

# Διακρανιακό Doppler

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΒΑΚΑΛΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το διακρανιακό Doppler (TCD) είναι μία τεχνική αναίμακτη, παρακλίνεια, χωρίς επιπλοκές η οποία μπορεί να επαναληφθεί και η οποία ανιχνεύει και παρουσιάζει ως κυματομορφή τις ταχύτητες ροής των μεγάλων εγκεφαλικών αρτηριών.

Η αξιοπιστία της μεθόδου βασίζεται στην γνώση των παραμέτρων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα, στην ορθή εφαρμογή της τεχνικής και στην εμπειρία του εξεταστή.

Τα αποτελέσματα της TCD εξέτασης είναι χρήσιμα στην χάραξη θεραπευτικής στρατηγικής σε ασθενείς με σοβαρή κρανιοεγκεφαλική κάκωση όχι ως αξιόπιστος μη επεμβατικός τρόπος ορισμού συγκεκριμένης αριθμητικής τιμής ICP, αλλά με την έννοια της εκτίμησης των μεταβολών της CPP και της εκτίμησης της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης. Η τεχνική είναι σε θέση να υποδείξει την παρουσία εγκεφαλικού θανάτου και την χρονική στιγμή διενέργειας των κλινικών δοκιμασιών. Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την διάγνωση και παρακολούθηση της εξέλιξης της πορείας του αγγειόσπασμου, ενώ προσφέρει πληροφορίες για την επάρκεια αιματικής ροής σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις.

**Λέξεις Κλειδιά:** διακρανιακό Doppler, monitoring

## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στα μέσα του 1800 πρώτος ο Christian Andreas Doppler περιέγραψε το φαινόμενο της αντίληψης του ήχου με διαφορετική συχνότητα από την εκπέμπόμενη, όταν η πηγή βρίσκεται σε κίνηση ή όταν αντανακλάται σε επιφάνεια που βρίσκεται σε κίνηση, το οποίο φαινόμενο έλαβε και το όνομα του. Το 1972 χρησιμοποιήθηκε η τεχνική για την απεικόνιση αιμοφόρων αγγείων, ενώ η διακρανιακή εφαρμογή του φαινομένου περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Aaslid το 1982 ως τεχνική με την οποία είναι δυνατόν να απεικονιστούν σε κυματομορφή και να μετρηθούν οι ταχύτητες ροής των μεγάλων εγκεφαλικών αρτηριών. Είναι μία

τεχνική αναίμακτη, παρακλίνια, χωρίς επιπλοκές και είναι δυνατόν να επαναληφθεί όσες φορές κρίνεται απαραίτητο.

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

### Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

Ως υπερηχογραφική τεχνική βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο η εφαρμογή ηλεκτρικής ενέργειας σε υλικά με χαρακτηριστικά κρυστάλλων έχει ως αποτέλεσμα αντίδραση των υλικών με τη μορφή ταλαντώσεων και παραγωγή ηχητικών κυμάτων. Ως υπέρηχοι ορίζονται τα ακουστικά κύματα μεγαλύτερης συχνότη-

τας από αυτή που είναι δυνατόν να αντληφθεί το ανθρώπινο αυτί (40 - 15 000 Hertz), συχνότητας 2 - 15Mhertz. Στη διακρανιακή εφαρμογή γίνεται χρήση μικρής συχνότητας, συνήθως 2 Mhertz, λόγω της μεγάλης απόσβεσης που δημιουργεί ο οστίτης ιστός που θα πρέπει να διαπεραστεί.

### Φαινόμενο Doppler

Ως τεχνική Doppler βασίζεται στο ομώνυμο φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο όταν μία ακτίνα υπερήχων συχνότητας  $F_0$  κατευθύνεται προς ένα αγγείο, αντανακλάται από τα έμμορφα στοιχεία του ρέοντος αίματος με διαφορετική συχνότητα  $F_d$ . Η σχέση μεταξύ τους περιγράφεται από τον τύπο:  $F_d = (2F_0 \cdot V \cdot \cos a) / C$ , όπου  $C$  είναι η ταχύτητα του ήχου στους ιστούς (1540 m/sec), και  $\cos a$  το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης της ακτίνας στο αγγείο. Εάν τα υπόλοιπα είναι γνωστά, είναι δυνατόν να μετρηθεί και να απεικονιστεί σε κυματομορφή η ταχύτητα ροής, ( $V$ ) του αίματος στο αγγείο.

### Κεφαλή των υπερήχων

Η κεφαλή των υπερήχων είναι το φορητό εξάρτημα που περιλαμβάνει τους πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους και λειτουργεί ως μορφομετατροπέας της ηλεκτρικής σε ηχητική ενέργεια και το αντίστροφο. Στην διακρανιακή εφαρμογή χρησιμοποιείται συνήθως η κεφαλή τύπου τομέα (sector), που χαρακτηρίζεται από ριποειδή εκπομπή των υπερήχων σε χαμηλή συχνότητα και δίδει το πλεονέκτημα της διεύθυνσης των υπερήχων από την στενή επιφάνεια του κροταφικού παραθύρου.

**Εγκεφαλικές αρτηρίες που είναι δυνατόν να ανιχνευθούν με την μέθοδο.**

- Μέση εγκεφαλική αρτηρία. (Middle Cerebral

Artery, MCA).

- Πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία. (Anterior Cerebral Artery, ACA).
- Οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία. (Posterior Cerebral Artery, PCA).
- Ενδοκρανια μούρα της έσω καρωτίδας. (Internal Carotid Artery, ICA).
- Οφθαλμική αρτηρία. (Ophthalmic Artery, OA).
- Σιφώνιο της έσω καρωτίδας. (SIPHON).
- Βασική αρτηρία. (Basilar Artery, BA).

### Μετρούμενα μεγέθη:

Με την τεχνική απεικονίζεται σε δύο διαστάσεις κυματομορφή, όπου στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται ο χρόνος και στον κάθετο η ταχύτητα ροής ή η διαφορά συχνότητας, ενώ η διαφορά στην ένταση παρουσιάζεται ως διαβάθμιση της φωτεινότητας ή του χρώματος. Στην οθόνη παρουσιάζεται ένας "φασματικός φάκελος" το άνω όριο του οποίου αντιστοιχεί στην μεταβολή της ταχύτητας ροής ανάλογα με τον καρδιακό κύκλο.

Από την κυματομορφή μπορούν να μετρηθούν άμεσα:

- Η μέγιστη ταχύτητα ροής  $V_{max}$ .
- Η τελοδιαστολική ταχύτητα ροής  $V_{min}$ .
- Η μέση ταχύτητα ροής,  $V_{mean}$ .

Τα μεγέθη των ταχυτήτων ροής σπανίως ερμηνεύονται ως απόλυτες τιμές, αλλά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ακόλουθων δεικτών, οι οποίοι εκφράζουν ποσοτικά το ποιοτικό μέγεθος της σφυγμικότητας της κυματομορφής:

- Δείκτης σφυγμικότητας, Pulsatility index, (Gosling and King Index).

$$PI = (V_{max} - V_{min}) / V_{mean}$$

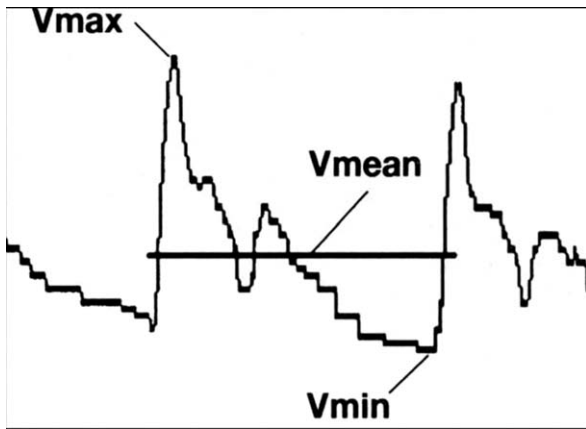
- Δείκτης αντιστάσεων, Resistance Index, (Pourcelot Index).

Αρτηρία	Παράθυρο	Βάθος (cm)	$V_{max}$ (cm/sec)
OA	Οφθαλμικό	40 - 50	16 - 26
MCA	Κροταφικό	35 - 60	46 - 86
ACA	Κροταφικό	60 - 75	41 - 76
PCA	Κροταφικό	60 - 75	33 - 64
VA	Ινιακό	45 - 75	27 - 55
BA	Ινιακό	70 - 120	30 - 57

**Πίνακας 1:** Ανίχνευση αρτηριών και φυσιολογικές τιμές των ταχυτήτων ροής

$$RI = (V_{max} - V_{min})/V_{max}$$

- Λόγος της μέγιστης προς την τελοδιαστολική ταχύτητα ροής  $V_{max}/V_{min}$ .



Εικόνα 1: Μετρούμενα μεγέθη των ταχυτήτων ροής.

## ΤΕΧΝΙΚΗ

### Επιλογή του ακουστικού παραθύρου:

Για την ευχερή διείσδυση των υπερήχων ενδοκρανιακά χρησιμοποιούνται περιοχές στις οποίες το πάχος του οστέινου κρανίου δεν είναι μεγάλο, ή κρανιακά τρήματα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται ακουστικά παράθυρα (acoustic windows) και είναι το παράθυρο του οφθαλμικού κόγχου ή οφθαλμικό (transorbital), του κροταφικού οστού ή κροταφικό (transtemporal) και του ινιακού τρήματος ή ινιακό (transforaminal).

- **Οφθαλμικό παράθυρο.**

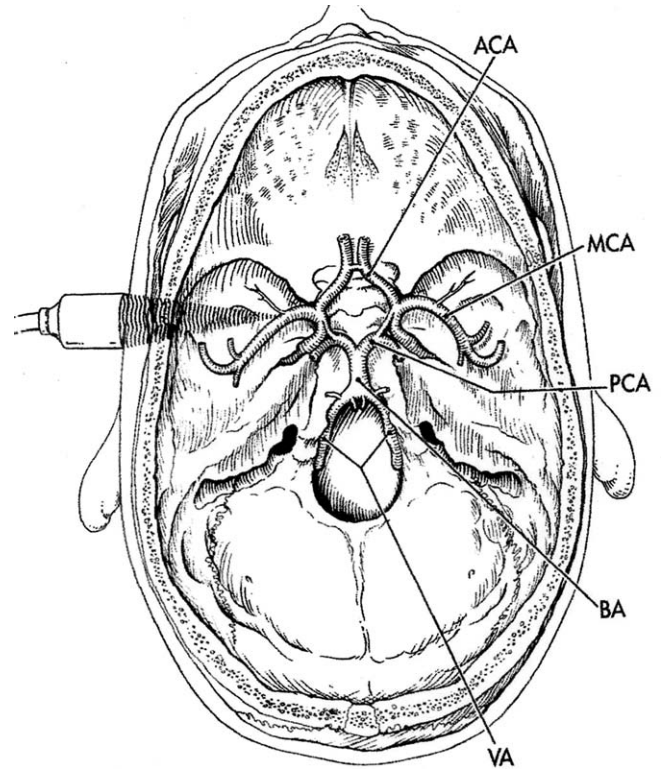
Από το οφθαλμικό παράθυρο είναι δυνατή η ανίχνευση σήματος κυρίως από την οφθαλμική αρτηρία και το σιφώνιο της έσω καρωτίδας ομόπλευρα, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις και από τις πρόσθιες αλλά και την ομόπλευρη μέση εγκεφαλική αρτηρία.

- **Ινιακό παράθυρο**

Από το ινιακό παράθυρο είναι δυνατή η ανίχνευση σήματος από την ενδοκράνια μοίρα των δύο σπονδυλικών αρτηριών και από την βασική αρτηρία.

- **Κροταφικό παράθυρο**

Το κροταφικό παράθυρο αποτελεί το συχνότερα χρησιμοποιούμενο διότι μέσω του οποίου είναι δυνατή η ανίχνευση σήματος από τις ομόπλευρες



Εικόνα 2: Ανίχνευση αρτηριών από το κροταφικό παράθυρο

πρόσθια, μέση και οπίσθια εγκεφαλικές αρτηρίες. Αντιστοιχεί σε περιοχή του κροταφικού οστού άνωθεν του ζυγωματικού και συνήθως στο μέσο τριτημόριο ανάμεσα στον έξω κανθό του οφθαλμού και στον τράγο του αυτιού. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρότερο πάχος και μικρότερες εσωτερικές αναδιπλώσεις της διπλής, ποικίλει σε έκταση ανάλογα με τον ασθενή ενώ σε ποσοστό έως 19 % παρατηρείται αδυναμία διείσδυσης των υπερήχων μέσω αυτής της προσπέλασης.

### Επιλογή διακρανιακής εφαρμογής

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως μόνη εφαρμογή η απλή εκπομπή σήματος Doppler παλμικά. Με την εξέλιξη της τεχνικής παραμένει η κύρια εφαρμογή η οποία δίνει τη δυνατότητα μέτρησης των ταχυτήτων ροής, αλλά πλέον εντάσσεται σε γενικότερο πλαίσιο δισδιάστατης απεικόνισης των ενδοεγκεφαλικών μορφών και αγγείων.

- **B mode imaging**

Η μέθοδος απεικόνισης δύο διαστάσεων (B mode imaging) δίνει την δυνατότητα απεικόνισης παθο-

λογικών μορφών ενδοεγκεφαλικά, όπως ύπαρξης αιματωμάτων ή παρεκτόπισης της μέσης γραμμής, απαιτεί όμως εξαιρετική εμπειρία από τον εξεταστή. Η κύρια όμως χρήση της μεθόδου αποτελεί η εύρεση και η αναγνώριση του κατάλληλου ακουστικού παραθύρου και η αποφυγή απόδοσης της απουσίας ανίχνευσης σήματος σε λόγους άλλους εκτός από την διαπερατότητα του οστού.

#### • Color flow mapping

Η μέθοδος της έγχρωμης χαρτογράφησης ροής (color flow mapping) προσφέρει άμεση απεικόνιση και αντίληψη της σχέσης των αγγείων και της πορείας τους και καθιστά την ταυτοποίηση των αγγείων ευκολότερη, χωρίς την χρήση πινάκων κατεύθυνσης ροής και βάθους δειγματοληψίας και χωρίς την χρήση του επικίνδυνου στιγμιαίου αποκλεισμού ρου καρωτιδικού ή του σπονδυλοβασικού συστήματος. Με την μέθοδο, καθίσταται επίσης δυνατός ο ακριβής ορισμός της γωνίας πρόσπτωσης των υπερήχων στο αγγείο και η οριοθέτηση του μεγέθους δειγματοληψίας στο υπό εξέταση αγγείο, δεδομένα που προσφέρουν στην αξιοπιστία του μετρούμενου μεγέθους των ταχυτήτων ροής και της μείωσης της σχέσης θορύβου προς σήματος.

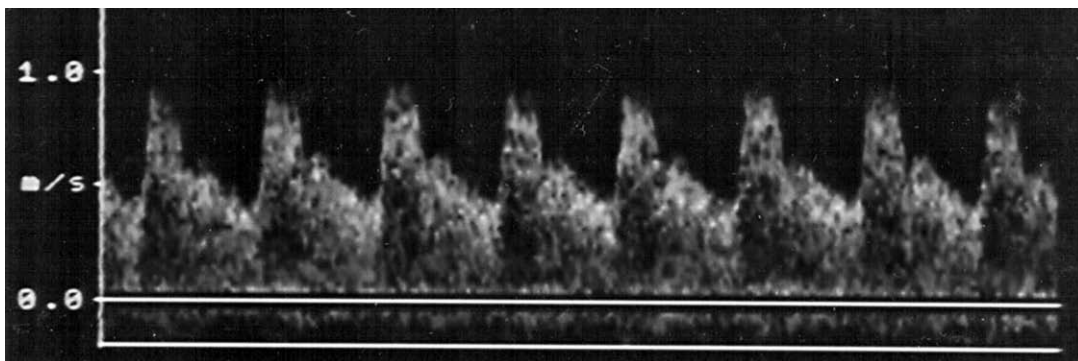
#### • Pulsed wave Doppler

Η μέθοδος της εκπομπής απλού σήματος Doppler παλμικά (pulsed wave Doppler) είναι αυτή που δίνει την δυνατότητα απεικόνισης της κυματομορφής και μέτρησης των μεγεθών των ταχυτήτων ροής σε καθορισμένο όγκο δειγματοληψίας και σε συγκεκριμένη απόσταση από την πηγή των υπερήχων. Με την μέθοδο είναι δυνατή η τελική ταυτοποίηση της αρτηρίας, η μέτρηση σε συγκεκριμένη

θέση του αγγείου, η μείωση της σχέσης θορύβου προς σήματος, η παρακολούθηση των ταχυτήτων ροής κατά μήκος του αγγείου και η τελική σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Μειονέκτημα της μεθόδου σε σχέση με την συνεχή εκπομπή αποτελεί το σφάλμα διπλογραφίας (aliasing), που έχει όμως στην διακρανιακή εφαρμογή μάλλον θεωρητικό χαρακτήρα λόγω του χαμηλού, εκτός από εξαιρέσεις, μεγέθους των ταχυτήτων ροής.

#### Επιλογή της υπό εξέταση αρτηρίας

Η μέση εγκεφαλική αρτηρία εκφύεται πλάγια από τον κύκλο του Willis και κατευθύνεται προς το κροταφικό οστό. Ιδιαίτερα το αρχικό της τμήμα M1 έχει κατεύθυνση προς το κροταφικό παράθυρο και τον μορφομετατροπέα σχεδόν με μηδενική γωνία, επιτρέποντας σχεδόν μηδενική γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας των υπερήχων. Το τμήμα αυτό δεν γειτνιάζει με άλλη μεγάλη εγκεφαλική αρτηρία ούτε παρουσιάζει σημαντικές διακλαδώσεις με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα ταυτοποίησης. Μέσω της μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας διοχετεύεται το 80% του αίματος που αρδεύει το ημισφαίριο με αποτέλεσμα το σήμα να εμφανίζεται ισχυρό και η αναλογία θορύβου προς σήματος να αναμένεται μικρή, ενώ και οι μετρήσεις να αφορούν μεγάλο τμήμα του εγκεφαλικού οστού και η αξιολόγηση τους να είναι η ανάλογη. Η ευκολία ανίχνευσης λόγω του μεγέθους, η μικρή σχέση θορύβου προς σήματος, η ευκολία ταυτοποίησης λόγω της μοναδικότητας στο βάθος, η αξιόπιστη μέτρηση του μεγέθους των ταχυτήτων ροής λόγω μικρής γωνίας πρόσπτωσης και η σημαντική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καθιστούν την ανίχνευση του σήματος της μέσης



Εικόνα 3: Φυσιολογική κυματομορφή των ταχυτήτων ροής με εκπομπή απλού σήματος Doppler.



εγκεφαλικής πρώτη προτεραιότητα στην εξέταση με διακρανικό Doppler.

### ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

Ο εξεταστής λαμβάνει συνήθως θέση πίσω από την κλίνη του ασθενή. Πριν την εφαρμογή του μορφομετατροπέα στο ακουστικό παράθυρο διενεργείται επάλειψη της επιφάνειας του με κατάλληλη για την υπερηχογραφία γέλη επαφής (contact gel) ώστε να αποφευχθεί η ύπαρξη αέρα ανάμεσα στην συσκευή και στο δέρμα. Για την ακριβή ερμηνεία της εξέτασης όσον αφορά την εκτίμηση της εγκεφαλικής πίεσης διήθησης, όλοι οι παράγοντες οι οποίοι είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις ταχύτητες ροής όπως η αυξομείωση της αρτηριακής πίεσης, της τιμής του  $\text{PaCO}_2$ , της θέσης του θώρακα, της κεφαλής αλλά και των παραγόντων που επηρεάζουν την ενδοθωρακική πίεση καταβάλλεται προσπάθεια να παραμείνουν σταθεροί για χρονικό διάστημα περίπου 15 λεπτών πριν την εξέταση. Για την μείωση του κινδύνου της υποκειμενικότητας, επιλέγεται η κυματομορφή με την μικρότερη σχέση θορύβου προς σήματος και με την μικρότερη περιοδικότητα.

#### Αξιοπιστία της μεθόδου:

**Παράμετροι που επηρεάζουν το πραγματικό μέγεθος των ταχυτήτων ροής.**

- **Η μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στο αρτηριακό αίμα ( $\text{PaCO}_2$ )**

Η υπερκαπνία έχει ως αποτέλεσμα την διάταση των αρτηριών στο εγκεφαλικό δίκτυο, την μείωση των αρτηριακών αντιστάσεων και αύξηση της CBF. Αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή αγγειοσύσπαση, αύξηση των αντιστάσεων ροής και μείωση του CBF προκαλεί η υποκαπνία.

- **Η τιμή του αιματοκρίτη**

Η τιμή του αιματοκρίτη είναι ο κύριος παράγοντας ο οποίος καθορίζει την γλοιότητα του αίματος. Είναι γνωστό ότι υπάρχει αντίστροφη σχέση ανάμεσα στον αιματοκρίτη και στην CBF. Ανάλογη αντίστροφη σχέση τεκμηριώθηκε και ανάμεσα στον αιματοκρίτη και στις ταχύτητες ροής.

- **Η ηλικία**

Με την πρόοδο της ηλικίας παρατηρείται προοδευτική μείωση της CBF. Ανάλογα, έχει διαπιστωθεί μείωση των ταχυτήτων ροής και μάλιστα γραμμική με την πρόοδο της ηλικίας, έως ποσοστού της τάξης του 20 % στην ηλικία των 70 ετών σε σχέση με την ηλικία των 20 ετών.

**Παράμετροι που επηρεάζουν το φαινόμενο (μετρούμενο) μέγεθος των ταχυτήτων ροής.**

- **Η γωνία πρόσπτωσης**

Η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης των υπερήχων στις περισσότερες των περιπτώσεων αναμένεται μικρότερη από 30ο ιδιαίτερα στην μέση εγκεφαλική αρτηρία αλλά και στο αρχικό τμήμα της πρόσθιας εγκεφαλικής, στην σπονδυλική αρτηρία και στην βασική αρτηρία. Οι διαφορές επομένως ανάμεσα στην οριζόμενη και τη πραγματική γωνία πρόσπτωσης δεν αναμένεται, εκτός εξαιρέσεων, να είναι μεγάλες. Ωστόσο όταν αυτό δεν συμβαίνει λόγω παθολογίας ή απόκλισης από το φυσιολογικό και η γωνία δεν έχει μετρηθεί αλλά έχει οριστεί κατά συνθήκη, το μετρούμενο μέγεθος των ταχυτήτων ροής είναι δυνατόν να αποκλίνει σημαντικά από το πραγματικό.

- **Το μέγεθος δειγματοληψίας**

Εάν το μέγεθος δειγματοληψίας είναι μεγάλο τότε το σήμα θα περιλαμβάνει όλο το φάσμα των ταχυτήτων ροής με κίνδυνο να χαρακτηριστεί αυτή λανθασμένα ως στροβιλώδης όπως σε περιοχή στένωσης. Εάν το μέγεθος δειγματοληψίας είναι μικρό είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μόνο την παρατοιχωματική περιοχή με κίνδυνο υποεκτίμησης της ταχύτητας ροής.

- **Η ισχύς του σήματος**

Η άστοχη αύξηση της ισχύος του σήματος (gain) οδηγεί σε αύξηση της σχέσης θορύβου προς σήματος ενώ η άστοχη μείωση του είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μη απεικόνιση των υψηλότερων ταχυτήτων ροής στο ανιχνευόμενο φάσμα.

- **Η διαφορά ανάμεσα σε διαδοχικές εξετάσεις.**

Οι διαφορές από εξέταση σε εξέταση με διαφορά ημερών σε φυσιολογικές συνθήκες δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά. Οι διαφορές στις κατα-

γραφόμενες τιμές σε διαδοχικές εξετάσεις από τον ίδιο εξεταστή παρουσιάζουν μικρό συντελεστή μεταβλητότητας (coefficient of variation), με μικρότερο αυτόν της μέγιστης ταχύτητας ροής στην μέση εγκεφαλική 10.2% και μεγαλύτερο αυτόν της μέσης ταχύτητας ροής στην βασική αρτηρία 17.5%.

#### • Η διαφορά ανάμεσα σε διαφορετικούς εξεταστές.

Η εξέταση με διακρανιακό Doppler, ως υπερηχογραφική μέθοδος, είναι εξαρτώμενη από τον εξεταστή και είναι λογικό να παρατηρείται μία μεταβλητότητα στις τιμές, η οποία όμως δεν είναι μεγάλη. Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι 7.5% όταν οι εξετάσεις διενεργήθηκαν την ίδια ημέρα και 13.2% όταν διενεργήθηκαν με διαφορά ημερών.

#### Παράμετροι που επηρεάζουν την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων

##### • Ταυτοποίηση των αρτηριών

Ο κύκλος του Willis όπως περιγράφεται στην ανατομία συναντάται στο 50% του πληθυσμού. Στο υπόλοιπο 50% υπάρχει κάποια διαφοροποίηση, με συνηθέστερες την απουσία της πρόσθιας αναστομωτικής και υποπλασία κάποιας πρόσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας, ενώ η μέση εγκεφαλική δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις σε μεγάλη συχνότητα. Για την ακριβή ταυτοποίηση απαιτείται η σωστή αξιολόγηση οδηγών σημείων, όπως ο διχασμός της έσω καρωτίδας, ο διχασμός της βασικής αρτηρίας, το σιφώνιο της έσω καρωτίδας και ο τριχασμός της μέσης εγκεφαλικής, λαμβάνεται υπόψη το βάθος της δειγματοληψίας, η κατεύθυνση της ροής και η σχέση με άλλες αρτηρίες, ενώ συχνά χρησιμοποιούνται τεχνικές συμπίεσης.

Κατά την συμπίεση της σύστοιχης καρωτίδας εξωκρανιακά προκαλείται μείωση της ταχύτητας ροής στην σύστοιχη έσω καρωτίδα και αύξηση στην αντίστοιχη λόγω ενεργοποίησης παράπλευρης κυκλοφορίας από το αντίστοιχο καρωτιδικό σύστημα. Η τυπική αυτή απάντηση βοηθά στην ταυτοποίηση του σήματος με συγκεκριμένη αρτηρία Ωστόσο σε ποσοστό έως 11% η συμπίεση προκαλεί μείωση της ταχύτητας ροής και στην αντί-

στοιχη μέση εγκεφαλική. Η μείωση στην σύστοιχη μέση είναι δυνατόν να είναι πολύ μικρή λόγω μη αποτελεσματικής συμπίεσης και διακοπής της ροής στην καρωτίδα, ενώ συχνά είναι τόσο μεγάλη που να είναι δύσκολο να ανιχνευτούν οι εξαιρετικά χαμηλές ταχύτητας ροής, με αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις αβεβαιότητα στην ταυτοποίηση.

Η συμπίεση σε σπονδυλική αρτηρία για την ταυτοποίηση αρτηριών του σπονδυλοβασικού συστήματος καλείται να προσφέρει ζωτικότερες πληροφορίες λόγω έλλειψης οδηγών σημείων στην περιοχή, αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματική διότι είναι έμμεση. Επιπλέον στην περίπτωση που η οπίσθια εγκεφαλική αποτελεί άμεσο κλάδο της σύστοιχης έσω καρωτίδας, η τεχνική είναι δυνατόν να οδηγήσει σε εσφαλμένη ταυτοποίηση. Για την ορθή ταυτοποίηση των αρτηριών θεωρείται πολύ σημαντική η χρήση του έγχρωμου χάρτη ροής πριν την εφαρμογή της εκπομπής του σήματος Doppler.

##### • Κυκλοφορία στις εξωκρανιακές αρτηρίες

Η ύπαρξη στένωσης στο καρωτιδικό σύστημα εξωκρανιακά είναι δυνατόν να δημιουργήσει λάθος εκτιμήσεις όσον αφορά την εγκεφαλική κυκλοφορία και κυρίως την εκτίμηση της υπεραιμίας. Η στένωση στην καρωτίδα εξωκρανιακά είναι δυνατόν να έχει ως αποτέλεσμα μείωση της ταχύτητας ροής στην σύστοιχη μέση εγκεφαλική αρτηρία και αύξηση στην αντίστοιχη λόγω ενεργοποίησης της παράπλευρης κυκλοφορίας από την αντίστοιχη έσω καρωτίδα. Η μείωση σύστοιχα είναι δυνατόν να ερμηνευθεί εσφαλμένα ως αποτέλεσμα και όχι ως αιτία της μείωσης της ροής, ενώ η αύξηση αντίστοιχα ως αποτέλεσμα αγγειόσπασμου ή ως τοπικής στένωσης. Ανάλογα προβλήματα ερμηνείας είναι δυνατόν να παρουσιαστούν στην αξιολόγηση των ταχυτήτων ροής στις σπονδυλικές αρτηρίες και στην βασική στην σπανιότερη κλινική κατάσταση της υποκλοπής αίματος από την υποκλειδίο αρτηρία.

##### • Σταθερή κατάσταση του εξεταζόμενου κατά την διάρκεια της εξέτασης

Για την ακριβή ερμηνεία της εξέτασης όσον αφορά την μεταβολή μίας παραμέτρου όπως της ICP, συνιστάται οι υπόλοιπες παράμετροι οι

οποίες επηρεάζουν τόσο το μέγεθος των ταχυτήτων ροής όσο και την μορφολογία της κυματομορφής και τους υπολογιζόμενους δείκτες να παραμένουν σταθεροί. Οι παράμετροι αυτοί είναι η μέση αρτηριακή πίεση αλλά κυρίως η τιμή του PaCO<sub>2</sub> οι οποίοι θα πρέπει να παραμένουν σταθεροί τόσο κατά τη διάρκεια της εξέτασης όσο και για χρονικό διάστημα πριν από αυτή.

#### • Η εμπειρία του εξεταστή

Η εξέταση με υπερήχους είναι τόσο πιο αξιόπιστη όσο μεγαλύτερη είναι η εμπειρία του εξεταστή. Αυτό ισχύει και στην εξέταση με εκπομπή απλού σήματος Doppler λόγω της απουσίας απεικόνισης στον χώρο. Ο εξεταστής βασιζόμενος στην εμπειρία του ταυτοποιεί το σήμα σε συγκεκριμένη αρτηρία, τόσο σε φυσιολογική ανατομία όσο και σε επηρεασμένη. Κατευθύνει την ακτίνα των υπερήχων στο υπό εξέταση αγγείο με όσο το δυνατόν μικρότερη γωνία πρόσπτωσης και τροποποιεί το μέγεθος δειγματοληψίας ώστε να μειωθεί η σχέση θορύβου προς σήματος. Αυτά τα βήματα είναι απαραίτητα για την περαιτέρω ορθή ερμηνεία του αποτελέσματος και στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί απεικονιστική μέθοδος όπως η χαρτογράφηση ροής στηρίζονται αποκλειστικά στην εμπειρία του εξεταστή. Επιπλέον ένα αδιαπέραστο κροταφικό παράθυρο οδηγεί στην αναγκαιότητα της χρήσης του οφθαλμικού ή του ινιακού ακουστικού παράθυρου, τα οποία όμως απαιτούν μεγάλη εμπειρία και τρισδιάστατη αντίληψη των αρτηριών στον χώρο από τον εξεταστή. Ένα μικρό σε έκταση κροταφικό παράθυρο είναι δυνατόν να μην επιτρέψει την ανίχνευση σήματος από αρτηρίες άλλες πλην της μέσης εγκεφαλικής, ενώ το αυξημένο πάχος του οστού είναι δυνατόν να απαιτήσει αύξηση του μεγέθους δειγματοληψίας και αύξηση της σχέσης θορύβου προς σήματος.

#### ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΚΡΑΝΙΑΚΟ DOPPLER

Η διακρανιακή εξέταση Doppler (TCD) παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα στην εφαρμογή της στην καθημερινή κλινική πρακτική. Αποτελεί παρακλινία εξέταση, αποφεύγοντας τις μετακινήσεις σε βαρέως πάσχοντα ασθενή, είναι αναίμακτη, είναι δυνατόν να επαναληφθεί όσες φορές

χρειαστεί, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί συνεχόμενα για κάποιο χρονικό διάστημα, δεν παρουσιάζει επιπλοκές και ανεπιθύμητες επιδράσεις από την χρήση και δίδει πληροφορίες άμεσα σε πραγματικό χρόνο όχι μόνο για την αιματική ροή, αλλά και για την μεταβολή της ροής σε συγκεκριμένη τοπογραφικά περιοχή (στενώσεις, δυσπλασίες), για συγκεκριμένη χρονική στιγμή (κατάδειξη μικροεμβόλων), αλλά και για την μεταβολή της ροής λόγω μεταβολών στην εγκεφαλική αυτορρύθμιση και στην εγκεφαλική πίεση διήθησης.

#### Εκτίμηση της αιματικής εγκεφαλικής ροής (Cerebral Blood Flow, CBF)

Στο ερώτημα εάν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στην CBF και στις ταχύτητες ροής, η απάντηση είναι ότι υπάρχει αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις, όπως κατέδειξαν μελέτες οι οποίες συγκρίνουν τις ταχύτητες ροής με άλλες μεθόδους μέτρησης και εκτίμησης της CBF, όπως με χρήση Xenon IV και με μαγνητική τομογραφία. Η εξήγηση που προτείνεται περιλαμβάνει την διαφορά ανάμεσα στο πραγματικό και το φαινόμενο μέγεθος των ταχυτήτων ροής ανάλογα με την μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης και στην επίδραση στη μεταβολή των ταχυτήτων ροής όχι μόνο από την ροή αλλά και από την μεταβολή της διαμέτρου του αγγείου, επίδραση που καθιστά την συσχέτιση ανάμεσα στις ταχύτητες ροής και στην ροή αρνητική. Συμπερασματικά, για να επιχειρηθεί συσχέτιση ανάμεσα στις ταχύτητες ροής και στην ροή απαιτείται σταθερή γωνία πρόσπτωσης, σταθερό μέγεθος και θέση δειγματοληψίας στο αγγείο και σταθερή διάμετρος του αγγείου ανάμεσα στις μετρήσεις.

#### Εκτίμηση της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης

Ο όρος εγκεφαλική αυτορρύθμιση (cerebral autoregulation) περιγράφει τους μηχανισμούς με τους οποίους επέρχεται ισορροπία ανάμεσα στην αιματική εγκεφαλική ροή και τις μεταβολικές ανάγκες του εγκεφαλικού ιστού. Η διατήρηση αυτής της ικανότητας είναι σημαντική για την αποφυγή της δευτεροπαθούς εγκεφαλικής βλάβης, ωστόσο συχνά επηρεάζεται μετά από κρανιοεγκεφαλική κάκωση. Η αυτορρύθμιση επιτυγχάνεται με την μεταβολή της διαμέτρου των προτριχοειδικών

αρτηριολίων και ανάλογη μεταβολή των αντιστάσεων ροής και τελικά της αιματικής εγκεφαλικής ροής. Η μεταβολή αυτή δίδει την δυνατότητα διατήρησης σταθερής αιματικής ροής εντός ορισμένων ορίων μεταβολής της τιμής του PaCO<sub>2</sub> και της MAP ή της CPP. Στην πρώτη περίπτωση η αυτορρύθμιση ονομάζεται αντιδραστικότητα στο CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> reactivity) ενώ στην δεύτερη περίπτωση αντιδραστικότητα στην πίεση (cerebrovascular pressure reactivity). Ωστόσο συχνά δεν γίνεται ο απαραίτητος διαχωρισμός και αναφέρονται και οι δύο μηχανισμοί αδιάκριτα με τον γενικό όρο εγκεφαλική αυτορρύθμιση.

#### • Αντιδραστικότητα στο CO<sub>2</sub>

Η εκτίμηση της αντιδραστικότητας στο PaCO<sub>2</sub> είναι δυνατόν να γίνει με την χρήση του διακρανιακού Doppler υπολογίζοντας την εκατοστιαία μεταβολή της Vmean στην MCA για κάθε mm Hg μεταβολής του PaCO<sub>2</sub> ή του τελοεκπνευστικού διοξειδίου (ETCO<sub>2</sub>). Αποδεκτή αντίδραση θεωρείται μεταβολή 2,5% - 5% των ταχυτήτων ροής για κάθε μεταβολή 1 mm Hg στο PaCO<sub>2</sub>. Η αντιδραστικότητα μειώνεται σε ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, με την πρόοδο της ηλικίας και σε ασθενείς με υπέρταση, ενώ αυξάνεται σε σύνδρομο απνοιών ύπνου.

Η μέθοδος στηρίζεται στην παραδοχή ότι η υποκαπνία μειώνει και η υπερχαπνία αυξάνει την διάμετρο των εγκεφαλικών αρτηριολίων, ότι η διάμετρος της MCA παραμένει αμετάβλητη με μεταβολές του CO<sub>2</sub> και ότι οι μεταβολές της Vmean στην μέση εγκεφαλική αρτηρία συσχετίζονται με μεταβολές προς την ίδια κατεύθυνση της CBF, τουλάχιστον όταν η αιτιολογία της μεταβολής της Vmean δεν είναι πολυπαράγοντική.

Στη ΜΕΘ η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η αύξηση του αναπνεόμενου όγκου κατά 20% με σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους του μηχανικού αερισμού και έλεγχο με διακρανιακό Doppler στη MCA πριν και 15 λεπτά μετά από την μεταβολή του αερισμού και καταγραφή της εκατοστιαίας μεταβολής του μεγέθους της σύστοιχης Vmean ή κατά άλλους και του δείκτη σφυγμικότητας PI. Η επιδιωκόμενη μεταβολή του PaCO<sub>2</sub> είναι 6mmHg περίπου. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνονται

η αύξηση της ενδοθωρακικής πίεσης και η συνεπαγόμενη πιθανή πτώση της συστηματικής αρτηριακής πίεσης, η πιθανή αύξηση της ενδοκρανιακής πίεσης, η δημιουργία λειτουργικού νεκρού χώρου και η μεταβολή της συσχέτισης EtCO<sub>2</sub> και PaCO<sub>2</sub>, αλλά και η μη απόλυτα ελεγχόμενη μεταβολή του PaCO<sub>2</sub>.

#### • Αντιδραστικότητα στην πίεση

Η αυτορρύθμιση που σχετίζεται με την πίεση διαχωρίζεται στην στατική όταν η CBF μεταβάλλεται αργά μετά από την μεταβολή της πίεσης και στην δυναμική, όταν η μεταβολή είναι ταχεία ως αποτέλεσμα ταχείας μεταβολής της πίεσης. Η αυτορρύθμιση εκτιμάται με μεταβολές στην αρτηριακή πίεση και μέτρηση των αντίστοιχων μεταβολών των ταχυτήτων ροής στην μέση εγκεφαλική αρτηρία. Η μελέτη της αντιδραστικότητας στην πίεση ακολουθεί δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Της μελέτης των μεταβολών των ταχυτήτων ροής με την αρτηριακή πίεση και με την CPP.

#### • Μελέτη των μεταβολών των ταχυτήτων ροής με την αρτηριακή πίεση

Η μελέτη της εγκεφαλικής αγγειακής αιμοδυναμικής έχει επιχειρηθεί με απότομη μεταβολή της αρτηριακής πίεσης με μηχανικά μέσα, όπως η αιφνίδια άρση της πίεσης σε αεροθαλάμους στα κάτω άκρα και με μελέτη της παροδικής υπεραιμικής απάντησης στην στιγμιαία πίεση και άρση της πίεσης στην σύστοιχη καρωτίδα. Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν αρκετές ανεπιθύμητες ενέργειες και προτιμάται πλέον η ελεγχόμενη αύξηση της μέσης αρτηριακής πίεσης κατά 30% με άνω όριο το θεωρητικό άνω όριο της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης για την CPP, δηλαδή 90 - 100mm Hg με χρήση αγγειοσυσπαστικών φαρμακολογικών παραγόντων. Πριν και μετά την δοκιμασία καταγράφονται η CPP και η Vmean στην μέση εγκεφαλική αρτηρία, ενώ καταβάλλεται προσπάθεια να παραμείνει σταθερή η τιμή του PaCO<sub>2</sub> σε 34mmHg περίπου.

Η στατική αυτορρύθμιση εκτιμάται ως απάντηση σε μικρή 20 - 30 mmHg αύξηση της μέσης αρτηριακής πίεσης με χρήση αγγειοσυσπαστικών μετά από χρονικό διάστημα επίτευξης σταθερής κατάστα-



σης (steady state). Χρησιμοποιείται ο δείκτης αυτορρύθμισης (index of autoregulation), που ορίζεται ως ο λόγος της εκατοστιαίας μεταβολής των εγκεφαλικών αγγειακών αντιστάσεων προς την εκατοστιαία μεταβολή της μέσης αρτηριακής πίεσης ( $CVR = MAP/FV$ ). Τιμή δείκτη 1 υποδεικνύει ακέραιη, ενώ μικρότερη από 0,4 επηρεασμένη αυτορρύθμιση.

Η δυναμική αυτορρύθμιση εκτιμάται ως η άμεση απάντηση σε απότομη μείωση της αρτηριακής πίεσης προκαλούμενη από απότομη άρση της πίεσης σε αεροθαλάμους που εφαρμόζονται και στα δύο κάτω άκρα. Η αρχική μείωση της αρτηριακής πίεσης και των ταχυτήτων ροής είναι ανάλογη, ωστόσο σε ακέραιη αυτορρύθμιση η αύξηση των ταχυτήτων ροής παρατηρείται γρηγορότερα. Η σχέση εκφράζεται με τον δείκτη αυτορρύθμισης (Autoregulation Index, ARI), τιμή του οποίου άνω του 5 υποδεικνύει φυσιολογική αντίδραση.

Η παροδική υπεραϊμική απάντηση (transient hyperaemic response, THR) αποτελεί εναλλακτική αλλά δημοφιλή δοκιμασία εκτίμησης της δυναμικής αυτορρύθμισης. Κατά τον έλεγχο, απαιτείται συνεχής καταγραφή των ταχυτήτων ροής της MCA και σύντομη (3 - 10 sec) συμπίεση της σύστοιχης έσω καρωτίδας, με αποτέλεσμα ταχεία μείωση τόσο των ταχυτήτων ροής όσο και της εγκεφαλικής πίεσης διήθησης, ο οποία φυσιολογικά προκαλεί, στα πλαίσια της αυτορρύθμισης, αγγειοδιαστολή στο αγγειακό δίκτυο περιφερικά της MCA και αύξηση των ταχυτήτων ροής άμεσα με την άρση της πίεσης. Για την εκτίμηση του αποτελέσματος έχουν χρησιμοποιηθεί δύο δείκτες. Ο λόγος των ταχυτήτων ροής μετά και πριν την συμπίεση (THR Ratio) και ο ίδιος λόγος λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές και της αρτηριακής πίεσης (strength of autoregulation, SA). Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η επαναληψιμότητα, η απλότητα, η αποφυγή χρήσης αγγειοσυσπαστικών και η μικρότερη μεταβλητότητα ανάμεσα στις μετρήσεις, καθιστώντας την μέθοδο κατάλληλη για χρήση σε συγκριτικές μετρήσεις. Το κύριο μειονέκτημα είναι ο κίνδυνος εμβολικών επεισοδίων από την συμπίεση της έσω καρωτίδας, ιδιαίτερα σε ασθενείς με προϋπάρχουσα καρωτιδική νόσο.

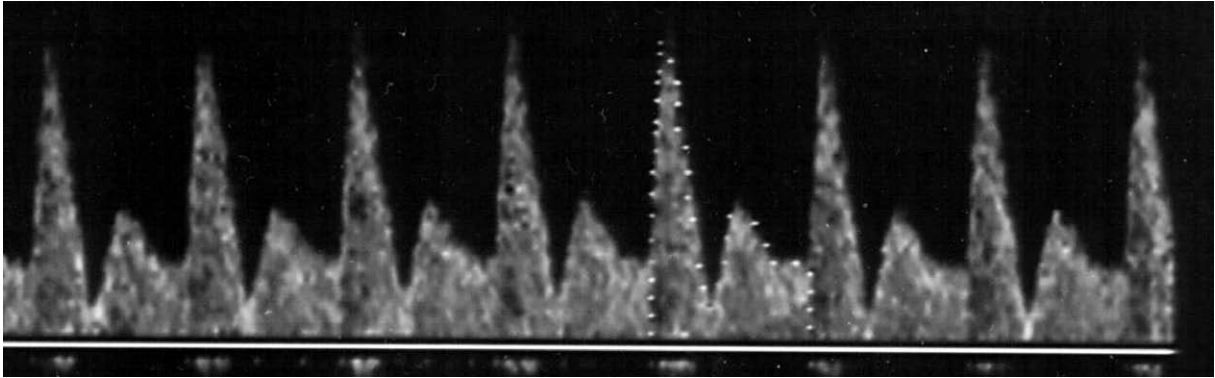
#### • Μελέτη των μεταβολών των ταχυτήτων ροής

#### με την CPP

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, θετική συσχέτιση ανάμεσα στις ταχύτητες ροής και την CPP ερμηνεύεται ως απώλεια της αυτορρύθμισης. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνεται η μη προκλητή αυξομείωση της αρτηριακής πίεσης αλλά η μελέτη των αυτόματων διακυμάνσεων της, η αναφερόμενη προγνωστική αξία και η χρήση της μεθόδου για ορισμό της βέλτιστης CPP σε κάθε χρονική στιγμή της νοσηλείας του κάθε ασθενή. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνονται η ανάγκη για συνεχή καταγραφή αξιόπιστων τιμών ταχυτήτων ροής και CPP, η χρήση πολύπλοκων υπολογιστικών συστημάτων και η μη ομοφωνία για την χρήση του πλέον ενδεδειγμένου δείκτη.

#### Συσχέτιση των ταχυτήτων ροής και των παραγόμενων δεικτών με την ενδοκρανιακή πίεση (Intracranial Pressure, ICP) και με την εγκεφαλική πίεση διήθησης (Cerebral Perfusion Pressure, CPP).

Η μέτρηση της ICP είναι αιματηρή τεχνική, δεν εφαρμόζεται πάντα παρά την ύπαρξη ενδείξεων και στις επιπλοκές της περιγράφονται η αιμορραγία και η επιμόλυνση του καθετήρα, ενώ η αξιοπιστία της ελέγχεται από τις αποκλίσεις μετά από μακροχρόνια παραμονή και από ανισοτιμία κατανομής της πίεσης ιδιαίτερα στους ενδοπαρεγχυματικούς καθετήρες. Η μέτρηση της αρτηριακής πίεσης είναι δυνατόν να παρουσιάσει τεχνικά σφάλματα ή να υποεκτιμηθεί στο επίπεδο του εγκεφάλου λόγω της υψομετρικής διαφοράς της κεφαλής. Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε πολύ ενδιαφέρον εξ αρχής το ενδεχόμενο συσχέτισης των μετρούμενων ή παραγόμενων μεγεθών της TCD εξέτασης τόσο με την ICP όσο και με την CPP. Η πρώτη απόπειρα εκτίμησης της CPP διενεργήθηκε ήδη το 1986 από τον Aaslid, προτείνοντας την συσχέτιση της πρώτης αρμονικής από την κυματομορφή της αρτηριακής πίεσης με τον Ιφασματικό1 δείκτη σφυγμικότητας ο οποίος παράγεται από το κλάσμα της πρώτης αρμονικής της κυματομορφής της ταχύτητας ροής προς την Vmean. Παρόλο που ανευρέθηκε αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση, η μέθοδος παρουσίασε αυξημένο σφάλμα πρόγνωσης. Οι προσπάθειες συνεχίστηκαν με χρήση πολλών μαθηματικών δεικτών



**Εικόνα 4:** Κυματομορφή με αυξημένη σφυγμικότητα, ενδεικτική μειωμένης ενδοκρανιακής ευενδοτότητας.

και μοντέλων με ποικίλα αποτελέσματα, οδηγώντας ωστόσο σε διαπιστώσεις για τους περιορισμούς των μεθόδων.

Η ακριβής εκτίμηση της ICP δεν είναι πάντα εφικτή διότι συχνά υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ICP και στην MAP ανεξάρτητη της CPP ( $= \text{MAP} - \text{ICP}$ ), με αποτέλεσμα μεταβολές στην ICP που δεν επηρεάζουν την CPP να μην επηρεάζουν τις ταχύτητες ροής.

Η ακριβής εκτίμηση της CPP δεν είναι πάντα εφικτή διότι συχνά υπάρχει σχέση ανάμεσα στην CPP και στις αγγειακές εγκεφαλικές αντιστάσεις (CVR) ανεξάρτητη της CBF ( $= \text{CPP}/\text{CVR}$ ), με αποτέλεσμα μεταβολές στην CPP που δεν επηρεάζουν την CBF να μην επηρεάζουν τις ταχύτητες ροής.

Η ακριβής εκτίμηση της CBF με τις ταχύτητες ροής δεν είναι πάντα εφικτή, διότι η συσχέτιση είναι δυνατόν να μεταβληθεί δραματικά, από θετική σε αρνητική, ανάλογα με την εμφάνιση και με το μέγεθος εγκατάστασης αγγειόσπασμου.

Το πλέον σταθερό και προβλέψιμο εύρημα στην μείωση της CPP αποτελεί η μεταβολή του δείκτη PI, ο οποίος εκφράζει την σφυγμικότητα της κυματομορφής, δηλαδή την μεταβολή τόσο του μεγέθους όσο και της ταχύτητας μεταβολής των ταχυτήτων ροής, παρά οι μεταβολές του απόλυτου μεγέθους των ταχυτήτων ροής. Είναι παραδεκτό ότι η αύξηση της σφυγμικότητας αντανακλά αρχικά την μεταβολή της αγγειακής και στην συνέχεια της ενδοκρανιακής ευενδοτότητας και την αύξηση της ICP ή την μείωση της CPP. Στην κυματομορφή παρατηρούμε αντίστοιχα μείωση των διαστολικών ταχυτήτων ροής και τελικά μείωση της Vmin, ενώ

η σημασία της συχνά παρατηρούμενης μεγάλης μείωσης της πρωτοδιαστολικής ταχύτητας ροής δεν έχει ακόμα αποσαφηνισθεί

Η κλινική χρησιμότητα της TCD εξέτασης είναι περισσότερο η εκτίμηση των μεταβολών της CPP και της εγκεφαλικής αιμάτωσης παρά ο μη επεμβατικός υπολογισμός της ICP και της CPP. Υπό αυτή την έννοια δεν προτείνεται ως εναλλακτική μέθοδος μέτρησης της ICP, ωστόσο είναι δυνατόν να συμβάλει στην χάραξη θεραπευτικής στρατηγικής σε περιπτώσεις μη τοποθέτησης του καθετήρα. Σε συνδυασμό, είναι δυνατόν να υποδείξει με επαναλαμβανόμενες συγκριτικές μετρήσεις την βέλτιστη τιμή της CPP η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη σφυγμικότητα της κυματομορφής, αλλά και τον τρόπο αύξησης της CPP, είτε με αύξηση της MAP είτε με μείωση της ICP, ανάλογα με την αποτύπωση της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης.

#### **Διάγνωση αγγειόσπασμου**

Ο αγγειόσπασμος αποτελεί σοβαρή επιπλοκή της αυτόματης υπαραχνοειδούς αιμορραγίας λόγω ανευρύσματος, εμφανίζεται ανάμεσα στην 2η και 12η ημέρα μετά την αιμορραγία και μπορεί να επιδεινώσει την νευρολογική έκβαση. Η μείωση της διαμέτρου του υπό εξέταση αγγείου θα έχει ως αποτέλεσμα αύξηση των μετρούμενων ταχυτήτων ροής εάν η ροή διαμέσου του αγγείου διατηρείται σταθερή. Σε αντίθετη περίπτωση, η ταυτόχρονη μεταβολή της διαμέτρου αλλά και της ροής διαμέσου του αγγείου, θα έχει άλλοτε άλλη επίδραση στο μέγεθος των μετρούμενων ταχυτήτων ροής. Η αγγειογραφία θεωρείται η εξέταση αναφοράς

(gold standard) στην διάγνωση του αγγειόσπασμου, ενέχει όμως καθαυτή τον κίνδυνο περαιτέρω επιδείνωσης της διαταραχής και δεν είναι δυνατόν να επαναλαμβάνεται συχνά. Η TCD εξέταση έχει χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματική και όχι ως εναλλακτική μέθοδος διάγνωσης και παρακολούθησης της εξέλιξης του αγγειόσπασμου, με υψηλή ειδικότητα (85 - 100%) αλλά με περιορισμένη ευαισθησία (59 - 94%), όταν το όριο για την διάγνωση του αγγειόσπασμου τεθεί τιμή υψηλότερη από 120 - 140 cm/sec στη σύστοιχη μέση εγκεφαλική αρτηρία. Στην πράξη, η διάγνωση με την TCD εξέταση είναι συνήθως ορθή, αλλά το αρνητικό αποτέλεσμα δεν αποκλείεται να αποδειχθεί ψευδές. Υψηλότερες τιμές από 200 cm/sec σχετίζονται με σοβαρότερη απεικονιστικά υπαραχνοειδή αιμορραγία και επιδεινωμένη νευρολογική έκβαση, αλλά η μη ανίχνευση ιδιαίτερα υψηλών τιμών δεν αποκλείει την σοβαρότητα του αγγειόσπασμου, όταν αυτός έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ροής διαμέσου του αγγείου. Σε υποψία αγγειόσπασμου συνιστάται να διενεργούνται επαναλαμβανόμενες εξετάσεις, οι οποίες όχι μόνο βελτιώνουν την ευαισθησία της μεθόδου και καθιστούν εφικτή την έγκαιρη διάγνωση, αλλά επιπλέον είναι δυνατόν να καθοδηγήσουν και στην εντατικοποίηση της θεραπείας, σε περίπτωση ταχείας αύξησης των ταχυτήτων ροής. Η σχέση της ταχύτητας ροής της MCA/ICA σύστοιχα (δείκτης Lindegaard), είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για αποκλεισμό της υπεραϊμίας, καθώς τιμή ανώτερη από 3 σχετίζεται με αγγειόσπασμο, ενώ ανώτερη από 6 υποδεικνύει τη σοβαρότητα, ωστόσο η χρήση του δείκτη δεν μεταβάλλει ουσιαστικά την ευαισθησία της μεθόδου με μέτρηση μόνο στην MCA.

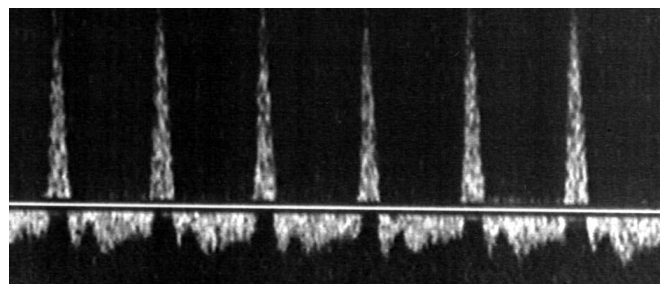
#### Διαπίστωση του εγκεφαλικού θανάτου

Η διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου τίθεται με τις κλινικές δοκιμασίες ελέγχου του εγκεφαλικού στελέχους. Η πορεία της ανεξέλεγκτης ενδοκρανιακής υπέρτασης, παρά την εφαρμογή της ενδεδειγμένης θεραπευτικής αντιμετώπισης, προς τον εγκεφαλικό θάνατο, συνοδεύεται από ευρήματα από την TCD εξέταση που περιλαμβάνουν την μείωση των διαστολικών ταχυτήτων ροής, αύξηση του δείκτη σφυγμικότητας και μείωση χρονικά του

συστολικού επάρματος, έως την ανίχνευση αναστροφής ροής στην διαστολική φάση, την παραμονή μόνο πολύ μικρών σε μέγεθος και σε χρόνο συστολικών επαυμάτων και την εξαφάνιση κάθε ανιχνεύσιμου επάρματος. Οι τρεις τελευταίοι τύποι σχετίζονται με την εγκατάσταση συνθηκών απουσίας ροής εντός του αγγείου και με τον εγκεφαλικό θάνατο, με υψηλή ειδικότητα (100%) και ευαισθησία (96%). Η μη απόλυτη ευαισθησία αφορά κλινικές καταστάσεις καταστροφής του στελέχους άλλες από την ανεξέλεγκτη ενδοκρανιακή υπέρταση. Η διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου μπορεί να υποδειχθεί από την TCD εξέταση, όταν αυτή διενεργείται στα πλαίσια της παρακολούθησης της θεραπευτικής αντιμετώπισης και όχι ως στιγμιότυπο, είτε πριν την έναρξη της αντιμετώπισης είτε ως τελευταία εξέταση με άγνωστη την διαπερατότητα του κρανίου του συγκεκριμένου ασθενούς, υπό την προϋπόθεση ότι τα χαρακτηριστικά ευρήματα παρουσιάζονται σε όλες τις ανιχνεύσιμες αρτηρίες. Ωστόσο δεν προτείνεται ως εναλλακτικός τρόπος διάγνωσης του εγκεφαλικού θανάτου σε σχέση με τις κλινικές δοκιμασίες, ούτε ως εξέταση ενισχυτική των κλινικών δοκιμασιών, η αξιοπιστία των οποίων δεν αμφισβητείται, αλλά μάλλον ως monitor της εξέλιξης της πορείας της ενδοκρανιακής παθολογίας προς τον εγκεφαλικό θάνατο και της υπόδειξης της χρονικής περιόδου διενέργειας των κλινικών δοκιμασιών.

#### Η χρήση της εξέτασης με διακρανιακό Doppler στη διάρκεια νευροχειρουργικών παρεμβάσεων.

Η TCD εξέταση είναι σε θέση να προσφέρει χρήσιμες και αξιόπιστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικών



**Εικόνα 5:** Κυματομορφή με αναστροφή των ταχυτήτων ροής στη διαστολική φάση, ενδεικτική εγκεφαλικού θανάτου.



παρεμβάσεων, οι οποίες είναι δυνατόν να καθοδηγήσουν την χειρουργική και αναισθησιολογική αντιμετώπιση.

Η TCD εξέταση είναι σε θέση να ανιχνεύσει την μείωση της αιματικής ροής στην MCA σύστοιχα με τον αποκλεισμό της καρωτίδας κατά την διάρκεια καρωτιδικής ενδαρτηριεκτομής η οποία έχει ως αποτέλεσμα εγκεφαλική ισχαιμία, με ανάλογη ευαισθησία και ειδικότητα με μεθόδους όπως το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.. Για το λόγο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί ως απεικονιστική μέθοδος καθοδήγησης για την τοποθέτηση παράκαμψης (shunt). Η μείωση της FV > 90% κατά την φάση του αποκλεισμού και η αύξηση του δείκτη PI > 100% κατά την άρση του, σχετίζονται με περιεγχειρητική εμφάνιση ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου. Στην πράξη χρησιμοποιούνται δείκτες που αντιστοιχούν σε μικρότερη μείωση της ροής μετά τον αποκλεισμό, όπως η FV < 30cm/sec ή η μείωση της FV > 50% οι οποίοι παρουσιάζουν ευαισθησία 83 - 92 % και ειδικότητα 49 - 77%. Παρά τη χρήση όμως της καθοδήγησης από την TCD εξέταση της εφαρμογής παράκαμψης, η νοσηρότητα από ισχαιμία δεν επηρεάζεται σημαντικά, ενδεχόμενα διότι η εμφάνιση ισχαιμίας επηρεάζεται επίσης από την ικανότητα αυτορρύθμισης της αιματικής ροής κατά την φάση της επανάρδευσης. Η TCD εξέταση παραμένει ωστόσο αξιόπιστη μέθοδος διαφορικής διάγνωσης ανάμεσα στην απόφραξη της καρωτίδας και την αιμορραγία από υπεράδρευση Η TCD εξέταση είναι δυνατόν να διαπιστώσει την διέλευση μικροεμβόλων από το υπό εξέταση αγγείο, ανιχνεύοντας την στιγμιαία οπτική και ακουστική αλλαγή του σήματος της κυματομορφής

των ταχυτήτων ροής. Η αυξημένη συχνότητα εμβόλων σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο νευρολογικών διαταραχών και έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την χορήγηση διαλύματος 40% Δεξτραίνης ως θεραπευτικής αντιμετώπισης των μικροεμβολών μετεγχειρητικά. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε επεμβάσεις καρωτιδικής ενδαρτηριεκτομής αλλά και σε καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις κατά την έξοδο από την εξωσωματική κυκλοφορία.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Η εξέταση με το διακρανιακό Doppler (TCD) δεν προσφέρει πληροφορίες για την λειτουργικότητα του εγκεφάλου όπως το ΕΕΓ ή τα προκλητά δυναμικά ούτε για την επάρκεια της προσφοράς οξυγόνου στον εγκεφαλικό ιστό όπως η μικροδιάλυση, η ιστική οξυγόνωση ή ο κορεσμός του αίματος στον σφαγιτιδικό βολβό. Είναι δυνατόν να προσφέρει άμεσες απεικονιστικές πληροφορίες για την αρτηριακή εγκεφαλική κυκλοφορία, όπως ανάδειξη ανευρύσματος, αρτηριοφλεβικής δυσπλασίας, ή αρτηριακής απόφραξης και πληροφορίες για την κυκλοφορία του ENY όπως η ανάδειξη υδροκέφαλου. Κυρίως όμως έχει χρησιμοποιηθεί στη ΜΕΘ σε ασθενείς με σοβαρή ΚΕΚ ή αυτόματη εγκεφαλική αιμορραγία στην αδρή εκτίμηση της CPP, της εγκεφαλικής αυτορρύθμισης και του αγγειοσπασμού καθώς και στην έγκαιρη υπόδειξη του εγκεφαλικού θανάτου. Ο συνδυασμός του με λειτουργικό και μεταβολικό monitoring είναι δυνατόν να συμβάλει στη ορθολογική διαγνωστική και θεραπευτική προσέγγιση σε ασθενή με ενδοκρανίο παθολογία.

### ABSTRACT

#### Transcranial Doppler Aristeidis Vakalos

The transcranial Doppler (TCD) is a technique which can be repeated, non invasive, bed side, without complications and which detects and presents as wave form the blood flow velocities of grate intracranial arteries. The reliability depends on the knowledge of the limitations and requires experienced and skilled operators. The results of TCD examination may be used in mapping therapeutic strategy in patients with severe head injury, not as reliable non invasive way of definition of concrete numerical price ICP, but rather estimating the changes of CPP during time, and evaluating the cerebral autoregulation status. In these patients, the technique has been used to suggest the diagnosis of brain death and to indicate the realisation time of clinical ordeals avoiding the time delay. TCD has also been used to support the diagnosis of arterial vasospasm, while provides information about the adequate cerebral blood flow during neurosurgical operations.



**Key words:** Monitoring, intensive care, transcranial Doppler ultrasonography, brain injury, cerebral autoregulation, cerebral artery vasospasm.

---

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- Babikian VL, Wechsler LR. Transcranial Doppler ultrasonography. St Louis : Mosby, 1993
- Βάκαλος Α. Η συμβολή του διακρανιακού Doppler στην αντιμετώπιση ασθενών με κρανιοεγκεφαλική κάκωση σε ΜΕΘ. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ιατρικής, Αναισθησιολογική κλινική, Θεσσαλονίκη, 2003.
- Moppett IK, Mahzjian RP. Transcranial Doppler ultrasonography in anaesthesia and intensive care. Br J Anaesth 2004;93:710-724
- White H. Applications of transcranial Doppler in the ICU: a review. Intensive Care Med 2006;32:981-994.