



ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΓΓΕΙΑΚΩΝ ΠΑΘΗΣΕΩΝ



## *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

### **«ΔΙΑΚΡΑΝΙΑΚΟΣ ΥΠΕΡΗΧΟΣ ΚΑΙ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟΣ ΘΑΝΑΤΟΣ»**

*Υπό*

*ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΙΣΑΒΕΤ*

*Νοσηλεύτρια*

*Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης  
«Υπερηχογραφική Λειτουργική Απεικόνιση για την πρόληψη & διάγνωση  
των αγγειακών παθήσεων»*

*Λάρισα, 2022*

## “TRANSCRANIAL DOPPLER AND BRAIN DEATH”

### Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- **ΤΕΓΟΣ ΘΩΜΑΣ**  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ,  
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
  
- **ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ**  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ  
ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
  
- **ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ**  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ,  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

-Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον καθηγητή κ. Γιαννούκα Α. που μου έδωσε τη δυνατότητα συμμετοχής και εκπαίδευσης στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σ' ένα τόσο πρακτικό θέμα , σε μια ευρείας εφαρμογής τεχνική, με άπειρες δυνατότητες όπως είναι ο υπέρηχος.

-τον επιβλέποντα κ. Τέγο Θωμά , που χάρη στην καθοδήγηση του , ολοκλήρωσα επιτυχώς το μεταπτυχιακό μου.

## Περίληψη

Ο Εγκεφαλικός Θάνατος ορίζεται ως η μη αναστρέψιμη βλάβη του εγκεφάλου, στην οποία έχει προκληθεί μόνιμη απώλεια του συνόλου των εγκεφαλικών λειτουργιών του εγκεφαλικού φλοιού και κατά κύριο λόγο του εγκεφαλικού στελέχους. Τα σημεία τα οποία οδηγούν σε διάγνωση εγκεφαλικού θανάτου είναι η κωματώδης κατάσταση, κατά την οποία δεν υπάρχουν ενδείξεις αναπνοής, η δυσλειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος και η απουσία των αντανακλαστικών του στελέχους. Ασθενείς με τα παραπάνω συμπτώματα θεωρούνται και από νομικής άποψης, κλινικά νεκροί. Σε περιπτώσεις όπου επικρατεί αμφιβολία σχετικά με την κατάσταση του ασθενούς πέρα από τις κλινικές δοκιμασίες διενεργούνται και παρακλινικές δοκιμασίες με σκοπό να επιβεβαιωθεί ο εγκεφαλικός θάνατος. Ο διακρανιακός υπέρηχος συνιστά μια δοκιμασία προς αυτή την κατεύθυνση. Η χρήση του διακρανιακού υπερήχου, μιας μεθόδου μελέτης αιματικής ροής στον εγκέφαλο, πραγματοποιείται επικουρικά και αποσκοπεί στην διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου, ενώ συγκεντρώνει ένα πλήθος πλεονεκτημάτων όπως ότι είναι ανέξοδη μέθοδος, που μπορεί να επαναληφθεί χωρίς ταυτόχρονα να είναι επεμβατική.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Διακρανιακός υπέρηχος, Εγκεφαλικός Θάνατος, Διάγνωση.

## ABSTRACT

The non-reversible damage to the brain, with permanent loss of all functions of the cortex and mainly brainstem is defined as brain death. The characteristics of brain death are coma, absence of brainstem reflexes, circulatory dysfunction and apnea. A patient in this state is considered legally and clinically dead. In doubtful situations apart from clinical tests, paraclinical ones come in support for the verification of brain death.

Transcranial ultrasound constitutes a test in this direction. The use of transcranial ultrasound, a method for the study of blood flow in the brain, constitutes an adjunctive test for the diagnosis of brain death, as it remains a cheap, easily repeatable and non-invasive examination.

**Key Words:** Transcranial Doppler, Brain death, Diagn

## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Σκοπός Εργασίας</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Μεθοδολογία</b> .....	<b>8</b>
<b>4. Εγκεφαλικός Θάνατος</b> .....	<b>8</b>
<b>5. Προβληματισμοί Εγκεφαλικού Θανάτου και Μέθοδοι Διάγνωσης – Επιβεβαίωσης</b> .....	<b>15</b>
<b>7. Συμπεράσματα</b> .....	<b>20</b>
<b>8. Εικόνες</b> .....	<b>20</b>
<b>9. Βιβλιογραφία</b> .....	<b>29</b>

## 1. Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της ιατρικής αποτελεί η δυνατότητα εξέτασης του ανθρώπινου εγκεφάλου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης γνωστικών λειτουργιών. Η σπουδαιότητα του εν λόγω εγχειρήματος συνδέεται με τη δυνατότητα κατανόησης της λειτουργίας του και χαρτογράφησης των εγκεφαλικών περιοχών που συνδέονται με κάθε γνωστική λειτουργία. Η χαρτογράφηση των εν λόγω περιοχών, ήταν ιδιαίτερος δύσκολη πριν την ανάπτυξη νευροαπεικονιστικών τεχνικών, καθώς η χαρτογράφηση των εν λόγω περιοχών ήταν δυνατή μόνο μετά τον θάνατο ασθενών, οι οποίοι είχαν υποστεί εγκεφαλικές βλάβες. Εν τούτοις, αυτού του είδους η μεταθανάτια εξέταση, παρουσιάζει ένα σύνολο από μειονεκτήματα, όπως:

A) Παρέχεται η δυνατότητα παρατήρησης και μελέτης των ανατομικών λειτουργιών κατά αποκλειστικότητα και όχι των λειτουργικών εγκεφαλικών χαρακτηριστικών.

B) Δεν είναι εφικτή η αξιολόγηση σχετικά με τη συμμετοχή της κάθε εγκεφαλικής περιοχής, στην λειτουργία που μελετάται.

Γ) Οι βλάβες ως αποτέλεσμα εγκεφαλικών επεισοδίων ή ατυχημάτων, δεν είναι σαφώς οριοθετημένες.

Δ) Οι λειτουργίες που θίγονται σε περίπτωση βλαβών, δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στα ίδια τμήματα ενός υγιούς εγκεφάλου. Η έλλειψη αντιστοιχίας, οφείλεται στο γεγονός ότι σε αρκετές περιπτώσεις, τμήματα του εγκεφάλου που δεν έχουν υποστεί βλάβη και δεν έχουν επηρεαστεί από αυτήν «αναλαμβάνουν» λειτουργίες τις προηγουμένως υγιούς περιοχής.

Ε) Η όποια εξέταση πραγματοποιείται στον εγκέφαλο μετά τον θάνατο δεν παρέχει την δυνατότητα μελέτης των αναπτυξιακών εκείνων χαρακτηριστικών που αφορούν την οργάνωση και τη λειτουργία του εγκεφάλου [1].

Περαιτέρω, η *in vivo* εγκεφαλική απεικόνιση ανθρώπινου εγκεφάλου έχει καταστεί δυνατή τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από απεικονιστικές μεθόδους στις οποίες συγκαταλέγονται η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET, positron emission tomography), η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI, functional magnetic resonance imaging) και η ηλεκτροεγκεφαλογραφία, η χρήση προκλητών δυναμικών (event - related potentials, ERP's). Από τις παραπάνω απεικονιστικές μεθόδους οι fMRI και PET μελετούν την αιμάτωση του εγκεφάλου καταγράφοντας τις μεταβολές του ενεργειακού μεταβολισμού από τους νευρώνες, ενώ στην ERP's γίνεται καταγραφή μεταβολών στο δυναμικό της μεμβράνης των ενεργοποιημένων νευρώνων [1].

Στις παραπάνω απεικονιστικές μεθόδους, τις τελευταίες δεκαετίες προστέθηκε και ο λειτουργικός διακρανικός υπέρηχος Doppler (functional transcranial Doppler ultrasound, fTCD). Ο fTCD, δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης της ημισφαιρικής επικράτησης καθώς πραγματοποιείται μέτρηση και στη συνέχεια σύγκριση της ταχύτητας αιματικής ροής στις μέσες εγκεφαλικές αρτηρίες. Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι ο όρος ημισφαιρική επικράτηση αναφέρεται στη λειτουργική ή και ανατομική ασυμμετρία του εγκεφάλου. Έτσι, λόγω της εγκεφαλικής ασυμμετρίας το δεξί ημισφαίριο είναι υπεύθυνο για τις συναισθηματικές λειτουργίες καθώς και τις συνθετικές – ολιστικές λειτουργίες ενώ το αριστερό ημισφαίριο επιφορτίζεται με τις αναλυτικές λειτουργίες, όπως η παραγωγή γραπτού ή προφορικού λόγου και η γλωσσική επεξεργασία. Στα πλεονεκτήματα της διακρανικής υπερηχογραφίας Doppler, συγκαταλέγονται η ασφάλεια, καθώς πρόκειται για μη παρεμβατική μέθοδο, το χαμηλό κόστος εφαρμογής και η αμεσότητα των αποτελεσμάτων[1].

## **2. Σκοπός Εργασίας**

Σκοπός εκπόνησης της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της διακρανικής Doppler υπερηχογραφίας στην έγκαιρη και έγκυρη επικαιροποιημένη διαπίστωση του εγκεφαλικού θανάτου σε σχέση με τις συμβατικές διαδικασίες

διάγνωσης. Στην 9η απόφαση της 21ης ολομέλεια του ΚΕΣΥ το 1985, σχετικά με τα κριτήρια διάγνωσης του εγκεφαλικού θανάτου, αναφέρεται ότι απαιτούνται δύο προϋποθέσεις:

1. η ύπαρξη θεμελιωδών συνθηκών που περιγράφεται από την τεκμηριωμένη διάγνωση κωματώδους κατάστασης {GCS3}, τον καθορισμό αιτιών της κατάστασης κώματος και τον αποκλεισμό πιθανής αναστρεψιμότητας της κατάστασης κώματος.

2. η εκτέλεση κλινικών δοκιμασιών προκειμένου να επιβεβαιωθεί η μη λειτουργία του εγκεφαλικού στελέχους. Η εκτέλεση των δοκιμασιών απαιτεί ορισμένες προϋποθέσεις στις οποίες θα γίνει εκτενής αναφορά παρακάτω, συνοπτικά όμως οι εν λόγω διεργασίες περιλαμβάνουν τη διόρθωση της υποθερμίας, έλεγχος στην τιμή της μέσης αρτηριακής πίεσης, η οποία πρέπει να είναι άνω των 60 mmHg ή συστολική >100mmHg, διόρθωση των ηλεκτρολυτικών διαταραχών καθώς και τη διόρθωση διαταραχών οξυοβασικής ισορροπίας. Σε αρκετές περιπτώσεις η αναγκαιότητα επανάληψης των δοκιμασιών, οδηγούν σε καθυστερήσεις όσον αφορά τη διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου, ελαττώνοντας έτσι τις πιθανότητες επιτυχημένων μεταμοσχεύσεων ενώ ταυτόχρονα η επιμήκυνση της νοσηλείας επιβαρύνει το εθνικό σύστημα υγείας, ενώ πρόκειται για ασθενείς που η κατάστασή τους είναι μη αναστρέψιμη, εφόσον πρόκειται για ανθρώπους που χαρακτηρίζονται εγκεφαλικά νεκροί. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η νοσηλεία σε αυτήν την περίπτωση είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα για το κράτος. Η διάγνωση εγκεφαλικού θανάτου συνοδεύεται από το χαρακτηρισμό κλινικά νεκρός, ως εκ τούτου η οποιαδήποτε περαιτέρω θεραπεία δεν ωφελεί. Η κατάσταση διαφοροποιείται στη περίπτωση ατόμων που η διάγνωση εγκεφαλικού θανάτου συνοδεύεται από τη πρόθεση δωρεάς οργάνων ή ιστών. Η χρήση των "βοηθητικών" μέσων προς τη διάγνωση της παύσης της εγκεφαλικής κυκλοφορίας είναι ανεκτίμητη. Σε αυτόν τον εξοπλισμό συγκαταλέγεται και η διακρανιακή Doppler υπερηχογραφία. Πρόκειται για διαγνωστικό μέσο μεγάλης ευαισθησίας, χαμηλού κόστους, εύκολης μεταφοράς. Ταυτόχρονα αποτρέπεται η ενδοφλέβια χορήγηση σκιαγραφικών, από τα οποία είναι πιθανόν να προκληθούν βλάβες σε υγιή όργανα, τα οποία μπορούν να δοθούν για μεταμόσχευση, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τη συμβατική επεμβατική αγγειογραφία τεσσάρων εγκεφαλικών αγγείων. Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η παρουσίαση των παραπάνω, αναφορικά με την διακρανιακή Doppler υπερηχογραφία, που προκύπτει από την ενδεδειγμένη μελέτη της βιβλιογραφίας και των συναφών άρθρων.

### **3. Μεθοδολογία**

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και καθώς πρόκειται για βιβλιογραφική ανασκόπηση χρησιμοποιήθηκαν μηχανές αναζήτησης όπως το Medline, το PubMedResourcesGuide, και στο GoogleScholar. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λέξεων – κλειδιών, όπως εγκεφαλικός θάνατος και διακρανιακός υπέρηχος Doppler στην αγγλική γλώσσα, δηλαδή brain death and Transcranial Doppler Sonography. Από την αναζήτηση προέκυψαν άρθρα, τα οποία περιλάμβαναν τη χρήση του διακρανιακού υπέρηχου στη διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου, με σκοπό την χρήση αναθεωρημένων πρωτοκόλλων που σχετίζονται με τη χρήση του επικουρικού αυτού τρόπου τεκμηρίωσης της παύσης της αιματικής εγκεφαλικής κυκλοφορίας στη χώρα μας.

### **4. Εγκεφαλικός Θάνατος**

Στα τέλη του 18ου αιώνα καταγράφονται οι πρώτες προσπάθειες οριοθέτησης αντικειμενικών κριτηρίων του θανάτου. Οι Mollaret και Goulon, το 1959, σε ανακοίνωσή τους αναφέρονται σε 23 ασθενείς, οι οποίοι ευρίσκοντο σε κώμα απουσία αναπνοής και ταυτόχρονης απουσίας αντανακλαστικών του στελέχους και καμία ηλεκτροεγκεφαλογραφική δραστηριότητα. Η κατάσταση που παρατηρήθηκε σε αυτούς τους 23 ασθενείς, ονομάστηκε μη αναστρέψιμο κώμα προκειμένου να αποδοθεί με τον καλύτερο τρόπο η μη αναστρέψιμη κατάσταση στην οποία είχαν περιέλθει αυτοί οι ασθενείς. Εννέα χρόνια αργότερα, η επιτροπή Ad Hoc Committee of The Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death εισάγει στην έννοια του θανάτου κριτήρια που συνδέονται με νευρολογικά ευρήματα και ορίζει ως εγκεφαλικό θάνατο την ολική παύση του εγκεφάλου επί του συνόλου, επομένως και του εγκεφαλικού στελέχους, τμήματος που σχετίζεται τόσο με τις ζωτικές όσο και με τις διανοητικές λειτουργίες. Με αυτόν τον τρόπο η επιτροπή θέτει κλινικά κριτήρια θανάτου [2].



Ο παραπάνω ορισμός, επισημοποιήθηκε μέσω του νόμου Uniform Determination of Death Act (UDDA), μετά από σχετική εισήγηση του προέδρου των Ηνωμένων Πολιτειών ενώ έλαβε και την έγκριση του Αμερικάνικου Δικηγορικού και Ιατρικού Συλλόγου. [3] Ως εκ τούτου, ένα άτομο θεωρείται νεκρό, όταν έχει επέλθει εγκεφαλικός θάνατος και ειδικότερα με τον θάνατο του εγκεφαλικού στελέχους, οπότε το άτομο δεν δύναται να αναπνεύσει. Όταν το εγκεφαλικό στέλεχος είναι νεκρό, τα δύο ημισφαίρια δεν δύναται να ολοκληρώσουν την εργασία τους. Εν τούτοις, ο θάνατος του εγκεφαλικού στελέχους δεν οδηγεί στην απώλεια των ανώτερων εγκεφαλικών λειτουργιών, που είναι το αποτέλεσμα της κυτταρικής καταστροφής των κυττάρων των εγκεφαλικών ημισφαιρίων, όπου όμως σημειώνεται αυτόματη αναπνοή, οπότε το άτομο χαρακτηρίζεται «φυτό».[4]

Ο εγκεφαλικός θάνατος επέρχεται ως απόρροια της εγκεφαλικής κυκλοφορικής παύσης. Οι βλάβες που έχει υποστεί ο εγκέφαλος οδηγούν στην παύση της εγκεφαλικής κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα πρόκληση εγκεφαλικού οιδήματος και αύξηση της ενδοκρανίας πίεσης, η τιμή της οποίας ξεπερνά την τιμή της μέσης αρτηριακής πίεσης. Η αύξηση της ενδοκρανίας πίεσης έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό της εγκεφαλικής πίεσης άρδευσης (CPP) και την διακοπή της ροής αίματος στα εγκεφαλικά αγγεία.

Τα κριτήρια διάγνωσης εγκεφαλικού θανάτου θεσπίστηκαν από την επιτροπή της Ιατρικής Σχολής του Harvard, (1968), από την οποία συντάχθηκαν τα κλινικά κριτήρια του «μη αναστρέψιμου κώματος», από την ομάδα της Μινεσότα (1971), από την επιτροπή των Ιατρικών Κολλεγίων της Αγγλίας (1976) και τέλος, από την Αμερικάνικη Επιτροπή Βιοηθικής (UDDA) (1981). Τα κριτήρια τα οποία θεσπίστηκαν τηρούνται παγκοσμίως από τις περισσότερες χώρες. Έτσι, νεκρός, χαρακτηρίζεται κάποιος με μη αναστρέψιμη καρδιακή ή αναπνευστική λειτουργία, ή μη αναστρέψιμη παύση του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφαλικού στελέχους. Ο παραπάνω ορισμός είναι παγκοσμίως αποδεκτός. Εν τούτοις, στον ορισμό έχουν πραγματοποιηθεί προσθήκες που αφορούν την ιατρική τεκμηρίωση. Η επιβεβαίωση του θανάτου, πρέπει να πραγματοποιείται από δεύτερο ιατρό και να περιλαμβάνει τις θρησκευτικές εξαιρέσεις. Τα αποδεκτά κριτήρια διάγνωσης του εγκεφαλικού θανάτου δημοσιεύτηκαν το 1995 από την Αμερικάνικη Ακαδημία Νευρολογίας, η τελευταία αναθεώρηση των οποίων πραγματοποιήθηκε το 2010.[5]

Σύμφωνα με την τελευταία αναθεώρηση σχετικά με τη διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου, η διάγνωση περιλαμβάνει τα εξής:

A) Κλινική Εκτίμηση: Στην Ελλάδα, με βάση την ισχύουσα νομοθεσία για τη διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου πρέπει να βρίσκονται παρόντες τρεις ιατροί, αναισθησιολόγος, εντατικολόγος και νευρολόγος ή νευροχειρουργός, οι οποίοι και θα προσδιορίσουν τουλάχιστον μία μη – αναστρέψιμη αιτία που ευθύνεται για την καταστροφή του εγκεφάλου. Στις αιτίες αυτές περιλαμβάνονται:

- Απεικονιστικά ή κλινικά ευρήματα βαριάς ή οξείας εγκεφαλικής βλάβης, όπως βαριά κρανιοεγκεφαλική κάκωση, ενδοκράνια αιμορραγία, υπαραχνοειδής αιμορραγία, εγκεφαλική ανοξία, νεοπλάσματα εγκεφάλου.
- Αποκλεισμός καταστάσεων που εκδηλώνονται ως κώμα ή απουσία αιτιών που αποδεδειγμένα προκαλούν κώμα, όπως επίπεδα αλκοόλ στο αίμα αυξημένα εν σχέση με το επιτρεπόμενο όριο, επιληπτική δραστηριότητα, μυοχαλαρωτικά φάρμακα, δηλητηρίαση από ακετυλοσαλικυλικό οξύ ή από αιθανόλη, ανίχνευση φαρμακευτικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων οπιοειδών, βαρβιτουρικών καθώς και ουσιών από τις οποίες είναι δυνατή η πρόκληση αναστρέψιμης καταστολής του εγκεφαλικού στελέχους.
- Αποκλεισμός κλινικών καταστάσεων που επιδρούν στην εικόνα του ασθενή, ηλεκτρολυτικές διαταραχές, οξείωση, διαταραχές των ενδοκρινών αδένων όπως υπογλυκαιμία, μυξοιδαματικό κώμα, μεταβολικές διαταραχές όπως ουραιμία, ηπατική εγκεφαλοπάθεια
- Φυσιολογική Θερμοκρασία, απουσία βαριάς υποθερμίας, η θερμοκρασία πυρήνα πρέπει να είναι  $\geq 32^{\circ}\text{C}$ .
- Φυσιολογική αρτηριακή πίεση ΜΑΠ 60 mmg Hg και ΣΑΠ  $\geq 100$  mmg Hg [5]

B) Εξέταση Νευρολογική: Η νευρολογική εξέταση πραγματοποιείται εφόσον έχει περάσει ένα εύλογο χρονικό διάστημα από το γεγονός που οδήγησε στην λωματώδη κατάσταση ώστε να διαπιστωθεί η μη – αναστρέψιμη κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, κρίνεται ορθή η παρέλευση 6ώρου από καρδιακή ανακοπή ή ανοξικό επεισόδιο, τουλάχιστον ένα 24ώρο από τη λήψη φαρμακευτικής αγωγής, στην περίπτωση αυτή ο χρόνος εξαρτάται και από το χρόνο στον οποίο το φάρμακο απορροφάται κατά το ήμισυ τουλάχιστον. Η εξέταση πραγματοποιείται από ιατρούς με την αρμοδιότητα

ειδικότητα ενώ πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο κλινικές εκτιμήσεις διαδοχικές και με χρονική απόσταση που εξαρτάται από την ηλικία του ασθενούς. Έτσι, για τους ενήλικες πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο κλινικές δοκιμασίες εντός 6 ωρών, ενώ για βρέφη ηλικίας 2 μηνών έως 1 έτους, πρέπει η χρονική απόσταση των κλινικών δοκιμασιών να απέχει 24 ώρες και 48 ώρες για βρέφη μικρότερα από 2 μηνών. Προκειμένου η νευρολογική εξέταση να πιστοποιεί τον εγκεφαλικό θάνατο όταν:

- Αποδεικνύεται η ύπαρξη κώματος καθώς απουσιάζει η οποιαδήποτε αντίδραση σε ερεθίσματα των άκρων καθώς και πλήξης των υπερόφρυων. Στις παραπάνω αντιδράσεις εξαιρούνται οι αντιδράσεις του νωτιαίου μυελού.
- Αποδεικνύεται η ανυπαρξία αντανακλαστικών του εγκεφαλικού στελέχους, καθώς απουσιάζει οποιοδήποτε φωτοκινητικό αντανακλαστικό, οπότε έχουν προσβληθεί η II και III εγκεφαλική συζυγία, απουσία αντανακλαστικών που σχετίζονται με τους κερατοειδείς, βλάβη V και VII εγκεφαλικών συζυγιών, απουσία οφθαλμοκεφαλικού αντανακλαστικού, που σχετίζεται με τις III , IV , VI και VII εγκεφαλικές συζυγίες, απουσία οφθαλμοιθουσαίου αντανακλαστικού, που συνδέεται με την III, VI, IV και VIII εγκεφαλική συζυγία, απουσία οποιοδήποτε αντανακλαστικού των μυών του προσώπου επι αλγεινού ερεθίσματος στο πρόσωπο, V και VII εγκεφαλική συζυγία, τέλος απουσία φαρυγγικού αντανακλαστικού και αντανακλαστικού της τραχείας , IX και X εγκεφαλική συζυγία.[7]

Γ) Δοκιμασία άπνοιας: Η δοκιμασία άπνοιας συνιστά καθοριστικό βήμα για την πιστοποίηση του εγκεφαλικού θανάτου. Για τη δοκιμασία άπνοιας απαιτείται κεντρική θερμοκρασία μεγαλύτερη των 360C, ώστε ο μεταβολικός ρυθμός να προκαλέσει αύξηση της μερικής πίεσης του CO<sub>2</sub> στο αίμα των αρτηριών. Στη δοκιμασία άπνοιας απαιτούνται φυσιολογική αρτηριακή πίεση, επάρκεια ενδαγγειακού όγκου, νορμοκαπνία, απουσία σοβαρής υποξυγοναιμίας ή κατακράτησης διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία που ακολουθείται στη δοκιμασία άπνοιας παρουσιάζεται παρακάτω:

- Η ΣΑΠ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 100 mmg Hg, με τιτλοποίηση της δόσης αγγειοσυσπαστικών
- Στον εξεταζόμενο χορηγείται οξυγόνο, για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 10 λεπτών ώστε να διασφαλιστεί ότι στο αρτηριακό αίμα, η μερική πίεση του οξυγόνου είναι κατ' ελάχιστο ίση με 200 mm Hg.

- Ο αερισμός του αναπνευστήρα τροποποιείται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η νορμοκαπνία,  $\text{PaCO}_2 \approx 40 \text{ mmHg}$ .
- Ελάττωση της θετικής τελοεκπνευστικής πίεσης (PEEP) στον αναπνευστήρα στα  $5 \text{ cm H}_2\text{O}$ .
- Στα παλμικά οξύμετρα, ο κορεσμός του οξυγόνου πρέπει να παραμένει άνω του 95%, οπότε και πραγματοποιείται εξέταση στα αέρια αίματος, τα οποία συνιστούν τις τιμές αναφοράς, σε περίπτωση που ο εξεταζόμενος δεν παρουσιάζει  $\text{PaCO}_2 \approx 40 \text{ mmHg}$ , πρέπει να γίνουν αλλαγές στις συνθήκες αερισμού, ώστε να διασφαλιστεί η νορμοκαπνία κατά την εκκίνηση της δοκιμασίας και εφόσον αυτό είναι εφικτό.
- Εφόσον ρυθμιστούν τα παραπάνω, ο ασθενής πρέπει να αποσυνδεθεί από τον αναπνευστήρα.
- Πραγματοποιείται συντήρηση απνοϊκής οξυγόνωσης με χορήγηση 100%  $\text{O}_2$  με ροή  $10 \text{ L/min}$ . Η διαδικασία πραγματοποιείται με καθετήρα αναρρόφησης που εισέρχεται στον σωλήνα της τραχείας και προωθείται μέχρι το επίπεδο της τροπίδας.
- Επί 10 λεπτά πραγματοποιείται προσεκτική παρατήρηση ώστε να εξασφαλιστεί η απουσία αναπνευστικών κινήσεων, δηλαδή η απουσία κίνησης του κοιλιακού τοιχώματος ή του θωρακικού τοιχώματος, ενώ στις κινήσεις που παρατηρούνται πρέπει να μην καταγραφούν απότομες συσπάσεις των θωρακικών μυών.
- Μετά το πέρας των 10 λεπτών, όπου καταγράφεται απουσία αναπνευστικών κινήσεων, πραγματοποιείται δειγματοληπτικός έλεγχος στο αρτηριακό αίμα με σκοπό την ανάλυση των αερίων  $\text{PaCO}_2$ ,  $\text{PaO}_2$ , pH. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί αποκορεσμός στην παλμική οξύμετρία, αρρυθμία στο ΗΚΓ ή πέσει η αρτηριακή πίεση η δοκιμασία πρέπει να διακοπεί και σε δεύτερο χρόνο να επαναληφθεί εκ νέου.
- Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας άπνοιας κρίνεται θετικό, οπότε και επιβεβαιώνεται ο εγκεφαλικός θάνατος όταν απουσιάζουν οι αναπνευστικές κινήσεις ενώ η  $\text{PaCO}_2$  λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από  $60 \text{ mm Hg}$ .
- Σε περίπτωση που δεν παρατηρηθεί η αναμενόμενη αύξηση της  $\text{PaCO}_2$  και ενώ ο εξεταζόμενος χαρακτηρίζεται από αιμοδυναμική σταθερότητα, η δοκιμασία άπνοιας είναι δυνατόν να επαναληφθεί εφόσον επαναληφθεί η διαδικασία προοξυγόνωσης. Η απνοϊκή οξυγόνωση, σε αυτήν την περίπτωση είναι δυνατό να διατηρηθεί για

μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, της τάξεως των 10 με 15 λεπτών, προκειμένου να είναι δυνατή η άνοδος της  $\text{PaCO}_2 \geq 60$  mm Hg ή πάνω από 20 mm Hg εν σχέση με την αρχική τιμή.[8],[9]

Δ) Καταγραφή: Ως ώρα θανάτου, καταγράφεται η χρονική στιγμή κατά την οποία η  $\text{PaCO}_2$  έχει φτάσει στα επίπεδα που απαιτούνται κατά την διάρκεια της δοκιμασίας άπνοιας. Σε περιπτώσεις που οι συγγενείς των ασθενών λαμβάνουν την απόφαση δωρεάς των οργάνων του ασθενούς, ως ώρα θανάτου καταγράφεται η χρονική στιγμή λήψης των οργάνων εντός της χειρουργικής αίθουσας. Σε περιπτώσεις που δεν συντρέχουν οι προϋποθέσεις ώστε οι παραπάνω κλινικές δοκιμασίες διάγνωσης του εγκεφαλικού θανάτου να πραγματοποιηθούν με αξιοπιστία, δύναται η δυνατότητα εκτέλεσης περαιτέρω παρακλινικών εξετάσεων, ώστε να είναι εφικτή η πιστοποίηση του εγκεφαλικού θανάτου. Στις περιπτώσεις αυτές ανήκουν ασθενείς με κακώσεις του προσώπου, όπου υπάρχει αδυναμία εξέτασης των κρανιακών νεύρων λόγω κακώσεων στους οφθαλμούς, του μέσου και έσω ωτός, προσβολή των κρανιακών νεύρων και του ανώτερου τμήματος της σπονδυλικής στήλης, η αιμοδυναμική αστάθεια καθώς και πλήθος παραγόντων που δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση των παραπάνω δοκιμασιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τεκμηρίωση του εγκεφαλικού θανάτου πραγματοποιείται κατόπιν συμπληρωματικού ελέγχου. Η τεκμηρίωση του εγκεφαλικού θανάτου είναι τετελεσμένη στις περιπτώσεις που οι δοκιμασίες αντανακλαστικών του στελέχους και η δοκιμασία άπνοιας ολοκληρώνονται, οπότε και δεν συντρέχει λόγος περαιτέρω ελέγχου για την τεκμηρίωση του εγκεφαλικού θανάτου.

Στις περιπτώσεις που η τέλεση των παραπάνω δοκιμασιών δεν είναι εφικτή και η κλινική εικόνα του ασθενούς αφήνει αμφιβολίες σχετικά με την τεκμηρίωση του εγκεφαλικού θανάτου, οι ιατροί δεν χαρακτηρίζουν τον ασθενή εγκεφαλικά νεκρό οπότε και προχωρούν σε ένα σύνολο συμπληρωματικών δοκιμασιών. Παράγοντες που επηρεάζουν την κλινική διάγνωση του εγκεφαλικού θανάτου περιλαμβάνουν καταστάσεις κατά τις οποίες τα κλινικά κριτήρια δεν δύναται να εφαρμοστούν με αξιοπιστία. Στις συμπληρωματικές δοκιμασίες περιλαμβάνονται:

Α) αγγειογραφία μαγνητική, αξονική, κλασική, καθώς ο εγκεφαλικός θάνατος πιστοποιείται όταν παρουσιάζεται ελλιπής πλήρωση με αίμα των εγκεφαλικών αρτηριών πάνω από τον κύκλο Willis ή από το επίπεδο διχασμού.

Β) ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ), οπότε και ο εγκεφαλικός θάνατος πιστοποιείται λόγω απουσίας ηλεκτρικής δραστηριότητας.

Γ) Σπινθηρογράφημα εγκεφάλου και η ΥΤ εκπομπής μονήρους φωτονίου κατόπιν χορήγησης ισοτόπου  $^{99m}\text{Tc}$  (Single Proton Emission Computed Tomography, SPECT) με τις οποίες πιστοποιείται η διακοπή αιμάτωσης των ενδοκρανιακών και εξωκρανιακών αρτηριακών τμημάτων.

Δ) Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά. Ο εγκεφαλικός θάνατος πιστοποιείται από την αμφοπλευρή απουσία της N20 – P22 απάντησης μετά από διέγερση του μέσου νεύρου.

Ε) Διακρανιακό Υπερηχογράφημα Doppler [10], [11]

Από τις δοκιμασίες που περιγράφονται παραπάνω, η κλασική αγγειογραφία εγκεφάλου παραμένει η μέθοδος που χρησιμοποιείται με μεγάλη συχνότητα και περιλαμβάνεται στο πρωτόκολλο διάγνωσης του εγκεφαλικού θανάτου των περισσότερων χωρών παγκοσμίως. Η μέθοδος παρουσιάζει μειονεκτήματα που αφορούν το υψηλό κόστος εφαρμογής της και την ανάγκη μεταφοράς ασθενούς και υποστηρικτικού εξοπλισμού στο τμήμα απεικονίσεων. Επιπλέον, η μέθοδος έχει επεμβατικό χαρακτήρα, καθώς χορηγείται σκιαγραφικό μέσο ενδοφλέβια, ως εκ τούτου είναι πιθανή η πρόκληση βλάβης σε υγιή όργανα που είναι δυνατόν να δοθούν για μεταμόσχευση και σε σπάνιες περιπτώσεις αγγειοσπασμό ή θρόμβωση.[12] Επίσης, στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα η χρονική διάρκεια της εξέτασης είναι ιδιαιτέρως παρατεταμένη, πρόκειται για εξέταση που διαρκεί περισσότερο από 2 ώρες, ενώ παρουσιάζει περιορισμένη αξιοπιστία σε ασθενείς στους οποίους έχει προηγηθεί κατασταλτική αγωγή ενώ σε ένα μικρό ποσοστό ασθενών, για απροσδιόριστη μέχρι στιγμής αιτία, υπάρχει περίπτωση επιβεβαίωσης του εγκεφαλικού θανάτου ακόμα και 14 ημέρες μετά το γεγονός. [13] Από τις προαναφερθείσες μεθόδους, υψηλή αξιοπιστία εμφανίζει η SPECT, ωστόσο πρόκειται για μέθοδο χαμηλής διαθεσιμότητας σε συνδυασμό με υψηλό κόστος, οπότε και δεν εφαρμόζεται με μεγάλη συχνότητα στην πράξη. Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα στην εφαρμογή των προαναφερθέντων μεθόδων αφορά το εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό, το οποίο δεν διατίθεται σε όλα τα νοσοκομειακά ιδρύματα ενώ δεν είναι διαθέσιμο και επτά ημέρες την εβδομάδα ή 24 ώρες το εικοσιτετράωρο. [14]

## **5. Προβληματισμοί Εγκεφαλικού Θανάτου και Μέθοδοι Διάγνωσης – Επιβεβαίωσης**

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, ο εγκεφαλικός θάνατος συνεπάγεται μόνιμη και μη αναστρέψιμη βλάβη του εγκεφαλικού στελέχους, οπότε και επέρχεται απώλεια όλων των λειτουργιών τόσο των νοητικών όσο και των λειτουργικών, με κυριότερη την απώλεια αυτόματης αναπνοής. Ο εγκεφαλικός θάνατος ισοδυναμεί με την απώλεια της ζωής του ασθενούς και όχι με τον εγκλωβισμό ενός νεκρού εγκεφάλου σε ένα ζωντανό σώμα. Για να χαρακτηριστεί ένα άτομο εν ζωή, πρέπει να εξασφαλίζεται ο κεντρικός ρόλος των ρυθμιστικών συστημάτων, τα οποία είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), το ενδοκρινικό και το ανοσολογικό επί όλων των ζωντανών κυττάρων του οργανισμού. Εν τούτοις, η διακοπή λειτουργίας του ενδοκρινικού και το ανοσολογικού συστήματος δεν συνεπάγονται υποχρεωτικά τον θάνατο του ατόμου, όμως η διακοπή λειτουργίας της καρδιάς σε συνδυασμό με την διακοπή λειτουργίας του ΚΝΣ οδηγούν στην διακοπή της επικοινωνίας ανάμεσα στο ρυθμιστικό κέντρο και τα περιφερειακά κύτταρα, οπότε και επέρχεται ο θάνατος. Η διακοπή της καρδιάς υπάρχει περίπτωση να αντιμετωπισθεί άμεσα με τον αλγόριθμο καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης. Οι προσπάθειες καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης σταματούν όταν η διακοπή της καρδιακής λειτουργίας είναι μόνιμη και έχει προκληθεί μη αντιστρεπτή βλάβη και στον εγκέφαλο. Για το λόγο αυτό η αποδοχή του εγκεφαλικού θανάτου αφορά την μόνιμη και μη αναστρέψιμη παύση του εγκεφάλου και όχι της καρδιάς[15].

Ο εγκεφαλικός θάνατος επέρχεται κατόπιν μόνιμης και μη αναστρέψιμης βλάβης του εγκεφαλικού στελέχους, όπου προκαλείται διαταραχή του δικτυωτού σχηματισμού, σχηματισμό από τον οποίο εκπηγαίζει η συνείδηση. Για το λόγο αυτό ικανή και αναγκαία συνθήκη προκειμένου κάποιος να θεωρηθεί εγκεφαλικά νεκρός είναι να διαγνωστεί η μόνιμη και μη αναστρέψιμη βλάβη του εγκεφαλικού στελέχους. Στις ΗΠΑ, ως εγκεφαλικά νεκρός θεωρείται ο εγκέφαλος ο οποίος εκτός από τη βλάβη του εγκεφαλικού στελέχους, έχει υποστεί και απώλεια λειτουργιών του εγκεφαλικού φλοιού. Οι λειτουργίες του εγκεφαλικού φλοιού παύουν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την διακοπή λειτουργίας του εγκεφαλικού στελέχους [15].

Πέραν του εγκεφαλικού θανάτου είναι δυνατό να γίνει αναφορά σε τρεις ομάδες κριτηρίων, οι οποίες σηματοδοτούν τόσο την απώλεια συνείδησης όσο και την αδυναμία αυτόματης αναπνοής και δεν αποτελούν κατά αποκλειστικότητα ιατρικά κριτήρια διάγνωσης θανάτου αλλά κριτήρια με τα οποία και ένας άνθρωπος που δεν

φέρει την ιατρική ιδιότητα δύναται να διαγνώσει το θάνατο ενός συνανθρώπου του. Τα κριτήρια αυτά περιλαμβάνουν [16]:

A) Σωματικά κριτήρια: Απουσία αναπνοής σε συνδυασμό με απουσία της οποιαδήποτε κίνησης ή αντίδρασης του σώματος σε ερεθίσματα. Στα κριτήρια αυτά περιλαμβάνονται και η ακαμψία που συνοδεύει την νεκρική κατάσταση και η αποσύνθεση.[16]

B) Κριτήρια του κυκλοφορικού συστήματος: Εφόσον η εγκεφαλική κυκλοφορία διακόπτεται, δημιουργούνται δομικές βλάβες λόγω της ανοξίας που προκαλείται από την έλλειψη εγκεφαλικού ελέγχου. Το χρονικό διάστημα παρατήρησης μέχρι την τελική διάγνωση θανάτου ξεκινά με την διακοπή της κυκλοφορίας σε συνδυασμό με το κώμα και την άπνοια. Σε αυτό το διάστημα προσπάθεια καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης είναι πιθανόν να επαναφέρουν τόσο την εγκεφαλική όσο και την καρδιακή λειτουργία. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα παρατήρησης, εξαρτάται από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση του θανάτου. Όσον αφορά το κριτήριο του κυκλοφορικού συστήματος υπάρχουν διαφοροποιήσεις σε χώρες όπως ο Καναδάς, η Αυστραλία, οι ΗΠΑ και η Μεγάλη Βρετανία. Έτσι, το χρονικό διάστημα παρατήρησης κυμαίνεται από 2 λεπτά έως 5 λεπτά της ώρας. Θεωρητικά το εν λόγω χρονικό διάστημα δύναται να επιμηκυνθεί έως 60 λεπτά ή ώρες καθώς στο κριτήριο συνυπολογίζεται η αδυναμία ολικής ή μερικής αποκατάστασης της καρδιακής ή εγκεφαλικής δραστηριότητας. Επιπλέον κριτήρια αποτελούν η άπνοια, η απουσία αιμάτωσης του δέρματος, η ακινησία, η απουσία κυκλοφορίας η οποία συνοδεύεται από την παρακολούθηση της αρτηριακής πίεσης, η απουσία σφυγμών, αναπνοής, η απουσία του αντανακλαστικού της κόρης του οφθαλμού, του αντανακλαστικού του κερατοειδούς χιτώνα και τέλος, η απουσία οποιασδήποτε αντίδρασης κατά την άσκηση πίεσης στον κερατοειδή. Μέσα παρατήρησης αποτελούν το ηλεκτροκαρδιογράφημα, η ενδο - αρτηριακή γραμμή και το ηχοκαρδιογράφημα. Σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια παρατήρησης υπάρξει η οποιαδήποτε καταγραφή κυκλοφορίας ή αναπνευστικής δραστηριότητας, η περίοδος παρατήρησης παρατείνεται.[16]

Γ) Κριτήρια νευρολογικά: Στα νευρολογικά κριτήρια χρησιμοποιούνται κλινικά κριτήρια όπως η συνεχόμενη υποστήριξη της καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας μέσω μηχανικού αερισμού. Στα νευρολογικά κριτήρια απαραίτητη προϋπόθεση διάγνωσης εγκεφαλικού θανάτου αποτελεί η ανεπανόρθωτη απώλεια συνείδησης με την



ταυτόχρονη αδυναμία αυτόματης αναπνοής. Κατάσταση κατά την οποία οι βλάβες οδηγούν σε απώλεια συνείδησης αλλά δεν παρουσιάζεται διακοπή της αναπνοής χαρακτηρίζονται ως «φυτική» κατάσταση.[16]

## 6. Διακρανιακός Υπέρηχος

Τις τελευταίες δεκαετίες, για την επιβεβαίωση του εγκεφαλικού θανάτου προστέθηκε η υπερηχογραφία. Πρόκειται για διακρανιακή έγχρωμη υπερηχογραφία (Transcranial Color Coded Doppler sonography, TCCD) και το Transcranial Doppler (TCD), η οποία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά κατά τη δεκαετία του 1980 και αναπτύχθηκαν παράλληλα με την τεχνολογική ανάπτυξη των υπερηχογραφικών συσκευών κατά τη δεκαετία του 1990, οπότε και χρησιμοποιήθηκαν με υψηλή συχνότητα κατά τη δεκαετία του 2000, με αποτέλεσμα σήμερα αποτελούν μια από τις κυριότερες μεθόδους νευροπαρακολούθησης στις Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ), στο εξωτερικό αλλά και στην Ελλάδα. [17] Η διακρανιακή έγχρωμη υπερηχογραφία είναι μέθοδος μη επεμβατική όπου μετράται η ταχύτητα ροής του αίματος στα εγκεφαλικά αγγεία ενώ το θετικό το οποίο παρουσιάζει είναι ότι είναι δυνατή η παρακλινική χρήση της. Όταν η ενδοκράνια πίεση και μέση αρτηριακή πίεση εξισωθούν, επέρχεται εγκεφαλική παύση, το διακρανιακό υπερηχογράφημα παρέχει τη δυνατότητα παρατήρησης με χρονική σειρά εμφάνισης:

- A) κατά τη διάρκεια της διαστολικής φάσης την αναστροφή της ροής του αίματος
- B) κύματα ταλάντωσης (oscillating) θετικού συστολικού υψικόρυφου επάρματος και αρνητικού διαστολικού επάρματος που ακολουθεί ομότιμο εμβადόν
- Γ) συστολικά οξύαιχμα επάρματα (systolic spikes)
- Δ) απουσία ροής αίματος, δηλαδή απουσία σήματος. (εικονα 1)

Με τον διακρανιακό υπέρηχο, η Doppler υπερηχογραφία εφαρμόζεται στα εγκεφαλικά αγγεία. Στα αγγεία που εξετάζονται, τα ερυθρά αιμοσφαίρια κατά την κίνησή τους ανακλούν το εκπεμπόμενο από τον ηχοβολέα ηχητικό κύμα. Από την διαφορά συχνότητας ανάμεσα στο αρχικό και το ανακλώμενο ηχητικό κύμα, προκύπτει η ταχύτητα ροής των αγγείων, καθώς οι δύο ποσότητες είναι ευθέως ανάλογες, σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler. Το TCCD εφαρμόστηκε το 1965 από τους Kato

και Miyazaki για την εκτίμηση της εξωκρανιακής μοίρας των εγκεφαλικών αγγείων και εφόσον υπήρξε γρήγορη ανάπτυξη της Doppler υπερηχογραφίας, ήταν ζήτημα χρόνου η πρακτική να εφαρμοστεί και στα ενδοκράνια αγγεία. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τα ενδοκράνια αγγεία η υπερηχογραφία Doppler, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1982 από την ομάδα του Aaslid. Η ομάδα χρησιμοποίησε χαμηλής συχνότητας ηχοβολέα και παλμικό Doppler και μέσω του κροταφικού οστού, που αποτελεί την οστική δομή μικρότερου πάχους της εγκεφαλικής κοιλότητας, κατέγραψαν τις ταχύτητες ροής των αρτηριών του εξαγώνου Willis. Η ίδια ομάδα, το 1984, πραγματοποιεί την πρώτη κλινική εφαρμογή της μεθόδου για την παρακολούθηση και εκτίμηση αγγειοσπασμού μετά από υπαραχνοειδή αιμορραγία. [18]

Η εφαρμογή του έγχρωμου διακρανιακού Doppler υπερηχογραφήματος απαιτείται δύο προϋποθέσεις. Η πρώτη αφορά την πλήρη εικόνα της κατάστασης της εξωκρανιακής μοίρας των αγγείων, για το λόγο αυτό πρέπει να έχει προηγηθεί υπερηχογραφία των καρωτίδων και των σπονδυλικών αρτηριών. Η δεύτερη προϋπόθεση αφορά τη συνεχή καταγραφή του καρδιακού ρυθμού της μέσης αρτηριακής πίεσης, καθώς σε περιπτώσεις βραδυκαρδίας ή υπότασης ενδέχεται να επηρεαστεί η ροή στα εγκεφαλικά αγγεία. Ένα από τα πλεονεκτήματα του TCCD αποτελεί η εύκολη εφαρμογή του σε οποιονδήποτε ασθενή. Έτσι, μια σύγχρονη συσκευή υπερήχων εξοπλισμένη με το κατάλληλο λογισμικό και ηχοβολέα φάσης – διάταξης (phrased – array transducer) συχνότητας 1 – 2.5 MHz και συχνότητας 2 MHz. Ο λόγος για τον οποίο η συχνότητα του ηχοβολέα είναι χαμηλή έγκειται στην υψηλή διεισδυτικότητα της υπερηχητικής δέσμης, οπότε και είναι δυνατό η δέσμη να διαπεράσει το κροταφικό οστό και να επιστρέψει στον ηχοβολέα. Τέλος, συστήνεται ο γραμμικός ηχοβολέας (linear transducer), ο οποίος προστίθεται στον βασικό εξοπλισμό, οπότε και είναι δυνατή η διακογχική μελέτη της οφθαλμικής αρτηρίας. [19],[20]. Τα ηχοβολουόμενα αγγεία είναι η μέση εγκεφαλική, η πρόσθια εγκεφαλική, η οπίσθια εγκεφαλική(τμηματα P1, P2), οφθαλμική, σιφώνιο, τελικό τμημα της εσω καρωτιδας, ενδοκρανιες σπονδυλικες και βασικη αρτηρια. (εικονα 2)

Το κρανίο αποτελείται από τρεις στιβάδες. Καθώς η υπερηχητική δέσμη διαπερνά το κρανίο επηρεάζεται διαφορετικά από κάθε μια από αυτές τις τρεις στιβάδες. Στη μεσαία στιβάδα, που ονομάζεται Διπλόη, η δέσμη εξασθενεί ενώ προκαλείται και διασκεδασμός ενώ στην πρώτη και τρίτη στιβάδα προκαλείται κατά κύριο λόγο διάθλαση της υπερηχητικής δέσμης. Ιδανικό σημείο εφαρμογής του

διακρανιακού υπερηχογραφήματος αποτελεί το κροταφικό οστό καθώς στο σημείο αυτό απουσιάζουν οι οστικές δοκίδες. Το συγκεκριμένο σημείο αποκαλείται «ακουστικό παράθυρο». Η ποιότητα του ακουστικού παραθύρου ελαττώνεται με την πάροδο των χρόνων εντονότερα στις γυναίκες ασθενείς και στους έγχρωμους. Η εφαρμογή του TCCD πραγματοποιείται σε ακουστικά παράθυρα, σε σημεία δηλαδή του κρανίου, στα οποία το οστό του κρανίου είναι λεπτότερο. Το πρώτο από τα σημεία αυτά είναι το κροταφικό παράθυρο, το οποίο βρίσκεται 2 cm άνω της νοητής ευθείας που ενώνει τον έξω κανθό με τον τράγο του ωτός. Μέσω του κροταφικού παραθύρου, είναι δυνατή η μελέτη της πρόσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας, της μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας, της οπίσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας και του τελικού τμήματος της έσω καρωτίδας. [21] Το επόμενο ακουστικό παράθυρο είναι το υπνιακό, το οποίο βρίσκεται στα όρια κεφαλής – αυχένα και είναι δυνατή η μελέτη της βασικής αρτηρίας μέσω του ινιακού τμήματος και του ενδοκρανιακού τμήματος των σπονδυλικών αρτηριών. Τέλος, το τελευταίο ακουστικό παράθυρο, το οφθαλμικό, το οποίο απαντάται στην εμπρόσθια επιφάνεια του οφθαλμού και καθίσταται εφικη η μελέτη της οφθαλμικής αρτηρίας και της παραεπιπιακής μοίρας, του γόνατος και της υπερκλινοειδούς μοίρας του σιφωνίου. Στην περίπτωση αυτή, η μελέτη πραγματοποιείται μέσω του οπτικού τμήματος και του υπερκόγχιου σχίσματος. Στα παραπάνω πρέπει να αναφερθεί ότι το υπνιακό και το οφθαλμικό παράθυρο απαντώνται σε όλους τους ασθενείς ανεξαρτήτως φύλου και ηλικίας, σε αντίθεση με το κροταφικό, το οποίο ενδέχεται να βρίσκεται ετερόπλευρα ή αμφοτερόπλευρα απόν σε ποσοστό που φτάνει το 10% των ασθενών. Η απουσία κροταφικού παραθύρου συναντάται με μεγαλύτερη συχνότητα σε γυναίκες ασθενείς, άτομα προχωρημένης ηλικίας και άτομα της μαύρης φυλής ενώ πιθανές αιτίες της απουσίας οφείλονται σε αυξημένο πάχος διπλοής σε συνδυασμό με την αραιή χωροδιάταξη των οστικών δοκίδων του κροταφικού οστού. Για το λόγο αυτό συνίσταται η χρήση ηχοβολέα συχνότητας 1MHz ή η χορήγηση σκιαγραφικών μέσων υπερήχων.

Στα παραπάνω δύναται να προστεθεί και το υπογνάθιο παράθυρο, το οποίο εκτείνεται στην άνω πλάγια επιφάνεια του τραχήλου, υπό τη γωνία της γνάθου. Από αυτό το σημείο είναι δυνατή η υπερηχογραφική απεικόνιση στην εξωκράνια μοίρα της ICA. Τέλος, είναι δυνατόν το υπερηχογράφημα να τελεστεί δια μέσου του μετωπιαίου οστού (μετωπιαίο παράθυρο), του ινιακού (διαϊνιακό παράθυρο) και στα παρίσθημα δια μέσω του στόματος (διαστοματικό παράθυρο). (εικόνες 3,4,5,6,7)

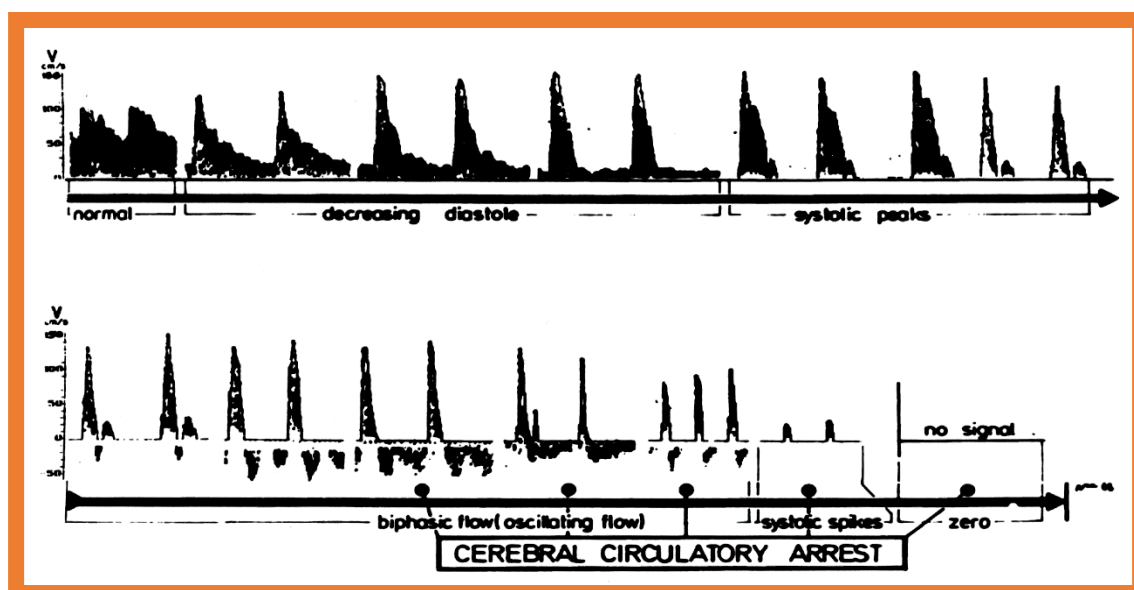
Οι παράμετροι που μελετώνται κατά την έγχρωμη διακράνια Doppler υπερτομογραφία είναι:

- A) το βάθος σάρωσης,
- B) η ροή του αίματος ως προς την κατεύθυνση,
- Γ) η συστολική και διαστολική ταχύτητα ροής του αίματος
- Δ) Η θέση στην οποία τοποθετείται ο ηχοβολέας
- Ε) Ο τρόπος με τον οποίο κατευθύνεται η ηχητική δέσμη
- Στ) Η ανταπόκριση στις διάφορες δοκιμασίες συμπίεσης της συστοίχου ή αντίστοιχου κοινώς καρωτίδος.

## 7. Συμπεράσματα

Η χρήση του διακρανιακού υπερήχου, μιας μεθόδου μελέτης αιματικής ροής στον εγκέφαλο, αποτελεί βοηθητική δοκιμασία για την πιστοποίηση του εγκεφαλικού θανάτου, ενώ στα πλεονεκτήματά της συγκαταλέγονται το χαμηλό κόστος, η ευκολία με την οποία πραγματοποιούνται οι επαναλήψεις και το ότι πρόκειται για μη επεμβατική μέθοδο εξέτασης.

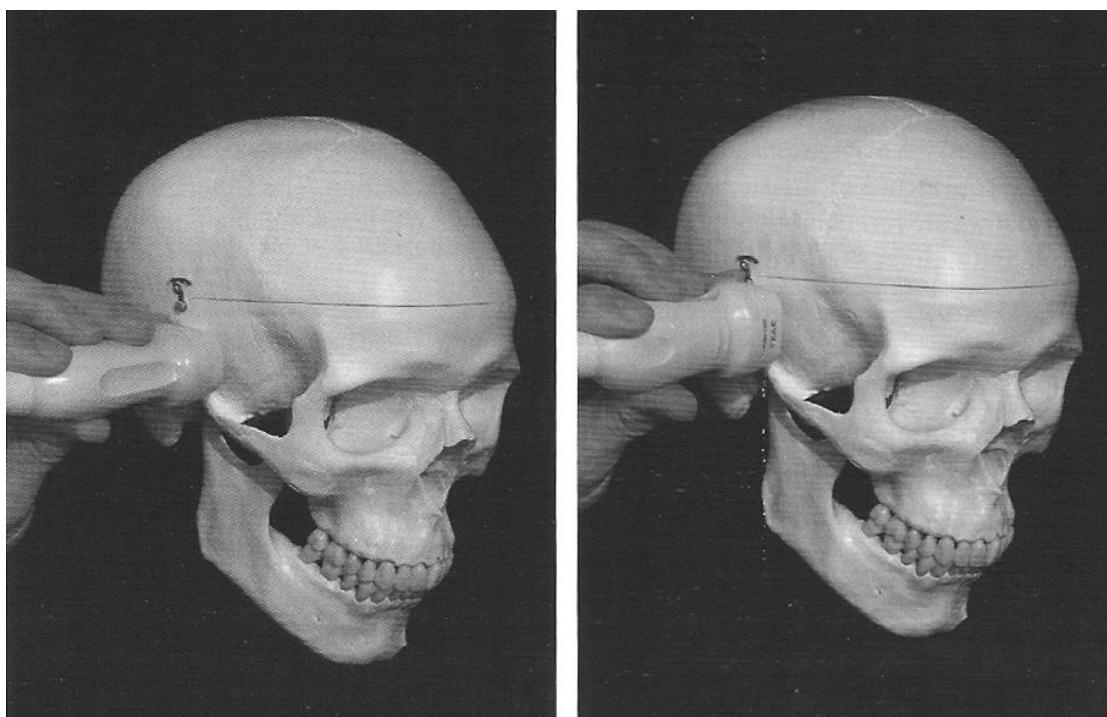
## 8. Εικόνες



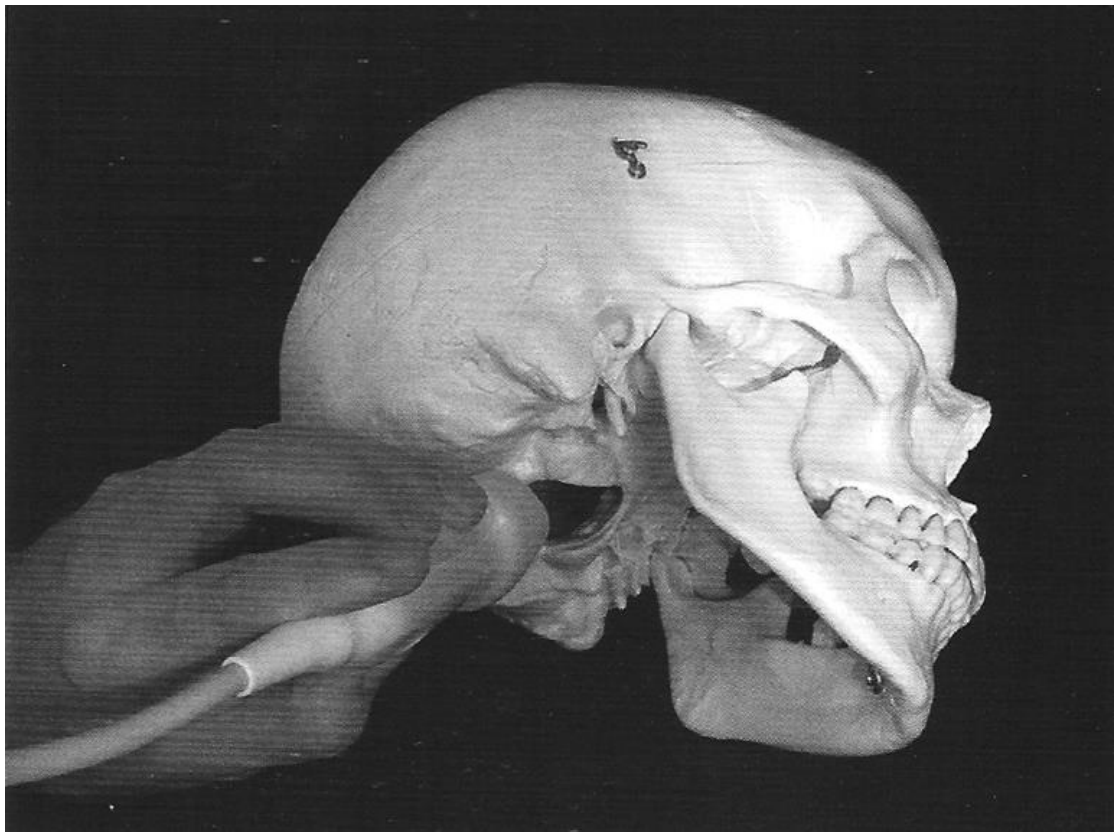
**Εικόνα 1. Αλληλουχία υπερηχογραφικών φαινομένων με την αύξηση της ενδοκρανίου πίεσης μέχρι τον εγκεφαλικό θάνατο.**

Artery	Transducer Position	Depth of Sample Volume [mm]	Direction of Flow	Spatial Relationship ACA/MCA Bifurcation	Mean Velocity ** [cm/sec]	Response Ipsilateral Carotid Compressions
MCA[M1]	Transtemporal	30-60	Toward	Same	55 ± 12	Obliteration Diminishment
ACA/MCA Bifurcation	Transtemporal	55-65	Bidirectional	-	-	Identical to ACA/MCA
ACA[A1]	Transtemporal	60-80	Away	Anterior and Superior	50 ± 11	Obliteration Diminishment Reversal
PCA[P1] * Fetal Origin	Transtemporal	60-70	Toward	Posterior and Inferior	39 ± 10	No Change Augmentation Diminishment* Obliteration*
PCA[P2] * Fetal Origin	Transtemporal	60-70	Away	Posterior and Inferior	40 ± 10	No Change Diminishment* Obliteration*
TICA	Transtemporal	55-65	Toward	Inferior	39 ± 9	Obliteration Reversal
OA	Transorbital	40-60	Toward	-	21 ± 5	Obliteration
Carotid Siphon [Supraclinoid] [Genu] [Parasellar]	Transorbital	60-80	Away Bidirectional Toward	-	41 ± 11 - 47 ± 14	Obliteration Reversal
VA	Transforaminal	60-90	Away	-	38 ± 10	-
BA	Transforaminal	80-120	Away	-	41 ± 10	-

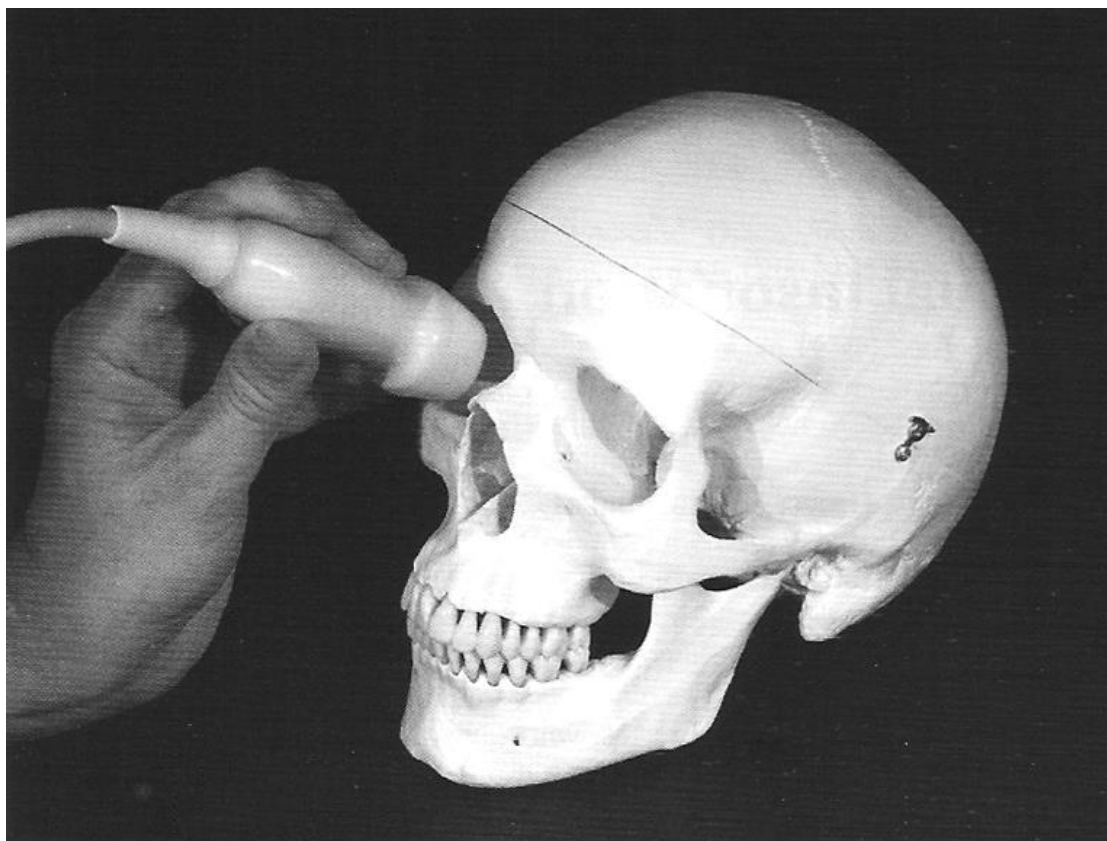
**Εικόνα 2. Ταχύτητες ροής αιματος, κατεύθυνση ροής και χαρακτηριστικό βαθος των διαφορων αρτηριων επι του διακρανιακου υπερηχου. Τα ηχοβολουμενα αγγεια είναι η μεση εγκεφαλικη(MCA), η προσθια εγκεφαλικη(ACA), η οπισθια εγκεφαλικη(PA, τμηματα P1-P2), οφθαλμικη, σιφωνιο(OA), τελικο τμημα της εσω καρωτιδας(TICA), ενδοκρανιες σπονδυλικες(VA) και βασικη αρτηρια(BA).**



**Εικόνα 3. Κροταφικό παραθύρο**



**Εικόνα 4. Υπνιακό παραθύρο**

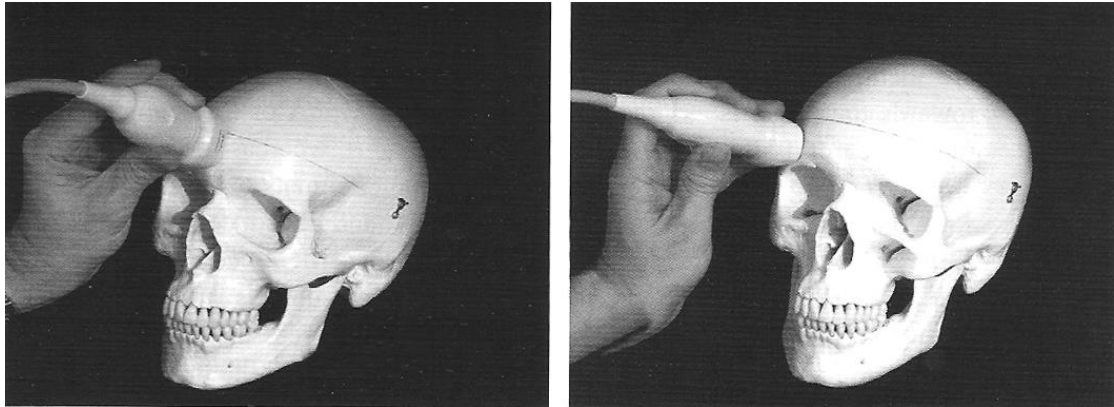


**Εικόνα 5. Οφθαλμικό παραθυρο**

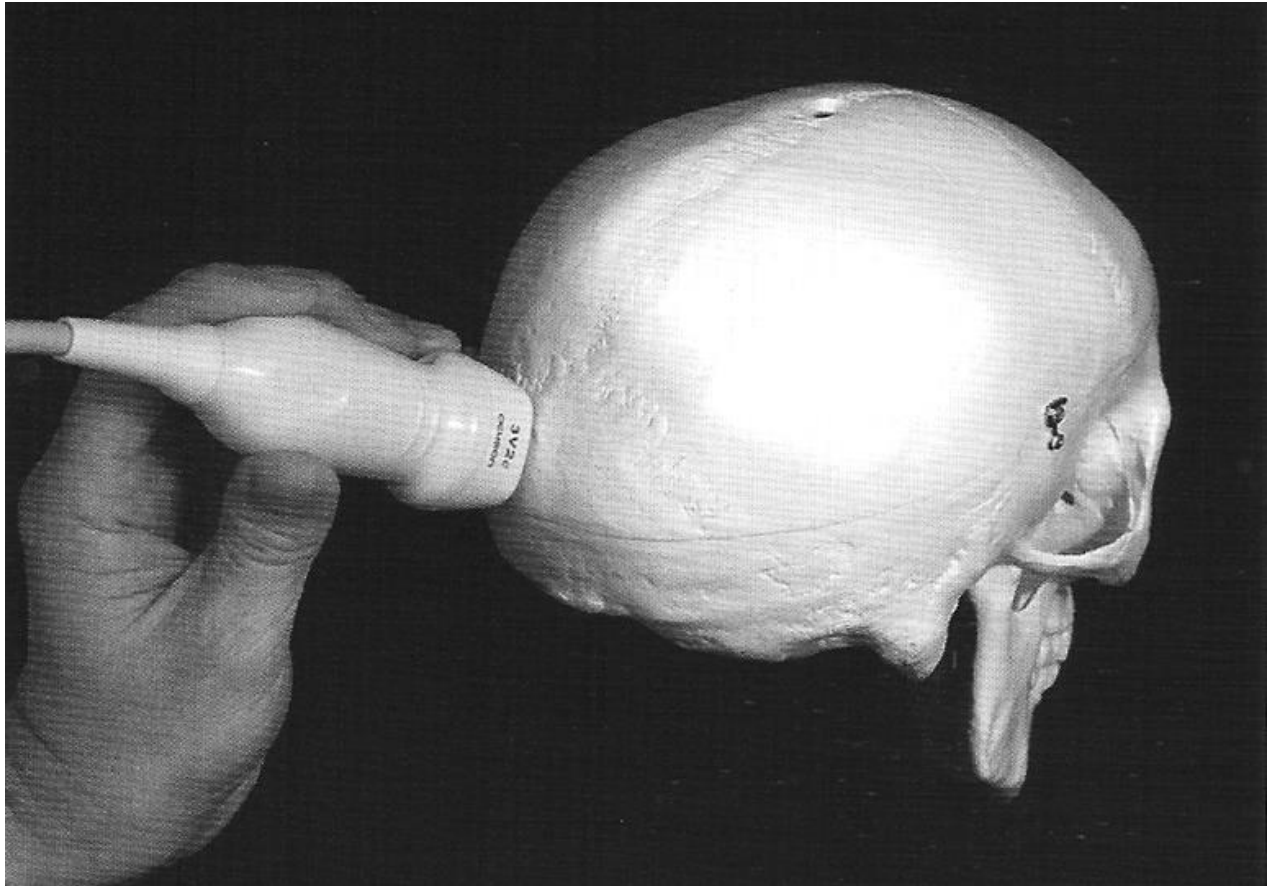




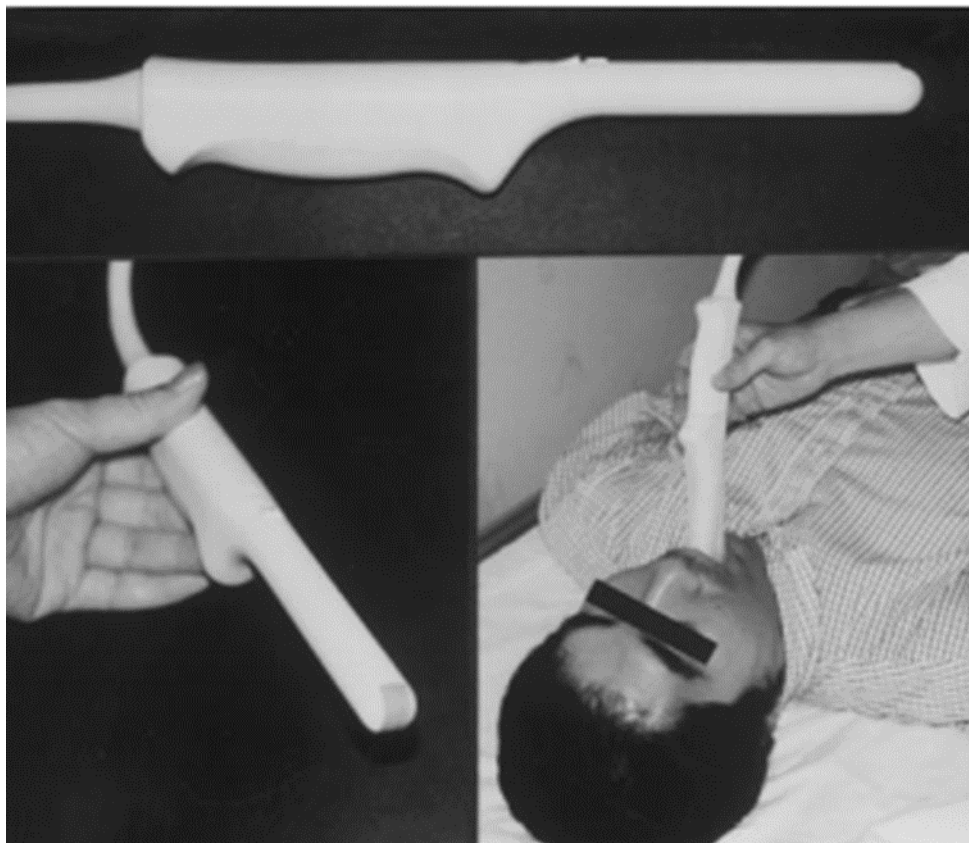
**Εικόνα 6. Υπογναθιο παραθυρο**



**Εικόνα 7. Μετωπιαίο παραθύρο**



**Εικόνα 8. Ινιακό παραθύρο**



**Εικόνα 9. Παρισθμιο παραθυρο**

## 9. Βιβλιογραφία

[1]: Παπαδάτου – Παστού Μ., Κουφάκη Α., Ράντου Ν.Μ., & Τόμπρου Δ.Μ.: Λειτουργικός Διακρανιακός Υπέρηχος Doppler: Αρχές Λειτουργίας και Εφαρμογές στη Μελέτη της Ημισφαιρικής Επικράτησης της Γλώσσας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Hellenic Journal of Psychology, Vol.10(2013) p.61-77.

[2]: Guidelines for the Determination of death: report of the medical consultants on the diagnosis of death to the President's commission for the study of behavioral research, JAMA 1981; 246: 2184-2186

[3]: Uniform Determination of Death Act, 12 uniform laws annotated 589 (West 1993 and West suppl 1997

[4]: The Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. Practice parameters for determining brain death in adults (Summary statement), Neurology 1995;45:1012-1014

[5]: Wang M., Wallace P., Gruen J.P.: Brain death documentation: analysis and issues. Neurosurgery 2002;70:284-289

[6]: Widjicks E.F.: The diagnosis of Brain Death, New England Medical Journal 2001;344:1215-21

[7]: Widjicks E.F.M., Rabinstein A.A., Manno E.M., Atkinson J.D., Pronouncing brain death: contemporary practice and safety of the apnea test, Neurology, 2008;1240 - 1244

[8]: Willatts S.M., Drummond G.: Brain death and ventilator trigger settings, Anaesthesia 2000;55: 676 – 684

[9]: Levesque S., Lessard M.R., Nicole P.C., et al. Efficacy of a T – piece system and a continuous positive airway pressure system for apnea testing in the diagnosis of brain death. Crit Care Med 2006;34:2213 - 2216

- [10]: Saposnik G., Bueri J.A., Maurino J., Saizar R., Garetto N.S.: Spontaneous and reflex movements in brain death. *Neurology* 2000;54:221-223
- [11]: Santamaria J., Orteu N., Iranzo A, Tolosa E., Eye opening in brain death, *J Neurol* 1999;246:720 -722
- [12]: Lashutka M.K., Chandra A., Murray H.N., Phillips G.S., & Hiestad B.C.: The relationship of intraocular pressure. *Ann Emerg Med* 2004;43: 585-91
- [13]: Paolin A., Manuali A., Di Paola F., et al.: Reliability in diagnosis of brain death. *Intensive Care Med* 1995;21:657-62
- [14]: Czarnik T., Gawda R., Latka D., Kolodziej W., Sznajd – Weron K., Weron R.: Noninvasive measurement of intracranial pressure: is it possible? *J Trauma* 2007;62: 207-11
- [15]: Sweet W.H.: Brain Death *N Eng J Med* (1978);299: 410 – 12
- [16]: Lamb D *Death, Brain Death and Ethics*, London: Croom Helm, 1985
- [17]: Hassler W., Steinmetz H., Pirschel J.,: Transcranial Doppler and Brain death. *Transplant Proc* 2000; 32: 2579-2581
- [18]: Azevedo E., Teixeira J., Neves J.C., et al. Transcranial Doppler and Brain Death, *Transplant Proc* 2000;32:2579-2581
- [19]: Welschehold S., Geisel F., Beyer C et al.: Contrast – enhanced transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis of brain death. *J Neuroimaging Psychiatry* 2013;84:939-940
- [20]: Wagner W.S.: Earlobe and nasopharyngeal recordings of the median nerve somatosensory evoked P14 potential in coma and brain death, *Brain*, 1996;119:1507-1521
- [21]: Alexandrov A.V., Sloan M.A., Tegeler C.H., et al.: Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes, *J Neuroimaging* 2012; 22:215-224