



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ**  
**ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ**  
**ΣΕ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

**ΚΟΡΟΜΠΙΛΗ ΣΟΦΙΑ**

**A.M:02106070**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σ. ΤΣΑΓΓΑΡΗΣ**

**ΜΑΡΤΙΟΣ, ΑΘΗΝΑ 2012**

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε στα πλαίσια της απόκτησης διπλώματος του «Μηχανολόγου Μηχανικού».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Τσαγγάρη Σωκράτη και τον κ. Μανόπουλο Χρήστο για την καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ΑΓΓΕΙΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ</b> .....	<b>5</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ .....	5
2.2 ΑΡΤΗΡΙΕΣ .....	6
2.3 ΦΛΕΒΕΣ .....	12
<b>3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ</b> .....	<b>22</b>
3.1 ΑΡΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	22
3.1.1 Μαθηματικό μοντέλο .....	22
3.1.2 Αρτηριακό μοντέλο .....	23
3.1.3 Εύρεση αντιστάσεων .....	24
3.1.4 Εύρεση παροχών .....	28
3.2 ΦΛΕΒΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	31
3.2.1 Φλεβικό μοντέλο .....	31
3.2.2 Εύρεση αντιστάσεων .....	33
3.2.3 Εύρεση παροχών .....	38
3.3 ΑΡΤΗΡΙΟΦΛΕΒΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	39
Εισαγωγή.....	39
Αρτηριοφλεβικό μοντέλο .....	41
<b>4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b> .....	<b>42</b>
4.1 ΑΡΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	43
4.1.1 Αποτελέσματα Μεθόδου GAUSS .....	43
4.1.2 Αποτελέσματα Μεθόδος Διαδοχικών Αντικαταστάσεων .....	45
4.2 ΦΛΕΒΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	47
4.2.1 Αποτελέσματα Μεθόδου GAUSS .....	47
4.2.2 Αποτελέσματα Μεθόδος Διαδοχικών Αντικαταστάσεων .....	51
4.3 ΑΡΤΗΡΙΟΦΛΕΒΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	55
Αποτελέσματα Μεθόδου Διαδοχικών Αντικαταστάσεων .....	55
4.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	60
<b>5. ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ: ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b> .....	<b>61</b>
5.1 Εισαγωγή .....	61
5.2 Ρόλος των baroreceptors και των προτριχοειδικών σφιγκτήρων .....	62
5.3 Μοντέλο αναστόμωσης .....	63
5.4 Μέθοδος επίλυσης .....	63

5.5 Αποτελέσματα .....	68
5.5.1 Αποτελέσματα χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν ρυθμιστικοί παράγοντες της ροής .....	68
5.5.2 Αποτελέσματα υπό τη δράση των baroreceptors (δύο υποπεριπτώσεις) .....	71
5.5.3 Αποτελέσματα υπό τη συντονισμένη δράση baroreceptors και προτριχοειδικών σφιγκτήρων .....	75
5.6 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	78
5.6 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη .....	80
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>81</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>	<b>83</b>



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ροής του αίματος σε ένα μοντέλο του κυκλοφορικού συστήματος του εγκεφάλου. Μοντελοποιούνται τόσο το αρτηριακό σύστημα, όσο και το φλεβικό σύστημα, με τις κυριότερες αρτηρίες και φλέβες. Τα δύο μοντέλα εξετάζονται αρχικά ξεχωριστά και εν συνεχεία συνδεδεμένα. Τα μικρότερα και περιφερειακά αγγεία μοντελοποιούνται ως συγκεντρωμένες αντιστάσεις. Το μοντέλο θεωρεί τα αγγεία ως ευθύγραμμους σωλήνες κυκλικής διατομής, ελαστικούς, σε μόνιμη ροή. Μελετάται αποκλειστικά η φυσιολογική κατάσταση (χωρίς ύπαρξη στενώσεων στις αρτηρίες). Επίσης μελετάται η ροή στην περίπτωση αρτηριοφλεβικής αναστόμωσης, που δημιουργεί σύνδρομο υποκλοπής της ροής.

Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του εγκεφάλου και των επιμέρους μερών του. Στη συνέχεια, (Κεφάλαιο 2) περιγράφεται η διαδικασία αιμάτωσης του εγκεφάλου και επιστροφής του αίματος στην καρδιά. Παρουσιάζονται οι αρτηρίες και οι φλέβες που λαμβάνουν μέρος στην αιμάτωση και την απαγωγή του αίματος, οι κυριότερες εκ των οποίων λήφθηκαν υπόψιν για την κατασκευή των μοντέλων, που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3. Το Κεφάλαιο 4 είναι αφιερωμένο στο προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον κώδικα. Γίνεται σύγκριση των φυσιολογικών τιμών που είναι γνωστές από τη βιβλιογραφία και των φυσιολογικών τιμών που προκύπτουν από τον κώδικα. Στο τελικό στάδιο γίνεται η αρτηριοφλεβική αναστόμωση λαμβάνοντας υπ'όψιν και τη δράση ρυθμιστικών παραγόντων της ροής (Κεφάλαιο 5). Ακολουθεί ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στο τέλος της διπλωματικής παρατίθενται η βιβλιογραφία στην οποία στηρίχθηκε η παρούσα εργασία.



## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to study the blood flow in a model of the circulatory system of the brain. Both the arterial system and venous system are modeled, each of them containing the major arteries and veins of the brain respectively. The first two models are examined separately and then connected to form the arteriovenous model. Smaller and peripheral vessels are modeled as concentrated resistances. The models consider blood vessels as straight tubes of circular cross section, elastic, in steady flow. No abnormality due to arterial stenosis was taken into consideration in this study. Finally, the cerebral blood flow was examined in case of arteriovenous anastomosis , which causes subclavian steal syndrome.

The 1st chapter gives an overview of the brain and its individual parts. Chapter 2 describes the process of cerebral perfusion and the return of blood to the heart. Chapter 3 presents the arteries and veins that take part in cerebral circulatory system and were taken into account for the construction of the models. Chapter 4 is devoted to the programs used and the results obtained from the code. It also presents the comparison of normal values known from literature and the normal values obtained from the code. The last Chapter concerns the arteriovenous anastomosis; further study has been carried out taking into account the regulatory mechanisms that determine the blood flow and its results have been analyzed. At the end of the diploma thesis is cited the literature.

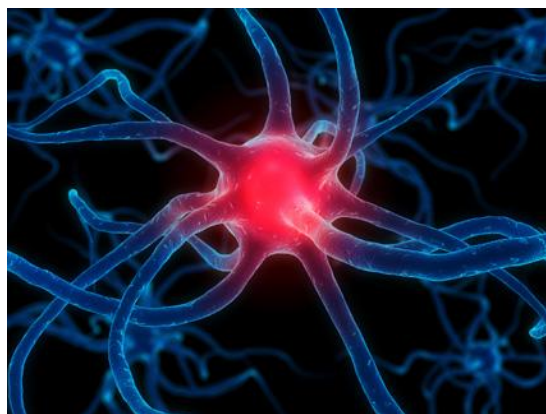
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ο εγκέφαλος είναι το ανώτερο και πιο ανεπτυγμένο τμήμα του νευρικού συστήματος, το οποίο βρίσκεται στην κοιλότητα του κρανίου. Από εξελικτικής-βιολογικής πλευράς, η λειτουργία του εγκεφάλου είναι να ασκεί απόλυτο έλεγχο επί των υπολοίπων οργάνων του σώματος. Ο εγκέφαλος επιδρά στο υπόλοιπο σώμα είτε δημιουργώντας πρότυπα συμπεριφοράς και μυικής δραστηριότητας, είτε «δίνοντας εντολή» για την έκκριση χημικών ουσιών: τις γνωστές ορμόνες. Ο συγκεντρωτικός αυτός έλεγχος επιτρέπει την ταχεία και συντονισμένη αντίδραση στις αλλαγές του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.1 Λειτουργίες εγκεφάλου



Εικόνα 1.2 Εγκεφαλικό κύτταρο

Ο εγκέφαλος αποτελείται από δύο ευρείες κατηγορίες κυττάρων: τους νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι νευρογλοιακών κυττάρων, καθένας από τους οποίους εκτελεί μια σειρά κρίσιμων λειτουργιών, όπως η επίβλεψη της μεταβολικής δραστηριότητας ή η καθοδήγηση της ανάπτυξης. Οι νευρώνες, ωστόσο, θεωρούνται τα πιο σημαντικά εγκεφαλικά κύτταρα. Η ιδιότητα που κάνει τους νευρώνες μοναδικούς είναι η ικανότητά τους να στέλνουν σήματα σε συγκεκριμένα κύτταρα-στόχους σε μεγάλες αποστάσεις, δημιουργώντας κατ'αυτό τον τρόπο διαύλους επικοινωνίας μεταξύ των κυττάρων, τις λεγόμενες συνάψεις [34].

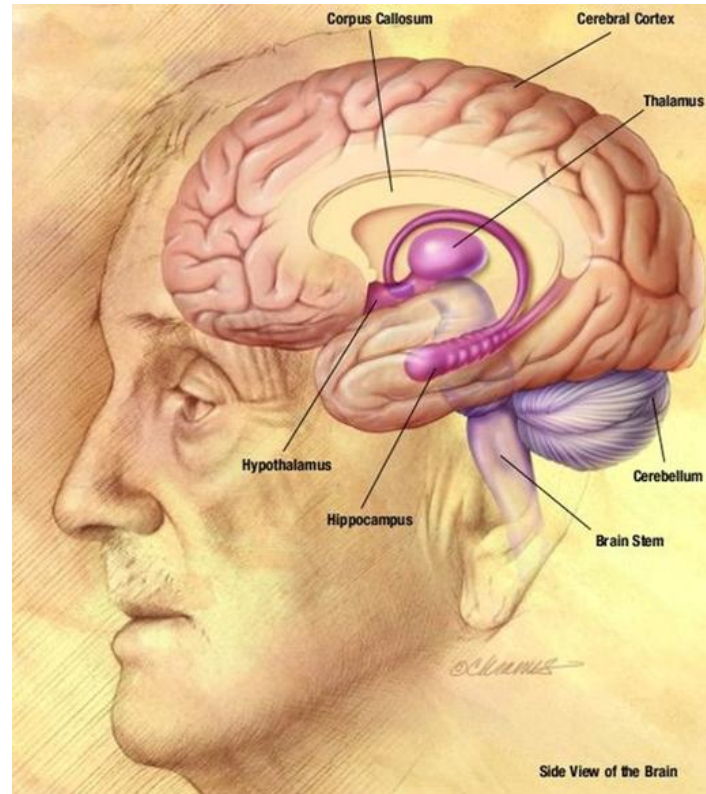
Όσον αφορά τη μορφή, τα εγκεφαλικά ημισφαίρια αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του ανθρώπινου εγκεφάλου και βρίσκονται πάνω από τις περισσότερες άλλες δομές του εγκεφάλου. Κάτω από τον εγκέφαλο βρίσκεται το στέλεχος (brainstem).



Εικόνα 1.3 Εγκεφαλικά ημισφαίρια

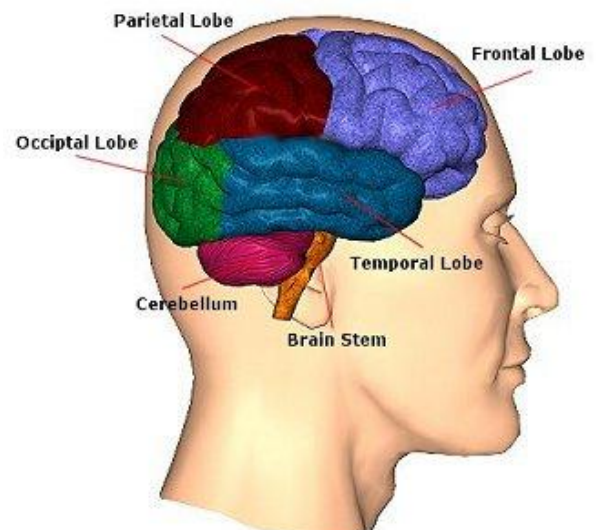


Στο πίσω μέρος του εγκεφάλου, κάτω από τον εγκέφαλο και πίσω από το εγκεφαλικό στέλεχος, είναι η παρεγκεφαλίδα (cerebellum), μια δομή της οποίας η επιφάνεια είναι γεμάτη πολυάριθμες αυλακώσεις, χαρακτηριστικό που την κάνει να φαίνεται διαφορετική από οποιαδήποτε άλλη περιοχή του εγκεφάλου. Οι ίδιες δομές υπάρχουν σε άλλα θηλαστικά, αν και στα περισσότερα η παρεγκεφαλίδα δεν είναι τόσο μεγάλη σε σχέση με το υπόλοιπο του εγκεφάλου. Κατά κανόνα, όσο μικρότερος είναι ο εγκέφαλος, τόσο λιγότερο περίπλοκη είναι η δομή του φλοιού του [34]. Ο φλοιός ενός αρουραίου, για παράδειγμα, είναι σχεδόν εντελώς λείος. Ο φλοιός ενός δελφινιού ή φάλαινας, από την άλλη πλευρά, είναι πιο περίπλοκος από ό,τι ο ανθρώπινος εγκεφαλικός φλοιός. Ο φλοιός του εγκεφάλου είναι ουσιαστικά ένα φύλλο του νευρικού ιστού, διπλωμένο κατά τρόπο που να επιτρέπει σε μια μεγάλη επιφάνεια να χωρέσει μέσα στα όρια του κρανίου. Κάθε εγκεφαλικό ημισφαίριο, στην πραγματικότητα, έχει συνολική επιφάνεια περίπου 0.12 τετραγωνικά μέτρα. Κάθε αναδίπλωση του φλοιού ονομάζεται αύλακα (sulcus) και κάθε ομαλή περιοχή μεταξύ των πτυχώσεων έλικα (gyrus).



**Εικόνα 1.4:** Εγκεφαλικά ημισφαίρια-αύλακες και έλικες

Κάθε ημισφαίριο παρουσιάζει αυλακώσεις διαφορετικού μεγέθους, οι οποίες χωρίζουν τον εγκέφαλο σε τέσσερις λοβούς. Καθένας από τους εγκεφαλικούς λοβούς έχει συσχετιστεί με συγκεκριμένες λειτουργίες. Οι λοβοί του εγκεφάλου παίρνουν το όνομά τους από το κρανιακό οστό με το οποίο βρίσκονται σε επαφή: μετωπιαίος (frontal), βρεγματικός (parietal), κροταφικός (temporal) και ινιακός (occipital) (βλ. **Εικόνα 1.5**).

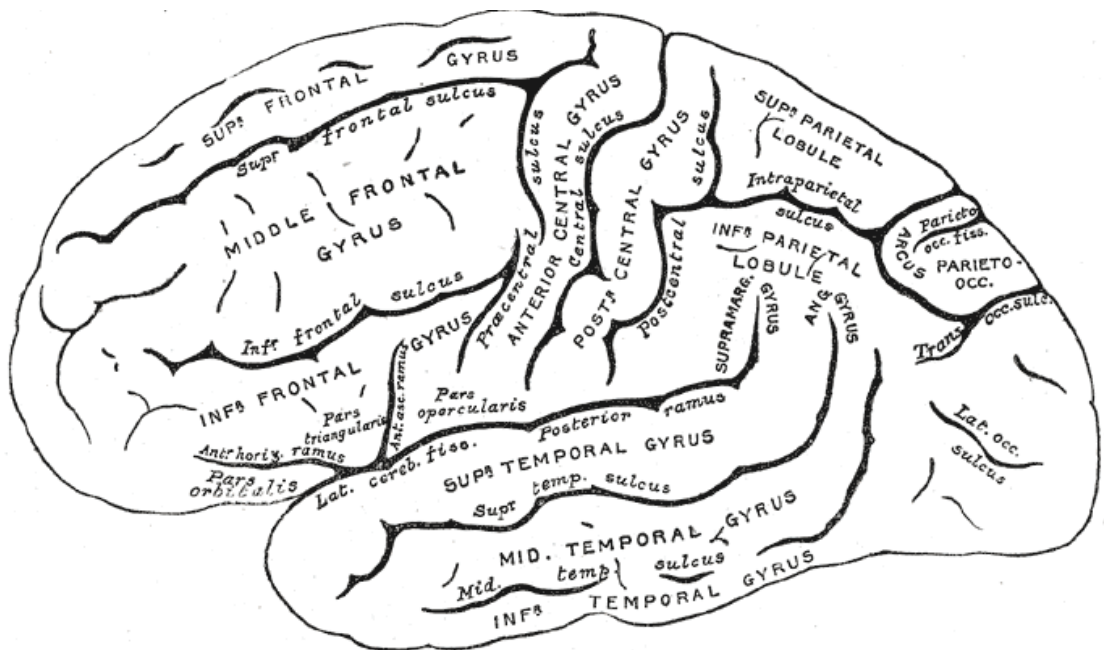


**Εικόνα 1.5:** Εγκεφαλικοί λοβοί



Αν και υπάρχουν διαφοροποιήσεις από άνθρωπο σε άνθρωπο στο σχήμα και την τοποθέτηση των αυλάκων και των ελίκων, με αποτέλεσμα κάθε εγκέφαλος να είναι μοναδικός, οι περισσότεροι ανθρώπινοι εγκέφαλοι δείχνουν να ακολουθούν σε κάποιο βαθμό συγκεκριμένα πρότυπα όσον αφορά την αναδίπλωση του φλοιού τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες περιοχές που είναι σαφώς διαχωρισμένες να μπορούν να κατονομαστούν. Πολλές από τις αύλακες και έλικες ονομάζονται ανάλογα με τη θέση τους επί των λοβών ή άλλες μεγάλες αύλακες του φλοιού. Ακολουθεί μια σύντομη κατηγοριοποιημένη παρουσίασή αυτών [34]:

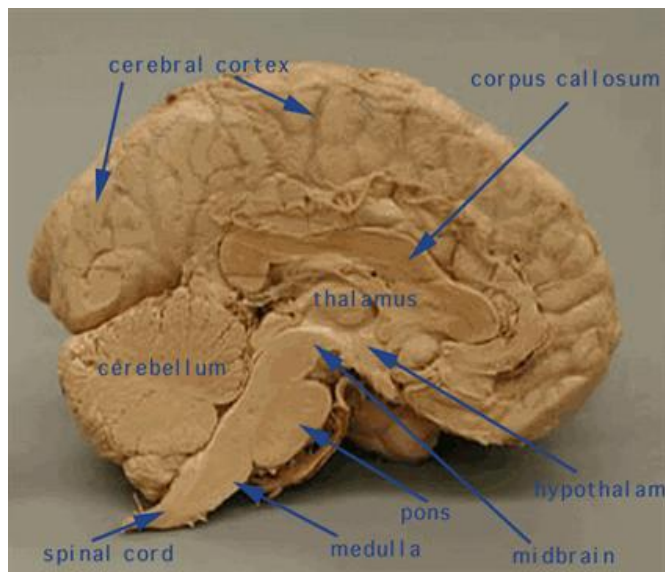
- Άνω, μέση, κάτω μετωπιαία έλικα (Superior, Middle, Inferior frontal gyrus): ονομάζονται έτσι αναφορικά με το μετωπιαίο λοβό
- Έσω επιμήκης σχισμή (Medial longitudinal fissure): πρόκειται για την αύλακα που χωρίζει τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια (διαχωρίζει τον εγκέφαλο σε αριστερό και δεξί τμήμα). Προκεντρική και μετακεντρική αύλακα (Precentral και Postcentral sulcus): σε σχέση με την κεντρική αύλακα, η οποία χωρίζει το μετωπιαίο από το βρεγματικό λοβό
- Πλευρική αύλακα (Lateral sulcus): διαχωρίζει το μετωπιαίο και το βρεγματικό λοβό από τον κροταφικό λοβό που βρίσκεται κάτω απ' αυτούς
- Βρεγματοϊνιακή αύλακα (Parietoccipital sulcus): χωρίζει το βρεγματικό από τον ινιακό λοβό-υπάρχει σε μικρό βαθμό στην πλευρική επιφάνεια του ημισφαιρίου, αλλά κυρίως συναντάται στην έσω επιφάνεια.
- Εγκάρσια ινιακή αύλακα (Transoccipital sulcus): ονομάζεται αναφορικά με το ινιακό λοβό



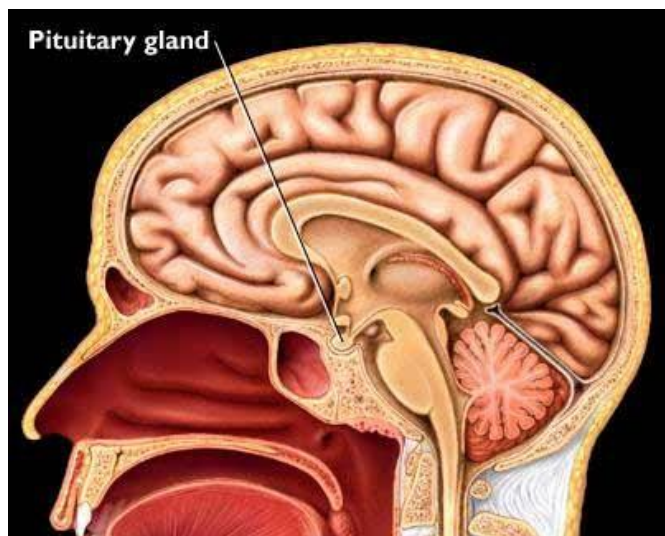
Εικόνα 1.6: Μεγαλύτερες αύλακες και έλικες του φαιού περιβλήματος του εγκεφάλου (φλοιού).

Έχοντας περιγράψει τη θέση των δυο ημισφαιρίων και των επιμέρους τους λοβών, καθώς και τον διαχωριστικό ρόλο των αυλάκων και των ελίκων, κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις πιο σημαντικές δομές στο κέντρο του εγκεφάλου. Πρόκειται για το τμήμα που περικλείουν τα δύο ημισφαίρια και περιλαμβάνει:

- ❖ Το μεσεγκέφαλο (Midbrain): ένα μικρό τμήμα του εγκεφάλου το οποίο παχαίνει στη ραχιαία περιοχή σχηματίζοντας την οπτική στέγη.
- ❖ Το τυλώδες σώμα (Corpus callosum): Το μεσολόβιο ή τυλώδες σώμα αποτελεί τη μεγαλύτερη δέσμη νευρικών ινών που συνδέει μεταξύ τους τα δύο ημισφαίρια του εγκεφάλου. Αν αποκοπεί το μεσολόβιο τα δύο ημισφαίρια δεν επικοινωνούν πια και συμπεριφέρονται σαν δύο αυτόνομοι εγκέφαλοι.
- ❖ Το θάλαμο (Thalamus):(αριστερός και δεξιός) αποτελεί μια μεγάλη σχετικά μεγέθους μάζα φαιάς ουσίας που βρίσκεται κεντρικά στον εγκέφαλο. Σχηματίζεται από μια συνάθροιση νευρικών κυττάρων, μέσω των οποίων ο φλοιός δέχεται αισθητικού τύπου πληροφόρηση σχετικά με το σώμα μας αλλά και το περιβάλλον μας.
- ❖ Τον υποθάλαμο (Hypothalamus): μια περιοχή, η οποία συντονίζει πολλές θεμελιώδεις δραστηριότητες που έχουν σχέση με την επιβίωση. Είναι το ρυθμιστικό κέντρο των αυτόνομων λειτουργιών, ενώ με τις συνδέσεις του με την υπόφυση (Εικόνα 1.8) ρυθμίζει τις λειτουργίες και τη μεταβολική δραστηριότητα πολλών ενδοκρινών αδένων.



Εικόνα 1.7: Εν τω βάθου περιοχές εγκεφάλου.



Εικόνα 1.8: Υπόφυση

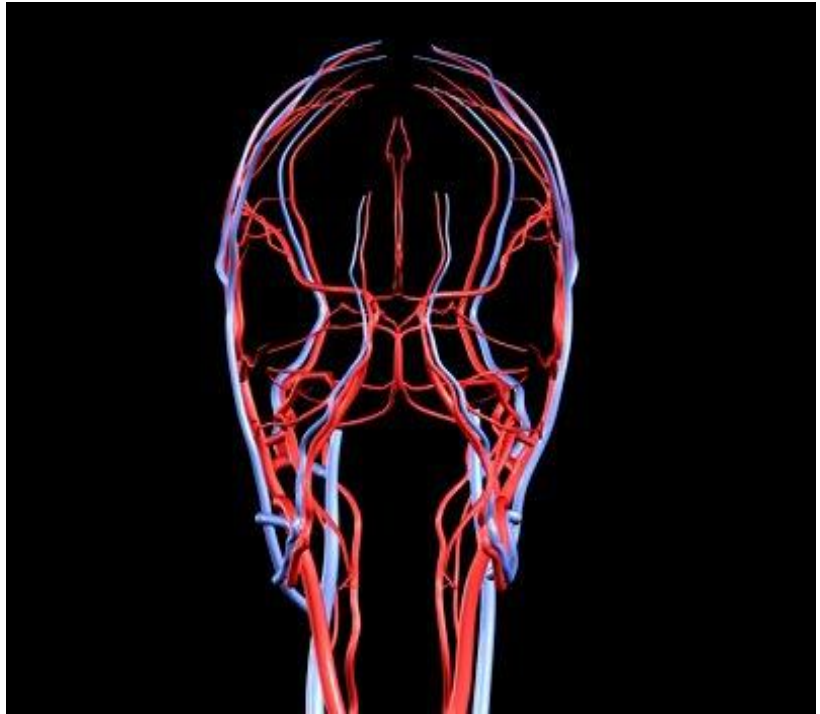
Ανάμεσα στον εγκέφαλο και στην κρανιακή κοιλότητα παρεμβάλλεται μια προστατευτική μεμβράνη, η μήνιγγα, η οποία περιβάλλει το πολύτιμο όργανο της σκέψης. Η αραχνοειδής, η σκληρή και η χοριοειδής μήνιγγα δε συμβάλλουν μόνο στην προστασία αλλά και στη διατροφή του εγκεφάλου. Για καθαρά προστατευτικούς λόγους ο εγκέφαλος διαθέτει επίσης μια σειρά από κοιλότητες γεμάτες υγρό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>Ο</sup>

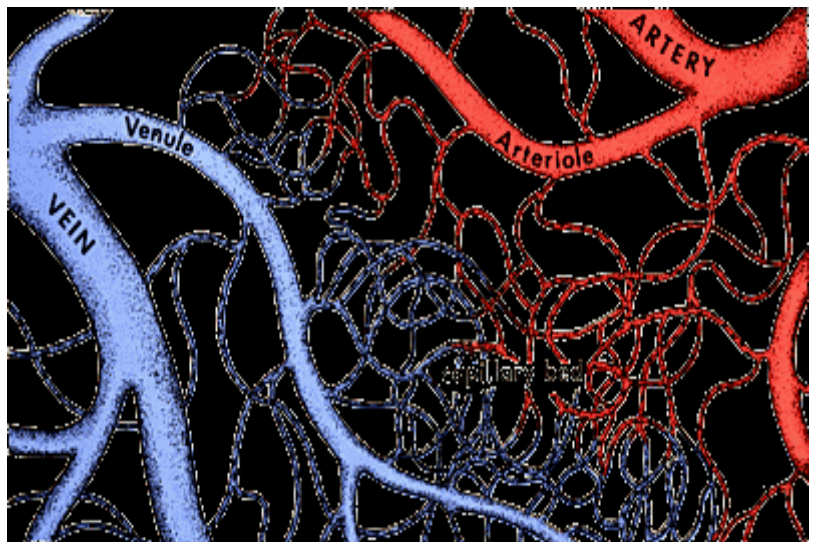
### ΤΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

#### ➤ ΤΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ- ΑΠΑΓΩΓΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΓΩΓΑ ΑΓΓΕΙΑ

Η οξυγόνωση του εγκεφάλου (η οποία πραγματοποιείται μέσω της αιμάτωσής του) είναι ιδιαίτερα σημαντική, ώστε να μπορεί ο οργανισμός να ανταπεξέλθει στις ανάγκες της καθημερινότητας: κατά συνέπεια, πρέπει η παροχή αίματος να είναι σταθερή και η ροή ομοιόμορφη, προκειμένου όλες οι λειτουργίες που αναφέρονται σε συγκεκριμένα κέντρα του εγκεφάλου να επιτελούνται ικανοποιητικά. Τα αγγεία που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία αυτή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, όπως τα αγγεία όλου του κυκλοφορικού συστήματος: τα απαγωγά ή αρτηρίες και τα προσαγωγά ή φλέβες. Τα απαγωγά αγγεία απομακρύνουν το αίμα από την καρδιά προς το υπόλοιπο σώμα-συνεπώς και προς τον εγκέφαλο, από όπου στη συνέχεια μέσω των προσαγωγών αγγείων, αυτό επιστρέφει στην καρδιά. Η σύνδεση των μεν με τα δε γίνεται (εκτός παθολογικών καταστάσεων, όπου έχουμε αρτηριοφλεβικές αναστομώσεις) στα τριχοειδή αγγεία (capillaries).



Εικόνα 2.1: Απλοποιημένη παρουσίαση των αγγείων που μετέχουν στην εγκεφαλική κυκλοφορία



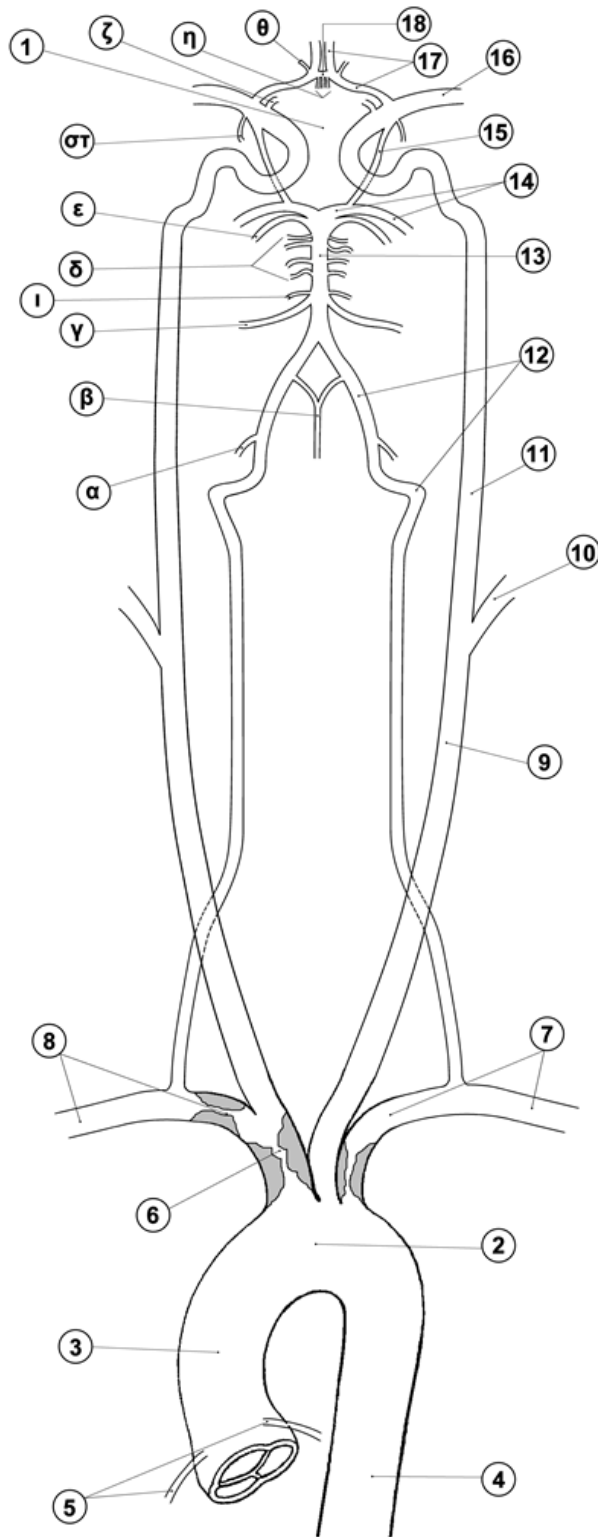
Εικόνα 2.2: Σύνδεση αρτηριακού και φλεβικού συστήματος σε επίπεδο τριχοειδών αγγείων

Κρίνεται σκόπιμο σε αυτό το στάδιο να γίνει σαφές ότι η αιμάτωση του εγκεφάλου παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από άνθρωπο σε άνθρωπο. Μελέτες επιστημόνων επισημαίνουν διαφορές όχι μόνο στην ανατομία των αρτηριών (αλλά και των φλεβών, όπως θα δούμε στη συνέχεια) που διανέμουν (ή απάγουν, αντίστοιχα) το αίμα στον εγκέφαλο, αλλά και στο ποιες περιοχές του εγκεφάλου αιματώνονται περισσότερο από άλλες ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, ακόμα και την προσωπικότητα [23]. Οι διαδρομές των αγγείων που παρουσιάζονται στη συνέχεια και απαρτίζουν τα μοντέλα που κατασκευάστηκαν για τη μελέτη της ροής, όπως και η γεωμετρία τους αλλά και οι μεταξύ τους συνδέσεις, δεν είναι μοναδικές· παρ'όλα αυτά, έγινε η προσπάθεια να ληφθεί η γενικότερη περίπτωση, ώστε τα αγγεία που μελετώνται να απαντώνται στο υψηλότερο ποσοστό του πληθυσμού.

## ➤ ΑΙΜΑΤΩΣΗ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Η αιμάτωση του εγκεφάλου γίνεται κυρίως από το καρωτιδικό και το σπονδυλοβασικό σύστημα [12]. Το αίμα καταλήγει στον εγκέφαλο από τις έσω καρωτίδες (internal carotid arteries) και τις σπονδυλικές αρτηρίες (vertebral arteries). Οι έσω καρωτίδες αιματώνουν τα εγκεφαλικά ημισφαίρια εκτός του ινιακού λοβού και μέρους του κροταφικού λοβού. Η έξω επιφάνεια των ημισφαιρίων αιματώνεται από τη μέση εγκεφαλική αρτηρία (middle cerebral artery), η οποία είναι κλάδος της έσω καρωτίδας, ενώ η εσωτερική επιφάνεια των ημισφαιρίων από την πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία (anterior cerebral artery), η οποία είναι επίσης κλάδος της έσω καρωτίδας. Το αίμα στον ινιακό λοβό και την κάτω επιφάνεια του κροταφικού λοβού παροχετεύεται μέσω της οπίσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας (posterior cerebral artery) [17]. Ο κύκλος του Willis ανακατανέμει τη διατιθέμενη παροχή αίματος σε περίπτωση μείωσης της παροχής αίματος σε κάποιο από τα προσαγωγά αγγεία. [12],[17],[21]. Το δίκτυο αιμάτωσης του εγκεφάλου από την καρδιά μέχρι τον κύκλο του Willis δίνεται στο **Σχήμα 2.1**.





**Σχήμα 2.1:** Δίκτυο αιμάτωσης του εγκεφάλου από την καρδιά μέχρι τον κύκλο του Willis [17]. Διακρίνονται: (1) κύκλος του Willis (circle of Willis), (2) αορτικό τόξο (arch of aorta), (3) ανιούσα αορτή (ascending aorta), (4) κατιούσα αορτή (descending aorta), (5) δεξιά & αριστερή κύρια στεφανιαίες αρτηρίες (right & left main coronary arteries), (6) βραχιονοκεφαλικός κορμός ή ανώνυμη αρτηρία (brachiocephalic trunk or innominate artery), (7) αριστερή υποκλειδιά αρτηρία (left subclavian artery), (8) δεξιά υποκλειδιά αρτηρία (right subclavian artery), (9) αριστερή [δεξιά] κοινή καρωτιδική αρτηρία (left [right] common carotid artery), (10) αριστερή [δεξιά] εξωτερική καρωτιδική αρτηρία (left [right] external carotid artery), (11) αριστερή [δεξιά] εσωτερική καρωτιδική αρτηρία (left [right] internal carotid artery), (12) αριστερή [δεξιά] σπονδυλική αρτηρία (left [right] vertebral artery), (13) βασιλική ή βασική αρτηρία (basilar artery), (14) αριστερή [δεξιά] οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία (left [right] posterior cerebral artery), (15) αριστερή [δεξιά] οπίσθια αναστομωτική αρτηρία (left [right] posterior communicating artery), (16) αριστερή [δεξιά] μέση εγκεφαλική αρτηρία (left [right] middle cerebral artery), (17) αριστερή [δεξιά] πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία (left [right] anterior cerebral artery), (18) πρόσθια αναστομωτική αρτηρία (anterior communicating artery), (α) δεξιά [αριστερή] οπίσθια κάτω παρεγκεφαλική αρτηρία (right [left] posterior inferior cerebellar artery), (β) πρόσθια νωτιαία αρτηρία (anterior spinal artery), (γ) δεξιά [αριστερή] πρόσθια κάτω παρεγκεφαλική αρτηρία

(right [left] anterior inferior cerebellar artery), (δ) γεφυρικές αρτηρίες (pontine arteries), (ε) δεξιά [αριστερή] άνω παρεγκεφαλική αρτηρία (right [left] superior cerebellar artery), (στ) δεξιά [αριστερή] πρόσθια χοριοειδής αρτηρία (right [left] anterior choroidal artery), (ζ) δεξιά [αριστερή] οφθαλμική αρτηρία (right [left] ophthalmic artery), (η) πρόσθιες έσω κεντρικές (διαπτεραινόντες) αρτηρίες (anteromedial central (perforating) arteries), (θ) παλινδρομος αρτηρία του Heubner (Heubner's recurrent artery), (ι) δεξιά [αριστερή] λαβυρινθική (έσω ακουστική) αρτηρία (right [left] labyrinthine (internal acoustic) artery).

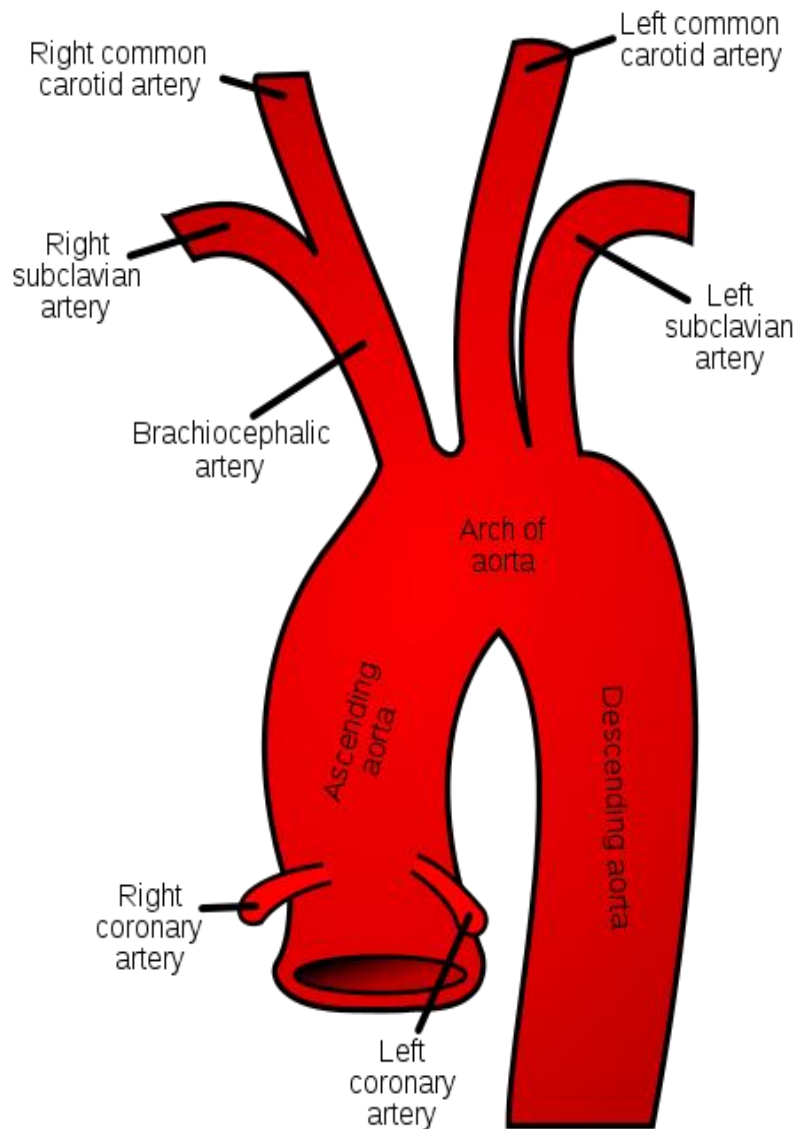
➤ **ΑΡΤΗΡΙΕΣ ΠΟΥ ΛΗΦΘΗΚΑΝ ΥΠ'ΟΨΙΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ [17]**

**Βραχιονοκεφαλικός κορμός** (brachiocephalic trunk): η αρτηρία που τροφοδοτεί με αίμα το δεξί χέρι και τη δεξιά πλευρά του λαιμού και της κεφαλής. Πρόκειται για αγγείο το οποίο δεν έχει συμμετρικό του στο σώμα και αποτελεί το πρώτο τμήμα του αορτικού τόξου. Λίγο μετά την έκφυσή της, η βραχιονοκεφαλική αρτηρία (όπως αλλιώς αποκαλείται) διαχωρίζεται στη δεξιά κοινή καρωτιδική και την αντίστοιχη υποκλείδια αρτηρία. Δεν συναντάται παρά σε μικρό ποσοστό του πληθυσμού και στην αριστερή πλευρά του σώματος, με αποτέλεσμα στην πλειοψηφία των ανθρώπων η αριστερή κοινή καρωτιδική και αριστερή υποκλείδια να πηγάζουν απευθείας από το αορτικό τόξο [34].

**Υποκλείδιες αρτηρίες** (subclavian arteries): καθεμιά από τις δύο υποκλείδιες διανέμει το αίμα στο αντίστοιχο χέρι της εκάστοτε πλευράς του σώματος, ενώ μια διακλάδωση της υποκλείδιου είναι η σπονδυλική αρτηρία, η οποία αιματώνει μέρος της κεφαλής.

**Κοινές καρωτιδικές αρτηρίες** (common carotid arteries): όπως αναφέρθηκε ήδη, απαντώνται και αριστερή και δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία στο ανθρώπινο σώμα. Τα δύο συμμετρικά αγγεία ακολουθούν την ίδια πορεία, με μόνη διαφορά το σημείο εκκίνησής τους (βλ. «Βραχιονοκεφαλικός κορμός»). Καθώς σκαρφαλώνει στο λαιμό, η κοινή καρωτιδική διακλαδίζεται σε εσωτερική και εξωτερική- η εσωτερική καρωτιδική αρτηρία ακολουθεί βαθύτερη και εσωτερική διαδρομή, καταλήγοντας να αιματώνει τον εγκέφαλο, ενώ η εξωτερική καρωτιδική αιματώνει τις επιφανειακές περιοχές του λαιμού και του προσώπου [10], [34].

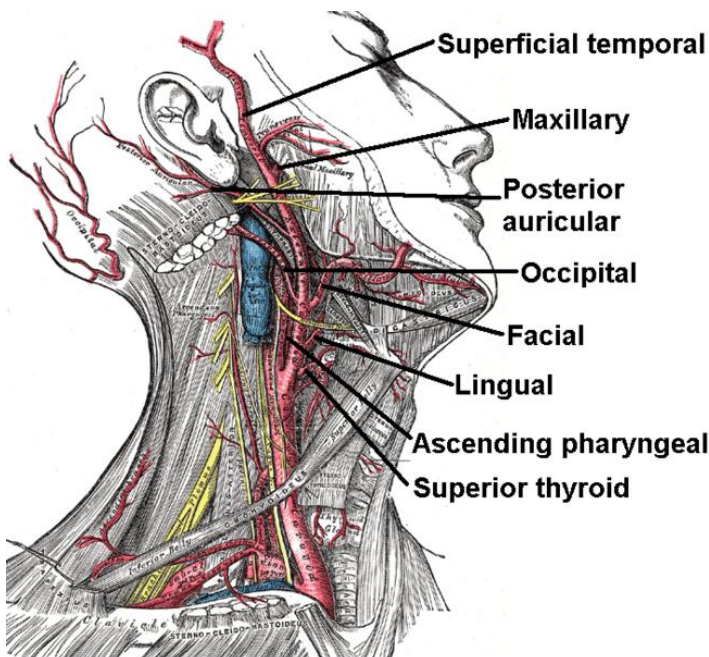
- **Εξωτερική καρωτιδική αρτηρία** (external carotid artery): προέρχεται από το διαχωρισμό της κοινής καρωτιδικής σε εσωτερική και εξωτερική καρωτιδική. Είναι αρτηρία η οποία συναντάται και στο αριστερό και στο δεξιό μέρος του σώματος και διακλαδίζεται σε πολλές μικρότερες (προσωπική, φαρυγγική, άνω θυροειδής, γλωσσική, ινιακή, οπίσθια ακουστική κ.α)
- **Εσωτερική καρωτιδική αρτηρία** (internal carotid artery): πρόκειται για δύο αρτηρίες (αριστερή και δεξιά αντίστοιχα), οι οποίες αιματώνουν τον εγκέφαλο. Καθεμιά τους διαιρείται σε πρόσθια εγκεφαλική, μέση εγκεφαλική και οπίσθια αναστομωτική αρτηρία. Ξεχωριστό χαρακτηριστικό της εσωτερικής καρωτιδικής αρτηρίας είναι ότι δύναται να λάβει



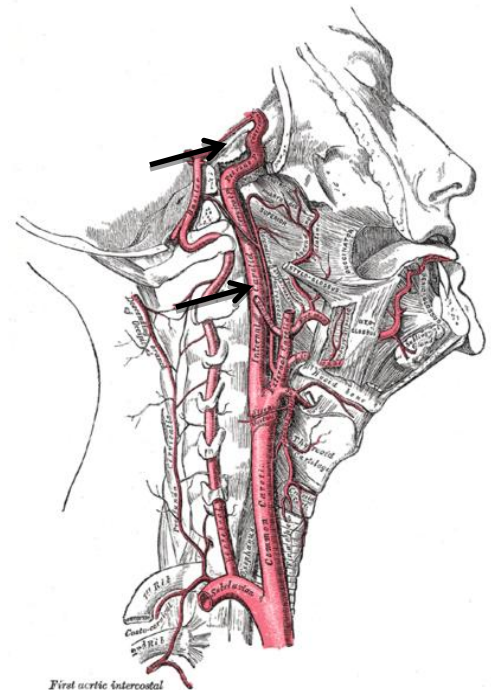
**Εικόνα 2.3:** Αορτικό τόξο, βραχιονοκεφαλικός κορμός, υποκλείδιες και κοινές καρωτιδικές αρτηρίες



αίμα από τον εγκέφαλο μέσω μιας ιδιαίτερης δομής που τροφοδοτεί με αίμα τον εγκέφαλο, τον ονομαζόμενο κύκλο του Willis.



**Εικόνα 2.4:** Διακλαδώσεις της εξωτερικής καρωτιδικής αρτηρίας

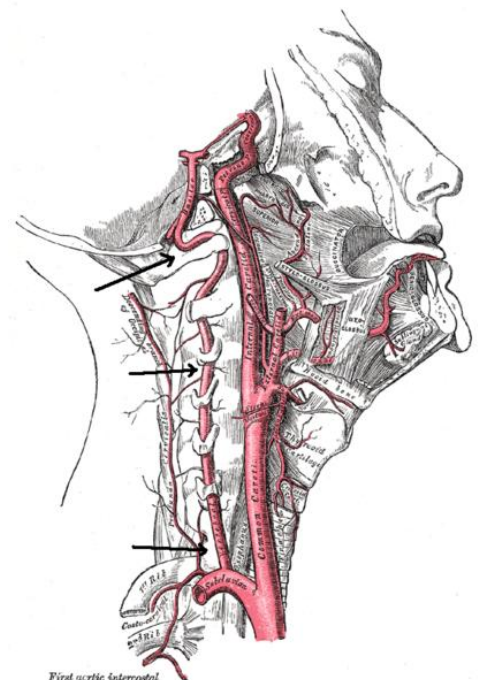


**Εικόνα 2.5:** Πορεία της εσωτερικής καρωτιδικής αρτηρίας πριν το διαχωρισμό σε πρόσθια, μέση και οπίσθια αναστοματική εγκεφαλική αρτηρία

**Σπονδυλικές αρτηρίες** (vertebral arteries): πρόκειται για ζεύγος αρτηριών που εκφύονται από καθεμιά από τις υποκλείδιες αρτηρίες και ενώνονται για να σχηματίσουν την βασική ή βασιλική αρτηρία, σε μια δομή που καλείται σπονδυλοβασικό σύστημα. Η διαδρομή που ακολουθούν κατά μήκος του λαιμού πριν «συναντηθούν», είναι παράλληλη με αυτή των καρωτίδων. Συνήθως η αριστερή σπονδυλική αρτηρία είναι λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη δεξιά και κατ' επέκταση μεταφέρει περισσότερο αίμα [1].

**Βασική αρτηρία** (basilar artery): στον άνθρωπο, η βασική είναι μια από τις αρτηρίες που τροφοδοτούν με οξυγονομένο αίμα τον εγκέφαλο. Μαζί με τις δύο σπονδυλικές αρτηρίες καλούνται σπονδυλοβασικό σύστημα και μεταφέρουν αίμα στο οπίσθιο τμήμα του κύκλου του Willis, ενώ αναστομώνονται με το αίμα που φτάνει στο πρόσθιο τμήμα του Willis, μέσω των εσωτερικών καρωτίδων [8].

**Οπίσθιες εγκεφαλικές αρτηρίες** (posterior cerebral arteries): ζεύγος αρτηριών που παροχετεύει αίμα κυρίως στο οπίσθιο αίμα του εγκεφάλου. Συγκεκριμένα τροφοδοτούν εξ' ολοκλήρου τον ινιακό λοβό, το οπίσθιο τμήμα του κροταφικού λοβού, τμήμα του θαλάμου και του μεσεγκεφάλου. Εκφύονται στο σημείο διαχωρισμού βασικής



**Εικόνα 2.6:** Πορεία της σπονδυλικής αρτηρίας πριν ενωθεί με την συμμετρική της

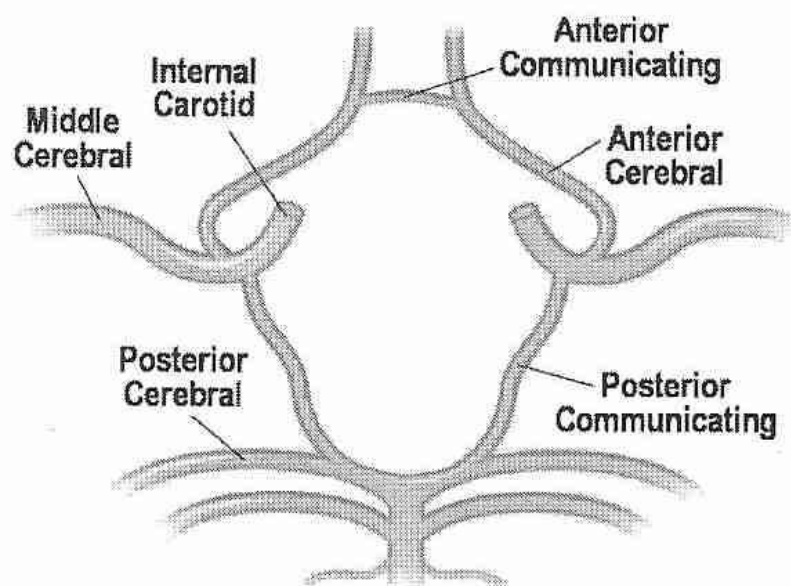
και οπίσθιας αναστομωτικής αρτηρίας της κάθε πλευράς, ενώ ενώνονται με τη μέση εγκεφαλική και την εσωτερική καρωτιδική αρτηρία της αντίστοιχης πλευράς μέσω της οπίσθιας αναστομωτικής αρτηρίας [8].

**Μέσες εγκεφαλικές αρτηρίες** (middle cerebral arteries): πρόκειται για ζευγάρι αρτηριών που πηγάζουν από τις εσωτερικές καρωτιδικές αρτηρίες. Ξεχωριστά η καθεμία, εκτείνονται κατά μήκος της πλευρικής αύλακας, όπου και διαχωρίζονται σε πολυάριθμες μικρότερες αρτηρίες που αιματώνουν τον εγκεφαλικό φλοιό. Επίσης, τροφοδοτούν με αίμα το πρόσθιο τμήμα των κροταφικών λοβών και την αύλακα που διαχωρίζει τον κροταφικό από τον μετωπιαίο λοβό. Λόγω του ότι εγείρονται από τις εσωτερικές καρωτίδες συνδέονται με τις πρόσθιες εγκεφαλικές αρτηρίες και τις οπίσθιες αναστομωτικές αρτηρίες, που αναλύονται ακολούθως –σημειώνεται ότι οι μέσες εγκεφαλικές αρτηρίες δεν συμμετέχουν στον κύκλο του Willis [8], [33].

**Οπίσθιες αναστομωτικές αρτηρίες** (posterior communicating arteries): ζεύγος αριστερού και δεξιού αγγείου που περιλαμβάνονται στον κύκλο του Willis. Καθεμία εκ των δύο οπίσθιων αναστομωτικών αρτηριών, συνδέει τις τρεις μεγαλύτερες και σημαντικότερες αρτηρίες της αντίστοιχης πλευράς του εγκεφάλου: στο μπροστινό μέρος συνδέει την εσωτερική καρωτιδική αρτηρία με τη μέση εγκεφαλική και την πρόσθια εγκεφαλική. Στο πίσω μέρος, επικοινωνεί με την εκάστοτε οπίσθια εγκεφαλική φλέβα (αριστερή ή δεξιά).

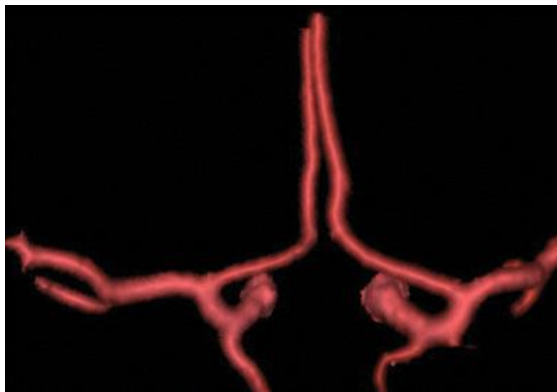
**Πρόσθιες εγκεφαλικές αρτηρίες** (anterior cerebral arteries): ζεύγος αρτηριών που αιματώνουν το μεγαλύτερο κομμάτι των μετωπιαίων και το πρόσθιο τμήμα των βρεγματικών λοβών. Εγείρονται από τις έσω καρωτιδικές αρτηρίες και λαμβάνουν μέρος στον κύκλο του Willis. Οι δύο πρόσθιες εγκεφαλικές αρτηρίες επικοινωνούν μέσω μιας μικρής αρτηρίας, της πρόσθιας αναστομωτικής, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

**Πρόσθια αναστομωτική αρτηρία** (anterior communicating artery): το εν λόγω αγγείο συνδέει τη δεξιά με την αριστερή πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία. Ορισμένες φορές, όταν η αναστομωτική αρτηρία απουσιάζει, οι δύο πρόσθιες εγκεφαλικές ενώνονται σημειακά για να σχηματίσουν έναν κορμό, ο οποίος στη συνέχεια διαχωρίζεται ξανα, ή σε αντίθετη περίπτωση ενδέχεται να μην ενώνονται καθ' όλη την διαδρομή τους. Γενικότερα η ύπαρξη και ανατομία της αναστομωτικής αυτής αρτηρίας ποικίλλει στον πληθυσμό, όταν όμως υφίσταται, συμμετέχει στον κύκλο του Willis [33].

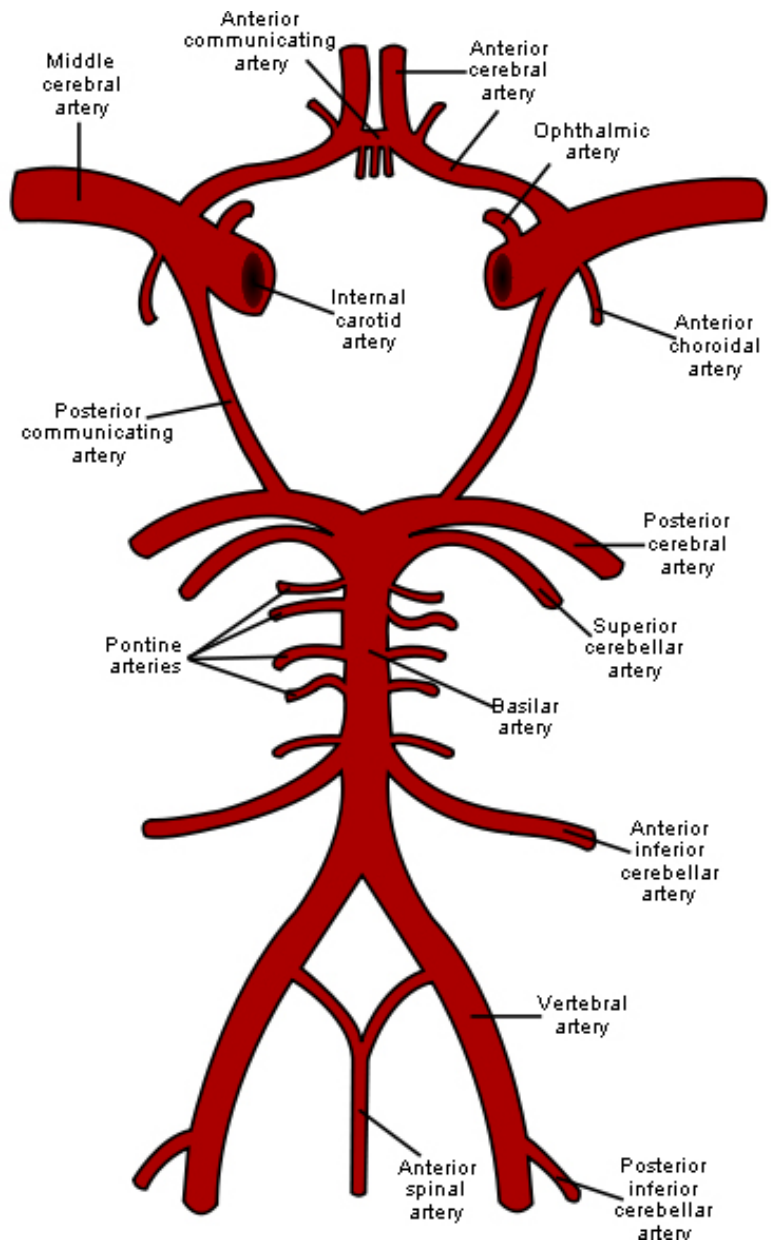


Εικόνα 2.7: Αρτηρίες οι οποίες συμμετέχουν άμεσα ή έμμεσα στον κύκλο του Willis

Περίπου το 34.5% των ανθρώπων έχει ολοκληρωμένο (ανεπτυγμένο όπως στην **Εικόνα 1.16**) κύκλο του Willis [36]. Το υπόλοιπο 65.5% παρουσιάζει υποανάπτυκτες αρτηρίες σε ορισμένες περιπτώσεις απουσιάζουν όχι μόνο τμήματα, αλλά ολόκληρες αρτηρίες. Παρόλ' αυτά, υπό φυσιολογικές συνθήκες κάποιος που παρουσιάζει μία από τις παραπάνω παθολογικές καταστάσεις ενδέχεται να μην εμφανίζει κανένα σύμπτωμα. Προβλήματα δημιουργούνται σε περίπτωση ύπαρξης στενώσεων σε κάποιο προσαγωγό αγγείο, οπότε αυξάνεται ο κίνδυνος εμφάνισης εγκεφαλικού επεισοδίου. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι που οδηγούν στην ανάγκη κατασκευής μοντέλων προσομοίωσης της ροής στον εγκέφαλο.



**Εικόνα 2.9:** Περίπτωση απουσίας της πρόσθιας αναστομωτικής αρτηρίας



**Εικόνα 2.8:** Αιμάτωση του εγκεφάλου- απεικόνιση του κύκλου του Willis



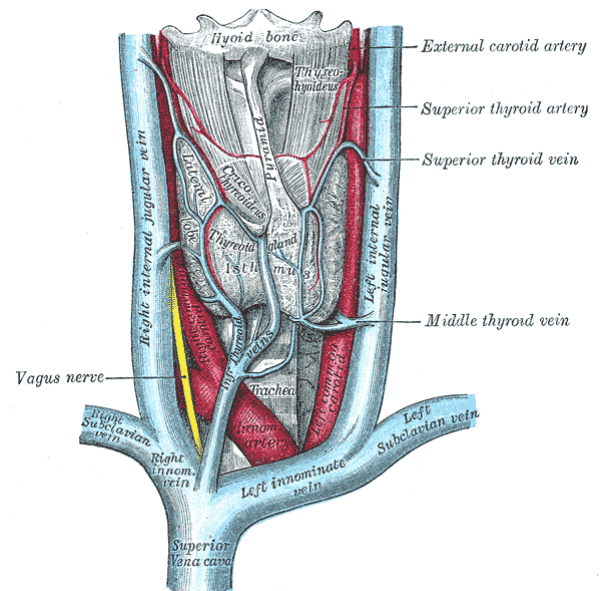
## ➤ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΑΙΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΓΚΕΦΑΛΟ

Η επιστροφή του αίματος από τον εγκέφαλο γίνεται μέσω ενός δικτύου εγκεφαλικών φλεβών (cerebral veins) και κόλπων (sinuses) που επικοινωνούν μεταξύ τους. Το αίμα αφού διέλθει από τους κόλπους ρέει μέσα από τις έσω σφαγίτιδες (internal jugular veins) και ενίοτε τις σπονδυλικές φλέβες (vertebral veins), για να καταλήξει στις δύο βραχιονοκεφαλικές φλέβες (brachiocephalic veins) και εν συνεχεία στην ένωσή τους, την άνω κοίλη φλέβα (superior vena cava) [8], [11]. Χαρακτηριστικά του φλεβικού συστήματος του εγκεφάλου είναι η ανομοιογένεια που παρουσιάζει στον ανθρώπινο πληθυσμό, καθώς επίσης και η πολυπλοκότητά του, που οφείλεται κυρίως στις πολυάριθμες αναστομώσεις του [2]. Η επιλογή των φλεβών που περιλαμβάνονται στο μοντέλο αυτό έγινε με κριτήρια το μέγεθος και τη σπουδαιότητα αυτών (η σπουδαιότητα προκύπτει από την περιοχή απ' όπου παροχετεύεται το αίμα).

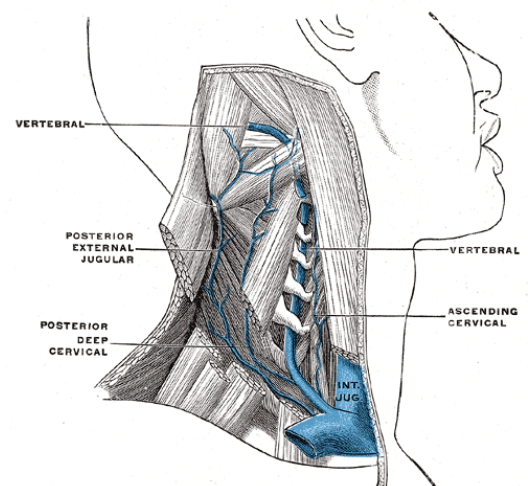
## ➤ ΦΛΕΒΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΣΤΗΡΙΧΘΗΚΕ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ [8]

**Βραχιονοκεφαλικές φλέβες (brachiocephalic veins):** καθεμία (αριστερή και δεξιά) σχηματίζεται από τη συμβολή της έσω σφαγίτιδας και της υποκλειδίου σε κάθε πλευρά. Το σημείο της συμβολής ονομάζεται φλεβώδης γωνία [10]. Πέραν της σφαγίτιδας, η βραχιονοκεφαλική φλεβα παραλαμβάνει και την σπονδυλική φλέβα. Η συμβολή των δυο βραχιονοκεφαλικών φλεβών δημιουργεί την άνω κοίλη φλέβα, η οποία συγκεντρώνει το αίμα απ' το άνω μέρος του σώματος.

**Σπονδυλικές φλέβες (vertebral veins):** σχηματίζονται από πολυάριθμα φλεβίδια που πηγάζουν από το εσωτερικό σπονδυλικό φλεβικό πλέγμα (internal vertebral venous plexus), τα οποία ενώνονται με μικρές φλέβες των εν τω βαθυ μυών στο πάνω και πίσω μέρος του λαιμού, σχηματίζοντας ένα πυκνό πλέγμα (σε κάθε πλευρά) γύρω από την σπονδυλική αρτηρία. Αυτό το πλέγμα καταλήγει σε έναν ενιαίο κορμό, ο οποίος εκβάλει στην βραχιονοκεφαλική φλέβα και διαθέτει από ένα ζεύγος βαλβίδων. Η σημαντικότητα των σπονδυλικών φλεβών έγκειται στην ιδιότητά τους να προσλαμβάνουν, μέσω του έσω σπονδυλικού φλεβικού πλέγματος, ποσότητα αίματος από τον εγκέφαλο. Μάλιστα, μελέτες επιβεβαιώνουν πως όταν το ανθρώπινο σώμα δεν βρίσκεται σε ύπτια θέση, οι σπονδυλικές φλέβες αποτελούν τον κύριο αγωγό μέσω του οποίου επιστρέφει το αίμα του εγκεφάλου στην άνω κοίλη φλέβα και κατ' επέκταση στην καρδιά [28].

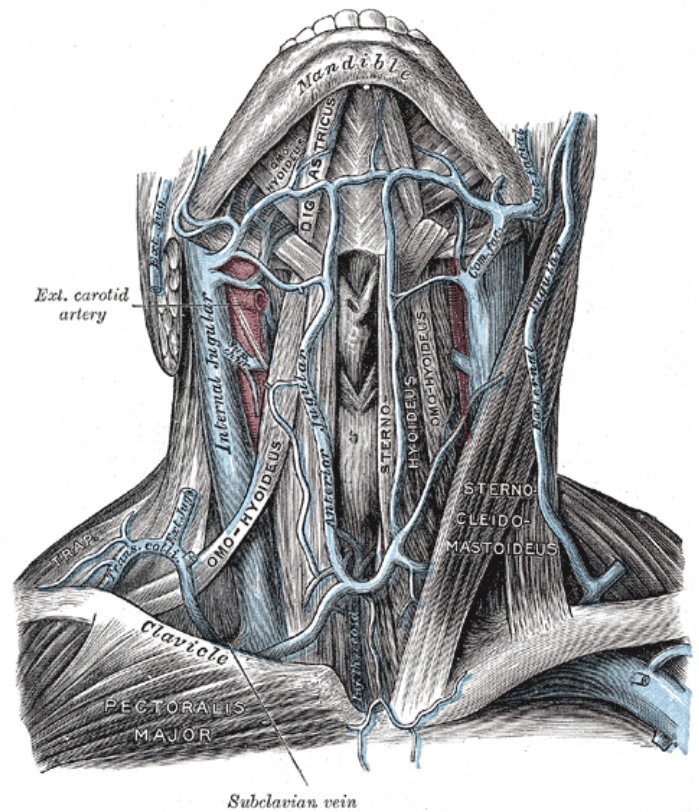


Εικόνα 2.10: Βραχιονοκεφαλικές φλέβες



Εικόνα 2.11: Σπονδυλικές φλέβες

**Έσω σφαγιτίδες φλέβες (internal jugular veins):** πρόκειται για τις κύριες φλέβες του λαιμού (αριστερή και δεξιά). Συλλέγουν το αίμα από τον εγκέφαλο, το κεφάλι και το λαιμό. Σχηματίζονται στη βάση του κρανίου από την ένωση δύο κόλπων, του σιγμοειδούς και του κάτω οβελιαίου κόλπου, οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια [6]. Στην αρχή τους, καθεμία από τις δύο έσω σφαγιτίδες παρουσιάζει διευρυμένη διάμετρο. Η περιοχή αυτή ονομάζεται άνω σφαγιτιδικός βολβός (superior jugular bulb). Οι δύο φλέβες κατεβαίνουν κατά μήκος του λαιμού και ενώνονται με τις δύο υποκλειδίες φλέβες για να σχηματίσουν τις βραχιονοκεφαλικές φλέβες. Λίγο πάνω από το τερματικό τους σημείο η διάμετρος τους παρουσιάζει και πάλι μια διεύρυνση (inferior jugular bulb), ενώ περίπου 2,5cm πριν την ένωση με τις υποκλειδίες φλέβες, και οι δύο έσω σφαγιτίδες διαθέτουν από ένα ζεύγος βαλβίδων. Συνήθως η δεξιά έσω σφαγιτίδα είναι μεγαλύτερη σε μήκος και διάμετρο από την αριστερή [10].



**Εικόνα 2.12:** Έσω σφαγιτίδες φλέβες

Οι φλέβες που εκβάλλουν στις έσω σφαγιτίδες διαχωρίζονται σε ενδοκρανιακούς και εξωκρανιακούς φλεβικούς κλάδους. Η παρούσα μελέτη αφορά την κυκλοφορία του αίματος στον εγκέφαλο (ενδοκρανιακοί φλεβικοί κλάδοι), αλλά σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά και στους εξωκρανιακούς κλάδους, αφού λαμβάνονται υπόψιν στους υπολογισμούς.

- **Εξωκρανιακοί φλεβικοί κλάδοι**

**Κοινή προσωπική φλέβα (common facial vein):** σχηματίζεται από τη συμβολή της πρόσθιας και της οπίσθιας προσωπικής φλέβας αντίστοιχα προς τη γωνία της κάτω γνάθου και εκβάλλει στην έσω σφαγιτίδα φλέβα. Σε ορισμένες περιπτώσεις αναστομώνεται και με την έξω σφαγιτίδα [8],[10].

α) **πρόσθια προσωπική φλέβα (anterior facial vein):** αρχίζει από το ριζορίνιο και σχηματίζεται από τη συμβολή των μετωπιαίων, των υπερκόγχιων φλεβών και της άνω οφθαλμικής. Στη πρόσθια προσωπική φλέβα εκβάλλουν: 1. οι έξω ρινικές, 2. η άνω χειλική, 3. η εν τω βάθει προσωπική, 4. οι βλεφαρικές, 5. η κάτω χειλική, 6. η μασητήριος, 7. η υπερώιος φλέβα. Η πρόσθια προσωπική φλέβα έχει σημαντική πρακτική αξία διότι με τις αναστομώσεις της επικοινωνεί με τον σφραγγώδη κόλπο του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η επέκταση φλεγμονών από το πρόσωπο.

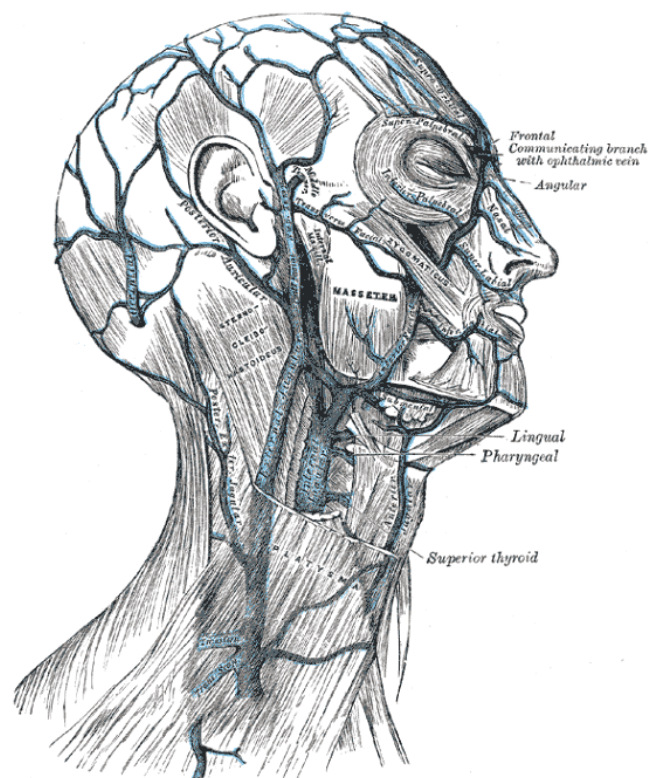
β) οπίσθια προσωπική φλέβα (posterior facial vein): σχηματίζεται από τη συμβολή της επιπολικής κροταφικής και της γναθιαίας φλέβας. Λόγω της επικοινωνίας της με την κροταφική φλέβα δέχεται αίμα και από τη μέση κροταφική, τις οπίσθιες παρωτιδικές, την εγκάρσια προσωπική φλέβα και από τις φλέβες της κροταφογναθικής άρθρωσης. Τμήμα της οπίσθιας προσωπικής διαχωρίζεται από την υπόλοιπη και καταλήγει στην έξω σφαγίτιδα.

Άνω θυροειδείς φλέβες (superior thyroid veins): πρόκειται για δορυφόρες φλέβες της άνω θυροειδούς αρτηρίας.

Φαρυγγικές φλέβες (pharyngeal veins): ξεκινούν στο φαρυγγικό πλέγμα και καταλήγουν στην έσω σφαγίτιδα.

Γλωσσικές φλέβες (lingual veins): καθεμία εκ των δύο ακολουθεί την πορεία της γλωσσικής αρτηρίας και εκβάλλει στην έσω σφαγίτιδα φλέβα.

Φλέβες του κοχλιακού σωληναρίου (veins of the cochlear canal): φλέβες που παραλαμβάνουν το αίμα του κοχλίου και εκβάλλουν στον άνω βολβό της έσω σφαγίτιδας.



**Εικόνα 2.13:** Μερικοί εξωκρανιακοί φλεβικοί κλάδοι

- **Ενδοκρανιακοί φλεβικοί κλάδοι**

✓ Φλεβώδεις κόλποι της σκληρής μήνιγγας (venuses of the dura matter): φλεβικοί αγωγοί με άκαμπτο τοίχωμα, οι οποίοι δέχονται αίμα από τις έσω και έξω εγκεφαλικές φλέβες, τους κόγχους και το θόλο του κρανίου, και το διοχετεύουν και στις δύο πλευρές στις σφαγίτιδες φλέβες. Οι κόλποι δεν έχουν βαλβίδες και επενδύονται εσωτερικά από ενδοθήλιο. Σε ορισμένες θέσεις εμφανίζουν πλάγια εκκολπώματα, σχηματίζοντας «πλάγιες λεκάνες» [20]. Οι διευρύνσεις αυτές περιέχουν τα αραχνοειδή σωμάτια με τα οποία το εγκεφαλονωτιαίο υγρό απορροφάται και μεταφέρεται στο φλεβικό αίμα. Οι φλεβώδεις κόλποι της σκληρής μήνιγγας διαιρούνται σε μια άνω και μια κάτω ομάδα:

Άνω ομάδα:

- I. Άνω οβελιαίος κόλπος (superior sagittal sinus)
- II. Κάτω οβελιαίος κόλπος (inferior sagittal sinus)
- III. Ευθύς κόλπος (straight sinus /rectus sinus)
- IV. Ινιακός κόλπος (occipital sinus)
- V. Εγκάρσιος κόλπος (transverse sinus)
- VI. Σιγμοειδής κόλπος (sigmoid sinus)
- VII. Συμβολή των κόλπων (ληνός του Ηροφίλου) (confluence of sinuses)



Κάτω ομάδα:

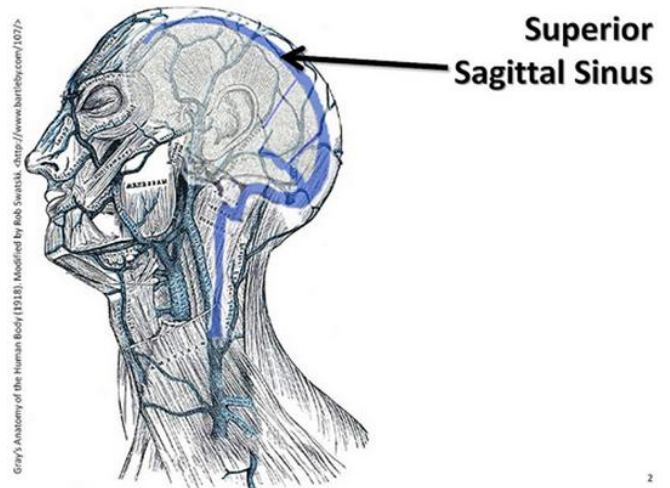
- I. Σηραγγώδης κόλπος (cavernous sinus)
- I. Εμπρόσθιος μεσοσηραγγώδης κόλπος (anterior intercavernous sinus)
- II. Οπίσθιος μεσοσηραγγώδης κόλπος (posterior intercavernous sinus)
- III. Σφηνοβρεγματικός κόλπος (sphenoparietal sinus)
- IV. Άνω λιθοειδής κόλπος (superior petrosal sinus)
- V. Κάτω λιθοειδής κόλπος (inferior petrosal sinus)

Η άνω και η κάτω ομάδα των κόλπων επικοινωνούν με τα φλεβικά πλέγματα του σπονδυλικού σωλήνα μέσω του βασικού πλέγματος, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Ακολουθώς εξετάζουμε τον κάθε κόλπο ξεχωριστά:

Άνω ομάδα > **Άνω οβελιαίος κόλπος** (superior sagittal sinus): ξεκινά από το κάλιον με εύρος 1-2mm και καταλήγει στον Ληνό του Ηροφίλου. Επιτρέπει στο αίμα να κατευθυνθεί από το πρόσθιο τμήμα των εγκεφαλικών ημισφαιρίων στη συμβολή των κόλπων. Στην εσωτερική του επιφάνεια είναι εμφανή τα ανοίγματα στα οποία καταλήγουν οι άνω εγκεφαλικές φλέβες. Πέραν των άνω εγκεφαλικών φλεβών, δέχεται τις διπλοϊκές φλέβες, την αναστοματική φλέβα του Trolard και λίγο πριν το άκρο της οβελιαίας ραφής, κάποιες φλέβες από το περικράνιο [10].

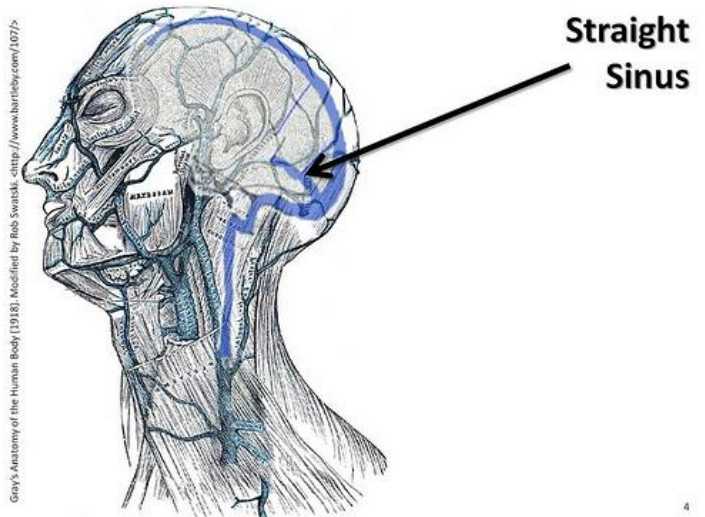
Από ανατομικής πλευράς, είναι τριγωνικής διατομής, στενός μπροστά και αυξάνει σε μέγεθος καθώς κατευθύνεται προς τα πίσω. Όσον αφορά το μήκος του, ο άνω οβελιαίος κόλπος χωρίζεται σε τρία μέρη: πρόσθιο, προσθιοβρεγματικό και οπίσθιο τμήμα (σχήμα).

Άνω ομάδα > **Κάτω οβελιαίος κόλπος** (inferior sagittal sinus): κόλπος κάτω από τον εγκέφαλο που κατευθύνει το αίμα από το κέντρο της κεφαλής προς τα πίσω. Μεταφέρει το αίμα από τα εν τω βάθει σημεία και το κέντρο του εγκεφάλου στον ευθύ κόλπο.



Εικόνα 2.14: Άνω οβελιαίος κόλπος

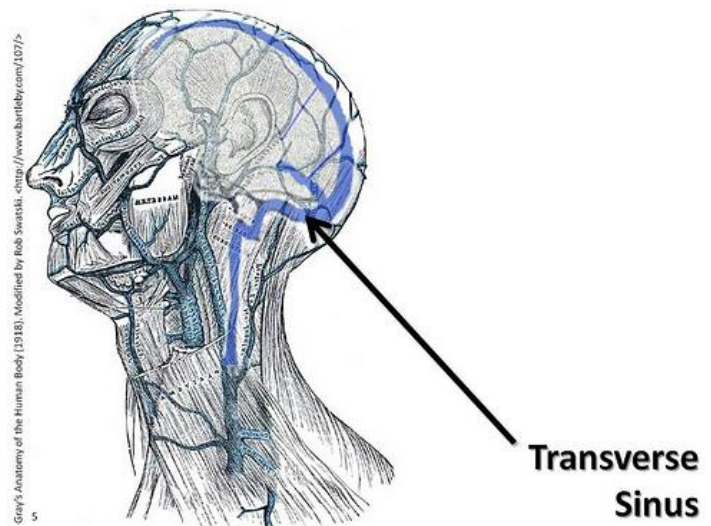
Άνω ομάδα > **Ευθύς κόλπος** (straight sinus): κόλπος που βρίσκεται κάτω από τον εγκέφαλο και σχηματίζεται από τα στρώματα της σκληρής μήνιγγας που επικαλύπτουν την παρεγκεφαλίδα για να τη διαχωρίσουν από την επιφάνεια του ινιακού και του κροταφικού λοβού. Προσλαμβάνει το αίμα από τον κάτω οβελιαίο κόλπο, ορισμένες μικρές φλέβες της παρεγκεφαλίδας, την precentral παρεγκεφαλική φλέβα και τη μεγάλη φλέβα του Γαληνού. Το εν λόγω αίμα εκβάλλεται στη συμβολή των κόλπων. Η διατομή του είναι τριγωνική και αυξάνει σε μέγεθος καθώς εκτείνεται από εμπρός προς το Ληνό του Ηροφίλου. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ο ευθύς κόλπος είναι μονός και σε ποσοστό κατώτερο του 10% εμφανίζεται ως ζεύγος κόλπων [15].



Εικόνα 2.15: Ευθύς κόλπος

Άνω ομάδα > **Ινιακός κόλπος** (occipital sinus): ο μικρότερος από τους κόλπους της σκληρής μήνιγγας. Εμφανίζεται περίπου στο 38-45% του πληθυσμού και σύμφωνα με τις έρευνες, η απουσία του είναι συχνότερη στα άτομα κάτω των 50 ετών [5]. Συνήθως είναι ένας, αλλά σπανιότερα παρουσιάζεται σε ζεύγος. Επικοινωνεί με το οπίσθιο εσωτερικό σπονδυλικό φλεβικό πλέγμα (posterior internal vertebral venous plexus) και καταλήγει στη συμβολή των κόλπων. Λόγω του ότι δεν εμφανίζεται με την ίδια συχνότητα όπως οι υπόλοιποι κόλποι του εγκεφάλου, δεν λήφθηκε υπ' όψιν στην κατασκευή του μοντέλου.

Άνω ομάδα > **Εγκάρσιοι κόλποι** (transverse sinuses): πρόκειται για ζεύγος κόλπων οι οποίοι συμβάλλουν με τον οβελιαίο και δημιουργούν τον Ληνό του Ηροφίλου στην περιοχή του έσω ινιακού ογκώματος. Ξεκινούν από τη συμβολή των κόλπων και καταλήγουν στους δύο σιγμοειδείς κόλπους αντίστοιχα. Στους εγκάρσιους κόλπους εκβάλλουν οι άνω λιθοειδείς κόλποι. Οι εγκάρσιοι κόλποι εμφανίζουν μια σειρά από παραλλαγές, οι οποίες περιλαμβάνουν απλασία ή υποπλασία ενός εκ των δύο κόλπων. Στη γενική περίπτωση υφίστανται και οι δύο εγκάρσιοι κόλποι και συνηθέστερα ο δεξιός είναι λίγο μεγαλύτερος από τον αριστερό.



Εικόνα 2.16: Εγκάρσιος κόλπος

Άνω ομάδα > **Σιγμοειδείς κόλποι** (sigmoid sinuses): ζεύγος κόλπων οι οποίοι δέχονται το αίμα από τους εγκάρσιους κόλπους, αφού είναι η συνέχειά τους. Το αίμα που ρέει μέσω των σιγμοειδών

εκβάλλεται στην αριστερή και τη δεξιά σφαγίτιδα φλέβα. Δέχονται την εκβολή των δύο κάτω λιθοειδών κόλπων.

Άνω ομάδα> **Συμβολή των κόλπων** (confluence of sinuses): ονομάζεται και Ληγός του Ηροφίλου. Πρόκειται για το σημείο ένωσης του άνω οβελιαίου κόλπου με τον ευθύ και τον ινιακό κόλπο, ενώ αποτελεί σημείο εκκίνησης για τους δύο εγκάρσιους κόλπους. Σε περίπτωση απουσίας της συμβολής των κόλπων, ο άνω οβελιαίος εκβάλλει (αποκλειστικά ή κυρίως) στον δεξιό εγκάρσιο κόλπο, ενώ ο ινιακός κόλπος στοναριστερό εγκάρσιο κόλπο. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση ο ευθύς κόλπος διχάζεται και εκβάλλει εξίσου στον αριστερό και δεξιό εγκάρσιο [34].

Κάτω ομάδα> **Σηραγγώδεις κόλποι** (cavernous sinuses): ζεύγος κόλπων που έκαστος πορεύεται εκατέρωθεν του πλαγίου σώματος του σφηνοειδούς οστού, εκτεινόμενος οβελιαίως μέχρι την κορυφή του λιθοειδούς οστού και συνάπτεται μετά τους λιθοειδείς κόλπους. Το σχήμα τους είναι ακανόνιστα τριγωνικό. Κάθε σηραγγώδης κόλπος περιέχει τα ακόλουθα [34]:

- Κάθετα, από πάνω προς τα κάτω: κοινό κινητικό νεύρο (CN III), τροχιλιακό νεύρο (CN IV), απαγωγό νεύρο (CN IV), οφθαλμικό νεύρο: το V1 κλάδο του τριδύμου νεύρου (CN V) και το νεύρο της άνω γνάθου: το V2 κλάδο του CN.
- Οριζόντια, εκ των έσω προς τα έξω: εσωτερική καρωτιδική αρτηρία (και συμπαθητικό πλέγμα).

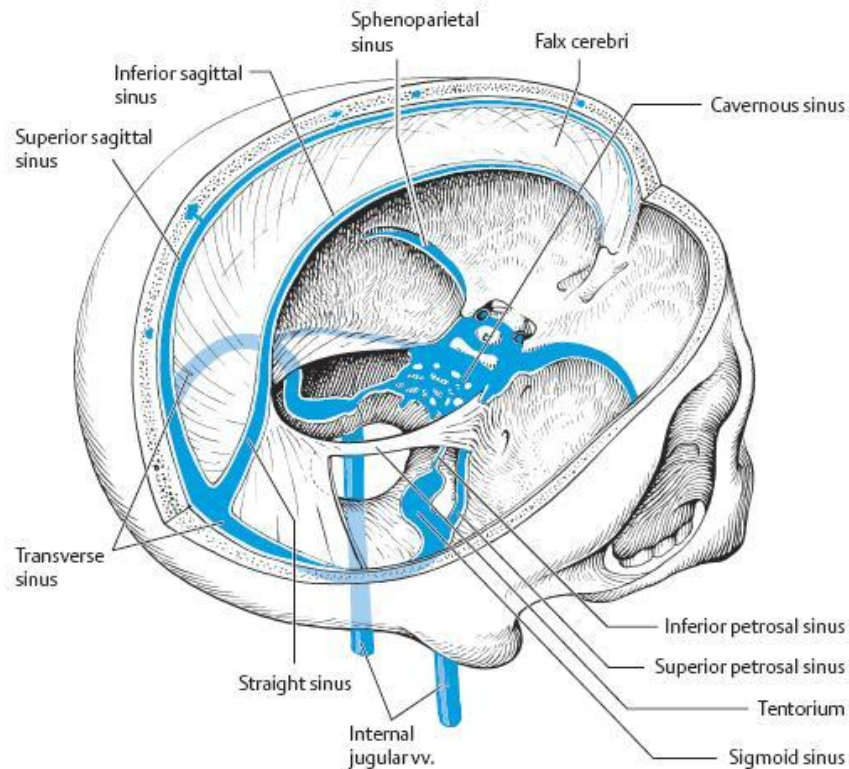
Οι σηραγγώδεις κόλποι επικοινωνούν με τις άνω και κάτω οφθαλμικές φλέβες, τους σφηνοβρεγματικούς κόλπους και τις επιφανειακές μεσοεγκεφαλικές φλέβες [8]. Εκβάλλουν στους άνω και κάτω λιθοειδείς κόλπους, ενώ έχουν επικοινωνία και με το πτερυγοειδές πλέγμα κάθε πλευράς της κεφαλής μέσω των κάτω οφθαλμικών φλεβών.

Κάτω ομάδα> **Εμπρόσθιος και οπίσθιος μεσοσηραγγώδης κόλπος** (anterior and posterior intercavernous sinus): πρόκειται για δύο κόλπους οι οποίοι συνδέουν τους δύο σηραγγώδεις κόλπους της κεφαλής. Ο πρόσθιος διέρχεται μπροστά από την υπόφυση του εγκεφάλου, ενώ ο οπίσθιος πίσω από αυτήν και μαζί με τους σηραγγώδεις κόλπους σχηματίζουν ένα φλεβικό κύκλο γύρω από την υπόφυση. Συνήθως ο πρόσθιος μεσοσηραγγώδης κόλπος είναι μεγαλύτερος από τον οπίσθιο, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ο ένας εκ των δύο απουσιάζει [34].

Κάτω ομάδα> **Σφηνοβρεγματικοί κόλποι** (sphenoparietal sinuses): κόλποι της σκληρής μήνιγγας, οι οποίοι εκτείνονται κατά μήκος της μικρής πτέρυγας του σφηνοειδούς οστού και εκβάλλουν στον εκάστοτε σηραγγώδη κόλπο [8].

Κάτω ομάδα> **Άνω λιθοειδείς κόλποι** (superior petrosal sinuses): πρόκειται για φλεβικές δομές οι οποίες βρίσκονται κάτω από τον εγκέφαλο. Είναι δύο στον αριθμό και καθένας τους δέχεται το αίμα από τον αντίστοιχο σηραγγώδη κόλπο. Εκτείνονται πίσω και πλάγια για να εκβάλλουν τελικά στους σιγμοειδείς κόλπους [8]. Οι άνω λιθοειδείς κόλποι δέχονται κάποιες φλέβες από την παρεγκεφαλίδα καθώς και κατώτερες εγκεφαλικές φλέβες και φλέβες της τυμπανικής κοιλότητας, οι οποίες ξεφεύγουν από τα όρια της παρούσας μελέτης.

Κάτω ομάδα> **Κάτω λιθοειδείς κόλποι** (inferior petrosal sinuses): οι κάτω λιθοειδείς κόλποι βρίσκονται κάτω από τον εγκέφαλο και αντλούν το αίμα από το κέντρο της κεφαλής [8]. Καθένας εκ των δύο εκτείνεται από το σηραγγώδη κόλπο εως τον άνω σφαγιτιδικό βολβό. Οι κάτω λιθοειδείς κόλποι λαμβάνουν τις κάτω ακουστικές φλέβες και φλέβες από την κατώτερη επιφάνεια της παρεγκεφαλίδας (αν και δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στο τυπολογιστικό μοντέλο, αναφέρονται χάριν πληρότητας).



from Baehr M and Frotscher. Duus' Topical Diagnosis in Neurology. 4th ed  
Thieme Stuttgart, New York. 2005; 238

**Εικόνα 2.17:** Κόλποι άνω και κάτω ομάδας

## Φλέβες του εγκεφάλου

Επειδή οι φλέβες του εγκεφάλου δεν πορεύονται παράλληλα με τις αρτηρίες, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιοχών αρτηριακής τροφοδοσίας και φλεβικής αποχέτευσης. Ενώ όλες οι εγκεφαλικές αρτηρίες εισδύουν στον εγκέφαλο από τη βάση του, το φλεβικό αίμα αποχετεύεται από ολόκληρη την επιφάνεια του εγκεφάλου, περιλαμβανομένης της βάσης, καθώς και από το εσωτερικό του εγκεφάλου, με δύο ομάδες φλεβών: τις επιπολείς και τις εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες. Οι επιπολής εγκεφαλικές φλέβες αποχετεύουν το αίμα μέσω φλοιωδών φλεβών και μέσω μυελικών φλεβών από τον εγκεφαλικό φλοιό και τη λευκή ουσία αντίστοιχα, απευθείας στους κόλπους της σκληρής μήνιγγας (sinuses of the dura mater). Οι εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες αποχετεύουν αίμα από βαθύτερα τμήματα της λευκής ουσίας, από το μεσολόβιο και τον

διάμεσο εγκέφαλο, στη μεγάλη φλέβα του εγκεφάλου, η οποία εκβάλλει στον ευθύ κόλπο. Οι δύο περιοχές της φλεβικής αποχέτευσης επικοινωνούν μέσω πολυάριθμων αναστομώνσεων.

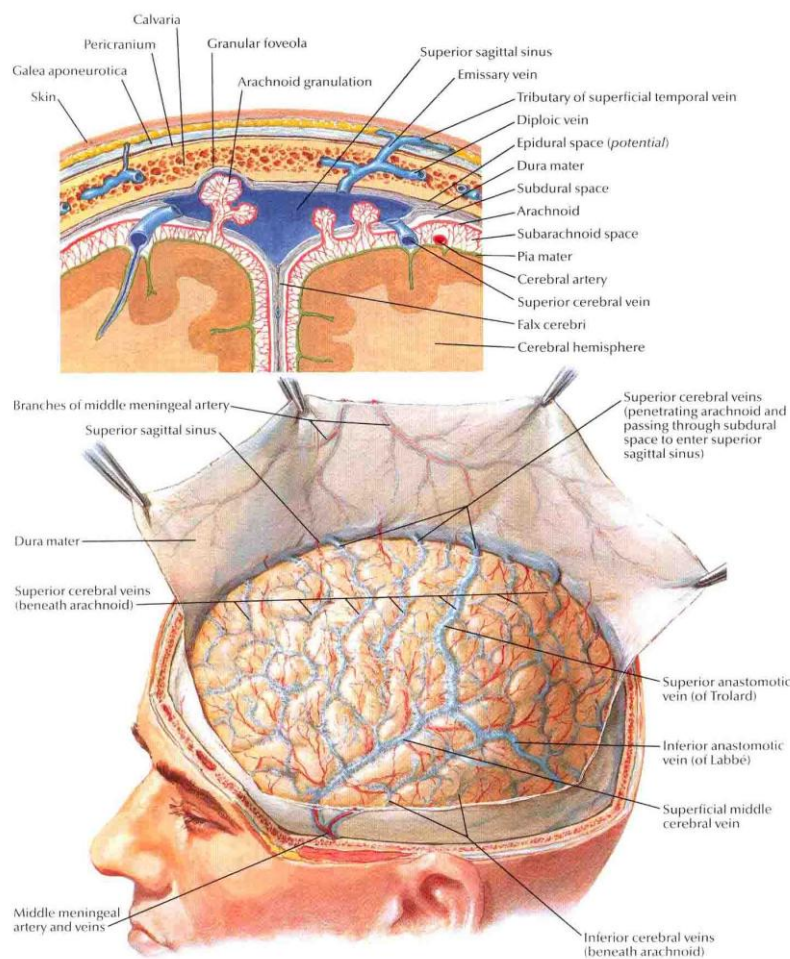
### **Επιπολής εγκεφαλικές φλέβες**

Η διαδρομή των εξωτερικών εγκεφαλικών φλεβών εμφανίζει πολύ μεγάλη ποικιλία και επιπλέον οι φλέβες του υπαραχνοειδούς χώρου δεν ακολουθούν τις αρτηρίες, τις έλικες ή τις αύλακες. Πριν την κατάληξή τους στους κόλπους της σκληρής μήνιγγας, οι φλέβες αφήνουν τον υπαραχνοειδή χώρο και πορεύονται για ένα μικρό διάστημα στον υποσκληρίδιο χώρο μεταξύ σκληρής και αραχνοειδούς μήνιγγας. Τα μικρά αυτά φλεβικά τμήματα καλούνται «γεφυροποιές φλέβες». Οι φλέβες αυτές έχουν ιδιαίτερη κλινική σημασία, διότι είναι δυνατόν να διασπαστούν σε περίπτωση κάκωσης της κεφαλής, με αποτέλεσμα το σχηματισμό αιματώματος.

- **Άνω φλέβες του εγκεφάλου** (superior cerebral veins): πρόκειται για 8-12 φλέβες στον αριθμό, οι οποίες συγκεντρώνουν το αίμα από την ανώτερη, πλάγια και εσωτερική επιφάνεια των ημισφαιρίων. Καθεμία ξεχωριστά εκβάλλει στον άνω οβελιαίο κόλπο. Αναλυτικά διαχωρίζονται σε: (α) προμετωπιαίες (φλέβες που βρίσκονται στον προμετωπιαίο εγκεφαλικό φλοιό), (β) μετωπιαίες (φλέβες που εκτείνονται από τον μετωπιαίο λοβό ως την κεντρική αύλακα), (γ) βρεγματικές (φλέβες του βρεγματικού λοβού), (δ) ινιακές (φλέβες του ινιακού λοβού) [10].
- **Κάτω φλέβες του εγκεφάλου** (inferior cerebral veins): είναι φλέβες μικρού μεγέθους, οι οποίες συγκεντρώνουν το αίμα από τις κατώτερες επιφάνειες των ημισφαιρίων. Χωρίζονται σε φλέβες του μετωπιαίου και του κροταφικού λοβού. Αυτές του μετωπιαίου λοβού συναντούν τις άνω εγκεφαλικές φλέβες και μέσω αυτών εκβάλλουν στον άνω οβελιαίο κόλπο. Οι κάτω εγκεφαλικές φλέβες του κροταφικού λοβού αναστομώνονται με τις μέσες εγκεφαλικές και τις βασικές φλέβες, με αποτέλεσμα να προσχωρούν στους σηραγγώδεις και άνω λιθοειδείς κόλπους.
- **Επιφανειακή μέση εγκεφαλική φλέβα** (superficial middle cerebral vein/ Sylvian vein): πρόκειται για δύο συνολικά φλέβες, καθεμία από τις οποίες εκτείνεται στην πλευρική επιφάνεια του εκάστοτε ημισφαιρίου και καταλήγει στον σηραγγώδη κόλπο. Η επιφανειακή μέση εγκεφαλική φλέβα συνδέεται με τον άνω οβελιαίο κόλπο, μέσω της αναστομωτικής φλέβας του Trolard και με τον αντίστοιχο εγκάρσιο κόλπο της αντίστοιχης πλευράς της κεφαλής, μέσω της αναστομωτικής φλέβας του Labbé.
- **Αναστομωτική φλέβα του Trolard** (superior anastomotic vein): είναι μία από τις άνω φλέβες του εγκεφάλου, η οποία έχει ξεχωριστή σημασία διότι αναστομώνει την επιφανειακή μέση εγκεφαλική φλέβα με τον άνω οβελιαίο κόλπο.
- **Αναστομωτική φλέβα του Labbé** (inferior anastomotic vein): επιπολής κάτω εγκεφαλική φλέβα, η οποία αναστομώνει την επιφανειακή μέση εγκεφαλική φλέβα κάθε πλευράς της κεφαλής με τον αντίστοιχο εγκάρσιο κόλπο.

Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση ότι συνήθως η αναστομωτική φλέβα του Labbé εμφανίζεται μεγαλύτερη και άρα σημαντικότερη στο κυρίαρχο εγκεφαλικό ημισφαίριο, ενώ η φλέβα του Trolard στο ημισφαίριο της άλλης πλευράς. Όταν η αναστομωτική φλέβα Labbé είναι μεγάλη, η φλέβα του Trolard και η επιφανειακή μέση εγκεφαλική φλέβα εμφανίζονται μικρότερες [3].





**Εικόνα 2.18:** Επιτολής εγκεφαλικές φλέβες

### Εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες

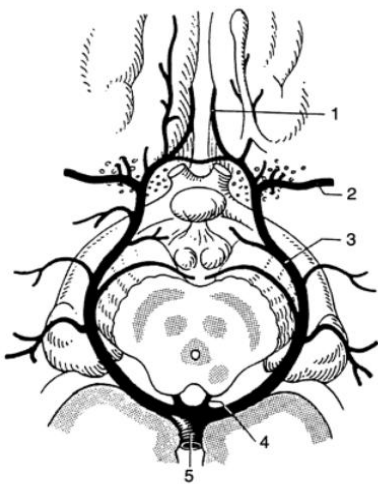
Οι εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες αντλούν αίμα από τη λευκή ουσία των ημισφαιρίων, τη βάση του εγκεφάλου, τα τοιχώματα της κοιλίας και το αγγειακό πλέγμα του εγκεφάλου.

- **Πρόσθιες εγκεφαλικές φλέβες** (anterior cerebral veins): ζεύγος εγκεφαλικών φλεβών που εκτείνονται στην εσωτερική επιφάνεια των δύο ημισφαιρίων, σε αντιστοιχία με τις πρόσθιες εγκεφαλικές αρτηρίες. Οι δύο πρόσθιες εγκεφαλικές φλέβες συνδέονται μεταξύ τους με την **πρόσθια αναστομοτική φλέβα** (anterior anastomotic vein) και σχηματίζουν ένα κλειστό δακτυλιοειδές αποχετευτικό σύστημα. Και οι δύο εκβάλλουν στις βασικές φλέβες (basal veins) [8].
- **Βασικές φλέβες** (basal veins): το βασικό εγκεφαλικό φλεβικό σύστημα δέχεται αίμα τόσο από τις επιτολής, όσο και από τις εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες. Στη βάση του εγκεφάλου υπάρχει ένας φλεβικός κύκλος, που σχηματίζεται από το ζεύγος των βασικών φλεβών



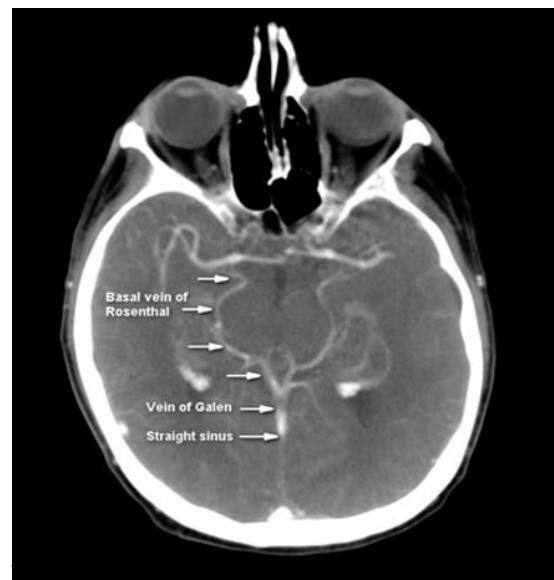
(κύκλος του Rosenthal) και είναι ανάλογος του κύκλου του Willis του αρτηριακού συστήματος. Οι δύο βασικές φλέβες ακολουθούν τη διαδρομή του οπτικού δεματίου πορευόμενες προς τα πίσω και στη ραχιαία επιφάνεια του μέσου εγκεφάλου ενώνονται μεταξύ τους. Τερματίζουν στην οπίσθια φλεβική συμβολή, από την οποία σχηματίζεται η **μεγάλη εγκεφαλική φλέβα** (vein of Galen), η οποία καταλήγει στον ευθύ κόλπο (βλ. παρακάτω) [8]. Στη διαδρομή τους δέχονται παρακλάδια από τον οπτικό θάλαμο και τον υποθάλαμο κλπ.

- **Εν τω βάθει μέσες εγκεφαλικές φλέβες** (deep middle cerebral veins): ζεύγος μικρών φλεβών που ξεκινούν στον πρόσθιο κεντρικό λοβό (insula) και εκβάλλουν στις δύο βασικές φλέβες [8].
- **Έσω εγκεφαλικές φλέβες** (internal cerebral veins): σχηματίζονται από τις πρόσθιες θαλαμοραβδωτές φλέβες, αφού οι τελευταίες υποδεχθούν τις πρόσθιες φλέβες του διαφανούς διαφράγματος και τις άνω χοριοειδείς φλέβες. Οι δύο έσω εγκεφαλικές φλέβες αφού περάσουν από το μεσοκοιλιακό διάφραγμα κατά μήκος της κορυφής του διεγκεφάλου προς το τετράδυμο πέταλο, ενώνονται μεταξύ τους και με τη βασική φλέβα της κάθε πλευράς, σχηματίζοντας την οπίσθια φλεβική συμβολή, η οποία δίνει γένεση στην μεγάλη εγκεφαλική φλέβα [8].
- **Μεγάλη εγκεφαλική φλέβα** (great cerebral vein/ vein of Galen): η μεγάλη εγκεφαλική φλέβα, ή φλέβα του Γαληνού, είναι το φλεβικό κομμάτι που συνδέει την οπίσθια φλεβική συμβολή με τον ευθύ κόλπο.



**Figure 8.** Diagram shows the venous circuit around the midbrain (1 indicates anterior cerebral vein; 2, deep middle cerebral vein; 3, basal vein of Rosenthal; 4, internal cerebral vein; and 5, vein of Galen).

**Εικόνα 2.19:** Εν τω βάθει εγκεφαλικές φλέβες



**Εικόνα 2.20:** Εγκεφαλογράφημα φάνηται οι βασικές φλέβες και η φλέβα του Γαληνού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΤΗΡΙΑΚΟΥ, ΦΛΕΒΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΡΤΗΡΙΟΦΛΕΒΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

#### ➤ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Αρχικά επιλέχθηκαν οι κυριότερες αρτηρίες και φλέβες που διανέμουν και απομακρύνουν, αντίστοιχα, αίμα στον/από τον εγκέφαλο. Η επιλογή έγινε με κριτήριο το μέγεθος των αγγείων και τη σημαντικότητά τους στο κυκλοφορικό σύστημα του εγκεφάλου. Το αρτηριακό και το φλεβικό σύστημα μελετήθηκαν αρχικά ξεχωριστά και στη συνέχεια μαζί, προκειμένου η εικόνα για το εγκεφαλικό κυκλοφορικό σύστημα να είναι ολοκληρωμένη.

Το μαθηματικό μοντέλο στο οποίο βασίζεται η μελέτη του εκάστοτε συστήματος στηρίζεται στην ενεργειακή εξίσωση ροής ρευστού σε αγγείο, θεωρώντας σταθερή διατομή, ίδιο υψόμετρο για όλα τα αγγεία και στρωτή ροή [33]:

$$\delta p = RQ \quad (3.1)$$

όπου  $\delta p$ : η πτώση πίεσης,  $R$ : η αντίσταση ενός αγγείου,  $Q$ : η παροχή όγκου του αγγείου.

Η αντίσταση του αγγείου δίνεται:

$$R = \frac{8\pi\mu LQ}{A^2} \quad (3.2)$$

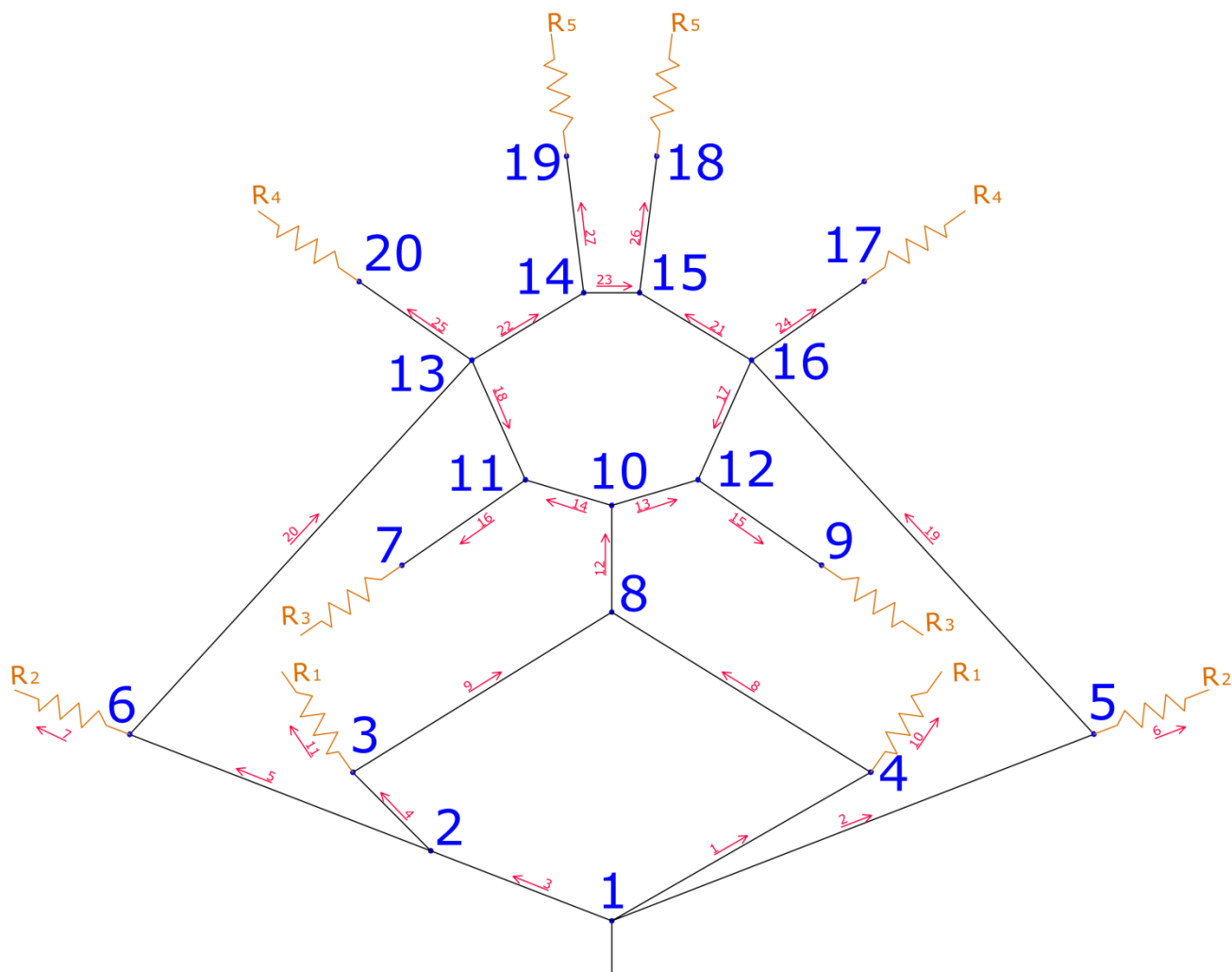
όπου  $\mu$  είναι το δυναμικό ιξώδες του αίματος ( $\mu=0.0365$  poise), με  $L$  συμβολίζεται το μήκος του αγγείου, με  $Q$ : η παροχή όγκου του και με  $A$ : η διατομή του αγγείου.

Άρα η πτώση πίεσης κατά μήκος μιας αρτηρίας/φλέβας υπολογίζεται:

$$\delta p = \frac{128\mu LQ}{\pi D^4} \quad (3.3)$$

#### ➤ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΡΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κύκλωμα του **Σχήματος 3.1** έχουν συμπεριληφθεί όλες οι βασικές αρτηρίες και οι κύριοι κλάδοι τους, οι οποίοι συμμετέχουν ως επί το πλείστον στην αιμάτωση του εγκεφάλου. Οι αρτηρίες με την αρίθμηση γραμμμάτων της **Εικόνας 1.10** δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο, διότι θεωρείται ότι παράγουν πολύ μικρή ποσότητα αίματος στους αντίστοιχους ιστούς σε σχέση με την παροχή αίματος των μεγάλων αρτηριών. Η πίεση που επικρατεί στην αορτή θεωρείται ίση με 90 mmHg [14]. Η πίεση που επικρατεί στα αρτηριακά δέντρα μετά το τέλος των αρτηριών του **Σχήματος 3.1**, λήφθηκε ίση με την πίεση των τριχοειδών αγγείων, δηλαδή 20mmHg [4].



Σχήμα 3.1: Αρτηριακό μοντέλο

Στο μοντέλο αυτό, για κάθε πλευρά, με  $R_1$  συμβολίζεται η συνολική αντίσταση λόγω του καρδιαγγειακού συστήματος,  $R_2$  η συνολική αντίσταση μετά το τέλος της υποκλειδίου αρτηρίας,  $R_3$  η συνολική αντίσταση μετά το τέλος της κοινής καρωτιδικής αρτηρίας, ενώ  $R_4$ ,  $R_5$  και  $R_6$  οι συνολικές αντιστάσεις μετά το τέλος της οπίσθιας, μέσης και πρόσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας αντιστοίχως.

### ➤ ΕΥΡΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Οι αντιστάσεις του μοντέλου διαχωρίζονται σε γραμμικές και εντοπισμένες. Οι αρτηρίες των οποίων είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αναπαρίστανται με τα τμήματα μεταξύ των αριθμών (1-2, 1-4, 2-3, κοκ), ενώ τα αρτηριακά δέντρα μετά το πέρας των αρτηριών συμβολίζονται σαν ωμικές αντιστάσεις.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις ονομασίες και τις μέσες τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αρτηριών που λήφθηκαν υπ' όψιν για την κατασκευή του μοντέλου [12], [19], [21], [22].

Όνομασία	Αρίθμηση	Διάμετρος (cm)	Μήκος (cm)
Βραχιονοκεφαλικός κορμός ή ανώνυμη αρτηρία	1-2	1.3	4.2
Αριστερή κοινή καρωτιδική αρτηρία	1-5	0.8	11.1
Αριστερή υποκλείδια αρτηρία	1-4	0.8	3.9
Δεξιά υποκλείδια αρτηρία	2-3	0.8	2.5
Δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία	2-6	0.8	12.6
Αριστερή εσωτερική καρωτιδική αρτηρία	5-16	0.56	27
Δεξιά εσωτερική καρωτιδική αρτηρία	6-13	0.56	27
Αριστερή σπονδυλική αρτηρία	4-8	0.4	20
Δεξιά σπονδυλική αρτηρία	3-8	0.4	20
Αριστερή οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	10-12	0.3	7
Δεξιά οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	10-11	0.3	7
Βασιλική ή βασική αρτηρία	8-10	0.4	3
Δεξιά οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	7-11	0.3	2
Αριστερή οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	9-12	0.3	2
Δεξιά οπίσθια αναστομωτική αρτηρία	11-13	0.1	2
Αριστερή οπίσθια αναστομωτική αρτηρία	12-16	0.1	2
Δεξιά πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	13-14	0.25	2
Αριστερή πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	15-16	0.25	2
Πρόσθια αναστομωτική αρτηρία	14-15	0.2	0.5
Δεξιά μέση εγκεφαλική αρτηρία	13-20	0.35	7
Δεξιά πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	14-19	0.25	5
Αριστερή πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	15-18	0.25	5
Αριστερή μέση εγκεφαλική αρτηρία	16-17	0.35	7

**Πίνακας 3.1:** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αρτηριών

Για το αρτηριακό μοντέλο, έγιναν οι εξής παραδοχές:

- όλοι οι γεωμετρικά συμμετρικοί κλάδοι του κύκλου του Willis έχουν την ίδια γεωμετρία (μήκος και διάμετρο).
- όλες οι γεωμετρικά συμμετρικές αρτηρίες διαρρέονται από την ίδια ποσότητα αίματος

(δεξιά και αριστερή εσωτερική καρωτιδική και κατά τον άξονα συμμετρίας η βασιλική αρτηρία).

- όλες οι γεωμετρικά συμμετρικές εντοπισμένες αντιστάσεις έχουν την ίδια τιμή ( $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ).

Οι γραμμικές αντιστάσεις υπολογίζονται μέσω της σχέσης (3.2) με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του **Πίνακα 3.1**. Οι εντοπισμένες αντιστάσεις, θα υπολογιστούν στη συνέχεια.

Η μέση παροχή αίματος στην αριστερή πλευρά της καρδιάς λαμβάνεται ίση προς 5.286 l/min (κυμαίνεται μεταξύ 4 και 8 l/min, με μέση τιμή 4.9 l/min στις γυναίκες, 5.6 l/min στους άντρες και τυπική τιμή περίπου 5.25l/min) [34]. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το 24% της παροχής αυτής διανέμεται στα άνω άκρα και τον εγκέφαλο, απ' ενός μέσω του βραχιονοκεφαλικού κορμού (12%

cardiac output), ο οποίος στη συνέχεια διαχωρίζεται σε δεξιά υποκλείδια και δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία, αφ'ετέρου μέσω της αριστερής υποκλείδιας αρτηρίας (5% cardiac output) και της αριστερής κοινής καρωτιδικής αρτηρίας (7% cardiac output) [21]. Συνεπώς, αναμένεται το 24% να επιστρέφει στην άνω κοίλη φλέβα μέσω των βραχιονοκεφαλικών φλεβών, δηλαδή  $24\% \cdot 5.286 \text{ l/min} = 2.11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$ . Ακολουθώντας τις διακλαδώσεις των αγγείων, η αιμάτωση του εγκεφάλου γίνεται μέσω των δύο εσωτερικών καρωτιδικών αρτηριών και της βασικής αρτηρίας [21]. Το 14% του CO (cardiac output) καταλήγει στον εγκέφαλο (5%CO μέσω αριστερής εσωτερικής καρωτιδικής αρτηρίας, 5%CO μέσω δεξιάς εσωτερικής καρωτιδικής αρτηρίας, 4%CO μέσω βασικής αρτηρίας αντίστοιχα) [17].

Βάσει βιβλιογραφίας ([21], [22]), γνωρίζουμε πώς διανέμεται η παροχή του αίματος στις αρτηρίες, μέχρι τον κύκλο του Willis. Για να βρεθούν οι υπόλοιπες παροχές και οι συγκεντρωμένες αντιστάσεις των τριχοειδών, κατ'αρχάς χρησιμοποιήθηκαν όλες οι εξισώσεις που μπορούσαν να καταστρωθούν για το μοντέλο, όμως αυτές δεν επαρκούσαν για λυθεί. Για να ξεπεραστεί το εν λόγω πρόβλημα, αρχικά έγινε η σκέψη να χρησιμοποιηθεί η σχέση για τις αντιστάσεις των τριχοειδών:  $\frac{R_4}{R_5} = 2$ , η οποία συναντάται στη βιβλιογραφία [12]. Κατ'αυτό τον τρόπο, προέκυπτε η μία επιπλέον εξίσωση που ήταν απαραίτητη για την επίλυση. Όμως, προκειμένου να βρεθούν οι παροχές για το υπόλοιπο τμήμα του μοντέλου και με τη σκέψη ότι θα ακολουθούσε η ένωση του αρτηριακού μοντέλου με το φλεβικό, λόγω του ότι η σχέση του Hillen ([12]) είναι περισσότερο εμπειρική, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το φλεβικό σύστημα. Όπως έχει ήδη γίνει σαφές, οι αρτηρίες είναι απαγωγά αγγεία και οι φλέβες προσαγωγά. Με το σκεπτικό αυτό, υπάρχουν περιοχές στον εγκέφαλο όπου το αίμα, άδειο από οξυγόνο και με άφθονο διοξείδιο του άνθρακα, αφήνει τις αρτηρίες και εισέρχεται στις αντίστοιχες φλέβες, προκειμένου να επιστρέψει στην καρδιά. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της ακόλουθης συλλογιστικής, η οποία στηρίζεται στην περιγραφή της ανατομίας του αρτηριοφλεβικού συστήματος, καθώς και σε εικόνες που απεικονίζουν την αιμάτωση και απομάκρυνση αίματος από τον εγκέφαλο:

- η οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία διανέμει αίμα στις περιοχές του ινιακού εγκεφαλικού λοβού, απ' όπου το αίμα απομαστεύεται μέσω της επιφανειακής εγκεφαλικής ινιακής φλέβας και των μικρών αγγείων που τη συνοδεύουν, καθώς και της εσωτερικής εγκεφαλικής φλέβας [8], [34]. Οι εσωτερικές εγκεφαλικές φλέβες στον άνθρωπο είναι δύο, κατ' επέκταση χάρη συμμετρίας, μία σε κάθε πλευρά της κεφαλής. Οι επιπολής ινιακές εγκεφαλικές φλέβες είναι δύο σε κάθε πλευρά της κεφαλής, επομένως συνολικά τέσσερις [13]. Με τη θεώρηση ότι στον άνω οβελιαίο κόλπο καταλήγουν δώδεκα επιπολής εγκεφαλικές φλέβες [10], γίνεται η παραδοχή ότι σε καθεμία από αυτές το αίμα ισομοιράζεται προκειμένου να καταλήξει στον άνω οβελιαίο κόλπο και από εκεί στη συμβολή των κόλπων. Επομένως για δύο επιπολής ινιακές εγκεφαλικές φλέβες σε κάθε πλευρά της κεφαλής, έχουμε:  $\frac{1}{6} Q_{16-19}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) + Q_{R8}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = Q_{12-8}(\text{αρτηριακό κύκλωμα})$ . Η παροχή του αίματος στον άνω οβελιαίο κόλπο ακριβώς πάνω από τη συμβολή των κόλπων έχει μετρηθεί ίση προς 252ml/min [2]. Ισχύει ακόμη για καθεμία από τις έσω εγκεφαλικές φλέβες:  $Q_{R8} = 46,589 \text{ ml/min}$ . Συνεπώς υπολογίζεται η παροχή  $Q_{12-8}(\text{αρτηριακό κύκλωμα}) = 88,589 \text{ ml/min}$ .

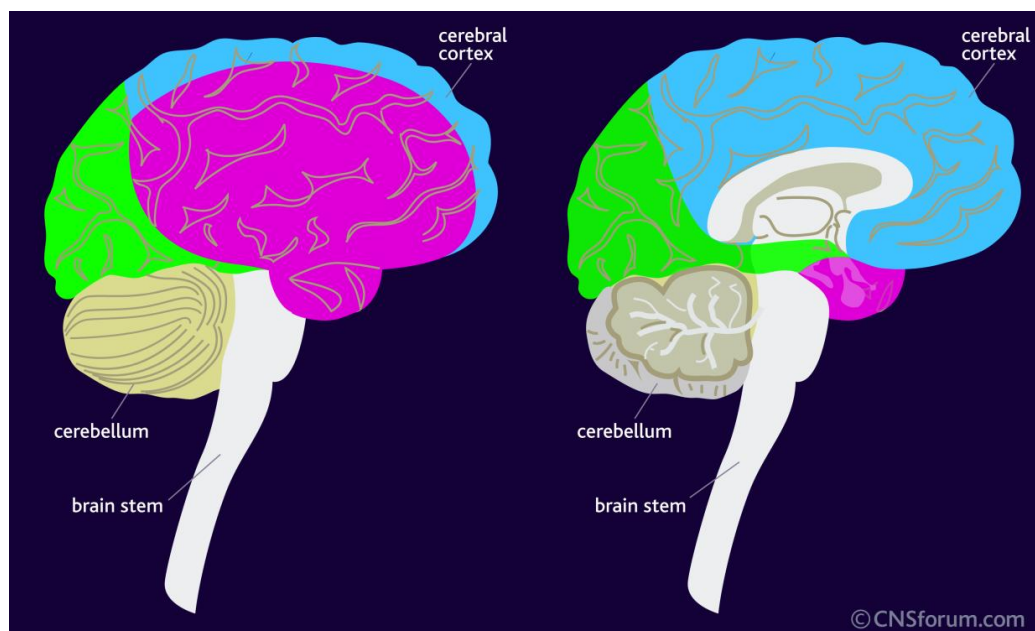
- η μέση εγκεφαλική αρτηρία διανέμει αίμα σε περιοχές του πρόσθιου, βρεγματικού και κροταφικού λοβού [34]. Το αίμα από αυτές τις περιοχές συγκεντρώνεται από τις επιπολής και τις εν τω βάθυ μεσεγκεφαλικές φλέβες, τις πλευρικές προκεντρικές, τις πλευρικές προμετωπιαίες φλέβες και τις πλευρικές βρεγματικές επιπολής φλέβες [8], [13] (θεωρώντας ότι στην ανθρώπινη κεφαλή υπάρχουν τέσσερις προμετωπιαίες φλέβες συνολικά, άρα δύο σε κάθε πλευρά της κεφαλής (2/12) και για τις προκεντρικές και βρεγματικές: μια σε κάθε πλευρά της κεφαλής από την κάθε κατηγορία, άρα δύο στο σύνολο(1/12+1/12), σε κάθε πλευρά της κεφαλής, έχουμε:

$$Q_{14-21}(\text{αρτηριακό κύκλωμα}) = \left( \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{2}{12} \right) Q_{16-19}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) + Q_{R_5}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) + Q_{R_9}(\text{φλεβικό κύκλωμα}), \text{ \acute{o}\tau\omicron\tau\epsilon \mu\epsilon \text{ αντικατάσταση, για } \frac{1}{3} Q_{16-19}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = 84 \text{ ml/min, } Q_{R_5}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = 104,07 \text{ ml/min, } Q_{R_9}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = 14,8 \text{ ml/min, \acute{\epsilon}\chi\omicron\upsilon\mu\epsilon: } Q_{14-21}(\text{αρτηριακό κύκλωμα}) = 132,88 \text{ ml/min.}$$

- η πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία τροφοδοτεί με αίμα τον πρόσθιο και μέσο εγκεφαλικό λοβό εκ των έσω. Το αίμα από αυτές τις περιοχές επιστρέφει μέσω της πρόσθιας εγκεφαλικής φλέβας και του κάτω οβελιαίου κόλπου [34]. Θεωρώντας ότι λόγω συμμετρίας κάθε πλευρά συμβάλλει στο ίδιο ποσοστό (50% και 50%) στην πλήρωση του κάτω οβελιαίου κόλπου (θυμίζουμε ότι είναι μονό αγγείο σε αντίθεση με τα υπόλοιπα και δεν έχει συμμετρικό), για κάθε πλευρά της κεφαλής θα ισχύει:

$$Q_{15-20}(\text{αρτηριακό κύκλωμα}) = Q_{R_{10}}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) + Q_{R_7}/2(\text{φλεβικό κύκλωμα}).$$

Οπότε,  $Q_{R_7}/2(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = 69 \text{ ml/min}$  και  $Q_{R_{10}}(\text{φλεβικό κύκλωμα}) = 15,12 \text{ ml/min}$ ,  $Q_{15-20}(\text{αρτηριακό κύκλωμα}) = 84,12 \text{ ml/min}$ .



**Εικόνα 3.1:** Περιοχές του εγκεφάλου που αιματώνονται από τη μέση, την πρόσθια και την οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία – αριστερό σχήμα: επιφανειακή αιμάτωση, δεξιό σχήμα: εν τω βάθει αιμάτωση



Έχοντας πλέον γνωστές όλες τις παροχές και τις γραμμικές αντιστάσεις, μένει να υπολογιστούν οι συγκεντρωμένες αντιστάσεις των τριχοειδών αγγείων από την πλευρά των αρτηριών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των εξισώσεων ενέργειας. Αναλυτικά:

- ✓ με εξίσωση ενέργειας από το τέλος της ανιούσας αορτής (σημείο 1) μέχρι τα αρτηριακά δέντρα μετά την υποκλείδια αρτηρία υπολογίζεται η αντίσταση  $R_1$ . Η πτώση πίεσης από το ένα σημείο ως το άλλο λαμβάνεται ίση προς τη μεταβολή της πίεσης από την ανιούσα αορτή (90mm Hg) [14] ως τα τριχοειδή αγγεία (20mmHg) [4].
- ✓ με εξίσωση ενέργειας από τα αρτηριακά δέντρα μετά την υποκλείδια, μέχρι τα αρτηριακά δέντρα μετά την οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία, υπολογίζεται η αντίσταση  $R_2$
- ✓ με εξίσωση ενέργειας από τα αρτηριακά δέντρα μετά την οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία μέχρι τα αρτηριακά δέντρα μετά την κοινή καρωτιδική αρτηρία, υπολογίζεται η αντίσταση  $R_3$
- ✓ με εξίσωση ενέργειας από τα αρτηριακά δέντρα μετά την κοινή καρωτιδική μέχρι τα αρτηριακά δέντρα μετά την μέση εγκεφαλική αρτηρία υπολογίζεται η αντίσταση  $R_4$
- ✓ με εξίσωση ενέργειας από τα αρτηριακά δέντρα μετά την μέση εγκεφαλική αρτηρία μέχρι τα αρτηριακά δέντρα μετά την πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία υπολογίζεται η αντίσταση  $R_5$ .

Οι υπολογισμοί για όλες τις αντιστάσεις του μοντέλου (γραμμικές και συγκεντρωμένες) έγιναν σε περιβάλλον FORTRAN.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές των αντιστάσεων του μοντέλου.

Όνομασία	Αρίθμηση	Αντίσταση
Βραχιονοκεφαλικός κορμός ή ανώνυμη αρτηρία	1-2	218689.937
Αριστερή κοινή καρωτιδική αρτηρία	1-5	4030100.84
Αριστερή υποκλείδια αρτηρία	1-4	1432319.64
Δεξιά υποκλείδια αρτηρία	2-3	907680.372
Δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία	2-6	3655358.5
Αριστερή εσωτερική καρωτιδική αρτηρία	5-16	41007586.1
Δεξιά εσωτερική καρωτιδική αρτηρία	6-13	41007586.1
Αριστερή σπονδυλική αρτηρία	4-8	116183088
Δεξιά σπονδυλική αρτηρία	3-8	116183088
Αριστερή οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	10-12	36719597.5
Δεξιά οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	10-11	36719597.5
Βασιλική ή βασική αρτηρία	8-10	17427462.5
Δεξιά οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	7-11	128518595
Αριστερή οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	9-12	128518595
Δεξιά οπίσθια αναστομωτική αρτηρία	11-13	2974286930
Αριστερή οπίσθια αναστομωτική αρτηρία	12-16	2974286930
Δεξιά πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	13-14	76141766.7
Αριστερή πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	15-16	76141766.7
Πρόσθια αναστομωτική αρτηρία	14-15	46474614.04
Δεξιά μέση εγκεφαλική αρτηρία	13-20	69371130.2
Δεξιά πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	14-19	190354424
Αριστερή πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	15-18	190354424
Αριστερή μέση εγκεφαλική αρτηρία	16-17	69371130.2
Υποκλείδια αρτηρία μετά την έκφυση της βασικής	R1	3528622950
Εξωτερική καρωτιδική αρτηρία	R2	5282409880
Οπίσθια εγκεφαλική αρτηρία	R3	5140117470
Μέση εγκεφαλική αρτηρία	R4	3059876560
Πρόσθια εγκεφαλική αρτηρία	R5	5649930590

Πίνακας 3.2: Αριθμητικές τιμές αντιστάσεων των αρτηριών του μοντέλου

## ➤ ΕΥΡΕΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΤΩΝ ΑΓΓΕΙΩΝ

Εν συνεχεία, γνωρίζοντας τις αντιστάσεις του αρτηριακού μοντέλου, κατασκευάζεται πρόγραμμα στη FORTRAN το οποίο υπολογίζει την παροχή που διαρρέει το εκάστοτε αγγείο. Οι τιμές που θα προκύψουν αναμένουμε να ταυτίζονται ή να είναι παραπλήσιες μ' εκείνες της βιβλιογραφίας, αφού βάσει αυτών υπολογίστηκαν και οι αντιστάσεις των αρτηριών που απαρτίζουν το μοντέλο. Καταstrώνεται ένα γραμμικό σύστημα  $27 \times 27$ , το οποίο αποτελείται από 13 εξισώσεις συνέχειας για τους κόμβους και 14 εξισώσεις βρόχων. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος απαλοιφής κατά GAUSS [32]. Οι εξισώσεις εισάγονται στη FORTRAN με τη μορφή πινάκων: οι πίνακες καταstrώθηκαν σε φύλλο Excel και ακολούθως εισήχθησαν στη FORTRAN. Ως γνωστόν η μέθοδος GAUSS επιλύει τα γραμμικά συστήματα της μορφής  $a \cdot x = b$ ,  $m$  εξισώσεων επί  $m$

αγνώστους. Άγνωστοι στην περίπτωση που εξετάζεται είναι οι παροχές, συνεπώς οι παροχές είναι τα στοιχεία του πίνακα  $x$ . Ο πίνακας  $27 \times 27$  περιείχε τους συντελεστές και ο πίνακας  $27 \times 1$  τις σταθερές των :

- i. 13 εξισώσεων συνέχειας κόμβων
- ii. 10 εξισώσεων ενέργειας μέσω των διαδρομών που εμπλέκονται οι εντοπισμένες αντιστάσεις,
- iii. 4 εξισώσεων κλειστών βρόχων που δεν περιλαμβάνουν καμία συγκεντρωμένη αντίσταση.

Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται και εξισώσεις κόμβων και εξισώσεις βρόχων είναι προφανές ότι στην πρώτη περίπτωση οι συντελεστές θα είναι 1, -1 ή 0 (η παροχή έχει θετικό πρόσημο όταν είναι σύμφωνη με τη φορά που καθορίζεται αυθαίρετα εξ' αρχής από τον χειριστή του προγράμματος  $\rightarrow$  συντελεστής 1, αρνητικό πρόσημο όταν είναι αντίθετη με την παραπάνω φορά  $\rightarrow$  συντελεστής -1, ή αν η παροχή του συγκεκριμένου κλάδου δεν εμφανίζεται στη συγκεκριμένη εξίσωση  $\rightarrow$  συντελεστής μηδέν), ενώ στη δεύτερη περίπτωση (εξισώσεις ενέργειας) οι συντελεστές του πίνακα  $a$  αποτελούνται από τις αντιστάσεις- γραμμικές ή συγκεντρωμένες. Λόγω του ότι η μέθοδος GAUSS απαλοΐφει τους αγνώστους από τις εξισώσεις, είναι δυνατόν να εμφανιστεί η περίπτωση (όπως και παρατηρήθηκε στο σύστημα που τέθηκε προς λύση), στην οποία ο συντελεστής του αγνώστου της κύριας διαγωνίου (ο συντελεστής  $a_{ii}$  του  $x_i$  στην  $i$  εξίσωση) να είναι μηδέν ή σχεδόν μηδέν. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία απαλοΐφης δεν συνεχίζεται γιατί στη φάση της πίσω-αντικατάστασης (back-substitution) θα γίνεται διαίρεση με το 0. Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, χρησιμοποιήθηκε κώδικας GAUSS με οδήγηση (PIVOTING). Η οδήγηση έχει ως σκοπό την αναδιάταξη των εξισώσεων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μη μηδενίζεται στοιχείο της κύριας διαγωνίου. Τα αποτελέσματα από τη μέθοδο και η σύγκρισή τους με τις βιβλιογραφικές τιμές παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\ \vdots & \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned}$$

**Εικόνα 3.2:** Ενδεικτικό παράδειγμα γραμμικού συστήματος που επιλύεται με τη μέθοδο GAUSS

Για λόγους πληρότητας, αφού ολοκληρώθηκε η μελέτη με τη μέθοδο GAUSS, χρησιμοποιήθηκε και δεύτερος τρόπος επίλυσης του κυκλώματος του αρτηριακού μοντέλου. Η αριθμητική μεθοδολογία που επιλέχθηκε για την επίλυση του συστήματος ήταν η μέθοδος των διαδοχικών αντικαταστάσεων (SUCCESSIVE SUBSTITUTION) σε περιβάλλον FORTRAN.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε (net-ohmic.for) διαβάζει μια περιγραφή της τοπολογίας ενός αυθαίρετου δικτύου αγωγών  $N$  κόμβων, με δεδομένες πιέσεις σε συγκεκριμένους κόμβους. Στη συνέχεια υπολογίζει την πίεση στους κόμβους όπου δεν έχει οριστεί και την τιμή της παροχής

μεταξύ όλων των κόμβων με διαδοχικές αντικαταστάσεις. Για την εκτέλεσή του το πρόγραμμα απαιτεί δεδομένα για την τοπολογία του δικτύου τα οποία αφορούν τη συνδεσμολογία των κόμβων με σωλήνες ή μη (ως σωλήνες αντιμετωπίζονται τα αγγεία που απαρτίζουν το δίκτυο των αρτηριών), καθώς και το λογικό διάνυσμα για το εάν στους κόμβους του δικτύου δίνεται η πίεση ή όχι.

Το πλήθος των δεδομένων που έπρεπε να εισαχθούν για τη συνδεσμολογία του δικτύου

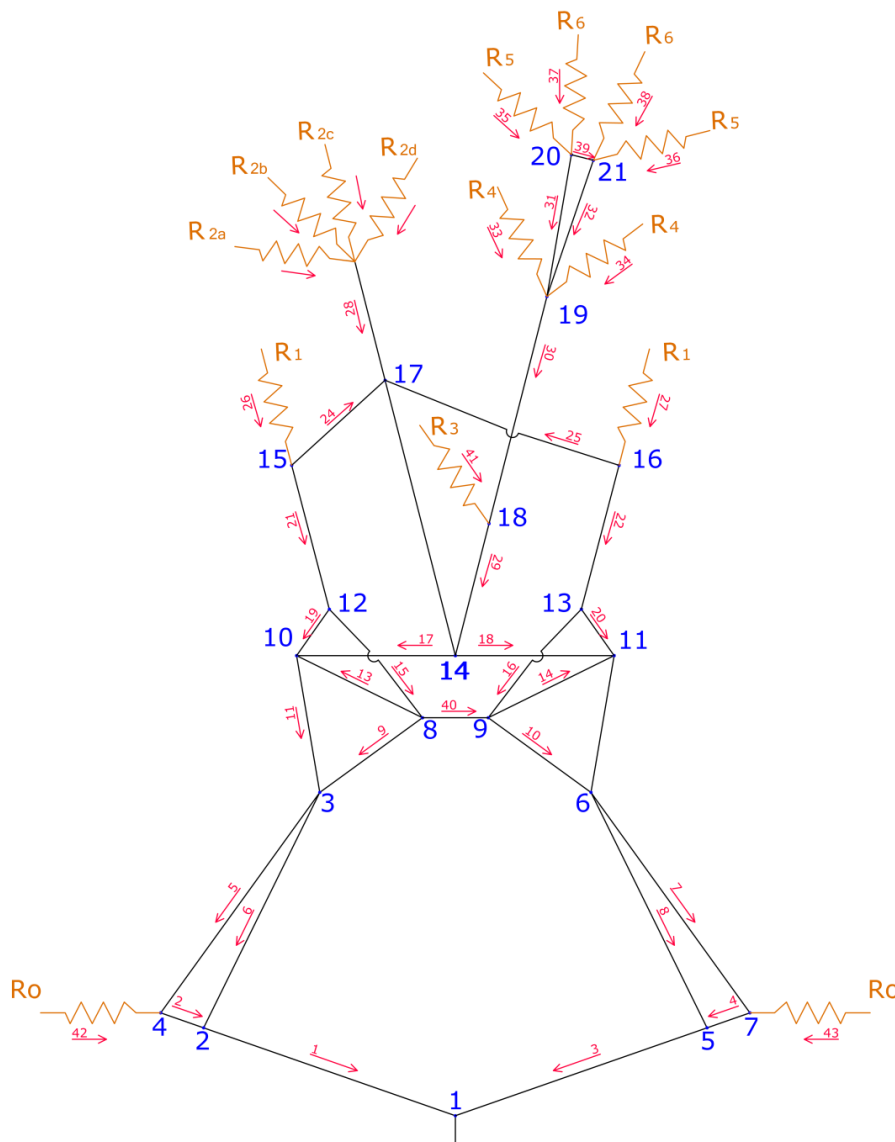
$$\text{υπολογίστηκε με τον παραγοντικό τύπο } \frac{n!}{k!(n-2)!} \quad (3.4)$$

Ο αριθμός  $n$  ορίζει το σύνολο των στοιχείων, ενώ ο  $k$  δείχνει το πόσα στοιχεία συνδυάζονται μεταξύ τους: στην περίπτωση που εξετάζεται συνδυάζονται 2 στοιχεία κάθε φορά, ο προηγούμενος με τον επόμενο κόμβο, ώστε να δημιουργηθεί κλάδος μεταξύ τους. Συνεπώς για 15 κόμβους, εισάγονται  $15!/(2*13!) + 15$  δεδομένα, δηλαδή 120. Ο παράγοντας “+15” προκύπτει από την εν δυνάμει σύνδεση του κάθε στοιχείου (κόμβου) με τον εαυτό του και πρέπει να εισαχθούν και αυτές οι «μη συνδέσεις» στο πρόγραμμα.

Τα δεδομένα αυτά εισάγονται με αρχεία .dat με την ένδειξη T/F (T: υπάρχει σύνδεση / δίνεται η πίεση, F: δεν υπάρχει διάυλος επικοινωνίας των κόμβων / δεν δίνεται η πίεση). Επιπλέον, εισάγονται μέσω αρχείων .dat οι τιμές των αντιστάσεων που αποτελούν τους αγωγούς του δικτύου (ως αγωγοί θεωρούνται οι αρτηρίες) και οι τιμές των πιέσεων σε δεδομένα σημεία. Στο αρτηριακό μοντέλο γνωστές λαμβάνονται οι πιέσεις στην είσοδο, δηλαδή στην ανιούσα αορτή (πιο συγκεκριμένα στο σημείο διακλάδωσης σε βραχιονοκεφαλικό κορμό, αριστερή υποκλείδια και καρωτιδική αρτηρία: 90mm Hg), όπως επίσης και στα τριχοειδή αγγεία (20mm Hg). Τα αποτελέσματα καταγράφονται και συγκρίνονται με τα βιβλιογραφικά δεδομένα στο Κεφάλαιο 4.

## ➤ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΛΕΒΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι φλέβες που λήφθηκαν υπ' όψιν για την κατασκευή του φλεβικού μοντέλου είναι αυτές οι οποίες περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι φλέβες αυτές αντιμετωπίζονται ως γραμμικές αντιστάσεις γνωστής γεωμετρίας, ενώ τα τριχοειδή αγγεία μετά το τέλος των φλεβικών δέντρων παριστάνονται ως συγκεντρωμένες αντιστάσεις, των οποίων η τιμή υπολογίζεται με τρόπο ανάλογο με αυτό του αρτηριακού μοντέλου όπως θα δούμε στη συνέχεια.



Σχήμα 3.2: Φλεβικό μοντέλο

Στο Σχήμα 3.2 έχουν συμπεριληφθεί όλες οι βασικές φλέβες και οι κύριοι κλάδοι τους, οι οποίοι συμμετέχουν ως επί το πλείστον στην απομάκρυνση αίματος από τον εγκέφαλο. Για κάθε πλευρά,  $R_0$  είναι η αντίσταση μετά την υποκλείδια φλέβα,  $R_1$  η αντίσταση μετά το τέλος της επιφανειακής μέσης εγκεφαλικής φλέβας,  $R_2$  η αντίσταση μετά το τέλος των επιφανειακών εγκεφαλικών φλεβών



(γίνεται παρακάτω διαχωρισμός ανάλογα με την περιοχή πρόσληψης αίματος,  $R_3$  η αντίσταση μετά το τέλος του κάτω οβελιαίου κόλπου,  $R_4$  η αντίσταση μετά το τέλος των έσω εγκεφαλικών φλεβών,  $R_5$  η αντίσταση μετά το τέλος των εν το βάθει μεσων εγκεφαλικών φλεβών και  $R_6$  η αντίσταση μετά το τέλος των πρόσθιων εγκεφαλικών φλεβών.

Οι διαμέτροι και τα μήκη των φλεβών συλλέχθηκαν από δημοσιεύσεις νευροχειρουργικού περιεχομένου [5], [7], [9], [10], [13], [15], [16], [18], [19], [24], [28], [29], [30], [35] και όταν αυτό δεν ήταν εφικτό, από ραδιογραφίες.

Γνωρίζοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των περισσότερων αγγείων από τη βιβλιογραφία, είναι εφικτός ο υπολογισμός της διαμέτρου και του μήκους των αγγείων για τα οποία δεν μπόρεσαν να συλλεχθούν στοιχεία με άλλο τρόπο. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η εύρεση του μήκους των δύο βασικών φλεβών του Rosenthal. Η διάμετρος των αγγείων είναι γνωστή, όπως επίσης γνωστό είναι και το μήκος του άνω οβελιαίου κόλπου από την ανωτέρω βιβλιογραφία. Γνωρίζοντας, μάλιστα το μήκος του πρώτου τμήματος του άνω οβελιαίου κόλπου, από τη ραδιογραφία στη σελίδα 249 του βιβλίου “3D Angiographic Atlas of Neurovascular Anatomy and Physiology” των Neil M. Borden και Jay K. Costantini [38], μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση το μήκος των βασικών φλεβών, οι οποίες απεικονίζονται μαζί με τον άνω οβελιαίο κόλπο στην ίδια ραδιογραφία. Με γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σηραγγώδους κόλπου, έγινε εκτίμηση για το μήκος του ενδοσηραγγώδους κόλπου [37], αφού αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των δύο σηραγγώδων κόλπων του εγκεφάλου. Τέλος, το μήκος και η διάμετρος των δύο άνω λιθοειδών κόλπων εκτιμήθηκαν από ραδιογραφίες που βρέθηκαν στο διαδίκτυο [39], έπειτα από σύγκριση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της φλέβας του Labbe και της βασικής φλέβας, αντίστοιχα, που παρίστανται στην ίδια ραδιογραφία με διαφορετικό χρώμα.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις ονομασίες και τις μέσες τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των φλεβών του μοντέλου.

Ονομασία	Αρίθμηση	Διάμετρος (cm)	Μήκος(cm)
Αριστερή βραχιονοκεφαλική φλέβα	1-2	1.5	4
Δεξιά βραχιονοκεφαλική φλέβα	1-5	1.5	4
Αριστερή υποκλείδια φλέβα	2-4	1.5	2
Δεξιά υποκλείδια φλέβα	5-7	1.5	2
Αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	12.9	15
Δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	12.9	15
Αριστερή σπονδυλική φλέβα	3-4	0.65	16
Δεξιά σπονδυλική φλέβα	6-7	0.65	16
Αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	0.02	6.66
Δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	0.02	6.66
Αριστερός σιγμοειδής κόλπος	3-10	0.97	5
Δεξιός σιγμοειδής κόλπος	6-11	0.97	5

Αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	0.18	5
Δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	9-11	0.18	5
Ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	0.27	3
Αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	8-12	0.2	4.9
Δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	9-13	0.2	4.9
Αριστερή φλέβα του Labbe	10-12	0.1	5
Δεξιά φλέβα του Labbe	11-13	0.1	5
Αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	1.45	5
Δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	1.45	5
Αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	12-15	0.2	9.11
Δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	13-16	0.2	9.11
Αριστερή φλέβα του Trolard	15-17	0.11	6
Δεξιά φλέβα του Trolard	16-17	0.11	6
Άνω οβελιαίος κόλπος	14-17	1	12
Ευθύς κόλπος	14-18	0.52	5
Φλεβα του Γαληνού	18-19	0.47	1
Αριστερή βασική φλέβα	19-20	0.25	6.25
Δεξιά βασική φλέβα	19-21	0.25	6.25
Πρόσθια αναστομωτική φλέβα	20-21	0.15	0.5

Πίνακας 3.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά φλεβών

#### ➤ ΕΥΡΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Η πίεση που επικρατεί στην άνω κοίλη φλέβα θεωρείται ίση με 1mmHg [14]. Η πίεση που επικρατεί στα φλεβικά δέντρα μετά το τέλος των φλεβών, λήφθηκε ίση με την πίεση των τριχοειδών αγγείων, δηλαδή 20mmHg [4].

Γίνονται οι εξής παραδοχές:

- όλοι οι γεωμετρικά συμμετρικοί κλάδοι του μοντέλου έχουν την ίδια γεωμετρία (μήκος και διάμετρο).
- όλες οι γεωμετρικά συμμετρικές φλέβες διαρρέονται από την ίδια ποσότητα αίματος (δεξιά και αριστερή έσω σφαγίτιδα, αριστερά και δεξιά σπονδυλική φλέβα, κοκ).
- όλες οι γεωμετρικά συμμετρικές εντοπισμένες αντιστάσεις έχουν την ίδια τιμή ( $R_1, R_2, R_4, R_5, R_6, R_0$ )

Η αντίσταση του κάθε κλάδου υπολογίζεται κι εδώ από τη σχέση (3.2). Προκειμένου να υπολογιστούν οι συγκεντρωμένες αντιστάσεις ( $R$ ), καταστρώνονται εξισώσεις ενέργειας και συνέχειας όπου επιβάλλεται. Αναλυτικά, χρησιμοποιούνται εξισώσεις κόμβων και κλάδων με δεδομένες τις γραμμικές αντιστάσεις και τις παροχές που είναι γνωστές από τη βιβλιογραφία, προκειμένου να βρεθούν τελικά όλες οι παροχές του κυκλώματος.

Το αίμα επιστρέφει από τον εγκέφαλο στην κοίλη φλέβα μέσω των έσω σφαγίτιδων φλεβών και των σπονδυλικών φλεβών. Σύμφωνα με τον Valduelza [Postural dependency of the cerebral venous outflow], σε ύπτια θέση, μέσω των σφαγίτιδων επιστρέφουν στην καρδιά 700ml/min αίματος και

μέσω των σπονδυλικών φλεβών 40 ml/min. Σε διαφορετική στάση σώματος οι εν λόγω παροχές διαφέρουν σημαντικά- συγκεκριμένα, η επιστροφή του αίματος γίνεται κυρίως μέσω του σπονδυλικού συστήματος και όχι μέσω των σφαγίτιδων, αλλά το γεγονός αυτό ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας μελέτης. Συνεπώς, δεδομένου ότι το 14% του CO αιματώνει τον εγκέφαλο και επιστρέφουν στην καρδιά  $700+40=740\text{ml/min}$ :  $14\%CO=740\text{ml/min}$ , άρα  $CO=5.286\text{l/min}$  (έτσι έγινε η επιλογή της αρχικής τιμής για το CO, που είναι εντός των ορίων 4-8l/min και πολύ κοντά στην τυπική τιμή 5.25l/min της βιβλιογραφίας).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των παροχών του φλεβικού μοντέλου. Θεωρώντας ότι η αιμάτωση του άνω μέρους του σώματος αποτελεί το 24% του CO:  $Q_0 = 1268.64\text{ml/min}$  (το 24% του συνολικού αίματος προορίζεται για το άνω μέρος του σώματος, δηλαδή χέρια και κεφάλι-  $Q_0 = 24\% CO$ ).

$$Q_1 = \frac{Q_0}{2} = 634.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 1})$$

$$Q_3 = \frac{Q_0}{2} = 634.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 1})$$

$$Q_6 = 350\text{ml/min}, [28]$$

$$Q_8 = 350\text{ml/min}, [28]$$

$$Q_5 = 20\text{ml/min}, [28]$$

$$Q_7 = 20\text{ml/min}, [28]$$

$$Q_2 = 284.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 2})$$

$$Q_4 = 284.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 5})$$

$$Q_{42} = 264.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 4})$$

$$Q_{43} = 264.32\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 7})$$

$$Q_9 = 39.49\text{ml/min}, (\text{δεδομένα: διάμετρος} = 0.021\text{m}$$

$$[19], \text{ταχύτητα} = \frac{0.19\text{m}}{s} [27] )$$

$$Q_{10} = 39.49\text{ml/min}, [ \gg \gg \gg ]$$

$$Q_{11} = 330.51\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 3})$$

$$Q_{12} = 330.51\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 6})$$

$$Q_{13} = 31\text{ml/min}, (\text{εξίσωση ενέργειας στο βρόχο 3 – 8 – 10, όλες οι αντιστάσεις γνωστές})$$

$$Q_{14} = 31\text{ml/min}, (\text{εξίσωση ενέργειας στο βρόχο 6 – 9 – 11, όλες οι αντιστάσεις γνωστές})$$

$$Q_{15} = 70.5\text{ml/min}, (\text{εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 8})$$

$Q_{16} = 70.5\text{ml/min}$  , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 9)

$Q_{23} = 252\text{ml/min}$ , [15]

$Q_{29} = 307\text{ml/min}$  , (δεδομένα: διάμετρος = 5mm [24]

ταχύτητα:  $v = 0.239\text{m/s}$  [27], table A2.8)

$Q_{18} = 279.5\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 14 – θεωρούμε συμμετρία στους δύο εγκάρσιους κόλπους, δηλαδή ότι η παροχή ισομοιράζεται στους κλάδους 17,18)

$Q_{17} = 279.5\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 14)

$Q_{19} = 20\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 10)

$Q_{20} = 20\text{ml/min}$  , (εξίσωση ενέργειας στον κόμβο 11)

$Q_{21} = 90.5\text{ml/min}$  , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 12)

$Q_{22} = 90.5\text{ml/min}$  , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 13)

$Q_{24} = 21\text{ml/min}$  , (βλ. σημείωση με αστερίσκο)

$Q_{25} = 21\text{ml/min}$ , (βλ. σημείωση με αστερίσκο)

$Q_{28} = 210\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 17)

$Q_{26} = 111.5\text{ml/min}$  , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 15)

$Q_{27} = 111.5\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 16)

$Q_{30} = 153.02\text{ml/min}$ , (διάμετρος = 0.0047m [5],

ταχύτητα  $v = 0.147\text{m/s}$  [26]

$Q_{41} = 153.978\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 18)

$Q_{31} = 37.07\text{ml/min}$ , (διάμετρος = 0.00246m [5],

ταχύτητα  $v = 0.13\text{m/s}$  [26]

$Q_{32} = 37.07\text{ml/min}$ , (ακριβώς ό,τι ισχύει για την  $Q_{31}$  λόγω συμμετρίας)

$Q_{33} = 39.44\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 19, θεωρώντας ότι υπάρχει συμμετρία στις παροχές των εσωτερικών εγκεφαλικών φλεβών στο μοντέλο)

$Q_{34} = 39.44\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 19, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συμμετρία)

$Q_{35} = 21.5\text{ml/min}$ , (διάμετρος = 0.00187, εκτίμηση από ραδιογραφία,

ταχύτητα:  $v = 0.1305\text{m/s}$  [27]

$Q_{36} = 21.5\text{ml/min}$ , (προέκυψε ακριβώς όπως και η συμμετρική της,  $Q_{35}$ )

$Q_{39} = 0$ , (θεωρείται ότι στη φυσιολογική κατάσταση η πρόσθια αναστομωτική φλέβα έχει μηδενική παροχή)

$Q_{37} = 15.57\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 20)

$Q_{38} = 15.57\text{ml/min}$ , (εξίσωση συνέχειας στον κόμβο 21)

$Q_{40} = 0$ , (θεωρείται ότι στην μη παθολογική κατάσταση, η παροχή στον ενδοσηραγγώδη κόλπο είναι αμελητέα)

\*Ο υπολογισμός των παροχών των δύο αναστομωτικών φλεβών Trolard αλλά και των υπολοίπων φλεβών που καταλήγουν στον άνω οβελιαίο κόλπο και αναπαρίστανται με τη συγκεντρωμένη αντίσταση  $R_2$ , έγινε ως εξής: γίνεται η παραδοχή βάσει της σχετικής βιβλιογραφίας ότι η παροχή του άνω οβελιαίου κόλπου πάνω από το Ληνό του Ηρωφίλου είναι  $252\text{ml/min}$  [10]. Δεδομένου ότι στον άνω οβελιαίο κόλπο εκβάλλουν συνήθως 8-12 άνω εγκεφαλικές φλέβες και στο παρόν μοντέλο έχει γίνει η παραδοχή να καταλήγουν δώδεκα, σε συνδυασμό με το ότι οι άνω εγκεφαλικές φλέβες έχουν παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά (διάμετρο, μήκος), θεωρούμε ότι και οι δώδεκα συμβάλλουν στο ίδιο ποσοστό στην πλήρωση του άνω οβελιαίου κόλπου. Συνεπώς, οι δύο συμμετρικές ως προς τον άνω οβελιαίο κόλπο αναστομωτικές φλέβες Trolard, θα έχουν παροχή ίση προς  $252/12=21\text{ml/min}$  η καθεμία. Κατ' αυτό τον τρόπο εξηγείται και η παροχή του κλάδου 28, δηλαδή προκύπτει:  $252-2*21=210\text{ml/min}$  (ή αλλιώς:  $(12-2)*21$ ).

Στη συνέχεια, γνωρίζοντας όλες τις παροχές, γίνεται χρήση των εξισώσεων ενέργειας από το σημείο διαχωρισμού της άνω κοίλης φλέβας σε αριστερή και δεξιά βραχιονοκεφαλική φλέβα, μέχρι τα τριχοειδή αγγεία μετά τις συγκεντρωμένες αντιστάσεις, όπου η πίεση είναι  $20\text{mm Hg}$ . Κατ' αυτό τον τρόπο υπολογίζονται και οι εντοπισμένες αντιστάσεις. Ακολουθεί ο πίνακας με όλες τις αντιστάσεις του φλεβικού μοντέλου.



Όνομασία	Αρίθμηση	Αντίσταση
Αριστερή βραχιονοκεφαλική φλέβα	1-2	117491.358
Δεξιά βραχιονοκεφαλική φλέβα	1-5	58745.67901
Αριστερή υποκλείδια φλέβα	2-4	117491.358
Δεξιά υποκλείδια φλέβα	5-7	58745.67901
Αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	13165597.34
Δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	800483.1102
Αριστερή σπονδυλική φλέβα	3-4	13165597.34
Δεξιά σπονδυλική φλέβα	6-7	800483.1102
Αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	505400013.4
Δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	505400013.4
Αριστερός σιγμοειδής κόλπος	3-10	843307.3095
Δεξιός σιγμοειδής κόλπος	6-11	843307.3095
Αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	634737357.1
Δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	9-11	634737357.1
Ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	83952178.09
Αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	8-12	456016266.4
Δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	9-13	456016266.4
Αριστερή φλέβα του Labbe	10-12	168193.4054
Δεξιά φλέβα του Labbe	11-13	168193.4054
Αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	2591433591
Δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	2591433591
Αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	12-15	846866751.7
Δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	13-16	846866751.7
Αριστερή φλέβα του Trolard	15-17	1784400
Δεξιά φλέβα του Trolard	16-17	6093846049
Άνω οβελιαίος κόλπος	14-17	6093846049
Ευθύς κόλπος	14-18	1933100
Φλεβα του Γαληνού	18-19	2967138.193
Αριστερή βασική φλέβα	19-20	253776005.7
Δεξιά βασική φλέβα	19-21	253776005.7
Πρόσθια αναστομοωτική φλέβα	20-21	146882730.8
Υποκλείδια φλέβα μετά την έκφυση της σπονδυλικής	R0	574397387.07
Μέση εγκεφαλική φλέβα	R1	204595663.63
Άνω εγκεφαλικές φλέβες (2α)	R2a	2393426198.04
Άνω εγκεφαλικές φλέβες (2β)	R2b	3590139297.06
Κάτω οβελιαίος κόλπος	R3	962239001.34
Εσωτερική εγκεφαλική φλέβα	R4	3746882589.99
Εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	R5	6432625290.13
Πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	R6	8882559006.92

**Πίνακας 3.4:** Τιμές αντιστάσεων των φλεβών

## ➤ ΕΥΡΕΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ

Όπως ακριβώς έγινε και για το αρτηριακό μοντέλο, γνωρίζοντας τις αντιστάσεις του φλεβικού μοντέλου, κατασκευάζεται πρόγραμμα στη FORTRAN το οποίο υπολογίζει την παροχή που διαρρέει το εκάστοτε αγγείο. Τα αποτελέσματα αναμένεται να ταυτίζονται ή να απέχουν ελάχιστα από τα βιβλιογραφικά, αφού βάσει αυτών υπολογίστηκαν και οι αντιστάσεις των φλεβών του μοντέλου. Καταστρώνεται ένα γραμμικό σύστημα  $42 \times 42$ , το οποίο αποτελείται από 19 εξισώσεις συνέχειας για τους κόμβους και 23 εξισώσεις βρόχων. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος απαλοιφής κατά GAUSS όπως και πριν. Οι εξισώσεις εισάγονται στη FORTRAN με τη μορφή πινάκων: Οι πίνακες καταστρώθηκαν σε φύλλο Excel και ακολούθως εισήχθησαν στη FORTRAN, όπου κλήθηκε η υπορουτίνα GAUSS να επιλύσει το σύστημα. Ο πίνακας  $42 \times 42$  περιείχε τους συντελεστές και ο πίνακας  $42 \times 1$  τις σταθερές των :

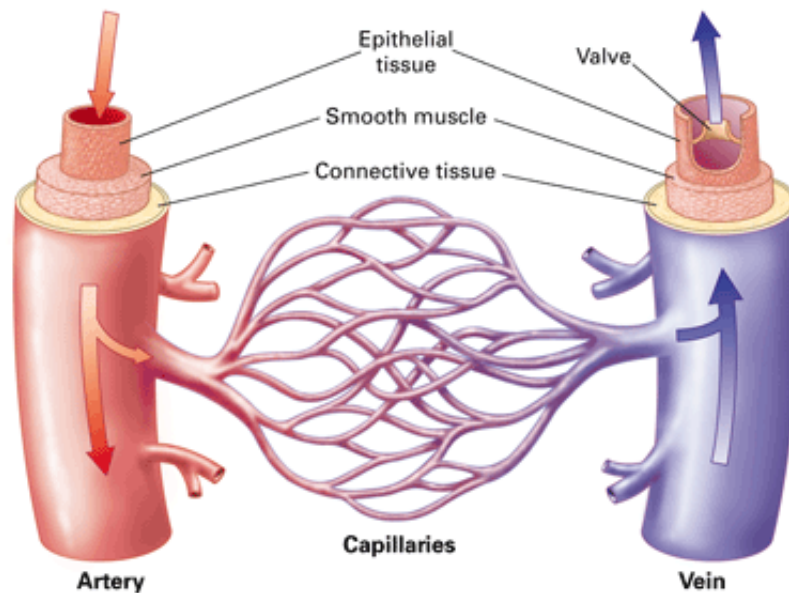
- i. 19 εξισώσεων συνέχειας κόμβων
- ii. 12 εξισώσεων ενέργειας μέσω των διαδρομών που εμπλέκονται οι εντοπισμένες αντιστάσεις,
- iii. 11 εξισώσεων κλειστών βρόχων που δεν περιλαμβάνουν καμία συγκεντρωμένη αντίσταση.

Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται και εξισώσεις κόμβων και εξισώσεις βρόχων είναι προφανές ότι στην πρώτη περίπτωση οι συντελεστές θα είναι 1, -1 ή 0 (έχει εξηγηθεί αναλυτικά στο αρτηριακό μοντέλο τότε εισάγεται ο εκάστοτε συντελεστής) ενώ στη δεύτερη περίπτωση (εξισώσεις ενέργειας) οι συντελεστές του πίνακα  $a$  αποτελούνται από τις αντιστάσεις- γραμμικές ή συγκεντρωμένες. Και πάλι το σύστημα επιλύθηκε με μέθοδο GAUSS με οδήγηση (PIVOTING). Τα αποτελέσματα από τη μέθοδο και η σύγκρισή τους με τις βιβλιογραφικές τιμές παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Για λόγους πιστοποίησης της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τη μέθοδο GAUSS, χρησιμοποιήθηκε και πάλι ως δεύτερος τρόπος επίλυσης του κυκλώματος του φλεβικού μοντέλου η μέθοδος των διαδοχικών αντικαταστάσεων (SUCCESSIVE SUBSTITUTION) σε περιβάλλον FORTRAN. Η μέθοδος έχει αναλυθεί στην περιγραφή των υπολογισμών του αρτηριακού μοντέλου, οπότε για περαιτέρω πληροφορίες ο αναγνώστης καλείται να ανατρέξει εκεί.). Γνωστές λαμβάνονται οι πιέσεις στην έξοδο, δηλαδή στην άνω κοίλη φλέβα (πιο συγκεκριμένα στο σημείο που συναντώνται η αριστερή με τη δεξιά βραχιονοκεφαλική φλέβα: 1mm Hg), όπως επίσης και στα τριχοειδή αγγεία (δηλαδή στην είσοδο: 20mm Hg). Οι τιμές των αντιστάσεων που εισήχθησαν με τη μορφή αρχείου .dat είναι αυτές που υπολογίστηκαν παραπάνω βάσει γεωμετρίας και εξισώσεων του συστήματος. Τα αποτελέσματα καταγράφονται και συγκρίνονται με τα βιβλιογραφικά δεδομένα στο Κεφάλαιο 4.

## ➤ ΑΡΤΗΡΙΟΦΛΕΒΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Τα δύο κυκλώματα αφού επιλύθηκαν ξεχωριστά, ενώνονται, προκειμένου να αναπαραστήσουν το κυκλοφορικό σύστημα του εγκεφάλου. Η ένωση του ενός με το άλλο γίνεται στα τριχοειδή αγγεία και παριστάνεται με κόμβους που συνδέουν τα αρτηριακά άκρα με τα φλεβικά. Η αντιστοίχιση μεταξύ αρτηριακών και φλεβικών άκρων παρουσιάστηκε αναλυτικά στην υποενότητα κατασκευής του αρτηριακού μοντέλου. Συνεπώς προστίθενται εφτά κόμβοι, οι 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 (φαίνεται ξεκάθαρα στο σχήμα του αρτηριοφλεβικού μοντέλου, σελ. 47). Είναι προφανές ότι η αρίθμηση των κόμβων και οι δείκτες των παροχών αλλάζουν σε σχέση με τα δύο ξεχωριστά κυκλώματα που αναλύθηκαν προηγουμένως, προκειμένου να μην προκαλείται σύγχυση στον αναγνώστη (σε αντίθετη περίπτωση θα υπήρχε, παραδείγματος χάριν, δύο φορές ο κόμβος 1, μία από μεριάς του αρτηριακού και μία από μεριάς του φλεβικού μοντέλου, ομοίως και οι υπόλοιποι κοκ).

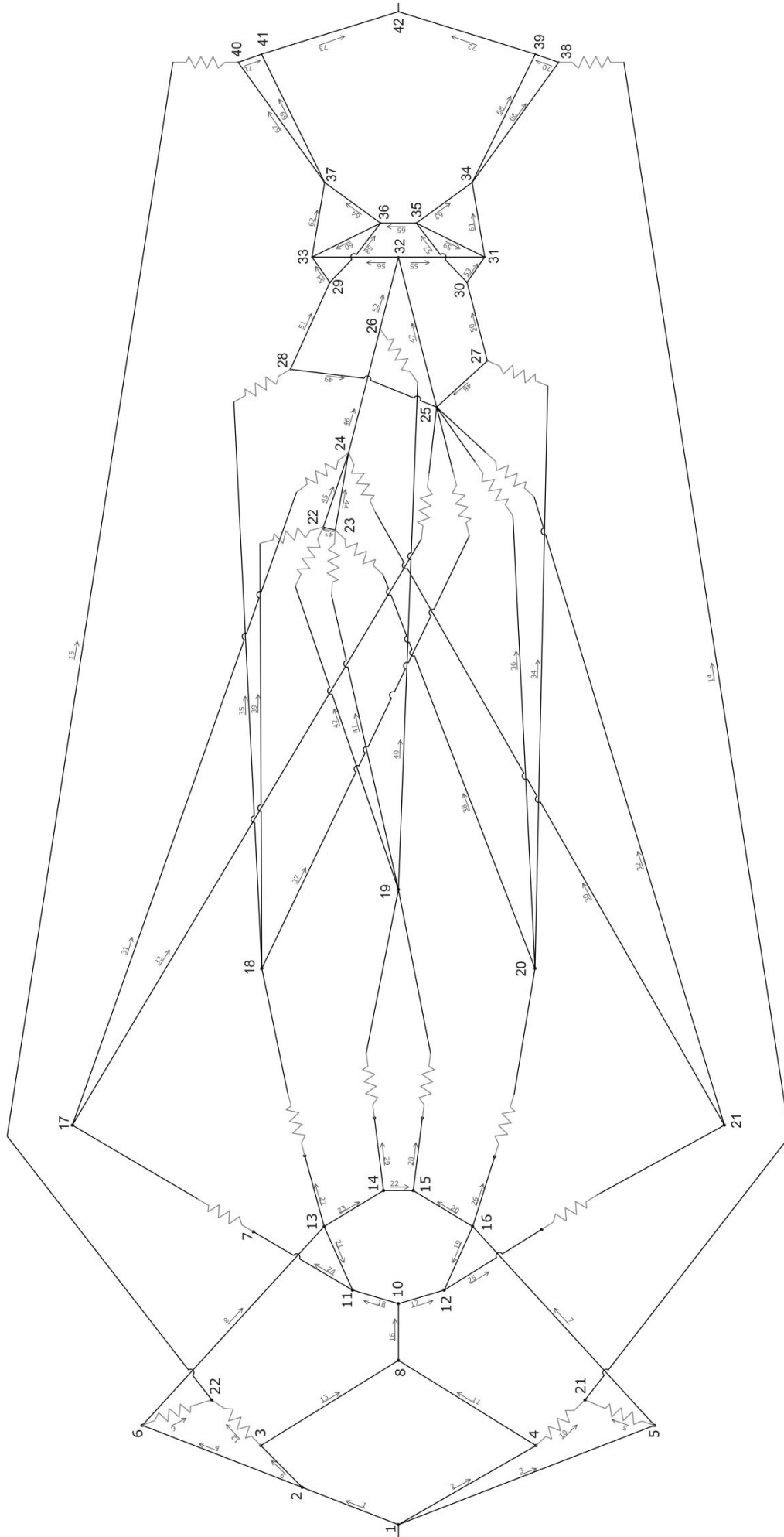


**Εικόνα 3.3:** Ένωση των αρτηριών και των φλεβών σε επίπεδο τριχοειδών αγγείων

Για το μοντέλο που προκύπτει είναι γνωστές και οι αντιστάσεις, οπότε θα ήταν πλεονασμός να ξαναγραφούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγγείων και οι προκύπτουσες αντιστάσεις τους. Γνωστές πρακτικά είναι και οι παροχές, αφού έχουν υπολογιστεί από τα επιμέρους μοντέλα. Λαμβάνοντας ως δεδομένες τις αντιστάσεις, γραμμικές και συγκεντρωμένες και από πλευράς φλεβών και από πλευράς αρτηριών και, γνωρίζοντας τη διαφορά πίεσης μεταξύ ανιούσας αορτής και άνω κοίλης φλέβας, θα γίνει υπολογισμός όλων των παροχών όλων των κλάδων του μοντέλου. Επι της ουσίας αναμένονται να προκύψουν οι παροχές που πρέκυψαν βάσει του υπολογιστικού κώδικα στο κάθε μοντέλο ξεχωριστά, αναμένεται δηλαδή επαλήθευση των αποτελεσμάτων των δύο προηγούμενων μοντέλων.

Οι άγνωστες παροχές είναι 73. Συνεπώς, αν επιχειρήσει κανείς να λύσει το σύστημα με τη μέθοδο GAUSS, απαιτούνται 73 εξισώσεις προκειμένου να αναζητηθεί λύση σε ένα σύστημα 73x73. Λόγω του ότι το αρτηριοφλεβικό μοντέλο είναι πιο σύνθετο από καθένα απ' τα δύο προηγούμενα, είναι προφανές ότι η διαδικασία εύρεσης ανεξάρτητων βρόχων κατά την κατάστροφη εξισώσεων ενέργειας είναι αρκετά πολύπλοκη. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τέτοιας φύσεως προβλήματα με την ανεξαρτησία των βρόχων, κρίθηκε σκόπιμο το ενωμένο μοντέλο να λυθεί μόνο με τη μέθοδο διαδοχικών αντικαταστάσεων και το πρόγραμμα net-ohmic αντί για τη μέθοδο απαλοιφής GAUSS. Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν δεν τίθεται υπό αμφισβήτηση, καθότι η μέθοδος και το πρόγραμμα έχουν ήδη δοκιμαστεί για το αρτηριακό και το φλεβικό μοντέλο όταν αυτά εξετάζονταν ξεχωριστά και δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα έπειτα από σύγκριση και με τη βιβλιογραφία αλλά και με τα αποτελέσματα της μεθόδου GAUSS.

Στο παρόν μοντέλο τα δεδομένα που εισάγονται υπολογίστηκαν με τον παραγοντικό τύπο να είναι 990. Γνωστές λαμβάνονται οι πιέσεις στην είσοδο, δηλαδή στην ανιούσα αορτή (στο σημείο που διαχωρίζεται η ανιούσα αορτή σε βραχιονοκεφαλικό κορμό, αριστερή υποκλείδια και αριστερή κοινή καρωτιδική αρτηρία (η πίεση εκεί λαμβάνεται ίση προς 90mm Hg) [14], και στην έξοδο, δηλαδή στην άνω κοίλη φλέβα (πιο συγκεκριμένα στο σημείο που συναντώνται η αριστερή με τη δεξιά βραχιονοκεφαλική φλέβα: 1mm Hg) [14]. Οι τιμές των αντιστάσεων που εισήχθησαν με τη μορφή αρχείου .dat είναι αυτές που υπολογίστηκαν στο αρτηριακό και το φλεβικό μοντέλο βάσει γεωμετρίας και εξισώσεων του συστήματος. Τα αποτελέσματα καταγράφονται και συγκρίνονται με τα βιβλιογραφικά δεδομένα στο Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 3.3: Αρτηριοφλεβικό μοντέλο



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Στους πίνακες που ακολουθούν παριστάνονται με σαφή τρόπο τα αποτελέσματα από τη μέθοδο GAUSS και τη μέθοδο διαδοχικών αντικαταστάσεων. Προκειμένου να ελεγχθούν τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν ως προς την εγκυρότητά τους, κρίνεται σκόπιμο να γίνει σύγκριση με τις πραγματικές τιμές των παροχών που δίνονται από τη βιβλιογραφία [15], [21], [22], [24], [25], [26], [27], [28].

Η απόδοση και κατ' επέκταση η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται σε ποσοστό επί της καρδιακής παροχής  $Q_0 = 5286 \text{ ml/min}$  και εν συνεχεία σε πραγματικές τιμές (ml/min).

Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

ΑΡΤΗΡΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (%)	GAUSS (%)
βραχιονοκεφαλικός κορμός	2-3	0.12	0.120
αριστερή κοινή καρωτιδική	2-6	0.07	0.071
αριστερή υποκλείδια	2-5	0.05	0.049
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	5-τ.α	0.03	0.030
δεξιά υποκλείδια	3-4	0.05	0.049
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	0.03	0.030
δεξιά κοινή καρωτιδική	3-7	0.07	0.071
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	6-1	0.02	0.020
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	6-13	0.05	0.051
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	7-τ.α	0.02	0.020
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	7-12	0.05	0.051
αριστερή σπονδυλική	5-8	0.02	0.019
δεξιά σπονδυλική	4-8	0.02	0.019
βασική	8-9	0.04	0.038
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	9-11	0.02	0.019
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-τ.α	0.02	0.019
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	9-10	-	0.019
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	10-1	0.02	0.019
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	10-12	-	0.000
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	11-13	-	0.000
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	12-14	-	0.017
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	13-15	-	0.017
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0.00	0.000
δεξιά μέση εγκεφαλική	12-τ.α	-	0.033
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-τ.α	-	0.018
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-τ.α	-	0.018
αριστερή μέση εγκεφαλική	13-τ.α	-	0.033

Πίνακας 3.1: Ποσοστιαία σύγκριση αποτελεσμάτων της μεθόδου GAUSS με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριακού συστήματος

ΑΡΤΗΡΙΑ	ΠΑΡΟΧ Η	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)	GAUSS (ml/min)
βραχιονοκεφαλικός κορμός	2-3	634.98	634.331
αριστερή κοινή καρωτιδική	2-6	370.02	375.299
αριστερή υποκλείδια	2-5	264.30	259.009
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	5-τ.α	158.58	158.595
δεξιά υποκλείδια	3-4	264.30	258.984
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	158.58	158.595
δεξιά κοινή καρωτιδική	3-7	370.02	375.299
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	6-1	105.72	105.725
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	6-13	264.30	269.575
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	7-τ.α	105.72	105.725
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	7-12	264.30	269.622
αριστερή σπονδυλική	5-8	105.72	100.414
δεξιά σπονδυλική	4-8	105.72	100.390
βασική	8-9	211.44	200.803
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	9-11	105.72	100.402
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-τ.α	105.72	102.640
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	9-10	-	100.402
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	10-1	105.72	102.640
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	10-12	-	2.238
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	11-13	-	2.238
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	12-14	-	92.398
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	13-15	-	92.445
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0.00	-0.008
δεξιά μέση εγκεφαλική	12-τ.α	-	174.939
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-τ.α	-	92.528
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-τ.α	-	92.528
αριστερή μέση εγκεφαλική	13-τ.α	-	174.939

Πίνακας 3.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων της μεθόδου GAUSS με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριακού συστήματος

ΑΡΤΗΡΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (%Qo)	net-ohmic (%Qo)
βραχιονοκεφαλικός κορμός	2-3	0.12	0.120
αριστερή κοινή καρωτιδική	2-6	0.07	0.071
αριστερή υποκλείδια	2-5	0.05	0.049
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	5-τ.α	0.03	0.030
δεξιά υποκλείδια	3-4	0.05	0.049
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	0.03	0.030
δεξιά κοινή καρωτιδική	3-7	0.07	0.071
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	6-1	0.02	0.020
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	6-13	0.05	0.051
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	7-τ.α	0.02	0.020
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	7-12	0.05	0.051
αριστερή σπονδυλική	5-8	0.02	0.019
δεξιά σπονδυλική	4-8	0.02	0.019
βασική	8-9	0.04	0.038
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	9-11	0.02	0.019
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-τ.α	-	0.019
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	9-10	0.02	0.019
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	10-1	-	0.019
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	10-12	-	0.000
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	11-13	-	0.000
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	12-14	-	0.018
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	13-15	-	0.018
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0	0.000
δεξιά μέση εγκεφαλική	12-τ.α	-	0.033
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-τ.α	-	0.018
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-τ.α	-	0.018
αριστερή μέση εγκεφαλική	13-τ.α	-	0.033

Πίνακας 3.3: Ποσοστιαία σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριακού συστήματος

ΑΡΤΗΡΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)	net-ohmic (ml/min)
βραχιονοκεφαλικός κορμός	2-3	634.98	634.9958
αριστερή κοινή καρωτιδική	2-6	370.02	375.3686
αριστερή υποκλείδια	2-5	264.30	259.0313
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	5-τ.α	158.58	158.5703
δεξιά υποκλείδια	3-4	264.30	258.9878
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	158.58	158.5695
δεξιά κοινή καρωτιδική	3-7	370.02	375.38
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	6-1	105.72	105.708
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	6-13	264.30	269.65
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	7-τ.α	105.72	105.7083
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	7-12	264.30	269.6629
αριστερή σπονδυλική	5-8	105.72	100.3985
δεξιά σπονδυλική	4-8	105.72	100.3733
βασική	8-9	211.44	200.7742
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	9-11	105.72	100.386
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-τ.α	105.72	102.6233
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	9-10	-	100.386
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	10-1	105.72	102.6233
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	10-12	-	2.2363
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	11-13	-	2.2359
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	12-14	-	92.5173
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	13-15	-	92.505
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0	0.0063
δεξιά μέση εγκεφαλική	12-τ.α	-	174.91
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-τ.α	-	92.5113
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-τ.α	-	92.5112
αριστερή μέση εγκεφαλική	13-τ.α	-	174.9096

Πίνακας 3.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριακού συστήματος



ΦΛΕΒΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (%)	GAUSS (%)
αριστερή βραχιονοκεφαλική	1-2	0.120	0.120
δεξιά βραχιονοκεφαλική	1-5	0.120	0.120
αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	0.066	0.066
δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	0.066	0.066
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	2-4	0.054	0.054
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	5-7	0.054	0.054
αριστερή σπονδυλική	3-4	0.004	0.004
δεξιά σπονδυλική	6-7	0.004	0.004
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	0.050	0.050
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-τ.α	0.050	0.050
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	0.007	0.007
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	0.007	0.007
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	0.006	0.006
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	9-11	0.006	0.006
ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	0.000	0.000
αριστερός ευθύς κόλπος	3-10	0.063	0.063
δεξιός ευθύς κόλπος	6-11	0.063	0.063
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	8-12	0.013	0.013
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	9-13	0.013	0.013
αριστερή αναστομοτική Labbe	10-12	0.004	0.004
δεξιά αναστομοτική Labbe	11-13	0.004	0.004
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	0.053	0.053
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	0.053	0.053
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	12-15	0.017	0.017
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	13-16	0.017	0.017
αριστερή μέση εγκεφαλική	15-τ.α	0.021	0.021
δεξιά μέση εγκεφαλική	16-τ.α	0.021	0.021
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	14-17	0.048	0.048
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.008	0.008
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.008	0.008
αριστερή αναστομοτική Trolard	15-17	0.004	0.004

δεξιά αναστομωτική Trolard	16-17	0.004	0.004
ευθύς κόλπος	14-18	0.058	0.058
κάτω οβελιαίος κόλπος	18-τ.α	0.029	0.029
φλέβα του Γαληνού	18-19	0.029	0.029
αριστερή εσωτερική	19-τ.α	0.007	0.007
δεξιά εσωτερική	19-τ.α	0.007	0.007
αριστερή φ. του Rosenthal	19-20	0.007	0.007
δεξιά φ. του Rosenthal	19-21	0.007	0.007
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	20-τ.α	0.004	0.004
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	21-τ.α	0.004	0.004
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	20-τ.α	0.003	0.003
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	21-τ.α	0.003	0.003
πρόσθια αναστομωτική	20-21	0.000	0.000

Πίνακας 3.5: Ποσοστιαία σύγκριση αποτελεσμάτων της μεθόδου GAUSS με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του φλεβικού συστήματος

ΦΛΕΒΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)	GAUSS (ml/min)
αριστερή βραχιονοκεφαλική	1-2	634.32	634.32
δεξιά βραχιονοκεφαλική	1-5	634.32	634.32
αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	350.00	349.99
δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	350.00	349.99
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	2-4	284.32	284.33
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	5-7	284.32	284.33
αριστερή σπονδυλική	3-4	20.00	20.01
δεξιά σπονδυλική	6-7	20.00	20.01
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	264.32	264.32
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-τ.α	264.32	264.32
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	39.49	39.49
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	39.49	39.49
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	31.00	31.01
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	9-11	31.00	31.01
ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	0.00	0.00
αριστερός ευθύς κόλπος	3-10	330.51	330.51
δεξιός ευθύς κόλπος	6-11	330.51	330.51
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	8-12	70.50	70.50
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	9-13	70.50	70.50
αριστερή αναστομοωτική Labbe	10-12	20.00	20.00
δεξιά αναστομοωτική Labbe	11-13	20.00	20.00
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	279.50	279.50
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	279.50	279.50
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	12-15	90.50	90.50
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	13-16	90.50	90.50
αριστερή μέση εγκεφαλική	15-τ.α	111.50	111.50
δεξιά μέση εγκεφαλική	16-τ.α	111.50	111.50
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	14-17	252.00	252.04
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	42.00	42.01
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	63.00	63.01
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	63.00	63.01
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά	17-τ.α	42.00	42.01

της κεφαλής)			
αριστερή αναστομωτική Trolard	15-17	21.00	21.00
δεξιά αναστομωτική Trolard	16-17	21.00	21.00
ευθύς κόλπος	14-18	307.00	306.96
κάτω οβελιαίος κόλπος	18-τ.α	153.98	153.98
φλέβα του Γαληνού	18-19	153.02	153.98
αριστερή εσωτερική	19-τ.α	39.44	39.42
δεξιά εσωτερική	19-τ.α	39.44	39.42
αριστερή φ. του Rosenthal	19-20	37.07	37.07
δεξιά φ. του Rosenthal	19-21	37.07	37.07
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	20-τ.α	21.50	21.50
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	21-τ.α	21.50	21.50
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	20-τ.α	15.57	15.57
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	21-τ.α	15.57	15.57
πρόσθια αναστομωτική	20-21	0.00	0.00

Πίνακας 3.6: Σύγκριση αποτελεσμάτων της μεθόδου GAUSS με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του φλεβικού συστήματος

ΦΛΕΒΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (%)	net-ohmic (%)
αριστερή βραχιονοκεφαλική	1-2	0.120	0.120
δεξιά βραχιονοκεφαλική	1-5	0.120	0.120
αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	0.066	0.066
δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	0.066	0.066
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	2-4	0.054	0.054
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	5-7	0.054	0.054
αριστερή σπονδυλική	3-4	0.004	0.004
δεξιά σπονδυλική	6-7	0.004	0.004
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	0.050	0.050
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-τ.α	0.050	0.050
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	0.007	0.007
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	0.007	0.007
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	0.006	0.006
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	9-11	0.006	0.006
ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	0.000	0.000
αριστερός ευθύς κόλπος	3-10	0.063	0.063
δεξιός ευθύς κόλπος	6-11	0.063	0.063
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	8-12	0.013	0.013
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	9-13	0.013	0.013
αριστερή αναστομωτική Labbe	10-12	0.013	0.004
δεξιά αναστομωτική Labbe	11-13	0.004	0.004
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	0.053	0.053
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	0.053	0.053
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	12-15	0.017	0.017
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	13-16	0.017	0.017
αριστερή μέση εγκεφαλική	15-τ.α	0.021	0.021
δεξιά μέση εγκεφαλική	16-τ.α	0.021	0.021
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	14-17	0.048	0.048
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.008	0.008
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	0.008	0.008

κεφαλής)			
αριστερή αναστομωτική Trolard	15-17	0.004	0.004
δεξιά αναστομωτική Trolard	16-17	0.004	0.004
ευθύς κόλπος	14-18	0.058	0.058
κάτω οβελιαίος κόλπος	18-τ.α	0.029	0.029
φλέβα του Γαληνού	18-19	0.029	0.029
αριστερή εσωτερική	19-τ.α	0.007	0.007
δεξιά εσωτερική	19-τ.α	0.007	0.007
αριστερή φ. του Rosenthal	19-20	0.007	0.007
δεξιά φ. του Rosenthal	19-21	0.007	0.007
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	20-τ.α	0.004	0.004
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	21-τ.α	0.004	0.004
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	20-τ.α	0.003	0.003
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	21-τ.α	0.003	0.003
πρόσθια αναστομωτική	20-21	0.000	0.000

Πίνακας 3.7: Ποσοστιαία σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του φλεβικού συστήματος



ΦΛΕΒΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ (ml/min)
αριστερή βραχιονοκεφαλική	1-2	634.32	634.2539
δεξιά βραχιονοκεφαλική	1-5	634.32	634.2383
αριστερή έσω σφαγίτιδα	2-3	350	349.9378
δεξιά έσω σφαγίτιδα	5-6	350	349.939
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	2-4	284.32	284.3253
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	5-7	284.32	284.3097
αριστερή σπονδυλική	3-4	20	20.0079
δεξιά σπονδυλική	6-7	20	20.0081
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-τ.α	264.32	264.3206
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-τ.α	264.32	264.2997
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	3-8	39.49	39.4896
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	6-9	39.49	39.4896
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	8-10	31	31.0039
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	9-11	31	31.0039
ενδοσηραγγώδης κόλπος	8-9	0	0
αριστερός ευθύς κόλπος	3-10	330.51	330.4566
δεξιός ευθύς κόλπος	6-11	330.51	330.4577
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	8-12	70.50	70.4935
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	9-13	70.50	70.4935
αριστερή αναστομοτική Labbe	10-12	20	19.9988
δεξιά αναστομοτική Labbe	11-13	20	19.9988
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	10-14	279.50	279.4591
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	11-14	279.50	279.4591
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	12-15	90.50	90.4923
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	13-16	90.50	90.4923
αριστερή μέση εγκεφαλική	15-τ.α	111.50	111.4907
δεξιά μέση εγκεφαλική	16-τ.α	111.50	111.4907
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	14-17	252	251.9814
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	42	41.9968
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	63	62.9952
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	63	62.9952
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-τ.α	42	41.9968

αριστερή αναστομωτική Trolard	15-17	21	20.9984
δεξιά αναστομωτική Trolard	16-17	21	20.9984
ευθύς κόλπος	14-18	307	306.9395
κάτω οβελιαίος κόλπος	18-τ.α	153.98	153.9666
φλέβα του Γαληνού	18-19	153.02	152.9736
αριστερή εσωτερική	19-τ.α	39.44	39.4191
δεξιά εσωτερική	19-τ.α	39.44	39.4191
αριστερή φ. του Rosenthal	19-20	37.073	37.0674
δεξιά φ. του Rosenthal	19-21	37.073	37.0674
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	20-τ.α	21.50	21.4985
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	21-τ.α	21.50	21.4985
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	20-τ.α	15.57	15.5689
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	21-τ.α	15.57	15.5689
πρόσθια αναστομωτική	20-21	0	0

Πίνακας 3.8: Σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του φλεβικού συστήματος

		ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΑΡΤΗΡΙΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ	%Q <sub>0</sub>	net-ohmic %Q <sub>0</sub>
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	0.12	0.12
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	0.07	0.07
αριστερή υποκλείδια >> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	1-4	0.05	0.05
δεξιά υποκλείδια >> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	0.03	0.03
δεξιά κοινή καρωτιδική	2-3	0.05	0.05
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	3-7	0.03	0.03
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	2-6	0.07	0.07
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	5-8	0.02	0.02
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	5-16	0.05	0.05
αριστερή σπονδυλική	6-7	0.02	0.02
δεξιά σπονδυλική	6-13	0.05	0.05
βασική	4-9	0.02	0.02
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	3-9	0.02	0.02
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	9-10	0.04	0.04
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-12	0.02	0.02
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	-	0.02
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	10-11	0.02	0.02
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	11-17	-	0.02
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	11-13	-	0.00
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	12-16	-	0.00
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-14	-	0.02
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	15-16	-	0.02
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	14-15	0	0.00
αριστερή μέση εγκεφαλική	13-18	-	0.03
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	14-19	-	0.02
αριστερή μέση εγκεφαλική	15-19	-	0.02
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	16-20	-	0.03
		ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΦΛΕΒΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ	%Q <sub>0</sub>	net-ohmic %Q <sub>0</sub>

αριστερή βραχιονοκεφαλική	<b>39-42</b>	0.120	0.120
δεξιά βραχιονοκεφαλική	<b>41-42</b>	0.120	0.120
αριστερή έσω σφαγίτιδα	<b>34-39</b>	0.066	0.066
δεξιά έσω σφαγίτιδα	<b>37-41</b>	0.066	0.066
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	<b>38-39</b>	0.054	0.054
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	<b>40-41</b>	0.054	0.054
αριστερή σπονδυλική	<b>34-38</b>	0.004	0.004
δεξιά σπονδυλική	<b>37-40</b>	0.004	0.004
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	<b>8-38</b>	0.050	0.050
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	<b>7-40</b>	0.050	0.050
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	<b>34-35</b>	0.007	0.007
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	<b>36-37</b>	0.007	0.007
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	<b>31-35</b>	0.006	0.006
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	<b>33-36</b>	0.006	0.006
ενδοσηραγγώδης κόλπος	<b>35-36</b>	0.000	0.000
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	<b>31-34</b>	0.063	0.063
δεξιός σιγμοειδής κόλπος	<b>33-37</b>	0.063	0.063
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	<b>30-35</b>	0.013	0.013
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	<b>29-36</b>	0.013	0.013
αριστερή αναστομωτική Labbe	<b>30-31</b>	0.004	0.004
δεξιά αναστομωτική Labbe	<b>29-33</b>	0.004	0.004
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	<b>31-32</b>	0.053	0.053
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	<b>32-33</b>	0.053	0.053
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	<b>27-30</b>	0.017	0.017
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας)	<b>28-29</b>	0.017	0.017

Labbe)			
αριστερή μέση εγκεφαλική	<b>20-27</b>	0.021	0.021
δεξιά μέση εγκεφαλική	<b>18-28</b>	0.021	0.021
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	<b>25-32</b>	0.048	0.048
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	<b>21-25</b>	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	<b>20-25</b>	0.008	0.008
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	<b>17-25</b>	0.012	0.012
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	<b>18-25</b>	0.008	0.008
αριστερή αναστομωτική Trolard	<b>25-27</b>	0.004	0.004
δεξιά αναστομωτική Trolard	<b>25-28</b>	0.004	0.004
ευθύς κόλπος	<b>26-32</b>	0.058	0.058
κάτω οβελιαίος κόλπος	<b>19-26</b>	0.029	0.029
φλέβα του Γαληνού	<b>24-26</b>	0.029	0.029
αριστερή εσωτερική	<b>21-24</b>	0.007	0.007
δεξιά εσωτερική	<b>17-24</b>	0.007	0.007
αριστερή φ. του Rosenthal	<b>23-24</b>	0.007	0.007
δεξιά φ. του Rosenthal	<b>22-24</b>	0.007	0.007
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	<b>20-23</b>	0.004	0.004
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	<b>18-22</b>	0.004	0.004
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	<b>19-23</b>	0.003	0.003
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	<b>19-22</b>	0.003	0.003
πρόσθια αναστομωτική	<b>22-23</b>	0.000	0.000

**Πίνακας 3.9:** Ποσοστιαία σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριοφλεβικού συστήματος

<b>ΑΡΤΗΡΙΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ (ml/min)</b>
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	634.98	634.9958
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	370.02	375.3832
αριστερή υποκλείδια	1-4	264.30	258.9495
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	158.58	158.5731
δεξιά υποκλείδια	2-3	264.30	258.9878
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	3-7	158.58	158.5723
δεξιά κοινή καρωτιδική	2-6	370.02	375.412
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	5-8	105.72	105.7098
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	5-16	264.30	269.6728
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	6-7	105.72	105.7102
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	6-13	264.30	269.6857
αριστερή σπονδυλική	4-9	105.72	100.3567
δεξιά σπονδυλική	3-9	105.72	100.3304
βασική	9-10	211.44	200.6901
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	10-12	105.72	100.3445
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	105.72	102.5791
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-11	-	100.3445
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-17	105.72	102.5791
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	11-13	-	2.2333
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	12-16	-	2.2329
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	13-14	-	92.5258
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-16	-	92.5143
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0	0.0063
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-18	-	174.9258
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-19	-	92.5198
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-19	-	92.5197
αριστερή μέση εγκεφαλική	16-20	-	174.9255
<b>ΦΛΕΒΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ml/min)</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ (Q)</b>
αριστερή βραχιονοκεφαλική	39-42	634.32	634.2617
δεξιά βραχιονοκεφαλική	41-42	634.32	634.2694
αριστερή έσω σφαγίτιδα	34-39	350	349.9893
δεξιά έσω σφαγίτιδα	37-41	350	349.9893
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	38-39	284.32	284.2941
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	40-41	284.32	284.2785
αριστερή σπονδυλική	34-38	20	20.0112
δεξιά σπονδυλική	37-40	20	20.0113
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	8-38	264.32	264.2829
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση	7-40	264.32	264.2825



της σπονδυλικής			
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	34-35	39.49	39.4755
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	36-37	39.49	39.4755
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	31-35	31	30.9926
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	33-36	31	30.9926
ενδοσηραγγώδης κόλπος	35-36	0	-0.0001
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	31-34	330.51	330.5239
δεξιός σιγμοειδής κόλπος	33-37	330.51	330.5271
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	30-35	70.50	70.468
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	29-36	70.50	70.4681
αριστερή αναστομωτική Labbe	30-31	20	19.9926
δεξιά αναστομωτική Labbe	29-33	20	19.9926
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	31-32	279.50	279.5625
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	32-33	279.50	279.5407
αριστερή μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	27-30	90.50	90.4606
δεξιά μέση εγκεφαλική (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	28-29	90.50	90.4607
αριστερή μέση εγκεφαλική	20-27	111.50	111.4519
δεξιά μέση εγκεφαλική	18-28	111.50	111.4521
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	25-32	252	252.1379
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	21-25	42	41.9825
άνω εγκεφαλικές (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	20-25	63	63.0958
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-25	63	63.0958
άνω εγκεφαλικές (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	18-25	42	41.9826
αριστερή αναστομωτική Trolard	25-27	21	20.9913
δεξιά αναστομωτική Trolard	25-28	21	20.9913
ευθύς κόλπος	26-32	307	306.9862
κάτω οβελιαίος κόλπος	19-26	153.98	153.9126
φλέβα του Γαληνού	24-26	153.02	153.0739
αριστερή εσωτερική	21-24	39.44	39.4833
δεξιά εσωτερική	17-24	39.44	39.4833
αριστερή φ. του Rosenthal	23-24	37.073	37.0544
δεξιά φ. του Rosenthal	22-24	37.073	37.0544
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	20-23	21.50	21.491
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική	18-22	21.50	21.491
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	19-23	15.57	15.5634
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	19-22	15.57	15.5634
πρόσθια αναστομωτική	22-23	0	0

**Πίνακας 3.10:** Σύγκριση αποτελεσμάτων του προγράμματος net-ohmic με τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις παροχές του αρτηριοφλεβικού συστήματος

## ➤ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων με τις φυσιολογικές τιμές της βιβλιογραφίας είναι εμφανής η ορθότητα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις (GAUSS, SUCCESSIVE SUBSTITUTION). Οι τιμές των παροχών που προκύπτουν παρουσιάζουν ομοιότητα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, σε ποσοστό που στις περισσότερες περιπτώσεις φτάνει το 99.9%. Η παροχή στις αναστομωτικές φλέβες και την αναστομωτική αρτηρία προέκυψε σχεδόν μηδενική, όπως ήταν αναμενόμενο από την ρεολογία του εγκεφάλου.

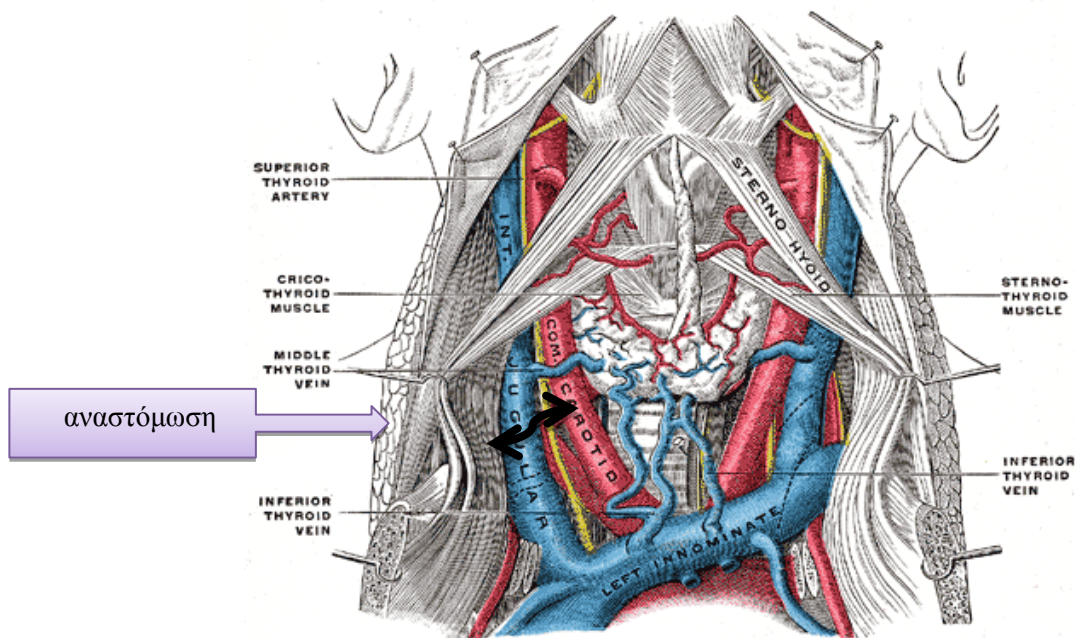
Επίσης από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προγραμμάτων μεταξύ τους, επιβεβαιώνεται η εγκυρότητά τους, μιας και τα αποτελέσματα από τη μέθοδο GAUSS διαφέρουν ελάχιστα από εκείνα της μεθόδου διαδοχικών αντικαταστάσεων. Αυτή η σύγκριση επισφραγίζει την ορθότητα των τιμών που προκύπτουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ

Η αρτηριοφλεβική αναστόμωση είναι η σύνδεση μεταξύ μιας φλέβας και μιας αρτηρίας. Μπορεί να υπάρχει εκ γενετής, οπότε και πρόκειται για παθολογική κατάσταση η οποία προκαλεί σοβαρά προβλήματα, ή μπορεί να δημιουργηθεί χειρουργικά ως μέσο θεραπείας παθολογικών καταστάσεων (παραδείγματος χάριν στη διαδικασία της αιμοκάθαρσης).

Στο παρόν μοντέλο μελετάται η περίπτωση αρτηριοφλεβικής αναστόμωσης μεταξύ της δεξιάς κοινής καρωτιδικής αρτηρίας και της ομόπλευρης εσωτερικής σφαγίτιδας. Στόχος είναι να προσδιοριστεί η κατανομή των παροχών εκ νέου στο μοντέλο, παρουσία ενός επιπλέον κλάδου (αυτού του μοσχεύματος).



**Εικόνα 4.1:** Κοινές καρωτιδικές αρτηρίες – Έσω σφαγίτιδες φλέβες : τα αγγεία μεταξύ των οποίων γίνεται η αναστόμωση

Χρησιμοποιείται μόσχευμα από μη ελαστικό υλικό, το οποίο θεωρείται ότι έχει ίδια συμπεριφορά με τα αγγεία. Το μόσχευμα εισάγεται στο μέσον του μήκους της κοινής καρωτίδας και στο μέσον της σφαγίτιδας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα νέο εν δυνάμει «μονοπάτι» για τη ροή, από την κοινή καρωτίδα μέχρι τη σφαγίτιδα, χωρίς να παρεμβάλλεται κανένα αγγείο και καμία αντίσταση πέρα από την αντίσταση του ίδιου του μοσχεύματος. Η εν λόγω αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση (3.2), θεωρώντας γνωστό μήκος και διάμετρο.

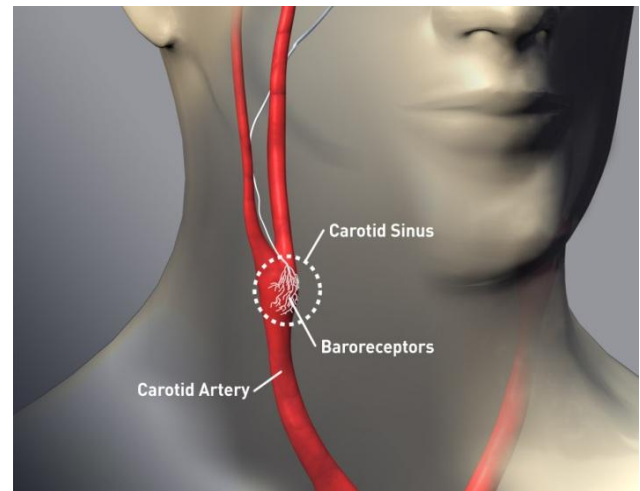
Αναμένεται η πτώση πίεσης στα δύο άκρα του μοσχεύματος να είναι πολύ μεγάλη (αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι στην ανιούσα αορτή η πίεση είναι 90mm Hg , ενώ στην άνω κοίλη φλέβα μόλις 1mm Hg) επειδή η καρωτιδική αρτηρία και η σφαγίτιδα φλέβα βρίσκονται κοντά στα προαναφερθέντα αγγεία, η διαφορά στην πίεση από το ένα στο άλλο αναμένεται να είναι ίδιας τάξης μεγέθους υψηλή με την

πτώση πίεσης ανάμεσα σε ανιούσα αορτή και άνω κοίλη φλέβα), γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αποτέλεσμα της αναστόμωσης θα είναι το αίμα να «επιλέγει» τη διαδρομή με την υψηλή πτώση πίεσης έναντι των υπολοίπων.

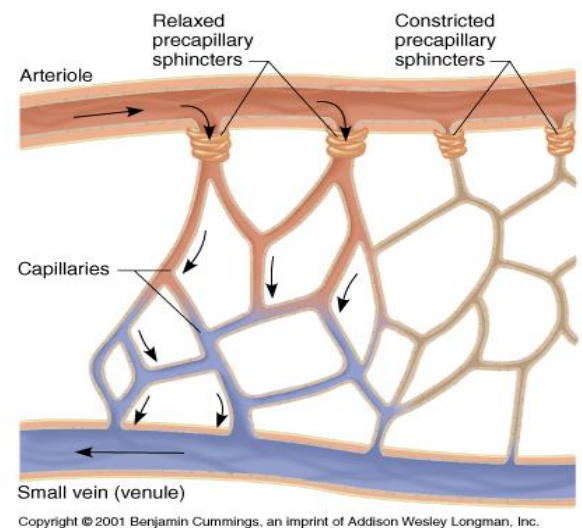
### ➤ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΡΟΗΣ: BARORECEPTORS & ΠΡΟΤΡΙΧΟΕΙΔΙΚΟΙ ΣΦΙΓΗΚΤΗΡΕΣ

Οι αισθητήρες ροής βρίσκονται τοποθετημένοι σε συγκεκριμένες θέσεις στο ανθρώπινο σώμα προσδιορίζοντας την πίεση του αίματος που τους διαρρέει, έχουν τη δυνατότητα να στείλουν μήνυμα στο κεντρικό νευρικό σύστημα να αυξήσει ή μειώσει την συνολική περιφερειακή αντίσταση και αντίστοιχα την καρδιακή παροχή (cardiac output). Οι αισθητήρες ροής δρουν αυτόματα μόλις ανιχνεύσουν μη φυσιολογική πίεση αίματος, τείνοντας να την επαναφέρουν στα φυσιολογικά επίπεδα. Η δράση τους περιλαμβάνει την κατά περίπτωση αυξομείωση της διαμέτρου των αγγείων στα οποία απαντώνται (συστολή του αγγείου προκειμένου να περιοριστεί η τάση αύξησης της καρδιακής παροχής ή διαστολή του αγγείου ώστε να επιτραπεί η διέλευση περισσότερης ποσότητας αίματος) [34].

Οι προτριχοειδικοί σφιγκτήρες είναι λείοι μύες που ρυθμίζουν την αιματική ροή στα τριχοειδή. Στο σημείο όπου αρδεύουν το αίμα τα τριχοειδή αγγεία από τα αρτηριακά δέντρα, εδράζουν μυικές ίνες οι οποίες περικλείουν τα τριχοειδή: αυτές οι ίνες καλούνται σφιγκτήρες. Έχουν δε τη δυνατότητα να ανοίγουν και να κλείνουν την είσοδο στα τριχοειδή, αποτελώντας τελικά ρυθμιστικό παράγοντα της παροχής που διαρρέει συνολικά το κυκλοφορικό σύστημα, καθορίζοντας τις διαδρομές που ακολουθεί η ροή [34].



Εικόνα 4.2: Θέση baroreceptor στην κοινή καρωτιδική αρτηρία



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

Εικόνα 4.3: Δράση προτριχοειδικών σφιγκτήρων

## ➤ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗΣ

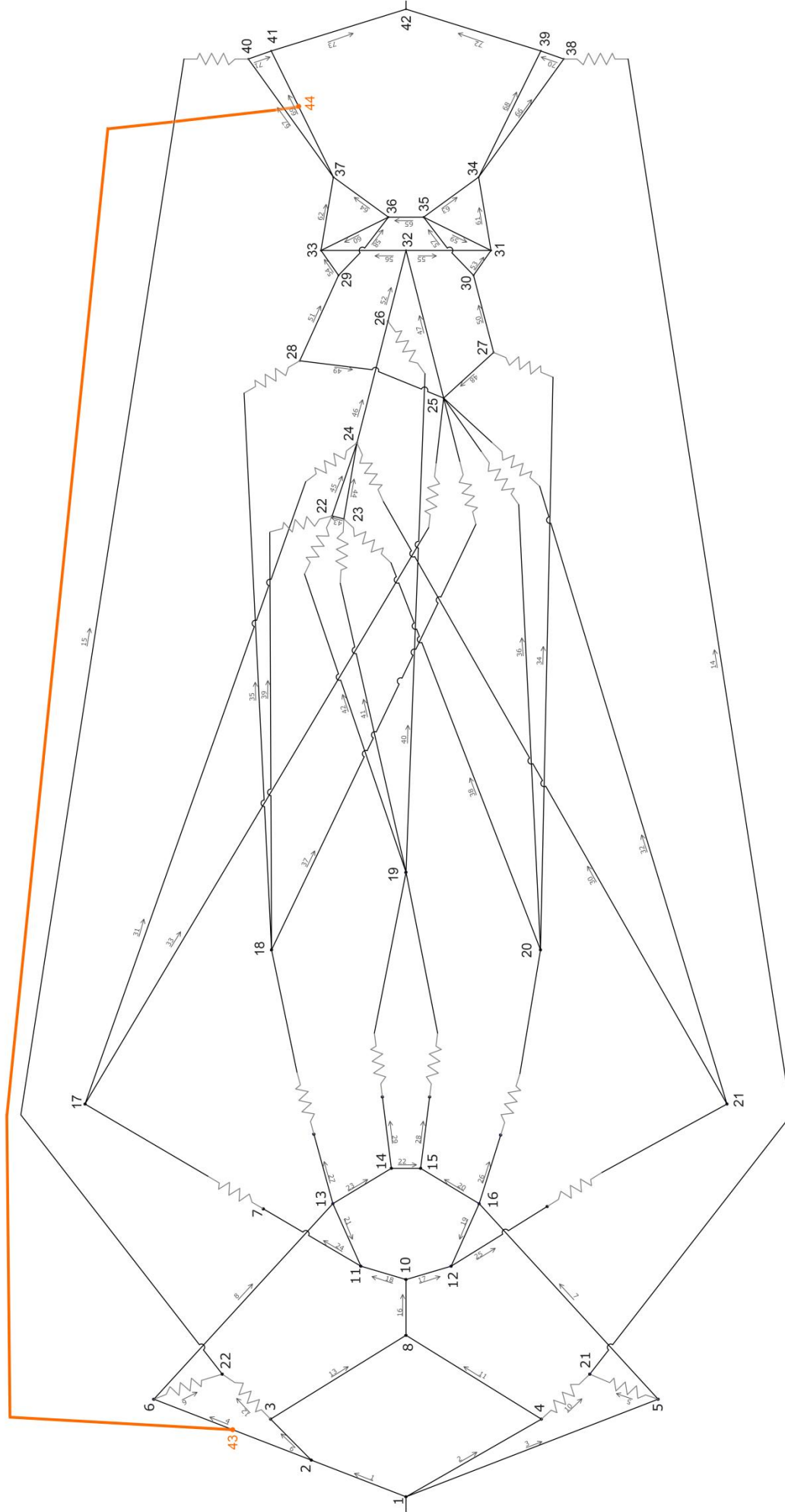
Η διαφορά που παρουσιάζει το αρτηριοφλεβικό μοντέλο στην περίπτωση της αναστόμωσης με το αρτηριοφλεβικό μοντέλο φυσιολογικής κατάστασης, είναι η προσθήκη του μόσχευματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- την προσθήκη δύο νέων κόμβων: 43, 44 στα σημεία που τοποθετήθηκε το μόσχευμα επί των αγγείων
- την προσθήκη ενός ολοκαίνουριου κλάδου (43-44)
- τη διάσπαση καθενός εκ των δύο αγγείων στα οποία εφαρμόζεται το μόσχευμα σε δύο ίσα μεταξύ τους μέρη.

Η μελέτη της περίπτωσης της αναστόμωσης έγινε σε τρία στάδια:

1. εξετάστηκε το ενδεχόμενο η αναστόμωση να μην προκαλεί καμία μεταβολή στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγγείων του μοντέλου
2. λήφθηκε υπ' όψιν η δράση των ρυθμιστικών αισθητήρων ροής (baroreceptors) αποκλειστικά στη δεξιά κοινή καρωτίδα και εν συνεχεία και στις δύο καρωτίδες
3. μελετήθηκε η συντονισμένη δράση των baroreceptors των καρωτίδων σε συνδυασμό με τους προτριχοειδικούς σφιγκτήρες των αγγείων.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για το μοντέλο είναι το ίδιο με αυτό του αρτηριοφλεβικού χωρίς την αναστόμωση (net-ohmic.for), το οποίο καταλήγει σε αποτέλεσμα βάσει της μεθόδου των διαδοχικών αντικαταστάσεων. Φυσικά έγιναν οι απαραίτητες αλλαγές στη συνδεσμολογία μετά την προσθήκη των κόμβων 43 και 44. Επιπλέον, στα επιμέρους στάδια άλλαξε η τιμή των αντιστάσεων ορισμένων αγγείων, όπως θα δούμε συγκεκριμένα στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 4.1: Αρτηριοφλεβικό μοντέλο (αναστόμωση)



➤ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΔΙΟ 1 (μόσχευμα: L=6cm, D=0.55cm)

ΑΡΤΗΡΙΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ	ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ	ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	635.00	47548.59
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	375.38	690.69
αριστερή υποκλείδια	1-4	258.95	314.71
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	158.57	158.51
δεξιά υποκλείδια	2-3	258.99	227.1
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	3-7	158.57	158.3
δεξιά κοινή καρωτιδική 1ο κομμάτι	2-43	375.41	47321.22
δεξιά κοινή καρωτιδική 2ο κομμάτι	43-6	375.41	-18.59
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	5-8	105.71	105.45
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	5-16	269.67	585.23
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	6-7	105.71	89.52
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	6-13	269.69	-108.11
αριστερή σπονδυλική	4-9	100.36	156.16
δεξιά σπονδυλική	3-9	100.33	68.77
βασική	9-10	200.69	224.93
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	10-12	100.34	101.72
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	102.58	101.55
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-11	100.34	123.21
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-17	102.58	101.43
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	11-13	2.23	-21.79
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	12-16	2.23	0.18
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	13-14	92.53	-241.3
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-16	92.51	413.94
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0.01	-326.32
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-18	174.93	154.97
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-19	92.52	85.03
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-19	92.52	87.62
αριστερή μέση εγκεφαλική	16-20	174.93	171.47
ΦΛΕΒΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ	ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ	ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ
αριστερή βραχιονοκεφαλική	39-42	634.26	455.02

δεξιά βραχιονοκεφαλική	41-42	634.27	455.02
αριστερή έσω σφαγίτιδα	34-39	349.99	181.33
δεξιά έσω σφαγίτιδα 1ο κομμάτι	37-44	349.99	517.4
δεξιά έσω σφαγίτιδα 2ο κομμάτι	44-41	349.99	696.26
μόσχευμα	43-44	--	47339.75
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	38-39	284.29	273.71
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	40-41	284.28	241.27
αριστερή σπονδυλική	34-38	20.01	9.8
δεξιά σπονδυλική	37-40	20.01	-6.51
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	8-38	264.28	263.96
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-40	264.28	247.82
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	34-35	39.48	36.82
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	36-37	39.48	36.87
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	31-35	30.99	29.11
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	33-36	30.99	28.73
ενδοσηραγγώδης κόλπος	35-36	0.00	3.56
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	31-34	330.52	154.32
δεξιός σιγμοειδής κόλπος	33-37	330.53	474.02
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	30-35	70.47	69.49
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	29-36	70.47	62.03
αριστερή αναστομωτική φλέβα Labbe	30-31	19.99	19.36
δεξιά αναστομωτική φλέβα Labbe	29-33	19.99	17.95
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	31-32	279.56	105.87
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	32-33	279.54	427.34
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	27-30	90.46	88.85
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	28-29	90.46	79.98

αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	20-27	111.45	109.36
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	18-28	111.45	98.65
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	25-32	252.14	242.32
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	21-25	63.10	62.44
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	20-25	41.98	41.04
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-25	63.10	62.37
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	18-25	41.98	37.31
αριστερή αναστομωτική φλέβα Trolard	25-27	20.99	20.51
δεξιά αναστομωτική φλέβα Trolard	25-28	20.99	18.67
ευθύς κόλπος	26-32	306.99	290.9
κάτω οβελιαίος κόλπος	19-26	153.91	143.61
φλέβα του Γαληνού	24-26	153.07	147.3
αριστερή εσωτερική φλέβα	21-24	39.48	39.11
δεξιά εσωτερική φλέβα	17-24	39.48	39.06
αριστερή φλέβα του Rosenthal	23-24	37.05	34.8
δεξιά φλέβα του Rosenthal	22-24	37.05	34.34
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	20-23	21.49	21.08
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	18-22	21.49	19.01
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-23	15.56	14.51
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-22	15.56	14.53
πρόσθια αναστομωτική φλέβα	22-23	0.00	0.8

**Πίνακας 4.1:** Αποτελέσματα αναστόμωσης χωρίς τη δράση ρυθμιστικών παραγόντων

➤ **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΔΙΟ 2<sup>Α</sup>** (μόσχευμα: **D=0.55cm, L=6cm**)  
**(δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία: D=0.2cm (-75%Do))**

<b>ΑΡΤΗΡΙΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b>	<b>ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b>
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	635.00	1791.92
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	375.38	1346.17
αριστερή υποκλείδια	1-4	258.95	304.44
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	158.57	158.59
δεξιά υποκλείδια	2-3	258.99	309.40
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	3-7	158.57	165.56
δεξιά κοινή καρωτιδική 1ο κομμάτι	2-43	375.41	1481.87
δεξιά κοινή καρωτιδική 2ο κομμάτι	43-6	375.41	-848.75
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	5-8	105.71	104.99
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	5-16	269.67	1241.15
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	6-7	105.71	54.95
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	6-13	269.69	-903.70
αριστερή σπονδυλική	4-9	100.36	145.81
δεξιά σπονδυλική	3-9	100.33	143.78
βασική	9-10	200.69	289.60
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	10-12	100.34	111.56
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	102.58	101.54
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-11	100.34	178.04
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-17	102.58	101.18
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	11-13	2.23	-76.86
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	12-16	2.23	10.02
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	13-14	92.53	940.09
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-16	92.51	1086.86
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0.01	-1009.45
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-18	174.93	113.24
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-19	92.52	69.37
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-19	92.52	77.40
αριστερή μέση εγκεφαλική	16-20	174.93	164.32
<b>ΦΛΕΒΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b>	<b>ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b>
αριστερή βραχιονοκεφαλική	39-42	634.26	430.22
δεξιά βραχιονοκεφαλική	41-42	634.27	430.22
αριστερή έσω σφαγίτιδα	34-39	349.99	158.33
δεξιά έσω σφαγίτιδα 1ο κομμάτι	37-44	349.99	466.60
δεξιά έσω σφαγίτιδα 2ο κομμάτι	44-41	349.99	644.27

μόσχευμα	43-44	--	2330.62
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	38-39	284.29	271.92
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	40-41	284.28	214.10
αριστερή σπονδυλική	34-38	20.01	8.41
δεξιά σπονδυλική	37-40	20.01	-6.36
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	8-38	264.28	263.58
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-40	264.28	220.51
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	34-35	39.48	31.91
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	36-37	39.48	30.79
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	31-35	30.99	25.23
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	33-36	30.99	23.94
ενδοσηραγγώδης κόλπος	35-36	0.00	10.34
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	31-34	330.52	134.84
δεξιός σιγμοειδής κόλπος	33-37	330.53	429.46
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	30-35	70.47	67.48
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	29-36	70.47	44.39
αριστερή αναστομωτική φλέβα Labbe	30-31	19.99	18.05
δεξιά αναστομωτική φλέβα Labbe	29-33	19.99	13.68
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	31-32	279.56	91.58
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	32-33	279.54	391.84
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	27-30	90.46	85.53
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	28-29	90.46	58.07
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	20-27	111.45	105.02
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	18-28	111.45	71.88
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	25-32	252.14	224.46
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	21-25	63.10	62.38
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	20-25	41.98	39.16
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-25	63.10	62.16
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	18-25	41.98	27.54

αριστερή αναστομωτική φλέβα Trolard	25-27	20.99	19.49
δεξιά αναστομωτική φλέβα Trolard	25-28	20.99	13.81
ευθύς κόλπος	26-32	306.99	258.99
κάτω οβελιαίος κόλπος	19-26	153.91	122.09
φλέβα του Γαληνού	24-26	153.07	136.90
αριστερή εσωτερική φλέβα	21-24	39.48	39.16
δεξιά εσωτερική φλέβα	17-24	39.48	39.01
αριστερή φλέβα του Rosenthal	23-24	37.05	30.08
δεξιά φλέβα του Rosenthal	22-24	37.05	28.65
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	20-23	21.49	20.22
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	18-22	21.49	13.83
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-23	15.56	12.32
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-22	15.56	12.36
πρόσθια αναστομωτική φλέβα	22-23	0.00	2.46

**Πίνακας 4.2:** Αποτελέσματα αναστόμωσης με τη δράση των baroreceptors στην δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία



- **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΔΙΟ 2<sup>B</sup> (μόσχευμα: D=0.55cm, L=6cm)**  
**(δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία: D=0.2cm (-75%Do), αριστερή κοινή καρωτίδα: D=0.6cm (-25%Do) )**

ΑΡΤΗΡΙΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ	ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ	ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	635.00	1794.33
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	375.38	1318.54
αριστερή υποκλείδια	1-4	258.95	307.3
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	158.57	158.86
δεξιά υποκλείδια	2-3	258.99	312.12
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	3-7	158.57	165.71
δεξιά κοινή καρωτιδική 1ο κομμάτι	2-43	375.41	1482.13
δεξιά κοινή καρωτιδική 2ο κομμάτι	43-6	375.41	-836
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	5-8	105.71	103.02
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	5-16	269.67	1215.51
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	6-7	105.71	53.9
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	6-13	269.69	-889.9
αριστερή σπονδυλική	4-9	100.36	148.42
δεξιά σπονδυλική	3-9	100.33	146.39
βασική	9-10	200.69	294.81
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	10-12	100.34	114.78
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	102.58	101.46
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-11	100.34	180.04
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-17	102.58	101.11
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	11-13	2.23	-78.93
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	12-16	2.23	13.32
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	13-14	92.53	922.57

αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-16	92.51	1067.09
πρόσθια αναστομοωτική	14-15	0.01	-990.89
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-18	174.93	111.6
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-19	92.52	68.32
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-19	92.52	76.21
αριστερή μέση εγκεφαλική	16-20	174.93	161.73
<b>ΦΛΕΒΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b>	<b>ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b>
αριστερή βραχιονοκεφαλική	39-42	634.26	426.45
δεξιά βραχιονοκεφαλική	41-42	634.27	426.45
αριστερή έσω σφαγίτιδα	34-39	349.99	156.35
δεξιά έσω σφαγίτιδα 1ο κομμάτι	37-44	349.99	462.06
δεξιά έσω σφαγίτιδα 2ο κομμάτι	44-41	349.99	639.62
μόσχευμα	43-44	--	2318.12
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	38-39	284.29	270.13
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	40-41	284.28	213.21
αριστερή σπονδυλική	34-38	20.01	8.3
δεξιά σπονδυλική	37-40	20.01	-6.35
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	8-38	264.28	261.89
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-40	264.28	219.61
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	34-35	39.48	31.42
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	36-37	39.48	30.32
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	31-35	30.99	24.84
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	33-36	30.99	23.58
ενδοσηραγγώδης κόλπος	35-36	0.00	10.15
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	31-34	330.52	133.24
δεξιός σιγμοειδής	33-37	330.53	425.39

κόλπος			
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	30-35	70.47	66.41
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	29-36	70.47	43.75
αριστερή αναστομωτική φλέβα Labbe	30-31	19.99	17.77
δεξιά αναστομωτική φλέβα Labbe	29-33	19.99	13.47
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	31-32	279.56	90.66
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	32-33	279.54	388.34
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	27-30	90.46	84.18
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	28-29	90.46	57.23
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	20-27	111.45	103.37
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	18-28	111.45	70.83
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	25-32	252.14	222.83
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	21-25	63.10	62.33
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	20-25	41.98	38.46
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-25	63.10	62.12
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	18-25	41.98	27.13
αριστερή αναστομωτική φλέβα Trolard	25-27	20.99	19.19
δεξιά αναστομωτική	25-28	20.99	13.61

φλέβα Trolard			
ευθύς κόλπος	26-32	306.99	256.18
κάτω οβελιαίος κόλπος	19-26	153.91	120.22
φλέβα του Γαληνού	24-26	153.07	135.95
αριστερή εσωτερική φλέβα	21-24	39.48	39.13
δεξιά εσωτερική φλέβα	17-24	39.48	38.99
αριστερή φλέβα του Rosenthal	23-24	37.05	29.61
δεξιά φλέβα του Rosenthal	22-24	37.05	28.22
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	20-23	21.49	19.9
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	18-22	21.49	13.63
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-23	15.56	12.13
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-22	15.56	12.17
πρόσθια αναστομωτική φλέβα	22-23	0.00	2.41

**Πίνακας 4.3:** Αποτελέσματα αναστόμωσης με τη δράση των baroreceptors στην αριστερή και στη δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία

➤ **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΔΙΟ 3 (Δεδομένα από ΣΤΑΔΙΟ 2β σε συνδυασμό με τη δράση προτριχοειδικών σφικτήρων)**

<b>ΑΡΤΗΡΙΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b>	<b>ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b>
βραχιονοκεφαλικός κορμός	1-2	634.9958	1794.33
αριστερή κοινή καρωτιδική	1-5	375.3832	1318.54
αριστερή υποκλείδια	1-4	258.9495	307.3
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	4-8	158.5731	158.86
δεξιά υποκλείδια	2-3	258.9878	312.12
>> >> μετά την έκφυση της σπονδυλικής	3-7	158.5723	165.71
δεξιά κοινή καρωτιδική 1ο κομμάτι	2-43	375.412	1482.13
δεξιά κοινή καρωτιδική 2ο κομμάτι	43-6	375.412	-836
αριστερή εξωτερική καρωτιδική	5-8	105.7098	103.02
αριστερή εσωτερική καρωτιδική	5-16	269.6728	1215.51
δεξιά εξωτερική καρωτιδική	6-7	105.7102	53.9
δεξιά εσωτερική καρωτιδική	6-13	269.6857	-889.9
αριστερή σπονδυλική	4-9	100.3567	148.42
δεξιά σπονδυλική	3-9	100.3304	146.39
βασική	9-10	200.6901	294.81
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική	10-12	100.3445	114.78
αριστερή οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	12-21	102.5791	101.46
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική	10-11	100.3445	180.04
δεξιά οπίσθια εγκεφαλική προς τριχοειδή	11-17	102.5791	101.11
δεξιά οπίσθια αναστομωτική	11-13	2.2333	-78.93
αριστερή οπίσθια αναστομωτική	12-16	2.2329	13.32
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	13-14	92.5258	922.57
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-16	92.5143	1067.09
πρόσθια αναστομωτική	14-15	0.0063	-990.89
δεξιά μέση εγκεφαλική	13-18	174.9258	111.6
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική	14-19	92.5198	68.32
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική	15-19	92.5197	76.21
αριστερή μέση εγκεφαλική	16-20	174.9255	161.73
<b>ΦΛΕΒΕΣ</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ</b>	<b>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ</b>	<b>ΑΝΑΣΤΟΜΩΣΗ</b>
αριστερή βραχιονοκεφαλική	39-42	634.2617	426.45
δεξιά βραχιονοκεφαλική	41-42	634.2694	426.45
αριστερή έσω σφαγίτιδα	34-39	349.9893	156.35
δεξιά έσω σφαγίτιδα 1ο κομμάτι	37-44	349.9893	462.06
δεξιά έσω σφαγίτιδα 2ο κομμάτι	44-41	349.9893	639.62

μόσχευμα	43-44	--	2318.12
αριστερή υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	38-39	284.2941	270.13
δεξιά υποκλείδια πριν την έκφυση της σπονδυλικής	40-41	284.2785	213.21
αριστερή σπονδυλική	34-38	20.0112	8.3
δεξιά σπονδυλική	37-40	20.0113	-6.35
αριστερή υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	8-38	264.2829	261.89
δεξιά υποκλείδια μετά την έκφυση της σπονδυλικής	7-40	264.2825	219.61
αριστερός κάτω λιθοειδής κόλπος	34-35	39.4755	31.42
δεξιός κάτω λιθοειδής κόλπος	36-37	39.4755	30.32
αριστερός άνω λιθοειδής κόλπος	31-35	30.9926	24.84
δεξιός άνω λιθοειδής κόλπος	33-36	30.9926	23.58
ενδοσηραγγώδης κόλπος	35-36	-0.0001	10.15
αριστερός σιγμοειδής κόλπος	31-34	330.5239	133.24
δεξιός σιγμοειδής κόλπος	33-37	330.5271	425.39
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	30-35	70.468	66.41
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα που εκβάλλει στον σηραγγώδη κόλπο)	29-36	70.4681	43.75
αριστερή αναστομωτική φλέβα Labbe	30-31	19.9926	17.77
δεξιά αναστομωτική φλέβα Labbe	29-33	19.9926	13.47
αριστερός εγκάρσιος κόλπος	31-32	279.5625	90.66
δεξιός εγκάρσιος κόλπος	32-33	279.5407	388.34
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	27-30	90.4606	84.18
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα (τμήμα μέχρι πριν την έκφυση της φλέβας Labbe)	28-29	90.4607	57.23
αριστερή μέση εγκεφαλική φλέβα	20-27	111.4519	103.37
δεξιά μέση εγκεφαλική φλέβα	18-28	111.4521	70.83
άνω οβελιαίος κόλπος (γραμμικό τμήμα χωρίς τις εγκεφαλικές φλέβες)	25-32	252.1379	222.83
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	21-25	63.0958	62.33
άνω εγκεφαλικές φλέβες (δεξιά πλευρά της κεφαλής)	20-25	41.9825	38.46
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	17-25	63.0958	62.12
άνω εγκεφαλικές φλέβες (αριστερή πλευρά της κεφαλής)	18-25	41.9826	27.13
αριστερή αναστομωτική φλέβα Trolard	25-27	20.9913	19.19

δεξιά αναστομωτική φλέβα Trolard	25-28	20.9913	13.61
ευθύς κόλπος	26-32	306.9862	256.18
κάτω οβελιαίος κόλπος	19-26	153.9126	120.22
φλέβα του Γαλιηνού	24-26	153.0739	135.95
αριστερή εσωτερική φλέβα	21-24	39.4833	39.13
δεξιά εσωτερική φλέβα	17-24	39.4833	38.99
αριστερή φλέβα του Rosenthal	23-24	37.0544	29.61
δεξιά φλέβα του Rosenthal	22-24	37.0544	28.22
αριστερή εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	20-23	21.491	19.9
δεξιά εν τω βάθει μέση εγκεφαλική φλέβα	18-22	21.491	13.63
αριστερή πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-23	15.5634	12.13
δεξιά πρόσθια εγκεφαλική φλέβα	19-22	15.5634	12.17
πρόσθια αναστομωτική φλέβα	22-23	0	2.41

**Πίνακας 4.4:** Αποτελέσματα αναστόμωσης με τη δράση των baroreceptors στην αριστερή και στη δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία σε συνδυασμό με τη δράση προτριχοειδικών σφικκτῆρων



## ➤ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

**ΣΤΑΔΙΟ 1:** Παρατηρείται αναστροφή της ροής στην εσωτερική καρωτίδα (6-13) και στο τμήμα της κοινής καρωτίδας πάνω από την αναστόμωση (6-43). Αναστροφή παρατηρείται ακόμη στην πρόσθια εγκεφαλική (13-14) του CoW (Circle of Willis) και στη δεξιά οπίσθια αναστομωτική (11-13). Επίσης φαίνεται αυξημένη η παροχή στην πρόσθια αναστομωτική αρτηρία, όπου η παροχή στη φυσιολογική κατάσταση είναι σχεδόν μηδενική.

Η ποσότητα του αίματος που φτάνει στο βραχιονοκεφαλικό κορμό είναι τεράστια (47548.59 ml/min). Αναμένεται λόγω της αναστόμωσης να «επιλέγει» το αίμα να διέλθει από τον αγωγό μεγαλύτερης πτώσης πίεσης (δηλαδή από το μόσχευμα) αντί λ.χ της αριστερής κοινής καρωτίδας. Τέλος, σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα που έχουν προκύψει από ανάλογη μελέτη σε χοίρους [31], έχει παρατηρηθεί αύξηση της ροής στην καρωτίδα λόγω της αναστόμωσης, όμως είναι προφανές ότι αποτέλεσμα τόσο μεγαλύτερο από τη φυσιολογική τιμή δεν είναι αποδεκτό. Η τόσο μεγάλη αύξηση της παροχής στο αγγείο αυτό και στο βραχιονοκεφαλικό κορμό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητη η προσθήκη των ρυθμιστικών παραγόντων της ροής.

**ΣΤΑΔΙΟ 2Α:** *Μειώθηκε σκοπίμως η διάμετρος της δεξιάς κοινής καρωτιδικής αρτηρίας σε όλο το μήκος του αγγείου κατά 75%, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη δράση των baroreceptors στην εν λόγω αρτηρία. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοσχεύματος παραμένουν ως έχουν.*

Η ποσότητα του αίματος που φτάνει στο βραχιονοκεφαλικό κορμό είναι μεγαλύτερη από τη φυσιολογική (1791 ml/min), αλλά η αναλογία της ως προς τη φυσιολογική πλησιάζει τα πειραματικά δεδομένα στους χοίρους [31].

Παρατηρείται αναστροφή της ροής στην εσωτερική καρωτιδική αρτηρία, όπως επίσης και στο άνω τμήμα της κοινής καρωτιδικής αρτηρίας μετά την αναστόμωση. Η ροή είναι αυξημένη στην δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία, την πρόσθια αναστομωτική και τη δεξιά οπίσθια αναστομωτική αρτηρία. Στη δεξιά κοινή εξωτερική αρτηρία παρατηρείται μειωμένη ροή σε σχέση με τη φυσιολογική κατάσταση· συνεπώς, εξάγεται το συμπέρασμα ότι γίνεται η επιλογή, προκειμένου η αιματική παροχή στον εγκέφαλο να μη διαταραχθεί (όσο είναι εφικτό), το αίμα να κατευθυνθεί προς τα τμήματα του εγκεφάλου και όχι προς το πρόσωπο.

Τέλος, παρατηρείται μικρή αναστροφή της ροής στη δεξιά σπονδυλική φλέβα. Στο φλεβικό σύστημα δεν παρατηρούνται αξιόλογες μεταβολές, πέρα από την αύξηση της παροχής στη δεξιά σφαγίτιδα μετά το μόσχευμα προς τη βραχιονοκεφαλική φλέβα, που συνοδεύεται από μείωση παροχής στην αριστερή σφαγίτιδα.

**ΣΤΑΔΙΟ 2Β:** *Μειώθηκε σκοπίμως η διάμετρος της δεξιάς κοινής καρωτιδικής αρτηρίας σε όλο το μήκος του αγγείου κατά 75%, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη δράση των baroreceptors στην εν λόγω*

αρτηρία. Επίσης, μειώθηκε κατά 25% η διάμετρος της αριστερής κοινής καρωτίδας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοσχεύματος παραμένουν ως έχουν.

Η ποσότητα του αίματος που φτάνει στο βραχιονοκεφαλικό κορμό είναι μεγαλύτερη από τη φυσιολογική (1794 ml/min), αλλά η αναλογία της ως προς τη φυσιολογική πλησιάζει τα πειραματικά δεδομένα στους χοίρους [31].

Παρατηρείται αναστροφή στην εσωτερική καρωτιδική αρτηρία, όπως επίσης και στο άνω τμήμα της κοινής καρωτιδικής αρτηρίας μετά την αναστόμωση. Η ροή είναι αυξημένη στην δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία, ελάχιστα μικρότερη σε σχέση με τη μελέτη στο Στάδιο 2<sup>α</sup>, πράγμα λογικό μιας και μειώνοντας τη διάμετρο της αριστερής κοινής καρωτιδικής αυξήθηκε η αντίσταση του αγγείου, με αποτέλεσμα το αίμα να διέρχεται «δυσκολότερα» από αυτό. Επίσης, η ροή είναι αυξημένη στην πρόσθια αναστομωτική και τη δεξιά οπίσθια αναστομωτική αρτηρία. Η μείωση της ροής στην δεξιά κοινή εξωτερική αρτηρία οδηγεί στο συμπέρασμα ότι γίνεται η επιλογή το αίμα να μην κατευθυνθεί προς το πρόσωπο, προκειμένου να διαταραχθεί όσο το δυνατόν λιγότερο η ισορροπία του εγκεφάλου (υπενθυμίζεται ότι ο εγκέφαλος απαιτεί σταθερή αιματική παροχή- ανάλογο αποτέλεσμα με το Στάδιο 2<sup>α</sup>).

Επίσης παρατηρείται και πάλι μικρή αναστροφή της ροής στη δεξιά σπονδυλική φλέβα. Στο φλεβικό κύκλωμα δεν παρατηρούνται αξιόλογες μεταβολές, πέρα από την αύξηση της παροχής στη δεξιά σφαγίτιδα μετά το μόσχευμα προς τη βραχιονοκεφαλική φλέβα, που συνοδεύεται από μείωση παροχής στην αριστερή σφαγίτιδα. Συνοψίζοντας, οι περισσότερες μεταβολές εμφανίζονται στο αρτηριακό μοντέλο, με κύριο χαρακτηριστικό τις αναστροφές στον κύκλο του Willis και τη συμπεριφορά της δεξιάς εσωτερικής καρωτίδας και τμήματος της δεξιάς κοινής καρωτίδας ως φλέβα.

**ΣΤΑΔΙΟ 3:** Πέρα από τις μειώσεις των διαμέτρων λόγω των *baroreceptors*, στο στάδιο αυτό λαμβάνεται υπ' όψιν και η δράση των τριχοειδικών σφιγκτήρων μετά το τέλος των αρτηριακών δέντρων. Κατ' επέκταση, μειώνουμε την αντίσταση των τριχοειδών αγγείων κατά 20% από τη μεριά των αρτηριών, με το σκεπτικό ότι λόγω του ότι αυξάνεται η καρδιακή παροχή εξαιτίας της ανωμαλίας που προκαλεί η αναστόμωση στη ροή, οι σφιγκτήρες ενεργοποιούνται προκειμένου να επιτρέψουν σε μεγαλύτερη ποσότητα αίματος να διέλθει ευκολότερα προς το φλεβικό σύστημα.

Η παροχή αίματος στο βραχιονοκεφαλικό κορμό είναι περίπου όση και στα στάδια 2α και 2β που δεν λήφθηκαν υπ' όψιν οι προτριχοειδικοί σφιγκτήρες, εμφανίζοντας μια μικρή τάση ανόδου. Παρότι έγινε η ελάττωση των αντιστάσεων των αρτηριακών δέντρων μετά τις αρτηρίες, η παροχή αίματος προς τις φλέβες μέσω των αρτηριακών δέντρων δεν αυξήθηκε και σε ορισμένες περιπτώσεις (όπως στην περίπτωση των πρόσθιων εγκεφαλικών φλεβών) μειώθηκε. Αντίθετα, η επιλεγόμενη διαδρομή είναι αυτή του κύκλου του Willis.

Οι συνήθεις αναστροφές της ροής παρατηρούνται κι εδώ (δεξιά εσωτερική και πάνω τμήμα κοινής καρωτίδας, δεξιά οπίσθια αναστομωτική αρτηρία), ενώ και πάλι μειώνεται η παροχή αίματος προς το πρόσωπο όπως στις προηγούμενες πριπτώσεις προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του εγκεφάλου. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι στο φλεβικό μοντέλο οι όποιες αλλαγές σημειώνονται

είναι σημαντικές περισσότερο στις περιοχές τοπολογικά κοντά στην αναστόμωση (δεξιά έσω σφαγίτιδα) και όχι στο υπόλοιπο κεφάλι.

#### ➤ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ

Από την πορεία της έρευνας του συγκεκριμένου αντικειμένου προκύπτουν σημαντικές προοπτικές μελέτης, κυρίως όσον αφορά την περίπτωση της αναστόμωσης με τη χρήση μοσχεύματος. Στην παρούσα διπλωματική δόθηκε έμφαση κυρίως στην κατασκευή όσο το δυνατόν πιστότερων μοντέλων του αρτηριακού κα φλεβικού συστήματος του εγκεφάλου. Η μελέτη της αρτηριοφλεβικής αναστόμωσης μπορεί να δώσει ρεαλιστικότερα και ακόμη καλύτερα αποτελέσματα με την εύρεση ενός μαθηματικού προτύπου, το οποίο θα συνδέει τη δράση των ρυθμιστικών παραγόντων της ροής και τη μεταβολή της διαμέτρου των καρωτιδικών αρτηριών που επηρεάζονται από την αναστόμωση. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα και ακριβέστερα συμπεράσματα σχετικά με το πώς ακριβώς διαμορφώνεται η εγκεφαλική αιματική ροή.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albayrak, Ramazan; Degirmenci, B; Acar, M; Haktanir, A; Colbay, M; Yaman, M (2007). **Doppler sonography evaluation of flow velocity and volume of the extracranial internal carotid and vertebral arteries in healthy adults.** *J Clin Ultrasound* 35 (1): 27–33
2. Beards S. C., Yule S., Kassner A., Jackson A. **Anatomical variation of cerebral venous drainage: the theoretical effect on jugular bulb blood samples.** (1998) *J Anaesthesia* 53:627-633
3. Braun JP, Tournade A, Ammerich H (1976). **Transverse anastomoses of the veins at the base of the brain.** *Neuroradiology*;12(3):165-9.
4. Cameron John R, James G Skofronick & Roderick M. Grant. **Physics of the Body**, (2<sup>nd</sup> edition) Madison, WI: Medical Physics Publishing, 1999:113
5. Chaynes Patrick (2003) **Microsurgical anatomy of the great cerebral vein of Galen & its tributaries** Vol.99 No. 6:1028-1038
6. Das AC, Hasen M. **On the cerebral sinuses and their variations.** *J Anat Phys.* 1882;16:27–42
7. Emel Avci, Ahmet Dagtekin, Erinç Akture, Kutluay Uluc and Mustafa K. Baskaya (2011) **Microsurgical Anatomy of the vein of Labbe.** *Surgical & Radiologic Anatomy* Vol 33.7:569-573
8. Feneis Heinz, Dauber Wolfgang **Pocket Atlas of Human Anatomy: Based on the International Nomenclature** (2007, 5<sup>th</sup> edition)
9. Gangopadhyay K, McArthur PD, Larsson SG (1996). **Unusual anterior course of the sigmoid sinus:report of a case & view of the literature.** *Journal of Laryngology and Otology.* 110:984-986
10. Gray Henry, **Gray's Anatomy** (2008 edition)
11. Hacker H. **Superficial supratentorial veins and dural sinuses.** In: Newton TH, Potts DG, editors. *Radiology of skull and brain: angiography*, vol 2/book 3. Saint Louis: CV Mosby;1974. p. 1851–902].
12. Hillen B, Hoogstraten H W, Post C G (1963) **A mathematical model of the flow in the circle of Willis.** *J Biomech* 19:187-194
13. Johannes Lang **Skull Base and Related Structures: Atlas of Clinical Anatomy** (Fig.144a) (2001)
14. Krovetz and Goldbloom, *Johns Hopkins med J* (1972), 130:187
15. Lim CL, Keshava SN, Lea M. (2006) **Anatomical variations of the internal jugular veins & their relationship to the carotid arteries: A CT evaluation.** *Australasian Radiology* 50:314-318
16. LIU Liang, LIU Zhi-xiong, LIU Yun-sheng, LIU Jing-fang, ZENG Yu, ZENG Zhi-cheng, WANG Miao, WANG Hao ZENG Chang-ming, JIANG Xing-jun, CHEN Xin, YANG Shu-guang (2011) **Applied anatomy for pituitary adenoma resection.** 15:2269-2274
17. Manopoulos C. & Tsangaris S. (2010) **Subclavian Steal Syndrome- A Computer Model Approach.** XII Mediterranean Conference on Medical & Biological Engineering

18. Miller DL, Doppman JL. Diagnostic Radiology Department, Warren Grant Magnuson Clinical Center. (1991) **Petrosal sinus sampling: Technique and Rationale** J. Radiology 178:37-47
19. Mokhtar Zagzoule· Jean-Pierre Marc-Vergnes\_(1986) **A global mathematical model of cerebral circulation in man.** J. of Biomechanics 2:1015–1022
20. Netter H. Frank, **Atlas of Human Anatomy** (2<sup>nd</sup> edition)
21. Rodkiewicz C M, Centrowski J, Zajac S (1992) **On the subclavian steal syndrome. In vitro studies.** J Biomech Eng 114:527-532
22. Rodkiewicz C M, Centrowski J, Zajac S (1993) **On the subclavian-carotid transportation for the subclavian steal syndrome. In vitro studies.** J Biomech Eng 115:205-206
23. Schöning Martin, Hartig Bernd: **Age Dependence of Total Cerebral Blood Flow Volume from Childhood to Adulthood** J. of Cerebral Blood Flow & Metabolism (1996) 16, 827–833
24. Saxena R.C, M.S , M. A. Q. Beg, M.S., and A. C. Das, M.S. (Anat.), M.D. (1974) **The straight sinus.** Journal of Neurosurgery Vol.41, No.6:724-727
25. Stolz E, Babacan S.S, Bodeker R-H, Gerriets T, Kaps M (2001). **Interobserver and Intraobserver Reliability of Venous Ttranscranial Color-Coded Flow Velocity Measurements.** J. Neuroimaging 11:385-392
26. Stolz E, Babacan S.S, Bodeker R-H, Dorndorf W, Kaps M (1999). **Transcranial Color-Coded Duplex Sonography of Intracranial Veins and Sinuses in Adults: Reference Data from 130 Volunteers.** Stroke, 30:1070-1075
27. Valduelza Jose Manuel, Schreiber Stephan, Roehl Jens-Eric, Klingbiel Randolph: **Neurosonology and Neuroimaging of stroke.** Thieme; 2008
28. Valduelza Jose Manuel MD, Thomas von Munster, Hoffman Olaf MD, Schreiber Stephan MD, Einhaupl Kart Max MD (2000). **Postural dependency of the cerebral venous outflow.** Lancet.Jan 15;355(9199):200-1
29. Vignes JR, Dagain A, Guérin J, Liguoro D. (2007) **A hypothesis of cerebral venous system regulation based on a study of the junction between the cortical bridging veins and the superior sagittal sinus.** J. Neurosurg 107:1205-1210
30. Wolpert S.M, P. F. J. New and P. J. Barrett (1974) **The internal cerebral vein: normal and pathological variations in position and configuration.** Neuroradiology 7:65-73
31. Μάνος Θ., «Μελέτη του τοπικού αιμοδυναμικού παράγοντα στις αρτηριοφλεβικές αναστομώσεις», Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., 2010
32. Γιαννάκογλου Κ.Χ, Αναγνωστόπουλος Ι., Μπεργελές Γ., **Αριθμητική Ανάλυση για Μηχανικούς** (Αθήνα 2003)
33. Τσαγγάρης Σωκράτης, **Βιορευστομηχανική και Βιοϊατρική Τεχνολογία** (Αθήνα 2004)
34. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
35. [www.wheelsonline.com/ortho/subclavian\\_vein\\_approach](http://www.wheelsonline.com/ortho/subclavian_vein_approach) (original text by Clifford R. Wheelless)
36. <http://www.anatomyatlases.org/AnatomicVariants/Cardiovascular/Text/Arteries/CircleofWillis.shtml>

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΕΣ

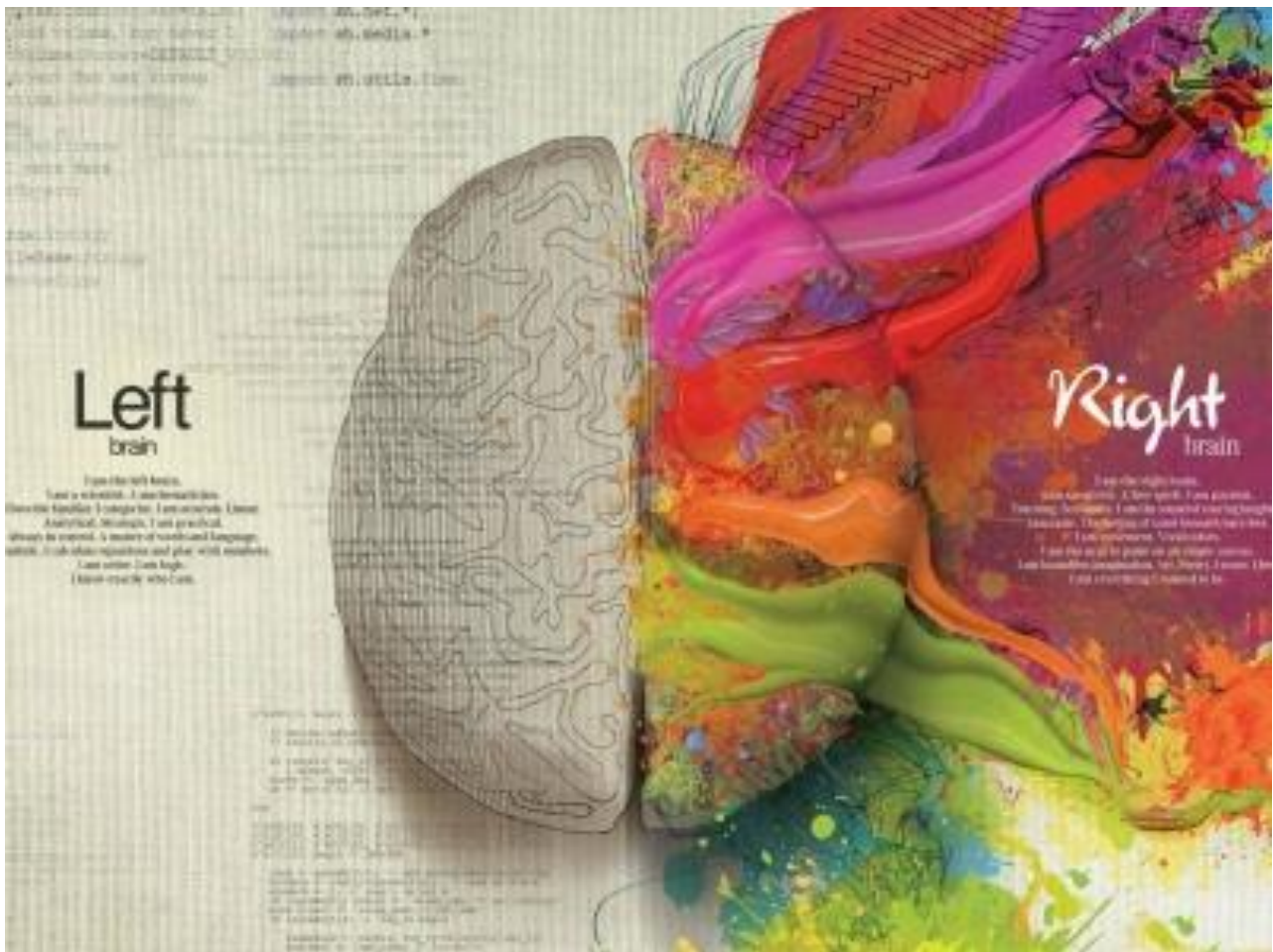
37. Liu L, Liu ZX, Liu YS, Liu JF, Zeng Y, Zeng ZC, Wang M, Wang H, Zeng CM, Jiang XJ, Chen X, Yang SG. **Applied anatomy for pituitary adenoma resection**. Chin Med J (Engl). 2011 Aug;124(15):2269-74
38. Neil M. Borden, **3D Angiographic Atlas of Neurovascular Anatomy and Pathology** (2006)
39. <http://neuroangio.org/venous-brain-anatomy/venous-sinuses/>

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- 1.1: <http://www.healblog.net/new-insights-in-understanding-brain-function>
- 1.2: <http://medicmagic.net/how-many-brain-cells-die-each-day.html>
- 1.3: [http://www.brainwave-entrainment.com/Brainwave\\_Entrainment\\_Technology - Psychoacoustics\\_Vibrational\\_Sound\\_Therapy.htm](http://www.brainwave-entrainment.com/Brainwave_Entrainment_Technology_Psychoacoustics_Vibrational_Sound_Therapy.htm)
- 1.4: <http://www.dentalarticles.com/visual/d/brain-side-view.php>
- 1.5: <http://sedaliamamas.com/methaffectsthebrain.htm>
- 1.6: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray726.png>
- 1.7: <http://www.edoctoronline.com/medical-atlas.asp?c=4&id>
- 1.8: <http://clinicalchemistry22-c.blogspot.com/2011/06/anterior-pituitary-gland.html>
- 2.1: <http://footage.shutterstock.com/clip-79021-stock-footage-ntsc-brain-arteries-and-veins-rotation-loop.html>
- 2.2: <http://0.tqn.com/d/biology/1/0/k/1/capillary.gif>
- 2.3: [http://en.wikipedia.org/wiki/Aortic\\_arch](http://en.wikipedia.org/wiki/Aortic_arch)
- 2.4: <http://www.bartleby.com/107/Images/large/image520.gif>
- 2.5: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray513.png> (edited)
- 2.6: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray513.png> (edited)
- 2.7: <http://www.benbest.com/cryonics/protocol.html>
- 2.8: <http://www.vascularultrasound.net/vascular-anatomy/arteries/circle-of-willis>
- 2.9: <http://radiographics.rsna.org/content/29/4/1027/F21.expansion>
- 2.10: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Gray1174.png>
- 2.11: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Gray563.png>

- 2.12:** <http://www.bartleby.com/107/illus558.html>
- 2.13:** <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Gray557.png>
- 2.14:** <http://www.flickr.com/photos/rswatski/5913029720/>
- 2.15:** <http://www.flickr.com/photos/rswatski/5912469757/in/photostream/>
- 2.16:** <http://www.flickr.com/photos/rswatski/5913030892/in/photostream/>
- 2.17:** Duus Topical Diagnosis in Neurology: 4th edition, Stuttgart ;238
- 2.18:** <http://www.netterimages.com/image/4769.htm>
- 2.19:** <http://stroke.ahajournals.org/content/26/7/1196.long>
- 2.20:** <http://radiopaedia.org/articles/basal-vein-of-roenthal>
- 3.1:** [http://www.cnsforum.com/content/pictures/imagebank/hirespng/brain\\_struc\\_stroke.png](http://www.cnsforum.com/content/pictures/imagebank/hirespng/brain_struc_stroke.png)
- 3.2:** [http://mechanical-design-handbook.blogspot.com/2011/02/solving-system-of-equations-using-gauss\\_19.html](http://mechanical-design-handbook.blogspot.com/2011/02/solving-system-of-equations-using-gauss_19.html)
- 3.3:** [http://www.pycnogenall.com/?page\\_id=487](http://www.pycnogenall.com/?page_id=487)
- 4.1:** <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray562.png> (edited)
- 4.2:** <http://www.cybermedicine2000.com/pharmacology2000/Autonomics/Adrenergics1/Adrenergic-1.htm>]
- 4.3:** [http://bioserv.fiu.edu/~walterm/B/blood\\_cardio/cardiosys.htm](http://bioserv.fiu.edu/~walterm/B/blood_cardio/cardiosys.htm)





“I am the left brain. I am a scientist. A mathematician. I love the familiar. I categorize. I am accurate. Linear. Analytical. Strategic. I am practical. Always in control. A master of words and language. Realistic. I calculate equations and play with numbers. I am order. I am logic. I know exactly who I am.”

“I am the right brain. I am creativity. A free spirit. I am passion. Yearning. Sensuality. I am the sound of roaring laughter. I am taste. The feeling of sand beneath bare feet. I am movement. Vivid colors. I am the urge to paint on an empty canvas. I am boundless imagination. Art. Poetry. I sense. I feel. I am everything I wanted to be.”