίου ταξινομούνται σαν μακρινού πεδίου.

Φαρμακολογικές παρεμβάσεις και παθοφυσιολογικές επιπτώσεις επηρεάζουν τα υποφλοιώδη δυναμικά σε μικρότερο βαθμό απ' ότι τα φλοιώδη. Έτσι τα υποφλοιώδη προκλητά δυναμικά είναι λιγότερο ευαίσθητα

στην υποξία και την ισχαιμία απ' ό,τι τα φλοιώδη και δεν παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την δραστηριότητα του φλοιού.

4. Η καταγραφή των προκλητών δυναμικών

Επειδή τα προκλητά δυναμικά είναι χαμηλού δυναμικού απαιτούνται ειδικές τεχνικές για την καταγραφή και παρουσίαση τους.

Τα συστήματα που σχεδιάζονται για την αποτελεσματική καταγραφή των προκλητών δυναμικών θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- σύστημα αισθητικού ερεθισμού
- ενίσχυση, λήψη και φιλτράρισμα των ηλεκτροφυσιολογικών σημάτων
- σύστημα επεξεργασίας των σημάτων
- παρουσίαση, μέτρηση και αποθήκευση των κυματομορφών των SEPs.

Για τον αισθητικό ερεθισμό χρησιμοποιούνται υποδερματικά ηλεκτρόδια που χορηγούν ηλεκτρικό ερέθισμα σε περιφερικά νεύρα για την εφαρμογή του σωματοαισθητικού ερεθισμού. Σε αναισθητοποιημένους ασθενείς χρησιμοποιείται ρεύμα εντάσεως 20mA και διάρκειας περίπου 250msec.

Η εφαρμογή κατάλληλων ακουστικών χρησιμοποιείται στην χορήγηση ακοιλουθιών (burst) ακουστικών τόνων για τον ακουστικό ερεθισμό. Η εκτίμηση του χειρουργικού πεδίου είναι ένας επιπρόσθετος σημαντικός παράγων στην επιλογή του τρόπου της χορήγησης των ερεθισμάτων. Η επίτευξη ερεθισμού με ακουστικά ερεθίσματα και από τα δυο ότα χρησιμοποιείται γενικά στο διεγχειρητικό monitoring για την διάκριση της περιοχικής νευρικής δυσλειτουργίας. Οι παρεμβολές (artifacts) στα ερεθίσματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν χρησιμοποιώντας μεταλλικούς ήχους με μεταβαλλόμενη πολικότητα και συχνότητα γύρω στα 2.000Hz.

Το ιδανικό οπτικό ερέθισμα για χρήση στο χειρουργείο δεν είναι ακόμη διαθέσιμο.

α) Η λήψη των σημάτων

Επειδή τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τα SEPs είναι πολύ μικρά, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ακριβών καταγραφικών τεχνικών ώστε οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το διεγχειρητικό έλεγχο των SEPs να είναι αξιοποιήσιμες. Ηλεκτρόδια μπορούν να τοποθετηθούν στο χειρουργικό πεδίο ή στην επιφάνεια του κρανίου για την διεγχειρητική καταγραφή. Ο

περιοριστικός παράγων στην τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι γενικά η παρεμβολή τους στο χειρουργικό πεδίο. Συνήθως χρησιμοποιούνται καταγραφικά ηλεκτρόδια που προσαρμόζονται στο κρανίο ή το δέρμα.

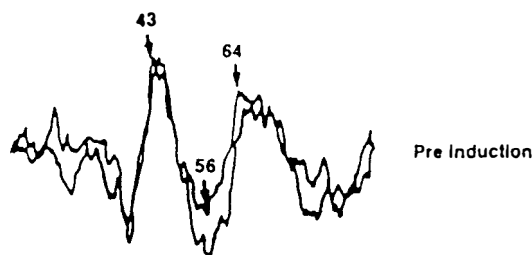
Η ενίσχυση των σημάτων των προκλητών δυναμικών είναι απαραίτητη για την κατάλληλη απεικόνιση τους. Ψηφιακά ή αναλογικά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν την απάντηση στην συχνότητα του καταγραφικού συστήματος. Οι συχνότητες που ενδιαφέρουν θα πρέπει να προστατεύονται ενώ οι παρεμβολές να αποκόπτονται.

β) Επεξεργασία και παρουσίαση των σημάτων.

Η κλινική καταγραφή των προκλητών δυναμικών εξαρτάται από το άθροισμα ή το μέσο όρο των απαντήσεων στους επαναλαμβανόμενους ερεθισμούς. Ο λόγος των σημάτων (SEPs) προς τον θόρυβο (HEΓ) αυξάνει όσες περισσότερες απαντήσεις προστίθενται προκαλώντας έτσι την τυχαία φύση του ΗΕΓ. Για την παρουσίαση των κυματομορφών των SEPs που παράγονται με την τεχνική της άθροισης ή του μέσου όρου χρησιμοποιείται ηλεκτρονική οθόνη. Η εμφανιζόμενη κυματομορφή μπορεί επίσης να αποθηκευτεί ηλεκτρονικά για επιπρόσθετη επεξεργασία.

Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά

Τα σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (SSEPs) που καταγράφονται από το κρανίο αποτελούν την δραστηριότητα των νευρώνων στα περιφερικά ερεθίσματα που φτάνουν από τα περιφερικά νεύρα διά μέσου του νωτιαίου μυελού στον εγκέφαλο. Παράδειγμα καταγραφής σωματοαισθητικών προκλητών δυναμικών μετά ηλεκτρικό ερεθισμό του οπίσθιου κνημιαίου νεύρου φαίνεται στο σχήμα 6. Τα SSEPs έχουν αποδειχτεί χρήσιμα σ' ένα ευρύ φάσμα χειρουργικών επεμβάσεων.



Σχήμα 6. Καταγραφή σωματοαισθητικού προκλητού δυναμικού μετά ερεθισμό του οπίσθιου κνημιαίου νεύρου.

Συνήθως χρησιμοποιούνται στις ορθοπεδικές επεμβάσεις που περιλαμβάνουν τον νωτιαίο μυελό, και ιδιαίτερα στην διόρθωση της σκολίωσης. Όταν υπάρχει κίνδυνος βλάβης του νωτιαίου μυελού από χειρουργική παρέμβαση σε επεμβάσεις παθήσεων της σπονδυλικής στήλης όπως σε όγκους, αρθρίτιδες ή τραυματισμούς, ο έλεγχος των SSEPs είναι επίσης απαραίτητος. Αυτός είναι ακόμη περισσότερο αναγκαίος όταν υπάρχει νευρολογική βλάβη προεγχειρητικά αλλά θα πρέπει να γίνεται ακόμη και σε απουσία νευρολογικών συμπτωμάτων. Ο έλεγχος των SSEPs σε επεμβάσεις για διόρθωση αυχενικής σπονδύλωσης είναι επίσης ιδιαίτερα χρήσιμος επειδή αυτοί οι ασθενείς βρίσκονται σε μεγάλο κίνδυνο νευρολογικής βλάβης.

Σε οποιαδήποτε επέμβαση που περιλαμβάνονται οι κεντρικές αισθητικές οδοί θα πρέπει να γίνεται έλεγχος με προκλητά δυναμικά. Τέτοιες χειρουργικές επεμβάσεις είναι του οπίσθιου κρανιακού βόθρου, στις αγγειακές παθήσεις του στελέχους και στους όγκους και τις αγγειακές παθήσεις των ημισφαιρίων ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε υποφλοιώδεις περιοχές.

Ακουστικά προκλητά δυναμικά (AEPs)

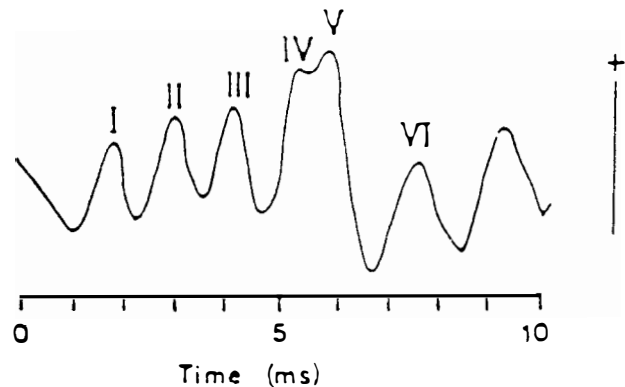
Τα AEPs μπορούν να ελέγχονται κατά την διάρκεια διαφόρων χειρουργικών επεμβάσεων στις οποίες το VIII κρανιακό νεύρο ή το εγκεφαλικό στέλεχος παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο να υποστούν βλάβη. Ο κίνδυνος απώλειας της ακοής κατά την διάρκεια αφαίρεσης ακουστικών νευρινωμάτων ή άλλων όγκων της γεφυροπαρεγκεφαλιδικής γωνίας είναι μεγάλος. Απώλεια της ακοής μπορεί να συμβεί επίσης και σε ασθενείς που υποβάλλονται σε μικροαγγειακή αποσυμπίεση για νευραλγία του τριδύμου, χρόνιο ίλιγγο και ημιπροσωπικό σπασμό. Τα AEPs μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης σε συνδυασμό με τα SSEPs για τον έλεγχο της λειτουργίας του στελέχους σε χειρουργικές αγγειακές ή νεοπλασματικές παθήσεις του οπίσθιου κρανιακού βόθρου.

Ο έλεγχος των AEPs

Υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται διεγχειρητικά για τον έλεγχο της λειτουργίας του ακουστικού νεύρου: (1) οι ακουστικές προκλητές απαντήσεις του εγκεφαλικού στελέχους, (2) η ηλεκτροκοχλιογραφία και (3) η άμεση καταγραφή των δυναμικών δράσης του ακουστικού νεύρου. Ο τεχνολογικός εξο-

πλισμός μπορεί να διαφέρει κάπως αλλά οι παράμετροι είναι παρόμοιοι και για τις τρεις τεχνικές. Σήμερα διεγχειρητικά χρησιμοποιούνται κυρίως τα ακουστικά προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους.

Τα AEPs του εγκεφαλικού στελέχους (brainstem auditory evoked potentials, BAEPs) μπορούν να καταγραφούν μετά σύντομο ακουστικό ερεθισμό που χορηγείται στο ένα αυτί και προκαλεί διαδοχικά ερεθίσματα στην περιφερική νευρική οδό. Μια καταγραφική φυσιολογικού AEPs φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7. Σχηματική παρουσίαση κυματομορφής ακουστικού προκλητού δυναμικού.

Τα BAEPs καταγράφονται από ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην κορυφή του κρανίου. Αυτά είναι βραδείας καθυστέρησης δυναμικά και επηρεάζονται από χειρουργικούς χειρισμούς ή άλλες μεταβλητές. Κανείς ασθενής με ανεπηρέαστα τα BAEPs δεν έχει αναφερθεί ότι παρουσίασε μετεγχειρητική απώλεια της ακοής και για το λόγο αυτό ο διεγχειρητικός τους έλεγχος θεωρείται μεγάλης προγνωστικής αξίας.

Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials, VEPs)

Τα VEPs δημιουργούνται με την εφαρμογή αναλαμπών φωτός στους οφθαλμούς με κλειστά το βλέφαρα. Οι οφθαλμοί προστατεύονται με τον συνήθη τρόπο με οφθαλμική αλοιφή και πλαστική κολλητική ταινία. Ο διεγχειρητικός έλεγχος των VEPs διενεργείται κατά την διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων σε παθήσεις της υπόφουσης καθώς και κατά την αφαίρεση όγκων από τον πρόσθιο εγκεφαλικό βόθρο. Τα οπτικά προκλητά δυναμικά είναι πολύ μεταβλητά και ευαίσθητα στις μεταβολικές διακυμάνσεις και στα αναισθητικά και έτσι σήμερα θεωρούνται μικρής διαγνωστικής αξίας κατά την διεγχειρητική περίοδο.

Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΣ ΠΙΕΣΗΣ

Ενδοκράνια υπέρταση ορίζεται η αύξηση της ενδοκράνιας πίεσης πάνω από 15mmHg σε ύπια θέση. Ο επεμβατικός έλεγχος της ενδοκράνιας πίεσης μπορεί να απαιτείται και προεγχειρητικά, σε νευροχειρουργικούς ασθενείς υψηλού κινδύνου που παρουσιάζουν σημεία και συμπτώματα αυξημένης ενδοκράνιας πίεσης όπως σοβαρή κεφαλαλγία, έμετο, παροδική τύφλωση, οίδημα οπτικών θηλών ή απόκλιση της μέσης γραμμής στην αξονική τομογραφία μεγαλύτερη από 5mm. Ο έλεγχος της ενδοκράνιας πίεσης έτσι κατά την διάρκεια της εισαγωγής στην αναισθησία καθοδηγεί την κατάλληλη ρύθμιση της τεχνικής και την τιτλοποίηση των διαφόρων αναισθητικών παραγόντων. Οξεία αύξηση της ενδοκράνιας πίεσης μπορεί να προκληθεί κατά την τοποθέτηση του ασθενούς στο χειρουργικό τραπέζι (λόγω παρεμπόδισης της φλεβικής επιστροφής), στο τέλος του χειρουργείου (στην εφαρμογή της περιόδου του χειρουργικού τραύματος) καθώς και μετεγχειρητικά (αιμορραγία).

Στην κλινική πράξη υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι ελέγχου της ενδοκράνιας πίεσης (σχήμα): (1) επισκληρίδια, (2) υποσκληρίδια, (3) ενδοκοιλιακά και (4) ενδοπαρεγχυματικά.

Η ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου καθώς και των φυσιολογικών και παθολογικών κυματομορφών της ενδοκράνιας πίεσης αναφέρεται εκτενέστερα σε άλλο κεφάλαιο.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΩΝ ΑΙΜΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Διακρανιακή Doppler Υπερηχογραφία

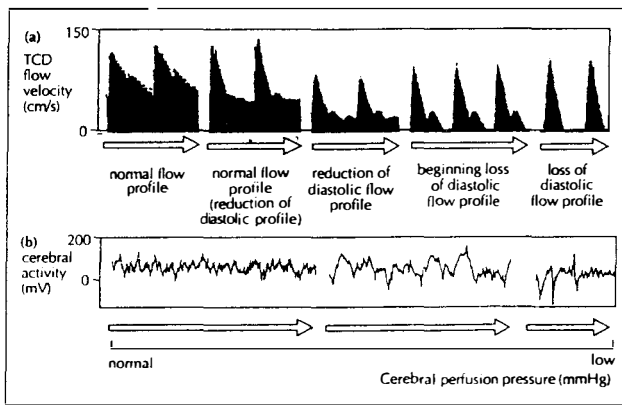
Αρχικά το διακρανιακό doppler υπερηχογράφημα αξιολογήθηκε σαν μια συνεχής και μη επεμβατική τεχνική για την μέτρηση των μεταβολών της εγκεφαλικής αιματικής ροής σε σκυλιά. Χορηγήθηκαν σουφεντανύλη, προποφόλη και ισοφλουράνιο και μετρήθηκε το φάσμα των συχνοτήτων με διακρανιακό doppler. Τα αποτελέσματα απ' αυτές τις μελέτες έδειξαν ότι το διακρανιακό doppler είναι μια ημιποσοτική μέθοδος ελέγχου για τις μεταβολές της αιματικής εγκεφαλικής ροής. Το φάσμα των μεταβολών της ροής μετρούμενο με το διακρανιακό doppler αντανακλά στενά τις μεταβολές

της CBF άσχετα με την αυτορρύθμιση ή τον εγκεφαλικό μεταβολισμό. Αρκετές κλινικές μελέτες έδειξαν στενή συσχέτιση μεταξύ των αλλαγών της συχνότητας και της ροής στις έσω καρωτίδες κατά την διάρκεια αρτηριακής υπότασης. Επίσης έχει δείχτει ότι η απάντηση των εγκεφαλικών αγγείων στα οπιοειδή (σουφεντανύλη και αλφεντανύλη) μπορεί να είναι δόσοεξαρτώμενη.

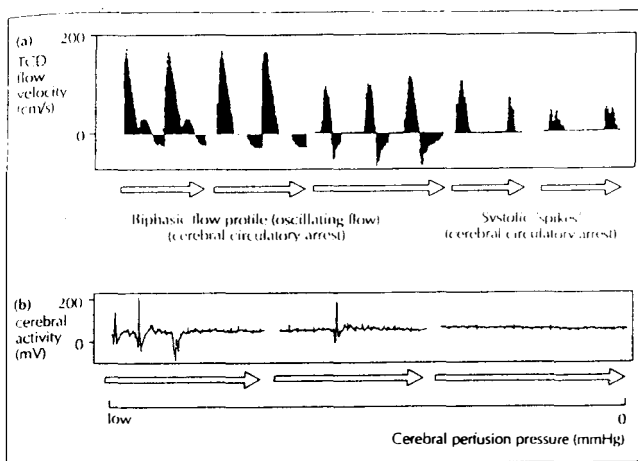
Η κυματομορφή της διαστολικής ταχύτητας της ροής φαίνεται να είναι ευαίσθητη στις μεταβολές της εγκεφαλικής πίεσης διήθησης. Με πίεση διήθησης <28mmHg παρατηρείται ηλεκτρική σιγή του εγκεφάλου παράλληλα με την απώλεια της διαστολικής ταχύτητας της κυματομορφής. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι η διαστολική ταχύτητα ροής είναι στενά συσχετισμένη με την λειτουργία των νευρώνων. Αν η μηδενική διαστολική ταχύτητα ροής παραμείνει ή η ενδοκράνια πίεση αυξηθεί επιπλέον, προκαλείται παύση της εγκεφαλικής κυκλοφορίας (σχήμα 8). Το φάσμα συχνοτήτων που παρατηρείται με το διακρανιακό doppler σε άτομα με εγκεφαλικό θάνατο εμπίπτουν σε μια από τις πέντε κυματομορφές που φαίνονται στο σχήμα 9.

Ο έλεγχος με διακρανιακό doppler μπορεί επίσης να διακρίνει τον ενδοαγγειακά κυκλοφορούντα αέρα ή άλλη ουσία.

Σε ασθενείς που υποβλήθηκαν σε καρωτιδική ενδαρτηρεκτομή μελετήθηκε η ευαισθησία των κυματομορφών με το διακρανιακό doppler και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα για την διάκριση της εγκεφαλικής ισχαιμίας και συγκρίθηκε με νευροφυσιολογικές δοκιμασίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ευαισθησία και η ειδικότητα στην διάκριση της διεγχειρητικής εγκεφαλικής ισχαιμίας είναι υψηλές όταν συνδυάζονται οι δύο αυτές μέθοδοι. Οι μετρήσεις με το διακρανιακό doppler δείχνουν αύξηση της ταχύτητας της αιματικής εγκεφαλικής ροής σε αγγειόσπασμο μετά από υπαραχοειδή αιμορραγία. Ωστόσο η αξία της παθολογικής αύξησης της ταχύτητας της αιματικής εγκεφαλικής ροής είναι ακόμη αβέβαια. Οι μηχανισμοί δημιουργίας μεταγενέστερων ισχαιμικών εγκεφαλικών βλαβών μετά από υπαραχοειδή αιμορραγία και κρανιοεγκεφαλική κάκωση μπορεί να είναι πολυπαραγοντικοί και έτσι ο έλεγχος με το διακρανιακό doppler θα πρέπει να συνδυάζεται και με άλλες παραμέτρους όπως η κλινική εικόνα και η εγκεφαλική πίεση διήθησης ώστε να κατευθύνουν σωστά τις θεραπευτικές παρεμβάσεις.



Σχήμα 8. Μεταβολές της ταχύτητας ροής και της ηλεκτροκαρδιογραφικής καταγραφής κατά την διάρκεια προοδευτικής πτώσης της εγκεφαλικής πίεσης διήθησης.



Σχήμα 9.

Ροομετρία με Laser doppler

Μετά από κρανιοτομία, η ροομετρία με laser doppler μετρά την περιοχική αιματική εγκεφαλική ροή στο φλοιό (επιφανειακά) ή τον υποφλοιώδη εγκεφαλικό ιστό. Έχει δειχτεί ότι η laser-doppler ροομετρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συνεχή μέτρηση της εγκεφαλικής αιματικής ροής κατά την περιεγχειρητική περίοδο και κατά την διάρκεια της νοσηλείας του ασθενούς στην μονάδα εντατικής θεραπείας.

Η μέθοδος μπορεί επιπρόσθετα να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης. Αυτό προϋποθέτει ότι θα πρέπει να γίνεται ρύθμιση της πίεσης εγκεφαλικής διήθησης και του υπεραερισμού ώστε η εγκεφαλική αιματική ροή να διατηρείται σε κανονικά επίπεδα. Έχει δειχτεί ότι οι μετρήσεις με την laser doppler ροομετρία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην εκτίμηση της εγκεφαλικής ισχαιμίας. Ωστόσο,

τα επίπεδα στα οποία η μέθοδος υποδεικνύει την ισχαιμία δεν είναι ακόμη επαρκώς προσδιορισμένα και απαιτούνται επιπλέον μελέτες για τον συσχετισμό των κυματομορφών με την εγκεφαλική ισχαιμία.

Συστήματα θερμικών μετρήσεων

Τα συστήματα θερμικών μετρήσεων ελέγχουν τις μεταβολές της αιματικής εγκεφαλικής ροής με την χρήση θερμίστορ που τοποθετούνται στην επιφάνεια του εγκεφαλικού φλοιού. Η θερμότητα που εφαρμόζεται στον εγκεφαλικό ιστό ελαττώνεται με ρυθμό ανάλογο με την αιματική άρδευση του ιστού. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα συστήματα θερμικών μετρήσεων μπορούν να διακρίνουν ποσοτικές μεταβολές της αιματικής εγκεφαλικής ροής χρησιμοποιώντας απαγωγές με μικροσκοπικά θερμίστορ κατά τη διάρκεια συνεχούς ή διαλείπουσας εφαρμογής θερμότητας. Η μέθοδος είναι επεμβατική και δεν έχει ακόμη κλινική χρήση στο χειρουργείο ή την μονάδα εντατικής θεραπείας.

Εγκεφαλική μικροδιάλυση

Η ανάλυση του μεσοκυττάριου υγρού που λαμβάνεται με την τεχνική της εγκεφαλικής μικροδιάλυσης δείχνει τις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ουσιών στο εξωκυττάριο υγρό, που σχετίζονται με την υποξία ή την ισχαιμία του εγκεφάλου. Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε βαρέως πάσχοντες ασθενείς και υπόσχεται την κατανόηση της παθοφυσιολογίας της νευρολογικής βλάβης. Η εγκεφαλική μικροδιάλυση είναι μια επεμβατική τεχνική στην οποία, η απαγωγή που χρησιμοποιείται για την λήψη του δείγματος τοποθετείται σε ορισμένη θέση και έτσι δεν αντιπροσωπεύει το σύνολο του εγκεφαλικού ιστού.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Συνεχής έλεγχος του κορεσμού του φλεβικού αίματος στον σφαγιτιδικό βολβό

Ο συνεχής έλεγχος του κορεσμού του αίματος στον σφαγιτιδικό βολβό βασίζεται στην αρχή της προσφοράς οξυγόνου στον εγκέφαλο και των απαιτήσεων του. Η σχέση μεταξύ της CBF και του εγκεφαλικού μεταβο-

λικού ρυθμού για το οξυγόνο (cerebral metabolic rate for oxygen, CMRO₂) περιγράφεται από την εξίσωση του Fick όπου ο CMRO₂ υπολογίζεται από την CBF και την αρτηριοσφαγιτιδική διαφορά περιεκτικότητας σε O₂ (arteriojugular oxygen content difference, AJDO₂):

$$CMRO_2 = CBF \times AJDO_2$$

Σε φυσιολογικές καταστάσεις η σχέση μεταξύ του CMRO₂ και της CBF είναι αυτορυθμιζόμενη και έτσι η AJDO₂ παραμένει μεταξύ των στενών ορίων των 4-9ml/100ml αίματος. Ωστόσο κάτω από παθολογικές καταστάσεις η CBF μπορεί να μεταβληθεί ανεξάρτητα από τον CMRO₂. Αν η AJDO₂ πέσει κάτω από 4ml/100ml αίματος (SjO₂>75%), η CBF υπερβαίνει τις μεταβολικές απαιτήσεις. Όταν η AJDO₂ γίνεται μεγαλύτερη από 9ml/100ml αίματος (SjO₂<54%), η CBF είναι ανεπαρκής για τις μεταβολικές απαιτήσεις. Όταν η απόσπαση οξυγόνου από τον εγκέφαλο είναι μέγιστη, μια επιπλέον ελάττωση στην παροχή οξυγόνου θα οδηγήσει σε επιπλέον ελάττωση του CMRO₂, και τότε η σχέση μεταξύ AJDO₂ και CBF γίνεται απρόβλεπτη.

Ο συνεχής έλεγχος του SjO₂ μας προσφέρει έτσι αφ' ενός την δυνατότητα διάκρισης της επικείμενης σφαιρικής εγκεφαλικής ισχαιμίας, αφ' ετέρου την δυνατότητα ελέγχου της αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών παρεμβάσεων.

Για τον έλεγχο του SjO₂ γίνεται καθετηριασμός της έσω σφαγιτιδας φλέβας και παλινδρομη εισαγωγή ενός διπλού αυλού καθετήρα με οπτικές ίνες ο οποίος συνδέεται με σύστημα ηλεκτρονικής επεξεργασίας για την παρουσίαση και αποθήκευση των δεδομένων.

Ο συνεχής έλεγχος του SjO₂ είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε ασθενείς που κινδυνεύουν από ολική εγκεφαλική ισχαιμία. Προσοχή θα πρέπει να δίνεται στους νευροχειρουργικούς ασθενείς και ιδιαίτερα στους κρανιοεγκεφαλικούς καθώς και σε ασθενείς στους οποίους εφαρμόζεται καρδιοπνευμονική παράκαμψη. Αν και η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί και σ' άλλες ομάδες ασθενών (π.χ. με σπητικό σύνδρομο) με ενδιαφέροντα αποτελέσματα, η χρήση της σ' αυτές τις καταστάσεις απαιτεί επιπλέον διερεύνηση.

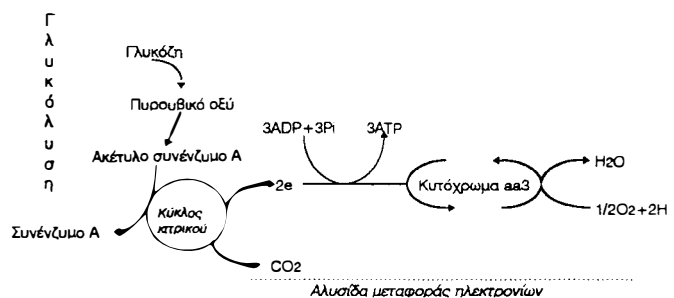
Υπέρυθρη φασματοσκοπία (Near Infrared Spectroscopy)

Επειδή η μέση αρτηριακή πίεση δεν αντιπροσωπεύει

την ροή του αίματος στα κατά τόπους όργανα και ιστούς, σε σοβαρές καταστάσεις υπάρχει η ανάγκη για μια ακριβή και συνεχή μέθοδο ελέγχου της οξυγόνωσης ειδικών οργάνων και ιδιαίτερα του εγκεφάλου. Αυτό που ιδανικά απαιτείται είναι ένα σύστημα ελέγχου, που μπορεί να παρέχει τις πληροφορίες αυτές με ένα συμβατικό μη επεμβατικό τρόπο και με χρονική απάντηση αρκετά ταχεία (λίγων δευτερολέπτων), ώστε να επιτρέπει την γρήγορη θεραπευτική παρέμβαση πριν συμβεί μόνιμη νευρολογική βλάβη.

Η υπέρυθη φασματοσκοπία είναι τεχνική με την οποία είναι δυνατό να μετρηθούν οι μεταβολές της χρησιμοποίησης του οξυγόνου των εγκεφαλικών κυττάρων άμεσα και μη επεμβατικά. Βασίζεται πάνω στην παρατήρηση ότι η φωτεινή ενέργεια κοντά στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος (700 - 1300 nm) διαπερνά τους μαλακούς ιστούς και τα οστά και στο γεγονός ότι το ανακλώμενο φως από τον εγκεφαλικό ιστό μπορεί να συσχετιστεί με τον οξειδωτικό μεταβολισμό. Έτσι η νέα αυτή τεχνική προσφέρει την δυνατότητα συνεχούς εκτίμησης της προσφοράς και της χρησιμοποίησης του οξυγόνου από τον εγκέφαλο καθώς και της επίδρασης των διαφόρων θεραπευτικών παρεμβάσεων και παθολογικών καταστάσεων στον μεταβολισμό του εγκεφάλου.

Η τριφωσφορική αδενosίνη (adenosine triphosphate, ATP) είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας για τον μεταβολισμό και η παραγωγή της εξαρτάται από την γλυκόλυση και την οξειδωτική φωσφορλίωση. Όταν η παροχή οξυγόνου είναι ανεπαρκής, επηρεάζεται η οξειδωτική φωσφορλίωση, ελαττώνεται η συγκέντρωση του ATP και ο μεταβολισμός επιβραδύνεται. Στο τέλος της αναπνευστικής αλυσίδας, με αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων, τα άτομα υδρογόνου συνδέονται με οξυγόνο και σχηματίζουν νερό. Αυτή η διαδικασία πετυχαίνεται με έναν καταλύτη, το κυτόχρωμα αα3 το οποίο είναι το τελευταίο μέλος της μιτοχονδριακής αναπνευστικής αλυσίδας (σχήμα 10).



Σχήμα 10.

Με την αντίδραση $1/2 O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O$ γίνεται η χρησιμοποίηση σχεδόν όλου του O_2 στο σώμα. Όταν το O_2 δεν είναι διαθέσιμο στο κυττόχρωμα αα3, η ποσότητα του ενζύμου ελαττώνεται, ο ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων επιβραδύνεται και η οξειδωτική φωσφορλίωση ελαττώνεται. Αυτό προκαλεί πτώση της συγκέντρωσης του ATP. Ελέγχοντας λοιπόν τις διακυμάνσεις της οξυγόνωσης της αιμοσφαιρίνης και το κυττόχρωμα αα3, διακρίνουμε και τις μεταβολές της οξειδωτικής φωσφορλίωσης. Το κυττόχρωμα αα3 είναι η θέση όπου συμβαίνει το 95% της κατανάλωσης O_2 . Η κατάσταση λοιπόν του κυττοχρώματος αα3 αντανακλά άμεσα την διαθεσιμότητα του ενδοκυττάρου O_2 . Η δυνατότητα ελέγχου της συγκέντρωσης του κυττοχρώματος αα3 στον εγκέφαλο με την υπέρυθρη φασματοσκοπία, μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την διαθεσιμότητα του ενδοκυττάρου O_2 , ενώ η μέτρηση της HbO_2 και της Hb θα μας δώσει πληροφορίες σχετικά με την παροχή του O_2 . Αν για παράδειγμα ο ιστός δεν τροφοδοτείται επαρκώς με O_2 , αυτό θα φανεί από την δεοξυαιμοσφαιρίνη και την ελάττωση του κυττοχρώματος αα3. Αν από την άλλη πλευρά η μεταφορά ηλεκτρονίων διακόπτεται π.χ. λόγω έλλειψης γλυκόζης, το κυττόχρωμα αα3 θα είναι πολύ οξειδωμένο.

Η διαπερατότητα του ορατού φωτός στους βιολογικούς ιστούς είναι μικρή, λιγότερη από 1εκ, ενώ στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (700 - 1000nm) η απορρόφηση από τους ιστούς εξασθενίζει και έτσι το υπέρυθρο φως μπορεί να διαπερνά και να εισχωρεί σε αρκετό βάθος. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται επιβίβαση και η φασματοσκοπία του ανακλώμενου φωτός διά μέσου ανέπαφων οργάνων *in vivo*. Στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος απορροφούν τρεις μόνον χρωστικές στον εγκεφαλικό ιστό, η δεοξυαιμοσφαιρίνη (HbO_2), η δεοξυαιμοσφαιρίνη (Hb) και το κυττόχρωμα αα3 και οι αλλαγές στην συγκέντρωσή τους μπορούν άμεσα να διακριθούν με την υπέρυθρη φασματοσκοπία.

Τα φάσματα απορρόφησης της HbO_2 , της Hb και του οξειδωμένου κυττοχρώματος αα3 στους ιστούς είναι ευρέα και επικαλύπτονται μεταξύ τους. Έτσι σ' ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος οι αλλαγές στη μετρούμενη απορρόφηση μπορούν να αντανακλούν αλλαγές στην οξυγόνωση είτε της αιμοσφαιρίνης είτε του κυττοχρώματος αα3. Αυτό το εμπόδιο για την διάκριση της κάθε χρωστικής μπορεί να παρακαμφθεί χρησιμοποιώ-

ντας αλγόριθμους που υπολογίζουν τις τιμές για την HbO_2 , την Hb και το κυττόχρωμα αα3 χωριστά, συγκρίνοντας τις αλλαγές στην απορρόφηση σε πολλαπλά μήκη κύματος. Εφ' όσον τρία επικαλυπτόμενα φάσματα θα πρέπει να αναλυθούν, απαιτούνται δεδομένα από τουλάχιστον τρία μήκη κύματος για να καθορίσουν την συμμετοχή των τριών χρωστικών που απορροφούν. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι αλγεβρικές εξισώσεις οι οποίες βασίζονται στο πηλίκο απορρόφησης για κάθε χρωστική. Τα πηλίκα αυτά θα πρέπει να υπολογίζονται ανεξάρτητα. Το υπέρυθρο φάσμα για κάθε χρωστική θα πρέπει να υπολογίζεται χωρίς την συμμετοχή των άλλων χρωστικών που σχετίζονται με το O_2 . Τα μήκη κύματος που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι 778, 813 και 867nm. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τέσσερα μήκη κύματος, για να παρέχουν περισσότερο ακριβείς πληροφορίες για την απορρόφηση του υπέρυθρου φωτός και την διασπορά του στο εξεταζόμενο όργανο.

Η θεωρητική βάση για την οπτική μέθοδο που προσδιορίζει την συγκέντρωση μιας διαλυμένης ουσίας, καθορίζεται από τον νόμο των Beer-Lambert ο οποίος εφαρμόζεται σε ομογενή, μη διαχεόμενα υγρά. Για την φωτεινή δέσμη η οποία περνά δι' ενός μέσου το οποίο προκαλεί διάχυση όπως ο εγκέφαλος, χρησιμοποιείται μια τροποποιημένη εξίσωση. Έτσι μπορούμε να γράψουμε:

απορρόφηση (σε οπτική πυκνότητα, optical density, OD)

$$= \log I_0/I = aCLB + G$$

όπου I_0 είναι η πυκνότητα του προσπίπτοντος φωτός,

I : η μεταδιδόμενη πυκνότητα,

a : είναι ο συντελεστής απορρόφησης ($mM^{-1} cm^{-1}$),

C : είναι η συγκέντρωση (mM),

L : η απόσταση μεταξύ της φωτεινής πηγής και του ανιχνευτή,

B : είναι ο παράγοντας του μήκους της διαδρομής (μεγαλύτερος από την μονάδα) και

G : είναι ένας παράγοντας που εξαρτάται από την γεωμετρία του ιστού.

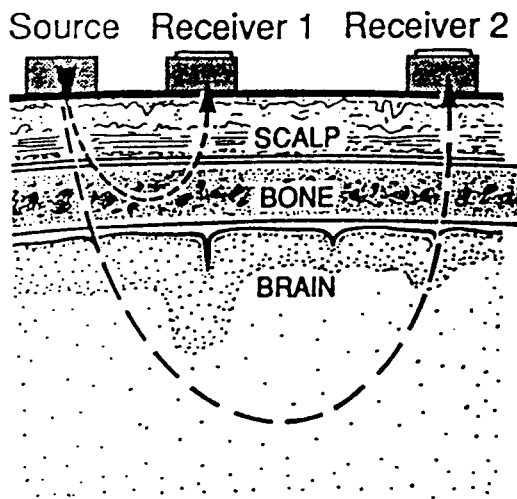
Από την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να εκφράσουμε την αλλαγή (Δ) της οπτικής πυκνότητας (OD) ως εξής:

$$\Delta OD = aLB (\Delta C)$$

Αυτός ο νόμος μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε αρκετές χρωστικές όπως η αιμοσφαιρίνη και το κυττόχρωμα

αα3 στον εγκέφαλο, και έτσι η ολική απορρόφηση είναι ίση με το άθροισμα της απορρόφησης της κάθε χρωστικής. Σε κάθε ένα από τα τρία μήκη κύματος μπορούμε να συσχετίσουμε τις αλλαγές στην ολική οπτική πυκνότητα με τις αλλαγές στην οπτική πυκνότητα που προκαλείται από κάθε χρωστική.

Η πρόπτωση και μεταφορά του φωτός γίνεται με γυάλινες οπτικές ίνες οι οποίες προσαρμόζονται στην κεφαλή. Οι φωτεινές πηγές που χρησιμοποιούνται είναι δίοδοι παλμικού laser στα 778nm, 813nm και 867nm. Η μέγιστη ισχύς είναι περίπου 10 watts με εύρος παλμού γύρω στα 200 ns και συχνότητα επανάληψης 1 KHz η οποία παράγει μια μέση ισχύ λίγων mW. Η μεταδιδόμενη φωτεινή δέσμη προσλαμβάνεται ή από μια φωτοδίοδο ή έναν φωτοενισχυτή (σχήμα 11).



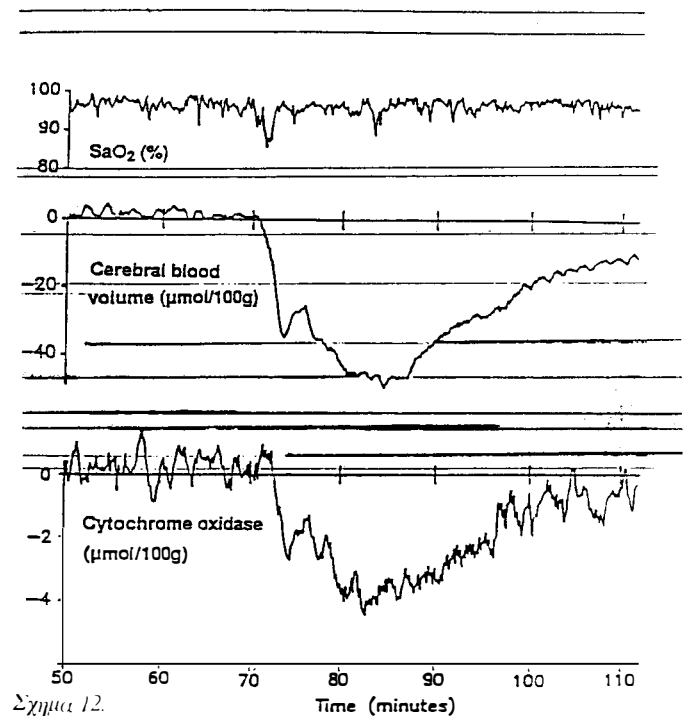
Σχήμα 11. Σχηματική παρουσίαση του αισθητήρα της συσκευής της υπέρυθρης φασματοσκοπίας.

Το σήμα από τον δέκτη είναι απορρυθμισμένο και γι' αυτό ενισχύεται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των διάφορων μεταβολικών αντιδράσεων διά μέσου αλγορίθμων που είναι ενσωματωμένοι στο κύκλωμα. Αναπαράγονται έτσι τεσσάρων ειδών σήματα (συναρτήσεις):

- (α) ΔHb: ελέγχεται η μεταβολή του ποσού του φλεβικού αίματος στον ιστό ή το όργανο,
- (β) ΔHbO₂: η μεταβολή της ποσότητας του αρτηριακού αίματος στον ιστό,
- (γ) ΔBV: η μεταβολή του ολικού ποσού αίματος (όγκος αίματος) στον ιστό (το άθροισμα των δυο πρώτων σημάτων),

(δ) Δαα3: η μεταβολή της κατάστασης του κυττοχρώματος αα3.

Η υπέρυθρη φασματοσκοπία που περιγράφηκε αρχικά χρησιμοποιήθηκε στην μη επεμβατική μελέτη της οξυγόνωσης του εγκεφάλου σε πειραματόζωα. Οι περισσότεροι κλινικοί έλεγχοι έχουν γίνει σε νεογέννητα παιδιά. Προκαταρκτικά ευρήματα σε ασθενή πρόωρα παιδιά δείχνουν ότι οι μεταβολές της συγκέντρωσης του κυττοχρώματος οξειδάση σχετίζονται συχνά με τις αλλαγές του κορεσμού του αρτηριακού αίματος (SaO₂). Ωστόσο όπως είναι αναμενόμενο αυτό δεν συμβαίνει πάντα.



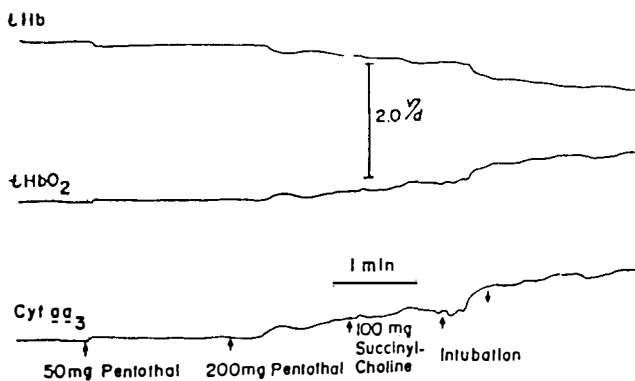
Σχήμα 12.

Το σχήμα 12 δείχνει τα αποτελέσματα από ένα άρρωστο νεογνό όπου ο εγκέφαλος του παρακολουθείται με την υπέρυθρη φασματοσκοπία ενώ ο κορεσμός ελέγχεται με το παλμικό οξύμετρο στο χέρι του παιδιού. Η καταγραφή δείχνει ότι για μια περίοδο 30 λεπτών όταν το κυττόχρωμα αα3 ελαττώνεται ο κορεσμός του αίματος ουσιαστικά δεν μεταβάλλεται. Αυτό το επεισόδιο παρουσιάζεται για να υποδηλώσει ότι ο έλεγχος της κατάστασης του κυττοχρώματος αα3 μπορεί να διακρίνει την ιστική υποξία ενώ το συμβατικό monitoring αποτυγχάνει. Οι παράγοντες που προκαλούν μεταβολές των σημάτων που λαμβάνονται φαίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

- Αύξηση της δεοξυαιμοσφαιρίνης
 - Ελάττωση του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης
 - Απόφραξη της φλεβικής επιστροφής αίματος από τον εγκέφαλο
 - Αύξηση της ροής μη κορεσμένου αίματος
 - Αύξηση της συγκέντρωσης της δεοξυαιμοσφαιρίνης
- Αύξηση της οξυαιμοσφαιρίνης
 - Αύξηση του κορεσμού σε οξυγόνο
 - Αύξηση της εγκεφαλικής αιματικής ροής
 - Αύξηση της συγκέντρωσης της οξυαιμοσφαιρίνης
- Αύξηση του όγκου αίματος
 - Αύξηση της αιματικής εγκεφαλικής ροής
 - Απόφραξη της φλεβικής επιστροφής αίματος από τον εγκέφαλο
 - Αύξηση της συγκέντρωσης της αιμοσφαιρίνης
- Αύξηση της οξειδωσης του κυττοχρώματος αα3
 - Αύξηση της προσφοράς οξυγόνου στα κύτταρα
 - Αύξηση της μεταβολικής δραστηριότητας των κυττάρων με επάρκειο οξυγόνου
 - Ελάττωση της παροχής ηλεκτρονίων στην αναπνευστική αλυσίδα



Σχήμα 13. Καταγραφή των μεταβολών της δεοξυαιμοσφαιρίνης (Hb), της οξυαιμοσφαιρίνης (HbO₂) και του κυττοχρώματος αα3 (Cyt aa3) κατά την εισαγωγή στην αναισθησία με θειοπεντάλη.

Κλινικές παρατηρήσεις σε ασθενείς που έλαβαν αναισθησία για διάφορες χειρουργικές επεμβάσεις έδειξαν ότι κατά την εισαγωγή στην αναισθησία με χορήγηση θειοπεντάλης και 100% οξυγόνο, αυξάνονται τόσο η HbO₂ όσο και το κυττόχρωμα αα3 ενώ ελαττώνεται η Hb (σχήμα 13), δηλαδή βελτιώνεται η οξυγόνωση του

εγκεφαλικού ιστού και πιθανά μειώνεται η κατανάλωση (πτώση του εγκεφαλικού μεταβολικού ρυθμού για το O₂). Αντίθετα σε ασθενείς που έγινε εισαγωγή στην αναισθησία με ψηλές δόσεις φεντανύλης δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στην οξειδωτική κατάσταση του κυττοχρώματος αα3. Η αιφνίδια διεγχειρητική υπόταση φαίνεται επίσης να μειώνει γρήγορα τα επίπεδα του οξειδωμένου κυττοχρώματος αα3. Αυτό εμφανίζεται δε πριν ακόμη γίνει αντιληπτή η πτώση της αρτηριακής πίεσης με τις συμβατικές μεθόδους ελέγχου.

Από τις πρώτες παρατηρήσεις γίνεται εμφανές ότι η υπέρυθρη φασματοσκοπία προσφέρει στον αναισθησιολόγο ένα άμεσο και μη επεμβατικό έλεγχο της οξυγόνωσης του εγκεφάλου. Σήμερα είναι διαθέσιμη μια συσκευή που ενσωματώνει τις παραπάνω δυνατότητες παρουσιάζοντας σε οθόνη καθοδικών ακτίνων τις μεταβολές στο χρόνο της Hb, της HbO₂, του κυττοχρώματος αα3 και της ολικής Hb.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Christian Werner, Eberhard Kochs: Monitoring of the central nervous system. *Current Opinion in Anaesthesiology* 1994, 7: 401-408.
 2. Robert William Brown: Continuous Monitoring of Cerebral Hemoglobin Oxygen Saturation. *International Anesthesiology Clinics*. 1993 3:141-158.
 3. Cooper and Stirt: Monitoring. *Manual of Neuroanesthesia*, 1989.
 4. Susan Black, Roy F. Cucchiara: Neurologic Monitoring. R.Miller: *Anesthesia*. 3rd Ed. p. 1185-1204. New York, Churchill Livingstone, 1990.
 5. D.S. Prough: Cerebral Circulatory Monitoring. Update in *Intensive Care and Emergency Medicine*, 1991.
 6. L. Dana De Witt, Lawrence R. Wechsler: Transcranial Doppler. *Stroke* 1988 7:915-921
 7. Αριστέιδης Δ. Κάζης: *Ηλεκτροεγκεφαλογραφία*, 1983.
 8. Patrick W. McCormick et al: Regional Cerebrovascular Oxygen Saturation Measured by Optical Spectroscopy in Humans. *Stroke* 1991, 22:596-601.
 9. D.N.F. Harris, S.M. BAILEY: Near infrared spectroscopy in adults. *Anaesthesia*, 1993, 48: 694-696
-