



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Προσομοίωση και Πειραματική διερεύνηση Θρομβολυτικού
Ισχαιμικού Καθετήρα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Θ. ΣΙΔΕΡΗΣ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Χριστοφόρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Προσομοίωση και Πειραματική διερεύνηση Θρομβολυτικού
Ισχαιμικού Καθετήρα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Θ. ΣΙΔΕΡΗΣ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Χριστοφόρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 6^η Ιουλίου, 2018

.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

.....
Βασίλειος Θ. Σίδερης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασίλειος Θ. Σίδερης, 2018.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. **All rights reserved.**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Το εγκεφαλικό επεισόδιο αποτελεί την δεύτερη αιτία θανάτου παγκοσμίως, απαριθμώντας 6 εκατομμύρια θανάτους ετησίως. Η πιο συνήθης μορφή που απαντάται είναι το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο, αποτελώντας το 87% του συνόλου των εγκεφαλικών επεισοδίων, το οποίο χαρακτηρίζει η απότομη απώλεια της κυκλοφορίας του αίματος σε μια περιοχή του εγκεφάλου, που προκαλείται από θρομβωτική / εμβολική απόφραξη μιας εγκεφαλικής αρτηρίας. Σήμερα, η ενδοφλέβια χορήγηση Θρομβολυτικού φαρμάκου (rt-PA) είναι η μόνη αποδεδειγμένη θεραπεία που έχει λειτουργικό αποτέλεσμα, με την προϋπόθεση να χορηγηθεί εντός 4.5 ωρών από την έναρξη των συμπτωμάτων. Παράλληλα, είναι αμφιλεγόμενη η λειτουργικότητά των συσκευών μηχανικής θρομβεκτομής – καθετήρες που εισάγονται μέσα στην αρτηρία και «πιέζουν» τον θρόμβο – εξαιτίας του κινδύνου τραυματισμού της γύρω εγκεφαλικής περιοχής, με συνέπεια την αιμορραγία αυτής, καθώς και της ανικανότητας αναρρόφησης μικρών κομματιών θρόμβου.

Είναι ευρέως γνωστό ότι η κατάλληλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να διασπάσει μια πρωτεϊνική αλυσίδα, και κατά συνέπεια το πρωτεϊνικό κέλυφος του θρόμβου, καθιστώντας τον πιο μαλακό. Ο συνδυασμός αυτού του αλλοιωμένου θρόμβου με τις ήδη υπάρχουσες θεραπείες, συνεπάγεται πιο ασφαλή και πιο γρήγορη θεραπεία. Για το λόγο αυτό προέκυψε η ανάγκη σχεδίασης ενός καθετήρα, ο οποίος θα ακτινοβολεί στοχευμένα στο θρόμβο ενέργεια κατάλληλη για την επίτευξη της επιθυμητής «μαλάκωσης» του θρόμβου.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, σχεδιάστηκαν και προσομοιώθηκαν πέντε Κεραίες-καθετήρες, (δηλαδή πέντε διαφορετικοί τύποι κεραιών προστέθηκαν στην άκρη του καθετήρα) με στόχο τη θεραπεία του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου. Τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού πεδίου, του ρυθμού ειδικής απορρόφησης (SAR) και της θερμοκρασίας, που δημιουργούν οι πέντε Κεραίες-καθετήρες τόσο στη περιοχή του θρόμβου, όσο και στα τοιχώματα της αρτηρίας και τον εγκεφαλικό ιστό, παρουσιάζονται και συγκρίνονται μεταξύ τους. Η επιλογή των βέλτιστων κεραιών έγινε με κριτήρια την υψηλή ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και τον δείκτη SAR που εξασφαλίζει μικρή αύξηση της θερμοκρασίας στη πάσχουσα περιοχή, ώστε να εγγυάται την ασφάλεια του ασθενούς. Τέλος, διεξήχθη πειραματική μελέτη θερμοκρασίας για επαλήθευση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων.

Λέξεις Κλειδιά: Ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο, θρόμβος, ενδοφλέβιο Θρομβολυτικό φάρμακο (rt-PA), συσκευές μηχανικής θρομβεκτομής, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μαλάκωση, Κεραία-καθετήρας, ηλεκτρικό πεδίο, ρυθμός ειδικής απορρόφησης (δείκτης SAR), θερμοκρασία.

Abstract

Stroke is the second leading cause of death worldwide, accounting for over 6 million deaths annually. The most common form is ischemic stroke, accounting for 87% of all strokes, and is characterized by a sudden loss of blood circulation in a region of the brain caused by thrombotic / embolic occlusion of a cerebral artery. Nowadays, intravenous administration of Thrombolytic drug (rt-PA) is the only valid remedy that has a functional effect, provided it is given within 4.5 hours of manifested symptoms. At the same time, the functionality of mechanical thrombectomy devices - catheters inserted into the artery and "pulling" the thrombus - is controversial, due to the risk of injury to the surrounding brain area, resulting in bleeding and the inability to suck up small clot fragments.

It is well known that appropriate electromagnetic radiation can break a protein chain, and therefore the thrombus shell and make it softer. Combining a soft clot with previously existing treatments, results a safer and faster treatment. For this reason, the need has been arisen to design a catheter that will radiate the appropriate clot-targeted energy, thus achieving the desirable softening on the thrombus.

In the present diploma thesis, five Antenna-catheters added to the tip of the catheter were designed and simulated to cure the ischemic stroke. The effects of the electric field, the specific absorption rate (SAR), and the temperature generated by the five Antenna-catheters both in the thrombus region, as well as in the artery walls and brain tissue, are presented and compared to each other. The extraction of the optimal design antennas was done according to the highest electrical field and SAR which certifies a small temperature increase and assures patient safety. Finally, an experimental temperature study was conducted to verify the simulation results.

Key words: Ischemic stroke, thrombus, intravenous Thrombolytic drug (rt-PA), mechanical thrombectomy devices, electromagnetic radiation, softening, Antenna-catheter, electric field, specific absorption rate (SAR)

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Επιβλέποντα Καθηγητή Ε. Χριστοφόρου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσης Διπλωματικής εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του. Εν συνεχεία, εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου στην υποψήφια Διδάκτορα Μ. Ρεβύθη για την επίμονη και διαρκή ενασχόλησή της, επιβλέποντας και επικουρώντας την εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ Α. Ferraro για τη συνεργασία του στο βιολογικό και ιατρικό κομμάτι της εργασίας μου και τον Επίκουρο Καθηγητή Π. Τσαραμπάρη για την πολύτιμη συνεισφορά του στην διεξαγωγή του πειραματικού μέρους. Ευγνώμων είμαι επίσης στον Καθηγητή Ν. Ουζούνογλου για την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του, καθώς επίσης τον Νευροακτινολόγο Δρ. Ν. Τσαμόπουλο για την όλη ιδέα της διπλωματικής μου εργασίας και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλα τα άτομα που απαρτίζουν την ομάδα του Εργαστηρίου, για την φιλικότητα και την προθυμία τους να βοηθήσουν. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένεια και τον Νονό μου, για την αγάπη και την υποστήριξη, που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή	20
1.1 Εισαγωγή στο Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο.....	21
1.2 Παράγοντες κινδύνου	23
1.2.1 Ελεγχόμενοι Παράγοντες	23
1.2.2 Μη-Ελεγχόμενοι Παράγοντες	24
1.3 Διάγνωση.....	25
1.4 Υπάρχουσες θεραπείες	28
1.4.1 Θεραπείες για το Αιμορραγικό Εγκεφαλικό Επεισόδιο	29
1.4.2 Θεραπείες για το Ισχαιμικό Εγκεφαλικό Επεισόδιο	30
1.5 Σκοπός παρούσας Διπλωματικής εργασίας	34
Κεφάλαιο 2^ο : Θεωρητικό μέρος και Μοντελοποίηση	36
2.1 Γενική ιδέα	37
2.2 Βιολογικές ιδιότητες Εγκεφαλικών ιστών	40
2.2.1 Ηλεκτρικές και Θερμικές ιδιότητες Εγκεφαλικών ιστών	40
2.2.2 Βιοσυμβατότητα	41
2.2.3 Ασφάλεια ασθενούς	42
2.3 Θεωρία Κεραιών	44
2.4 Το περιβάλλον Comsol Multiphysics®.....	50
2.5 Σχεδίαση Κεραίας-καθετήρα και γύρω ιστών	51
2.6 Τελικά μοντέλα.....	58
Κεφάλαιο 3^ο : Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	63
3.1 Σημαντικές παράμετροι.....	64
3.2 Εύρεση της βέλτιστης Συχνότητας	64
3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου	68
3.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης	85
3.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Θερμοκρασίας	90
Κεφάλαιο 4^ο : Μετρήσεις Υπέρουθρης Ακτινοβολίας	96
4.1 Σκοπός Πειράματος και Πειραματική διάταξη	97
4.2 Μοντελοποίηση της Πειραματικής διάταξης	98
4.3 Αποτελέσματα Πειραμάτων και Προσομοιώσεων	100
4.3.1 Αποτελέσματα 1 ^{ου} Πειράματος και Προσομοίωσης	101
4.3.2 Αποτελέσματα 2 ^{ου} Πειράματος και Προσομοίωσης	105
Κεφάλαιο 5^ο : Σύγκριση των αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα	109
5.1 Συμπεράσματα	110
5.1.1 Σύγκριση Ηλεκτρικού πεδίου και Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης	110
5.1.2 Σύγκριση Θερμοκρασίας	111
5.2 Βελτίωση των Καθετήρων με την Κωνική Χοανοκεραία και τη Γραμμική Κεραία	112

5.3 Συμπεράσματα Μετρήσεων με την Κάμερα Υπερύθρων	114
5.4 Επίλογος και Μελλοντικοί Στόχοι	116
Παράρτημα	118
Λεξικό Ιατρικών όρων	130
Βιβλιογραφία	132
Διαδικτυακές Ιστοσελίδες	135
Συνέδρια-Ομιλίες	135

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1.1-1:** F.A.S.T. Αρκτικόλεξο που δημιουργήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1998. Χρησιμοποιείται ως μνημονικό για να βοηθήσει στην ανίχνευση και την ενίσχυση της απόκρισης στις ανάγκες του ασθενή.21
- Εικόνα 1.1-2:** Αναπαράσταση ισχαιμικού και αιμορραγικού αγγειακού εγκεφαλικού αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Στο ισχαιμικό εγκεφαλικό απεικονίζεται η αθηροσκληρωτική πλάκα και ο θρόμβος που φράσσει την αρτηρία. Στο αιμορραγικό εγκεφαλικό απεικονίζεται η σπη του παθολογικού αγγείου και η διαρροή του αίματος.22
- Εικόνα 1.3-1:** Μια βελόνα τοποθετείται στον υποααραχνοειδή χώρο στο επίπεδο του 3^{ου} και 4^{ου} οσφυϊκού σπονδύλου (Ο3-Ο4) για τη συλλογή δείγματος εγκεφαλονωτιαίου υγρού.26
- Εικόνα 1.3-2:** Αξονική αγγειογραφία (CT angiogram) των αιμοφόρων αγγείων του εγκεφάλου.27
- Εικόνα 1.3-3:** Αγγειογραφία πλευρικής όψης εγκεφάλου. Το σκιαγραφικό αντίθεσης καθιστά τις αρτηρίες ορατές στην ακτινογραφία του κρανίου.27
- Εικόνα 1.3-4:** Αριστερά – Μαγνητική τομογραφία πλάγιας όψης εγκεφάλου. Δεξιά – Μαγνητική τομογραφία με τη χρήση σκιαγραφικού άνω όψης εγκεφάλου, για την παρακολούθηση των εγκεφαλικών αρτηριών.28
- Εικόνα 1.4-1:** Αριστερά Πάνω – Αναπαράσταση Σπειροειδούς Ανιχνευτή (Coil retriever), Αριστερά Μέση – Αναπαράσταση συσκευής αναρρόφησης (Aspiration device), Αριστερά Κάτω – Αναπαράσταση Ενδροπρόσθετου Ανιχνευτή (Stent retriever). Δεξιά – Παρουσιάζεται η διαδρομή που ακολουθεί ο καθετήρας από την μηριαία αρτηρία έως τον εγκέφαλο στην περιοχή του θρόμβου32
- Εικόνα 1.4-2:** Κατά τη διάρκεια της αγγειοπλαστικής, ένας καθετήρας με μπαλόνι τοποθετείται μέσα στη στενευμένη αρτηρία. Το μπαλόνι διογκώνεται συμπιέζοντας την πλάκα και ανοίγοντας την αρτηρία. Αφού απομακρυνθεί το μπαλόνι, τοποθετείται πάνω από την πλάκα ένας αυτό-επεκτεινόμενος σωλήνας τύπου πλέγματος (stent), για να κρατήσει ανοιχτή την αρτηρία. Το stent παραμένει μόνιμα στην αρτηρία.33
- Εικόνα 2.1-1:** Πάνω – Αναπαράσταση τραυματισμένου αιμοφόρου αγγείου. Κάτω – Σχηματισμός θρόμβου για το κλείσιμο της πληγής.37
- Εικόνα 2.1-2:** Σταδιακή μετουσίωση της αλβουμίνης (κύρια πρωτεΐνη στο ασπράδι του αυγού). Στο τελικό στάδιο C, cross-linking, οι δεσμοί που έχουν δημιουργηθεί είναι πολύ ισχυροί και η κατάσταση θεωρείται μη αναστρέψιμη.38

Εικόνα 2.1-3: Η φυσική και η μετουσιωμένη δομή μιας πρωτεΐνης είναι καταστάσεις αμφίδρομες με κατάλληλες συνθήκες.	38
Εικόνα 2.3-1: Οι παράμετροι S σε δίθυρο.	45
Εικόνα 2.3-2: Διατομή ομοαξονικού καλωδίου.	46
Εικόνα 2.3-3: Αριστερά – Σχηματική αναπαράσταση μιας ομοαξονικής γραμμής μεταφοράς, η οποία παρουσιάζει χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 . Δεξιά – Το ισοδύναμο σχηματικό της ομοαξονικής γραμμής σε ωμικό, χωρητικό και επαγωγικό φορτίο.	46
Εικόνα 2.3-4: Αν εφαρμοσθεί τάση σε δύο αγώγιμες γραμμές, ανάμεσά τους, θα δημιουργηθεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Στο σχήμα φαίνονται οι φορές του ρεύματος, του ηλεκτρικού πεδίου, της χωρικής και επιφανειακής πυκνότητας ρεύματος, σε δοσμένη πολικότητα της τάσης.	47
Εικόνα 2.3-5: Περιοχές ακτινοβολίας κεραιών.	48
Εικόνα 2.4-1: Το περιβάλλον Comsol Multiphysics. Στο σχήμα παρουσιάζονται τα δύο physics και studies που χρησιμοποιήθηκαν.	51
Εικόνα 2.5-1: Κάτω άκρη (μύτη) του καθετήρα. Από αυτό το σημείο εκπέμπεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.	52
Εικόνα 2.5-2: Διατομή του καθετήρα με τα εσωτερικά του στοιχεία (εσωτερικός και εξωτερικός αγωγός, διηλεκτρικό, περίβλημα PTFE).	53
Εικόνα 2.5-3: Μικρός κυκλικός βρόχος (Small Circular Loop).	54
Εικόνα 2.5-4: Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές (Small Circular Loop with spikes).	54
Εικόνα 2.5-5: Δυο κεραίες μικρού κυκλικού βρόχου τεμνόμενες διαμετρικά υπό γωνία 30 μοιρών (Double Small Circular Loop antennas with 30 degree angle).	55
Εικόνα 2.5-6: Κωνική χοανοκεραία (Conical Horn Antenna).	55
Εικόνα 2.5-7: Γραμμική κεραία (Linear Antenna).	56
Εικόνα 2.5-8: 3D Μοντέλο Εγκεφάλου.	57
Εικόνα 2.5-9: 3D Μοντέλο αρτηρίας.	57
Εικόνα 2.5-10: 3D Μοντέλο θρόμβου.	58

Εικόνα 2.6-1: Τελικό 3D μοντέλο που αναπαριστά τον εγκέφαλο, την αρτηρία, τον θρόμβο, και τον καθετήρα.	59
Εικόνα 2.6-2: 3D μοντέλο του μικρού κυκλικού βρόχου, που είναι προσδεμένος στον εσωτερικό αγωγό.	59
Εικόνα 2.6-3: 3D μοντέλο του μικρού κυκλικού βρόχου με αιχμές, που είναι προσδεμένος στον εσωτερικό αγωγό.	60
Εικόνα 2.6-4: 3D μοντέλο της διπλής κεραίας μικρού κυκλικού βρόχου υπό γωνία 30 μοιρών, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.	60
Εικόνα 2.6-5: 3D μοντέλο της κωνικής χοανοκεραίας, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.	61
Εικόνα 2.6-6: 3D μοντέλο της γραμμικής κεραίας, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.	61
Εικόνα 2.6-7: Η τροφοδοτούμενη άκρη της Κεραίας-καθετήρα.	62
Εικόνα 3.2.1: Γραφική παράσταση του ηλεκτρικού πεδίου στη μύτη του καθετήρα συναρτήσει της συχνότητας, για τους καθετήρες με: την κωνική χοανοκεραία, τη γραμμική κεραία και το μικρό κυκλικό βρόχο, όταν τροφοδοτούνται με ισχύ εισόδου 10W.	65
Εικόνα 3.2-2: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τον μικρό κυκλικό βρόχο.	66
Εικόνα 3.2-3: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τον μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές.	66
Εικόνα 3.2-4: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους υπό γωνία 30 μοιρών.	67
Εικόνα 3.2-5: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία.	67
Εικόνα 3.2-6: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τη γραμμική κεραία.	67
Εικόνα 3.3-1: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.	69

Εικόνα 3.3-2: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	70
Εικόνα 3.3-3: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	71
Εικόνα 3.3-4: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	72
Εικόνα 3.3-5: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	72
Εικόνα 3.3-6: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.	73
Εικόνα 3.3-7: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	74
Εικόνα 3.3-8: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	75
Εικόνα 3.3-9: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	76
Εικόνα 3.3-10: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	76
Εικόνα 3.3-11: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.	77
Εικόνα 3.3-12: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	78

Εικόνα 3.3-13: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	79
Εικόνα 3.3-14: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	80
Εικόνα 3.3-15: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	80
Εικόνα 3.3-16: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1.25mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.	81
Εικόνα 3.3-17: Το οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	82
Εικόνα 3.3-18: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη κωνική χοανοκεραία, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	83
Εικόνα 3.3-19: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη κωνική χοανοκεραία, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	83
Εικόνα 3.3-20: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1.25mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.	84
Εικόνα 3.3-21: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	85
Εικόνα 3.3-22: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	85
Εικόνα 3.4-1: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	86
Εικόνα 3.4-2: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	86

Εικόνα 3.4-3: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	87
Εικόνα 3.4-4: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	87
Εικόνα 3.4-5: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τους δυο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, συναρτήσσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	88
Εικόνα 3.4-6: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τους δυο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, συναρτήσσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	88
Εικόνα 3.4-7: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη κωνική χοανοκεραία, συναρτήσσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	89
Εικόνα 3.4-8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη κωνική χοανοκεραία, συναρτήσσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	89
Εικόνα 3.4-9: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	90
Εικόνα 3.4-10: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.	90
Εικόνα 3.5-1: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.	91
Εικόνα 3.5-2: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσσει του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο.	91
Εικόνα 3.5-3: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.	92
Εικόνα 3.5-4: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου	

(με κόκκινο χρώμα), συναρτήσει του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές.92

Εικόνα 3.5-5: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.93

Εικόνα 3.5-6: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσει του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών.93

Εικόνα 3.5-7: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με την κωνική χοανοκεραία, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.94

Εικόνα 3.5-8: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσει του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία.94

Εικόνα 3.5-9: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με τη γραμμική κεραία και 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.95

Εικόνα 3.5-10: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσει του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με τη γραμμική κεραία.95

Εικόνα 4.1-1: Φωτογραφία της πειραματικής διάταξης με το μικρό δείγμα από ασπράδι.97

Εικόνα 4.2-1: 3D μοντέλο που αναπαριστά το εσωτερικό του φούρνου μικροκυμάτων, την κεραία με τον κυματοδηγό και ένα ολόκληρο αυγό, ως ακτινοβολούμενο δείγμα.99

Εικόνα 4.2-2: 3D μοντέλο που αναπαριστά το εσωτερικό του φούρνου μικροκυμάτων, την κεραία με τον κυματοδηγό και ένα μικρό κομμάτι από το ασπράδι του αυγού, ως ακτινοβολούμενο δείγμα.100

Εικόνα 4.3.1-1: 6 στιγμιότυπα της σταδιακής θέρμανσης με το φούρνο μικροκυμάτων του ολόκληρου αυγού. Η τελευταία εικόνα απεικονίζει τη θερμοκρασία μετά από 15s ακτινοβολήσης.101

Εικόνα 4.3.1-2: 6 στιγμιότυπα που απεικονίζουν την ψύξη του ολόκληρου αυγού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 °C, μέσα σε χρόνο 5s.102

Εικόνα 4.3.1-3: Αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του ολόκληρου αυγού, όταν ακτινοβολείται για χρόνο α) 0s (δεν έχει αρχίσει η ακτινοβόληση) β) 10s γ) 15s.	103
Εικόνα 4.3.1-4: Η κατανομή του δείκτη SAR στο ολόκληρο αυγό, όταν ακτινοβολείται από τον φούρνο μικροκυμάτων συχνότητας 2.45 GHz και ισχύος 800 W.	104
Εικόνα 4.3.2-1: 4 στιγμιότυπα της σταδιακής θέρμανσης με το φούρνο μικροκυμάτων του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού. Η τελευταία εικόνα απεικονίζει τη θερμοκρασία μετά από 15s ακτινοβόλησης.	105
Εικόνα 4.3.2-2: 6 στιγμιότυπα που απεικονίζουν την ψύξη του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 °C, μέσα σε χρόνο 5s.	106
Εικόνα 4.3.2-3: Αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού, όταν ακτινοβολείται για χρόνο α) 0s (δεν έχει αρχίσει η ακτινοβόληση) β) 10s γ) 15s.	107
Εικόνα 4.3.2-4: Η κατανομή του δείκτη SAR στο μικρό κομμάτι από το ασπράδι του αυγού, όταν ακτινοβολείται από τον φούρνο μικροκυμάτων συχνότητας 2.45 GHz και ισχύος 800 W.	108
Εικόνα 5.3-1: Διάγραμμα συσχέτισης της Θερμοκρασίας με το Δείκτη SAR. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίστανται τις μετρήσεις για το μικρό κομμάτι από το ασπράδι ενώ με μπλε το ολόκληρο αυγό.	115

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 2.2.1-1:** Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες εγκεφάλου σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.40
- Πίνακας 2.2.1-2:** Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες πηγμένου αίματος (θρόμβου) σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.41
- Πίνακας 2.2.1-3:** Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες αίματος (ερυθρών αιμοσφαιρίων) σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.41
- Πίνακας 2.5-1:** Διαστάσεις και αποστάσεις μεταξύ των υλικών του καθετήρα.52
- Πίνακας 3.2-1:** Πίνακας του ηλεκτρικού πεδίου συναρτήσει της συχνότητας, από 1 έως 4 GHz με βήμα 0.5 GHz, στη μύτη του καθετήρα με Κεραίες την κωνική χοανοκεραία, τη γραμμική κεραία και το μικρό κυκλικό βρόχο, με 10 W ισχύ εισόδου σε όλες τις περιπτώσεις.65
- Πίνακας 4.2-1:** Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες ολόκληρου αυγού (μαζί με κρόκο) σε συχνότητα 2.45 GHz και θερμοκρασία 25°C.98
- Πίνακας 4.2-2:** Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες για το ασπράδι του αυγού σε συχνότητα 2.45 GHz και θερμοκρασία 25°C.98
- Πίνακας 5.1.1-1:** Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.110
- Πίνακας 5.1.1-2:** Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής του ρυθμού ειδικής απορρόφησης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.111
- Πίνακας 5.1.2-1:** Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας, για 60s ακτινοβολήσης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.111
- Πίνακας 5.2-1:** Πίνακας της μέγιστης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.112
- Πίνακας 5.2-2:** Πίνακας της μέγιστης τιμής του ρυθμού ειδικής απορρόφησης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.113

Πίνακας 5.2-3: Πίνακας της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας, για 60s ακτινοβολήσης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και τη γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.113

Πίνακας 5.3-1: Συγκριτικός πίνακας της μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας μεταξύ των πειραμάτων και των αντίστοιχων προσομοιώσεων.114

Πίνακας 5.3-2: Πίνακας αναλογίας της θερμοκρασίας με τον δείκτη SAR σε διάφορα σημεία των δειγμάτων.114

1° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στο Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο

Το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η απότομη, μερική ή ολική, διακοπή της ροής του αίματος σε μια περιοχή του εγκεφάλου. Τα εγκεφαλικά κύτταρα χρειάζονται διαρκή παροχή οξυγόνου και γλυκόζης, που επιτυγχάνεται μέσω του κυκλοφορικού συστήματος, και η μη αιμάτωσή τους προκαλεί θανάτωση αυτών. Καθώς τα εγκεφαλικά κύτταρα, κατά τη διάρκεια του εγκεφαλικού, πεθαίνουν, οι λειτουργίες που ελέγχονται από την προσβεβλημένη περιοχή χάνονται [1]. Οι λειτουργίες αυτές μπορεί να είναι η κίνηση σε ένα μέρος του σώματος, η ομιλία, η όραση, η μνήμη [1]. Κάθε χρόνο δεκαπέντε εκατομμύρια άνθρωποι ετησίως προσβάλλονται από κάποιο εγκεφαλικό επεισόδιο και είναι η αιτία θανάτου για έξι εκατομμύρια ανθρώπους το χρόνο αυτό [1]. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η δεύτερη αιτία θανάτου παγκοσμίως [i]. Καταστρέφοντας 1.9 εκατομμύρια νεύρα και 14 δισεκατομμύρια συνάψεις⁽¹⁾ το λεπτό, η γρήγορη διακομιδή στο νοσοκομείο και αντιμετώπιση, καθίσταται απαραίτητη [2]. Συνεπώς το μέγεθος των επιπτώσεων του εγκεφαλικού εξαρτώνται από τη δριμύτητα της θεραπείας, καθώς και την περιοχή του εγκεφάλου που έχει προσβληθεί [1].



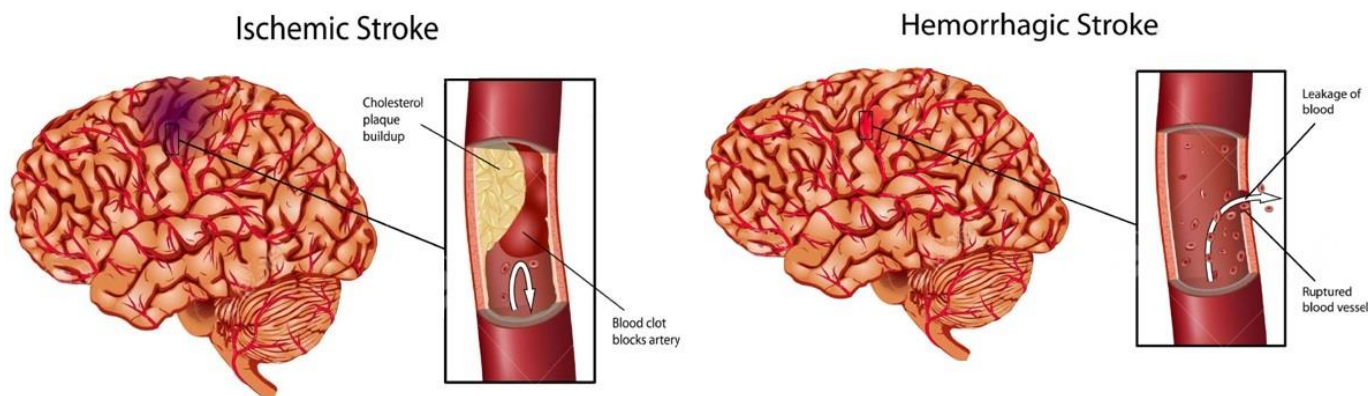
Εικόνα 1.1-1: F.A.S.T. Αρκτικόλεξο που δημιουργήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1998. Χρησιμοποιείται ως μνημονικό για να βοηθήσει στην ανίχνευση και την ενίσχυση της απόκρισης στις ανάγκες του ασθενή [3].

Υπάρχουν δυο κύριοι τύποι αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου, το ισχαιμικό και το αιμορραγικό.

Ισχαιμικό αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο – Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή εγκεφαλικού επεισοδίου και σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες που δημοσιεύτηκαν από την Αμερικανική Ένωση Καρδιολογίας (American Heart Association) 87% των εγκεφαλικών είναι ισχαιμικά [4][ii]. Ισχαιμία προκαλείται από φραγμό μιας εγκεφαλικής αρτηρίας. Ο φραγμός αυτός μπορεί να γίνει εξαιτίας θρόμβου⁽²⁾ (πηγμένο αίμα) ο οποίος δημιουργήθηκε στην καρδιά, συνήθως από κολπική μαρμαρυγή [4], στην αορτή⁽³⁾ ή σε κάποια μεγάλη αρτηρία και κατέληξε σε εγκεφαλική αρτηρία μέσω της ροής του αίματος (εμβολή) [5]. Επιπλέον, απόφραξη μπορεί να προκληθεί από αθηροθρόμβωση σε αρτηρίες που παρέχουν αίμα στον εγκέφαλο [4][5]. Η αθηροθρόμβωση προκαλείται από διαταραχή της αθηροσκληρωτικής πλάκας [6]. Η ρήξη της αθηροσκληρωτικής

πλάκας οδηγεί στην ενεργοποίηση των αιμοπεταλίων και στη δημιουργία θρόμβου [4]. Η αθηροσκλήρωση είναι πάθηση των αρτηριών που δημιουργείται με τον σχηματισμό λιπιδικών πλακών στο εσωτερικό τους, με αποτέλεσμα τη στένωσή τους [4]. Οι συνηθέστερες θέσεις για τον σχηματισμό αθηροσκληρωτικών πλακών είναι οι διακλαδώσεις των κοινών καρωτιδικών αρτηριών, οι σπονδυλικές αρτηρίες, και η μέση εγκεφαλική αρτηρία πριν την τριχοτόμηση της [4].

Αιμορραγικό αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο – Σε αυτό τον τύπο του εγκεφαλικού επεισοδίου η κύρια παθολογία είναι η αιμορραγία μιας εγκεφαλικής περιοχής, προκαλώντας άμεση βλάβη στον εγκεφαλικό ιστό [4]. Αυτά αποτελούν το 10-15% όλων των εγκεφαλικών επεισοδίων και έχουν σημαντικά υψηλότερη νοσηρότητα και θνησιμότητα από τα ισχαιμικά αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια [7]. Οι αιμορραγίες μπορούν να προκληθούν από μια σειρά διαταραχών που επηρεάζουν τα αιμοφόρα αγγεία, συμπεριλαμβανομένης της μακροχρόνιας υψηλής αρτηριακής πίεσης και του εγκεφαλικού ανευρύσματος. Υπάρχουν δύο τύποι αιμορραγικού εγκεφαλικού: υπαραχνοειδές και ενδοεγκεφαλικό. Ένα ανεύρυσμα είναι ένα αδύναμο ή λεπτό σημείο πάνω στο τοίχωμα των αιμοφόρων αγγείων και συνήθως προέρχεται εκ γενετής. Τα ανευρύσματα αναπτύσσονται για αρκετά χρόνια και συνήθως δεν προκαλούν ανιχνεύσιμα προβλήματα μέχρι να σπάσουν. Σε μια υπαραχνοειδή αιμορραγία, ένα ανεύρυσμα ενός μεγάλου εγκεφαλικού αγγείου (συνήθως μιας μεγάλης αρτηρίας) υπόκεινται ρήξη, με αποτέλεσμα την εξαγγείωση αίματος κάτω από την αραχνοειδή μήνιγγα (υπαραχνοειδής χώρος⁽⁴⁾). Σε μια ενδοεγκεφαλική αιμορραγία, προκαλείται απότομη ρήξη ενός εγκεφαλικού αγγείου. Η υπέρταση (υψηλή αρτηριακή πίεση) είναι η κύρια αιτία αυτού του τύπου αιμορραγίας [4].



Εικόνα 1.1-2: Αναπαράσταση ισχαιμικού και αιμορραγικού αγγειακού εγκεφαλικού αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Στο ισχαιμικό εγκεφαλικό απεικονίζεται η αθηροσκληρωτική πλάκα και ο θρόμβος που φράσσει την αρτηρία. Στο αιμορραγικό εγκεφαλικό απεικονίζεται η οπή του παθολογικού αγγείου και η διαρροή του αίματος [iii].

1.2 Παράγοντες κινδύνου

Οι παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο για εγκεφαλικό επεισόδιο χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τους ελεγχόμενους και τους μη-ελεγχόμενους [1]. Οι ελεγχόμενοι παράγοντες κινδύνου χωρίζονται σε αυτούς που οφείλονται από τον τρόπο ζωής και σε αυτούς που οφείλονται από κάποιο παθολογικό παράγοντα-ασθένεια [1][5].

1.2.1 Ελεγχόμενοι Παράγοντες

Παρακάτω παρουσιάζονται παθολογικοί παράγοντες-ασθένειες που μπορούν με κατάλληλη αγωγή – πρόληψη να αποτρέψουν την εμφάνιση εγκεφαλικού επεισοδίου.

Υψηλή αρτηριακή πίεση (υπέρταση) – Αποτελεί έναν μείζον παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση εγκεφαλικού επεισοδίου [1][8]. Η υψηλή αρτηριακή πίεση του αίματος κάνει την καρδιά να δίνει πιο έντονους παλμούς, αποδυναμώνοντας τα αιμοφόρα αγγεία και προκαλώντας βλάβες σε κύρια όργανα όπως ο εγκέφαλος [1][5]. Η υπέρταση είναι ο πιο τεκμηριωμένος και θεραπεύσιμος παράγοντας κινδύνου για εγκεφαλικό [5].

Κολπική Μαρμαρυγή – Προκαλείται όταν οι δυο άνω κοιλίες της καρδιάς πάλλονται γρήγορα, ασυγχρόνιστα, με τις δυο κάτω κοιλίες, και απρόβλεπτα, δημιουργώντας καρδιακή αρρυθμία [1]. Η κολπική μαρμαρυγή αυξάνει τον κίνδυνο εγκεφαλικού εξαιτίας της συσσώρευσης του αίματος στην καρδιά, με συνέπεια την δημιουργία θρόμβου και κατ' επέκταση καρδιακή ανεπάρκεια [1]. Αντιπηκτική αγωγή με βαρφαρίνη⁽⁵⁾ έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης εγκεφαλικού επεισοδίου σε ασθενής με κολπική μαρμαρυγή [8].

Υψηλή Χοληστερόλη (υπερχοληστερολαιμία) – Η χοληστερόλη είναι μια λιπαρή ουσία που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα για την κατασκευή των κυτταρικών μεμβρανών, αλλά βρίσκεται και στα λιπαρά τρόφιμα [1]. Τα υψηλά επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα μπορούν να φράξουν τις αρτηρίες και να προκαλέσουν εγκεφαλικό ή καρδιακό επεισόδιο [1]. Θεραπεία με στατίνες⁽⁶⁾ έχει δείξει θετικά αποτελέσματα για την αποφυγή εγκεφαλικού επεισοδίου στα άτομα με υψηλή χοληστερόλη [5][8].

Διαβήτης – Προκαλείται όταν το πάγκρεας δεν παράγει αρκετή ινσουλίνη ή όταν τα κύτταρα δεν την απορροφούν [1]. Ο διαβήτης προκαλεί διάφορες αγγειακές αλλαγές που συχνά κορυφώνονται σε μείζονες κλινικές επιπλοκές, μια εκ των οποίων είναι εγκεφαλικό επεισόδιο [9]. Για την αποφυγή εγκεφαλικού επεισοδίου σε άτομα με διαβήτη χρειάζεται αυστηρός έλεγχος της πίεσης του αίματος και των λιπιδίων [8][9].

Αθηροσκλήρωση – Είναι η προοδευτική συσσώρευση λιπιδικής πλάκας στα τοιχώματα μιας αρτηρίας [1]. Η αθηροσκλήρωση μπορεί να προκαλέσει αρτηριακή στένωση, αλλά και σχηματισμό θρόμβου με την ρήξη της πλάκας (αθηροθρόμβωση) [5][6][8]. Φάρμακα όπως η ασπιρίνη μπορούν να δοθούν σε ασθενείς που πάσχουν από

αθηροσκλήρωση για να σταθεροποιήσουν την πλάκα και την αποφυγή δημιουργίας θρόμβου [8].

Αναφέρονται εν συνεχεία, ορισμένες συνήθειες στον τρόπο ζωής που έχουν συσχετισθεί με την εμφάνιση εγκεφαλικού επεισοδίου, από τις οποίες ένα άτομο μπορεί να απεξαρτηθεί.

Χρήση προϊόντων καπνού / κάπνισμα – Σύμφωνα με ενημερωμένες στατιστικές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, ο καπνός του τσιγάρου σκοτώνει περισσότερους από 7 εκατομμύρια ανθρώπους κάθε χρόνο [i]. Το κάπνισμα αυξάνει τους παλμούς της καρδιάς, την αρτηριακή πίεση και τη πιθανότητα δημιουργίας αθηροσκλήρωσης [10]. Πολλές έρευνες δείχνουν την έντονη συσχέτιση μεταξύ καπνίσματος και ισχαιμικού εγκεφαλικού και την ανάπτυξη καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης [11]. Το κάπνισμα επίσης, είναι υπαίτιο και για διαφορετικούς τύπους εγκεφαλικών, υπαραχνοειδές και ενδοεγκεφαλικό αιμορραγικό εγκεφαλικό [11]. Η διακοπή του καπνίσματος μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης αγγειακού εγκεφαλικού μετά από τον ένα χρόνο διακοπής [10][11]. Συμπερασματικά, το κάπνισμα όντας ισχυρός παράγοντας, αποτελεί υψηλή προτεραιότητα η διακοπή του, για τη διαχείριση του κινδύνου εγκεφαλικού επεισοδίου [11].

Αλκοόλ – Σε μεγάλες ποσότητες, το αλκοόλ είναι ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου του αιμορραγικού εγκεφαλικού επεισοδίου, αφού αυξάνει την αρτηριακή πίεση σε βαθμό που μπορεί να προκαλέσει υπέρταση [5]. Η μείωση της υπερβολικής κατανάλωσης αλκοόλ, βρέθηκε να μειώνει τη συστολική αρτηριακή πίεση κατά 3,8 mmHg σε τέσσερις τυχαίες μελέτες [5].

Παχυσαρκία – Η παχυσαρκία και το υπερβολικό βάρος επιβαρύνουν όλο το κυκλοφορικό σύστημα [1]. Πολλές ασθένειες όπως η αύξηση της αρτηριακής πίεσης και χοληστερόλης, ο διαβήτης, οι οποίες είναι παράγοντες πρόκλησης εγκεφαλικού επεισοδίου, σχετίζονται με την παχυσαρκία [4][11]. Με σωστή δίαιτα-διατροφή σε συνδυασμό με άσκηση, υπάρχει επιτυχημένη απώλεια βάρους [5].

Ναρκωτικά – Πολλά ναρκωτικά έχουν βρεθεί ότι σχετίζονται με την εμφάνιση αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου. Ορισμένα από αυτά είναι η κοκαΐνη, η ηρωίνη, οι αμφεταμίνες, το LSD, η μαριχουάνα κ.α.

1.2.2 Μη-Ελεγχόμενοι Παράγοντες

Οι μη-ελεγχόμενοι παράγοντες, αντίθετα, είναι παράγοντες που μπορεί να συμβάλουν στην εμφάνιση αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου, και στους οποίους το άτομο δεν ευθύνεται και δεν μπορεί να ελέγξει.

Ηλικία – Πιθανών είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για εγκεφαλικό [5]. Ο κίνδυνος εγκεφαλικού επεισοδίου διπλασιάζεται για κάθε δεκαετία μετά την ηλικία των 55 ετών [1][5].

Φύλο – Το εγκεφαλικό είναι συχνή ασθένεια που μπορεί να προσβάλει και τα δυο φύλα [5]. Κάθε χρόνο περισσότερες γυναίκες πάσχουν από εγκεφαλικά επεισόδια από ότι οι άντρες, κυρίως γιατί οι γυναίκες ζουν περισσότερο από τους άντρες και η ασθένεια αυτή εμφανίζεται συχνότερα σε μεγαλύτερες ηλικίες [1]. Απεναντίας, σε νεότερες ηλικίες, 45-84, οι άντρες έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα από τις γυναίκες να πασχίσουν από κάποιο εγκεφαλικό επεισόδιο [1][5].

Φυλή / Εθνικότητα – Οι Αφροαμερικάνοι και οι ισπανόφωνοι αμερικάνοι έχουν υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης εγκεφαλικού σε σύγκριση με τους αγγλόφωνους Αμερικάνους [5]. Γνωστό επίσης είναι ότι η ενδοεγκεφαλική αιμορραγία είναι πιο συχνή στους ανατολικούς λαούς, καθώς η υπαραχνοειδής αιμορραγία στην Φινλανδία και τη Σουηδία [5]. Οι Αφροαμερικάνοι έχουν διπλάσια πιθανότητα εμφάνισης αγγειακού εγκεφαλικού από τους Καυκάσιους [1].

Οικογενειακό Ιστορικό – Όσο το πατρικό, τόσο και το μητρικό ιστορικό εγκεφαλικού επεισοδίου συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης της νόσου [5]. Δεν είναι απαραίτητως τα γονίδια εγκεφαλικού επεισοδίου που σχετίζονται με αυτή την οικογενειακή συσχέτιση, αλλά μηχανισμοί όπως η γενετική ευαισθησία σε κάποιους παράγοντες κινδύνου, κοινές οικογενειακές συνήθειες, αλληλεπίδραση μεταξύ γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων [5].

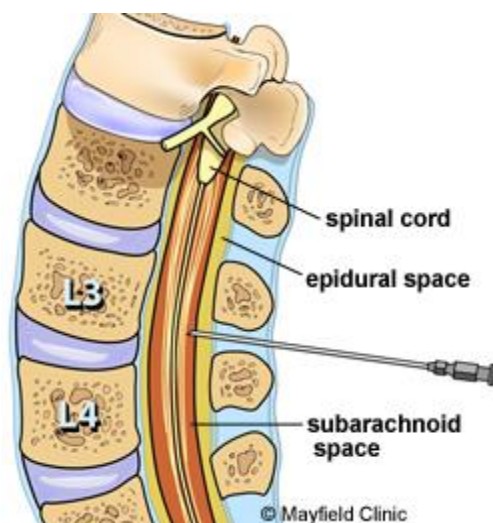
Προηγούμενο εγκεφαλικό / Παροδικό ισχαιμικό εγκεφαλικό – Ο σημαντικότερος παράγοντας κινδύνου είναι αν έχει προηγηθεί κάποιο εγκεφαλικό επεισόδιο ή κάποιο παροδικό ισχαιμικό εγκεφαλικό (transient ischemic attack) [8]. Άτομο, το οποίο είχε προηγούμενο αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, έχει πολύ υψηλότερο κίνδυνο εμφάνισης άλλου εγκεφαλικού επεισοδίου από ένα άτομο που δεν προσβλήθηκε ποτέ. Το παροδικό ισχαιμικό εγκεφαλικό είναι επίσης ισχυρός παράγοντας πρόβλεψης επερχόμενου εγκεφαλικού επεισοδίου [ii]. Το παροδικό ισχαιμικό εγκεφαλικό προκαλείται από προσωρινά μπλοκαρίσματα στον εγκέφαλο και μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά έως 24 ώρες, με αποτέλεσμα τις περισσότερες φορές να μην αφήνει μόνιμη βλάβη στον εγκέφαλο [1][iii]. Ένα άτομο που έχει περάσει ένα ή περισσότερα παροδικά ισχαιμικά εγκεφαλικά είναι σχεδόν 10 φορές πιο πιθανό να πασχίσει από εγκεφαλικό επεισόδιο από κάποιον την ίδιας ηλικίας και φύλου που δεν πέρασε ποτέ [ii].

1.3 Διάγνωση

Όταν ένα άτομο μεταφέρεται στα επείγοντα, με εμφανές εγκεφαλικό επεισόδιο, ο γιατρός θα δει τα συμπτώματα του, το ιατρικό και οικογενειακό ιστορικό του, καθώς και τρέχουσα φαρμακευτική αγωγή, αν υπάρχει. Αν ο ασθενής δεν μπορεί να επικοινωνήσει, τότε τις πληροφορίες που θέλει ο γιατρός, θα τις ζητήσει από κάποιο οικογενειακό μέλος ή φίλο του ασθενή. Στη συνέχεια, ο γιατρός εξετάζει τον ασθενή με διάφορα τεστ, για να δει σημάδια και συμπτώματα της ασθένειας. Κατά τη διάρκεια αυτών των εξετάσεων, ο γιατρός ελέγχει την πνευματική εγρήγορση, τον συντονισμό και την ισορροπία του ασθενή. Επίσης αναζητεί για μούδιασμα ή αδυναμία στο πρόσωπο, στα χέρια και τα πόδια, καθώς και για αδυναμία στην ομιλία και την όραση

του ασθενή. Παράλληλα, ο γιατρός με τη βοήθεια στηθοσκοπίου, παρακολουθεί για σημάδια της καρωτιδικής νόσου, μια κοινή αιτία του ισχαιμικού εγκεφαλικού. Τέλος, διαγνωστικές εξετάσεις χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τον γιατρό να καθορίσει ποια είναι η αιτία και πώς να θεραπεύσει το εγκεφαλικό. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες από τις σημαντικότερες μεθόδους που χρησιμεύουν στη διάγνωση των εγκεφαλικών επεισοδίων [iv] [12].

Οσφυϊκή παρακέντηση – Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει υποψία αιμορραγικού εγκεφαλικού και η αξονική τομογραφία δεν είναι ξεκάθαρη στην ύπαρξη αίματος στον εγκέφαλο. Η οσφυϊκή παρακέντηση είναι μια επεμβατική διαδικασία στην οποία μια βελόνα, εισάγεται στον υποαραχνοειδή χώρο του σπονδυλικού σωλήνα, για την ανίχνευση αίματος στο εγκεφαλονωτιαίο υγρό⁽⁷⁾ [iv].



Εικόνα 1.3-1: Μια βελόνα τοποθετείται στον υποαραχνοειδή χώρο στο επίπεδο του 3^{ου} και 4^{ου} οσφυϊκού σπονδύλου (O3-O4) για τη συλλογή δείγματος εγκεφαλονωτιαίου υγρού. [iv]

Αξονική τομογραφία – Αποτελεί μια μη-επεμβατική σάρωση ακτίνων-Χ, που μπορεί να παρουσιάσει ολόκληρες ανατομικές δομές βιολογικών ιστών, συνεπώς και του εγκεφάλου. Η αξονική τομογραφία, ή υπολογιστική τομογραφία, μπορεί να ανιχνεύσει τόσο τα αιμορραγικά, όσο και τα ισχαιμικά εγκεφαλικά. Η αιμορραγία μέσα ή γύρω στον εγκέφαλο είναι πολύ εύκολο να φανεί σε μια αξονική τομογραφία και μπορεί να ανιχνεύεται γρήγορα. Αγγειογραφία με χρήση αξονικής τομογραφίας, περιλαμβάνει την έγχυση ενός σκιαγραφικού στην κυκλοφορία του αίματος, επιτρέποντας στους γιατρούς να βλέπουν τις αρτηρίες του εγκεφάλου και να βρίσκουν θρόμβους και μπλοκαρίσματα [iv].



Εικόνα 1.3-2: Αξονική αγγειογραφία (CT angiogram) των αιμοφόρων αγγείων του εγκεφάλου [iv].

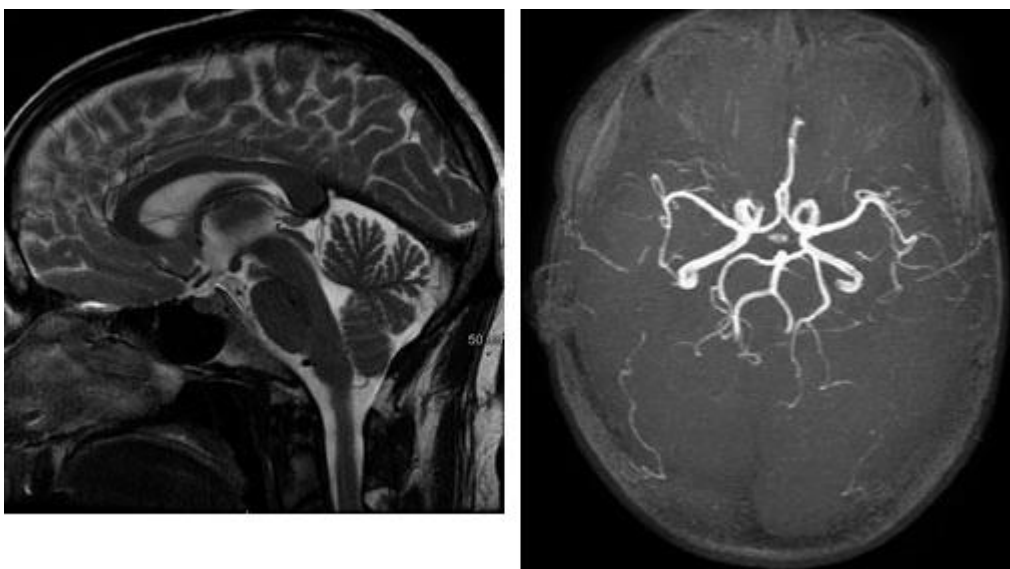
Εγκεφαλική Αγγειογραφία – Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση αιμοφόρων αγγείων στον αυχένα και τον εγκέφαλο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ένα σκιαγραφικό εγχέεται στις καρωτιδικές αρτηρίες, οι οποίες μπορούν να παρατηρηθούν με τη βοήθεια ακτίνων-Χ. Μια κοινή αιτία του εγκεφαλικού επεισοδίου



Εικόνα 1.3-3: Αγγειογραφία πλευρικής όψης εγκεφάλου. Το σκιαγραφικό αντίθεσης καθιστά τις αρτηρίες ορατές στην ακτινογραφία του κρανίου [iv].

είναι η στένωση μιας καρωτιδικής αρτηρίας, η οποία είναι συνήθως αποτέλεσμα κατακαθίσεων χοληστερόλης κατά μήκος των τοιχωμάτων αυτών των αιμοφόρων αγγείων. Σε ένα άτομο που έχει μερική ή ολική παρεμπόδιση σε ένα από αυτά τα αιμοφόρα αγγεία, παρατηρείται λίγη ή καθόλου βαφή από το σκιαγραφικό [1].

Μαγνητική τομογραφία – Είναι μια από τις πιο χρήσιμες εξετάσεις διάγνωσης εγκεφαλικού επεισοδίου, διότι μπορεί να ανιχνεύει υπάρχων εγκεφαλικό μέσα σε λίγα λεπτά [1]. Η μαγνητική τομογραφία είναι ένας μη επεμβατικός σαρωτής, που χρησιμοποιεί μαγνητικό πεδίο και κύματα ραδιοσυχνότητας για να απεικονίσει λεπτομερώς μαλακούς ιστούς του εγκεφάλου [iv]. Οι εικόνες που εξάγονται από μια μαγνητική τομογραφία είναι επίσης ανώτερες σε ποιότητα σε σύγκριση με αυτές της αξονικής τομογραφίας [1]. Εξαιτίας αυτών, η μαγνητική τομογραφία είναι το προτιμότερο τεστ για τη διάγνωση εγκεφαλικού [1]. Παρόμοια με τα παραπάνω, με τη βοήθεια σκιαγραφικού, δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης αιμοφόρα αγγεία στον εγκέφαλο, μια εξέταση που ονομάζεται μαγνητική αγγειογραφία [1][iv].



Εικόνα 1.3-4: Αριστερά – Μαγνητική τομογραφία πλάγιας όψης εγκεφάλου. Δεξιά – Μαγνητική τομογραφία με τη χρήση σκιαγραφικού άνω όψης εγκεφάλου, για την παρακολούθηση των εγκεφαλικών αρτηριών [iv].

1.4 Υπάρχουσες θεραπείες

Τις τελευταίες δεκαετίες, η έγκαιρη αντιμετώπιση του αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου έχει αλλάξει δραματικά και η εφεύρεση θεραπειών ήταν το επίκεντρο πολλών ερευνών [5]. Με την πρόοδο στη φαρμακοθεραπεία και με τη βοήθεια πολλών ελεγχόμενων μελετών, πολυάριθμες θεραπείες είναι διαθέσιμες πλέον εντός 24-48 ώρες [5]. Η σύγχρονη ιατρική αντιμετώπιση των ασθενών με οξύ ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο επικεντρώνεται στον περιορισμό του εγκεφαλικού τραυματισμού, αποφεύγοντας επιπλοκές, καθιερώνοντας κατάλληλη την πρόληψη για επανεμφάνιση

και διευκολύνοντας την αποκατάσταση μετά το εγκεφαλικό. Η επιλογή θεραπείας είναι επιλεκτική, ανάλογα με τον τύπο και επίπεδο σοβαρότητας του εγκεφαλικού [5].

1.4.1 Θεραπείες για το Αιμορραγικό Εγκεφαλικό Επεισόδιο

Οι θεραπείες για το αιμορραγικό αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο εστιάζουν στην διακοπή της αιμορραγίας στον εγκέφαλο, και χωρίζονται ανάλογα τον τύπο του αιμορραγικού εγκεφαλικού, ενδοεγκεφαλικού ή υπαραχνοειδούς [iv].

Ενδοεγκεφαλική αιμορραγία

Μέτρα για τη μείωση της ενδοεγκεφαλικής αιμορραγίας και της πιθανότητας εμφάνισης εκ νέου αιμορραγίας, πρέπει να ληφθούν από τον θεράποντα ιατρό στην οξεία φάση της ενδοεγκεφαλικής αιμορραγίας [4]. Σε ασθενείς με ενδοεγκεφαλική αιμορραγία, η υπέρταση πρέπει να μειώνεται σταδιακά με τη χρήση αντιυπερτασικών φαρμάκων, ώστε να μειωθεί η αιμορραγία, αλλά παράλληλα να παρέχεται σωστή αιμάτωση στον εγκέφαλο [5]. Η ενδοκρανιακή πίεση μπορεί να ελαττωθεί με τη χρήση φαρμάκων όπως είναι η ενδοφλέβια μαννιτόλη⁽⁸⁾, η γλυκερόλη⁽⁹⁾ και υπερτονικό αλατούχο διάλυμα⁽¹⁰⁾ [4][5]. Η τελευταία επιλογή θεραπείας σε ασθενείς με ενδοεγκεφαλική αιμορραγία είναι η χειρουργική επέμβαση. Η κρανιοτομή είναι η αφαίρεση ενός μέρους από το κρανίο, επιτρέποντας την αποσυμπίεση του κρανίου [4].

Υπαραχνοειδής αιμορραγία

Ο κύριος στόχος της θεραπείας σε ασθενείς με υπαραχνοειδή αιμορραγία είναι η μείωση της πιθανότητας το ανεύρυσμα να υποστεί εκ νέου ρήξη και να προκαλέσει περαιτέρω βλάβες. Υπάρχουν δυο στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό του κινδύνου επανεμφάνισης, με χρήση φαρμακευτικής αγωγής και με χειρουργική επέμβαση. Η φαρμακευτική διαχείριση της υπαραχνοειδής αιμορραγίας γίνεται με τη μείωση της συστηματικής αρτηριακής πίεσης, για τη μείωση της τάσης στο ανεύρυσμα. Επιπλέον, συχνά χορηγούνται αντιεπιληπτικά φάρμακα, παρόλο που αποτελεί μια αμφιλεγόμενη θεραπεία. Αντιινωδολυτικά-αιμοστατικά φάρμακα, φάρμακα που προάγουν την πήξη του αίματος, έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, σε ορισμένα ιδρύματα, αλλά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Χειρουργική επέμβαση για την αποτροπή επανεμφάνισης υπαραχνοειδούς αιμορραγίας, αποτελεί τη μικροχειρουργική αποκοπή του ανευρύσματος που έχει υποστεί ρήξη. Μετά από την αφαίρεση του τμήματος του κρανίου στην περιοχή του ανευρύσματος, ένα μικρό κλιπ τοποθετείται γύρω από το πιο κοντινό τμήμα του ανευρύσματος (που ονομάζεται λαιμός). Μια νέα, εναλλακτική χειρουργική επέμβαση, η ενδοαγγειακή θεραπεία ανευρύσματος, έχει αναπτυχθεί για την αποκατάσταση του αγγείου που έχει υποστεί ρήξη [4].

Ενδοαγγειακή θεραπεία ανευρύσματος

Η ενδοαγγειακή θεραπεία ανευρύσματος είναι μια νέα επεμβατική νευροραδιολογική τεχνική που ωφελεί σε μεγάλο βαθμό τους ασθενείς που δεν μπορούν να χαλιναγωγήσουν το άγχος της χειρουργικής επέμβασης. Ειδικά πηλίκια από πλατίνα, οδηγούνται στο ανεύρυσμα με τη βοήθεια ενός καθετήρα, δημιουργώντας έναν θρόμβο που κλείνει αποτελεσματικά το ανεύρυσμα, αποτρέποντας παράλληλα τον κίνδυνο επανεμφάνισης αιμορραγικού εγκεφαλικού επεισοδίου [1][4].

1.4.2 Θεραπείες για το Ισχαιμικό Εγκεφαλικό Επεισόδιο

Το ισχαιμικό αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου και μπορεί να οφείλεται είτε από θρόμβωση εντός κάποιας εγκεφαλικής αρτηρίας, είτε εξαιτίας εμβολής. Η παθοφυσιολογία του ισχαιμικού εγκεφαλικού πηγάζει από την μειωμένη ή εξαλειμμένη αιματική ροή της πάσχουσας εγκεφαλικής αρτηρίας και τα συμπτώματα είναι ποικίλουν, ανάλογα τα αγγεία που επηρεάζονται. Η περιοχή του εγκεφαλικού ιστού που επηρεάζεται από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο έχει δύο μέρη: έναν πυρήνα που αποτελείται από νεκρό εγκεφαλικό ιστό και ένα χείλος γύρω από τον πυρήνα που έχει τραυματιστεί. Το μη-νεκρωμένο αυτό χείλος του εγκεφαλικού ιστού αναφέρεται ως ισχαιμική παρασκιά (penumbra) ή λυκοφωτική ζώνη. Μέσα σε λίγα λεπτά από την έναρξη του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου, οι πληγείσες περιοχές, πυρήνας και penumbra, παύουν να δείχνουν δραστηριότητα. Εάν υπάρχει αιματική ροή εντός της penumbra περιοχής, οι νευρώνες μπορεί να αποκτήσουν τη δυνατότητα να αναρρώσουν. Ωστόσο, όταν η ροή του αίματος πέσει κάτω από ένα όριο, οι νευρώνες εντός της penumbra, αποκτούν γρήγορα ανεπανόρθωτη βλάβη. Η ιατρική διαχείριση, στοχεύει στη μεγιστοποίηση της ποσότητας του εγκεφαλικού ιστού που επιβιώνει και στον περιορισμό της δευτερογενούς ζημίας που προκαλείται από τις επιπτώσεις του εγκεφαλικού επεισοδίου. Συμπερασματικά, ο άμεσος κλινικός στόχος μετά από μια διάγνωση ισχαιμικού αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου είναι η επίτευξη της επαναιμάτωσης του αποφραγμένου αγγειακού συστήματος [4].

Στο ισχαιμικό εγκεφαλικό, οι υπάρχουσες θεραπείες μπορούν να διακριθούν στις επείγουσες θεραπείες, για την αναίρεση της απόφραξης, και στις προληπτικές θεραπείες, για την πρόληψη εμφάνισης ή επανεμφάνισης του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου [iv].

Επείγουσες θεραπείες

Θρομβολυτικά φάρμακα – Είναι φάρμακα που βοηθάνε την επαναφορά της φυσιολογικής αιματικής ροής, και το επιτυγχάνουν με τη διάλυση του θρόμβου που φράσσει την αρτηρία. Το πιο κοινό θρομβολυτικό φάρμακο που είναι αποδεδειγμένη η αποτελεσματικότητά του είναι ο ανασυνδυασμένος ενεργοποιητής του ιστικού πλασμιγόνου (rt-PA). Ο ενεργοποιητής του ιστικού πλασμιγόνου (TPA) είναι ένα ένζυμο που παράγεται φυσιολογικά από το ανθρώπινο σώμα, με τις ιδιότητες να διαλύει θρόμβους [iv]. Η ενδοφλέβια χορήγηση του rt-PA εγκρίνεται από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) εντός 3 ωρών από το ισχαιμικό εγκεφαλικό

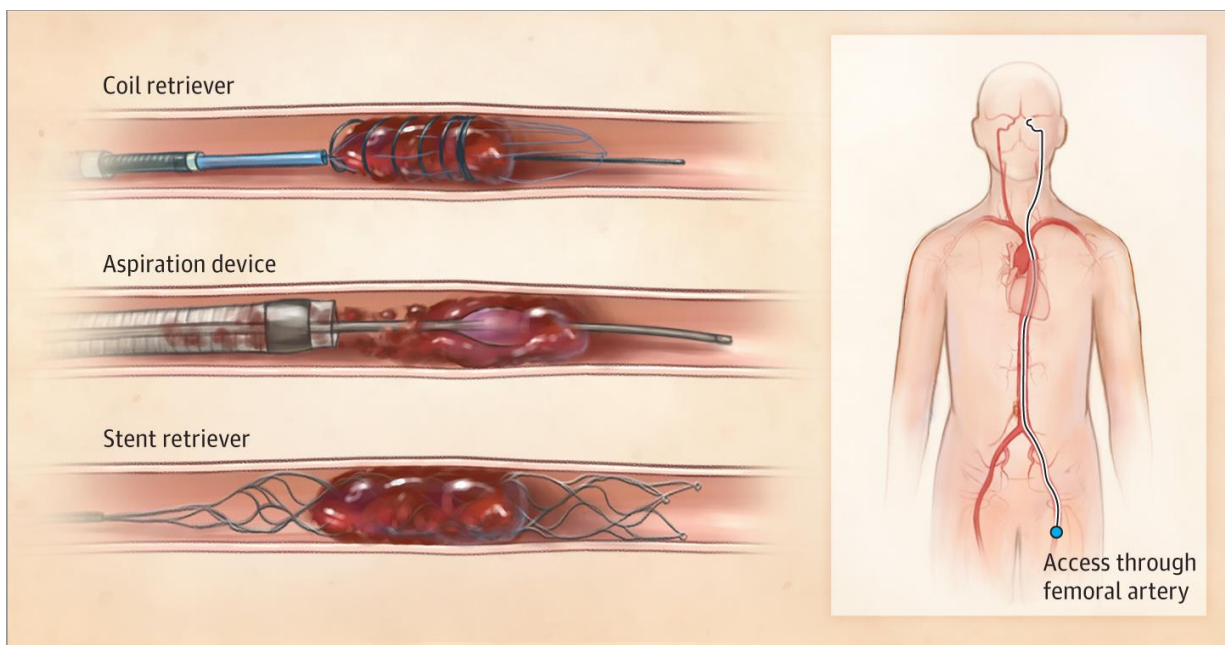
επεισόδιο, αλλά η Αμερικανική Ένωση Εγκεφαλικών (American Stroke Association) προτείνει τη χορήγηση έως και 4.5 ώρες μετά το ισχαιμικό επεισόδιο, με βάση διάφορες κλινικές έρευνες [ii]. Ως θρομβολυτικός παράγοντας, ο rt-PA πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τη θεραπεία του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου, αφού σε περίπτωση αιμορραγικού επεισοδίου θα δημιουργήσει καταστροφική αιμορραγία στο εγκεφαλικό παρέγχυμα του ασθενούς [4]. Ο rt-PA μπορεί επίσης να χορηγηθεί ακριβώς στη θέση του θρόμβου σε μια διαδικασία που ονομάζεται ενδοαρτηριακή θρομβόλυση. Με αυτή τη μέθοδο το φάρμακο δεν χρειάζεται να ταξιδέψει σε ολόκληρο το σώμα πριν φτάσει στον θρόμβο. Ένας πολύ μικρός καθετήρας εισάγεται σε μια αρτηρία της βουβωνικής χώρας⁽¹¹⁾ και οδηγείται μέσω της κυκλοφορίας του αίματος μέχρι τον εγκέφαλο που βρίσκεται ο θρόμβος. Τη επέμβαση αυτή, την πραγματοποιεί Νευροχειρουργός με τη βοήθεια αγγειογραφίας για την απεικόνιση της διαδρομής που πρέπει να λάβει ο καθετήρας. Όταν φθάσει ο καθετήρας στον θρόμβο, το rt-PA απελευθερώνεται, ενώ ο γιατρός, παράλληλα, δίνει μια ταλαντευόμενη ώθηση στον καθετήρα μέσα στον θρόμβο, για να βοηθήσει στη διάλυση του [iv].

Ενδαγγειακή θρομβεκτομή – Οι μεγάλοι θρόμβοι που εμποδίζουν τις μεγάλες αρτηρίες που τροφοδοτούν με αίμα τον εγκέφαλο, μπορεί να μην διασπώνται αρκετά γρήγορα με τον rt-PA. Δοκιμές που έχουν γίνει, έδειξαν ότι αυτές οι μεγάλες αποφράξεις δεν ανταποκρίνονται τόσο καλά στο φάρμακο αυτό, ακόμα κι όταν χορηγείται γρήγορα. Νέες ιατρικές συσκευές, γνωστές ως συσκευές θρομβεκτομής, έχουν σχεδιαστεί για να αφαιρούν προς τα έξω τον θρόμβο από το σώμα, αφήνοντας ανοιχτή την αρτηρία. Η επέμβαση αυτή εκτελείται από έναν Νευροχειρουργό, με τη βοήθεια αγγειογραφίας. Ένας καθετήρας εισάγεται από τη βουβωνική χώρα και διέρχεται από τα αιμοφόρα αγγεία έως τον θρόμβο [iv]. Τρία είδη συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση θρόμβου.

- Σπειροειδείς Ανιχνευτές (Coil retrievers) – Αποτελούνται από ένα σύρμα νικελίου-τιτανίου (νιπινόλη) το οποίο κράμα έχει την ιδιότητα της μνήμης σχήματος, δηλαδή θυμάται το αρχικό του σχήμα και μεταφέρεται στον θρόμβο με τη βοήθεια ενός μικροκαθετήρα. Καθώς η παρούσα συσκευή εξωθείται από τον καθετήρα-οδηγό, το σύρμα παίρνει αμέσως τη φυσική του σπειροειδή μορφή. Ο επεμβατικός Νευροακτινολόγος αναπτύσσει τους βρόχους του πηνίου μέσα στον θρόμβο, με σκοπό ο θρόμβος να εγκλωβιστεί στα σπειρώματα του πηνίου, και στη συνέχεια τραβάει το πηνίο μαζί με τον θρόμβο πίσω στον καθετήρα. Επί του παρόντος, διατίθενται στο εμπόριο 10 coil retrievers συσκευές, οι οποίες διαφέρουν στο μήκος της έλικας, τη διάμετρο και την καμπυλότητα των βρόχων, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες αρτηρίες και τύπους θρόμβων [13].
- Συσκευές αναρρόφησης (Aspiration devices) – Χρησιμοποιούν την αναρρόφηση κενού για να απομακρύνουν τον αποφρακτικό θρόμβο. Παρόλο που η χειρονακτική αναρρόφηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω οποιουδήποτε μικροκαθετήρα, η πρόοδος στην ανάπτυξη συσκευών απαιτεί τεχνική λύση στο πρόβλημα της απόφραξης των άκρων του θρόμβου κατά την αναρρόφηση. Αυτό είναι ένα κοινό φαινόμενο όταν εφαρμόζεται αναρρόφηση

μέσα από μια οπή αρκετά μικρή ώστε να χωράει εντός των ενδροκρανιακών αρτηριών [13].

- Ενδοπρόσθετοι Ανιχνευτές (Stent retrievers) – Είναι ένας αυτοδιαστελλόμενος σωλήνας συρμάτινου πλέγματος (stent), ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε ένα μακρύ σύρμα. Η μεταφορά του stent στον θρόμβο γίνεται με τη βοήθεια ενός μικροκαθετήρα [13]. Το stent αναπτύσσεται μέσα στον θρόμβο, ωθώντας το στην άκρη και εγκλωβίζοντας το μέσα στις οπές του πλέγματος, αποκαθιστώντας τη ροή αίματος στην περιοχή. Θεωρητικά, μια τέτοια αποκατάσταση της ροής του αίματος μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των θρομβολυτικών φαρμάκων. Μετά από μια περίοδο εντός 10 λεπτών, συνήθως 3 με 5, το stent εξάγεται από την αρτηρία, μέσω του καθετήρα οδήγησης. Η προσθήκη ενός καθετήρα οδηγού με μπαλόνι (BGC) μπορεί να βοηθήσει ομαλή στην εξαγωγή του θρόμβου [14]. Ένα μπαλόνι φουσκώνει και μπλοκάρει την αρτηρία κατά τη διαδικασία της εξαγωγής του θρόμβου, προσφέροντας σταθερότητα κατά την επαναφορά του stent πίσω στον καθετήρα-οδηγό.

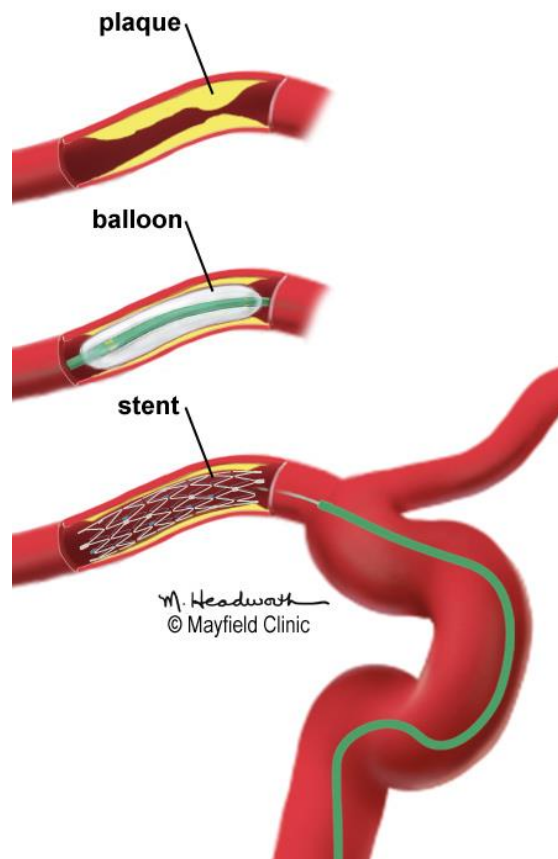


Εικόνα 1.4-1: Αριστερά Πάνω – Αναπαράσταση Σπειροειδούς Ανιχνευτή (Coil retriever), Αριστερά Μέση – Αναπαράσταση συσκευής αναρρόφησης (Aspiration device), Αριστερά Κάτω – Αναπαράσταση Ενδοπρόσθετου Ανιχνευτή (Stent retriever). Δεξιά – Παρουσιάζεται η διαδρομή που ακολουθεί ο καθετήρας από την μηριαία αρτηρία έως τον εγκέφαλο στην περιοχή του θρόμβου [v].

Προληπτικές Θεραπείες

Αγγειοπλαστική και Stents– Η αγγειοπλαστική χρησιμοποιείται για να ανοίξει το αιμοφόρο αγγείο που το στενεύει η συσσώρευση αθηροσκληρωτικής πλάκας. Η συγκεκριμένη επέμβαση πραγματοποιείται από έναν Νευροχειρουργό κατά τη διάρκεια

αγγειογραφίας. Ένας καθετήρας εισάγεται σε μια αρτηρία στη βουβωνική χώρα (μηριαία αρτηρία) και στη συνέχεια διέρχεται από τα αιμοφόρα αγγεία έως στη συσσώρευση της πλάκας. Ο γιατρός καθοδηγεί τον καθετήρα μέσω της κυκλοφορίας του αίματος παρακολουθώντας μια ακτινοσκόπηση (έναν τύπο ακτίνων-Χ). Μόλις τοποθετηθεί σωστά ο καθετήρας στην πάσχουσα αρτηρία, ένα μπαλόνι διογκώνεται με αποτέλεσμα η πλάκα να συσσωρεύεται στα τοιχώματα της αρτηρίας, αποκαθιστώντας έτσι την ομαλή ροή του αίματος [iv]. Μετά την αφαίρεση του μπαλονιού σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί χρειαστεί η τοποθέτηση stent. Η χρήση stent στις καρωτιδικές και τις μεγάλες εγκεφαλικές αρτηρίες περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός λεπτού, σωληνωτού συρμάτινου πλέγματος για να διατηρεί ανοιχτή την αρτηρία [1].



Εικόνα 1.4-2: Κατά τη διάρκεια της αγγειοπλαστικής, ένας καθετήρας με μπαλόνι τοποθετείται μέσα στη στενευμένη αρτηρία. Το μπαλόνι διογκώνεται συμπιέζοντας την πλάκα και ανοίγοντας την αρτηρία. Αφού απομακρυνθεί το μπαλόνι, τοποθετείται πάνω από την πλάκα ένας αυτό-επεκτεινόμενος σωλήνας τύπου πλέγματος (stent), για να κρατήσει ανοιχτή την αρτηρία. Το stent παραμένει μόνιμα στην αρτηρία [iv].

Καρωτιδική ενδαρτηρεκτομή – Ορισμένες φορές η συσσώρευση της πλάκας είναι πολύ μεγάλη ώστε να επιτευχθεί ομαλά η αγγειοπλαστική θεραπεία και η πλάκα πρέπει να αφαιρεθεί χειρουργικά. Ένας κοινός χώρος για τη δημιουργία αθηροσκληρωτικής πλάκας είναι στις καρωτιδικές αρτηρίες του λαιμού, όπου διακλαδίζεται η εσωτερική και εξωτερική καρωτιδική αρτηρία. Μέσω μιας τομής στον αυχένα, ανοίγει η καρωτιδική

αρτηρία και αφαιρείται χειρουργικά η πλάκα για την αποκατάσταση της κυκλοφορίας του αίματος στην περιοχή. Έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι σε μια καρωτιδική αρτηρία αν είναι περισσότερο από 70% μπλοκαρισμένη, τότε η ενδαρτηριεκτομή μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο εγκεφαλικού επεισοδίου κατά 65% [iv]. Παράλληλα, έχει αποδειχθεί ότι για ορισμένους ασθενείς με ελάχισονα εγκεφαλικά επεισόδια ή παροδικά ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια, η καρωτιδική ενδαρτηριεκτομή είναι εξαιρετικά επωφελής για την πρόληψη μελλοντικού εγκεφαλικού επεισοδίου [1].

Αντιαιμοπεταλιακά φάρμακα – Τα αιμοπετάλια είναι κύτταρα του αίματος που βοηθούν στην πήξη του αίματος, αποτρέποντας την αιμορραγία. Όταν στο σώμα υπάρχει κάποια πληγή-κόψιμο, τα αιμοπετάλια λαμβάνουν δράση με στόχο το κλείσιμο ανοιχτής περιοχής. Ωστόσο, σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο ή παροδικό ισχαιμικό εγκεφαλικό, το αίμα δεν πρέπει να πήζει πολύ εύκολα, διότι υπάρχει αυξημένος κίνδυνος δημιουργίας θρόμβου. Συνεπώς η χρήση αντιαιμοπεταλικών φαρμάκων είναι συχνά μια οδηγία σε τέτοιους ασθενείς, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σχηματισμού θρόμβου. Η ασπιρίνη είναι από τα πιο κοινά αντιαιμοπεταλιακά φάρμακα [1].

Αντιπηκτικά φάρμακα – Είναι μια κατηγορία φαρμάκων που χρησιμοποιούνται για να εμποδίσουν το αίμα να σχηματίσει επικίνδυνους θρόμβους που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο. Τα αντιπηκτικά, αλλιώς και αραιωτικά αίματος, είναι το συχνότερο φάρμακο που συνταγογραφείται από τους γιατρούς μετά από ένα ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο. Μειώνοντας την ικανότητα του αίματος να πήξει και την πιθανότητα αγγειακής ή στεφανιαίας εμβολής, συχνά χρησιμοποιείται σε ασθενείς με υψηλό κίνδυνο εμφάνισης εγκεφαλικού επεισοδίου. Τέτοια φάρμακα είναι η βαρφαρίνη και η ηπαρίνη⁽¹²⁾ [1].

1.5 Σκοπός παρούσας Διπλωματικής εργασίας

Όπως προαναφέρθηκε, τα ισχαιμικά εγκεφαλικά αποτελούν το 87% όλων των εγκεφαλικών επεισοδίων παγκοσμίως. Καταλαμβάνοντας την δεύτερη θέση στις αιτιολογίες θανάτου, μετά την ισχαιμική καρδιοπάθεια, τα εγκεφαλικά επεισόδια είναι υπεύθυνα για το *θάνατο 6 εκατομμυρίων ανθρώπων ετησίως*. Επίσης, εξαιτίας της φύσης που έχει η ασθένεια αυτή, η γρήγορη αντιμετώπιση είναι αναγκαία για την επαναφορά της αιμάτωσης και της οξυγόνωσης στην πάσχουσα περιοχή του εγκεφάλου. Η φράση “time is brain”, η οποία χρησιμοποιείται από τα νοσοκομεία και ιατρικά ερευνητικά κέντρα παγκοσμίως, υπογραμμίζει ότι ο ανθρώπινος νευρικός ιστός χάνεται γρήγορα κατά την εξέλιξη ενός εγκεφαλικού επεισοδίου, επιβεβαιώνοντας ότι η σωστή διάγνωση και άμεση θεραπεία, χρήζουν πρωτεύουσας σημασίας.

Η πιο *ευρέως διαδεδομένη* θεραπεία για το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι ο ανασυνδυασμένος ενεργοποιητής του ιστικού πλασμιγόνου (rt-PA). Παρόλο που ο rt-PA αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό φάρμακο για τη διάλυση των θρόμβων, έρευνες δείχνουν ότι για τη βέλτιστη θεραπεία, απαιτείται χορήγηση εντός ενός παραθύρου 3 – 4.5 ωρών από την έναρξη των συμπτωμάτων. Οι συσκευές μηχανικής θρομβεκτομής, οι οποίες είναι νέες εναλλακτικές θεραπείες, έχουν ως στόχο την αφαίρεση του θρόμβου από το σώμα. Με τη βοήθεια ενός καθετήρα-οδηγού που εισάγεται από τη βουβωνική χώρα έως τον θρόμβο, οι συσκευές μηχανικής θρομβεκτομής ειδικεύονται

στο «τράβηγμα» του θρόμβου μέσα στον καθετήρα και εν συνεχεία έξω από τον οργανισμό, επαναφέροντας την ομαλή αιματική ροή στην περιοχή. Το αρνητικό των συσκευών αυτών, παρόλη την συνεχή βελτίωση τους, είναι ο συχνός τραυματισμός του γύρω εγκεφαλικού ιστού, προκαλώντας αιμορραγία στη περιοχή, καθώς επίσης της αύξησης του κινδύνου επαναπροσβολής από ισχαιμικό εγκεφαλικό, εξαιτίας μικρών κομματιών του θρόμβου που παραμένουν στην αρτηρία, μετά την αφαίρεση του.

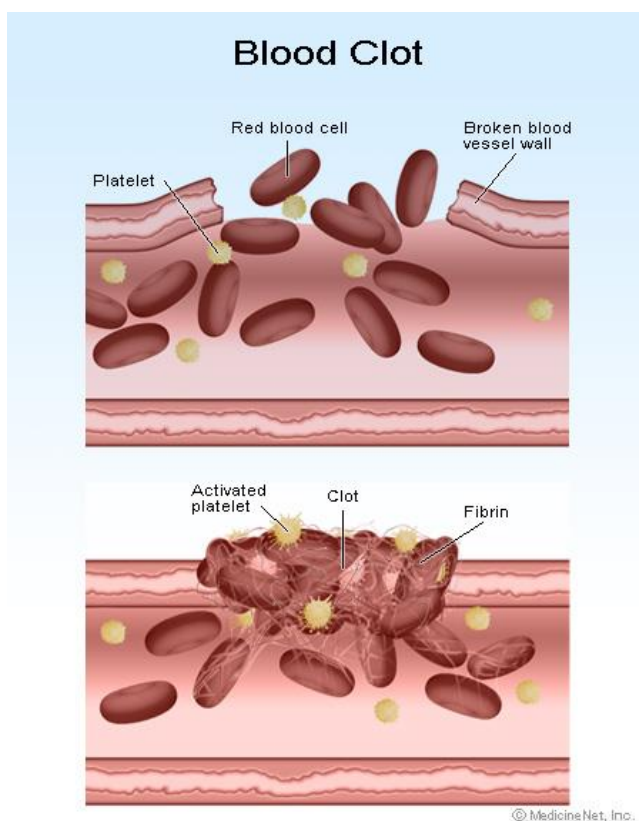
Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και η σχεδίαση μιας **Κεραίας-καθετήρα**, δηλαδή ενσωμάτωση στον ήδη υπάρχοντα καθετήρα, Κεραία στελέχους, που χρησιμοποιείται ευρέως από Νευροχειρουργούς παγκοσμίως, με στόχο τη μείωση της χρονικής διάρκειας της επέμβασης, καθώς και τη βελτιστοποίηση των ήδη υπάρχουσών θεραπειών στο οξύ ισχαιμικό εγκεφαλικό. Ο καθετήρας που σχεδιάστηκε εισχωρεί, όπως και οι καθετήρες που προαναφέρθηκαν για τη θεραπεία του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου, από τη βουβωνική χώρα και εκτελεί μια διαδρομή μέσα από τα αγγεία έως τον θρόμβο. Όταν φθάσει ο καθετήρας, αρχίζει να εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατευθυντικά προς τον θρόμβο, και όχι στον περιβάλλοντα νευρικό ιστό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη «μαλάκωση» του θρόμβου, ο οποίος συμπαρασύρεται από τη ροή του αίματος, με αποτελέσματα να αποκαθίσταται η φυσιολογική αιματική ροή στη περιοχή. Με τη μαλάκωση του θρόμβου, οι ήδη υπάρχουσες θεραπείες θα μπορούσαν να εξελιχθούν σε γρηγορότερο χρόνο, πιο ασφαλώς και με λιγότερες μακροχρόνιες επιπλοκές.

2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

2.1 Γενική ιδέα

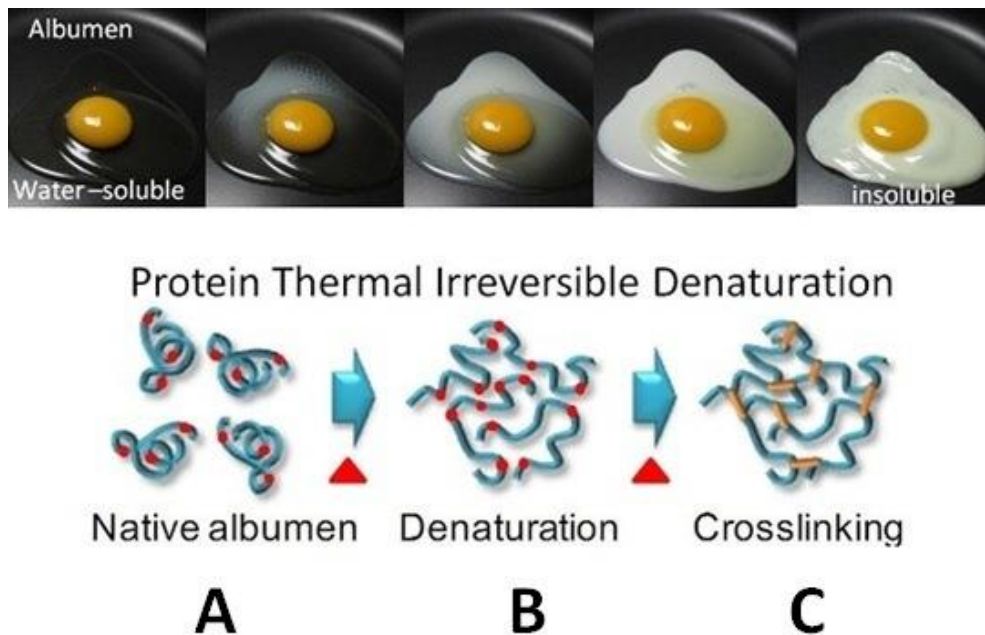
Ένας θρόμβος αποτελείται από ερυθρά αιμοσφαίρια και αιμοπετάλια, τα οποία είναι περικυκλωμένα από ένα πλέγμα ινώδους πρωτεΐνης (fibrin protein). Το ινωδογόνο είναι μια γλυκοπρωτεΐνη που υπάρχει φυσιολογικά στο αίμα και κατά τη διάρκεια ενός τραυματισμού μετατρέπεται στην ινώδη πρωτεΐνη με τη βοήθεια ενός ενζύμου, της θρομβίνης. Κατά τη διάρκεια της πήξης του αίματος, η θρομβίνη προσβάλλει την πρωτεϊνική αλυσίδα του ινωδογόνου, σχηματίζοντας μεμονωμένους κλώνους ινώδους πρωτεΐνης. Οι μεμονωμένοι κλώνοι ινώδους, ακολούθως, πολυμερίζονται και διασυνδέονται με κλώνους άλλων ινωδών πρωτεϊνών, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα δίκτυο ινώδους που αποτελεί τη βάση για το σχηματισμό του θρόμβου [15].



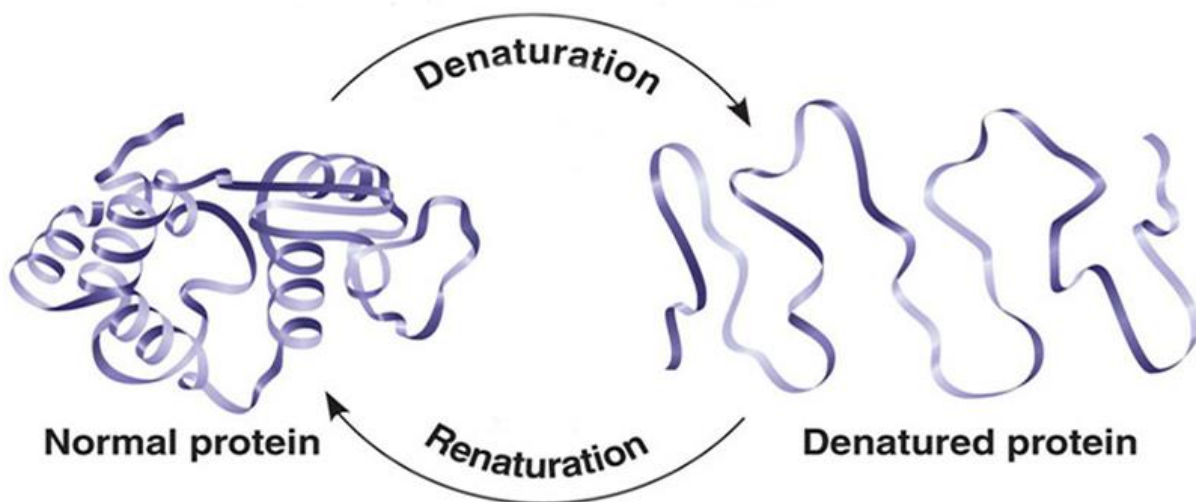
Εικόνα 2.1-1: Πάνω – Αναπαράσταση τραυματισμένου αιμοφόρου αγγείου. Κάτω – Σχηματισμός θρόμβου για το κλείσιμο της πληγής [νί].

Μετουσίωση (denaturation) μιας πρωτεΐνης, είναι η αλλαγή δομής της (δευτεροταγούς, τριτοταγούς και τεταρτοταγούς δομής) κατά την οποία μεταβάλλονται οι φυσικές, χημικές και βιολογικές της ιδιότητες και ελαττώνεται κατά πολύ η διαλυτότητα της. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες όπως είναι η υψηλή θερμοκρασία, τα ισχυρά οξέα και αλκάλια, οι οργανικοί διαλύτες κ.α. [16]. Κατά τη μετουσίωση οι δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί μεταξύ των πλευρικών ομάδων των αμινοξέων σπάζουν, με συνέπεια οι κομμένοι δεσμοί να αρχίζουν να ενώνονται με άλλες πρωτεΐνες με πιο ισχυρούς δεσμούς. Αυτό για παράδειγμα,

συμβαίνει στην πρωτεΐνη που έχει το ασπράδι του αυγού, την αλβουμίνη, κατά τη διάρκεια του ψησίματός του. Μια μετουσιωμένη πρωτεΐνη μπορεί να επανέλθει στη φυσική της μορφή με την κατάλληλη διεργασία (renaturation) [16].



Εικόνα 2.1-2: Σταδιακή μετουσίωση της αλβουμίνης (κύρια πρωτεΐνη στο ασπράδι του αυγού). Στο τελικό στάδιο C, cross-linking, οι δεσμοί που έχουν δημιουργηθεί είναι πολύ ισχυροί και η κατάσταση θεωρείται μη αναστρέψιμη.



Εικόνα 2.1-3: Η φυσική και η μετουσιωμένη δομή μιας πρωτεΐνης είναι καταστάσεις αμφίδρομες με κατάλληλες συνθήκες.

Παρομοίως με το αυγό (Εικόνα 2.1-2), κατά τη διάρκεια σχηματισμού του θρόμβου, οι μεμονωμένοι κλώνοι της ινώδους πρωτεΐνης περνούν και από τα τρία στάδια (A,B,C).

Οι καταστάσεις A και B είναι αμφίδρομες, δηλαδή με κατάλληλες συνθήκες μπορεί να γίνει μετάβαση από την μια κατάσταση στην άλλη και αντίστροφα (Εικόνα 2.1-3). Στην κατάσταση C, cross-linking, οι δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί μεταξύ των μορίων της πρωτεΐνης είναι πολύ ισχυροί και δεν υπάρχει γνωστός τρόπος να αντιστραφεί η κατάσταση.

Δυο είναι οι κύριοι θεραπευτικοί στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν με την Κεραία-καθετήρα που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία.

- Αρχικός στόχος του καθετήρα που σχεδιάστηκε είναι να «κόψει» δεσμούς που έχουν δημιουργηθεί μεταξύ μορίων ινώδους πρωτεΐνης, με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως επιτυχημένα, βάση της βιβλιογραφίας, έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση μικροκυμάτων σε άλλες πρωτεΐνες [17][18]. Καθώς το cross-linking στάδιο θεωρείται μη αναστρέψιμο, ο καθετήρας πρέπει να εφαρμοστεί τις πρώτες ώρες από την εμφάνιση του ισχαιμικού εγκεφαλικού, δηλαδή όταν ο θρόμβος δεν έχει προλάβει να σκληρύνει. Σε θεωρητικό επίπεδο η εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κόβει το δίκτυο γύρω από τον θρόμβο που συγκρατεί τα αιμοπετάλια και τα ερυθρά αιμοσφαίρια, προκαλώντας μια επιθυμητή «μαλάκωση» του θρόμβου και επαναφέροντας την αιματική ροή στην πάσχουσα περιοχή του εγκεφάλου γρήγορα και αποτελεσματικά. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η ακτινοβολία δεν πρέπει να αυξήσει την θερμοκρασία πάνω από τους 40-42 °C, αφενός διότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες καταστρέφονται υγιείς ιστοί (βλ. 2.2.3) και αφετέρου η θερμότητα είναι κατάσταση που ευνοεί την μετουσίωση και θα προκαλούσε πιο γρήγορη σκλήρυνση του θρόμβου. Συμπερασματικά, ένας μαλακός θρόμβος επιταχύνει τις σημερινές θεραπείες για το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο, προσδίδοντας, παράλληλα, μεγαλύτερη ασφάλεια στον ασθενή.
- Όπως προαναφέρθηκε, η κύρια θεραπεία που εφαρμόζεται παγκοσμίως για το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η χρήση του ανασυνδυασμένου ενεργοποιητή του ιστικού πλασμιγόνου (rt-PA). Το σημαντικότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης θεραπείας είναι ότι το φάρμακο πρέπει να χορηγηθεί εντός 3.5 - 4 ώρες από την έναρξη των συμπτωμάτων. Δεύτερος στόχος της παρούσας θεραπείας είναι η επιτάχυνση της αποικοδόμησης του θρόμβου με τη χρήση του rt-PA, καθώς και η αύξηση του θρομβολυτικού χρονικού παραθύρου. Η ακτινοβολία σε συχνότητες μικροκυμάτων έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στην οργανική χημεία προκαλώντας πιο γρήγορες και αποδοτικές αντιδράσεις [19]. Ο κλάδος αυτής της επιστήμης ονομάζεται μικροκυματική χημεία (microwave chemistry), προσφέροντας έναν αποτελεσματικό, ασφαλή, γρήγορο και αυστηρά ελεγχόμενο τρόπο για την εκτέλεση του πειράματος [20]. Συνεπώς ο συνδυασμός του θρομβολυτικού φαρμάκου rt-PA με την Κεραία-καθετήρα να ακτινοβολεί σε μικροκυματικές συχνότητες, μπορεί να αποτελέσει μια πιο γρήγορη και αποτελεσματική θεραπεία για το οξύ ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο, επεκτείνοντας τον τωρινό χρόνο που απαιτείται για τη λήψη του rt-PA.

2.2 Βιολογικές ιδιότητες Εγκεφαλικών ιστών

2.2.1 Ηλεκτρικές και Θερμικές ιδιότητες Εγκεφαλικών ιστών

Από ηλεκτρομαγνητικής σκοπιάς, οι βιολογικοί ιστοί παρουσιάζουν μια ποικιλομορφία, καθώς ο κάθε ιστός αποτελείται από μοναδική ποσότητα νερού, ηλεκτρολυτών (μαγνησίου, νατρίου, καλίου, κ.τ.λ.), οργανικών ενώσεων, κ.α. Ποικιλομορφία στις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες, επίσης, παρουσιάζουν της ίδιας κατηγορίας βιολογικοί ιστοί από διαφορετικούς οργανισμούς ή ακόμα και διαφορετικού φύλου ή ηλικίας [21]. Οι ιδιότητες αυτές περιγράφονται από τη διηλεκτρική σταθερά ϵ_r (relative permittivity) και την ειδική αγωγιμότητα σ (electrical conductivity), οι οποίες είναι εξαρτώμενες από την συχνότητα και τη θερμοκρασία. Μεγάλο ενδιαφέρον για τους ίδιους λόγους, αποτελούν και οι θερμικές ιδιότητες που έχουν οι διάφοροι βιολογικοί ιστοί, οι οποίες περιγράφονται από τη θερμική αγωγιμότητα k (thermal conductivity) και την ειδική θερμοχωρητικότητα c (specific heat capacity). Οι θερμικές ιδιότητες των βιολογικών ιστών είναι αναγκαίες για την ανάλυση και την προσομοίωση της αύξησης της θερμοκρασίας που δημιουργείται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολήση. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες του εγκεφάλου, του αίματος (ερυθρών αιμοσφαιρίων) και του πηγμένου αίματος (θρόμβου), καθώς και οι πυκνότητές τους (density, ρ). Τα νούμερα αυτά αναφέρονται κοντά στα 3GHz συχνότητας και θερμοκρασίας 37°C, και χρησιμεύουν για την μετέπειτα προσομοίωση των συγκεκριμένων βιολογικών ιστών [22 – 25]. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι παρακάτω τιμές είναι πολύ δύσκολο να διεξαχθούν από τους βιολογικούς ιστούς και αποτελεί αντικείμενο πολυετής έρευνας και οι δημοσιεύσεις αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Εγκέφαλος	
Ειδική Θερμοχωρητικότητα, c	$3.68 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$
Θερμική αγωγιμότητα, k	$0.528 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
Πυκνότητα, ρ	$1.081 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Διηλεκτρική σταθερά, ϵ_r	32
Ειδική αγωγιμότητα, σ	2.1 S/m

Πίνακας 2.2.1-1: Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες εγκεφάλου σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.

Πηγμένο αίμα (θρόμβος)	
Ειδική Θερμοχωρητικότητα, c	$3.5 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Θερμική αγωγιμότητα, k	$0.59 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Πυκνότητα, ρ	$1.08 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Διηλεκτρική σταθερά, ϵ_r	36
Ειδική αγωγιμότητα, σ	$0.72 \text{ S}/\text{m}$

Πίνακας 2.2.1-2: Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες πηγμένου αίματος (θρόμβου) σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.

Αίμα (ερυθρά αιμοσφαίρια)	
Ειδική Θερμοχωρητικότητα, c	$3.21 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Θερμική αγωγιμότητα, k	$0.466 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Πυκνότητα, ρ	$1.093 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Διηλεκτρική σταθερά, ϵ_r	65
Ειδική αγωγιμότητα, σ	$1.42 \text{ S}/\text{m}$

Πίνακας 2.2.1-3: Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες αίματος (ερυθρών αιμοσφαιρίων) σε συχνότητα 3GHz και θερμοκρασία 37°C.

2.2.2 Βιοσυμβατότητα

Στην περίπτωση που ένας οργανισμός έρθει σε επαφή με κάποιο «ξένο» υλικό, το θεωρεί απειλή και ξεκινάει την καταπολέμηση του. Το ανοσοποιητικό σύστημα του οργανισμού ενεργοποιείται και προσπαθεί να καταστρέψει τον ξενιστή, με συνέπεια να προκαλούνται φλεγμονές, αλλεργικές αντιδράσεις, πυρετός, κ.α. Παρόλα αυτά, με τη βοήθεια της βιοϊατρικής τεχνολογίας υλικών, έχουν ανακαλυφθεί και σχεδιαστεί υλικά που τα αποδέχεται ο ανθρώπινος οργανισμός, δηλαδή βιοσυμβατά υλικά. Ιστορικά, η αξιολόγηση της βιοσυμβατότητας των ιατροτεχνολογικών προϊόντων και των βιοϋλικών, υπήρξε ένα πολύπλοκο έργο. Η πολυπλοκότητα αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι οι συσκευές κατασκευάζονται από ένα ευρύ φάσμα υλικών και έχουν διάφορες προβλεπόμενες χρήσεις, από την επαφή με το σώμα που κυμαίνεται από την πρόσκαιρη επαφή με το δέρμα μέχρι την επαφή με το αίμα, έως την μόνιμη εμφύτευση μέσα στο σώμα. Η βιοσυμβατότητα ενός υλικού αποδεικνύεται με την εξέταση των υλικών με τη χρήση τοξικολογικών ερευνών όταν αυτά έρθουν σε παροδική ή μόνιμη επαφή με βιολογικούς ιστούς [26].

Ο καθετήρας που σχεδιάστηκε, εισάγεται μέσα σε μια αρτηρία και έρχεται σε επαφή με το αίμα και τα τοιχώματα της αρτηρίας. Οι καθετήρες που εισάγονται για βραχυπρόθεσμη χρήση μέσα σε έναν οργανισμό (λιγότερες από 28 μέρες) είναι εξωτερικά κατασκευασμένοι από πλαστικό (PVC), latex ή πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE) γνωστό και ως Teflon®. Το latex αποτελεί στις μέρες μας μια μη επιθυμητή επιλογή, λόγω της αλλεργίας που έχει αποδειχθεί ότι προκαλείται εξαιτίας της μεγάλης επιφανειακής τριβής με τον ιστό. Στη παρούσα Κεραία-καθετήρα επιλέχθηκε να περικλείεται από ένα στρώμα PTFE (Teflon®) με διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r = 2$.

2.2.3 Ασφάλεια ασθενούς

Οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπινου οργανισμού όταν εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ποικίλουν ανάλογα με την ισχύ και τη συχνότητα του κύματος, καθώς και τον ιστό που προσβάλλει. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί διεθνή πρωτόκολλα που περιορίζουν την έκθεση σε μη ασφαλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τα πρωτόκολλα αυτά, θέτουν όρια στον ρυθμό ειδικής απορρόφησης (Specific Absorption Rate - SAR). Ο SAR ορίζεται ως η ποσότητα απορροφούμενης, μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας ανά μονάδα βιολογικού ιστού και δίνεται από τον τύπο (1). Η επίδραση της ακτινοβολίας καθορίζεται από την ποσότητα της απορροφούμενης ενέργειας μέσα σε ένα υλικό. Στην περίπτωση όμως των βιολογικών ιστών δεν είναι τόσο απλή η διεξαγωγή της επίδρασης, λόγω της πολύπλοκης οργάνωσης της ύλης. Ακόμα και σε επικίνδυνες ακτινοβολίες, δεν είναι εύκολο να καθοριστεί με ακρίβεια η επίδραση στον άνθρωπο, διότι εξαρτάται από το ποια βιομόρια θα απορροφήσουν την ακτινοβολούμενη ενέργεια, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και αυτό είναι αδύνατο να διακριθεί. Ενώ, όπως εξηγήθηκε, δεν μπορεί να υπολογιστεί σε μικροσκοπικό επίπεδο η απορροφούμενη ενέργεια, μακροσκοπικά ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης δίνει ικανοποιητική ακρίβεια για την ενέργεια που απορροφάται από ένα όργανο ή έναν ιστό [27].

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} \quad (1)$$

όπου σ η ηλεκτρική αγωγιμότητα [$S \cdot m^{-1}$], E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου [$V \cdot m^{-1}$], ρ η πυκνότητα του ιστού [$kg \cdot m^{-3}$].

Παρόλο που στη διεθνή βιβλιογραφία έχει γίνει εκτενής μελέτη σχετικά με την επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στους βιολογικούς ιστούς από τα κινητά τηλέφωνα και τις κεραίες τηλεπικοινωνιών, δε συμβαίνει το ίδιο όσον αφορά τις ασύρματες ιατρικές διατάξεις. Έρευνες δείχνουν ότι η μόνη μέθοδος για την εκτίμηση του SAR χωρίς μεγάλο σφάλμα είναι η μέτρηση της αύξησης της θερμοκρασίας εντός του βιολογικού ιστού [27]. Οι δυο παραπάνω προτάσεις υπήρξαν αναγκαίες ώστε η παρούσα διπλωματική εργασία να έχει ως δείκτη ασφάλειας ασθενή την θερμοκρασία στους εγκεφαλικούς ιστούς.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των βιολογικών ιστών επηρεάζουν άμεσα την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας. Παράλληλα οι θερμικές ιδιότητες και η διάχυση της ακτινοβολίας επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας μέσα στον ιστό (σε βάθος). Η μαθηματική μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται εκτενώς για την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση των κλινικών θεραπειών και ιατρικών συσκευών, καθώς και για τη μοντελοποίηση της κατανομής θερμότητας σε βιολογικούς ιστούς. Η εξίσωση δίνεται από τον παρακάτω τύπο (2) [28]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + Q - Q_P \quad (2)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του ιστού [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], C είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], k είναι η θερμική αγωγιμότητα [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] και Q_P είναι οι θερμικές απώλειες εξαιτίας της αιμάτωσης [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη εξίσωση για τις απώλειες της αιμάτωσης είναι η εξίσωση Pennes (Pennes' Bioheat Equation) (3) [28]:

$$Q_P = \rho_{blood} C_{blood} \omega_{blood} (T - T_{blood}) \quad (3)$$

όπου ρ_{blood} η πυκνότητα του αίματος, C_{blood} η ειδική θερμοχωρητικότητα του αίματος, ω_{blood} ο ρυθμός της αιμάτωσης και T_{blood} η θερμοκρασία του αίματος.

Ο παράγοντας Q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$] είναι η κατανεμημένη πηγή θερμότητας που αντιπροσωπεύει την θερμική ενέργεια που παράγεται από κάθε τρόπο όπως η εξωτερική θερμότητα, RF, microwaves, laser κ.α. Στην περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εκφράζεται από τις απώλειες Joule (Joule loss) και δίνεται από τον τύπο (4) [28]:

$$Q = J \cdot E \quad (4)$$

Όπου J είναι η πυκνότητα ρεύματος [$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$] και E το η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να εξαχθούν από τις εξισώσεις Maxwell [28].

Μετά από την επίλυση των εξισώσεων Maxwell, η υπολογισμένη ενέργεια μπορεί να περιγραφεί ως πηγή θερμότητας με την εξής διαμόρφωση [28]:

$$Q = \frac{\sigma}{2} |E|^2 \stackrel{(1)}{\Leftrightarrow} SAR = \frac{Q}{\rho} \quad (5)$$

Κατά αυτό τον τρόπο, ο δείκτης SAR και η Θερμότητα (μεταβολή της θερμοκρασίας), σε ένα βιολογικό ιστό που ακτινοβολείται, συνδέονται άμεσα με τη κάτωθεν σχέση, ως συνέπεια των σχέσεων (2) & (5):

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + \rho(SAR) - Q_P \quad (6)$$

Μια αυξημένη θερμοκρασία οποιασδήποτε αιτίας, επηρεάζει πολλά συστήματα οργάνων του σώματος, μερικές φορές με βλάβη η οποία είναι μη αναστρέψιμη και μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο. Ο εγκέφαλος είναι πολύ ευαίσθητος στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Μια θερμοκρασία 40°C ή μεγαλύτερη σχετίζεται με μακροπρόθεσμη ή μόνιμη νευρολογική βλάβη, που συμβαίνει λόγω κυτταρικών μεταβολών ή κυτταρικό θάνατο. Η μοναδική θεραπεία στην υπερθερμία είναι η άμεση ψύξη της περιοχής και η καθυστέρησή της αυξάνει την πιθανότητα θανάτου δραματικά. Γνωστό είναι, έπειτα από έρευνες, ότι ο στόχος της θεραπείας αυτής είναι η ψύξη κάτω από τους 38.9°C εντός 60 λεπτών [29].

Με βάση αυτών που προαναφέρθηκαν, και με το γεγονός ότι η υψηλή θερμοκρασία θα σκλήρηνε περισσότερο τον θρόμβο, λόγω μετουσίωσης της fibrin πρωτεΐνης, η Κεραία-καθετήρας που σχεδιάστηκε, πρέπει να μην αυξάνει την θερμοκρασία, στα σημεία που ακτινοβολεί, παραπάνω από τους 40°C.

2.3 Θεωρία Κεραιών

Η κεραία είναι διάταξη που χρησιμοποιείται τόσο για την εκπομπή, όσο και για τη λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Κατά τη λήψη το προσπίπτον κύμα επάγει στα αγώγιμα μέρη της κεραίας ηλεκτρικό σήμα (ηλεκτρική ενέργεια) σε μορφή ρεύματος. Οι κεραίες εκπομπής, από την άλλη, μετατρέπουν, μέσω μιας γραμμής μεταφοράς ή ενός κυματοδηγού, το κατευθυνόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε ένα επίπεδο κύμα που διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο. Κάθε τύπος κεραίας έχει κάποιες παραμέτρους οι οποίες χαρακτηρίζουν την κεραία αυτή. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους, οι οποίες είναι αναγκαίες για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση των διατάξεων [30].

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου – Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία είναι συγχρονισμένες ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που διαδίδονται με τη ταχύτητα του φωτός, $c = 299.792.458 \text{ m/s}$, στο κενό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έπειτα από πολλές πρόσφατες έρευνες, το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να αλλάξει την δομή και την κατάσταση διαφόρων βιολογικών μαρκομορίων όπως είναι το DNA και οι πρωτεΐνες. Μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο ασκούνται δυνάμεις (δύναμη Coulomb), που προσελκύουν ή απωθούν ηλεκτρικά φορτία. Οι μονάδες του ηλεκτρικού πεδίου είναι το N/C (Newton/Coulomb) ή το V/m (Volt/meter). Στον ηλεκτρομαγνητισμό το ηλεκτρικό πεδίο, καθώς και το μαγνητικό, περιγράφεται από τις εξισώσεις του Maxwell:

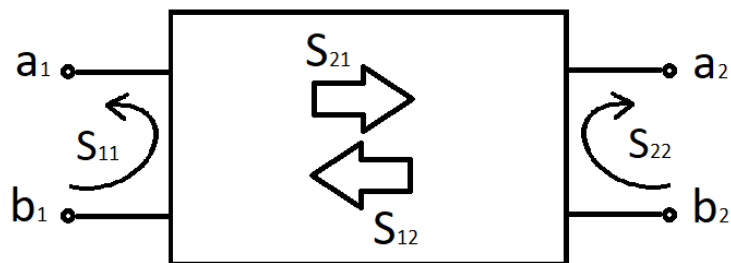
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (8)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (9)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (10)$$

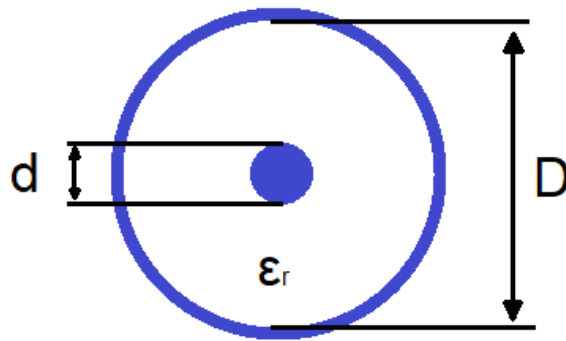
Παράμετροι S – Περιγράφουν την σχέση μεταξύ εισόδου-εξόδου ανάμεσα σε δυο θύρες ενός ηλεκτρικού συστήματος. Για παράδειγμα σε δύο θύρες, η παράμετρος S_{12} περιγράφει την ισχύ που μεταδίδεται από την θύρα 1 στη θύρα 2 και η S_{21} την ισχύ από τη θύρα 2 στη θύρα 1. Στην πράξη, η πιο συχνή παράμετρος που χρησιμοποιείται στις κεραίες είναι η S_{11} . Το S_{11} αντιπροσωπεύει πόση αντανακλάται από την κεραία και επομένως είναι γνωστή ως συντελεστής ανάκλασης (reflection coefficient). Στην ελληνική βιβλιογραφία συμβολίζεται και ως Γ . Αν ο συντελεστής απόσβεσης είναι ίσος με 0 dB, τότε όλη η ενέργεια ανακλάται από την κεραία και δεν ακτινοβολείται τίποτα. Συνεπώς όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής απόσβεσης, τόσο πιο αποδοτικό σχεδιασμό έχει η κεραία [31].



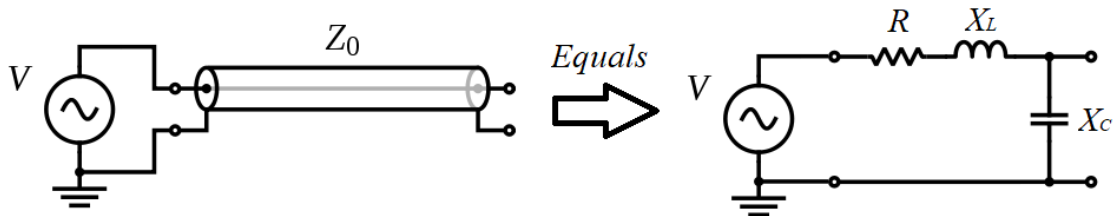
Εικόνα 2.3-1: Οι παράμετροι S σε δίθυρο.

Γραμμές μεταφοράς – Η μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από τη γεννήτρια σήματος σε μια κεραία πραγματοποιείται με διατάξεις που ονομάζονται γραμμές μεταφοράς. Υπάρχουν διάφοροι τύποι γραμμών μεταφοράς που χρησιμοποιούνται ανάλογα την περίπτωση κάθε φορά. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ενσύρματης διάδοσης σημάτων είναι η ύπαρξη ή όχι διαμήκους συνιστώσας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Όταν το μεταδιδόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο δεν έχει διαμήκη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου, η μετάδοση ονομάζεται εγκάρσιου ηλεκτρικού τύπου, TE (Transverse Electric), ενώ όταν στερείται διαμήκους συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου η μετάδοση καλείται εγκάρσια μαγνητικού τύπου, TM (Transverse Magnetic). Επίσης, αν δεν υπάρχουν και οι δυο διαμήκεις συνιστώσες, το μεταδιδόμενο σήμα είναι τύπου TEM (Transverse Electric Magnetic) [31]. Η γραμμή μεταφοράς από τη γεννήτρια σήματος μέχρι την κεραία, δηλαδή ο «κορμός» του καθετήρα, που σχεδιάστηκε, είναι ένα ομοαξονικό καλώδιο (Coaxial Cable). Ένα ομοαξονικό καλώδιο αποτελείται από ένα εσωτερικό αγωγό, περιβαλλόμενο από ένα σωληνοειδές διηλεκτρικό, το οποίο με τη σειρά του περιβάλλεται από σωληνωτό αγωγό. Πολλά ομοαξονικά καλώδια διαθέτουν επίσης εξωτερικά ένα μονωτικό περίβλημα. Τα ομοαξονικά καλώδια μεταδίδουν TEM ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το γεγονός ότι οι ομοαξονικές γραμμές καταλαμβάνουν μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, καθώς επίσης μπορούν να κάμπτονται και να συστρέφονται χωρίς αρνητικές επιπτώσεις, ήταν επαρκές για να επιλεγεί ως γραμμή μεταφοράς της Κεραίας-καθετήρα που σχεδιάστηκε. Η μέγιστη συχνότητα που επιτρέπει μια γραμμή μεταφοράς να διέλθει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα ονομάζεται συχνότητα αποκοπής. Η συχνότητα αποκοπής

εξαρτάται από τις διαστάσεις των αγωγών και από τη διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού και υπολογίζεται προσεγγιστικά από τον τύπο $f_c \approx \frac{2c}{(D+d)\pi\sqrt{\epsilon_r}}$ (11) (Εικόνα 2.3-2). Χαρακτηριστική αντίσταση (Characteristic Impedence) μιας γραμμής μετάδοσης είναι η αναλογία του πλάτους της τάσης και του πλάτους του ρεύματος που διαδίδεται κατά μήκος της γραμμής, δηλαδή χωρίς την αντανάκλασή του. Η χαρακτηριστική αντίσταση Z_o καθορίζεται από τη γεωμετρία και τα υλικά της γραμμής μεταφοράς και αναλύεται σε $Z_o = R + jX = R + j(X_C + X_L)$ (12), όπου X_C η χωρητική και X_L η επαγωγική αντίσταση (Εικόνα 2.3-3). Η χωρητική και επαγωγική αντίσταση υπολογίζονται εύκολα από τη θεωρία των εναλλασσόμενων κυκλωμάτων σύμφωνα με τις σχέσεις: $X_C = \frac{1}{j 2\pi f C}$ (13) και $X_L = j 2\pi f L$ (14). Σε ένα ομοαξονικό καλώδιο, η πραγματική χαρακτηριστική αντίσταση υπολογίζεται από τον τύπο $R = 138 \log_{10} \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \right)$ [Ω] (15), και δεν εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου, ενώ η χωρητικότητα και επαγωγή υπολογίζονται αντίστοιχα από τους τύπους $C_m = \frac{24.127 \epsilon_r}{\log_{10} \left(\frac{D}{d} \right)}$ [pF/m] (16) και $L_m = 460.63 \log_{10} \frac{D}{d}$ [nH/m] (17), οι οποίοι είναι εξαρτώμενες από το μήκος (Εικόνα 2.3-2). Αξίζει να σημειωθεί, ότι η σχέση που περιγράφει τη χαρακτηριστική αντίσταση, καθώς και οι σχέσεις για τη χωρητικότητα και την επαγωγή, είναι εμπειρικές.



Εικόνα 2.3-2: Διατομή ομοαξονικού καλωδίου.

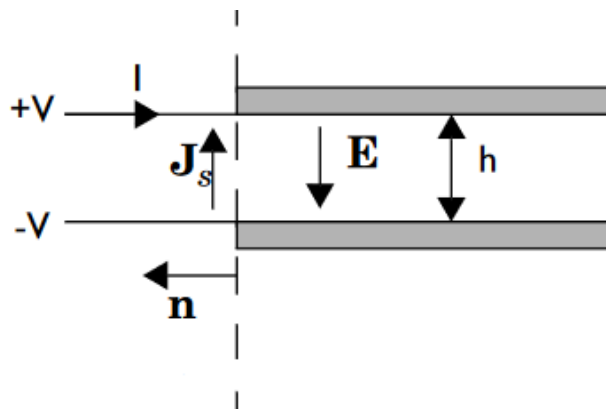


Εικόνα 2.3-3: Αριστερά – Σχηματική αναπαράσταση μιας ομοαξονικής γραμμής μεταφοράς, η οποία παρουσιάζει χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 . Δεξιά – Το ισοδύναμο σχηματικό της ομοαξονικής γραμμής σε ωμικό, χωρητικό και επαγωγικό φορτίο.

Είσοδος γραμμής μεταφοράς – Σύμφωνα με τη θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, ανάμεσα σε δυο αγωγίμες γραμμές μπορεί να δημιουργηθεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, αν τροφοδοτηθούν οι γραμμές αυτές με εναλλασσόμενη τάση. Προϋπόθεση είναι η απόσταση των γραμμών να είναι πολύ μικρότερη από το παραγόμενο μήκος κύματος. Εφικτό είναι επομένως να προσδιοριστεί το ηλεκτρικό πεδίο από την τάση σύμφωνα με τον τύπο (18)

$$V = \int_h \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (18)$$

όπου h είναι η απόσταση των γραμμών.



Εικόνα 2.3-4: Αν εφαρμοσθεί τάση σε δύο αγωγίμες γραμμές, ανάμεσά τους, θα δημιουργηθεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Στο σχήμα φαίνονται οι φορές του ρεύματος, του ηλεκτρικού πεδίου, της χωρικής και επιφανειακής πυκνότητας ρεύματος, σε δοσμένη πολικότητα της τάσης [vii].

Το ρεύμα της γραμμής μπορεί να υπολογιστεί με το νόμο του Ohm (19)

$$I = \frac{V}{Z_o} \quad (19)$$

όπου Z_o είναι η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, που για τις ομοαξονικές γραμμές, όπως προαναφέρθηκε, υπολογίζεται εύκολα από τις σχέσεις (12 -17).

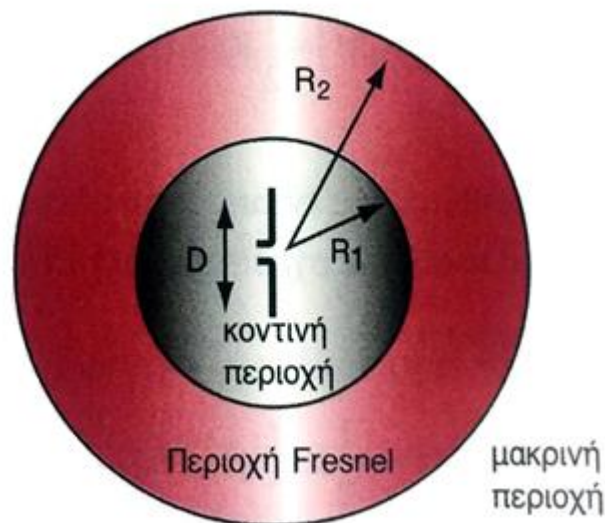
Αντικαθιστώντας τη σχέση (18) στη (19) συνεπάγεται:

$$I = \frac{\int_h \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}}{Z_o} \quad (20)$$

Τέλος η πραγματική ισχύς εισόδου μπορεί να προσδιοριστεί με τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_{in} = \frac{|V|^2}{|Z_o|^2} \cdot R \quad (21)$$

Περιοχές ακτινοβολίας κεραιών – Ο χώρος που περιβάλλει ένα ακτινοβολητή διακρίνεται σε τρεις περιοχές: την κοντινή περιοχή, την περιοχή Fresnel και την μακρινή περιοχή [31].



Εικόνα 2.3-5: Περιοχές ακτινοβολίας κεραιών.

Η περιοχή κοντινού πεδίου (near field) είναι η περιοχή όπου το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εμφανίζει άεργη συμπεριφορά, δηλαδή κυριαρχεί το αντιδραστικό πεδίο και η πεδιακή κατανομή εξαρτάται από την απόσταση από την κεραία . Η περιοχή αυτή περιορίζεται χωρικά στο εσωτερικό σφαίρας με ακτίνα [31],

$$R_1 = \sqrt{0.62 \left(\frac{D^3}{\lambda}\right)} \quad (22) ,$$

όταν η μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας είναι μεγαλύτερη από το μισό του μήκους κύματος δηλαδή $D > \lambda/2$. Για πολύ μικρά δίπολα ή ισοδύναμους ακτινοβολητές (δηλαδή όταν $D < \lambda/2$), θεωρείται ότι το εξωτερικό όριο απέχει απόσταση από την επιφάνεια της κεραίας [32]

$$R_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (23)$$

Η περιοχή Fresnel είναι ενδιάμεση μεταξύ της περιοχής κοντινού και της περιοχής μακρινού πεδίου μιας κεραίας. Στην περιοχή αυτή, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εμφανίζει συμπεριφορά ακτινοβολίας αλλά οι εγκάρσιες συνιστώσες του διατηρούν και ακτινική εξάρτηση . Η περιοχή Fresnel εκτείνεται στο χώρο που περιορίζεται από τις σφαίρες με ακτίνες R_1 , και R_2 που περιβάλλουν την κεραία, όπου

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (24)$$

Στην περίπτωση κεραιών με μικρές διαστάσεις ($D < \lambda/2$) σε σχέση με το μήκος κύματος λειτουργίας, η περιοχή Fresnel δεν υπάρχει. Άρα στην περίπτωση αυτή $R_1 = R_2$ [31][32].

Η περιοχή μακρινού πεδίου (far field) έχει ως χαρακτηριστικό την ανεξαρτησία των εγκάρσιων συνιστωσών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από την ακτινική συνιστώσα. Η περιοχή αυτή εκτείνεται σε αποστάσεις από την κεραία μεγαλύτερες από R_2 [31][32].

Η σχέση μεταξύ της εκπεμπόμενης ισχύος (P_{RX}) και της ισχύος λήψης (P_{TX}), σε μια σύνδεση RF (radio frequency, 20KHz – 300GHz) **στο μακρινό πεδίο**, δίνεται από το νόμο του Friis (Friis's Law, απώλειες διάδοσης) [33].

$$Path\ loss = \frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \frac{G_{TX}G_{RX}\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{G_{TX}G_{RX}}{4} \frac{1}{(kd)^2} \quad (25),$$

όπου G_{TX} το κέρδος της κεραίας εκπομπής, G_{RX} το κέρδος της κεραίας λήψης, λ το μήκος κύματος, $k = 2\pi/\lambda$ ο κυματαριθμός και d η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών. Με άλλα λόγια, η ισχύς του μακρινού πεδίου, μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των δύο κεραιών (ο όρος $1/d^2$).

Από την άλλη, η ισχύς του κοντινού πεδίου μεταβάλλεται με πιο γρήγορο ρυθμό, και συνήθως αντίστροφα με τη τέταρτη δύναμη της απόστασης ή μεγαλύτερη ($1/d^4$). Τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία συμπεριφέρονται διαφορετικά στο κοντινό πεδίο και για το λόγο αυτό απαιτούνται διαφορετικές σχέσεις για την περιγραφή των απωλειών διάδοσης [34].

Οι απώλειες διάδοσης σε ζεύξη στο κοντινό πεδίο, για την ηλεκτρική συνιστώσα του σήματος είναι:

$$Path\ loss(E) = \frac{P_{RX(E)}}{P_{TX}} = \frac{G_{TX}G_{RX(E)}}{4} \left(\frac{1}{(kd)^2} - \frac{1}{(kd)^4} + \frac{1}{(kd)^6} \right) \quad (26),$$

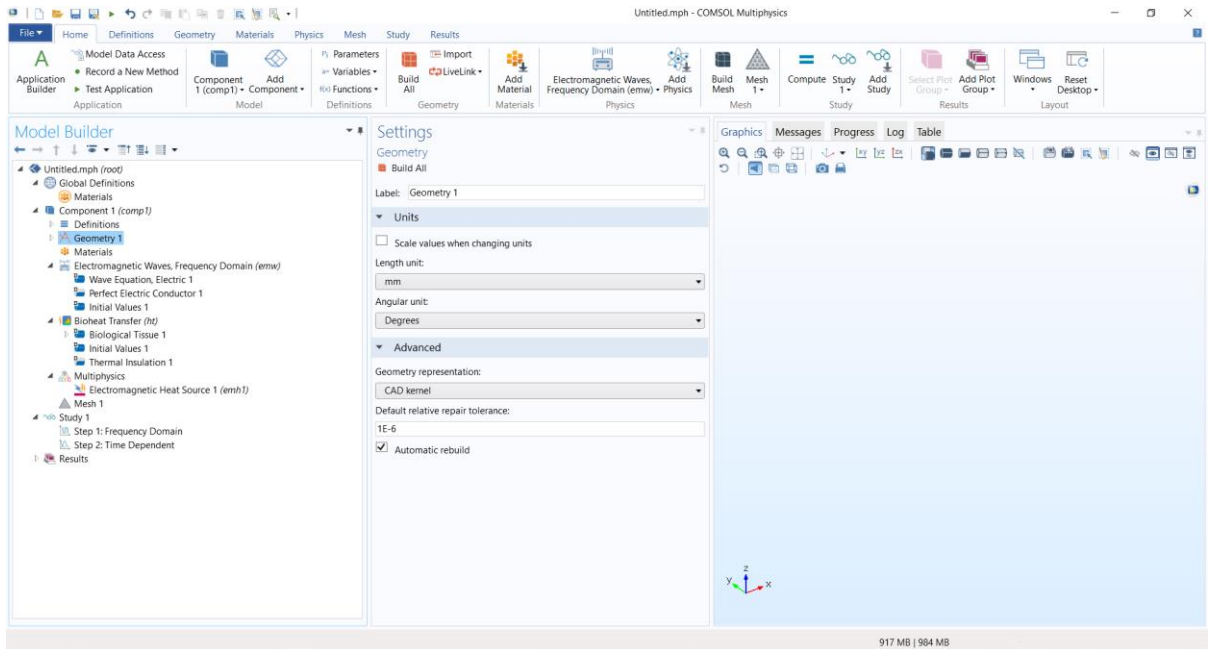
ενώ για τη μαγνητική συνιστώσα:

$$Path\ loss(H) = \frac{P_{RX(H)}}{P_{TX}} = \frac{G_{TX}G_{RX(H)}}{4} \left(\frac{1}{(kd)^2} + \frac{1}{(kd)^4} \right) \quad (27)$$

Συνεπάγεται επομένως, ότι η διαθέσιμη ισχύς σε μια ζεύξη κοντινού πεδίου θα τείνει να είναι πολύ υψηλότερη από ότι θα προβλεφθεί από τη συνηθισμένη σχέση μακρινού πεδίου, του νόμου του Friis [34].

2.4 Το περιβάλλον Comsol Multiphysics®

Το Comsol Multiphysics είναι ένα λογισμικό πολλαπλών πλατφορμών (cross-platform) με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, προσομοιωτή (solver), και πολλών τομέων της φυσικής. Επιτρέπει στον χρήστη διασυνδέσεις μεταξύ διαφόρων φυσικών νόμων και τη σύζευξη συστημάτων διαφορικών εξισώσεων. Το Comsol δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης σε μονοδιάστατη έως τρισδιάστατη εφαρμογή. Είναι σχεδιασμένο για ηλεκτρομαγνητικές, ηλεκτρικές, μηχανικές, χημικές εφαρμογές κ.α. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η φυσική του ηλεκτρομαγνητισμού, σε συνδυασμό με τη μεταφορά θερμότητας στους γύρω βιολογικούς ιστούς. Το πολυ-φυσικό αυτό σύστημα καλείται ηλεκτρομαγνητική πηγή θερμότητας. Τόσο τα μοντέλα όσο και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έχουν σχεδιαστεί και εξαχθεί με το Comsol [vii].

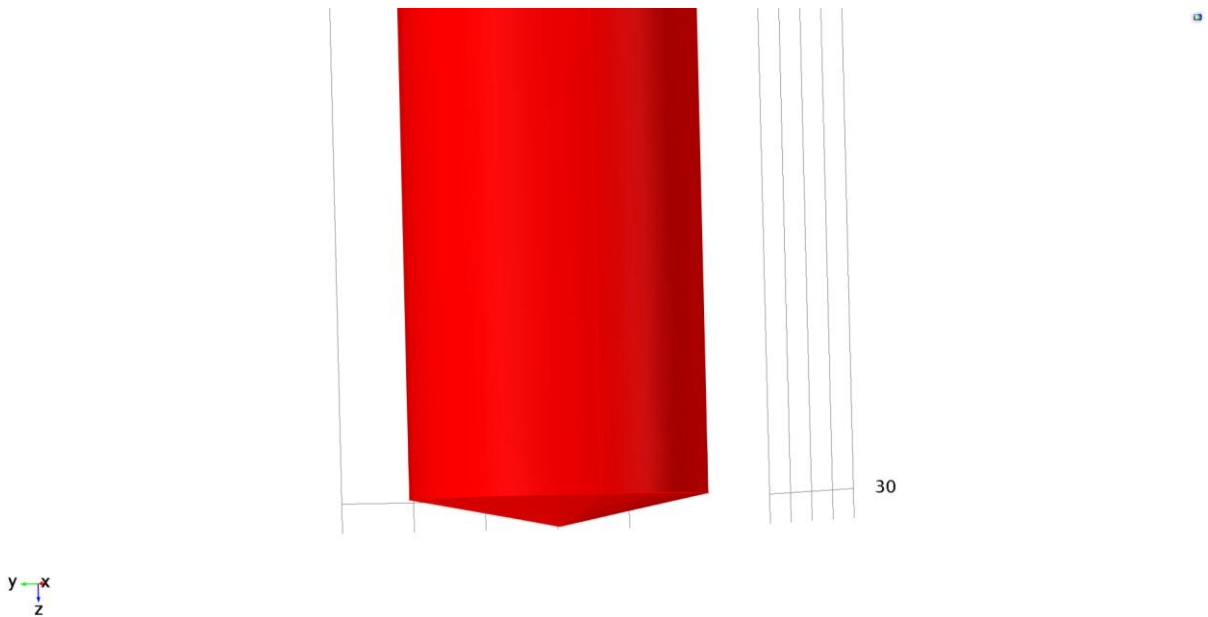


Εικόνα 2.4-1: Το περιβάλλον Comsol Multiphysics®. Στο σχήμα παρουσιάζονται τα δύο physics και studies που χρησιμοποιήθηκαν.

2.5 Σχεδίαση Κεραίας-καθετήρα και γύρω ιστών

Σχεδίαση καθετήρα

Υλικά – Ο καθετήρας, όπως προαναφέρθηκε, είναι στην ουσία ένα ομοαξονικό καλώδιο. Στον εσωτερικό και εξωτερικό αγωγό χρησιμοποιήθηκε χαλκός, αφού πολύ μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, με μικρή αντίσταση, εύκαμπτο και πολύ χαμηλού κόστους. Για το διηλεκτρικό χρησιμοποιήθηκε πολυαιθυλένιο (polyethylene, PE), πολύ συνηθισμένο υλικό στα ομοαξονικά καλώδια, με διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r = 2.3$. Η ολική διάταξη, εσωτερικός, εξωτερικός αγωγός και διηλεκτρικό, περικλείεται από ένα προστατευτικό - βιοσυμβατό υλικό, το PTFE (Teflon®), με διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r = 2$. Στην μια άκρη του καθετήρα-καλωδίου προσαρμόζεται το σήμα, ενώ στην άλλη άκρη, δηλαδή αυτή που θα ακτινοβολεί τον θρόμβο, τοποθετείται ένας συμπαγής κώνος από PTFE (Εικόνα 2.5-1).



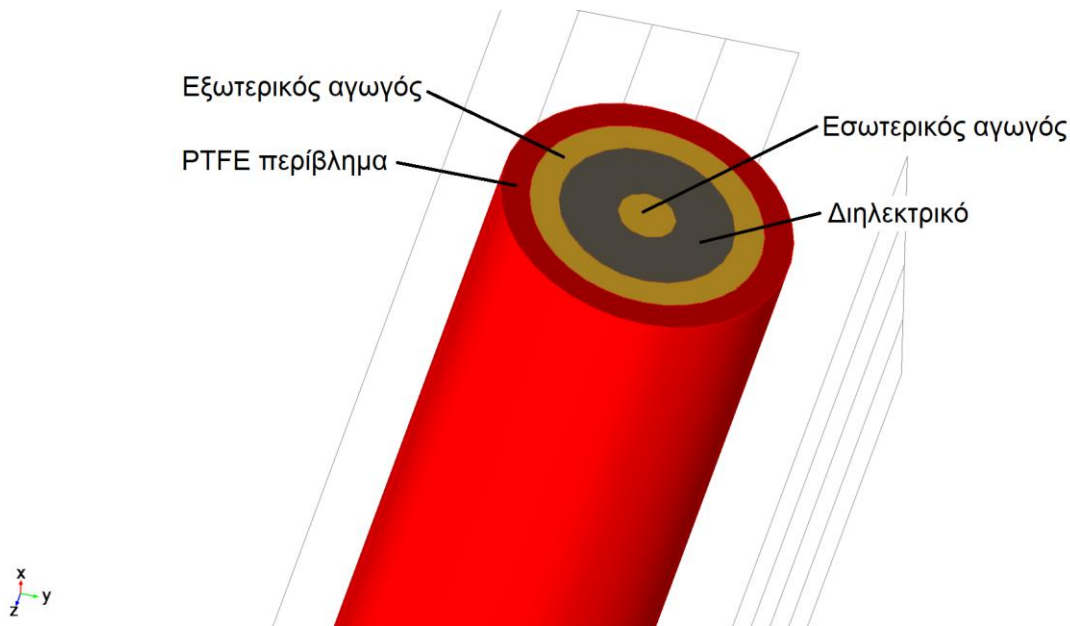
Εικόνα 2.5-1: Κάτω άκρη (μύτη) του καθετήρα. Από αυτό το σημείο εκπέμπεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Διαστάσεις – Ο καθετήρας έχει κυλινδρική μορφή, με διάμετρο 2mm και προσομοιώθηκε για λόγους πολυπλοκότητας με μήκος 30mm. Στον πίνακα 2.5-1 παρουσιάζονται οι διαστάσεις-αποστάσεις των υλικών του καθετήρα που το απαρτίζει.

Εσωτερικός αγωγός	0.2mm ακτίνα
Διηλεκτρικό	Απέχει 0.4mm από τον εσωτερικό αγωγό
Εξωτερικός αγωγός	Απέχει 0.2mm από το διηλεκτρικό
PTFE περίβλημα	Απέχει 0.2mm από τον εξωτερικό αγωγό
PTFE κώνος	1mm ακτίνα, 0.2mm ύψος

Πίνακας 2.5-1: Διαστάσεις και αποστάσεις μεταξύ των υλικών του καθετήρα.

Ο εσωτερικός αγωγός έχει κυλινδρική μορφή και μήκος 30mm. Το διηλεκτρικό, ο εξωτερικός αγωγός και το περίβλημα έχουν σωληνοειδή μορφή και μήκος 30mm.



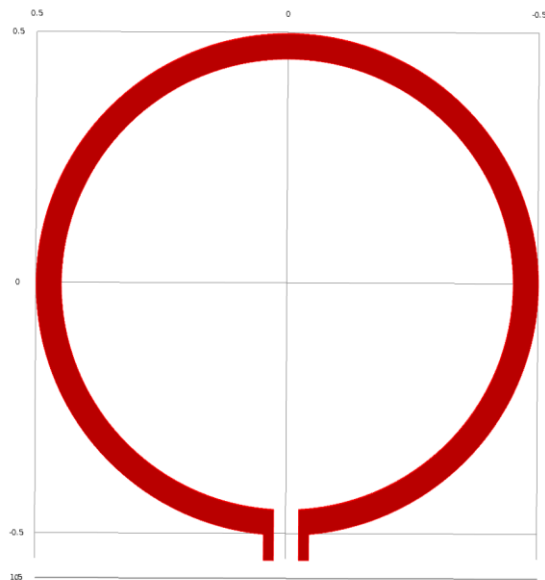
Εικόνα 2.5-2: Διατομή του καθετήρα με τα εσωτερικά του στοιχεία (εσωτερικός και εξωτερικός αγωγός, διηλεκτρικό, περίβλημα PTFE).

Συχνότητα αποκοπής και χαρακτηριστική αντίσταση – Η συχνότητα αποκοπής με βάση τη σχέση (11) υπολογίζεται για τον εν λόγω καθετήρα $f_c = 78.6 \text{ GHz}$. Από τη σχέση (15) βρίσκεται ότι η πραγματική χαρακτηριστική αντίσταση είναι $R = 43.4 \ \Omega$, ενώ από τις (16) & (17) και για μήκος 30mm υπολογίζεται ότι η χωρητικότητα του καθετήρα είναι $C = 3.49 \text{ pF}$ και η επαγωγή του $L = 6.59 \text{ nH}$. Με τη βοήθεια, συνεπώς, των σχέσεων (12 – 14) και του γεγονότος ότι η συχνότητα του σήματος εισόδου των Κεραιών-καθετήρων που σχεδιάστηκαν είναι στα 3 GHz, όπως αναλύεται στη παράγραφο 3.2, η μιγαδική χαρακτηριστική αντίσταση είναι $Z_o = 43.4 + j 108.95 \ \Omega$.

Σχεδίαση διαφόρων κεραιών

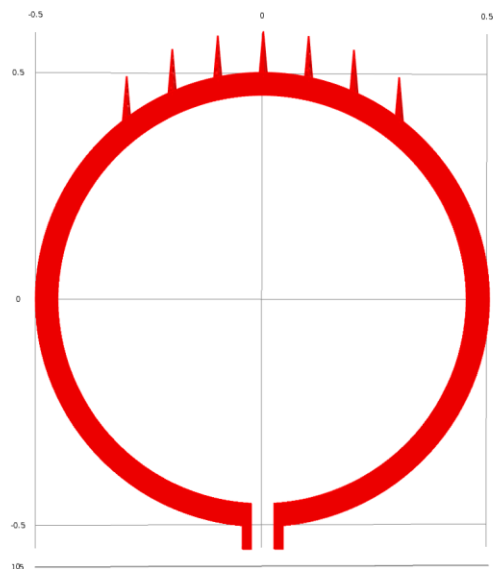
Παρακάτω παρουσιάζονται πέντε κεραιές που σχεδιάστηκαν, εισάχθηκαν μέσα στον καθετήρα και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματά τους κατά την προσομοίωση. Και οι πέντε κεραιές είναι κατασκευασμένες από χαλκό, απέχουν 0.15mm-0.2mm από τη βάση του κώνου-μύτη του καθετήρα και έχουν μεγαλύτερη διάσταση περίπου το 1mm. Συνεπώς, για την τοποθέτηση των κεραιών αυτών το διηλεκτρικό, ο εξωτερικός αγωγός και το βιοσυμβατό περίβλημα επεκτάθηκαν κατά 1.15mm και οι κεραιές συνδέθηκαν στο τέλος του εσωτερικού αγωγού. Με την τεχνική αυτή είναι φανερό ότι και οι πέντε κεραιές σχεδιάστηκαν ως μονόπολες κεραιές (monopole antennas), με τον εξωτερικό αγωγό να θωρακίζει το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται οι παράπλευροι λοβοί ακτινοβολίας όπου στοχεύουν στα τοιχώματα της αρτηρίας και στον εγκέφαλο (υγιείς ιστούς).

Μικρός κυκλικός βρόχος – 0.5mm ακτίνα, πάχος 0.02mm (Εικόνα 2.5-3).



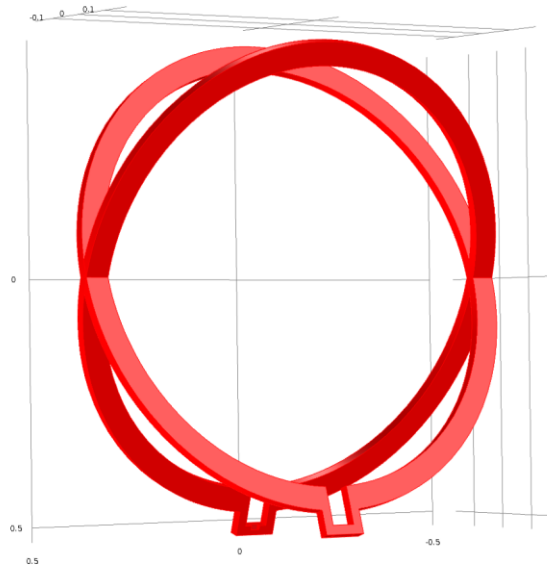
Εικόνα 2.5-3: Μικρός κυκλικός βρόχος (Small Circular Loop).

Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές – Ακτίνα 0.5mm, πάχος 0.02mm. Στο κάτω άκρο της κεραίας έχουν προστεθεί 7 αιχμές (spikes) κωνικού σχήματος ύψους 0.1mm και ακτίνα βάσης 0.01mm. Κάθε αιχμή απέχει από την άλλη 0.1mm. (Εικόνα 2.5-4).



Εικόνα 2.5-4: Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές (Small Circular Loop with spikes).

Δύο κεραίες μικρού κυκλικού βρόχου τεμνόμενες διαμετρικά υπό γωνία 30 μοιρών – Και οι δύο κεραίες έχουν ακτίνα 0.5mm, πάχος 0.02mm (Εικόνα 2.5-5).



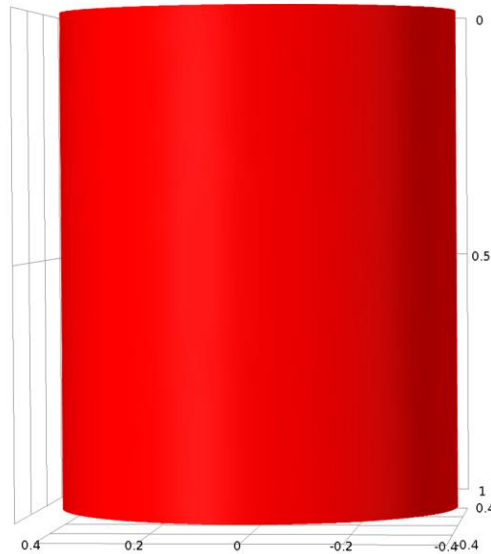
Εικόνα 2.5-5: Δυο κεραίες μικρού κυκλικού βρόχου τεμνόμενες διαμετρικά υπό γωνία 30 μοιρών (Double Small Circular Loop antennas with 30 degree angle).

Κωνική χοανοκεραία – Ύψος 1mm, ακτίνα μικρής βάσης 0.2mm, ακτίνα μεγάλης βάσης 0.5mm, πάχος 0.2mm (Εικόνα 2.5-6).



Εικόνα 2.5-6: Κωνική χοανοκεραία (Conical Horn Antenna).

Γραμμική κεραία – Ύψος 1mm, ακτίνα 0.4mm, συμπαγής στο εσωτερικό της (Εικόνα 2.5-7).

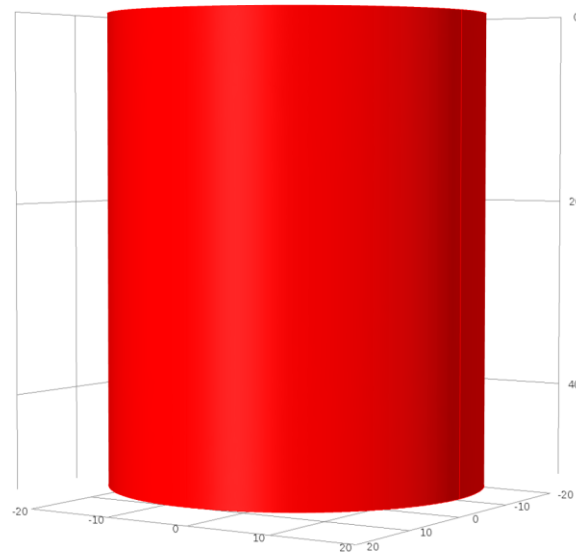


Εικόνα 2.5-7: Γραμμική κεραία (Linear Antenna).

Σχεδίαση βιολογικών ιστών

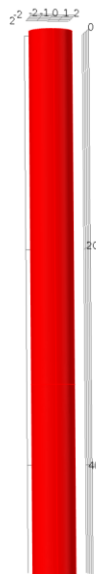
Ο εγκέφαλος σχεδιάστηκε με κυλινδρικό σχήμα για λόγους διευκόλυνσης στη προσομοίωση, καθώς και η αρτηρία, όπου μέσα σ' αυτή έχει σχεδιαστεί η Κεραία-καθετήρας. Ο θρόμβος έχει ελλειψοειδές σχήμα, καταλαμβάνει όλο το πάχος της αρτηρίας στη περιοχή που βρίσκεται και τοποθετείται σε απόσταση 0.5mm από τη μύτη του καθετήρα. Στους βιολογικούς ιστούς έχουν δοθεί οι ιδιότητες που έχουν αναλυθεί στη υποενότητα 2.2.1 .

Εγκέφαλος – Ύψος 50mm, ακτίνα 20mm (Εικόνα 2.5-8) .



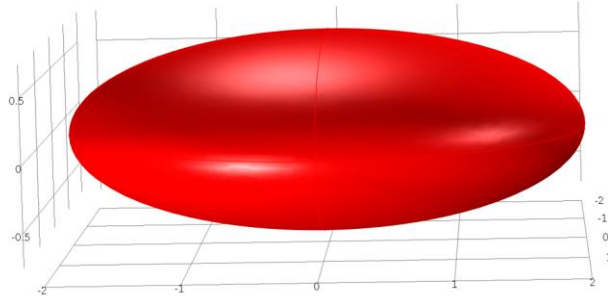
Εικόνα 2.5-8: 3D Μοντέλο Εγκεφάλου.

Αρτηρία – Ύψος 50mm, ακτίνα 2mm (Εικόνα 2.5-9).



Εικόνα 2.5-9: 3D Μοντέλο αρτηρίας

Θρόμβος – Ο a και b ημιάξονας είναι 2mm και ο c είναι 0.75mm (Εικόνα 2.5-10).



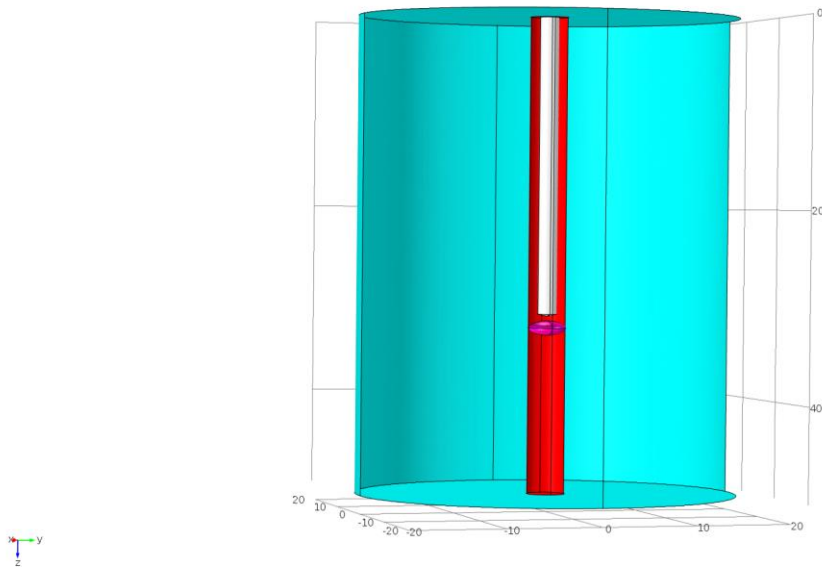
Εικόνα 2.5-10: 3D Μοντέλο θρόμβου.

2.6 Τελικά μοντέλα

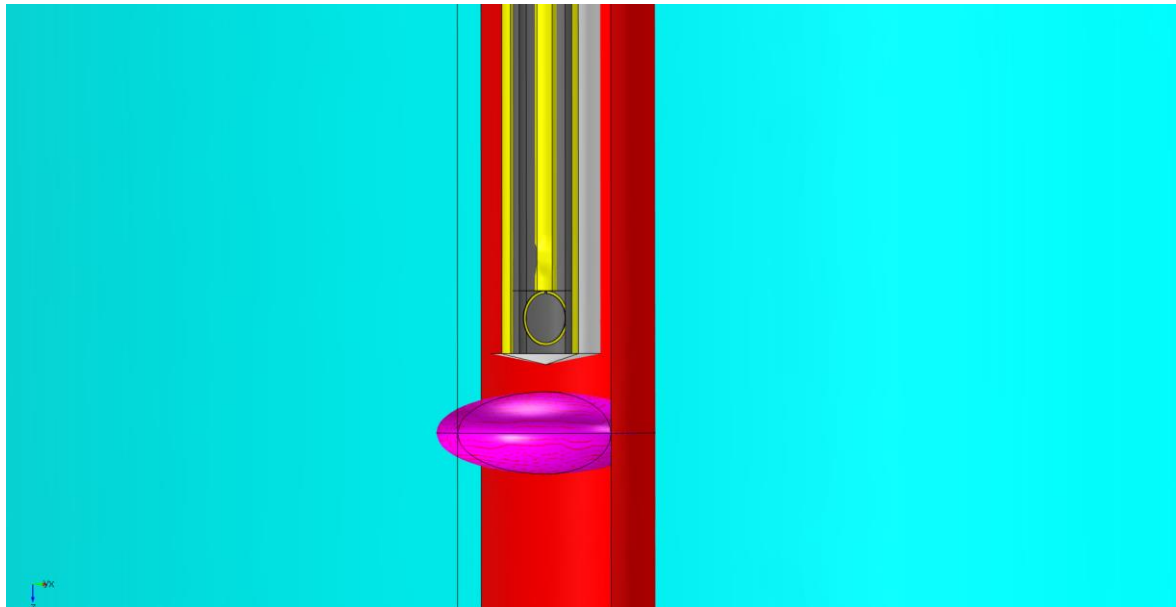
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το τελικό 3D μοντέλο με τον εγκέφαλο, την αρτηρία, τον θρόμβο και τον καθετήρα (Εικόνα 2.6-1). Στη συνέχεια επίσης παρουσιάζονται τα τελικά 3D μοντέλα των πέντε διαφορετικών καθετήρων-κεραιών, δηλαδή απεικονίζονται οι πέντε κεραίες, προσδεμένες στον εσωτερικό αγωγό του καθετήρα, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.5 (Εικόνες 2.6-2 – 2.6-5).

Το κάθε υλικό του καθετήρα, καθώς και ο κάθε βιολογικός ιστός αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα:

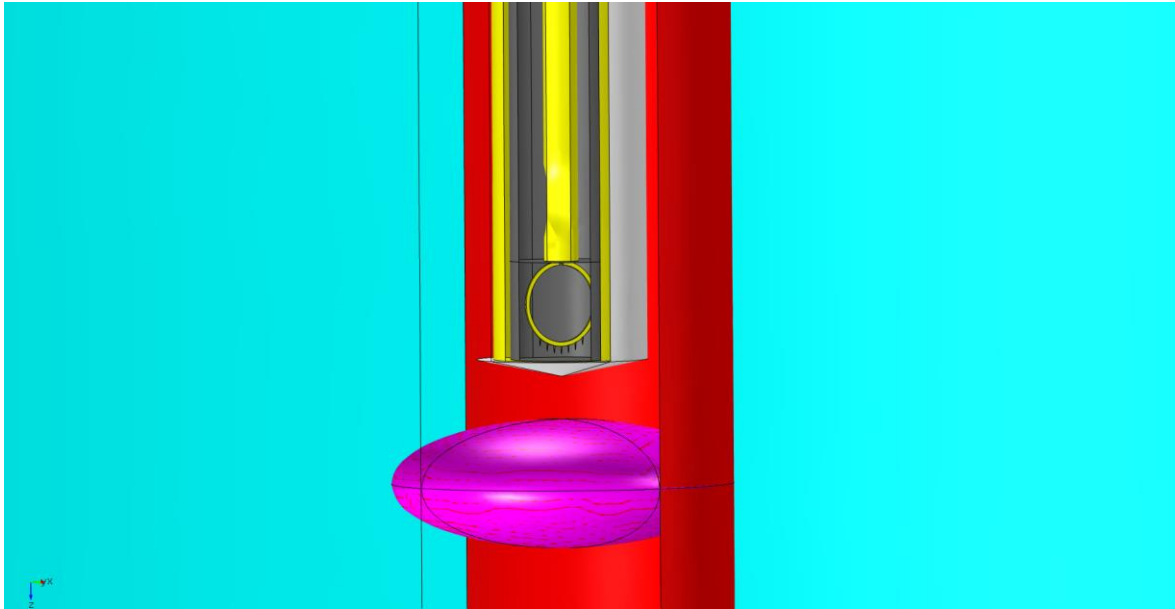
- Εγκέφαλος - γαλάζιο
- Αρτηρία – κόκκινο
- Θρόμβος - ροζ
- PTFE περίβλημα & κωνική μύτη - λευκό
- Διηλεκτρικό - γκρι
- Εσωτερικός, εξωτερικός αγωγός & κεραία -κίτρινο



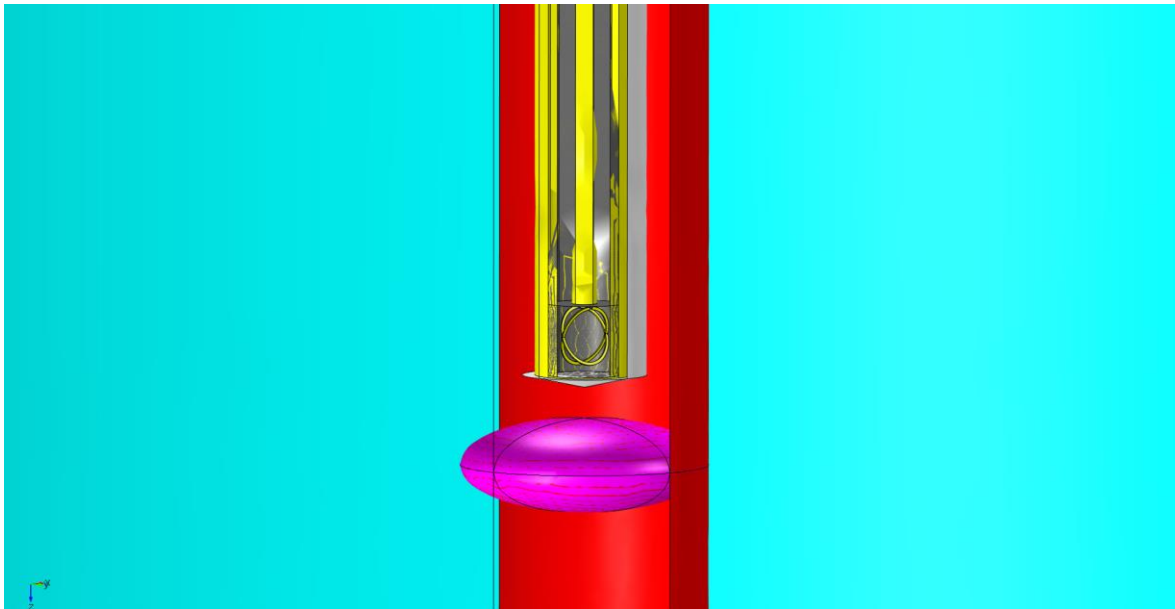
Εικόνα 2.6-1: Τελικό 3D μοντέλο που αναπαριστά τον εγκέφαλο, την αρτηρία, τον θρόμβο, και τον καθετήρα.



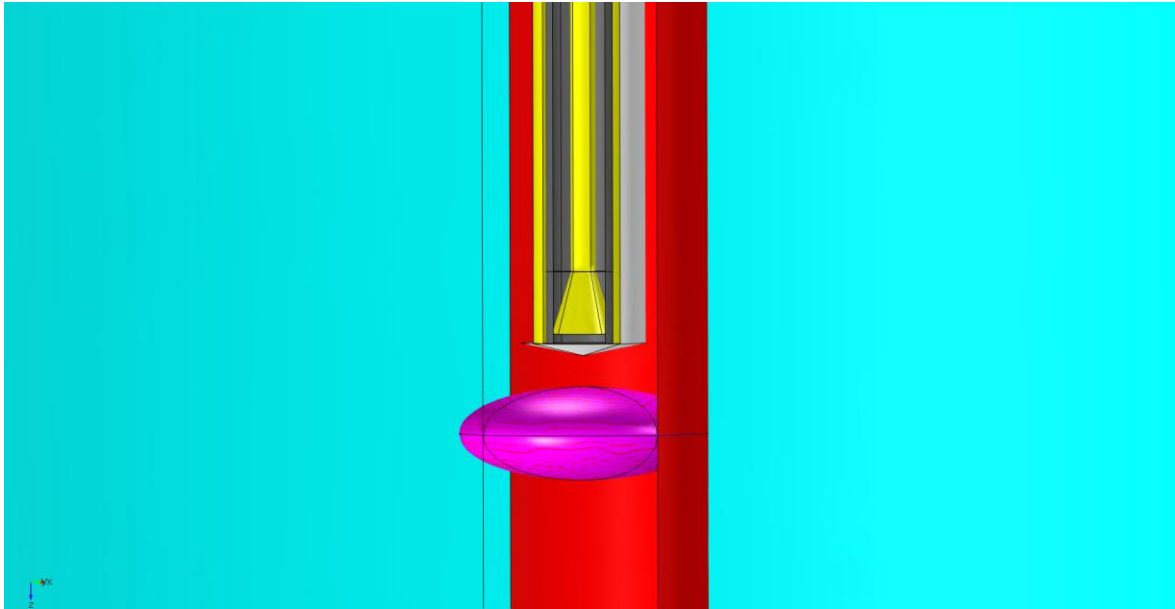
Εικόνα 2.6-2: 3D μοντέλο του μικρού κυκλικού βρόχου, που είναι προσδεμένος στον εσωτερικό αγωγό.



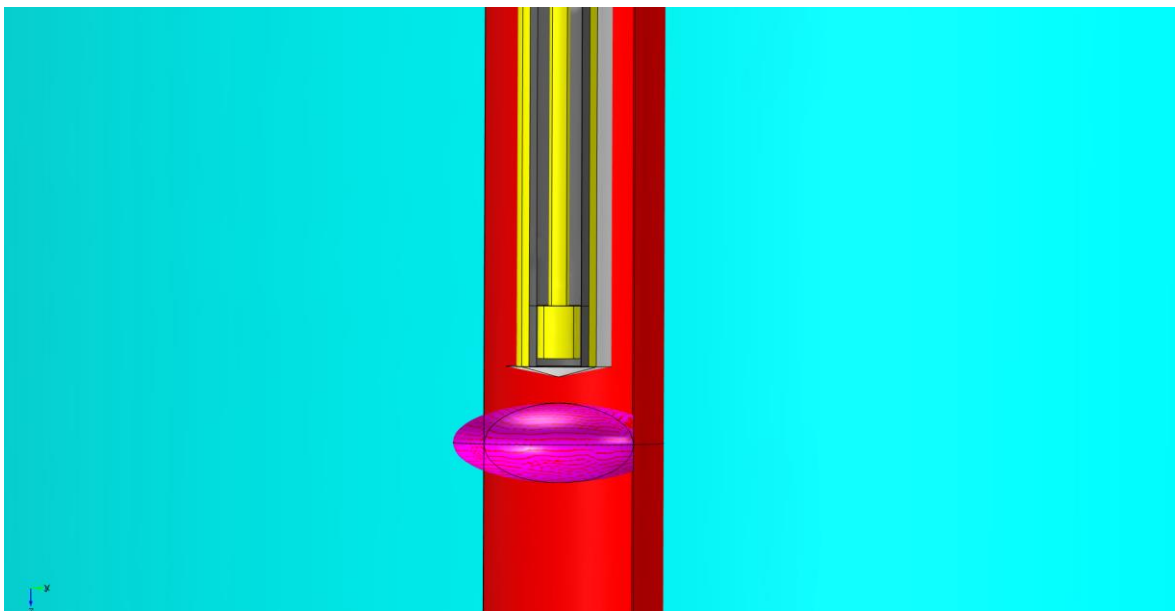
Εικόνα 2.6-3: 3D μοντέλο του μικρού κυκλικού βρόχου με αιχμές, που είναι προσδεμένος στον εσωτερικό αγωγό.



Εικόνα 2.6-4: 3D μοντέλο της διπλής κεραίας μικρού κυκλικού βρόχου υπό γωνία 30 μοιρών, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.

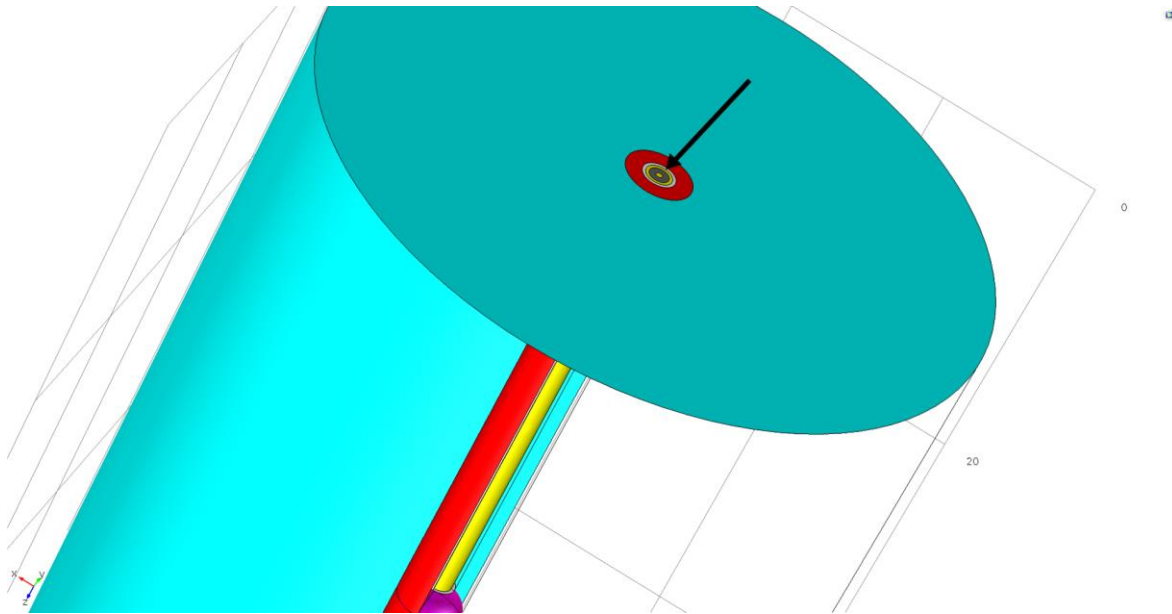


Εικόνα 2.6-5: 3D μοντέλο της κωνικής χοανοκεραίας, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.



Εικόνα 2.6-6: 3D μοντέλο της γραμμικής κεραίας, που είναι προσδεμένη στον εσωτερικό αγωγό.

Ακόμη δίνεται στην Εικόνα 2.6-7 (με το μαύρο βέλος) η πάνω άκρη της Κεραίας-καθετήρα, στην οποία γίνεται η τροφοδοσία του σήματος.



Εικόνα 2.6-7: Η τροφοδοτούμενη άκρη της Κεραίας-καθετήρα.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

3.1 Σημαντικές παράμετροι

Μέχρι σήμερα, πλήθος ερευνών έχουν διεξαχθεί, για τη μελέτη της επίδρασης των μικροκυματικών συχνοτήτων στις πρωτεΐνες. Θετικά αποτελέσματα, φέρουν πολλές, στην αποικοδόμηση διαφόρων πρωτεϊνικών αλυσίδων, με τη χρήση μικροκυμάτων, καθώς επίσης και στο γεγονός ότι τα μικροκύματα επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις (microwave chemistry). Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας παγκοσμίως, που σχετίζεται με βιοϊατρικές εφαρμογές με τη χρήση μικροκυμάτων, αναφέρεται στις συχνότητες 1 έως 5 GHz, εξαιτίας της ευκολίας στην παραγωγή τους (φούρνοι μικροκυμάτων). Για το λόγο αυτό, στην επόμενη ενότητα αναλύεται η παράμετρος S_{11} , ανάμεσα στις συχνότητες αυτές, και στα πέντε μοντέλα, για την εύρεση της βέλτιστης συχνότητας λειτουργίας των Κεραίων-καθετήρων που σχεδιάστηκαν. Ακόμη, η εύρεση της συχνότητας που θα λειτουργεί η Κεραία-καθετήρας, θα καθορίσει την περιοχή ακτινοβολίας που θα βρίσκεται ο θρόμβος (κοντινό - μακρινό πεδίο).

Σημείο αναφοράς για την είσοδο δίνονται τα 10 watt ισχύος, καθώς η ισχύς αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για παρόμοιο καθετήρα, στη θεραπεία του καρκίνου στο συκώτι [34]. Με βάση αυτά που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.3, και οι πέντε Κεραίες-καθετήρες προσομοιώθηκαν με ισχύ εισόδου $P_{in} = 10 \text{ W}$. Από τη σχέση (21), για χαρακτηριστική αντίσταση $Z_o = 43.4 + j 108.95 \Omega$, υπολογίζεται περίπου η τάση εισόδου $V = 56.23 \angle 0^\circ \text{ V}$, και το ρεύμα εισόδου από τον νόμο του Ohm (σχέση 19) υπολογίζεται $I = 0.48 \angle -68.26^\circ \text{ A}$.

Σημαντικοί επίσης να αναφερθούν, είναι οι παράμετροι για τη μεταφορά θερμότητας στους ιστούς. Ολόκληρο το μοντέλο που σχεδιάστηκε, είναι τμήμα του ανθρώπινου οργανισμού, επομένως βρίσκεται σε θερμοκρασία 37°C και πίεση 1 ατμόσφαιρα. Κατά την ακτινοβολήση, μεταφέρεται ενέργεια στους ιστούς, αναγκάζοντας τα μόρια να αυξήσουν τη κινητική τους ενέργεια, που συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας (σχέσεις 2 & 4). Παρόλα αυτά, η αδιάκοπη αιματική ροή στους βιολογικούς ιστούς, μειώνει μια τοπική αύξηση της θερμοκρασίας, αφού το αίμα διατηρεί τη σταθερή θερμοκρασία των 37°C . Μαθηματικά αυτό εκφράζεται με την εξίσωση Pennes (σχέση 3), όπου για την προσομοίωση χρειάστηκε ο ρυθμός της αιμάτωσης, που ορίστηκε $\omega_{\text{blood}} = 3.6 \cdot 10^3 \text{ 1/s}$.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι όταν σε ένα σώμα προσδίδεται θερμότητα, κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία του αυξάνεται, έως να φτάσει σε θερμική ισορροπία. Στις προσομοιώσεις, επιλέχθηκε ο υπολογισμός της θερμοκρασίας για τις χρονικές στιγμές: 1s αμέσως μετά την εφαρμογή του σήματος έως 60s, με βήμα 1s.

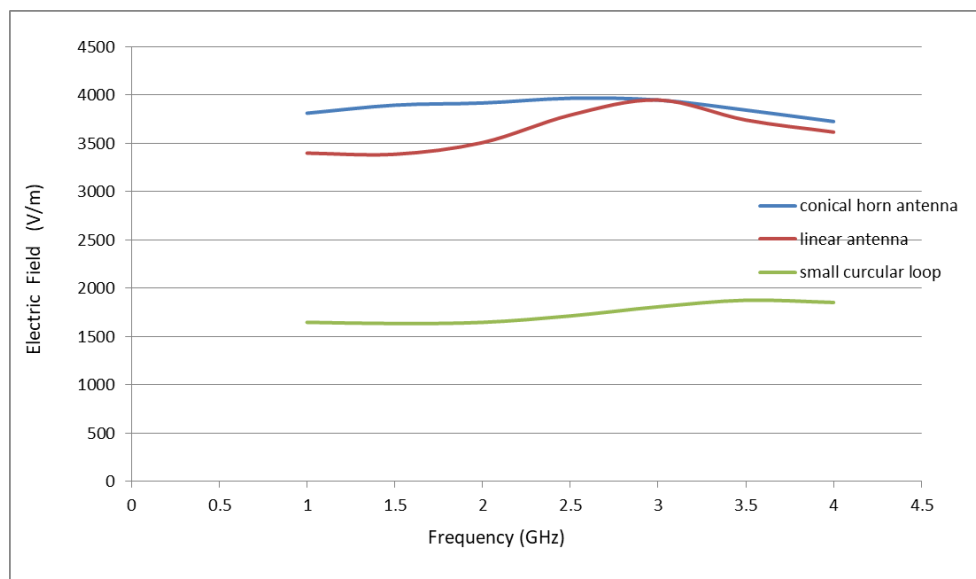
3.2 Εύρεση της βέλτιστης Συχνότητας

Για την εύρεση της βέλτιστης συχνότητας, αρχικά προσομοιώθηκαν για τρεις Κεραίες-καθετήρες, το ηλεκτρικό πεδίο συναρτήσε ενός εύρους συχνοτήτων 1-4 GHz, με σταθερή ισχύ εισόδου τα 10 W , αναζητώντας τη συχνότητα που το ηλεκτρικό πεδίο θα μεγιστοποιείται. Οι τρεις Κεραίες είναι: ο μικρός κυκλικός βρόχος, η κωνική χανοκεραία και η γραμμική κεραία, και δεν προσομοιώθηκαν οι υπόλοιπες λόγω της

υψηλής υπολογιστικής ισχύος που απαιτούν. Παρακάτω παρουσιάζεται και για τις τρεις Κεραίες-καθετήρες, ο πίνακας με την αντιστοιχία συχνότητας-ηλεκτρικού πεδίου, όταν αυτό λαμβάνεται στη μύτη του καθετήρα, καθώς και η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων.

Συχνότητα (GHz)	Ηλεκτρικό πεδίο (V/m) στη μύτη του καθετήρα με Κεραία την/τον:		
	Κωνική χοανοκεραία	Γραμμική κεραία	Μικρός κυκλικός βρόχος
1.0	3813.5	3400.0	1648.8
1.5	3896.3	3388.2	1636.6
2.0	3918.6	3508.7	1648.2
2.5	3967.7	3793.7	1714.8
3.0	3949.9	3949.7	1809.6
3.5	3845.4	3742.5	1877.4
4.0	3727.2	3617.9	1854.2

Πίνακας 3.2-1: Πίνακας του ηλεκτρικού πεδίου συναρτήσει της συχνότητας, από 1 έως 4 GHz με βήμα 0.5 GHz, στη μύτη του καθετήρα με Κεραίες την κωνική χοανοκεραία, τη γραμμική κεραία και το μικρό κυκλικό βρόχο, με 10 W ισχύ εισόδου σε όλες τις περιπτώσεις.

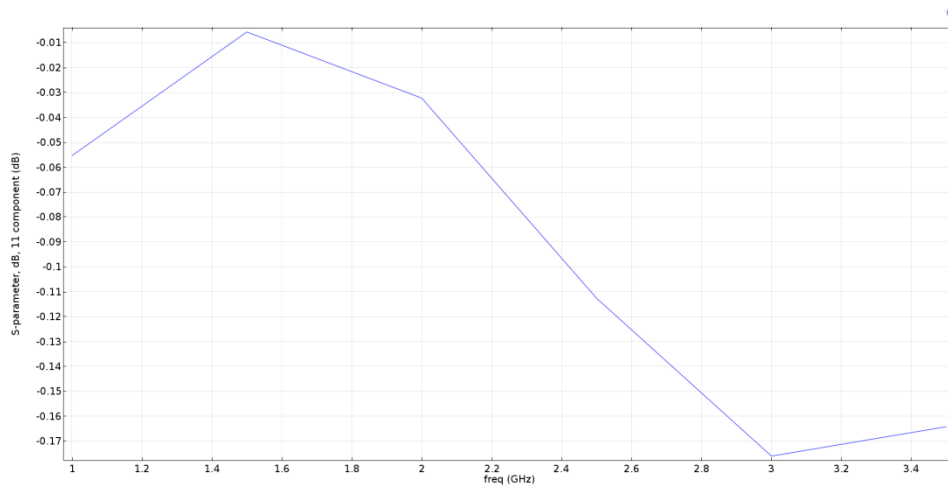


Εικόνα 3.2-1: Γραφική παράσταση του ηλεκτρικού πεδίου στη μύτη του καθετήρα συναρτήσει της συχνότητας, για τους καθετήρες με: την κωνική χοανοκεραία, τη γραμμική κεραία και το μικρό κυκλικό βρόχο, όταν τροφοδοτούνται με ισχύ εισόδου 10W.

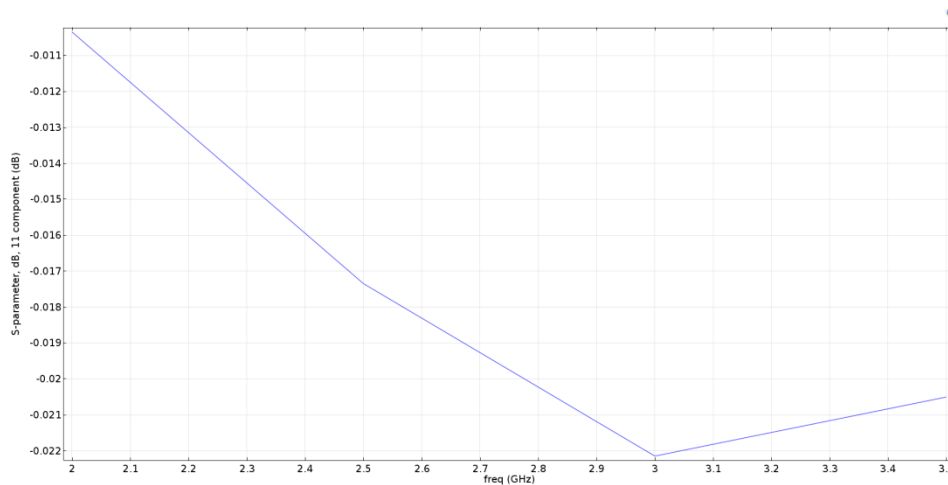
Παρατηρείται λοιπόν, βέλτιστη μεταφορά ενέργειας στην περιοχή των 2.5 έως 3.5 GHz. Η παραπάνω μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, παρουσιάζει σφάλματα εξαιτίας ανακλώμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που προέρχονται από τα πεπερασμένα

όρια των μοντέλων. Για το λόγο αυτό, απαιτείται ένα πιο έγκυρο εργαλείο, για την ακριβή εύρεση της βέλτιστης συχνότητας λειτουργίας των Κεραιών-καθετήρων.

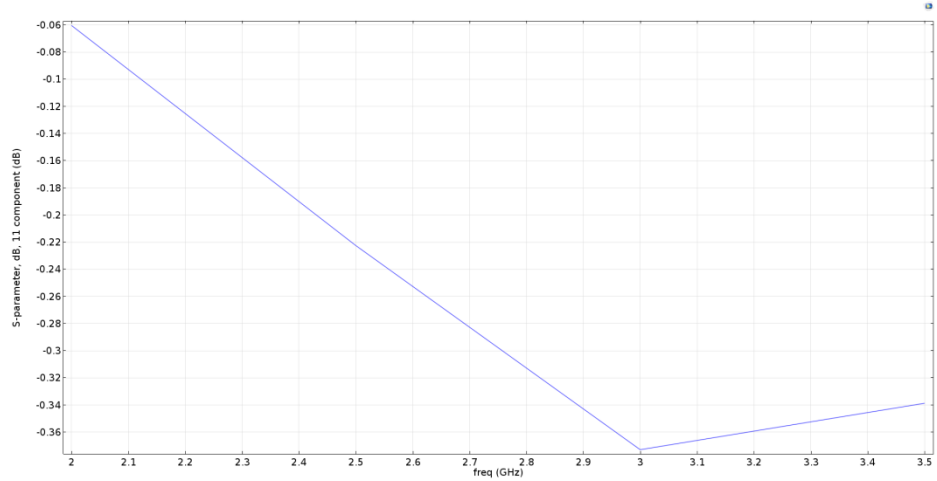
Όλες οι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα, έχουν κάποια συχνότητα στην οποία ακτινοβολείται μέγιστη ισχύς. Η παράμετρος S_{11} είναι ένας πολύς καλός δείκτης για την εύρεση της αποδοτικότερης συχνότητας, καθώς, όπως προαναφέρθηκε στη θεωρία, δείχνει το ποσοστό της ανακλώμενης ισχύος. Για το λόγο αυτό η παράμετρος S_{11} αναλύθηκε σε ένα εύρος στο Comsol, και για τις πέντε Κεραίες-καθετήρες και αποδείχτηκε (Εικόνες 3.2-2 – 3.2-6) ότι η απόδοση γίνεται βέλτιστη στα 3GHz, σε ένα εύρος 1-5 GHz.



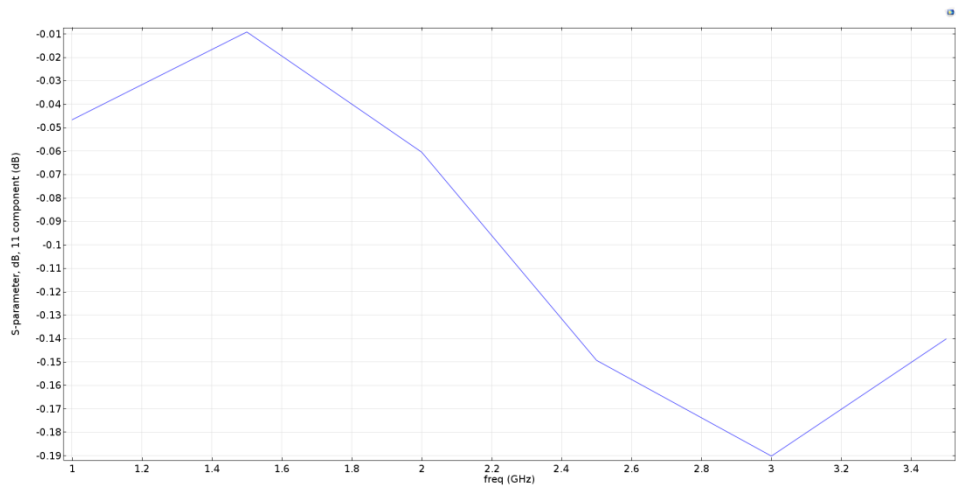
Εικόνα 3.2-2: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τον μικρό κυκλικό βρόχο.



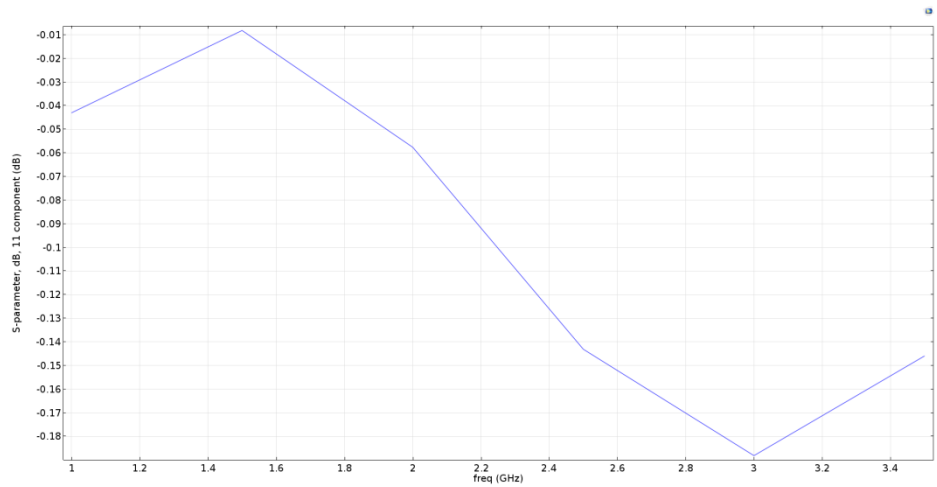
Εικόνα 3.2-3: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τον μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές.



Εικόνα 3.2-4: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους υπό γωνία 30 μοιρών.



Εικόνα 3.2-5: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία.



Εικόνα 3.2-6: Ο συντελεστής ανάκλασης (παράμετρος S_{11}) του καθετήρα με τη γραμμική κεραία

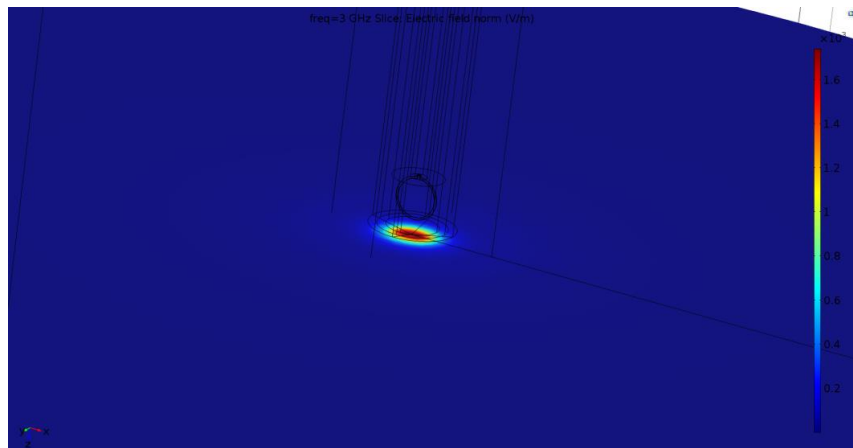
Το μήκος κύματος στα 3 GHz, σύμφωνα με τον τύπο $\lambda = \frac{c}{f}$ (28), είναι 99.93 mm.

Και οι πέντε κεραίες που σχεδιάστηκαν έχουν μέγιστη διάσταση περίπου το 1 mm. Συνεπώς, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2 για τις περιοχές ακτινοβολίας, το όριο του κοντινού-μακρινού πεδίου, σύμφωνα με τη σχέση (23), βρίσκεται στα 15.9mm από την κεραία. Άρα ο θρόμβος βρίσκεται εντός του κοντινού πεδίου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι ο συντελεστής ανάκλασης παρουσιάζει πολύ μεγάλες τιμές (τιμές κοντά στο 0) στο επιθυμητό εύρος συχνοτήτων, εξαιτίας των ελάχιστων σχεδιαστικών ελευθεριών που έχει η σχεδίαση μιας Κεραίας-καθετήρα, καθώς επίσης και εξαιτίας του βιοσυμβατού περιβλήματος από PTFE, που ανακλά υψηλό ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ισχύος που παράγεται από την κεραία.

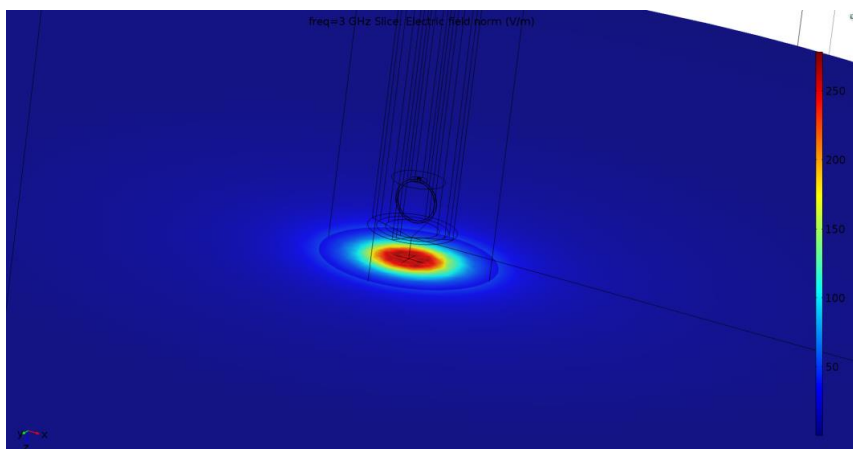
3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου

Στις παρακάτω εικόνες, αναπαρίσταται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα επίπεδο που τέμνει κάθετα το μήκος του καθετήρα, σε αποστάσεις 0mm, 0.5mm (η «μπροστά» επιφάνεια του θρόμβου) και 1.25mm, (το κέντρο του θρόμβου), από τη μύτη του καθετήρα (κάθετο πεδίο, L_k). Επίσης παρουσιάζεται το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα παράλληλο επίπεδο με τον καθετήρα, σε αποστάσεις 0mm, 1mm, που βρίσκεται το τοίχωμα αρτηρίας και 2mm, που βρίσκεται εγκεφαλικός ιστός, από την επιφάνεια του καθετήρα (οριζόντιο πεδίο, L_{op}). Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ο μικρός κυκλικός βρόχος, ο μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές και ο δύο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό 30 μοίρες γωνία, εξαιτίας της γεωμετρίας τους, έχουν διαφορετική ένταση ηλεκτρικού πεδίου, ανάλογα με τη γωνία του οριζόντιου επιπέδου. Συνεπώς, αναγκαία είναι η προσομοίωση του οριζόντιου ηλεκτρικού πεδίου, σε ένα επίπεδο παράλληλο με την πρόσοψη και σε ένα επίπεδο παράλληλο με την πλάγια όψη των κεραιών αυτών (όπως παρουσιάζονται στις εικόνες των κεραιών στη ενότητα 2.5). Τέλος, σε κάθε κεραία παρουσιάζονται τα διαγράμματα του οριζόντιου (άξονας x) και κάθετου ηλεκτρικού πεδίου (άξονας z), όπως εκτείνεται από την μύτη της κεραίας.

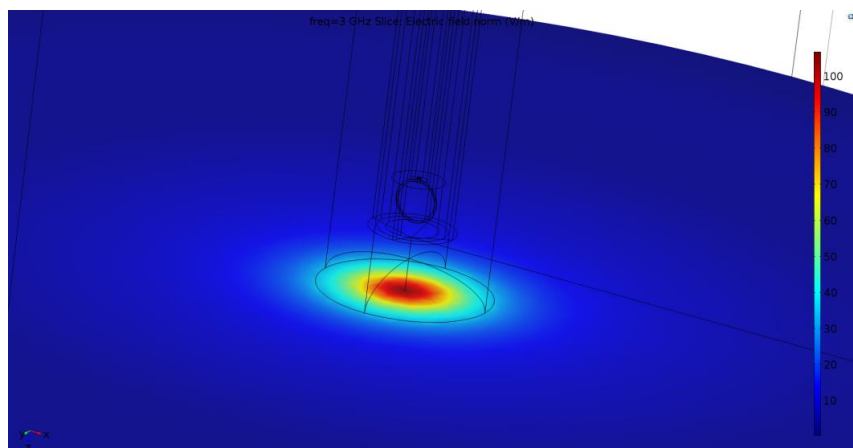
Μικρός κυκλικός βρόχος



α.

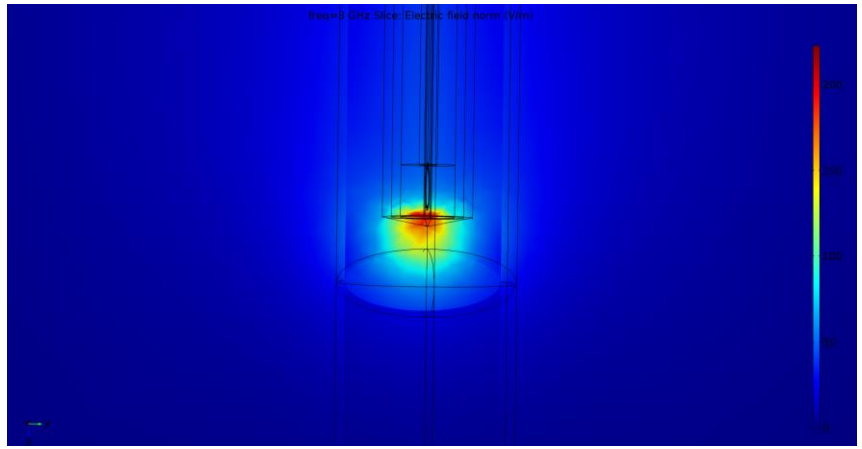


β.

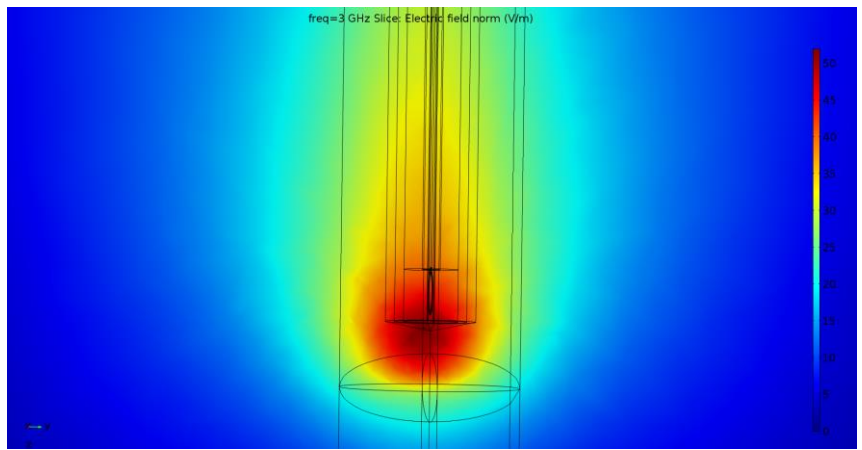


γ.

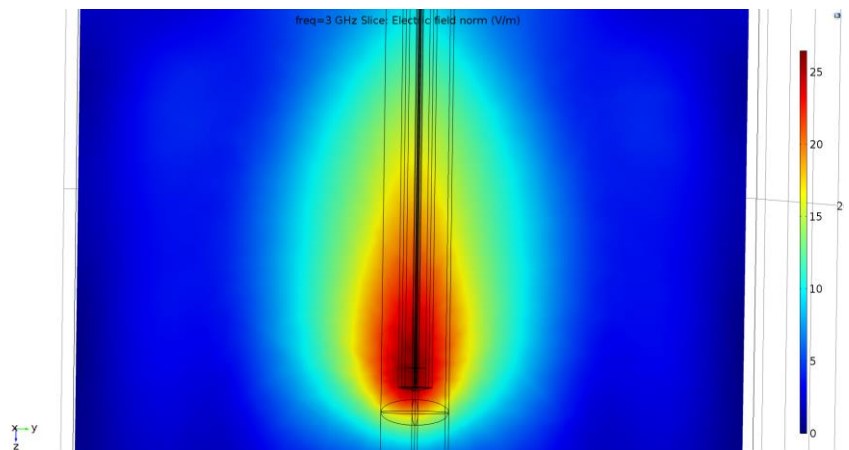
Εικόνα 3.3-1: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.



α.

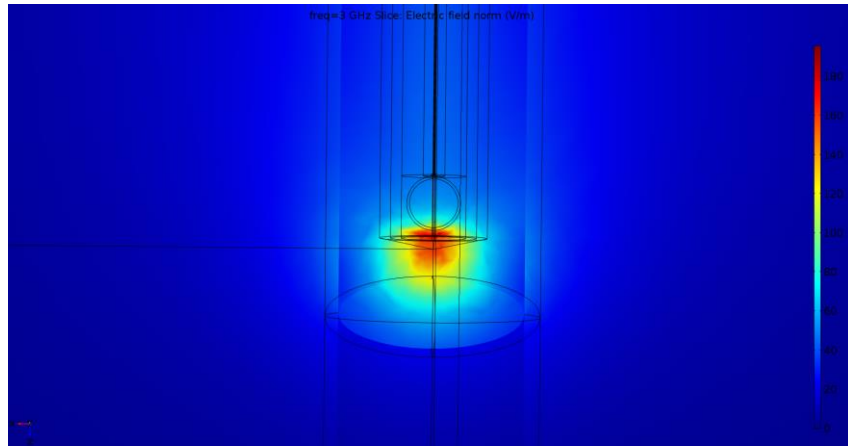


β.

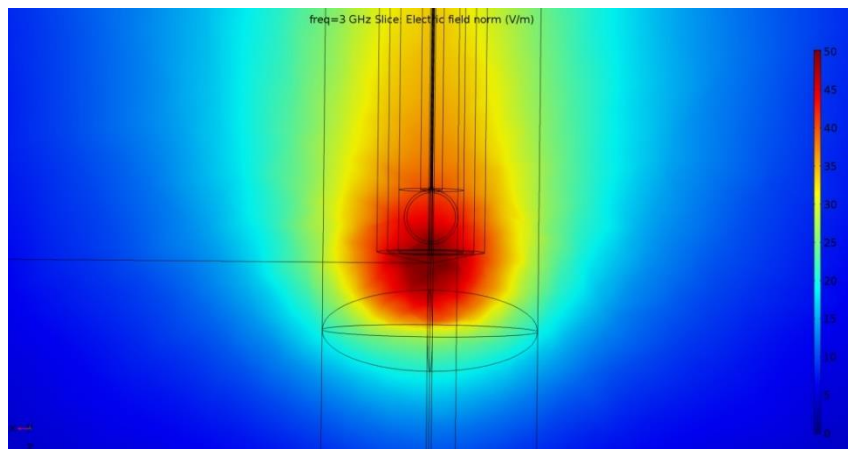


γ.

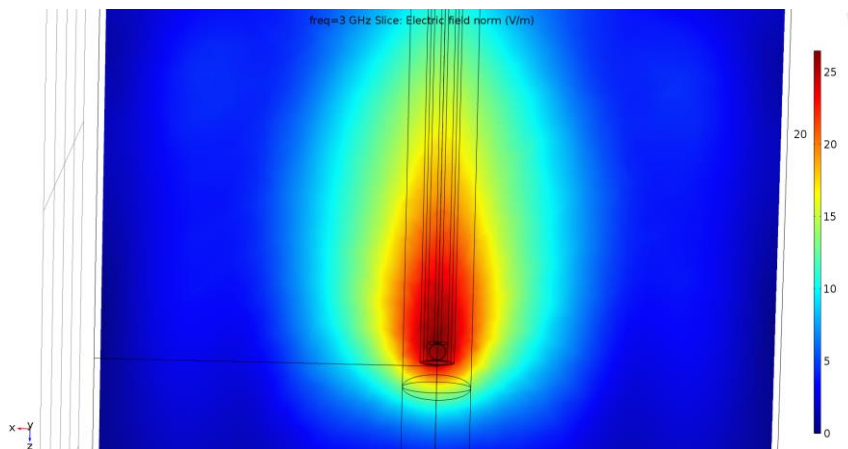
Εικόνα 3.3-2: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.



α.

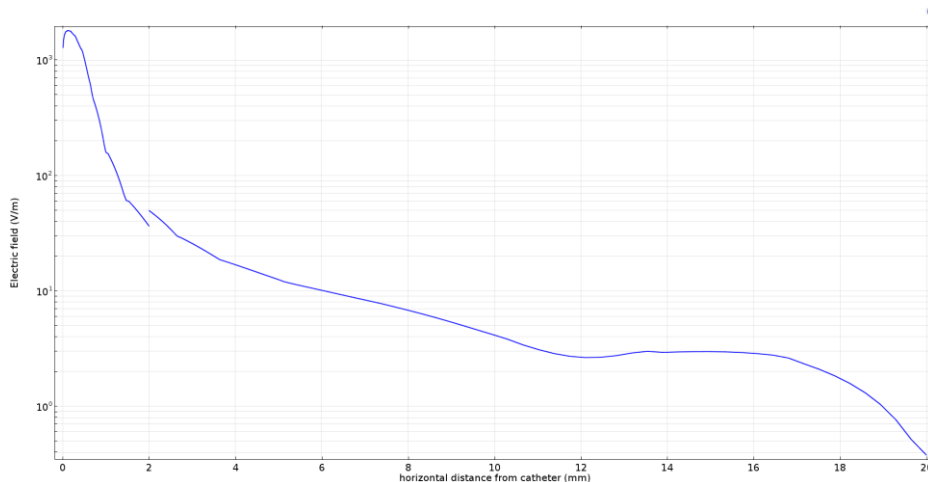


β.

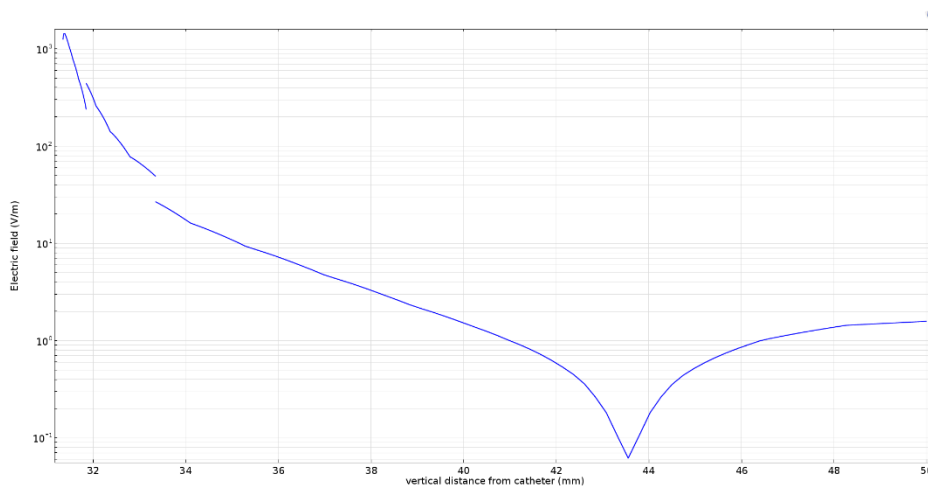


γ.

Εικόνα 3.3-3: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

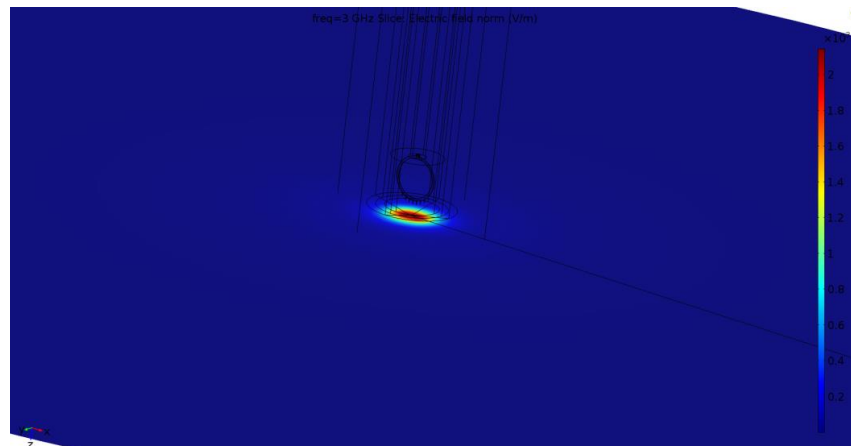


Εικόνα 3.3-4: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

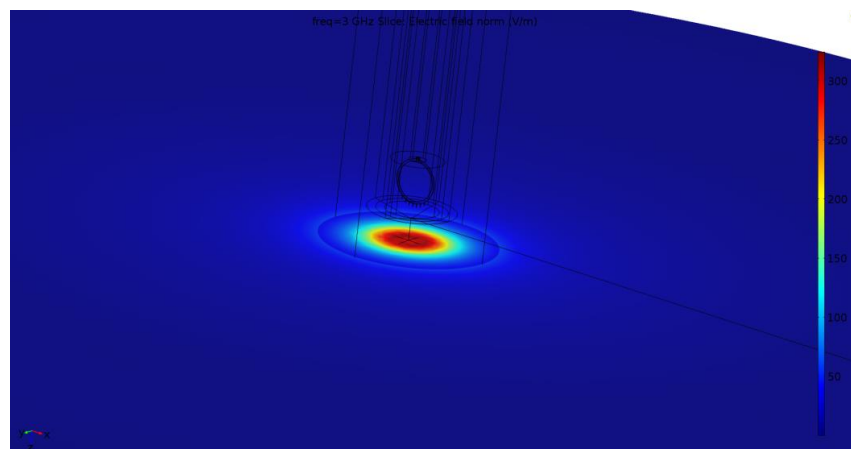


Εικόνα 3.3-5: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

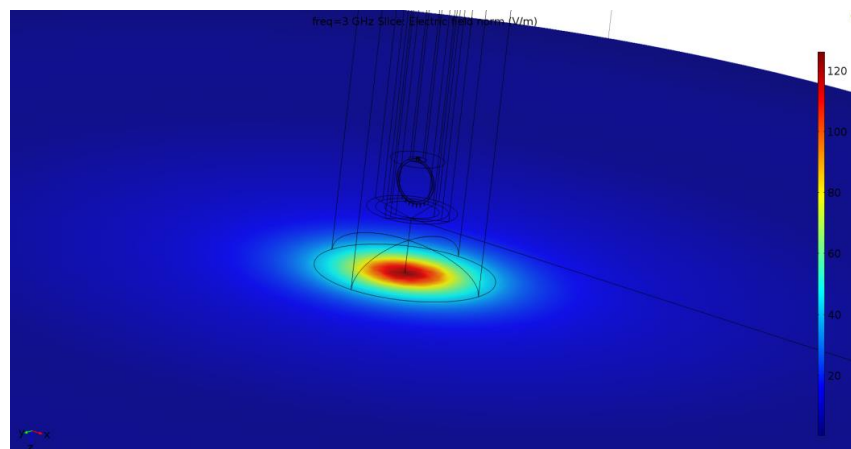
Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές



α.

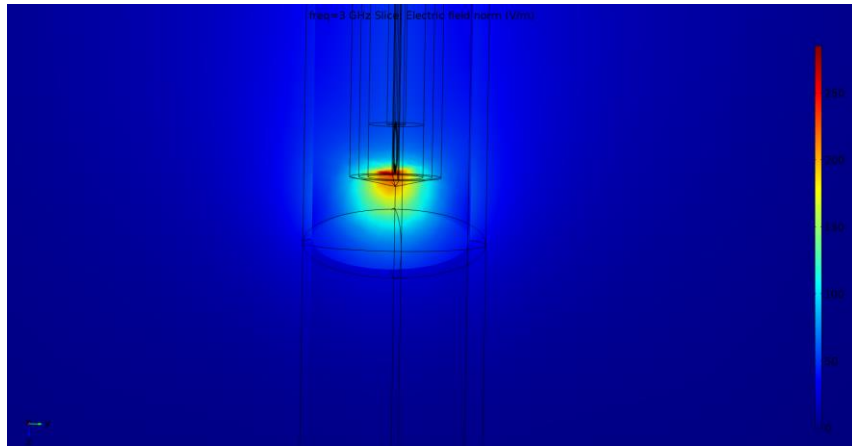


β.

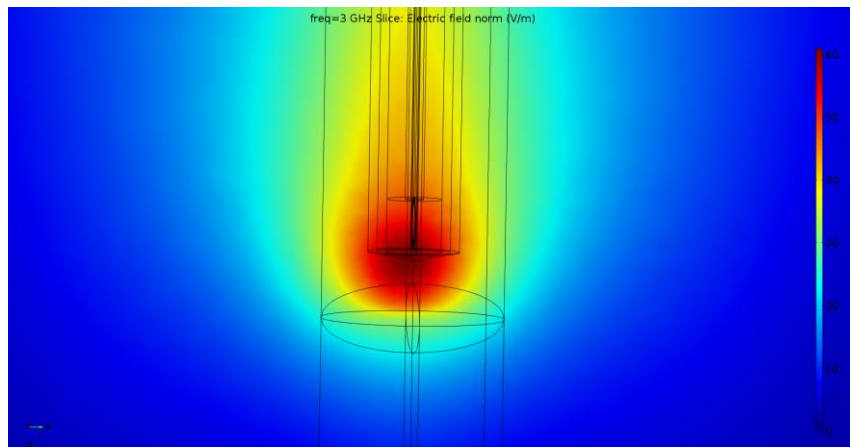


γ.

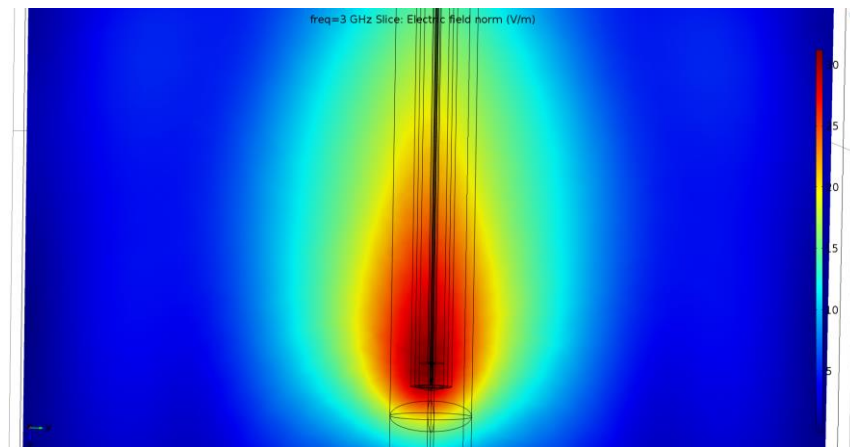
Εικόνα 3.3-6: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.



α.

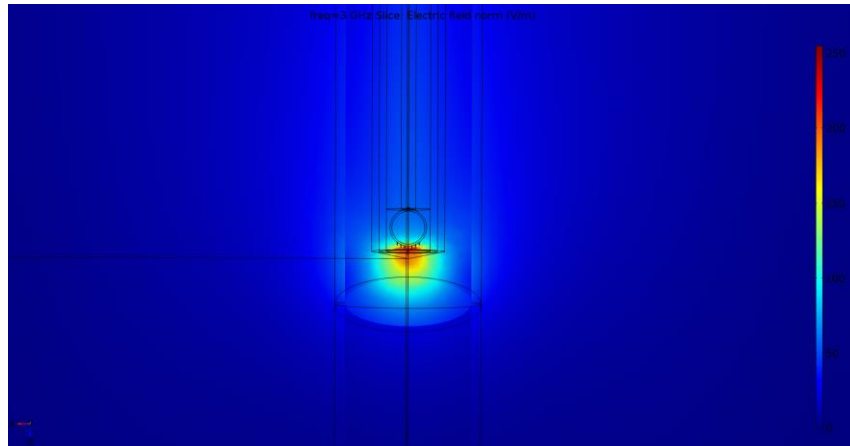


β.

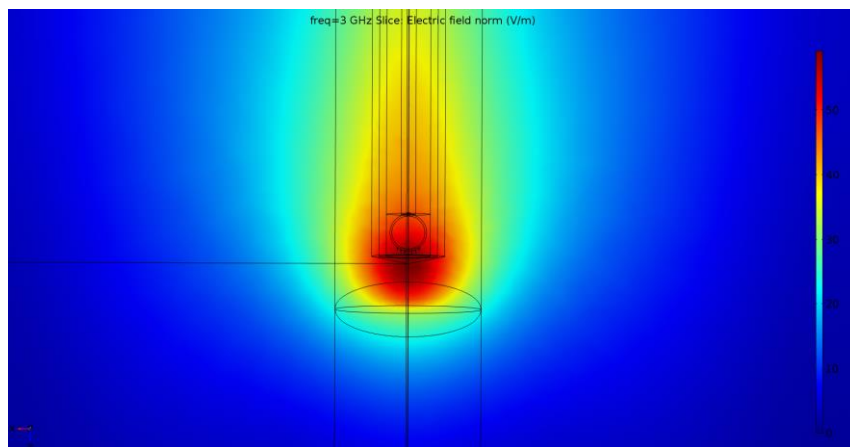


γ.

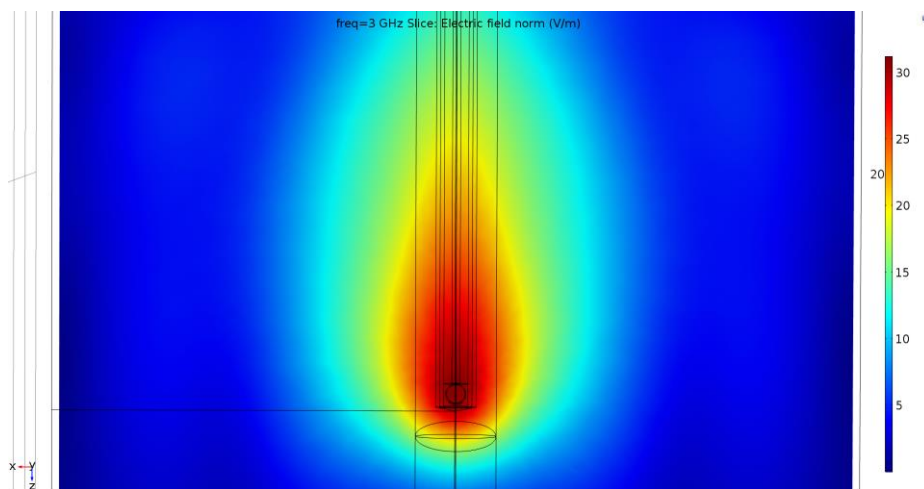
Εικόνα 3.3-7: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.



α.

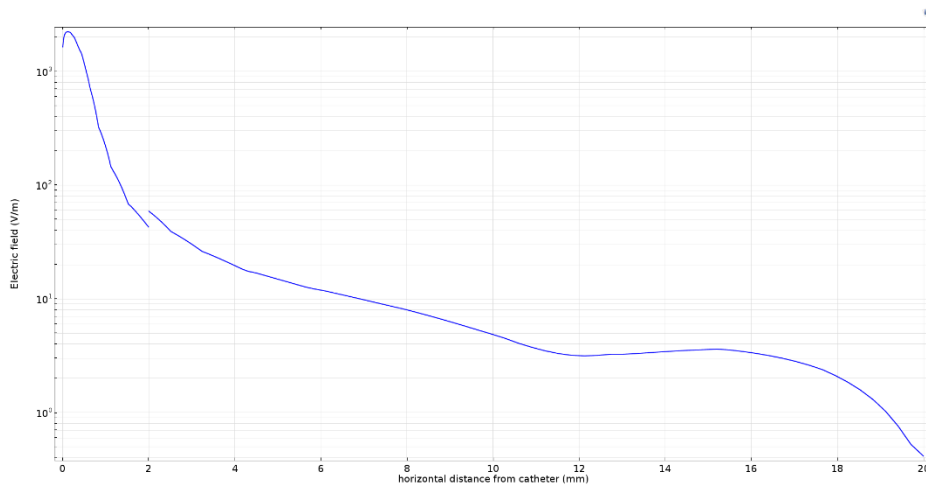


β.

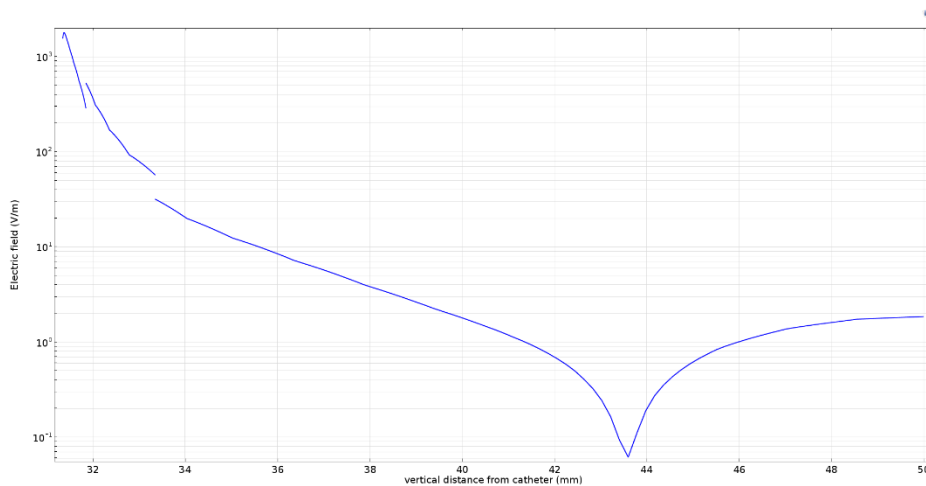


γ.

Εικόνα 3.3-8: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

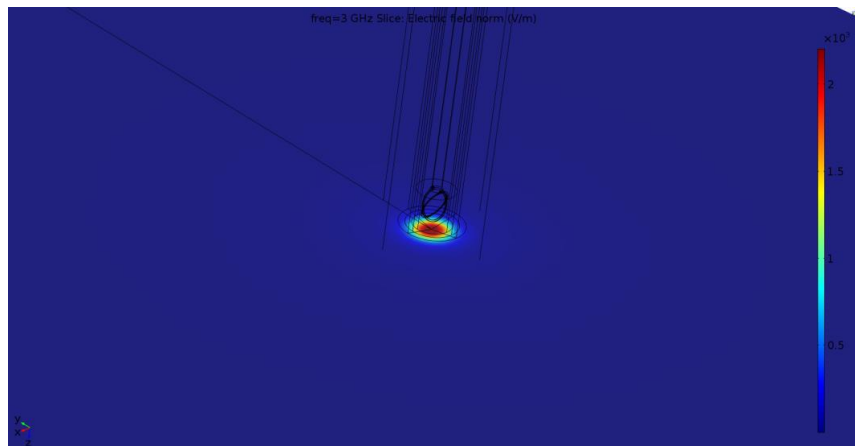


Εικόνα 3.3-9: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσεως της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

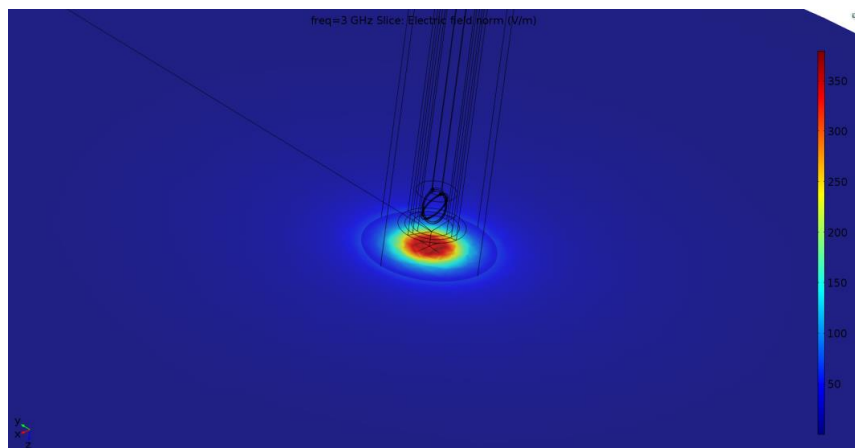


Εικόνα 3.3-10: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσεως της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

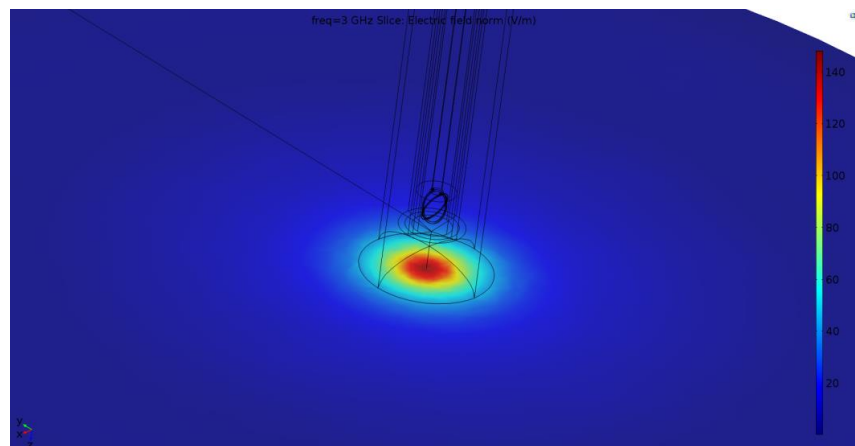
Δύο κεραίες μικρού κυκλικού βρόχου τεμνόμενες υπό γωνία 30 μοιρών



α.

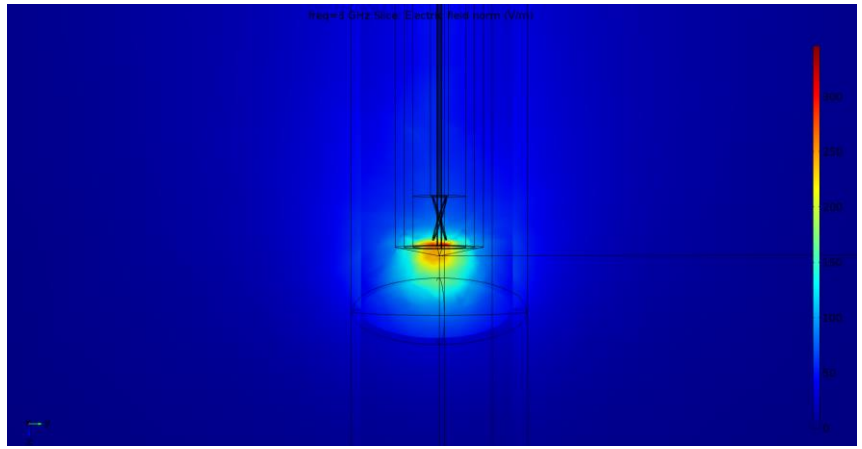


β.

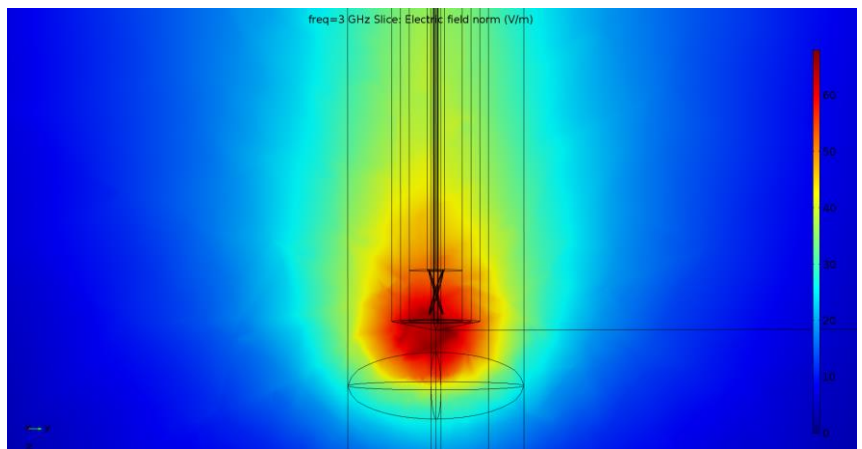


γ.

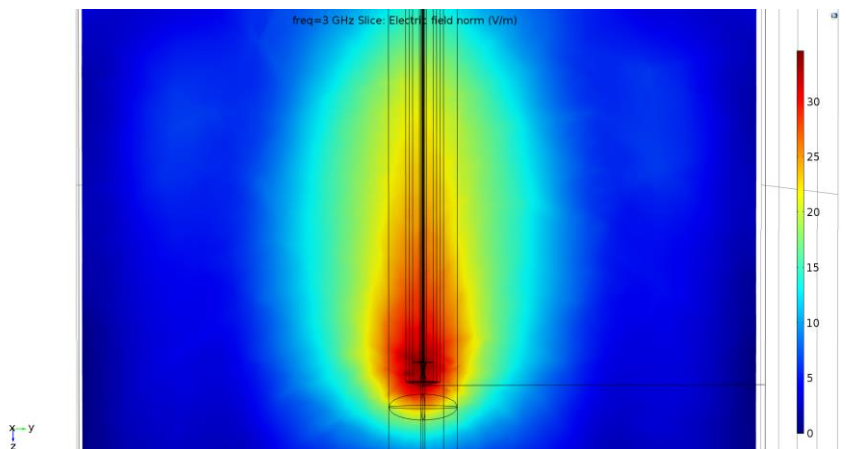
Εικόνα 3.3-11: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.



α.

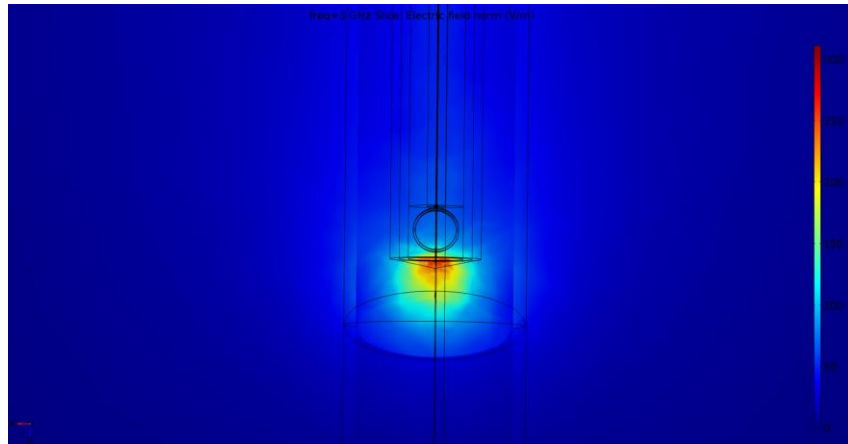


β.

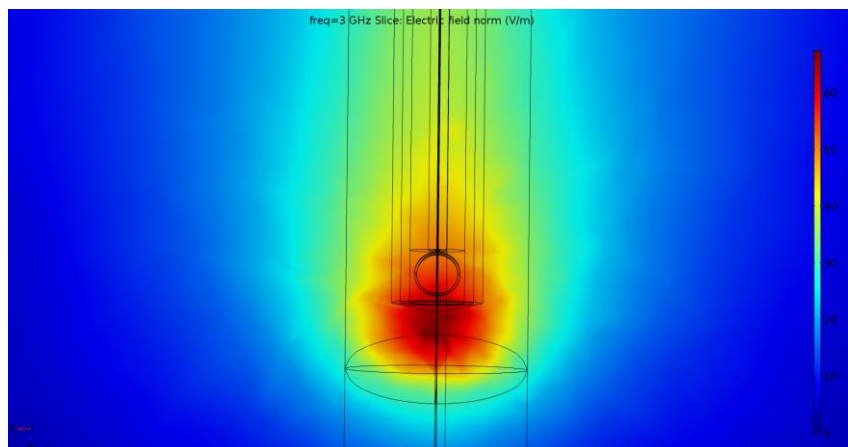


γ.

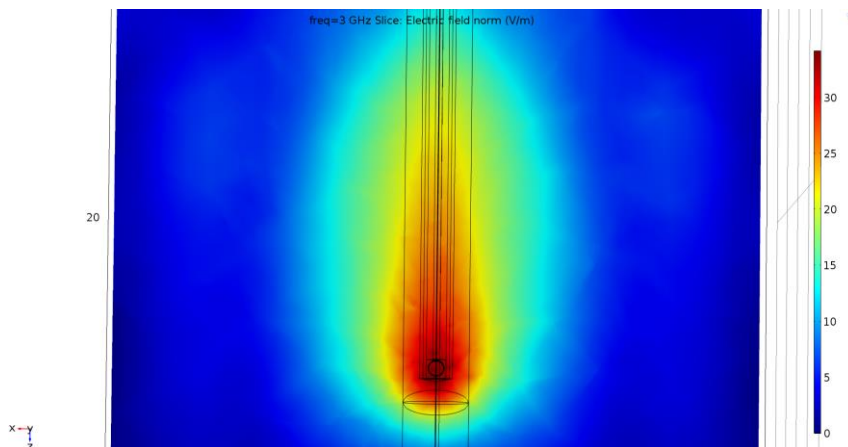
Εικόνα 3.3-12: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πλάγια όψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.



α.

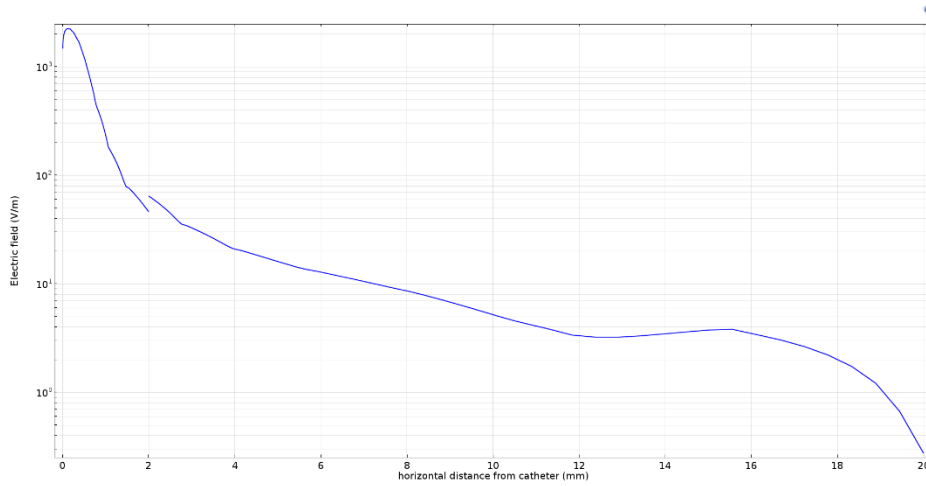


β.

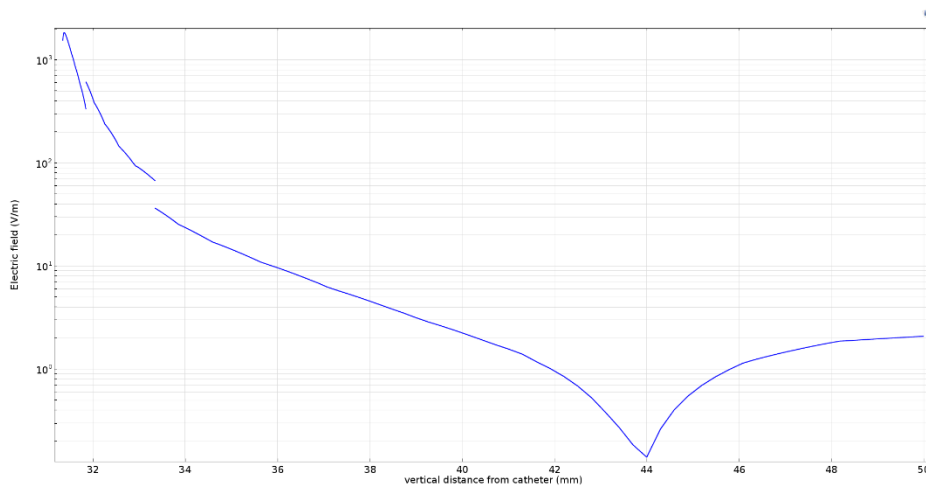


γ.

Εικόνα 3.3-13: Το οριζόντιο και παράλληλο με την πρόσοψη ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

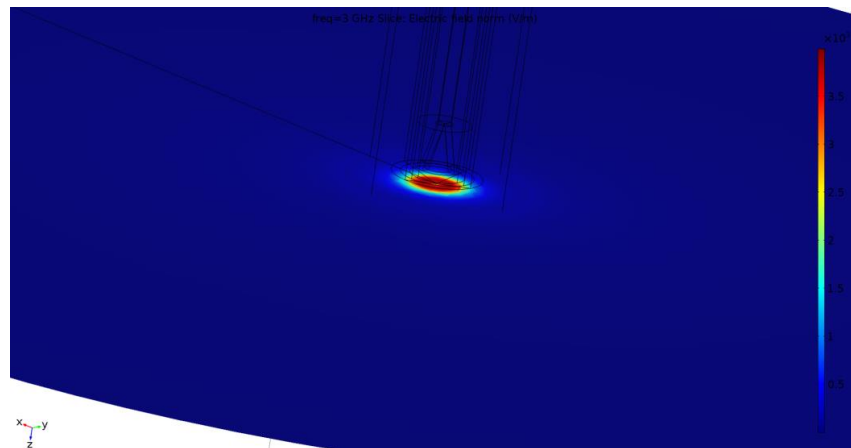


Εικόνα 3.3-14: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

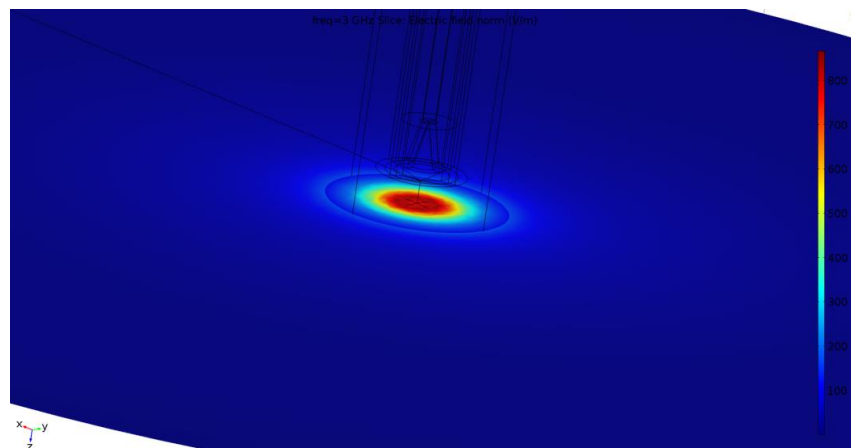


Εικόνα 3.3-15: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

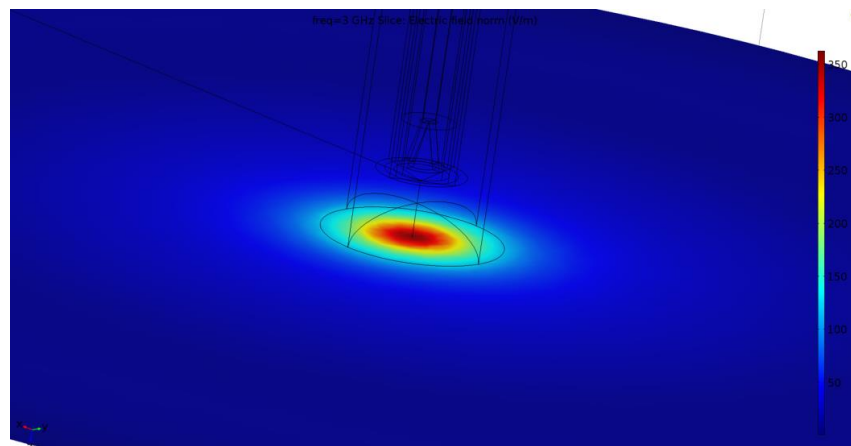
Κωνική χοανοκεραία



α.

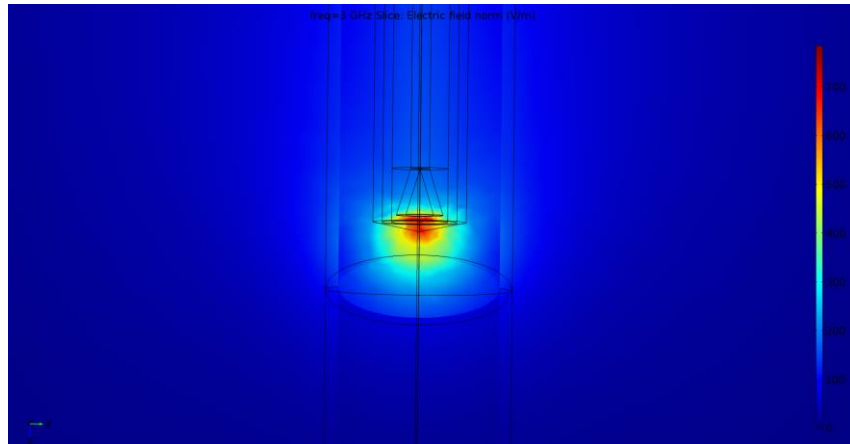


β.

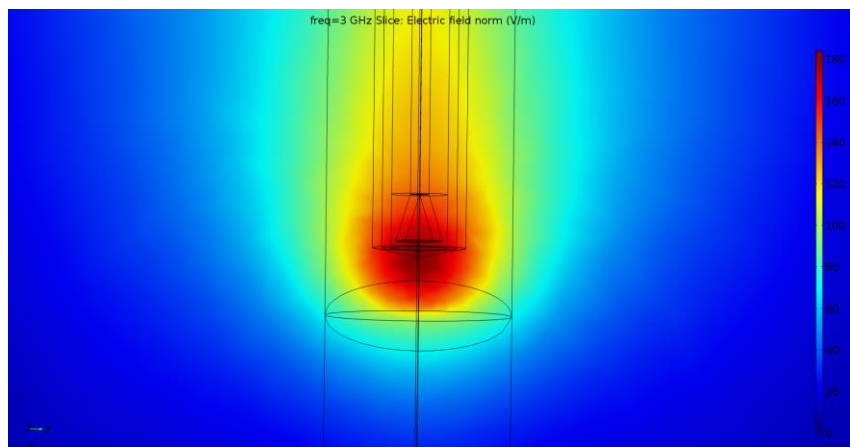


γ.

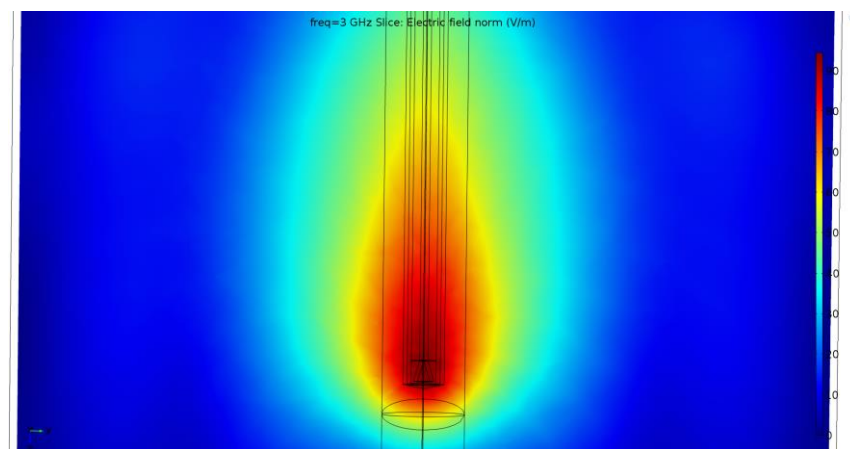
Εικόνα 3.3-16: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.



α.

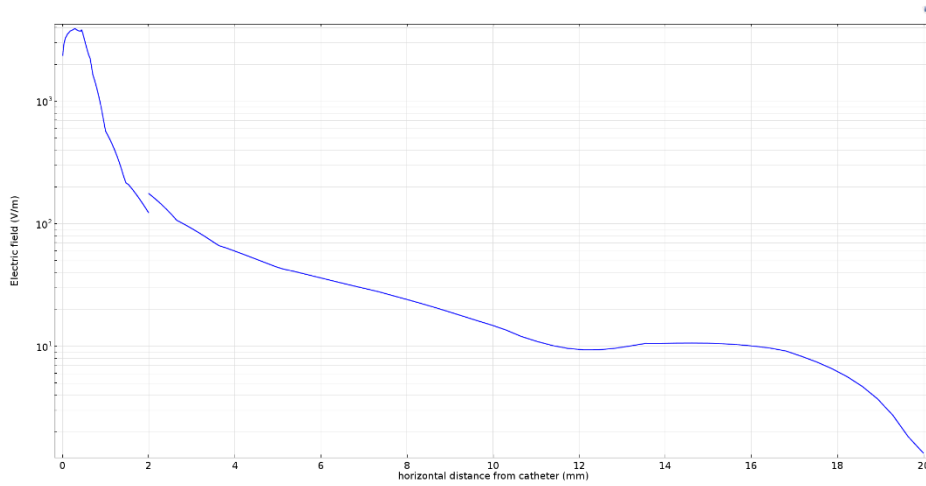


β.

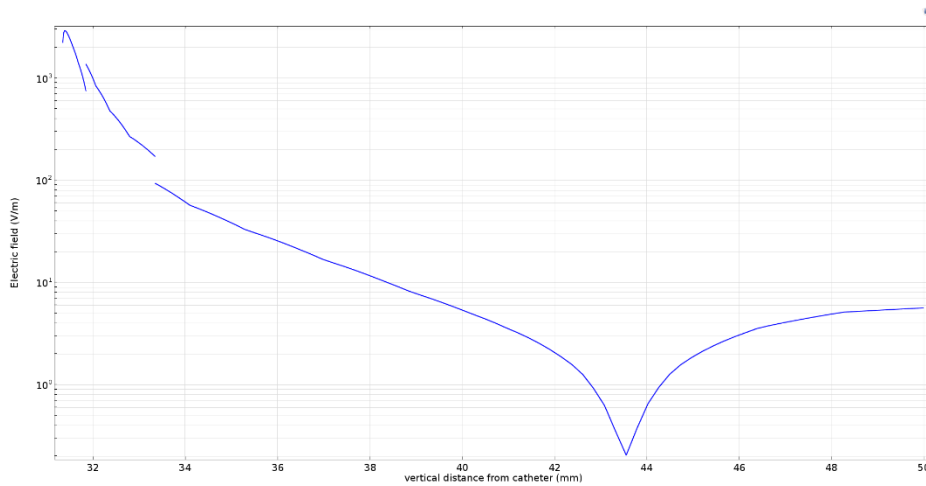


γ.

Εικόνα 3.3-17: Το οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 1mm γ) 2mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

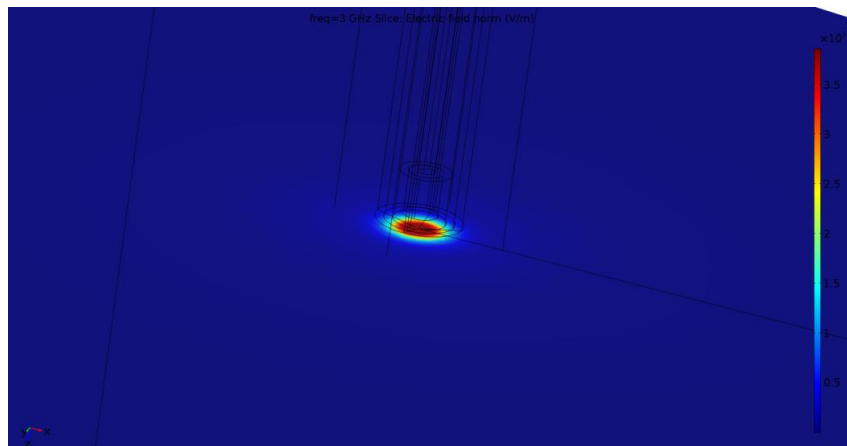


Εικόνα 3.3-18: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη κωνική χροανοκεραία, συναρτήσεως της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

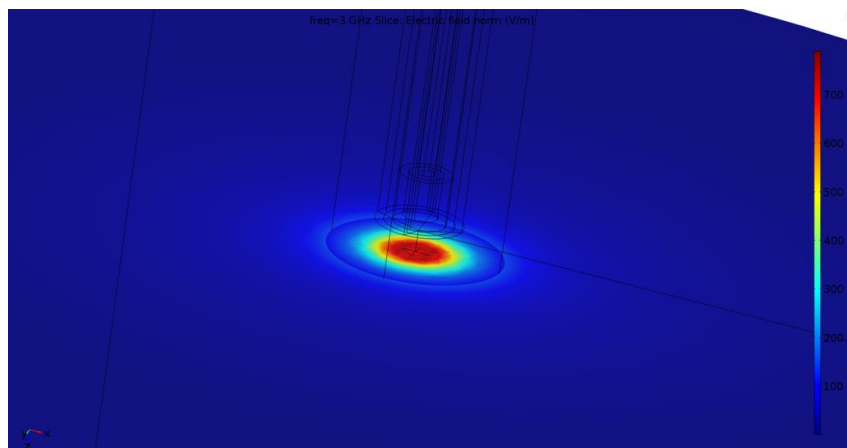


Εικόνα 3.3-19: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη κωνική χροανοκεραία, συναρτήσεως της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

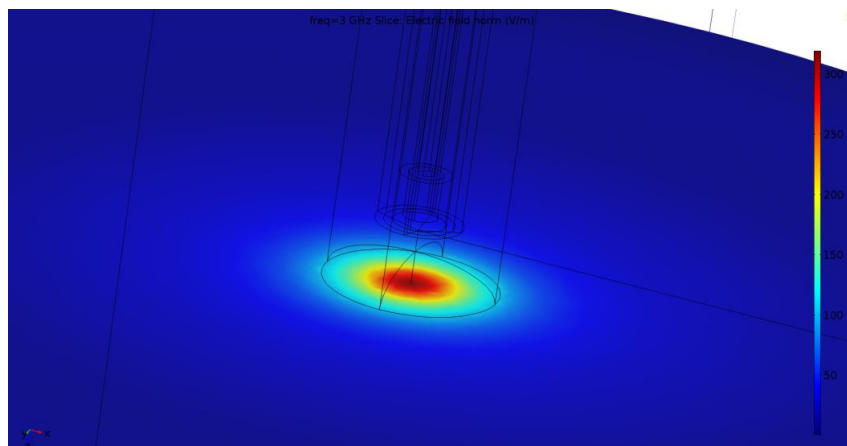
Γραμμική κεραία



α.

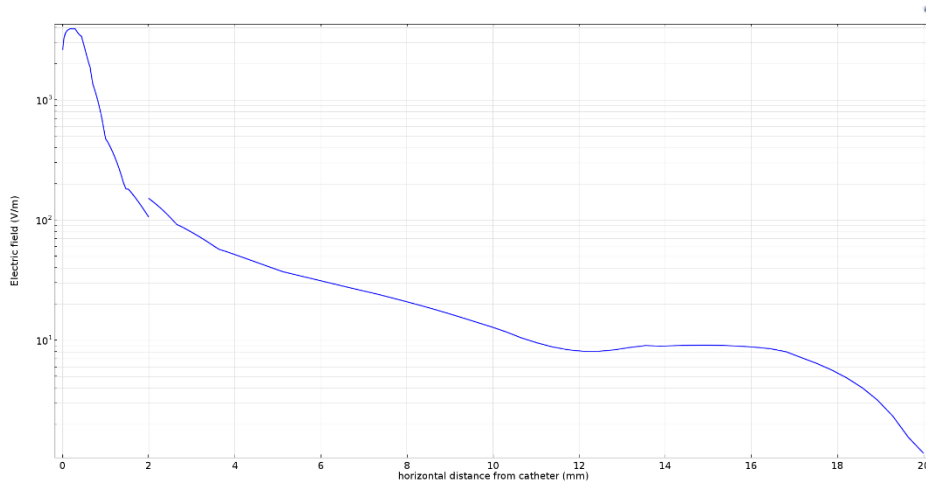


β.

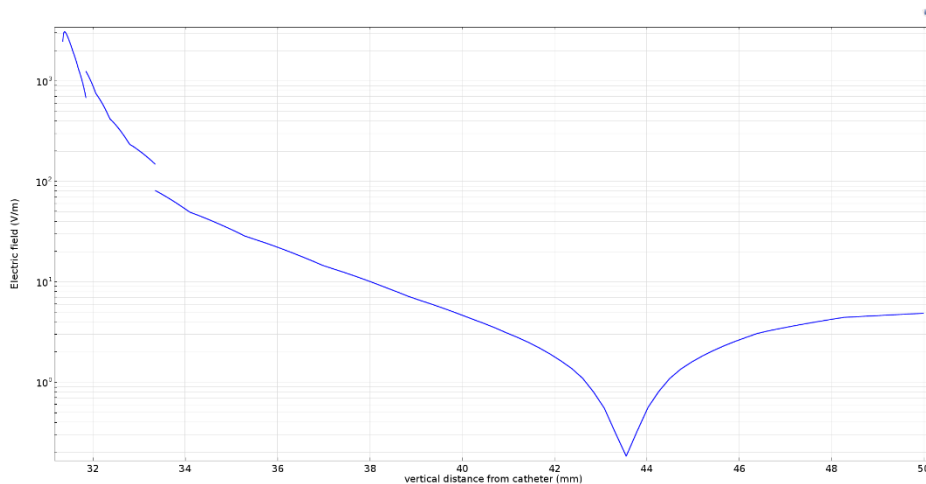


γ.

Εικόνα 3.3-20: Το κάθετο ηλεκτρικό πεδίο του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, σε αποστάσεις α) 0mm β) 0.5mm γ) 1.25mm από τη μύτη του καθετήρα και σε συχνότητα λειτουργίας 3 GHz.



Εικόνα 3.3-21: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσεως της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

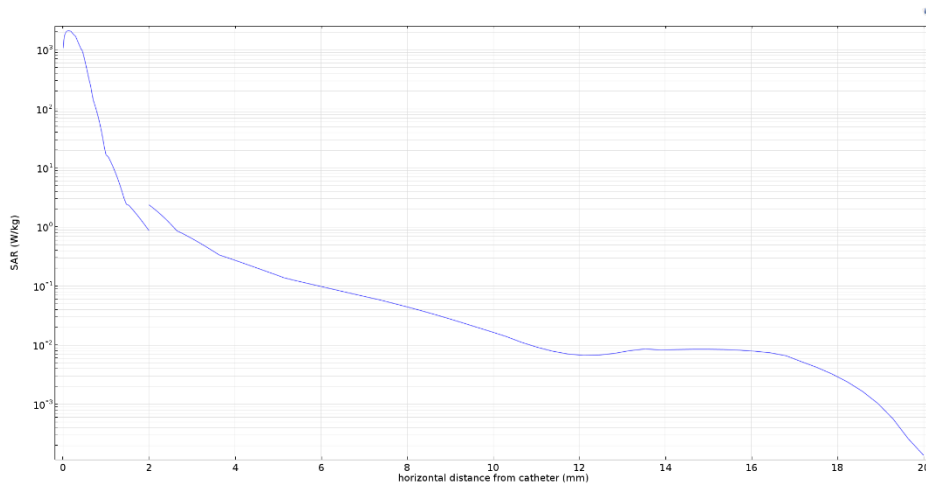


Εικόνα 3.3-22: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσεως της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

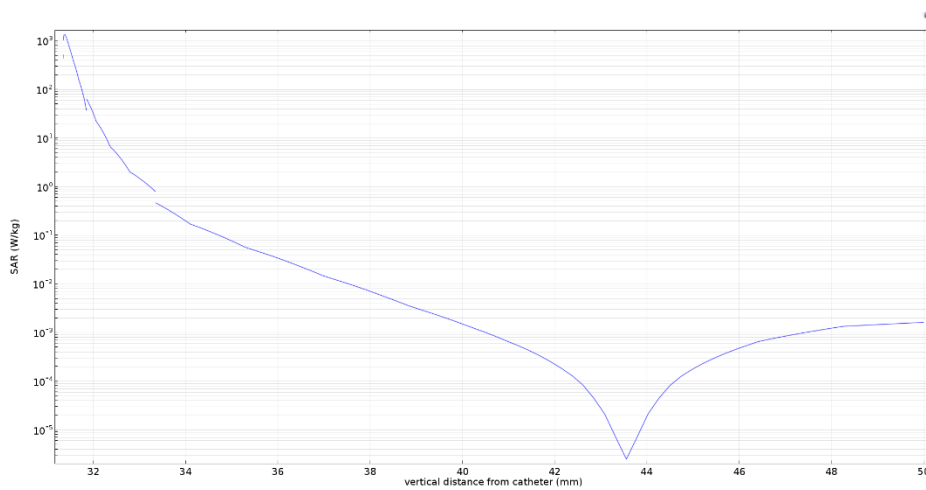
3.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η απόσταση από ένα παράλληλο επίπεδο με την επιφάνεια του καθετήρα, έως τη μύτη του καθετήρα, θεωρείται οριζόντια απόσταση, ενώ από ένα κάθετο επίπεδο με την επιφάνειά του καθετήρα, έως τη μύτη του, κάθετη απόσταση. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται και για τις πέντε Κεραίες-καθετήρες οι γραφικές παραστάσεις του ρυθμού ειδικής απορρόφησης, δείκτη SAR, συναρτήσεως των οριζόντιων και κάθετων αποστάσεων.

Μικρός κυκλικός βρόχος

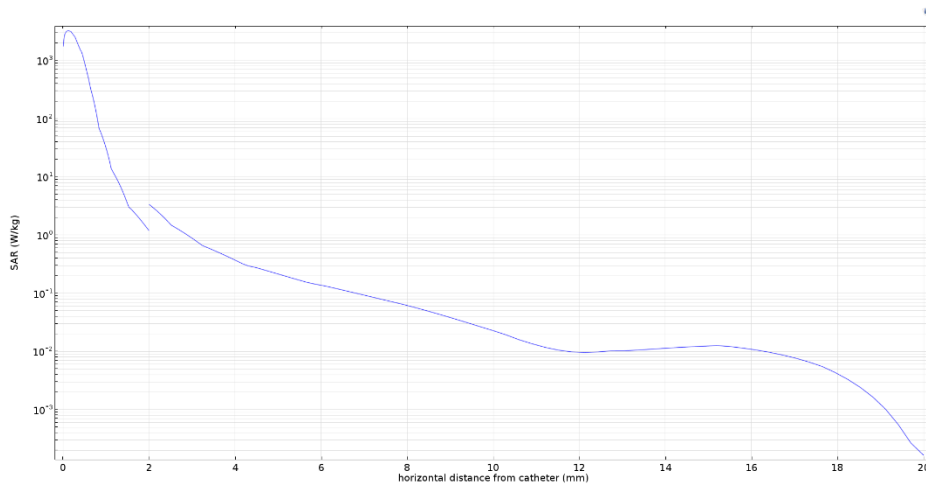


Εικόνα 3.4-1: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

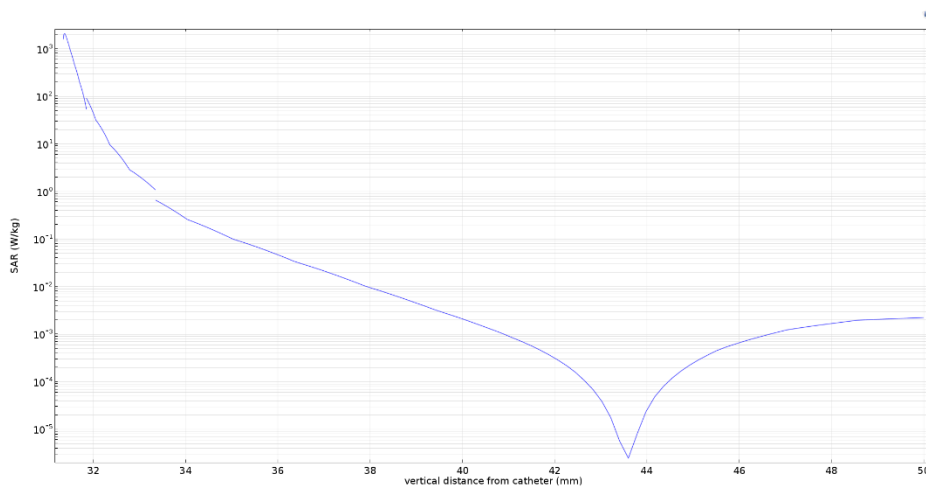


Εικόνα 3.4-2: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές

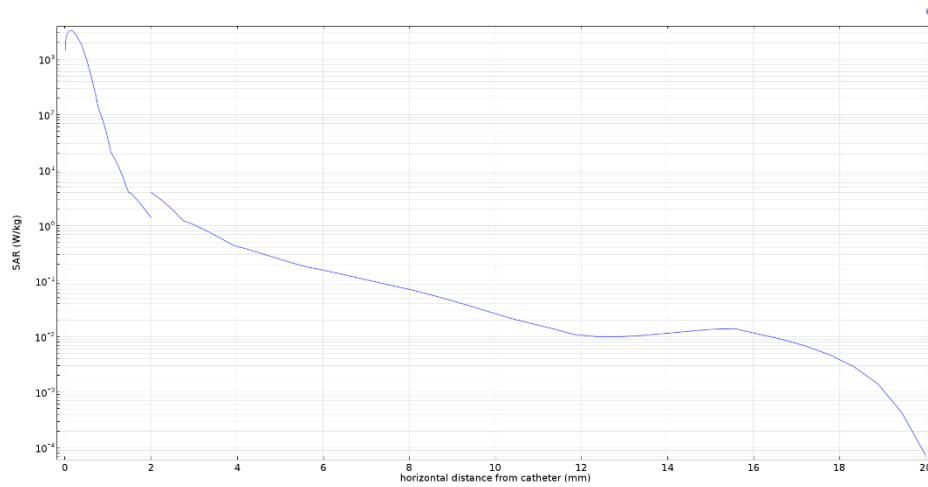


Εικόνα 3.4-3: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

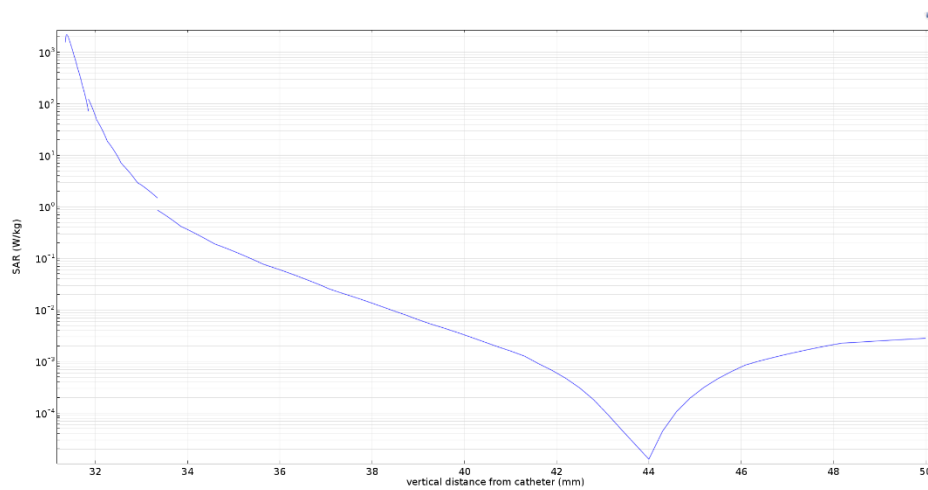


Εικόνα 3.4-4: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

Δύο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό γωνία 30 μοιρών

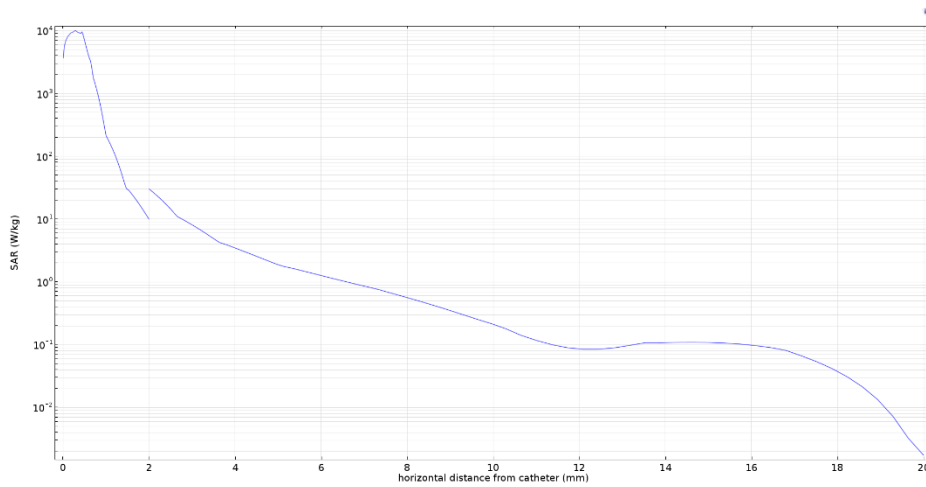


Εικόνα 3.4-5: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τους δυο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, συναρτήσεϊ της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

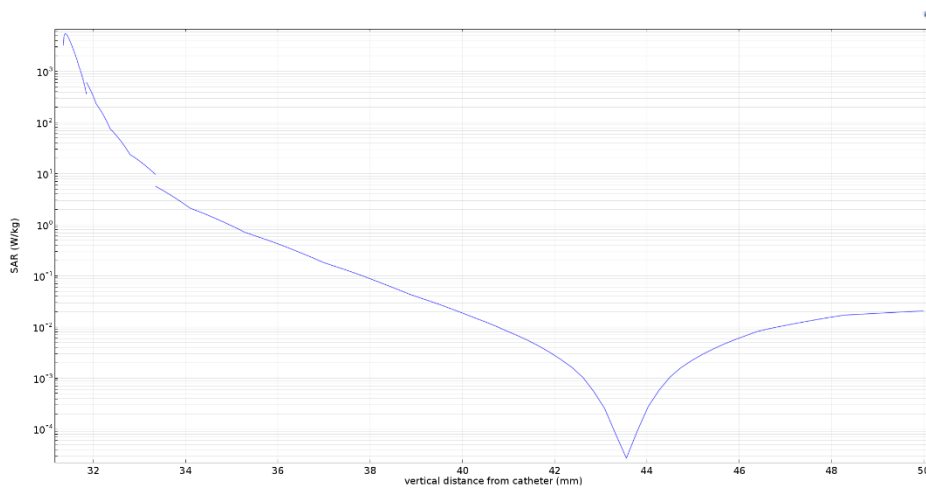


Εικόνα 3.4-6: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τους δυο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, συναρτήσεϊ της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

Κωνική χροανοκεραία

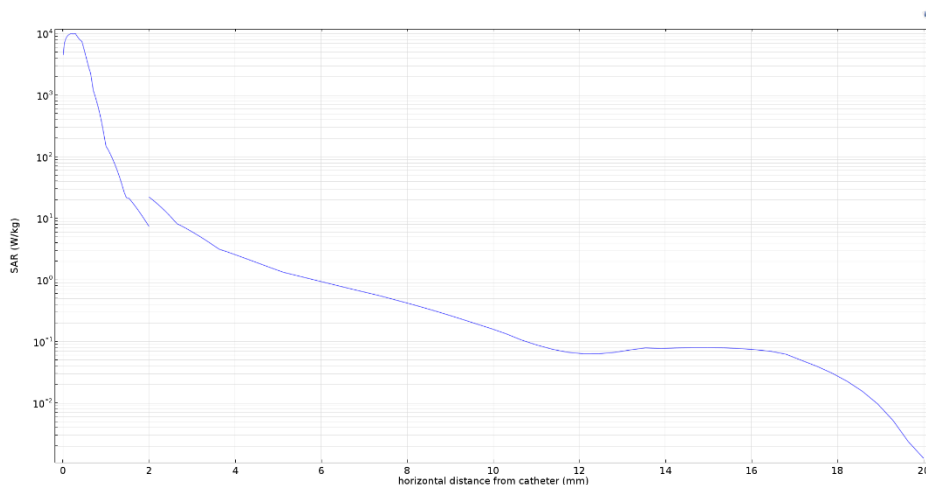


Εικόνα 3.4-7: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη κωνική χροανοκεραία, συναρτήσεως της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

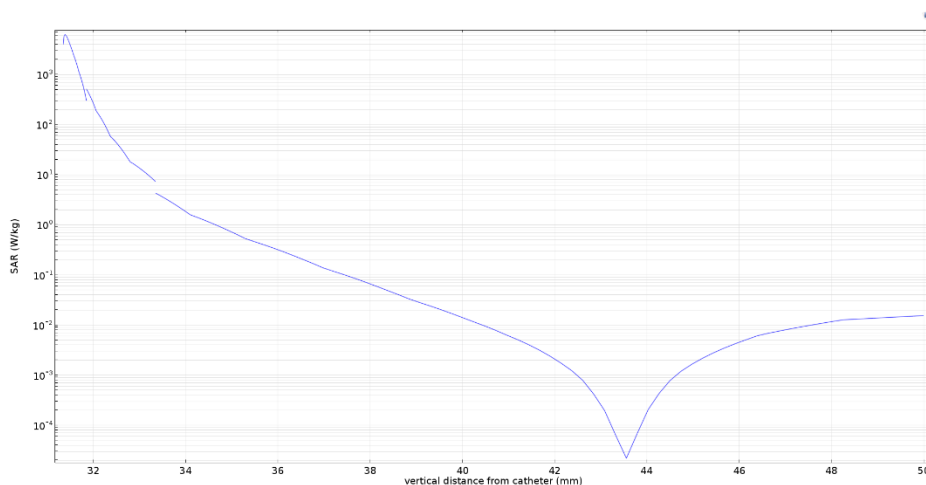


Εικόνα 3.4-8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη κωνική χροανοκεραία, συναρτήσεως της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

Γραμμική κεραία



Εικόνα 3.4-9: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

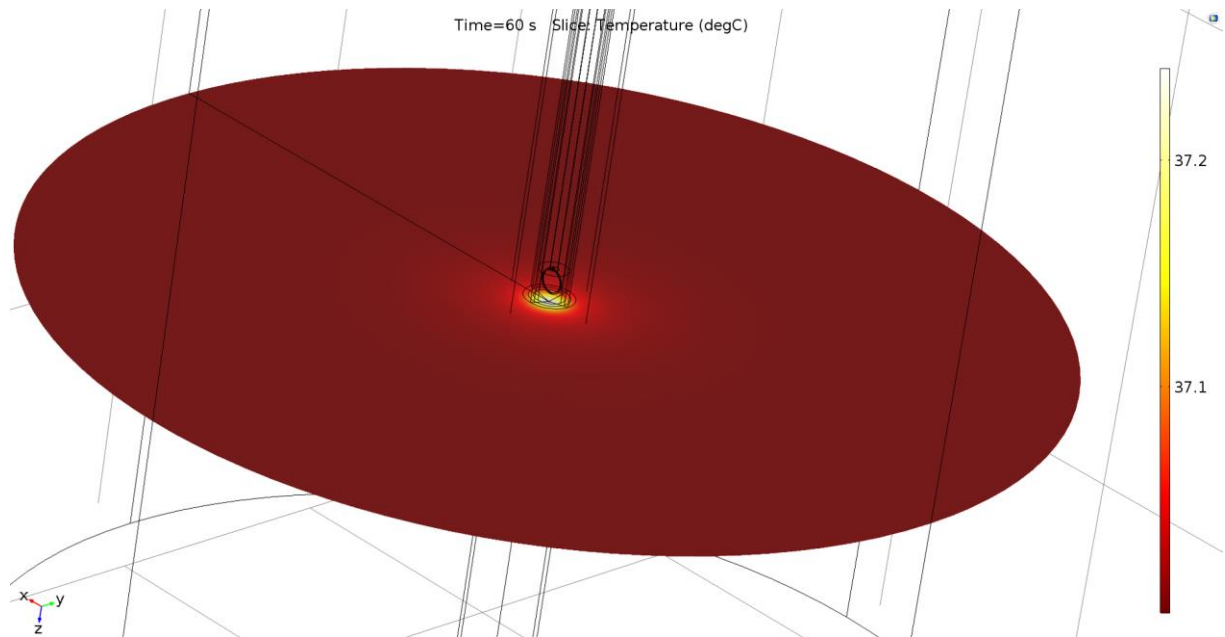


Εικόνα 3.4-10: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη SAR του καθετήρα με τη γραμμική κεραία, συναρτήσει της κάθετης απόστασης, σε συχνότητα λειτουργίας 3GHz.

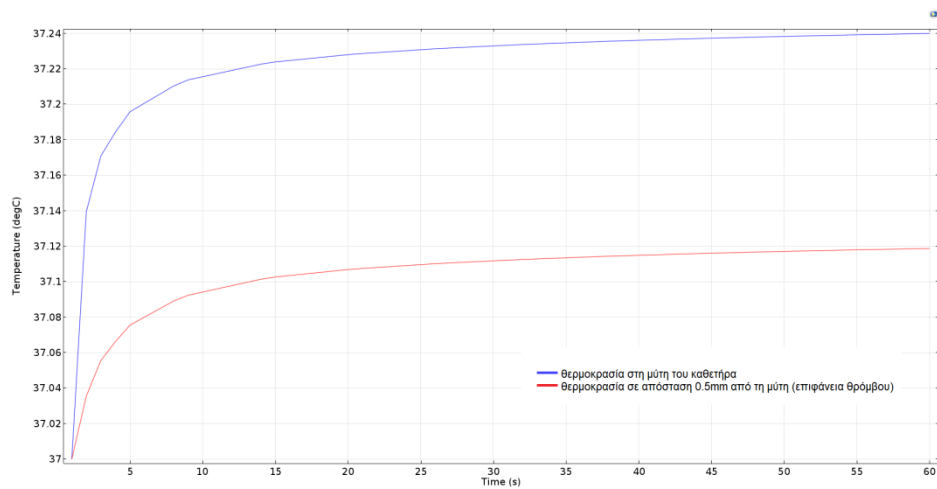
3.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης της Θερμοκρασίας

Παρουσιάζονται, παρακάτω, οι προσομοιώσεις της αυξημένης θερμοκρασίας στη μύτη της κεραίας, για χρόνο ακτινοβολήσης 60s. Επίσης δίνονται τα γραφήματα της θερμοκρασίας, συναρτήσει του χρόνου (1s – 60s) στη μύτη του καθετήρα και στη «μπροστά» επιφάνεια του θρόμβου, δηλαδή σε απόσταση 0.5mm από τη μύτη του καθετήρα.

Μικρός κυκλικός βρόχος

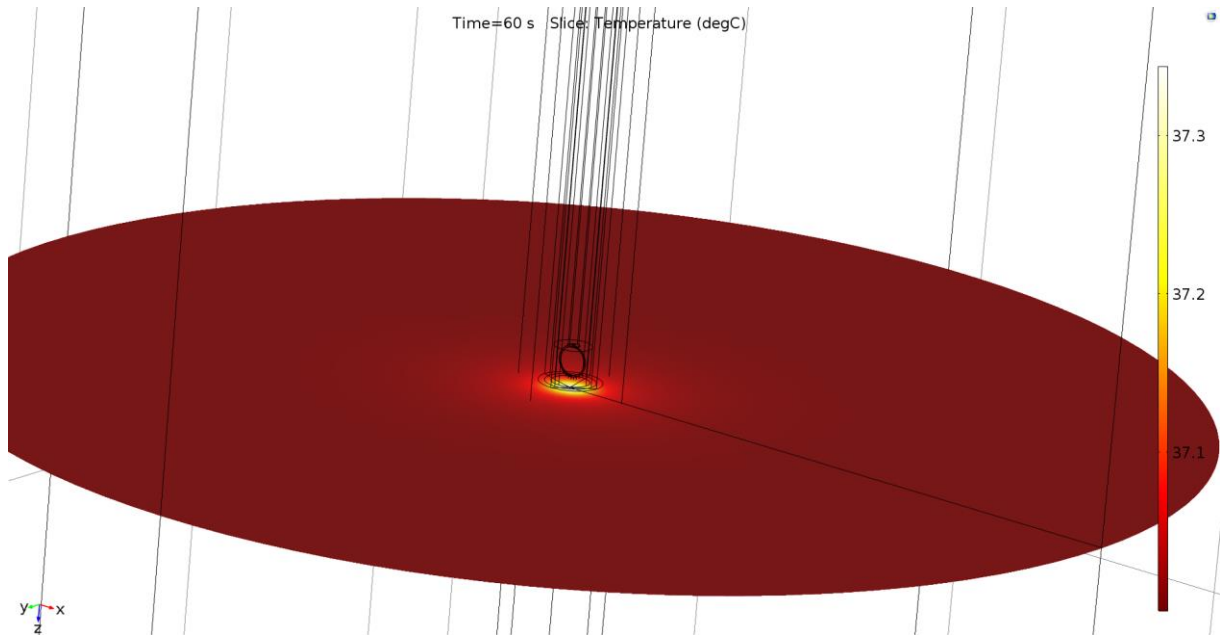


Εικόνα 3.5-1: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με το μικρό κυκλικό βρόχο, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.

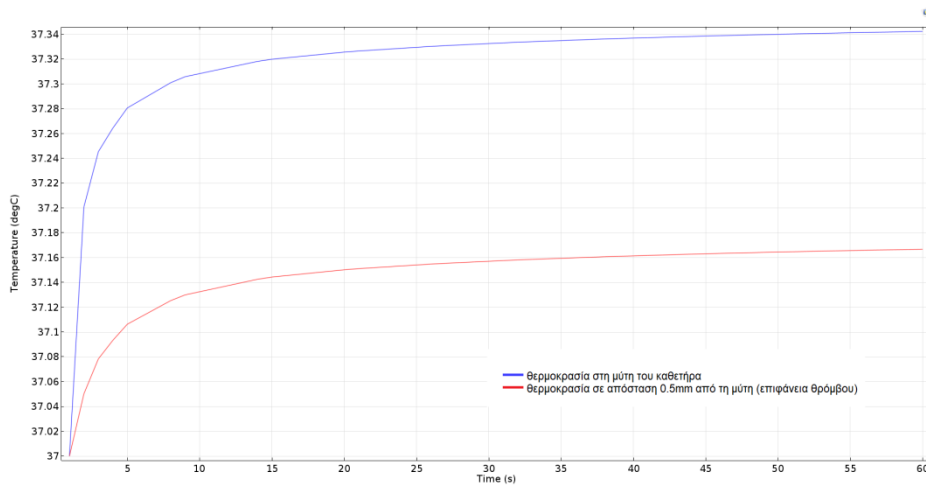


Εικόνα 3.5-2: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσεως του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο.

Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές

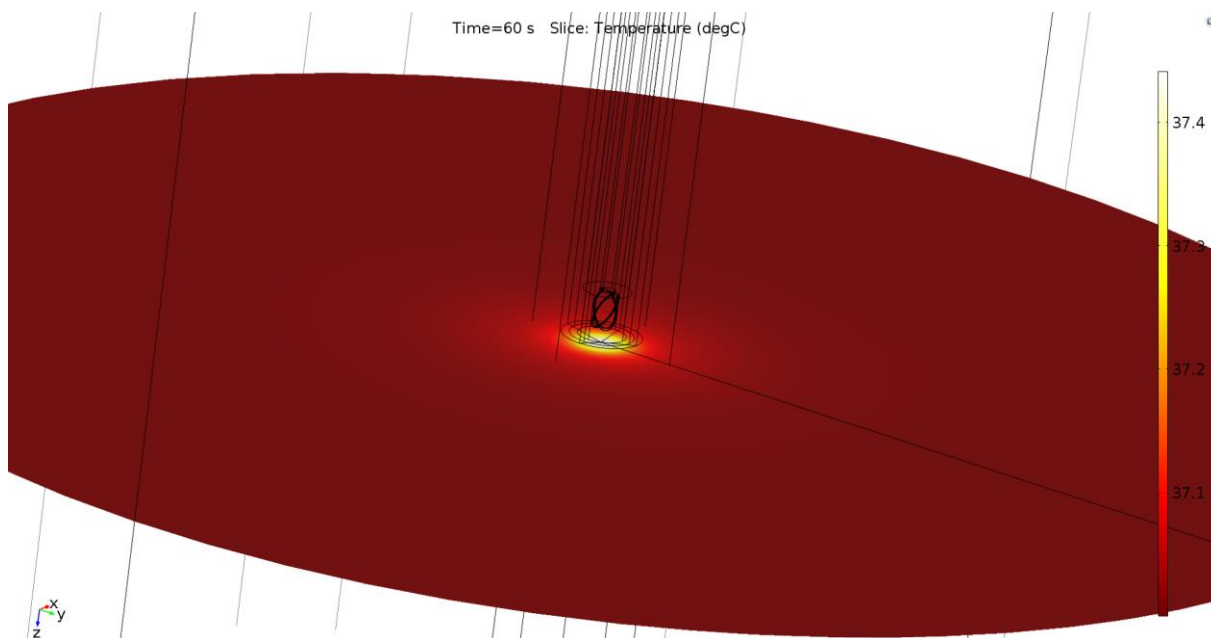


Εικόνα 3.5-3: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.

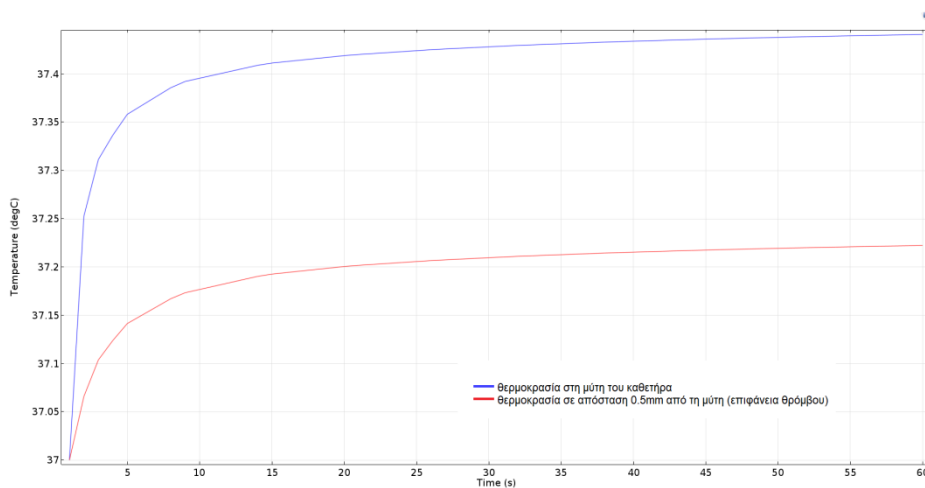


Εικόνα 3.5-4: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσεως του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές.

Δυο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό γωνία 30 μοιρών

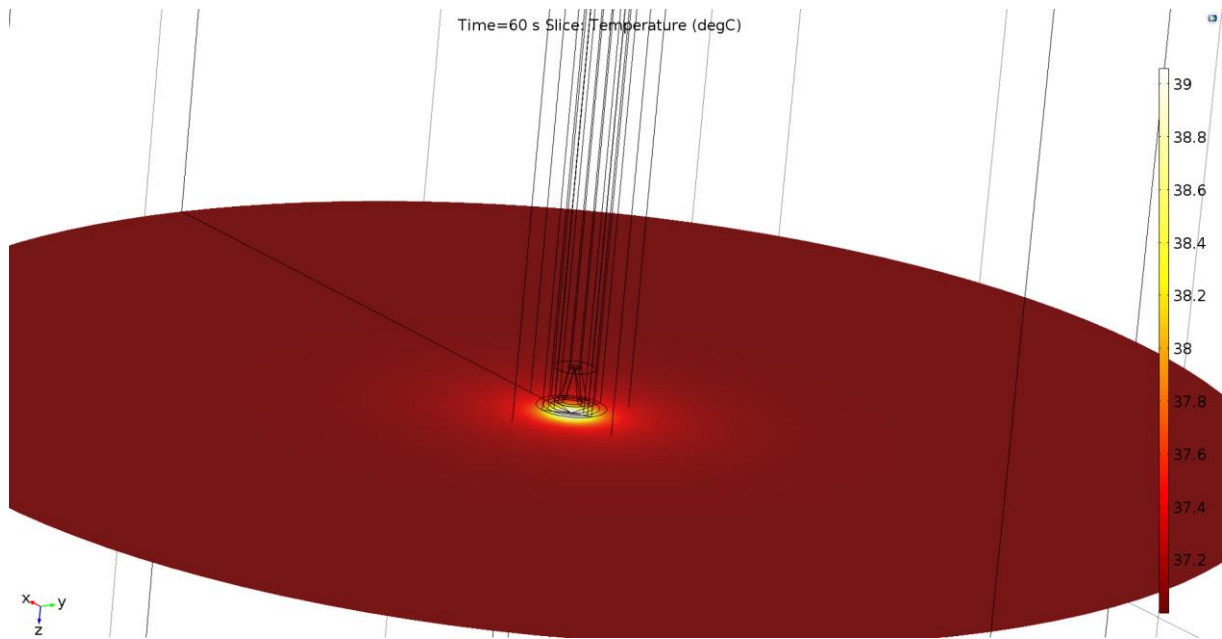


Εικόνα 3.5-5: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.

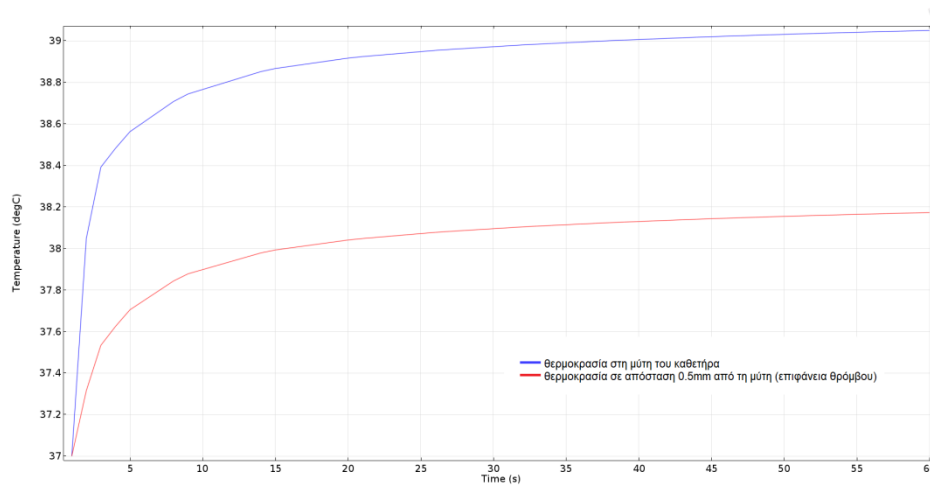


Εικόνα 3.5-6: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσεως του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών.

Κωνική χοανοκεραία

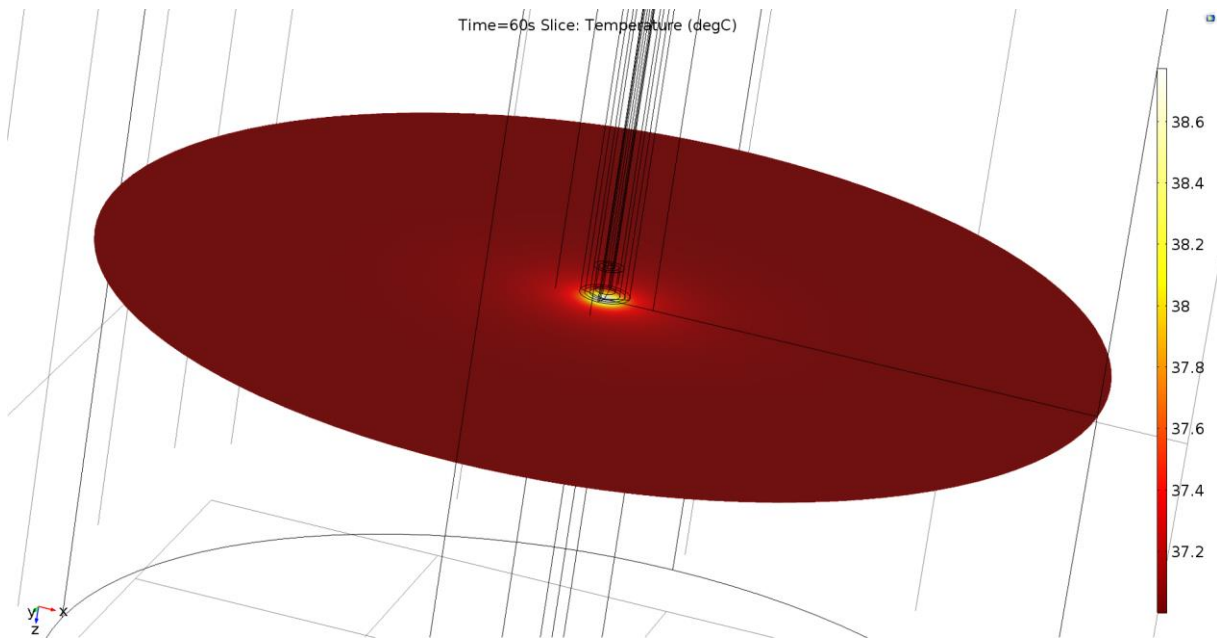


Εικόνα 3.5-7: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με την κωνική χοανοκεραία, σε 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.

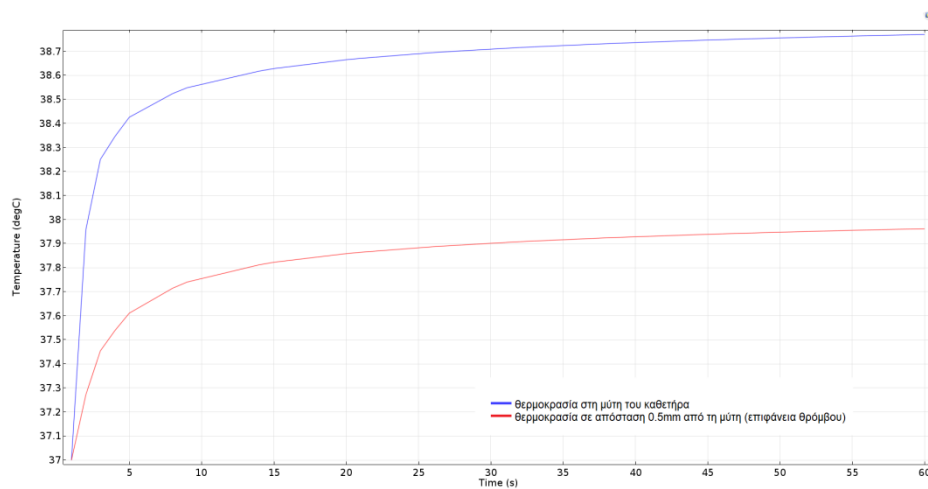


Εικόνα 3.5-8: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσεσι του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με την κωνική χοανοκεραία.

Γραμμική κεραία



Εικόνα 3.5-9: Η αυξημένη θερμοκρασία που δημιουργείται στη μύτη του καθετήρα, με τη γραμμική κεραία και 3 GHz συχνότητας, σε χρόνο ακτινοβολήσης 60s.



Εικόνα 3.5-10: Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα (με μπλε χρώμα) και σε απόσταση 0.5mm, δηλαδή στη μπροστά επιφάνεια του θρόμβου (με κόκκινο χρώμα), συναρτήσε του χρόνου ακτινοβολήσης, στον καθετήρα με τη γραμμική κεραία.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

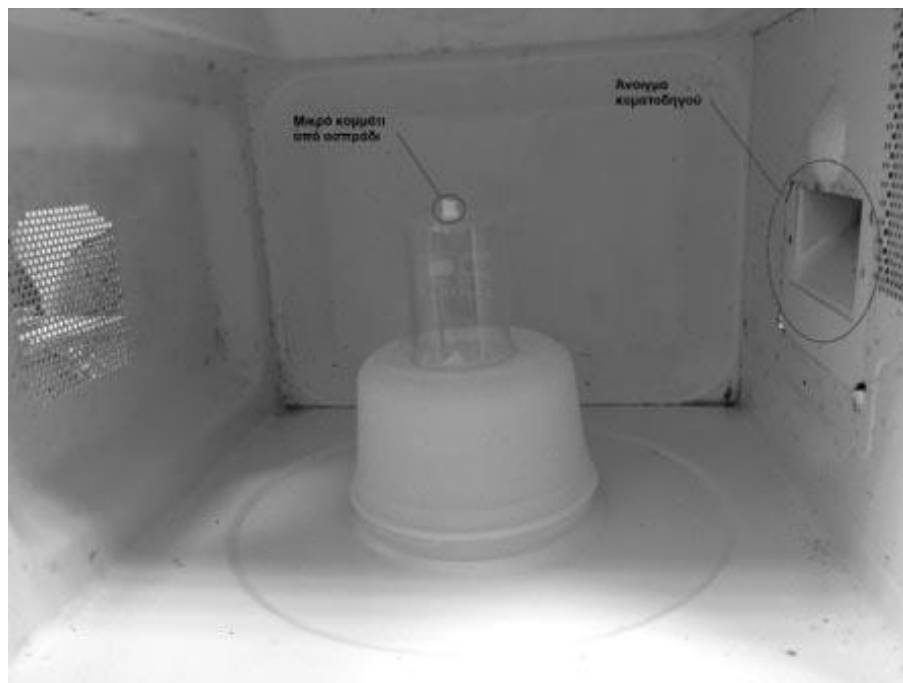
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

4.1 Σκοπός Πειράματος και Πειραματική διάταξη

Η θερμοκρασία που δημιουργείται στη περιοχή ακτινοβολήσης με την Κεραία-καθετήρα, όπως αναλύθηκε στην υποενότητα 2.2.3, πρέπει να μην υπερβαίνει τους 40 °C. Το πείραμα που διεξήχθη, είχε σαν στόχο την προσομοίωση ενός θρόμβου που ακτινοβολείται σε μικροκυματική συχνότητα, για να επαληθευτεί η μικρή-επιτρεπτή αύξηση της θερμοκρασίας, που αποτελεί τον παράγοντα ασφαλείας του ασθενούς. Παράλληλα, η όλη πειραματική διάταξη προσομοιώθηκε στο Comsol, για τη σύγκριση των Θερμοκρασιών, ώστε να γίνει αποδεκτή η εγκυρότητα των προσομοιώσεων της Κεραίας-καθετήρα. Επίσης, με τη βοήθεια των προσομοιώσεων, υπολογίστηκε η κατανομή του δείκτη SAR (απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας, W/kg) στο αυγό, για την συσχέτισή του με τη Θερμοκρασία.

Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε, σαν μέσο για την μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη περιοχή των μικροκυμάτων, ένας φούρνος μικροκυμάτων με ισχύ εξόδου 800W και συχνότητας 2.45 GHz. Ο θρόμβος προσομοιώθηκε με ένα μέτρια βρασμένο αυγό, ώστε να βρίσκεται στο denaturation-στάδιο μετουσίωσης (Εικόνα 2.1-2). Το αυγό είναι ένας καλός τρόπος προσομοίωσης της συμπεριφοράς του πηγμένου αίματος, καθώς το ασπράδι του αυγού, περιέχει μια πρωτεΐνη που ονομάζεται αλβουμίνη, η οποία είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι η σύνδεσή της μαζί με αρκετές άλλες, είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία της ινώδους



Εικόνα 4.1-1: Φωτογραφία της πειραματικής διάταξης με το μικρό δείγμα από ασπράδι

πρωτεΐνης (fibrin protein) [35]. Τα πειράματα που εκτελέσθηκαν ήταν δύο, όπου διαφοροποιείτο στο κάθε ένα, το μέγεθος του ακτινοβολούμενου δείγματος. Στο πρώτο πείραμα, το δείγμα ήταν ένα ολόκληρο αυγό, ενώ στο δεύτερο ένα μικρό κομμάτι από το ασπράδι.

4.2 Μοντελοποίηση της Πειραματικής διάταξης

Για την προσομοίωση της Πειραματικής Διάταξης στο πρόγραμμα Comsol, αναγκαία είναι τα φυσικά μεγέθη των αντικειμένων καθώς και οι ιδιότητες των υλικών. Όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη Ενότητα, ο φούρνος που χρησιμοποιήθηκε είχε συχνότητα λειτουργίας 2.45 GHz και ισχύ απόδοσης 800W. Ο φούρνος ήταν σχήματος κύβου, με μήκος 40cm, πλάτος-βάθος 30cm και ύψος 30cm, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1-1. Το άνοιγμα του κυματοδηγού ήταν σχήματος τετραγώνου, μήκους 7cm και πλάτους 5cm. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο κέντρο του φούρνου. Στους παρακάτω Πίνακες αναφέρονται οι διαστάσεις των δειγμάτων καθώς και οι Θερμικές και Ηλεκτρομαγνητικές τους ιδιότητες που είναι αναγκαίες για την μοντελοποίηση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στο Comsol. [36 – 39].

Ολόκληρο αυγό – Προσομοιώνεται με Σφαίρα ακτίνας 2cm	
Ειδική Θερμοχωρητικότητα, c	$2.7 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Θερμική αγωγιμότητα, k	$0.393 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Πυκνότητα, ρ	$1.1 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Διηλεκτρική σταθερά, ϵ_r	51
Ειδική αγωγιμότητα, σ	$0.53 \text{ S}/\text{m}$

Πίνακας 4.2-1: Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες ολόκληρου αυγού (μαζί με κρόκο) σε συχνότητα 2.45 GHz και θερμοκρασία 25°C.

Μικρό κομμάτι ασπράδι – Προσομοιώνεται με Σφαίρα ακτίνας 8mm	
Ειδική Θερμοχωρητικότητα, c	$2.7 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Θερμική αγωγιμότητα, k	$0.393 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Πυκνότητα, ρ	$1.1 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Διηλεκτρική σταθερά, ϵ_r	63
Ειδική αγωγιμότητα, σ	$0.69 \text{ S}/\text{m}$

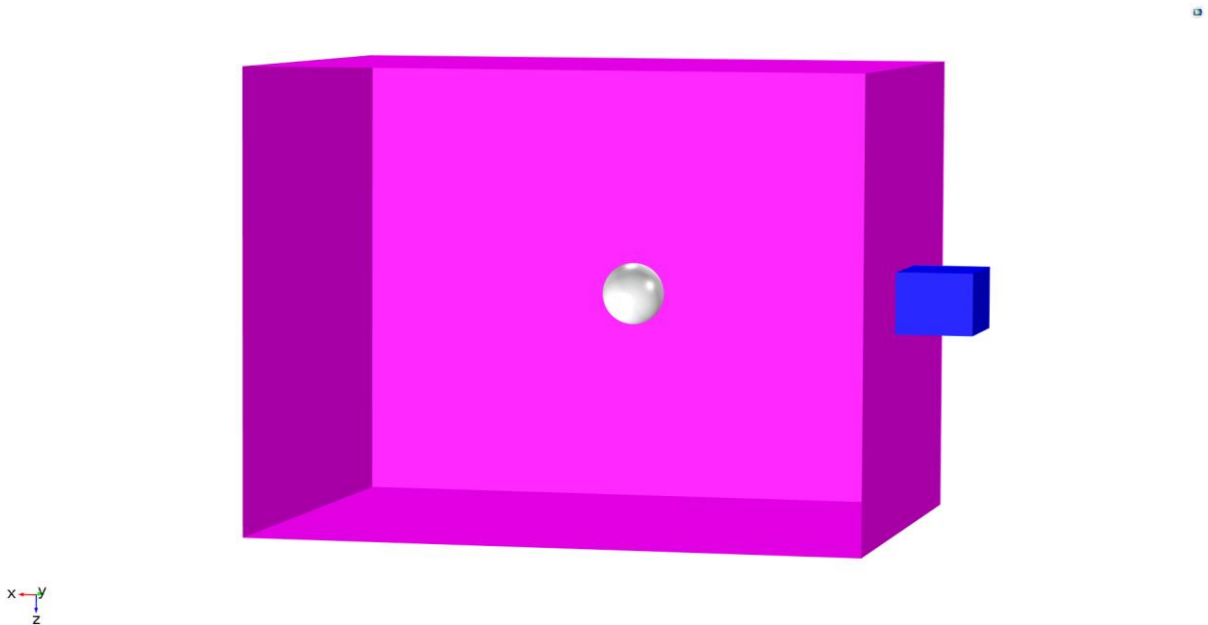
Πίνακας 4.2-2: Πυκνότητα, ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές ιδιότητες για το ασπράδι του αυγού σε συχνότητα 2.45 GHz και θερμοκρασία 25°C.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η επιλογή του ολόκληρου αυγού ως ακτινοβολούμενο δείγμα έγινε διότι αποτελεί ένα πολύ καλό μοντέλο για την μελέτη και διερεύνηση των περιοχών ακτινοβόλησης συναρτήσει της παραμέτρου της θερμοκρασίας, ενώ το μικρό κομμάτι από το ασπράδι προσομοιώνει, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα πραγματικό θρόμβο.

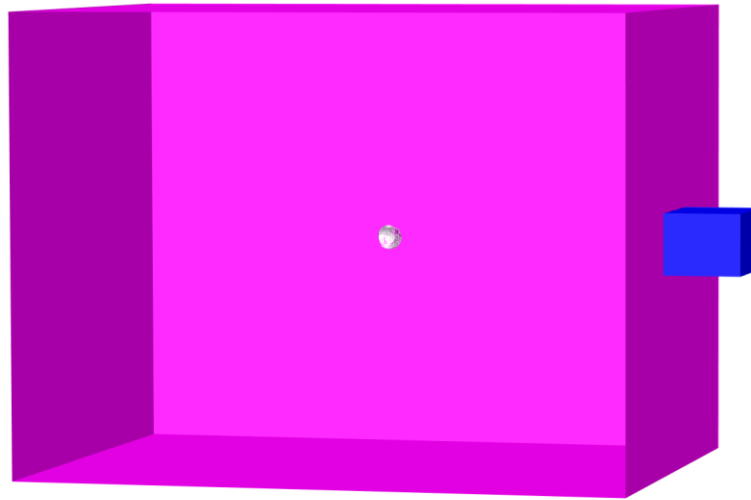
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο μοντέλα, 1^ο με το ολόκληρο αυγό, 2^ο με το μικρό κομμάτι από ασπράδι, που κατασκευάστηκαν στο Comsol Multiphysics.

Σημειώνονται επίσης τα χρώματα στις εικόνες ως εξής:

- Ο εσωτερικός χώρος του φούρνου μικροκυμάτων – Μωβ
- Η κεραία και ο κυματοδηγός του φούρνου – Μπλε
- Το δείγμα του αυγού – Λευκό



Εικόνα 4.2-1: 3D μοντέλο που αναπαριστά το εσωτερικό του φούρνου μικροκυμάτων, την κεραία με τον κυματοδηγό και ένα ολόκληρο αυγό, ως ακτινοβολούμενο δείγμα.

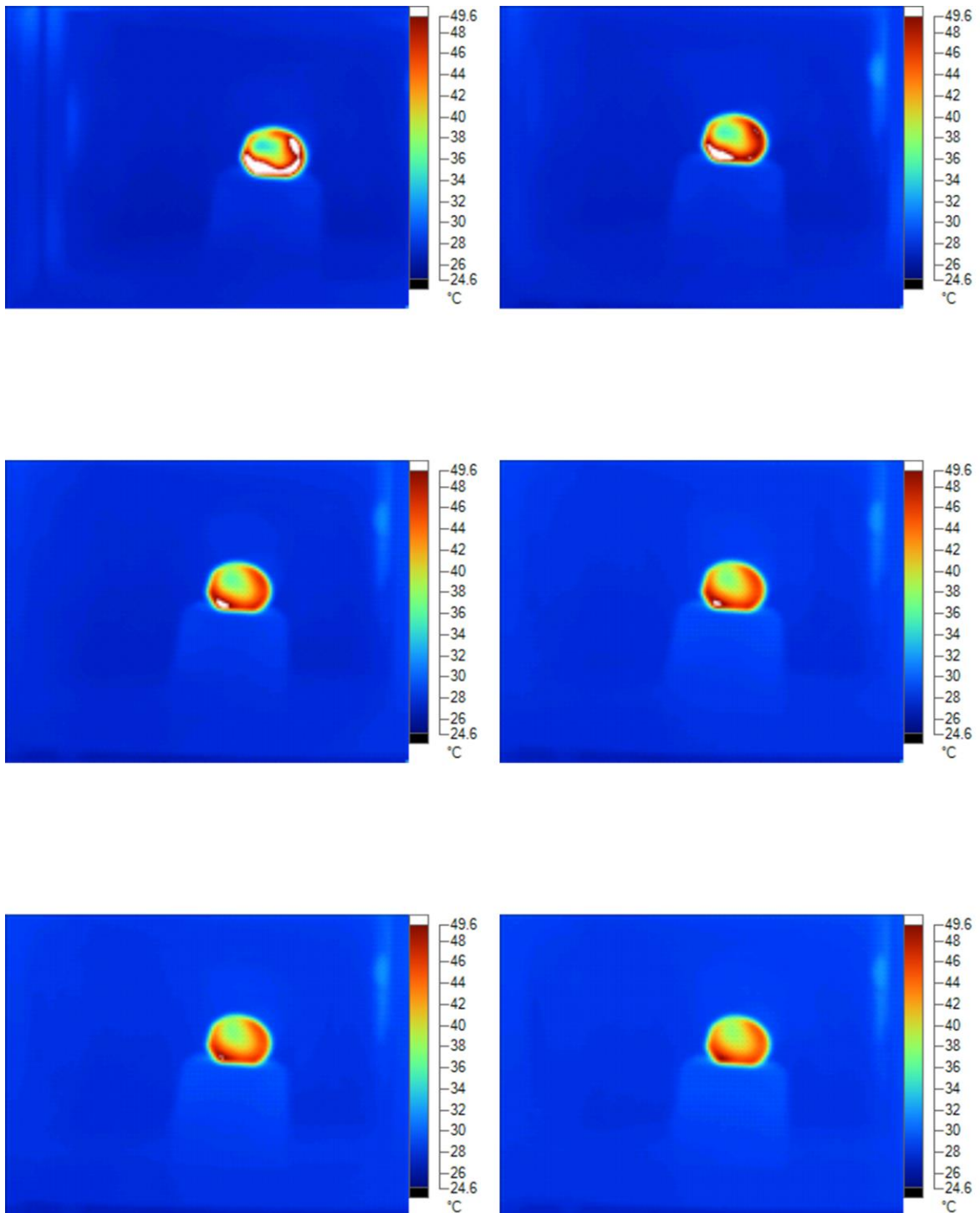


Εικόνα 4.2-2: 3D μοντέλο που αναπαριστά το εσωτερικό του φούρνου μικροκυμάτων, την κεραία με τον κυματοδηγό και ένα μικρό κομμάτι από το ασπράδι του αυγού, ως ακτινοβολούμενο δείγμα.

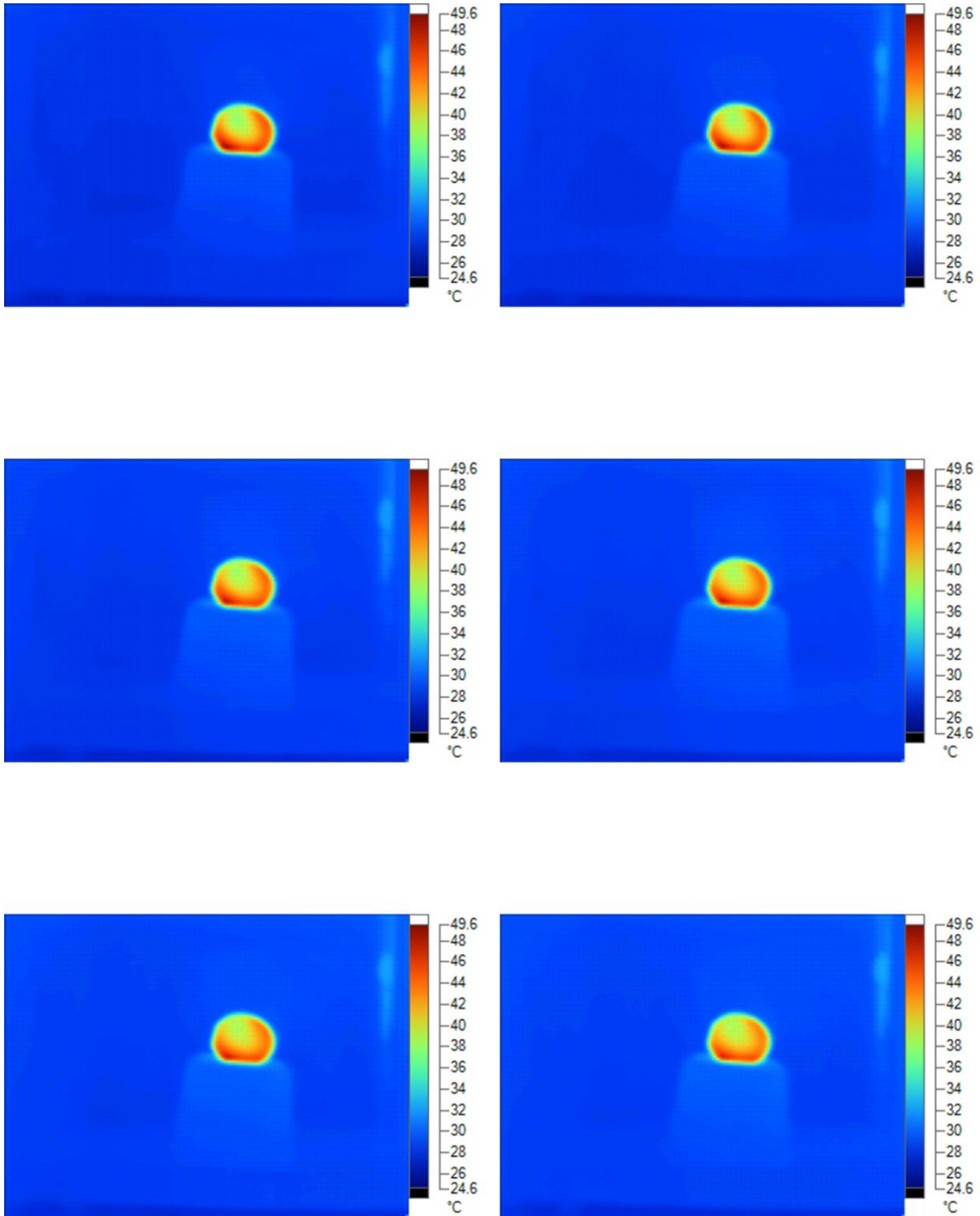
4.3 Αποτελέσματα Πειραμάτων και Προσομοιώσεων

Στις παρακάτω υποενότητες δίνονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας του δείγματος, από τα δύο πειράματα που εκτελέστηκαν. Ο χρόνος ακτινοβολήσης των δειγμάτων και στα δύο πειράματα ήταν 15s. Τα δείγματα, αρχικά, πριν την ακτινοβολήσή τους, βρίσκονταν σε θερμοκρασία δωματίου (25 °C). Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας έγινε με τη βοήθεια θερμογραφικής κάμερας, η οποία απεικονίζει την υπέρυθη ακτινοβολία σε ορατό φως. Κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν, εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία, την οποία η κάμερα λαμβάνει, με αποτέλεσμα να απεικονίζει τη θερμοκρασία του χώρου. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας και του δείκτη SAR, των μοντέλων που προσομοιάζουν τα δύο πειράματα στο Comsol.

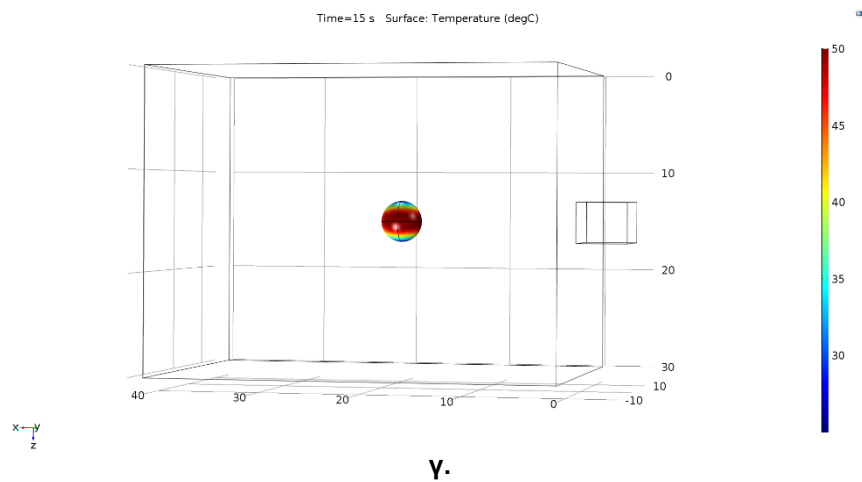
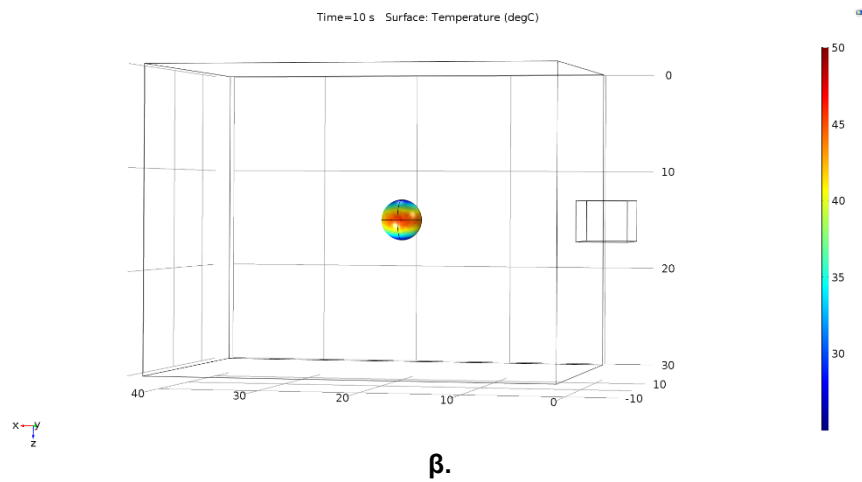
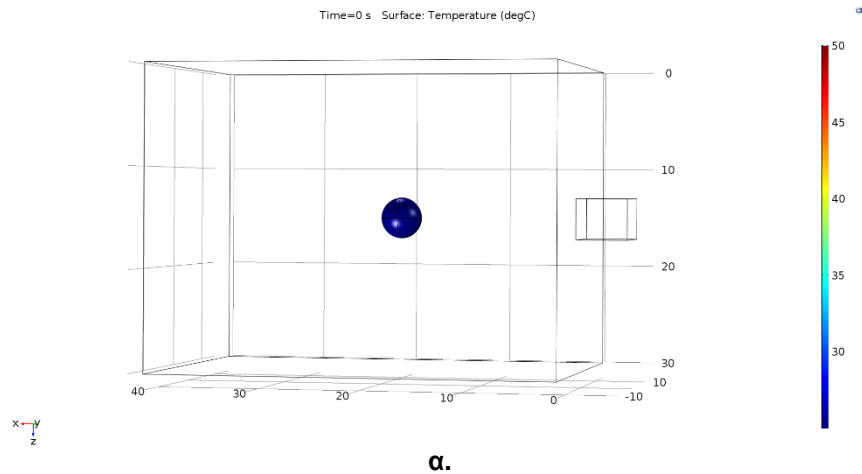
4.3.1 Αποτελέσματα 1^{ου} Πειράματος και Προσομοίωσης



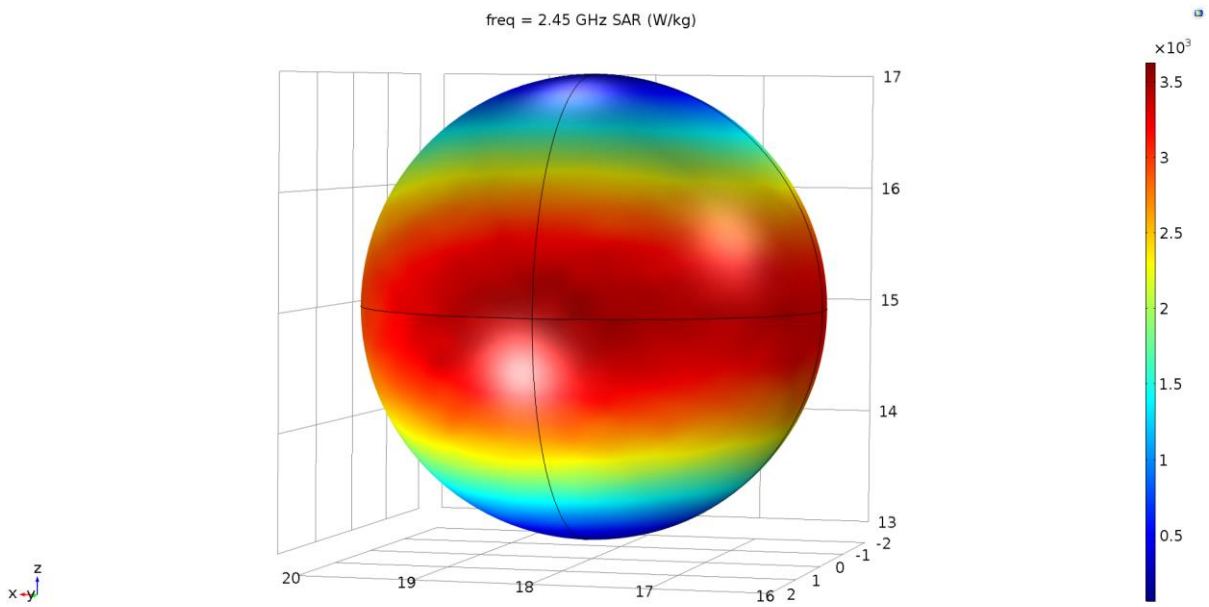
Εικόνα 4.3.1-1: 6 στιγμιότυπα της σταδιακής θέρμανσης με το φούρνο μικροκυμάτων του ολόκληρου αυγού. Η τελευταία εικόνα απεικονίζει τη θερμοκρασία μετά από 15s ακτινοβολήσης.



Εικόνα 4.3.1-2: 6 στιγμιότυπα που απεικονίζουν την ψύξη του ολόκληρου αυγού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 °C, μέσα σε χρόνο 5s.

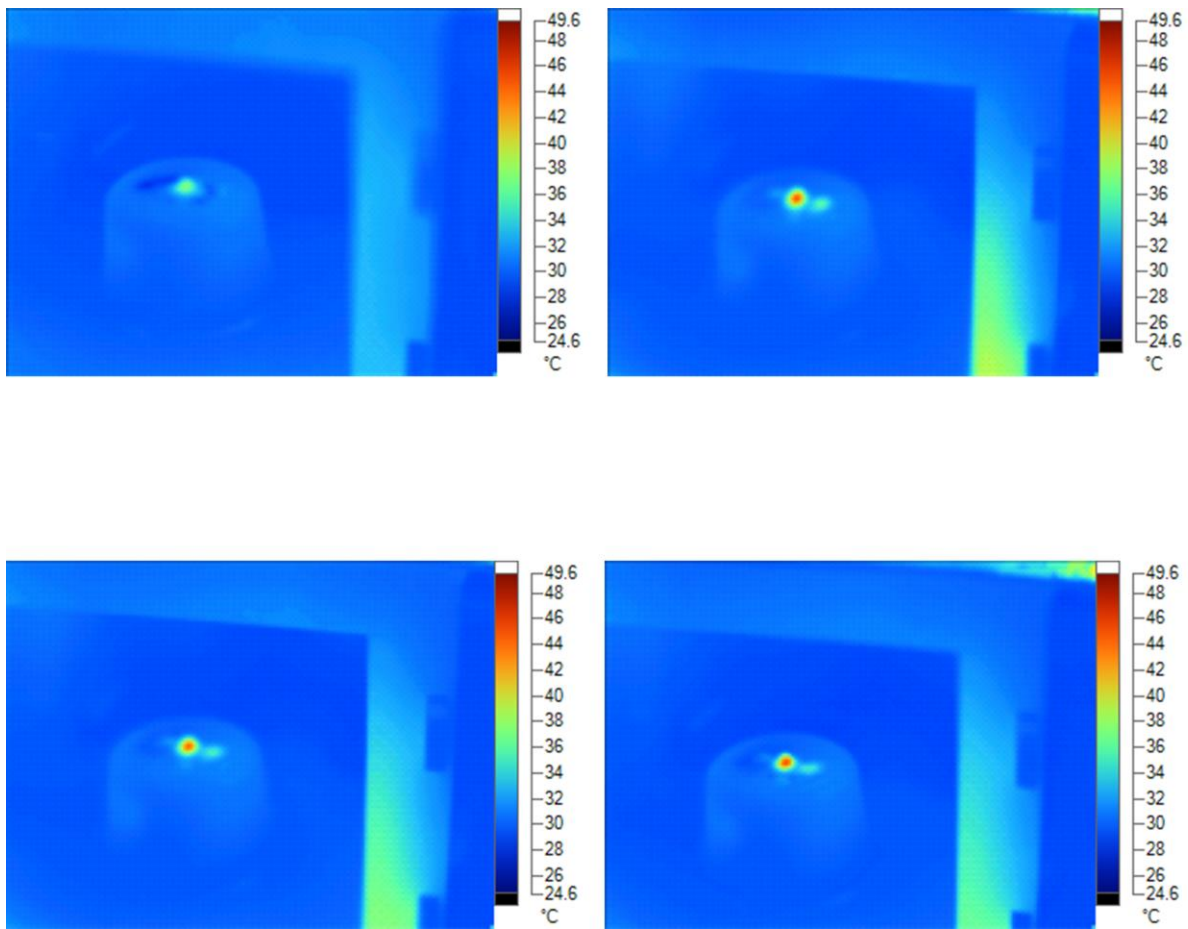


Εικόνα 4.3.1-3: Αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του ολόκληρου αυγού, όταν ακτινοβολείται για χρόνο α) 0s (δεν έχει αρχίσει η ακτινοβολήση) β) 10s γ) 15s.

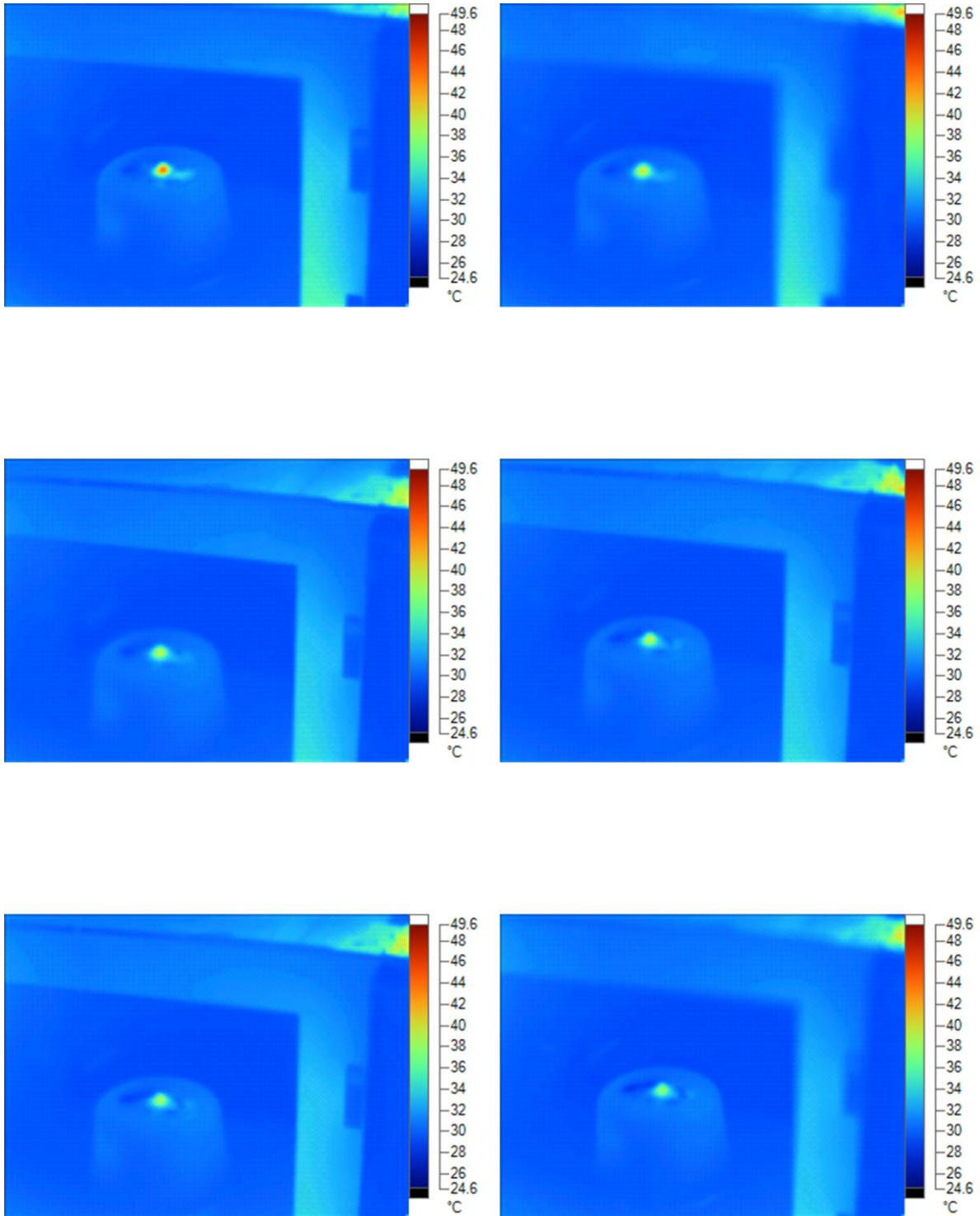


Εικόνα 4.3.1-4: Η κατανομή του δείκτη SAR στο ολόκληρο αυγό, όταν ακτινοβολείται από τον φούρνο μικροκυμάτων συχνότητας 2.45 GHz και ισχύος 800 W.

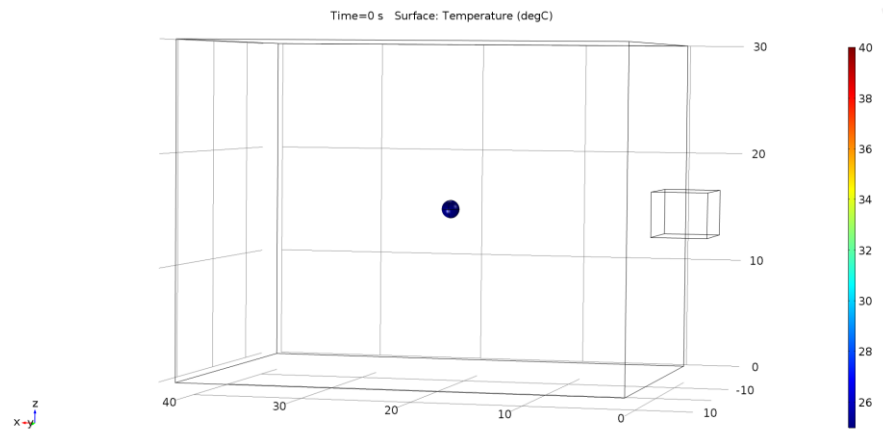
4.3.2 Αποτελέσματα 2^{ου} Πειράματος και Προσομοίωσης



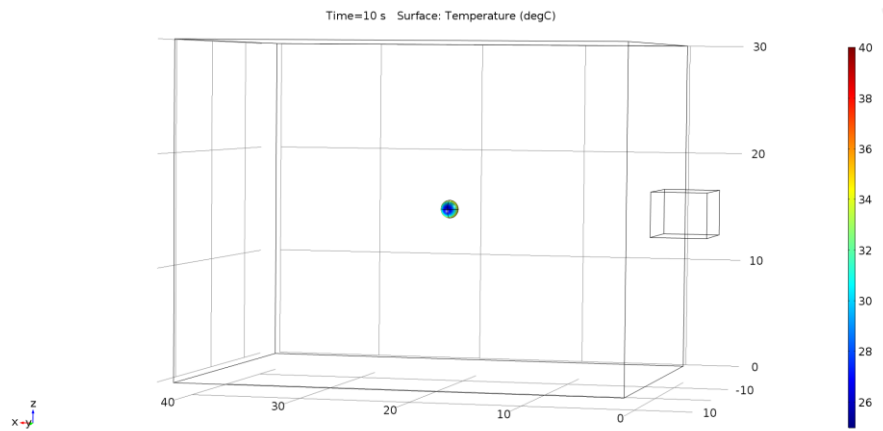
Εικόνα 4.3.2-1: 4 στιγμιότυπα της σταδιακής θέρμανσης με το φούρνο μικροκυμάτων του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού. Η τελευταία εικόνα απεικονίζει τη θερμοκρασία μετά από 15s ακτινοβολήσης.



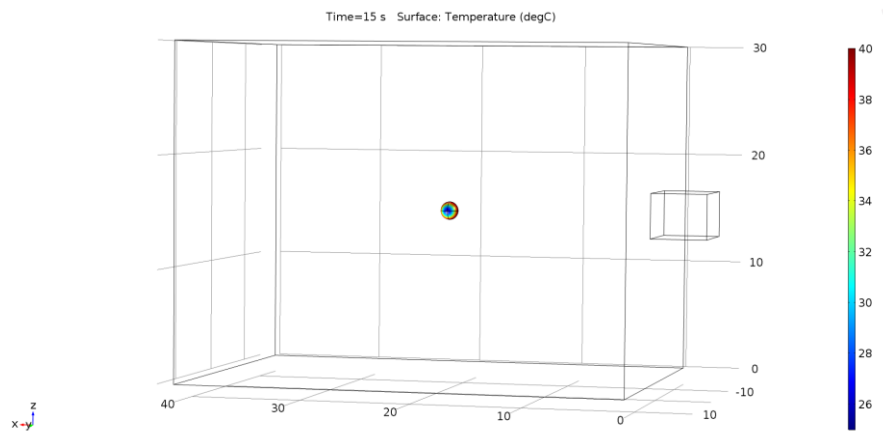
Εικόνα 4.3.2-2: 6 στιγμιότυπα που απεικονίζουν την ψύξη του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 °C, μέσα σε χρόνο 5s.



α.

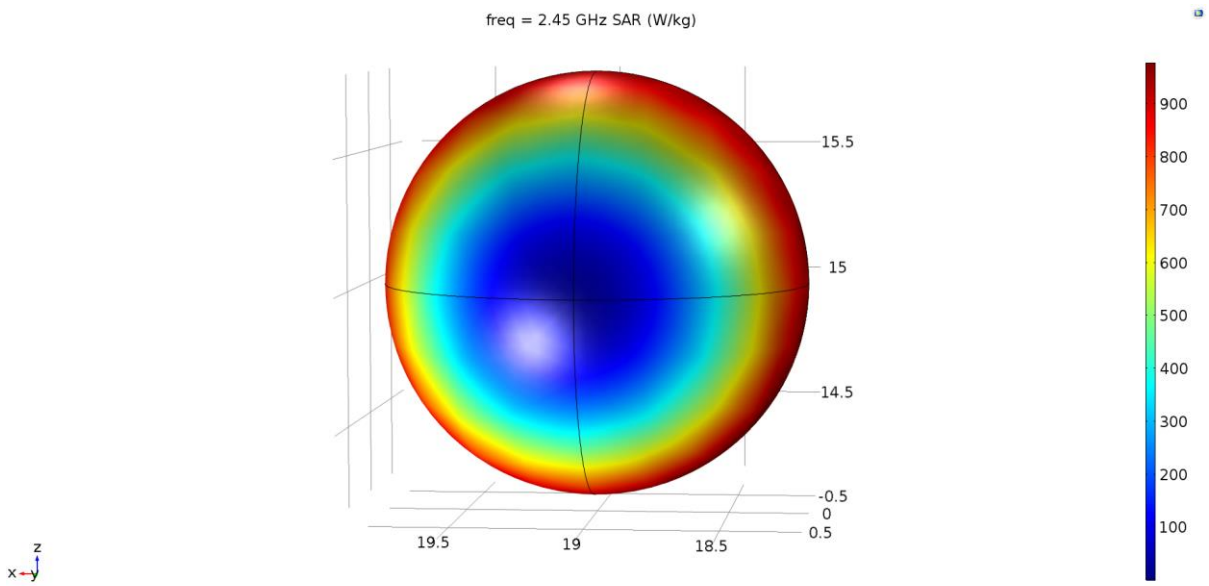


β.



γ.

Εικόνα 4.3.2-3: Αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του μικρού κομματιού από το ασπράδι του αυγού, όταν ακτινοβολείται για χρόνο α) 0s (δεν έχει αρχίσει η ακτινοβολήση) β) 10s γ) 15s.



Εικόνα 4.3.2-4: Η κατανομή του δείκτη SAR στο μικρό κομμάτι από το ασπράδι του αυγού, όταν ακτινοβολείται από τον φούρνο μικροκυμάτων συχνότητας 2.45 GHz και ισχύος 800 W.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα Προσομοιώσεων

Στο κεφάλαιο 2, σχεδιάστηκαν πέντε μοντέλα Κεραιών-καθετήρων, για την ακτινοβολήση του θρόμβου σε οξύ ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο. Στο κεφάλαιο 3, αποδείχθηκε και για τα πέντε μοντέλα, με τη βοήθεια του συντελεστή ανάκλασης, ότι η βέλτιστη συχνότητα λειτουργίας είναι τα 3 GHz και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για το ηλεκτρικό πεδίο, το ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) και τη θερμοκρασία, για δεδομένη ισχύ εισόδου 10W. Στη παρούσα ενότητα, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των πέντε Κεραιών-καθετήρων για τις μέγιστες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου, του δείκτη SAR και της θερμοκρασίας, στη μύτη του καθετήρα, στην επιφάνεια του θρόμβου, στο τοίχωμα της αρτηρίας και στο χώρο του εγκεφαλικού ιστού.

Στους πίνακες που θα αναλυθούν παρακάτω, θεωρείται ότι: A: ο μικρός κυκλικός βρόχος, B: ο μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές, C: οι δύο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό γωνία 30 μοιρών, D: η κωνική χροανοκεραία, E: η γραμμική κεραία.

5.1.1 Σύγκριση Ηλεκτρικού πεδίου και Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης

Στη ενότητα 2.1, αναλύθηκε ότι ο στόχος της σχεδίασης μιας Κεραίας-καθετήρα είναι η πιθανή διάσπαση της εξωτερικής πρωτεϊνικής αλυσίδας που περικλείει το θρόμβο, καθώς και τη γρηγορότερη αποτελεσματικότητα της θρομβόλυσης, σε συνδυασμό με το φάρμακο rt-PA. Το ηλεκτρικό πεδίο, δείχνει άμεσα την ενέργεια που παράγει η Κεραία-καθετήρας σε κάθε σημείο του ιστού. Από την άλλη, ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR), παρουσιάζει το ποσό της ενέργειας που απορροφάται από κάθε σημείο του ιστού.

Σαν αναφορά θεωρείται η μύτη του καθετήρα, συνεπώς ορίζεται η οριζόντια απόσταση $L_{op} = 0mm$ και η κάθετη $L_k = 0mm$.

Μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο (V/m):	Καθετήρας με κεραία:				
	A	B	C	D	E
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	1809.6	2257.3	2259.9	3949.9	3949.7
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	443.1	527.8	612.7	1366.6	1251.8
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	46.1	53.2	62.5	161.9	138.7
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2mm, L_k = 0mm$)	49.7	59.2	64.6	177.3	152.1

Πίνακας 5.1.1-1: Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.

Μέγιστος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (W/kg):	Καθετήρας με κεραία:				
	A	B	C	D	E
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	2133. 1	3319. 7	3326. 9	10163. 0	10162. 0
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	64.8	92.1	124.0	616.8	517.5
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	1.8	2.5	3.4	22.7	16.7
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2mm, L_k = 0mm$)	2.4	3.4	4.0	30.2	22.3

Πίνακας 5.1.1-2: Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής του ρυθμού ειδικής απορρόφησης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.

Συμπεράσματα – Παρατηρείται ότι μέγιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου, καθώς και δείκτη SAR, έχει ο καθετήρας με τη κωνική χροανοκεραία (D), και με τη σειρά του ο καθετήρας με τη γραμμική κεραία (E). Συνεπώς οι καθετήρες με τις δυο αυτές κεραίες είναι σχεδιαστικά οι βέλτιστοι. Έπειτα κατά φθίνουσα σειρά τόσο για τις τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, όσο και για του δείκτη SAR είναι: ο καθετήρας με το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές (B) και ο καθετήρα με τους δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών (C), που έχουν παραπλήσιες τιμές, και τέλος τον καθετήρα με το μικρό κυκλικό βρόχο (A).

5.1.2 Σύγκριση Θερμοκρασίας

Όπως παρουσιάστηκε στη υποενότητα 2.2.3, ως δείκτη για την ασφάλεια του ασθενή, καθώς και για τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η υψηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συχνότητες μικροκυμάτων στο θρόμβο και στους εγκεφαλικούς ιστούς, χρησιμοποιείται η θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό, αναφέρθηκε σαν ανώτατο όριο η θερμοκρασία να μην υπερβαίνει τους 40 °C, αφού σε υψηλότερες υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μόνιμης εγκεφαλικής βλάβης, καθώς και μεγαλύτερης σκλήρυνσης του θρόμβου.

Μέγιστη Θερμοκρασία (°C):	Καθετήρας με κεραία:				
	A	B	C	D	E
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	37.24	37.34	37.44	39.07	38.78
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	37.12	37.17	37.22	38.17	37.96
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	37.03	37.04	37.05	37.29	37.23
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2mm, L_k = 0mm$)	37.03	37.04	37.05	37.29	37.22

Πίνακας 5.1.2-1: Συγκριτικός πίνακας της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας, για 60s ακτινοβολήσης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για κάθε μια από τις πέντε Κεραίες-καθετήρες, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz.

Συμπεράσματα – Παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, ότι για τους καθετήρες με τις κεραίες μικρό κυκλικό βρόχο (A), μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές (B) και δύο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών (C), η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στις περιοχές ενδιαφέροντος, δεν ξεπερνούν τους 37.5 °C, για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz, γεγονός που τις καθιστά ασφαλείς για την προσαρμογή τους στον καθετήρα και την ακτινοβολήση του θρόμβου. Από τη άλλη, ο καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία, αναπτύσσει στη μύτη του 39.07 °C και στο θρόμβο θερμοκρασίες έως 38.17 °C, ενώ ο καθετήρας με τη γραμμική κεραία 38.78 °C στη μύτη του και στο θρόμβο έως 37.96 °C. Οι θερμοκρασίες αυτές, παρόλο που είναι εντός του ορίου που έχει αναφερθεί (μικρότερες των 40 °C), για τη μεγαλύτερη ασφάλεια του ασθενή, θεωρείται μέγιστη επιθυμητή θερμοκρασία 38 °C. Θετικό είναι το γεγονός ότι στα τοιχώματα της αρτηρίας και οι πέντε Κεραίες-καθετήρες αυξάνουν τη θερμοκρασία εντός του επιθυμητού ορίου.

5.2 Βελτίωση των Καθετήρων με την Κωνική Χοανοκεραία και τη Γραμμική Κεραία

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα στη παράγραφο 5.1, οι καθετήρες με κεραίες το μικρό κυκλικό βρόχο, το μικρό κυκλικό βρόχο με αιχμές και τους δυο μικρούς κυκλικούς βρόχους τεμνόμενους υπό γωνία 30 μοιρών, παράγουν ικανοποιητικό ηλεκτρικό πεδίο στη μύτη τους και στη περιοχή του θρόμβου, ενώ η θερμοκρασία παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (μικρότερη των 37.5 °C), για ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz. Εν αντιθέσει, ο καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία και ο καθετήρας με τη γραμμική κεραία, για την ίδια ισχύ εισόδου 10 W και συχνότητα 3 GHz, παράγουν υψηλό ηλεκτρικό πεδίο, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία σε επικίνδυνες τιμές για την υγεία του ασθενή. Για το λόγο αυτό, αποδείχτηκε μέσα από προσομοιώσεις, ότι μειώνοντας την ισχύ εισόδου στο μισό, δηλαδή στα 5 W, η μέγιστη θερμοκρασία που δημιουργούν οι δυο αυτοί καθετήρες, δεν ξεπερνούν τους 38°C. Τα αποτελέσματα

Μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο (V/m):	Καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία (D)	Καθετήρας με τη γραμμική κεραία (E)
	με ισχύ εισόδου 5 Watt	
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	2793.0	2792.9
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	966.32	885.2
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	114.5	98.1
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2 mm, L_k = 0mm$)	125.4	107.5

Πίνακας 5.2-1: Πίνακας της μέγιστης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.

του ηλεκτρικού πεδίου, του δείκτη SAR και της θερμοκρασίας για ους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και τη γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz παρουσιάζονται στους πίνακες (Πίνακες 5.2-1 – 5.2-3).

Μέγιστος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (W/kg):	Καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία (D)	Καθετήρας με τη γραμμική κεραία (E)
	με ισχύ εισόδου 5 Watt	
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	5081.5	5080.9
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	308.4	258.77
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	11.4	8.4
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2mm, L_k = 0mm$)	15.1	11.1

Πίνακας 5.2-2: Πίνακας της μέγιστης τιμής του ρυθμού ειδικής απορρόφησης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.

Μέγιστη Θερμοκρασία (°C):	Καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία (D)	Καθετήρας με τη γραμμική κεραία (E)
	με ισχύ εισόδου 5 Watt	
στη μύτη του καθετήρα ($L_{op} = 0mm, L_k = 0mm$)	38.03	37.89
στο θρόμβο ($L_{op} = 0mm, L_k = 0.5mm$)	37.59	37.48
στην επιφάνεια της αρτηρίας ($L_{op} = 2mm, L_k = 0mm$)	37.14	37.11
στο γύρω εγκεφαλικό ιστό ($L_{op} > 2mm, L_k = 0mm$)	37.14	37.11

Πίνακας 5.2-3: Πίνακας της μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας, για 60s ακτινοβόλησης, στη μύτη του καθετήρα και στους βιολογικούς ιστούς, για τους καθετήρες με τη κωνική χοανοκεραία και τη γραμμική κεραία, για ισχύ εισόδου 5 W και συχνότητα 3 GHz.

Συνεπώς, εύκολα γίνεται κατανοητό, ότι ο καθετήρας με τη κωνική χοανοκεραία και αμέσως μετά ο καθετήρας με τη γραμμική κεραία, είναι σχεδιαστικά οι βέλτιστες Κεραίες-καθετήρες, αφού για τη μισή ισχύ, σε σχέση με τις άλλες τρεις Κεραίες-καθετήρες, παράγουν τη μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου, διατηρώντας τη θερμοκρασία στους γύρω ιστούς σε ασφαλή επίπεδα.

5.3 Συμπεράσματα Μετρήσεων με την Κάμερα Υπερύθρων

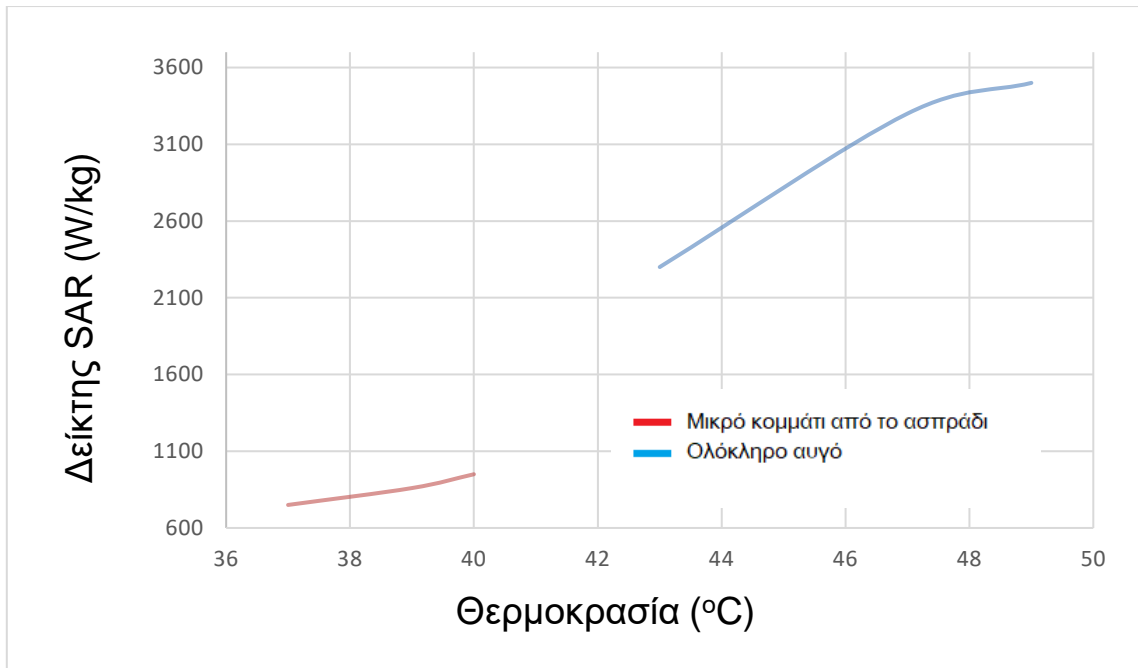
Το πειραματικό κομμάτι της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, έχει ως αποτέλεσμα να αποδειχθεί η εγκυρότητα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics, καθώς και την πρακτική συσχέτιση της θερμοκρασίας με τον ρυθμό ειδικής απορρόφησης (δείκτη SAR). Όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 4, η κατανομή της πειραματικής θερμοκρασίας έπειτα από 15s ακτινοβολήσης από τον φούρνο μικροκυμάτων, είναι παραπλήσια με την κατανομή της θερμοκρασίας στη προσομοίωση, και για τα δύο δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν. Παράλληλα, με την μέτρηση του δείκτη SAR σε διάφορα σημεία, επαληθεύεται ότι η μεταβολή του, συνεπάγεται την ίδια μεταβολή στη θερμοκρασία.

	Μέση θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη θερμοκρασία (°C)
Πείραμα 1	42 - 45	48
Προσομοίωση 1	43 - 47	49
Πείραμα 2	39 - 41	42
Προσομοίωση 2	37 - 39	40

Πίνακας 5.3-1: Συγκριτικός πίνακας της μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας μεταξύ των πειραμάτων και των αντίστοιχων προσομοιώσεων.

	Θερμοκρασία (°C)	Δείκτης SAR (W/kg)
Πείραμα & Προσομοίωση 1	43	$2.3 \cdot 10^3$
	47	$3.3 \cdot 10^3$
	49	$3.5 \cdot 10^3$
Πείραμα & Προσομοίωση 2	37	750
	39	860
	40	950

Πίνακας 5.3-2: Πίνακας αναλογίας της θερμοκρασίας με τον δείκτη SAR σε διάφορα σημεία των δειγμάτων.



Εικόνα 5.3-1: Διάγραμμα συσχέτισης της Θερμοκρασίας με το Δείκτη SAR. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίστανται οι μετρήσεις για το μικρό κομμάτι από το ασπράδι ενώ με μπλε το ολόκληρο αυγό.

Συμπεράσματα – Η κατανομή της θερμοκρασίας, όπως υπολογίστηκε από τις προσομοιώσεις και για τα δύο δείγματα του αυγού, πλησιάζουν πολύ στις πειραματικές. Αυτό συνεπάγεται ότι το πρόγραμμα Comsol Multiphysics, αποτέλεσε ένα έγκυρο εργαλείο για την εύρεση της αύξησης της θερμοκρασίας που δημιουργεί η Κεραία-καθετήρας στον θρόμβο και στο γύρω εγκεφαλικό ιστό. Από την άλλη, παρατηρείται ότι στο μοντέλο του φούρνου μικροκυμάτων- αυγού, για μικρότερο ρυθμό ειδικής απορρόφησης συνεπάγεται μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας ($2.3 \cdot 10^3 \text{ W/kg} \rightarrow 43 \text{ }^\circ\text{C}$ σε 15s ακτινοβολήσης), ενώ για παράδειγμα στο Καθετήρα με τη κωνική χοανοκεραία παρατηρείται πολύ παρόλο τον μεγάλο ρυθμό ειδικής απορρόφησης και τον μεγαλύτερο χρόνο ακτινοβολήσης, παρατηρείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας ($5 \cdot 10^3 \text{ W/kg} \rightarrow 38.03 \text{ }^\circ\text{C}$ σε 60s ακτινοβολήσης). Η απάντηση θα δοθεί από τον παράγοντα Q_p της σχέση (2) που διατυπώθηκε στην Ενότητα 2.3.3 . Ο παράγοντας Q_p , εκφράζει τις θερμικές απώλειες εξαιτίας της ροής του αίματος. Το αίμα κυλάει διαρκώς μέσα σε ένα ζωντανό οργανισμό, με αποτέλεσμα η ανακύκλωση αυτή, να ψήχει γρήγορα μια μικρή περιοχή του σώματος με αυξημένη θερμοκρασία (ανώτερη των $36.6 \text{ }^\circ\text{C}$). Για το λόγο αυτό, στο μοντέλο του φούρνου μικροκυμάτων-αυγού, ο παράγοντας Q_p , είναι *μηδέν*, και έτσι είναι αναμενόμενο να παράγεται – υψηλότερη και γρηγορότερα αυξανόμενη – θερμοκρασία.

5.4 Επίλογος και Μελλοντικοί Στόχοι

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναλύθηκε το ισχαιμικό αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, σε συνιστώσες όσο αφορά τη φύση του, τους ελεγχόμενους και μη-ελεγχόμενους παράγοντες κινδύνου, τη διάγνωση και τις ήδη υπάρχουσες θεραπείες. Έμφαση δόθηκε στην ανάγκη της ανάπτυξης μιας Κεραίας-καθετήρα, για τη θεραπεία του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου, η οποία βελτιώνει την εγχειρητική διαδικασία: μειώνει το χρόνο του χειρουργείου ενώ συγχρόνως πληροί τα όρια ασφαλείας για τον περιβάλλοντα νευρικό ιστό. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν διάφορες σημαντικές βιολογικές ιδιότητες για τους ιστούς που ακτινοβολούνται, οι οποίες είναι αναγκαίες για την ανάλυση παραμέτρων για την ασφάλεια του ασθενή. Στο κύριο μέρος της εργασίας, σχεδιάστηκαν πέντε Κεραίες-καθετήρες, που διαφέρουν ως προς την κεραία που συνδέεται στο εισαγόμενο άκρο του καθετήρα. Οι κεραίες που προσαρμόστηκαν, σχεδιάστηκαν και προσομοιώθηκαν είναι ο μικρός κυκλικός βρόχος, ο μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές, δύο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό γωνία 30 μοιρών και η κωνική χροανοκεραία. Ο σχεδιασμός, η προσομοίωση και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγιναν στο περιβάλλον Comsol Multiphysics. Η βέλτιστη συχνότητα λειτουργίας και των πέντε Κεραίων-καθετήρων, σε επιθυμητό εύρος, μελετήθηκε ότι είναι τα 3 GHz, ενώ αρχικά για είσοδο χρησιμοποιήθηκε ισχύς 10 W. Τέλος, έπειτα από την παρουσίαση, την ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, του δείκτη ειδικής απορρόφησης (SAR) και της θερμοκρασίας, αποδείχθηκε ότι βέλτιστος είναι ο καθετήρας με τη κωνική χροανοκεραία, με είσοδο 5 W και συχνότητα 3 GHz.

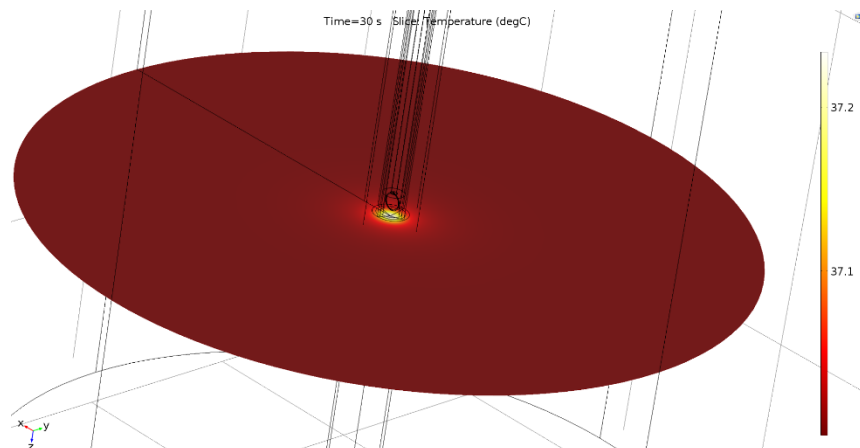
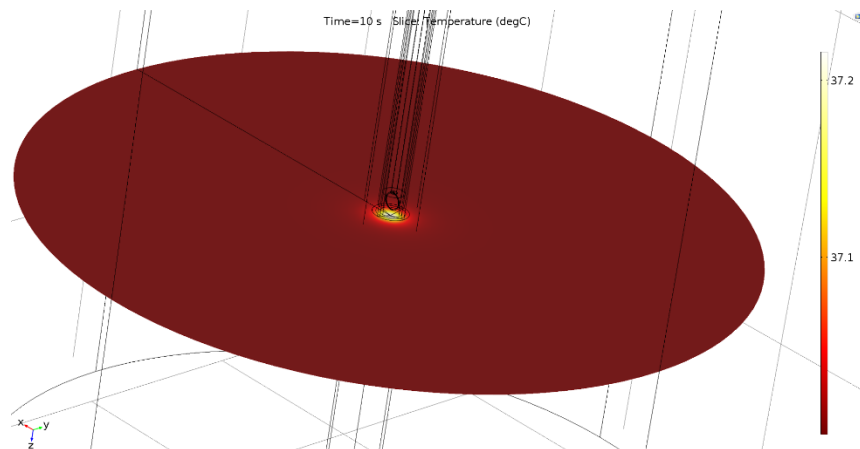
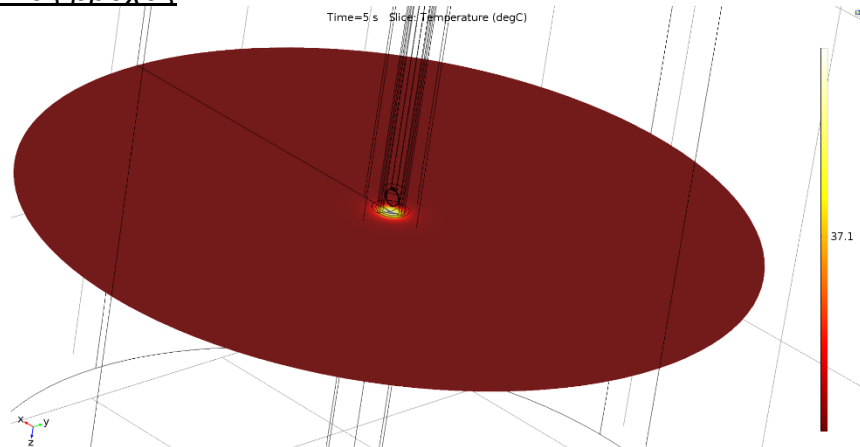
Μελλοντικοί στόχοι και προεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούν οι εξής:

- Εύρεση της ιδανικής απόστασης της Κεραίας-καθετήρα από τον θρόμβο.
- Περεταίρω πειραματική διερεύνηση των επιπτώσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις πρωτεΐνες και ειδικότερα στην ινώδη πρωτεΐνη (fibrin).
- Μελέτη πιο αποδοτικών υλικών για το περίβλημα του καθετήρα, τον εσωτερικό και εξωτερικό αγωγό και το διηλεκτρικό. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί σε εναλλακτικό βιοσυμβατό υλικό, με διηλεκτρική σταθερά παρόμοια με του αίματος, για τη κωνική μύτη της Κεραίας-καθετήρα, ώστε να μειώνονται οι ανακλάσεις στο εσωτερικό της.
- Σε πειραματικό στάδιο, μπορεί να κατασκευαστεί η αποδοτικότερη Κεραία-καθετήρας και να διεξαχθούν μετρήσεις σε θρόμβους, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις τιμές των προσομοιώσεων.
- Εν κατακλείδι, αξίζει να σημειωθεί ότι απαιτείται διερεύνηση για τις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Κεραία-καθετήρας, πέρα από τη θεραπεία του ισχαιμικού εγκεφαλικού.

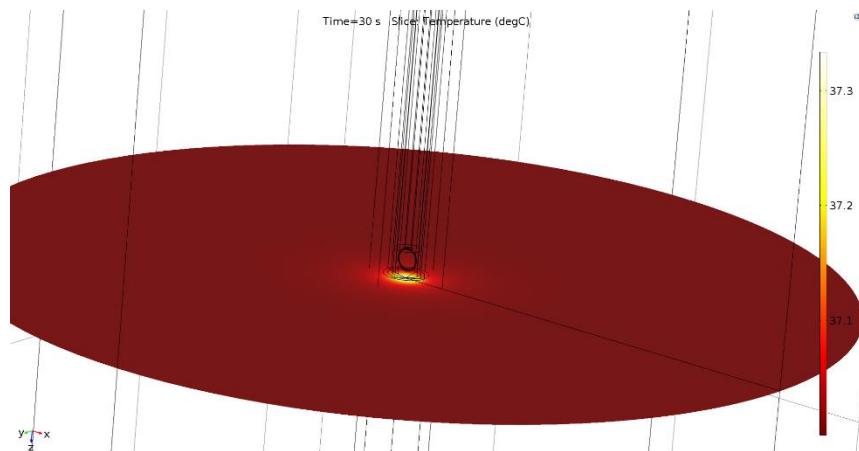
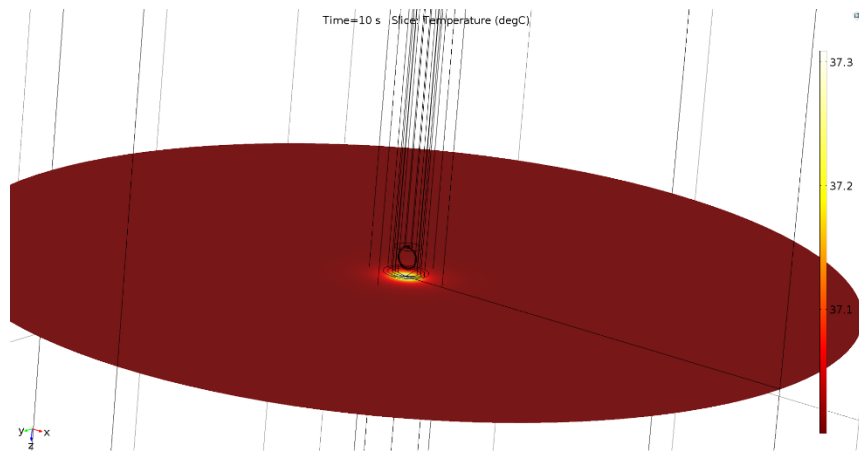
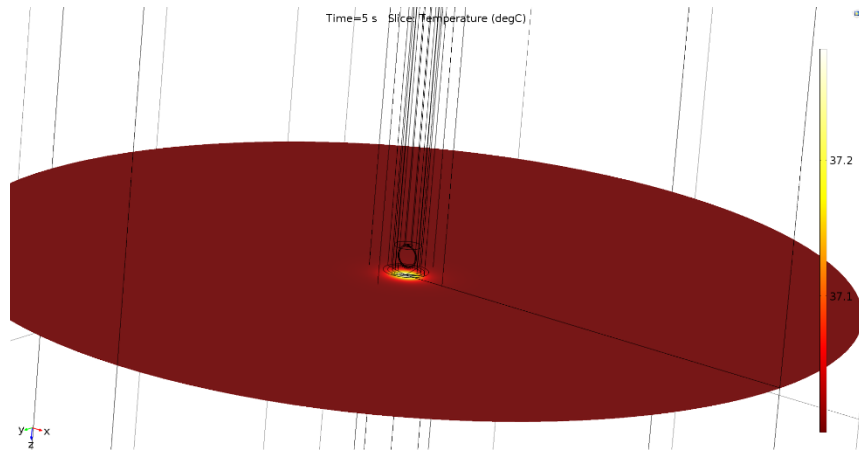
Παράρτημα

- Επιπλέον εικόνες από την προσομοίωση της θερμοκρασίας στη μύτη του καθετήρα για τις διάφορες κεραίες, σε χρόνους 5s 10s 30s.
- Όλες οι φωτογραφίες με τη θερμική κάμερα με δείγμα το ολόκληρο αυγό, κατά τη θέρμανση (με ακτινοβολήση) και κατά την ψύξη (μετά την ακτινοβολήση).

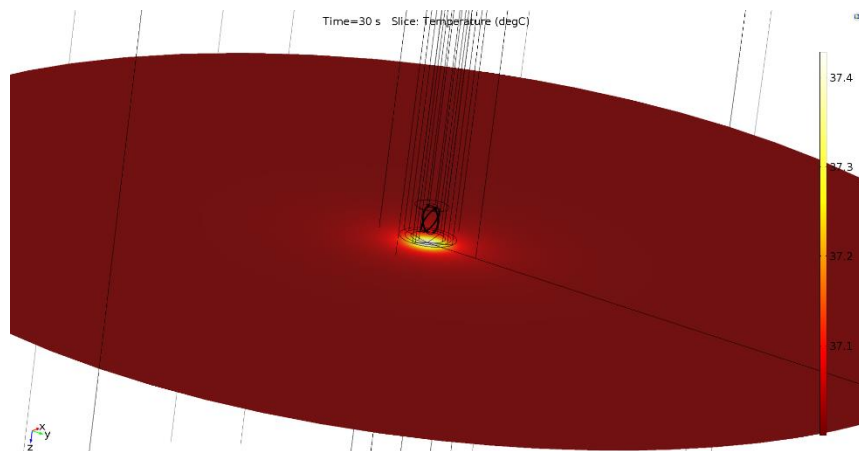
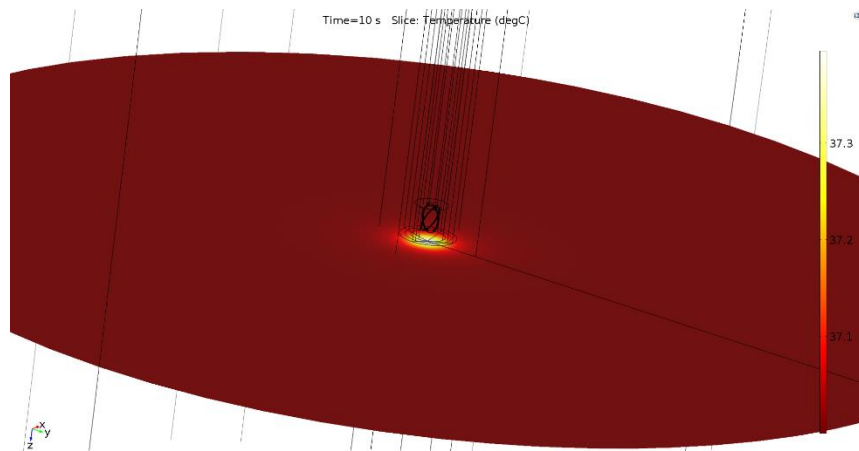
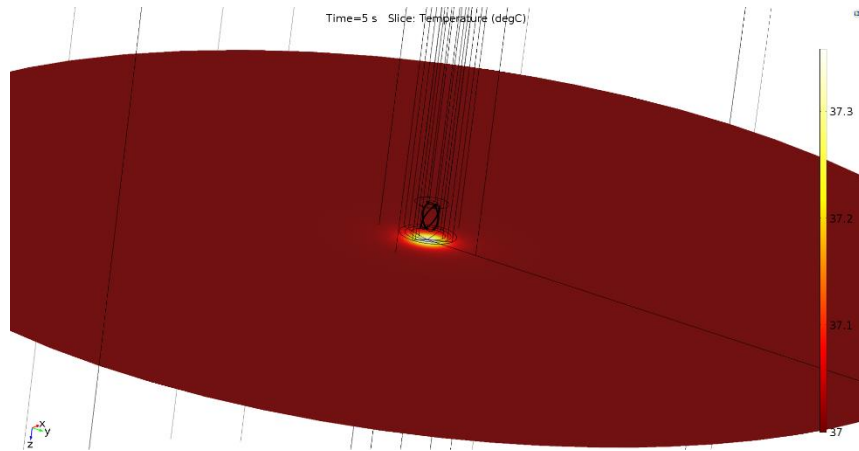
Μικρός κυκλικός βρόχος



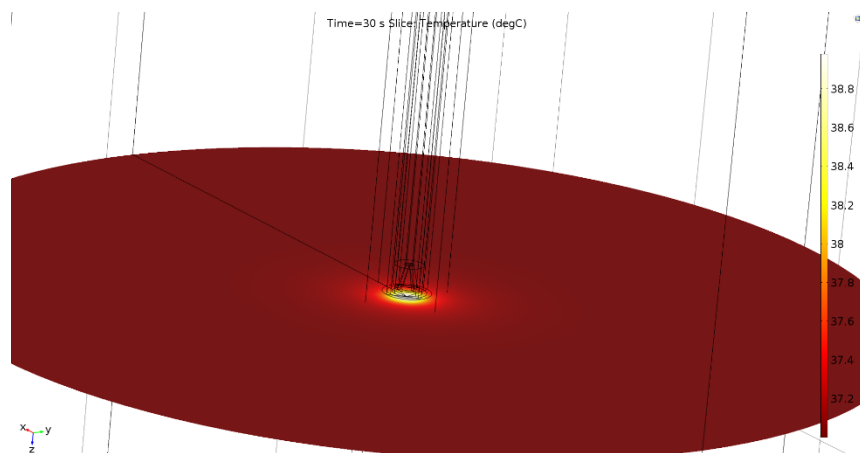
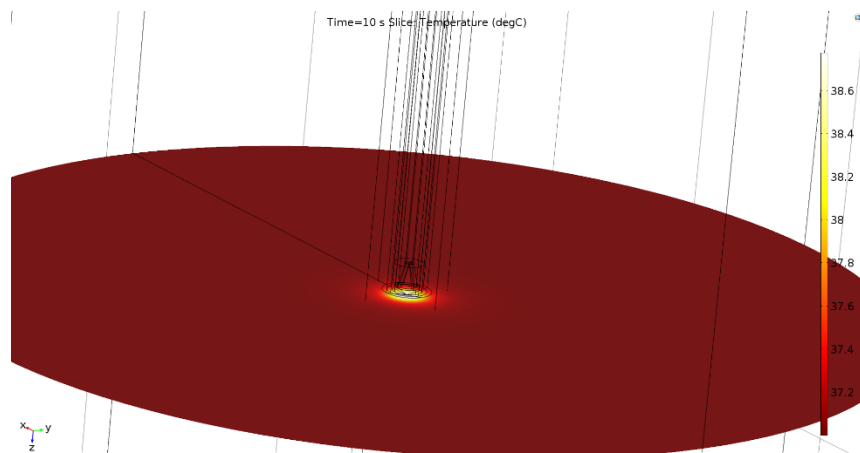
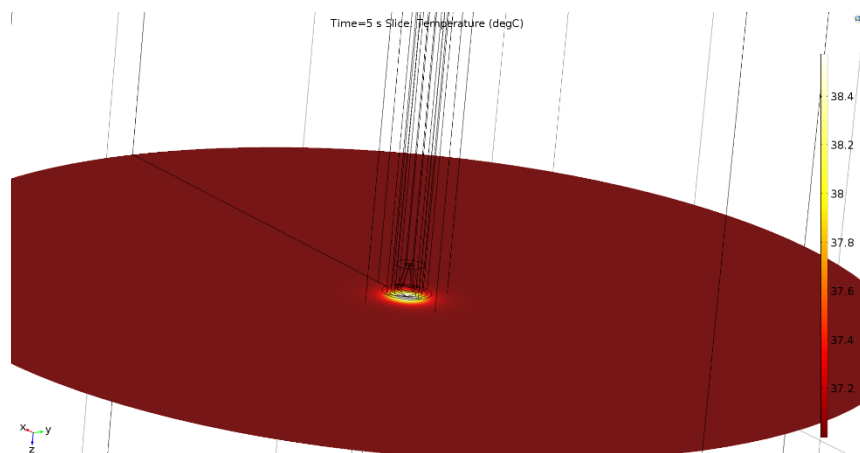
Μικρός κυκλικός βρόχος με αιχμές



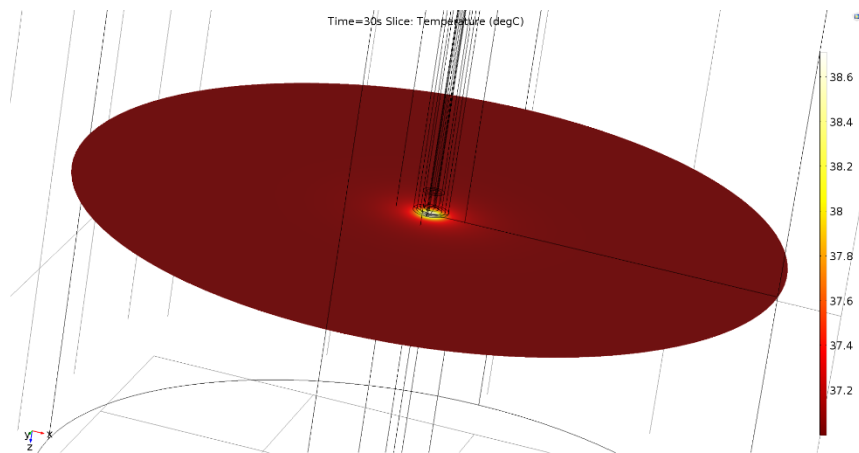
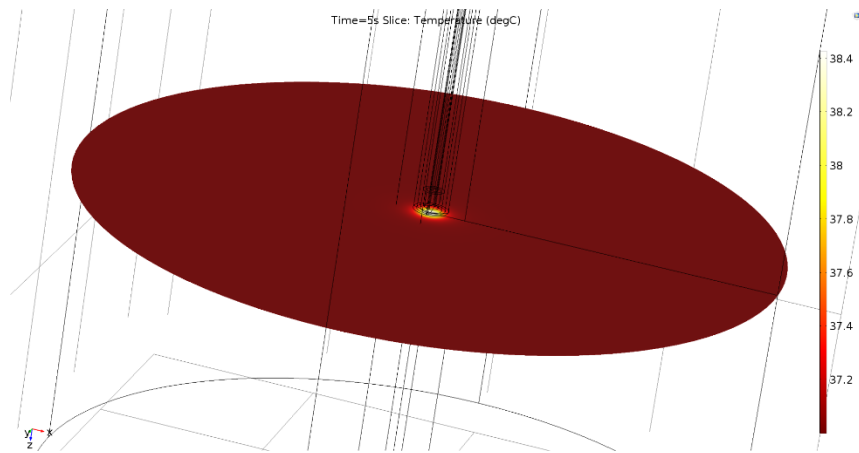
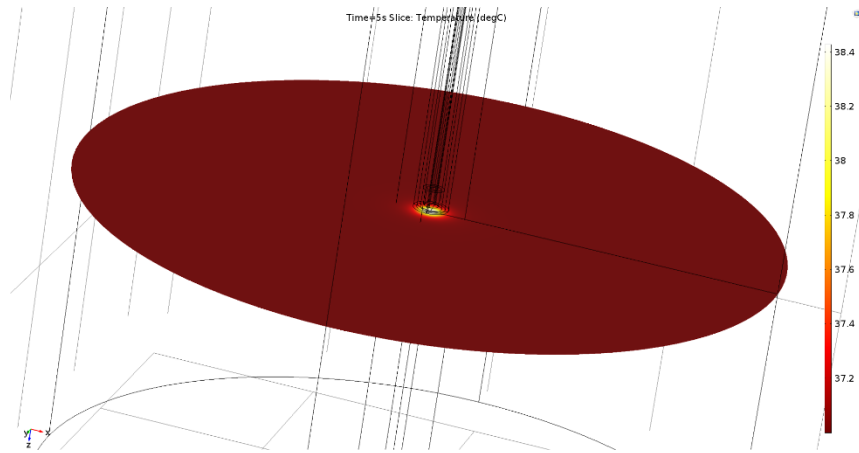
Δύο μικροί κυκλικοί βρόχοι τεμνόμενοι υπό γωνία 30 μοιρών



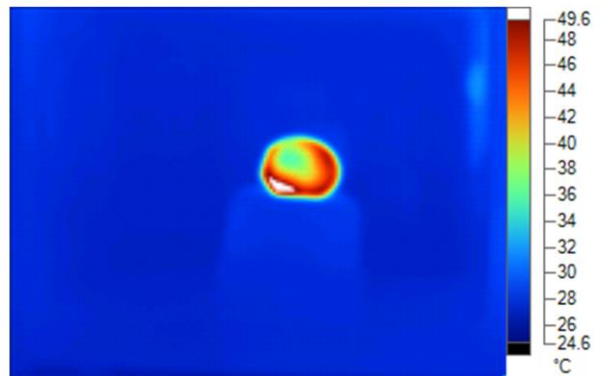
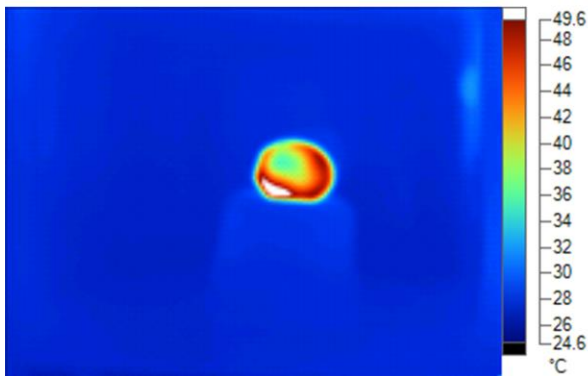
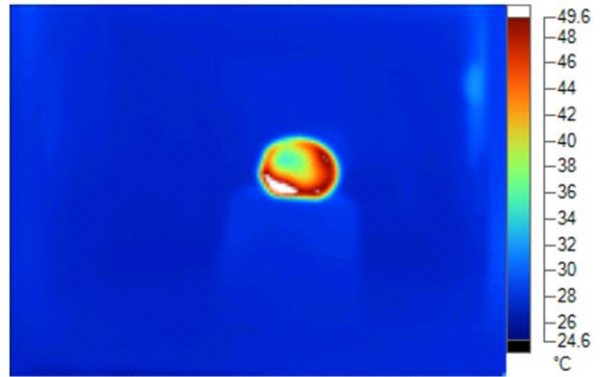
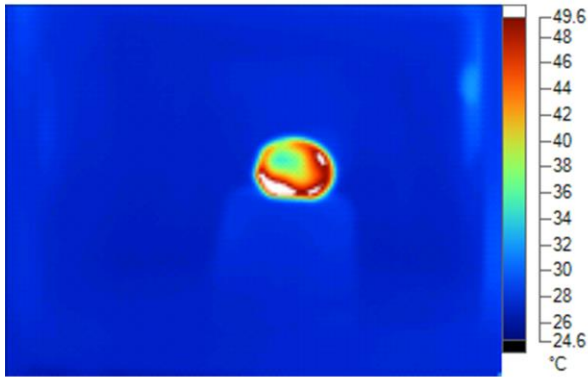
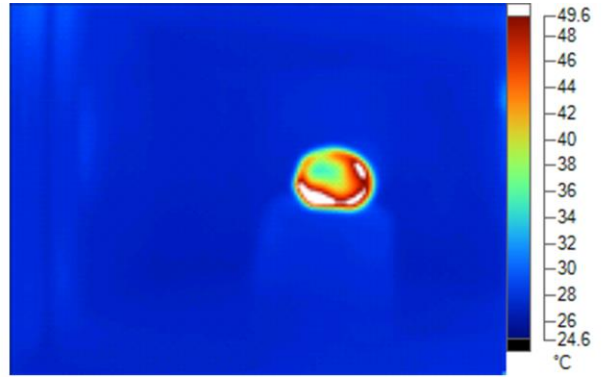
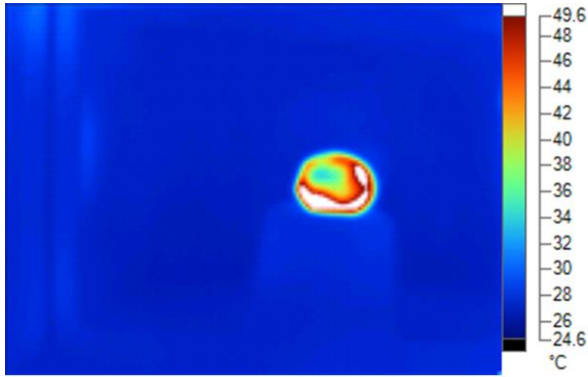
Κωνική χοανοκεραία

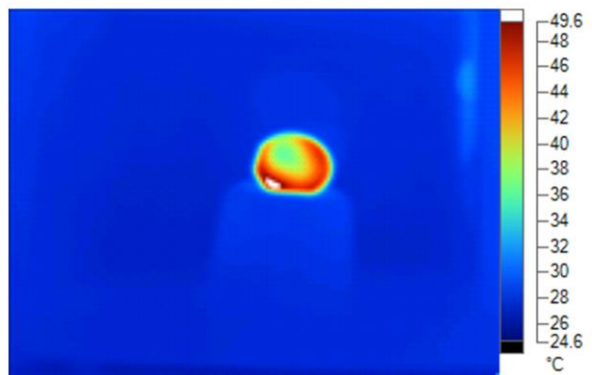
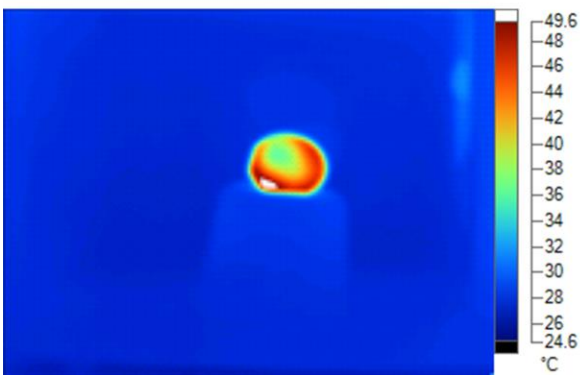
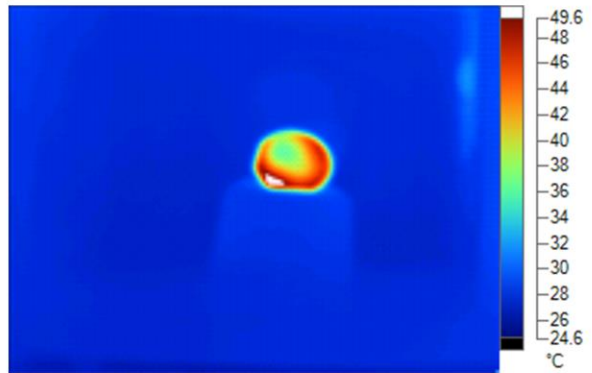
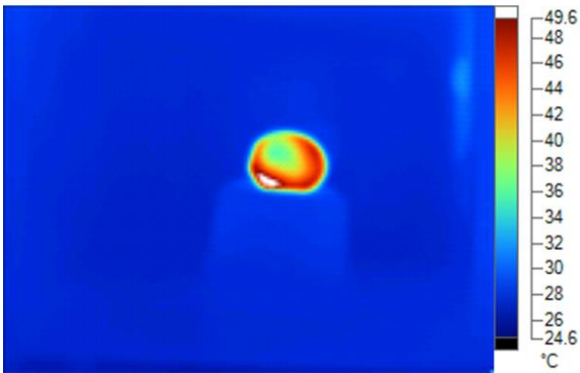
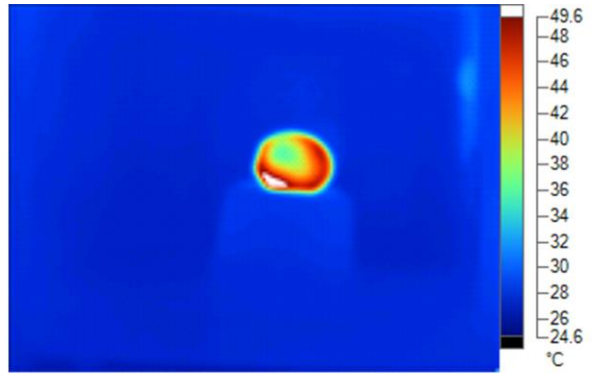
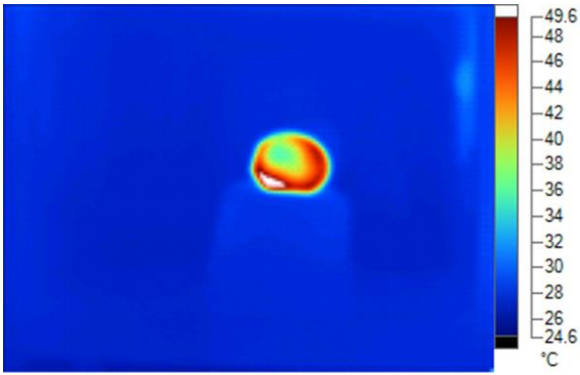


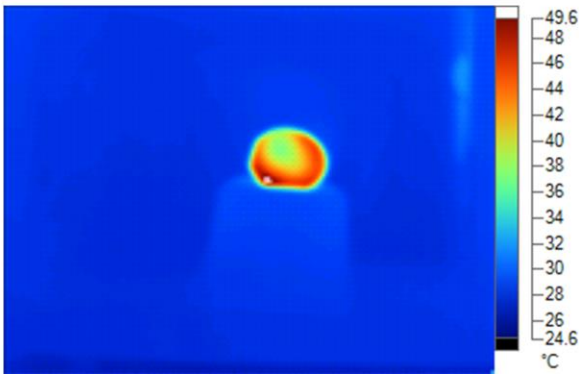
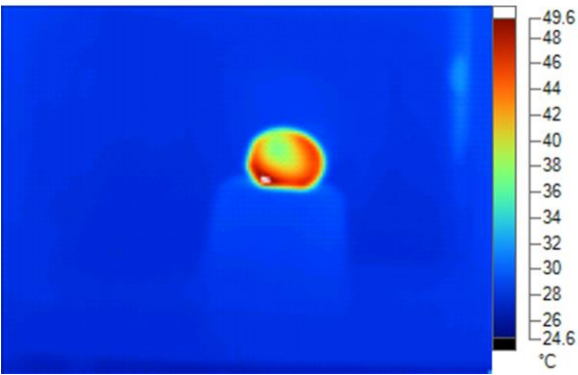
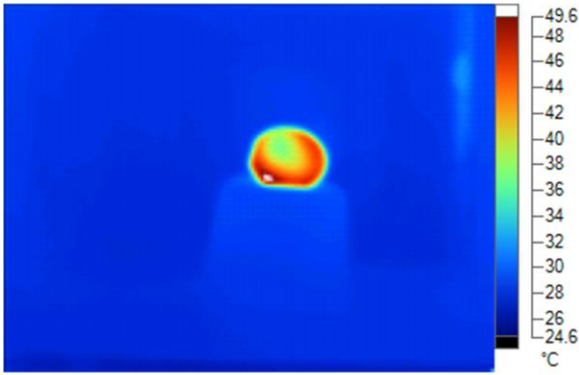
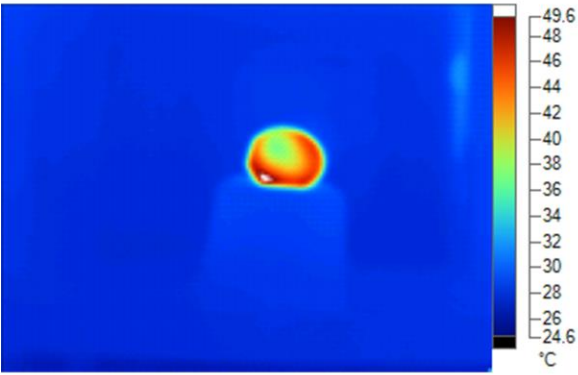
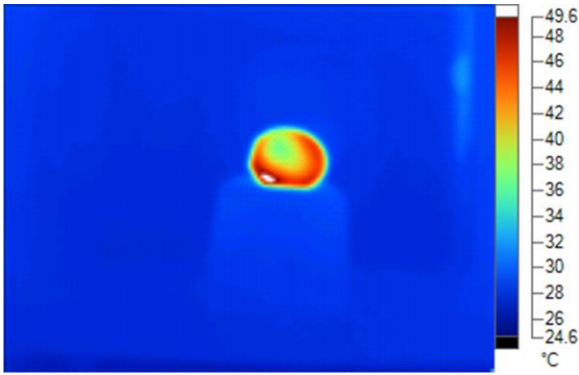
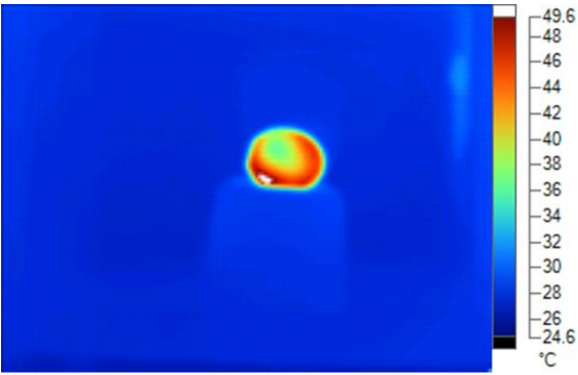
Γραμμική κεραία

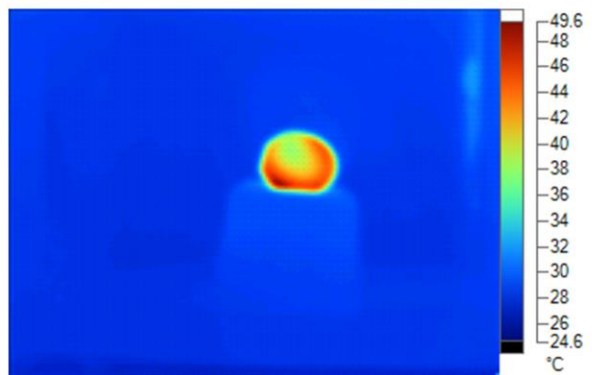
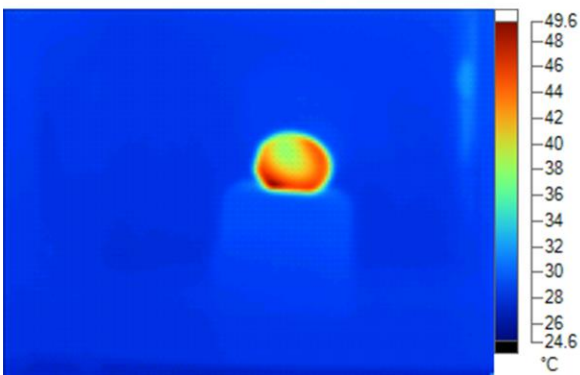
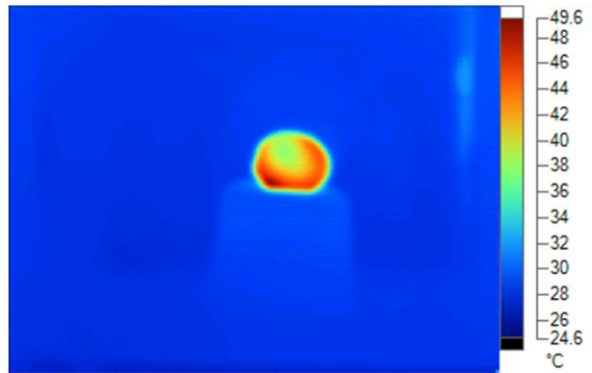
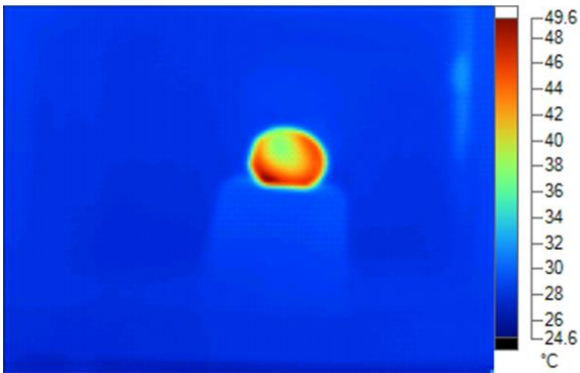
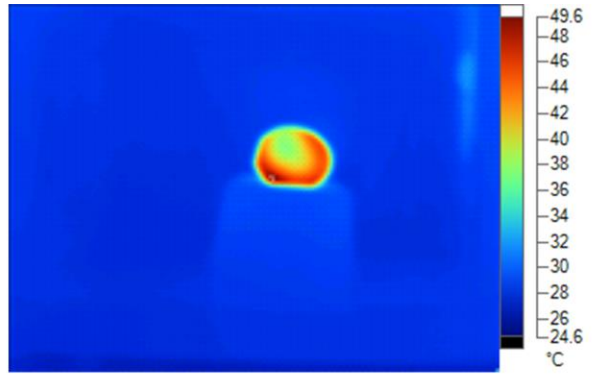
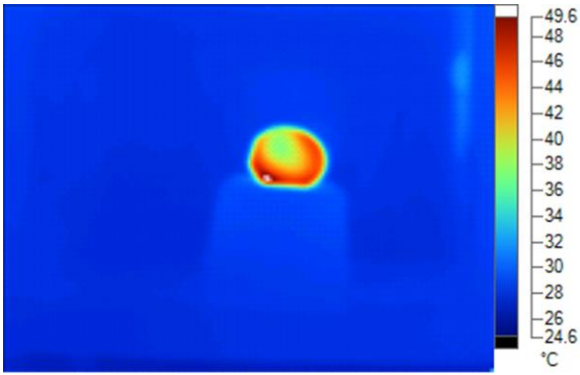


Φωτογραφίες κατά την θέρμανση

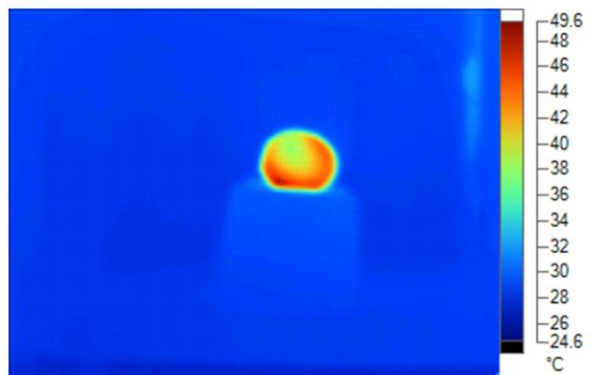
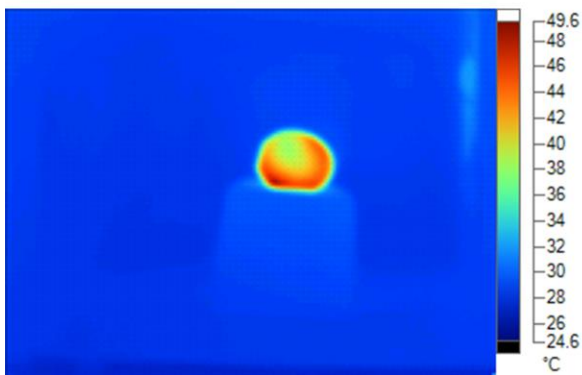
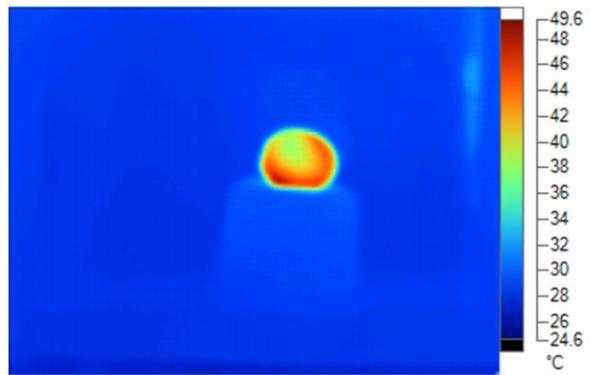
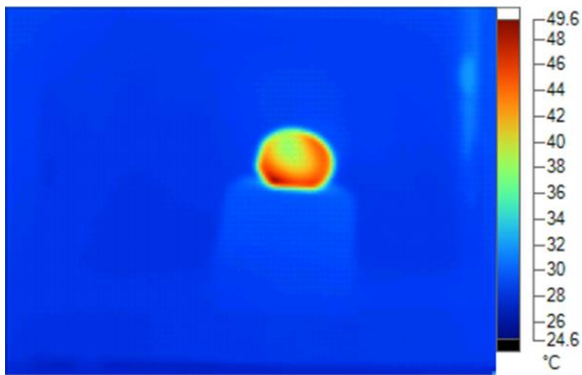
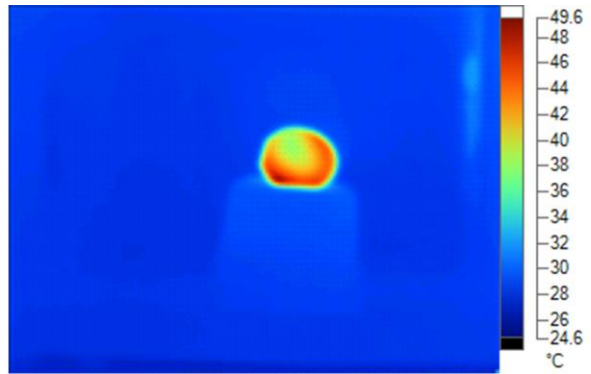
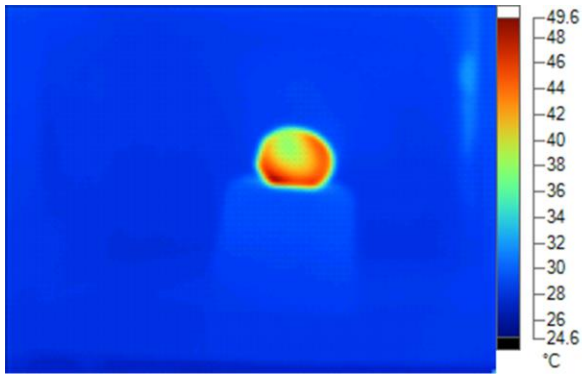


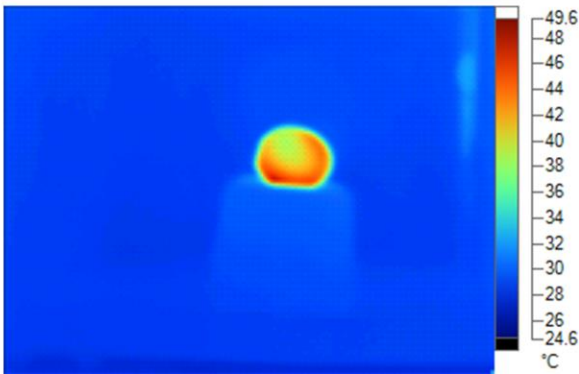
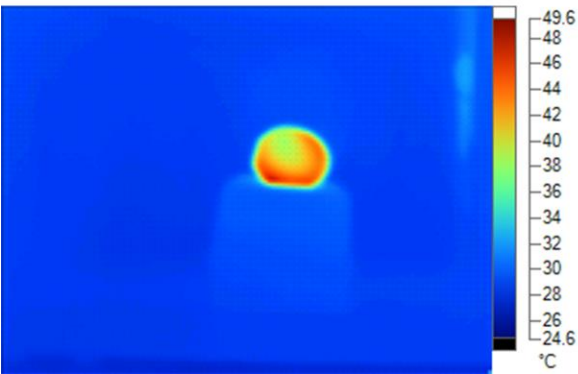
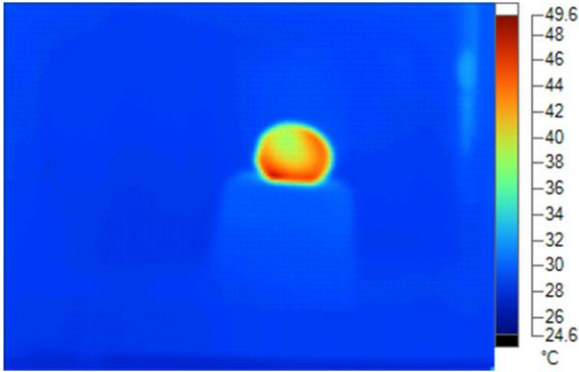
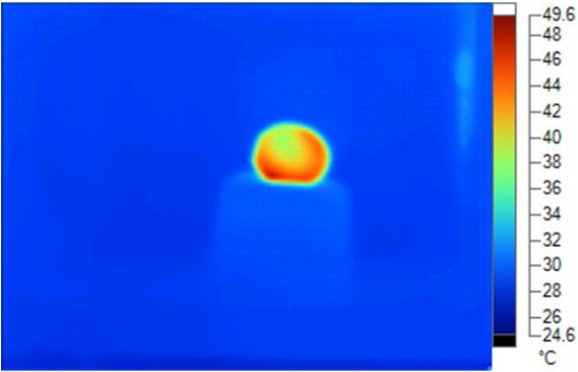
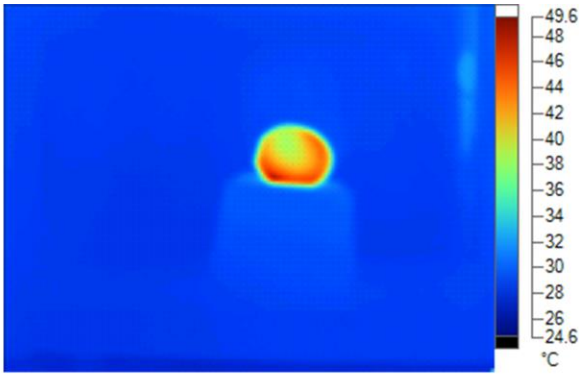
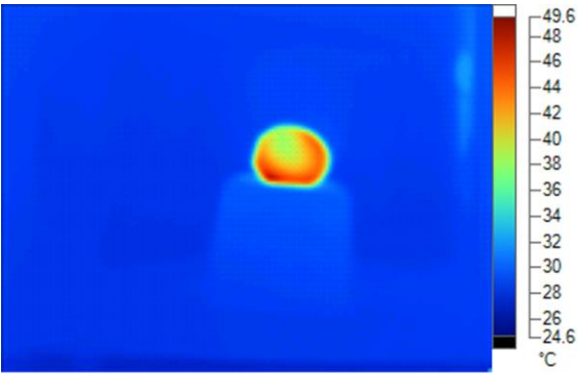


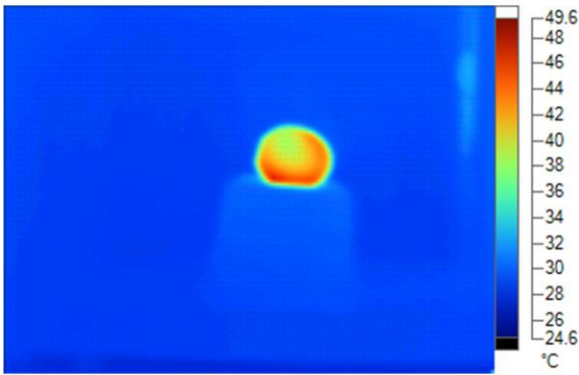
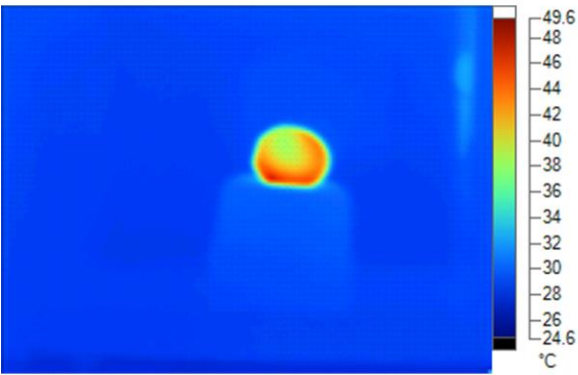
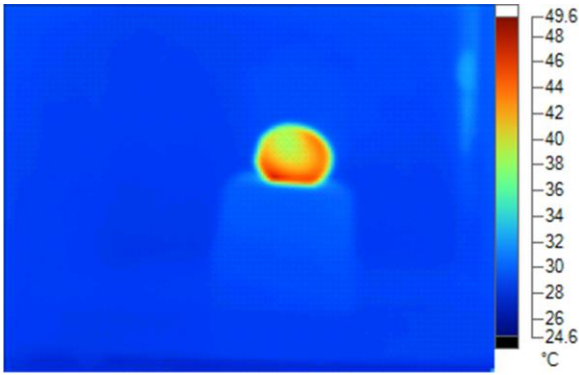
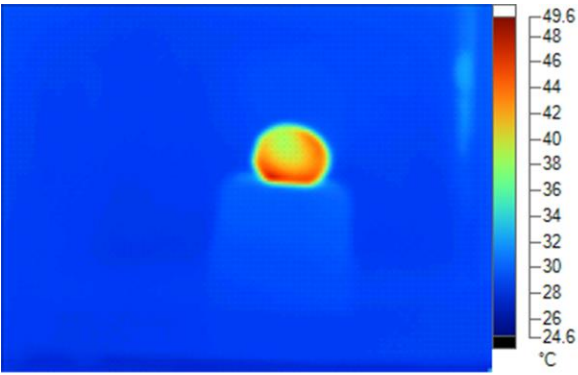




Φωτογραφίες κατά την ψύξη







Λεξικό Ιατρικών όρων

- (1) **σύναψη**: Μικροσκοπική δομή, που επιτρέπει σε έναν νευρώνα, δηλαδή σε ένα νευρικό κύτταρο, να μεταδώσει ένα ηλεκτρικό ή χημικό σήμα σε έναν άλλο νευρώνα.
- (2) **θρόμβος-θρόμβωση**: Κατά τον τραυματισμό ενός αιμοφόρου αγγείου, το σώμα χρησιμοποιεί κατάλληλες ουσίες και μηχανισμούς για τη δημιουργία θρόμβου, για να αποφευχθεί η απώλεια αίματος. Θρόμβωση καλείται ο σχηματισμός ενός θρόμβου αίματος μέσα σε ένα αγγείο.
- (3) **αορτή**: Είναι η πρώτη και κυριότερη αρτηρία του σώματος και αποτελεί το βασικό κορμό από όπου ξεκινούν όλες οι αρτηρίες της μεγάλης κυκλοφορίας.
- (4) **υπαραχνοειδής χώρος**: Ο εγκέφαλος καλύπτεται από τρεις διακριτές μεμβράνες, τις μήνιγγες. Η μεσαία από αυτές λέγεται αραχνοειδής μήνιγγα. Κάτω από την αραχνοειδή μήνιγγα και γύρω από τον εγκέφαλο υπάρχει ένας στενός, κενός χώρος, ο υπαραχνοειδής χώρος, μέσα στον οποίο κυκλοφορεί εγκεφαλονωτιαία υγρό και μέσα στον οποίο φιλοξενούνται τα μεγάλα αιμοφόρα αγγεία του εγκεφάλου.
- (5) **βαρφαρίνη**: Πρόκειται για ουσία με ισχυρότατη αντιπηκτική δράση, με αποτέλεσμα η εισαγωγή στον οργανισμό να παρεμποδίζει την πήξη του αίματος.
- (6) **στατίνες**: Ισχυρά φάρμακα για ασθενείς με υψηλή χοληστερόλη στο αίμα, καθώς παρεμποδίζουν την σύνθεσή της στο ήπαρ.
- (7) **εγκεφαλονωτιαίο υγρό**: Υγρό διαφανές και άχρωμο που περιέχεται στην κοιλότητα του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης και παρέχει υποστήριξη και θρέψη στον εγκέφαλο και στον νωτιαίο μυελό.
- (8) **μαννιτόλη**: Ανήκει στη θεραπευτική κατηγορία των διουρητικών και διαγνωστικών παραγόντων για τη νεφρική λειτουργία, που δρουν μέσω της οσμωτικής διούρησης.
- (9) **γλυκερόλη**: Κολλώδες, άχρωμο υγρό, διαλυτό στο νερό και στην αλκοόλη. Χρησιμοποιείται ευρέως ως διαλύτης, συντηρητική ουσία και μαλακτική ουσία σε διάφορες παθήσεις του δέρματος. Όταν χορηγηθεί από το στόμα ελαττώνει την ενδοκρανιακή πίεση και προεγχειρητικά την ενδοφθάλμια πίεση στο γλαύκωμα.
- (10) **υπερτονικό αλατούχο διάλυμα**: Είναι διάλυμα αλατόνευρου με περιεκτικότητα σε αλάτι (NaCl) μεγαλύτερη από 0.9%, δηλαδή μεγαλύτερη από τη περιεκτικότητα που έχει φυσιολογικά ο ανθρώπινος οργανισμός.
- (11) **βουβωνική χώρα**: Είναι μια περιοχή του ισχίου ανάμεσα στο στομάχι και τους μηρούς.

(12) **ηπαρίνη**: Είναι οργανική ένωση που αποτελεί το φυσικό αντιθρομβωτικό φάρμακο. Χρησιμοποιείται σε ενέσιμη μορφή για τη πρόληψη και θεραπεία φλεβικών θρομβώσεων.

Βιβλιογραφία

- [1] B. M. Gund, P. N. Jagtap, V. B. Ingale, R. Y. Patil, "Stroke: A Brain Attack" ,IOSR Journal Of Pharmacy, Volume 3, Issue 8, September 2013, pp 01-23.
- [2] J. L. Saver, "Time Is Brain--Quantified", American Heart Association, *Stroke*. 2006;37:263-266.
- [3] J. Harbison, O. Hossain, D. Jenkison, J. Davis, S. J. Louw, G. A. Ford, "Diagnostic Accuracy of Stroke Referrals From Primary Care, Emergency Room Physicians, and Ambulance Staff Using the Face Arm Speech Test", American Heart Association, *Stroke*. 2003;34:71-76.
- [4] M. L. Corrigan, A. A. Escuro, D. F. Kirby, "Handbook of Clinical Nutrition and Stroke", Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2013;93:28-65.
- [5] M. Brainin, W. D. Heiss "Textbook of Stroke Medicine", Cambridge University Press 2010.
- [6] A. Yamashita, Y. Asada, "Pathology and Pathophysiology of Atherothrombosis: Virchow's Triad Revisited, Traditional and Novel Risk Factors in Atherothrombosis", University of Miyazaki, April 2012.
- [7] Dupont S. A. , Wijdicks E. F., Lanzino G., Rabinstein A. A., "Aneurysmal subarachnoid hemorrhage: an overview for the practicing neurologist." *Seminars in Neurology*, 2010;30(5):545–54.
- [8] R. G. Gonzalez, J. A. Hirsch, M. H. Lev, P. W. Schaefer, L. H. Schwamm, "Acute Ischemic Stroke", Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2010;93:28-86.
- [9] R. Chen, B. Ovbiagele, W. Feng, "Diabetes and Stroke: Epidemiology, Pathophysiology, Pharmaceuticals and Outcomes", *The American Journal of the Medical Sciences*, 2016;351:380-386.
- [10] M. K. Hayes, "Influence of Age and Health Behaviors on Stroke Risk: Lessons from Longitudinal Studies", *Journal of the American Geriatrics Society*, 2010;58:S325-S328.
- [11] B. B. Alcala, R. L. Sacco, "Lifestyle Factors and Stroke RiskQ Exercise, Alcohol, Diet, Obesity, Smoking, Drug Use and Stress" Columbia University, 2000;2:160-166.
- [12] K. S. Yew, E. Cheng, "Acute Stroke Diagnoses" *American Family Physician*, 2009 ;80(1):33-40.
- [13] R. Raychev, J. L. Saver, "Mechanical thrombectomy devices for treatment of stroke", *Neurology Clinical Practice*, 2012;2(3):231-235.

- [14] D. H. Kang, J. Park, "Endovascular Stroke Therapy Focused on Stent Retriever Thrombectomy and Direct Clot Aspiration: Historical Review and Modern Application", *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 2017;60(3):335-347.
- [15] M. W. Besser, S. G. MacDonald, "Acquired hypofibrinogenemia: current perspectives", *Journal of Blood Medicine*, 2016;7:217-225.
- [16] *Mosby's Medical Dictionary* (8th ed.). Elsevier. 2009. Retrieved September 2013.
- [17] S. Sekhar R. Chinnadayala, M. Santhosh, P. Goswami, "Microwave based reversible unfolding and refolding of alcohol oxidase protein probed by fluorescence and circular dichroism spectroscopy", *Journal of Biophysical Chemistry*, Vol. 3 No. 4 (2012) , Article ID: 25054
- [18] D. Duan, Y. Zhao, L. Fan, L. Dai, J. Lv, R. Ruan, Y. Wang, Y. Liu, "Low-power microwave radiation-assisted depolymerization of ethanol organosolv lignin in ethanol/formic acid mixtures", *Bioengineering and Resuscitation*, 2017;12(3):5308-5320.
- [19] A. de la Hoz, A. Diaz-Ortiz, A. Moreno, "Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects", *Chemistry Society Reviews*, 2005;34:164-178
- [20] C.O. Kappe, B. Pieber, D. Dallinger, "Microwaves Effects in Organic Synthesis: Myth or Reality?", *Angewandte Chemie International Edition*, 2013;52:1088-1094
- [21] A. Peyman, A. A. Rezazadeh, and C. Gabriel, "Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies," *Physics in Medicine and Biology*, 2001;46:1617-1629.
- [22] *Encyclopedia of EF and Microwave Engineering*, Edited by Kai Chang, 2005
- [23] T. W. Barber, J. A. Brockwat, L. S. Higgins, "The density of tissues in and about the head" *Acta Neurologica Scandinavica*, 1970;46:85-92
- [24] V. M. Nahimvak, S. W. Yoon, C. K. Holland, "Acousto-mechanical and thermal properties of clotted blood", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2006;119(6):3766-72.
- [25] M. Cerruti, F. Lavagetto, G. Mancardi, M. Pastrino, A. Randazzo, "A numerical simulation for brain stroke microwave imaging by using the FVTD", *Journées scientifiques* 24/25 mars 2015
- [26] R. G. Kammula, J. M. Morris, "Considerations for the Biocompatibility Evaluation of Medical Devices" *Medical Device and Diagnostic Industry*, May 2001.

- [27] D. J. Panagopoulos, O. Johansson, G. L. Carlo, "Evaluation of Specific Absorption Rate as Dosimetric Quantity for Electromagnetic Fields Bioeffects", PLoS One, 2013;8(6):e62663.
- [28] C. Rossmann, D. Haemmerich, "Review of temperature dependence of thermal properties, dielectric properties, and perfusion of biological tissues at hyperthermic and ablation temperatures", Critical Reviews in Biomedical Engineering, 2014;42(6):467-492
- [29] E. J. Walter, M. Carraretto, "The neurological and cognitive consequence of hyperthermia", Critical Care, 2016;20:199.
- [30] Π. Γ. Κωπτής, "Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες", Εκδόσεις Τζιόλα, 2012.
- [31] Χ. Καψάλης, Π. Κωπτής, "Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις", Εκδόσεις Τζιόλα, 2011.
- [32] Constantine A. Balanis, "Antenna theory, Analysis and Design", Third Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [33] H. Schantz, "Near Field Channel Model", IEEE P802.15-04/0417r2, October, 2004.
- [34] M. Surita, Manish, M. Sanjay, "Microwave Coagulation Therapy Using Microwave Antenna", Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference 2009 Bangalore.
- [35] S. Talens, Frank W.G. Leebeek, Jeroen A. A. Demmers, Dingeman C. Rijken, "Identification of Fibrin Clot-Bound Plasma Proteins", Public Library of Science, August 2012.
- [36] S.R.S. Dev, G.S.V. Raghavan, Y. Garipey, "Dielectric properties of egg components and microwave heating for in-shell pasteurization of eggs", Journal of Food Engineering, 86 (2008) 207-214.
- [37] L. Ragni, A. Al-Shami, G. Mikhaylenko, J. Tang, "Dielectric characterization of hen eggs during storage" Journal of Food Engineering, 82 (2007) 450-459.
- [38] J. Wang, J. Tang, Y. Wang, B. Swanson, "Dielectric properties of egg whites and whole eggs as influenced by thermal treatments", Food Science and Technology, 42 (2009) 1204-1212.
- [39] Jane S.R. Coimbra, Ana L. Gabas, Luis A. Minim, Edwin E. Garcia Rojas, Vania R.N. Telis, Javier Telis-Romero, "Density, Heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products", Journal of Food Engineering, 74 (2006) 186-190.
- [40] Νικόλαος Κ. Ουζούνoglou, "Εισαγωγή στα Μικροκύματα", Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Διαδικτυακές Ιστοσελίδες

[i] World Health Organization: <http://www.who.int>

[ii] American Stroke Association: <http://www.strokeassociation.org>

[iii] Brain Injury Alliance: <https://biaia.org>

[iv] Mayfield Clinic: <http://www.mayfieldclinic.com>

[v] Minimally Invasive Neurosurgery Clinic: http://www.minclinic.ru/index_eng.html

[vi] e-Medicine Health: <https://www.emedicinehealth.com>

[vii] Comsol Multiphysics: <https://www.comsol.com>

Συνέδρια-Ομιλίες

- Ελληνικός Οργανισμός Εγκεφαλικών (Hellenic Stroke Organization).
- Ομιλία Prof. Natan M. Bornstein M.D., Director of Brain Division, Shaare Zedek Medical Center, Jerusalem, Chairman of the Israeli Neurological Association.
- V. Sideris and M. Revythi, “Antenna Catheter Modeling for Acute Ischemic Stroke Therapy”, International Scientific Conference ERA 12.