



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΙΓΙΟΥ

Σ.Ε.Υ.Π.

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το τεχνολογικό εξοπλισμό
εργαστηρίων Φυσικοθεραπείας»



Σπουδαστής : Χαϊδεμένος Παναγιώτης

Εποπτεύων Καθηγητής : Δρ. Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος

ΑΙΓΙΟ 2011

Ευχαριστώ...

Τον καθηγητή κ. Κουτσογιάννη Κωνσταντίνο πρωτίστως που μου εμπιστεύθηκε την εκπόνηση της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας και κατά δεύτερον για τη καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων αλλά και της συνολικής περάτωσης των προσπαθειών μου.

Την οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη, υπομονή και συμπαράσταση που επέδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	vii
Εισαγωγή.....	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

1.1 Ιστορικά στοιχεία ηλεκτρικού φορτίου.....	5
1.2 Αγωγοί και μονωτές.....	5
1.3 Ηλεκτρικό φορτίο και ύλη.....	6
1.4 Ηλεκτρικό πεδίο.....	8
1.5 Αναδρομή και στοιχεία μαγνητισμού.....	8
1.6 Νόμος του Coulomb.....	9
1.7 Μαγνητικό πεδίο.....	10
1.8 Έννοια μαγνητικής επαγωγής.....	10
1.9 Ηλεκτρομαγνητισμός.....	11
1.9.1 Οι εξισώσεις του Maxwell.....	12
1.9.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	13
1.9.3 Ειδικά χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.....	15
1.9.4 Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	19
1.9.5 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣ

2.1 Χαρακτηριστικά επίδρασης ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.....	25
2.2 Ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	26
2.3 Ιστορική αναδρομή της επίδρασης ακτινοβολίας.....	28
2.4 Κυτταρική λειτουργία.....	29
2.5 Απορροφούμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.....	31
2.5.1 Ρυθμός απορρόφησης.....	32
2.5.2 Θεωρητικός υπολογισμός απορροφούμενης ακτινοβολίας.....	32
2.5.3 Πειραματικός υπολογισμός απορροφούμενης ακτινοβολίας.....	33
2.6 Επίδρασεις ακτινοβολίας.....	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

3.1 Νομοθεσία λειτουργίας εργαστηρίου φυσικοθεραπείας.....	38
3.2 Συσκευές διαθερμίας.....	39
3.2.1 Διαθερμίες βραχέων κυμάτων.....	39
3.2.2 Διαθερμίες μικροκυμάτων.....	42
3.3 Συσσκευή μαγνητικών πεδίων.....	44
3.3.1 Μαγνητικά υλικά στοιχεία.....	45
3.3.2 Τεχνικές μαγνητοθεραπείας.....	46
3.4 Συσσκευή Laser.....	47
3.4.1 Είδη και παράμετροι των Laser.....	47

3.4.2 Νόμος Arnold – Schoult.....	48
3.4.3 Επιδράσεις στους ιστούς.....	49
3.4.4 Τρόποι και σημεία εφαρμογής.....	49
3.5 Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας.....	51
3.5.1 Μη φωτεινή γεννήτρια.....	51
3.5.2 Φωτεινή γεννήτρια.....	52
3.6 Συσκευές υπεριώδους ακτινοβολίας.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

4.1 Περί μετρήσεων εξοπλισμού φυσικοθεραπείας.....	54
4.2 Επιπτώσεις στην υγεία των φυσικοθεραπευτών.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

5.1 Διαφορά ορίων ασφαλούς έκθεσης.....	69
5.2 Όρια ασφαλούς έκθεσης κατά ICNIRP.....	70
5.3 Ελληνική νομοθεσία.....	71
5.4 Ερευνητικό ερώτημα.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Σκοπός της έρευνας.....	75
6.2 Μέθοδος.....	76
6.2.1 Εξοπλισμός.....	76
6.2.2 Μεθοδολογία.....	77
6.3 Αποτελέσματα.....	81
6.4 Συζήτηση.....	85
6.5 Κλινική σημασία της έρευνας.....	89
6.6 Περιορισμοί έρευνας και μελλοντικές οδηγίες.....	90

Συμπεράσματα και προοπτικές.....	92
---	-----------

Αναφορές.....	97
---------------	----

Παράρτημα 1.....	106
Παράρτημα 2.....	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα σε ένα θετικό και ένα αρνητικό φορτίο.	5
Εικόνα 1.2	Άτομο ύλης αποτελούμενος από τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια.	6
Εικόνα 1.3	Φυσικός μαγνήτης και οι ελκτικές - απωστικές ιδιότητες του γύρω χώρου.	8
Εικόνα 1.4	Ο κανόνας του δεξιού χεριού.	11
Εικόνα 1.5	James Clerk Maxwell (1831–1879).	12
Εικόνα 1.6	Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.	14
Εικόνα 1.7	Συνεχή ροή ενέργειας μέσα από το τετράγωνο (W/m^2).	16
Εικόνα 1.8	Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.	20
Εικόνα 1.9	Ιονόσφαιρα και το στρώμα Heaviside – Kennelly.	23
Εικόνα 2.1	Marie Skłodowska - Curie (1867-1934).	26
Εικόνα 2.2	Σχηματικό φάσμα ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας.	27
Εικόνα 2.3	Nikola Tesla (1856 -1943).	28
Εικόνα 2.4	Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη χρήση κινητού τηλεφώνου.	31
Εικόνα 3.1	Συσκευή διαθερμίας βραχέων κυμάτων.	39
Εικόνα 3.2	Συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων.	42
Εικόνα 3.3	Συσκευή μαγνητοθεραπείας.	44
Εικόνα 3.4	Συσκευή θεραπείας Laser με εφαρμογή καθετήρα.	49
Εικόνα 3.5	Συσκευές υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας.	51
Εικόνα 4.1	Λογότυπο του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Εθνικών Ορίων (ANSI).	55
Εικόνα 4.2	Λογότυπο Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (IRPA).	57
Εικόνα 4.3	Συσκευή διαθερμίας Ultratherm 608s.	59
Εικόνα 4.4	Συσκευή διαθερμίας Curapuls 419.	59
Εικόνα 4.5	Δοχείο 5 lt. NaCl – Προσομείωση ασθενούς (Shields et al., 2004).	60
Εικόνα 4.6	Λογότυπο του Αντικαρκινικού Ινστιτούτου Regina Elena στην Ιταλία.	62
Εικόνα 4.7	Ανιχνευτής ακτινοβολίας Radman XT Narda.	63
Εικόνα 4.8	Συσκευή παλμικής μαγνητοθεραπείας ολόσωμης εφαρμογής.	63
Εικόνα 4.9	Λογότυπο του Συλλόγου Φυσικοθεραπευτών της Δανίας.	66
Εικόνα 4.10	Λογότυπο του Αμερικανικού Συλλόγου Φυσικοθεραπείας (APTA).	67
Εικόνα 5.1	Λογότυπο του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.	69
Εικόνα 5.2	Λογότυπο της Επιτροπής Προστασίας από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες.	70
Εικόνα 5.3	Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης – 1999/519/EC.	72
Εικόνα 6.1	Διαθερμία μικροκυμάτων Radarmed 950+.	75
Εικόνα 6.2	Συσκευή SRM-3000 (Narda STS).	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2		
Εικόνα 1	Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας I (α).	109
Εικόνα 2	Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας I (β).	109
Εικόνα 3	Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας I (γ).	110
Εικόνα 4	Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας I (δ).	110

Σημείωση: Όλες οι εικόνες, πλην των 4.5, 5.3 και των Εικόνων 1-4 του Παραρτήματος 2, είναι τροποποιημένες από το διαδίκτυο.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 6.1 Μέτρηση από απόσταση 1 m και γωνία 0° με επεξήγηση των συμβόλων.	78
Σχήμα 6.2 Σχέδιο κάτοψης του χώρου μετρήσεων.	79
Σχήμα 6.3 Μέτρηση από απόσταση 0,5 m και γωνία 0° .	79
Σχήμα 6.4 Μέτρηση από απόσταση 1 m και γωνία $+45^\circ$.	79
Σχήμα 6.5 Μέτρηση από απόσταση 1,5 m και γωνία $+90^\circ$.	79
Σχήμα 6.6 Μέτρηση από απόσταση 2 m και γωνία -45° .	79
Σχήμα 6.7 Μέτρηση από απόσταση 3 m και γωνία -90° .	79
Σχήμα 6.8 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (I).	80
Σχήμα 6.9 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (II).	80
Σχήμα 6.10 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (III).	80
Σχήμα 6.11 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (IV).	80
Σχήμα 6.12 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (V).	80
Σχήμα 6.13 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VI).	80
Σχήμα 6.14 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VII).	81
Σχήμα 6.15 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VIII).	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 6.1 Τιμές μέσου όρου (Μ.Ο.) μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές ισχύος της συσκευής.	82
Γράφημα 6.2α Πειραματικές τιμές μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές πυκνότητας ισχύος της συσκευής στις αποστάσεις 0,5/1,0/1,5/2,0/2,5/3,0 μέτρα.	83
Γράφημα 6.2β Θεωρητική και πειραματική καμπύλη των μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές πυκνότητας ισχύος της συσκευής για 0 ^ο και στις αποστάσεις 0,5/1,0/1,5/2,0/2,5/3,0 μέτρα.	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Α.	81
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Β.	82
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Γ.	85

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Πίνακας 1 Ζώνες συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας.	106
Πίνακας 2 Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος σε συχνότητες 100kHz-10MHz.	106
Πίνακας 3 Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συχνότητες 100kHz-10GHz.	107
Πίνακας 4 Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συχνότητες 10-300GHz.	107
Πίνακας 5 Το αριθμητικά μικρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου περιοχών συχνοτήτων με συντελεστή 70%.	108

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η φυσικοθεραπευτική αντιμετώπιση των ασθενών εμπεριέχει τη χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως μέσο θεραπείας, για τις περισσότερες από τις ασθένειες με τις οποίες καταπιάνεται, σε παγκόσμια κλίμακα. Από τα φυσικοθεραπευτήρια των λίγων τετραγωνικών μέτρων έως τα μεγάλα κέντρα αποκατάστασης, η παρουσία των συσκευών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι απαραίτητη και μάλιστα στην Ελλάδα επιβάλλεται νομικώς (ΠΔ 29/87).

Μερίδα ερευνητικής αρθρογραφίας αναφέρει την ύπαρξη βαθμού επικινδυνότητας, αν όχι για τους ασθενείς που εκτίθενται για συγκεκριμένες συνεδρίες αλλά για τους επαγγελματίες που χρησιμοποιούν τις συσκευές δια βίου. Σύμφωνα με αναγνωρισμένους επιστήμονες, ενοχοποιούνται περισσότερο οι συσκευές διαθερμίας βραχείων και μικρών κυμάτων αφού ξεπερνούν σε αρκετές περιπτώσεις τα θεσμοθετημένα εκάστοτε όρια εκπομπής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της χρήσης τους με προβλήματα υγείας, όπως καρδιαγγειακές νόσους για τους άνδρες και αποβολές εμβρύων για τις γυναίκες.

Η παρούσα εργασία μελέτησε την εκπομπή ακτινοβολίας από μια συσκευή διαθερμία μικροκυμάτων, που διαθέτει το τμήμα Φυσικοθεραπείας του Τ.Ε.Ι. Πατρών. Αφού πιστοποιήθηκε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, παρατηρήθηκε πως όσο αυξάνεται η ισχύς τόσο η συσκευή προσφέρει τιμές μεγάλης απόκλισης. Έτσι συμπερασματικά διαπιστώνουμε αρχικά πως μια συσκευή διαθερμίας πιθανόν να υστερεί εγκυρότητας όσο περνά ο χρόνος χρήσης κάτι που συνιστά συχνούς ελέγχους και σχετική επαναρύθμιση της συσκευής από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό. Έτσι η συσκευή θα διατηρήσει την αποτελεσματικότητά της στις συνεδρίες και θα εξάγει πραγματικά την ενέργεια που ρυθμίζει ο θεραπευτής.

Εν συνεχεία μετρήθηκαν οι τιμές έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από διάφορες αποστάσεις και μοίρες με σταθερή τη μέγιστη εφαρμοζόμενη ισχύ. Εκ πρώτης εντοπίστηκε υπέρβαση των ελληνικών ορίων ασφαλούς έκθεσης. Επίσης βρέθηκαν σημαντικές αποκλίσεις κάτι που σηματοδοτεί άνιση κατανομή της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον χώρο και μοιραία τη δημιουργία ανομοιογενούς πεδίου κατά τη χρήση της συσκευής. Συμπέρασμα αυτών είναι πως τα μέτρα προστασίας που προτείνει ο κατασκευαστής και η αρθρογραφία περί συγκεκριμένης απόστασης από τη συσκευή, δεν ισχύουν για όλες τις τιμές ισχύος και γωνίες.

Τέλος, έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών ενός φυσικοθεραπευτηρίου, παρεμβάλλοντας αντικείμενα ανάμεσα στη συσκευή εκπομπής και στη συσκευή μέτρησης, όπως κρεβάτι και καρέκλες σε διάφορους σχηματισμούς. Σημειώνεται πως η συσκευή λειτουργούσε σε σταθερή μέση ισχύ και οι μετρήσεις συλλέχθηκαν από μακρινή και σταθερή απόσταση. Εντοπίστηκαν σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές, κάτι που μας προτείνει την ανάγκη εξειδικευμένης μελέτης στη διαμόρφωση του χώρου θεραπείας. Αυτή η μελέτη απαιτεί κατάλληλο εξοπλισμό και ειδικευμένο προσωπικό ώστε πέραν της χωρικής διαμόρφωσης, να ληφθούν υπόψη και τα απαραίτητα μέτρα προστασίας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκτίθεται ο σύγχρονος φυσικοθεραπευτής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ρίζες του ηλεκτρισμού κρύβονται στην αρχαία Ελλάδα, και συγκεκριμένα στη παρατηρητικότητα του Θαλή του Μιλήσιου περί στο 600 π.Χ. γύρω από τις ιδιότητες του στοιχείου ήλεκτρον. Σχεδόν ομοίως παλιά είναι και η ιστορία του μαγνητισμού με το στοιχείο μαγνητίτη. Οι δύο κλάδοι ενώθηκαν σε έναν, τον ηλεκτρομαγνητισμό, από τον *Hans Christian Oersted* (1777-1851) το 1820. Από τότε ηλεκτρομαγνητισμός καλείται ο τομέας της Φυσικής που μελετά τα φαινόμενα που απορρέουν από το ηλεκτρικό φορτίο των σωματιδίων και από την αλληλεπίδραση ηλεκτρικών με μαγνητικών πεδίων, και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πέραν των αγαθών που έχει προσφέρει στη ανθρωπότητα, έχει απασχολήσει τη σύγχρονη παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ως προς τις επιπτώσεις που δύναται να έχει στην υγεία. Ιδιαίτερος τα τελευταία χρόνια με την αύξηση της χρήσης των κινητών τηλεφώνων αλλά και των διαφόρων οικιακών και «έξυπνων» συσκευών, η ανησυχία αυτή διογκώνεται και επιτάσσει διεύρυνση των ερευνών. Ως γνωστόν οι επιστήμες της υγείας, βελτιώνονται ως προς τις διαγνώσεις και τις θεραπείες, παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Η ακτινοβολία ως εργαλείο έχει συμβάλει σημαντικά σε πολλά επιτεύγματα, όμως η χρήση της προϋποθέτει κανόνες ασφαλείας του ασθενούς αλλά και του χειριστή της.

Υπό αυτό το πρίσμα, η επιστήμη της φυσικοθεραπείας δε μπορεί να αποτελεί εξαίρεση, καθώς η χρήση της ακτινοβολίας για θεραπευτικούς σκοπούς είναι εύρως αποδεκτή και δεδομένη από όλους τους επιστημονικούς φορείς. Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συναντάται ως επί τον πλείστον στις συσκευές διαθερμίας, μαγνητοθεραπείας, υπερήχου, υπέρυθρης και

υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι συσκευές διαθερμίας κυρίως, στιγματίζονται είτε κατά την υπέρμετρη χρήση τους, είτε κατά τη χρήση τους χωρίς τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης.

Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει ενεργά στον εμπλουτισμό της γνώσης γύρω από το θέμα, καθώς φαίνεται να απασχολεί όλο και περισσότερους επαγγελματίες υγείας. Επίσης επιζητά την ενημέρωση, την ευαισθητοποίηση της επιστημονικής κοινότητας και τελικά τη βελτίωση των συνθηκών του επαγγελματικού χώρου της φυσικοθεραπείας.

Με γνώμονα τα παραπάνω στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στις έννοιες της Φυσικής όσων αφορά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο αναγνώστης έχει την ευκαιρία να θυμηθεί τις βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού, από το άτομο της ύλης μέχρι τα πεδία που δημιουργεί η κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Παράλληλα αναφέρονται οι κυριότεροι νόμοι μελέτης της ακτινοβολίας και πληροφορίες για το φάσμα της, την διάδοσή της και τα χαρακτηριστικά της.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται κυρίως στη σχέση της ακτινοβολίας με το ζωντανό ιστό ενώ γίνεται σαφής διαχωρισμός σε ιοντίζουσα και μη. Η ιδιότητα των ιστών να απορροφά την ενέργεια, οι συγκεκριμένοι δείκτες που εκφράζουν αυτή τη συμπεριφορά και ο διαχωρισμός των μετ' έπειτα επιδράσεων σε θερμικές και μη, είναι οι βασικές ιδέες που προτείνονται. Περιγράφονται επίσης οι τρόποι υπολογισμού της απορρόφησης ακτινοβολίας σε πειραματικό και θεωρητικό επίπεδο.

Το πόσο έχουν σημασία τα παραπάνω για τον φυσικοθεραπευτή θα διαπιστωθεί στο επόμενο – τρίτο κεφάλαιο με τη περιγραφή των θεραπευτικών συσκευών τις οποίες χρησιμοποιεί. Εδώ ο μη σχετικός με το επάγγελμα αναγνώστης έχει την δυνατότητα να ενημερωθεί σε ικανοποιητικό βαθμό για τον εξοπλισμό ενός σύγχρονου εργαστηρίου φυσικοθεραπείας, που ορίζεται από τον νόμο να έχει

και που σχετίζεται άμεσα με την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες ως επί το πλείστον διδάσκονται και είναι γνωστές στους φυσικοθεραπευτές και ιδιαίτερα τους εργαστηριούχους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα ευρήματα που προέκυψαν από την αναζήτηση στη παγκόσμια επιστημονική αρθρογραφία. Η ανασκόπηση είχε σαν κύριους άξονες την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το επάγγελμα του φυσικοθεραπευτή. Τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: τις μετρήσεις ακτινοβολίας που έχουν γίνει σε εξοπλισμό φυσικοθεραπείας και τις επιπτώσεις στην υγεία που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα. Επιπλέον τα δεδομένα περιγράφονται με σχετική χρονολογική σειρά ώστε να δίνεται η δυνατότητα παρατήρησης της εξέλιξης του θέματος.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται σύντομη παρουσίαση περί ορίων ασφαλούς έκθεσης σε ακτινοβολία, τα οποία έχουν θεσπιστεί από διεθνείς οργανισμούς και επιστημονικούς παράγοντες. Επίσης αναφέρεται η υιοθέτηση από πλευράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των όρια που πρότεινε η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP). Εν συνεχεία τα όρια αυτά θεσμοθέτησε με τη σειρά της η Ελλάδα, υπακούοντας στην Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά με ακόμη πιο αυστηρά και φιλικότερα προς τον άνθρωπο κριτήρια.

Στη συνέχεια και συγκεκριμένα στο έκτο κεφάλαιο ο αναγνώστης θα έχει την ευκαιρία να μελετήσει το ερευνητικό τμήμα της εργασίας. Περιγράφεται αρχικά ο σκοπός της έρευνας, ύστερα η μέθοδος με τον χώρο και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε και κατόπιν τα αποτελέσματα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις (Α, Β και Γ) και παρουσιάζονται τα σχετικά σχήματα, πίνακες και γραφήματα που θα οδηγήσουν τον αναγνώστη στη πληρέστερη κατανόηση των τελικών αποτελεσμάτων. Ύστερα αναφέρονται η κλινική σημασία, οι

περιορισμοί της έρευνας και οι μελλοντικές οδηγίες που προτείνονται για την μετ' έπειτα συνέχεια.

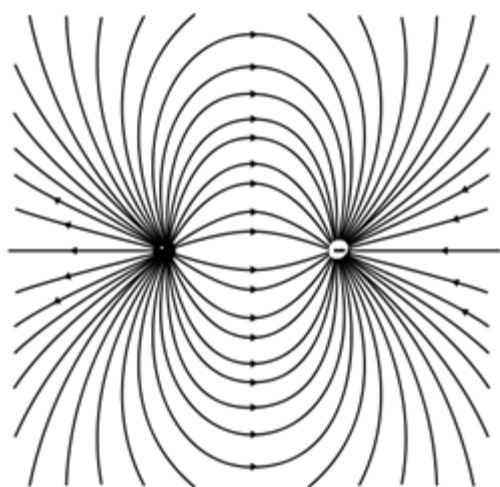
Η τελευταία ενότητα περιλαμβάνει εκτενώς τα συνολικά συμπεράσματα της εργασίας που εκπονήθηκε. Περιέχει δε σχόλια και χρήσιμες προτάσεις που θα συμβάλλουν θετικά στην μελλοντική εφαρμογή μέτρων προστασίας της υγείας του σύγχρονου φυσικοθεραπευτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Ο Θαλής ο Μιλήσιος ανακάλυψε ήδη από το 600 π.Χ. ότι, αφού έτριβε κεχριμπάρι με μαλλί, το κεχριμπάρι μπορούσε να έλξει άλλα αντικείμενα. Σήμερα η επιστήμη της φυσικής καλεί το κεχριμπάρι ως φορτισμένο ή αλλιώς ότι απέκτησε **ηλεκτρικό φορτίο**. Ο Άγγλος *W. Gilbert* ονόμασε τη δύναμη αυτή *vis ellectrica* (ηλεκτρική δύναμη), δηλαδή δύναμη που προέρχεται από το ήλεκτρο. Η λέξη ηλεκτρικό παράγεται από την αρχαία ελληνική λέξη *ήλεκτρον*, που σημαίνει κεχριμπάρι.



Εικόνα 2.1 Ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα σε ένα θετικό και ένα αρνητικό φορτίο.

Πειραματικά πια γνωρίζουμε πως υπάρχουν ακριβώς δύο (και όχι περισσότερα) είδη ηλεκτρικού φορτίου. Ο Βενιαμίν Φρανγκλίνος (1706-1790) πρότεινε τις ονομασίες **θετικό** και **αρνητικό** γι' αυτά τα δύο είδη φορτίων, ενώ αυτές οι ονομασίες διατηρούνται έως σήμερα. Δύο θετικά φορτία ή δύο αρνητικά φορτία αλληλοαπωθούνται, ενώ ένα θετικό και ένα αρνητικό φορτίο έλκονται (*Young HD*, 1992) (Εικ. 1.1).

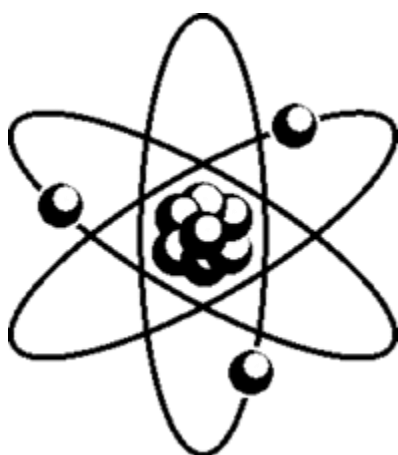
1.2 ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΩΤΕΣ

Αγωγοί είναι τα υλικά που επιτρέπουν στο ηλεκτρικό φορτίο να μετακινείται από μια περιοχή τους σε άλλη. Όταν αυτή η μετακίνηση δεν επιτρέπεται, τότε το

υλικό ονομάζεται **μονωτής** (*Φραγκοράπτης E, 2002*). Τα περισσότερα μέταλλα είναι αγωγοί ή καλοί αγωγοί, όπως συνηθίζεται να λέγεται ενώ τα περισσότερα αμέταλλα είναι μονωτές. Στο εσωτερικό ενός αγωγού αποσπώνται ένα ή περισσότερα εξωτερικά ηλεκτρόνια καθενός ατόμου και μπορούν να κινηθούν ελεύθερα μέσα στο υλικό, ακριβώς όπως και τα μόρια ενός αερίου μπορούν να κινηθούν στον χώρο ανάμεσα από τους κόκκους σε ένα δοχείο με άμμο. Σε ένα μονωτή δεν υπάρχουν καθόλου ελεύθερα ηλεκτρόνια, ή έστω υπάρχουν πολύ λίγα, και το ηλεκτρικό φορτίο δε μπορεί να κινηθεί ελεύθερα μέσα στο υλικό. Οι ιδιότητες μερικών υλικών, που λέγονται **ημιαγωγοί**, βρίσκονται ενδιάμεσα στις ιδιότητες των καλών αγωγών και των τέλειων μονωτών (*Young HD, 1992*).

1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΥΛΗ

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι ένα από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των σωματιδίων από τα οποία οικοδομείται η ύλη. Οι αλληλεπιδράσεις που είναι υπεύθυνες για τη δομή και τις ιδιότητες των ατόμων και των μορίων, και πραγματικά όλης της συνηθισμένης ύλης, είναι κατά κύριο λόγο ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις φορτισμένων σωματιδίων.



Εικόνα 1.2 Άτομο ύλης αποτελούμενος από τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια.

Η συνηθισμένη ύλη δομείται από τρία σωματίδια: Το **ηλεκτρόνιο**, που έχει αρνητικό φορτίο, το **πρωτόνιο** με θετικό φορτίο και το ουδέτερο **νετρόνιο**. Το πρωτόνιο και το νετρόνιο είναι συνδυασμός άλλων σωματιδίων που λέγονται *κουάρκ* και έχουν φορτία $\pm\frac{1}{3}$ και $\pm\frac{2}{3}$ του φορτίου του ηλεκτρονίου. Ελεύθερα κουάρκ δεν έχουν παρατηρηθεί μόνα τους, ενώ οι επιστήμονες έχουν θεωρητικούς λόγους να πιστεύουν πως είναι αδύνατο να παρατηρηθούν απομονωμένα (*Young*

M, 2009).

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ενός ατόμου σχηματίζουν ένα μικρό, πολύ πυκνό κέντρο που λέγεται **πυρήνας**, με διαστάσεις της τάξης του 10^{-15} m. Γύρω από τον πυρήνα υπάρχουν τα ηλεκτρόνια που κατανέμονται μέχρι και σε αποστάσεις της τάξης του 10^{-10} m από τον πυρήνα (Εικ. 1.2).

Το αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου έχει (μέσα στο πειραματικό σφάλμα) ακριβώς το ίδιο μέτρο με το θετικό φορτίο του πρωτονίου. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων ουδέτερου ατόμου ισούται με τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα, οπότε το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο (το αλγεβρικό άθροισμα όλων των φορτίων) είναι ακριβώς μηδέν.

Ο αριθμός των πρωτονίων ή των ηλεκτρονίων του ουδέτερου ατόμου κάποιου στοιχείου λέγεται **ατομικός αριθμός** του στοιχείου. Το σύστημα που απομένει θετικά φορτισμένο αν απομακρυνθούν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια ονομάζεται **θετικό ιόν**. Το **αρνητικό ιόν** είναι το άτομο που έχει κερδίσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Αυτή η πρόσληψη ή απώλεια ηλεκτρονίων ονομάζεται **ιονισμός**.

Οι μάζες των σωματιδίων με σχετική ακρίβεια είναι:

α. Μάζα του ηλεκτρονίου = $m_e = 9,1093897(54) \times 10^{-31}$ kg,

β. Μάζα του πρωτονίου = $m_p = 1,6726231(10) \times 10^{-27}$ kg και

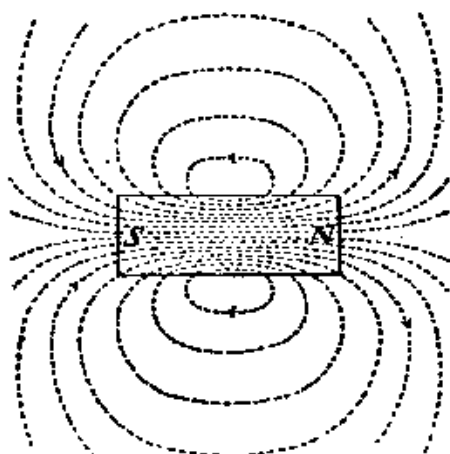
γ. Μάζα του νετρονίου = $m_n = 1,6749286(10) \times 10^{-27}$ kg.

Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι οι αβεβαιότητες των δύο τελευταίων ψηφίων. Σημειώνεται πως οι μάζες του πρωτονίου και του νετρονίου είναι σχεδόν ίδιες και πως η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 2.000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου. Πάνω από το 99,9% της μάζας του ατόμου είναι συγκεντρωμένη στο πυρήνα του (Furse C et al., 2009).

1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ηλεκτρικό πεδίο δυνάμεων (E) ονομάζεται κάθε χώρος, σε κάθε σημείο του οποίου αν τοποθετηθεί ηλεκτρικό φορτίο q , επενεργεί πάνω σ'αυτό δύναμη $F = qE$ (σε $N = Newton$). Αναλυτικότερα, αν σε ένα χώρο τοποθετήσουμε ένα φορτισμένο σώμα Q τότε ο χώρος αλλάζει ιδιότητα και μεταβάλλεται σε ηλεκτρικό πεδίο. Σύμφωνα με το νόμο του *Coulomb*, αν τοποθετήσουμε στο χώρο αυτό ένα άλλο φορτισμένο σώμα q , τότε θα ασκείται μεταξύ τους δύναμη $F = K \frac{Q \cdot q}{r^2}$, όπου r η μεταξύ τους απόσταση, ενώ τα φορτία Q και q θεωρούνται σημειακά.

Το ηλεκτρικό πεδίο λέγεται δυναμικό ηλεκτρικό πεδίο και χαρακτηρίζεται από την ένταση και το δυναμικό του. Αν η δύναμη που ασκείται μεταξύ των φορτισμένων σωμάτων του πεδίου είναι χρονικά σταθερή, τότε έχουμε **ηλεκτροστατικό πεδίο**. Εκτός από το ηλεκτρικό πεδίο, πεδία δυνάμεων είναι το πεδίο βαρύτητας, το μαγνητικό και το πεδίο πυρηνικών δυνάμεων (*Habash R, 2007*).



Εικόνα 1.3 Φυσικός μαγνήτης και οι ελκτικές - απωστικές ιδιότητες του γύρω χώρου.

1.5 ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Μαγνητικά φαινόμενα παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά πριν από τουλάχιστον 2.500 χρόνια σε κομμάτια μαγνητισμένου σιδηρομεταλλεύματος από ορυκτό μαγνηήτη (Fe_3O_4), που βρίσκονταν κοντά στη πόλη Μαγνησία της Μικράς Ασίας. Γενικά **μαγνήτες** ονομάζονται ορισμένα σώματα που έχουν την ιδιότητα να έλκουν

κομμάτια σιδήρου, κοβάλτιου, νικέλιου καθώς κράματα και οξειδία αυτών. **Μαγνητισμός** είναι η ιδιότητα του μαγνήτη να έλκει τα παραπάνω τεμάχια μετάλλων (Εικ. 1.3). Φυσικοί μαγνήτες είναι οι μαγνήτες που εμφανίζουν μαγνητικές ιδιότητες από τη φύση, ενώ τεχνητοί, αυτοί που κατασκευάζονται με τεχνητά μέσα. Υποκατηγορίες των τεχνητών είναι οι μόνιμοι που διατηρούν τις ιδιότητές τους για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (κατασκευάζονται από χάλυβα ή ειδικά κράματα) και οι παροδικοί (π.χ. ηλεκτρομαγνήτες) των οποίων οι ιδιότητες διαρκούν όσο επιδρά πάνω τους το αίτιο που τις προκαλεί (κατασκευή από μαλακό σίδηρο).

Στην αρχαιότητα ανακαλύφθηκε πως όταν μια ράβδος σιδήρου αγγίζει ένα φυσικό μαγνήτη, η ράβδος μαγνητίζεται. Όταν μια μαγνητισμένη ράβδος εξαρτάται από το κέντρο της με ένα νήμα, τείνει να προσανατολιστεί στην κατεύθυνση Βορρά – Νότου, όπως η βελόνα μιας πυξίδας. Εκείνο το άκρο του ραβδόμορφου μαγνήτη που έδειχνε προς Βορρά, ονομαζόταν βόρειος πόλος και το άλλο άκρο νότιος πόλος (συντομογραφικά Β και Ν αντίστοιχα, ή Ν και S στην αγγλική γλώσσα). Δύο αντίθετοι πόλοι έλκονται μεταξύ τους, ενώ δύο όμοιοι πόλοι αλληλοαπωθούνται (*Andrä W & Nowak H, 2007*).

1.6 ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

Θεωρούμε δύο σημειακές ποσότητες μαγνητισμού m_1 , m_2 , είτε νότιες, είτε βόρειες, είτε η μια νότια και η άλλη βόρεια. Θεωρούμε ακόμη τη μεταξύ τους απόσταση ως r . Τότε:

Το μέτρο της δύναμης (ελκτικής ή απωστικής) που εξασκείται μεταξύ των δύο σημειακών ποσοτήτων μαγνητισμού m_1 και m_2 είναι ανάλογο προς το γινόμενο των μαγνητικών ποσοτήτων και αντιστρόφως ανάλογο προς το τεράγωνο της απόστασης r αυτών. Δηλαδή: $F = K \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$. Όπου K είναι η σταθερά αναλογίας

και εξαρτάται από το μαγνητικό υλικό που υπάρχει μεταξύ των m_1 και m_2 και από το χρησιμοποιούμενο σύστημα μονάδων (Furse C et al., 2009).

1.7 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Μαγνητικό πεδίο (B) είναι ο χώρος που σε κάθε του σημείο, αν βάλουμε μια ποσότητα μαγνητισμού εξασκείται πάνω σ'αυτή δύναμη *Coulomb*. Ο χώρος αυτός είναι ένα δυναμικό πεδίο που δημιουργείται από την παρουσία κάποιου μαγνήτη.

Όμως και ένα κινούμενο φορτίο (ή αλλιώς το ηλεκτρικό ρεύμα) δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο στο χώρο, επιπρόσθετα με το ηλεκτρικό του πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη F πάνω σε κάθε κινούμενο φορτίο ή ηλεκτρικό ρεύμα που βρίσκεται εντός του. Το μέτρο αυτής της δύναμης είναι ανάλογο του φορτίου, ανάλογο του μέτρου ή της έντασης του πεδίου και ανάλογο του μέτρου της ταχύτητας v (ένα ακίνητο φορτισμένο σωματίο δεν υφίσταται μαγνητικές δυνάμεις), δηλαδή: $F = qv \times B$. Η F ως διάνυσμα είναι πάντοτε κάθετη τόσο στο μαγνητικό πεδίο B όσο και στη ταχύτητα του φορτίου v (Furse C et al., 2009).

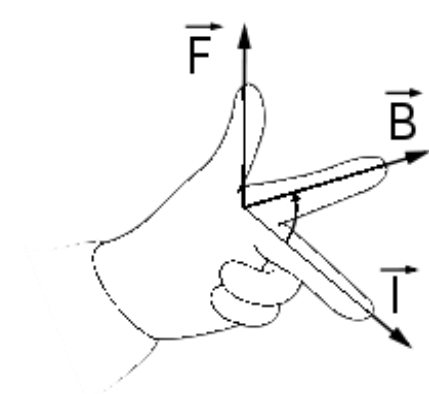
1.8 ΕΝΝΟΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Με τον όρο **μαγνητική επαγωγή**, ή μαγνήτιση εξ επαγωγής, χαρακτηρίζεται το φαινόμενο της μαγνήτισης, (δηλαδή της μετάδοσης των μαγνητικών ιδιοτήτων), που προέρχεται από επαγωγή, δηλαδή είτε από κάποια απόσταση, είτε από την είσοδο ενός μαγνητικού σώματος μέσα σε μαγνητικό πεδίο, είτε ακόμη και εκ της δημιουργίας μαγνητικού πεδίου πλησίον ή πέριξ ενός μαγνητικού σώματος.

Για παράδειγμα αν μια μεταλλική ράβδος από μαλακό σίδηρο τοποθετηθεί ή βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο τότε αυτή θα αρχίσει να συμπεριφέρεται ως μαγνήτης, θα εμφανίζει δηλαδή μαγνητική ροή. Η μαγνήτιση αυτή της ράβδου οφείλεται στον προσανατολισμό των στοιχειωδών μαγνητών που την συναποτελούν.

1.9 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

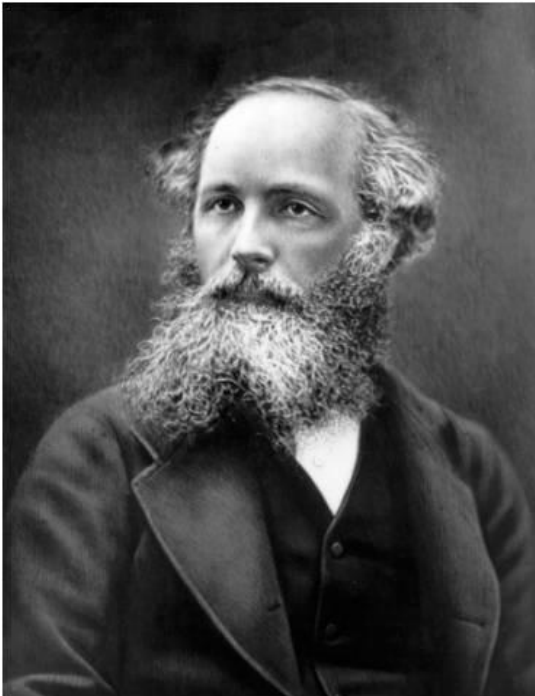
Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των δυνάμεων που γίνεται αντιληπτό και κατέχουν πολύ σημαντική θέση στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου. Απ' τη παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας απ' τον σταθμό παραγωγής μέχρι τις οικίες, τα δίκτυα κινητών και σταθερών τηλεπικοινωνιών, τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών μέχρι και τις δυνάμεις που συγκρατούν την ύλη, την τριβή και το άγγιγμα των αντικειμένων, ο ηλεκτρομαγνητισμός λαμβάνει κυρίαρχη θέση στο να γίνει κατανοητό πώς λειτουργεί ο κόσμος.



Εικόνα 1.4 Ο κανόνας του δεξιού χεριού.

Αν θέσουμε ένα ρευματοφόρο αγωγό σε μαγνητικό πεδίο θα παρατηρήσουμε ότι εξασκείται πάνω σ' αυτόν από το πεδίο μια δύναμη με διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο που σχηματίζουν η διεύθυνση του αγωγού και η ένταση του μαγνητικού πεδίου. Η φορά της δύναμης εξαρτάται από τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Η δύναμη αυτή ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική δύναμη** ή δύναμη *Laplace*. Ο νόμος που εκφράζει τη δύναμη αυτή λέγεται **νόμος του Laplace** και είναι ο εξής:

Όταν ευθύγραμμος αγωγός μήκους l διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης H , τότε ασκείται πάνω σ' αυτόν δύναμη F , που το μέτρο της είναι ανάλογο με την ένταση I του ρεύματος, με το μήκος l του αγωγού, με την ένταση H του μαγνητικού πεδίου και με το ημίτονο της γωνίας φ που σχηματίζει ο αγωγός με την ένταση H του πεδίου, δηλαδή: $F = I \cdot l \cdot H \cdot \eta\mu\varphi$. Για να εντοπίσουμε τη φορά της δύναμης *Laplace* χρησιμοποιούμε τον κανόνα του δεξιού χεριού (Εικ. 1.4) (Παπαϊωάννου Κ, 1986).



Εικόνα 1.5 *James Clerk Maxwell* (1831–1879).

1.9.1 Οι εξισώσεις του *Maxwell*

Ο *Maxwell* (Εικ. 1.5) απέδειξε το 1865 ότι μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή πρέπει να διαδίδεται στον κενό χώρο με ταχύτητα ίση με εκείνη του φωτός και ότι τα κύματα του φωτός ήταν, κατά πάσα πιθανότητα, ηλεκτρομαγνητικής φύσεως. Επίσης ήταν αυτός που επινόησε την έννοια του ρεύματος μετατόπισης. Την ίδια χρονική περίοδο ο *Maxwell* ανακάλυψε ότι οι βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού

μπορούν να διατυπωθούν με τέσσερις εξισώσεις, οι οποίες ονομάζονται **εξισώσεις του *Maxwell*** (Omar A, 2010). Δεν ανακάλυψε αυτές τις εξισώσεις μόνος του, τις διατύπωσε όμως ως ενιαίο σύνολο και αναγνώρισε τη σπουδαιότητά τους, προβλέποντας κατά κύριο λόγο την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η πιο απλή μορφή των εξισώσεων διατυπώνεται για την περίπτωση όπου δεν υπάρχουν φορτία και ρεύματα, στον κενό χώρο.

Υπάρχει δυνατότητα τροποποίησής τους κατά την ύπαρξη διηλεκτρικού ή μαγνητικού υλικού.

Η **πρώτη εξίσωση του Maxwell** είναι ο νόμος του *Gauss*, σύμφωνα με τον οποίο το επιφανειακό ολοκλήρωμα του E σε οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια ισούται με το γινόμενο του $1/\epsilon_0$ επί το ολόκληρο φορτίο Q_{encl} που περικλείεται από την επιφάνεια αυτή: $\oint E \cdot dA = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}$.

Η **δεύτερη εξίσωση του Maxwell**, δίνει την ανάλογη σχέση για μαγνητικά πεδία. Σύμφωνα με αυτήν, το επιφανειακό ολοκλήρωμα του B σε οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια είναι πάντοτε μηδέν: $\oint B \cdot dA = 0$. Αυτή η εξίσωση ονομάζεται συχνά νόμος του *Gauss* για μαγνητικά πεδία. Η σημασία της είναι, μεταξύ άλλων, ότι δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα (μεμονωμένα ηλεκτρικά φορτία) για να δράσουν ως πηγές μαγνητικού πεδίου.

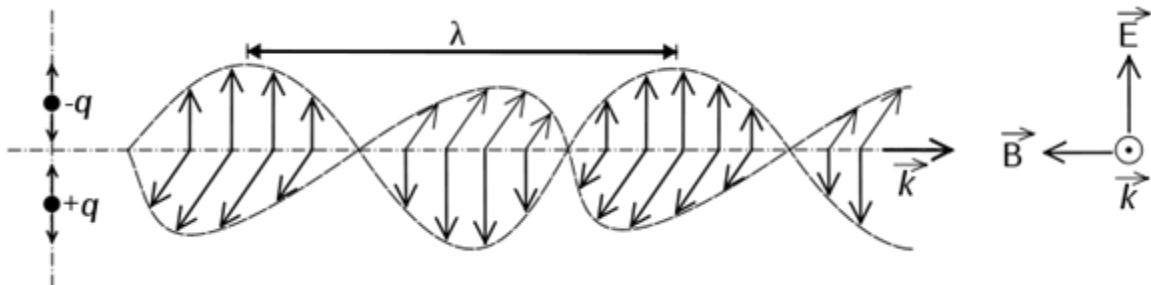
Η **τρίτη εξίσωση** είναι ο νόμος του *Ampère* στον οποίο έχει ληφθεί υπόψη και το ρεύμα μετατόπισης. Σύμφωνα με τον νόμο αυτόν, το ρεύμα αγωγιμότητας I_c μαζί με το ρεύμα μετατόπισης $\epsilon_0 d\Phi_E/dt$, όπου Φ_E είναι η ηλεκτρική ροή, δρουν ως πηγές του μαγνητικού πεδίου: $\oint B \cdot dl = \mu_0 (I_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt})$.

Ο νόμος του *Faraday* είναι η **τέταρτη εξίσωση**, η οποία υπαγορεύει ότι μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο ή μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή επάγει ηλεκτρικό πεδίο: $\oint E \cdot dl = -\frac{d\Phi_B}{dt}$. Το γεγονός ότι το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα δεν είναι μηδέν, δείχνει ότι το πεδίο E που δημιουργείται από μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή δεν είναι διατηρητικό (*Furse C et al.*, 2009; *Young HD*, 1992).

1.9.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**

(Εικ. 1.6). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με



Εικόνα 1.6 Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c = 299.792.458 \text{ m/s}$) αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός. Κάθε στιγμή το πηλίκο των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ισούται με την ταχύτητα του φωτός: $\frac{E}{B} = c$. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως και τα μηχανικά, υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας (Kitchen R, 2001).

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από επιταχυνόμενα ή επιβραδυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό σημαίνει πως τα ακίνητα φορτία καθώς και τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερά ρεύματα) δε μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Δημιουργούνται επίσης όταν ένα ηλεκτρόνιο κάποιου ατόμου χάνει μέρος της ενέργειάς του και μεταπίπτει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί μια ταλάντωση που διαδίδεται πλέον στο χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Τα δύο αυτά πεδία είναι, αφενός μεν, κάθετα μεταξύ τους, αφετέρου και κάθετα με τη διεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, του λεγόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα

προσκρούσει σε κάποιο άτομο τα δύο συνδυαζόμενα αυτού πεδία μπορούν να προσφέρουν μεταφερόμενη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να το εξαναγκάσουν να μεταπηδήσει αυτό σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη.

Ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο καλούμε σχηματικά ένα σύστημα από 2 μεταλλικές ράβδους οι οποίες συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης ρεύματος, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στα άκρα τους ζεύγος ηλεκτρικών φορτίων που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με το χρόνο και τελικά να δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Τα ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα αποτελούν κοινή μέθοδο παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς. Κατά την ταλάντωση του ηλεκτρικού φορτίου στην κεραία, όταν τα φορτία στα άκρα της έχουν μέγιστη τιμή, το ρεύμα σ' αυτή είναι μηδέν και όταν τα φορτία στα άκρα μηδενιστούν η κεραία διαρρέεται από ρεύμα μέγιστης έντασης. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο κοντά στην κεραία έχουν διαφορά φάσης 90° (όταν το ένα είναι μέγιστο το άλλο είναι μηδέν). Σε μεγάλες όμως αποστάσεις τα δύο πεδία είναι σε φάση (Andrä W & Nowak H, 2007).

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται κατά τη διεύθυνση x , είναι: $E = E_{max} \cdot \eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ και $B = B_{max} \cdot \eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, όπου T η περίοδος του κύματος, x η απόσταση του σημείου από τη πηγή και λ το μήκος κύματος.

1.9.3 Ειδικά χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

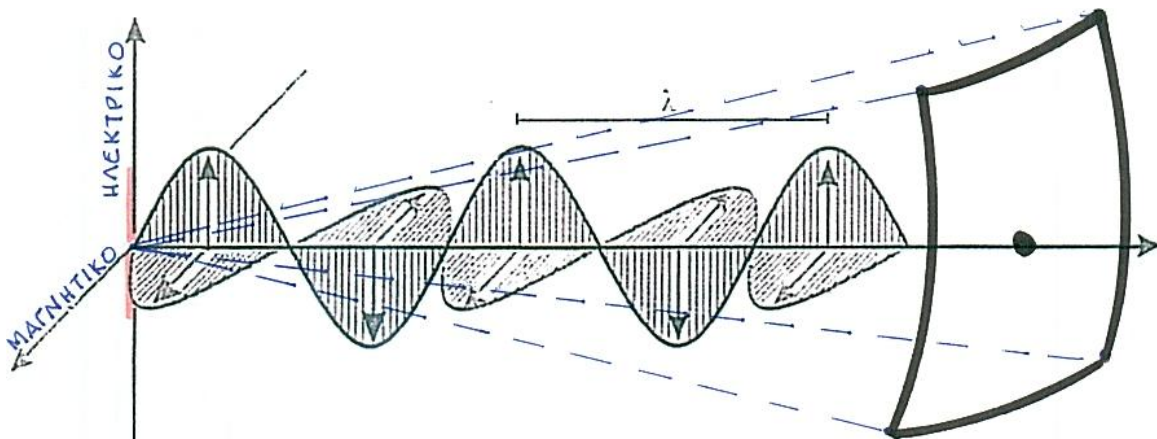
Κατά τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, θεωρείται σκόπιμο να αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά τους, η γνώση των οποίων συμβάλλει στη πληρέστερη κατανόηση όσων αφορά την τυχόν επικινδυνότητα που έχει η έκθεση του ζώντος ιστού σε αυτά.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαθέτει δύο κυρίως μετρήσιμα μεγέθη:

- α. την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και
- β. την πυκνότητα ισχύος (που παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον).

Γενικά το μεν πεδίο εκφράζεται με βάση την ένταση των δύο συνιστωσών και η δε πυκνότητα ισχύος είναι η ισχύς του κύματος που προσπίπτει στη μονάδα επιφάνειας.

Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας και η μονάδα μέτρησης της (W/m^2), είναι σκόπιμο να παρουσιαστεί και σχηματικά (Εικ. 1.7). Κατά τη διάρκεια της εκπομπής υπάρχει συνέχεια ροή ενέργειας μέσα από ένα νοητό τετράγωνο στον τρισδιάστατο περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 1.7 Συνεχή ροή ενέργειας μέσα από το τετράγωνο (W/m^2).

Οι μονάδες μέτρησης των παραπάνω μεγεθών έχουν ως εξής:

- Μονάδα μέτρησης της έντασης ηλεκτρικής ακτινοβολίας το **V/m (Βόλτ ανά μέτρο)**. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ακτινοβολίας των ρευματοφόρων καλωδίων, υποσταθμών και μετασχηματιστών του ρεύματος.

- Μονάδα μέτρησης της έντασης της μαγνητικής ακτινοβολίας το Gauss ή Tesla με υποπολλαπλάσια το mG (μιλιγκάους), το nT (νανοτέσλα) και το μT (μικροτέσλα). Η σχέση αναμεταξύ τους είναι: $1\text{mG}=100\text{nT}$. Πειραματικά συνήθως χρησιμοποιείται το **A/m (Αμπέρ ανά μέτρο)**.
- Μονάδα μέτρησης πυκνότητας ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το **W/m² (Βαττ ανά τετραγωνικό μέτρο)** και οι υποδιαρέσεις του mW/cm² (μιλιβάτ ανά τετραγωνικό εκατοστό) και μW/cm² (μικροβάτ ανά τετραγωνικό εκατοστό).

Πιο ειδικά **ένταση του ηλεκτρικού πεδίου \vec{E}** σε ένα σημείο του, ονομάζουμε το φυσικό διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο ίσο με το πηλίκο του μέτρου της δύναμης F (σε N = *Newton*) που ασκείται σε φορτίο q (σε C = *Coulomb*) που βρίσκεται σε αυτό το σημείο προς το φορτίο αυτό και κατεύθυνση την κατεύθυνση της δύναμης, αν αυτή ασκείται σε θετικό φορτίο: $\vec{E} = \frac{F}{q}$ (σε $\frac{N}{C}$ ή αλλιώς σε $\frac{V}{m}$, Volt/meter). Η ένταση σε ένα σημείο έχει ως διεύθυνση την ευθεία που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία και φορά προς το φορτίο - πηγή αν είναι αρνητικό, αλλιώς την ίδια διεύθυνση και αντίθετη φορά (που "βλέπει" αντίθετα του φορτίου - πηγής). Αυτό συμβαίνει γιατί το δοκιμαστικό φορτίο θεωρείται (διεθνής σύμβαση) μικρό και θετικό. Έτσι, η ένταση έχει το πλεονέκτημα να είναι ανεξάρτητη του δοκιμαστικού φορτίου, αλλά διατηρεί το μειονέκτημα του διανύσματος.

Ένταση μαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο αυτού ονομάζεται η μαγνητική δύναμη που επενεργεί επί της μονάδας της βόρειας μαγνητικής μάζας όταν αυτή βρίσκεται στο σημείο αυτό του πεδίου. Η ένταση μαγνητικού πεδίου συμβολίζεται με H και μετριέται σε Γουέμπερ (Wb). Η μονάδα Wb έχει διαστάσεις έντασης ηλεκτρικού ρεύματος ανά μονάδα μήκους (A/m, Ampère/meter). Η ένταση του μαγνητικού πεδίου γύρω από ρευματοφόρο

αγωγό δίνεται από τον νόμο των *Biot και Savart* και ισούται με: $H = \int \frac{1}{4\pi} \frac{Idl \cdot r}{r^3}$, όπου I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, r η απόσταση από τον αγωγό, l το μήκος του αγωγού. Ωστόσο, αυτό το μέγεθος δε συνιθίζεται και αντί αυτού χρησιμοποιείται η μαγνητική ροή \mathbf{B} με $B = \mu_0(H + M)$, όπου M η μαγνήτιση, δηλαδή η συνισφορά του μέσου στο οποίο υπάρχει το μαγνητικό πεδίο και μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

Η ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά μεγέθη της φυσικής και ορίζεται ως ο ρυθμός παραγωγής έργου, ή αλλιώς ο ρυθμός μεταβίβασης οποιασδήποτε ενέργειας: $P = u \cdot F$ (σε $W = Watt$). **Πυκνότητα ισχύος** (Power Density, Pd)

ορίζεται η ακτινοβολούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας: $Pd = \frac{P}{m^2}$ (σε W/m^2).

Σε πειραματικό επίπεδο συνιθίζεται να υπολογίζεται από τον τύπο: $Pd = \frac{P \cdot G}{4\pi R^2}$, όπου P η ισχύς σε Watt, R η απόσταση σε μέτρα, $\pi = 3,14$ και $G = 2db = 1,585$ φορές ενισχυση (G είναι η απολάβη της κεραίας και είναι σταθερός αριθμός).

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου υπολογισμού και μέτρησης της πυκνότητας ισχύος ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι χρήσιμο να μελετηθεί σχετικό παράδειγμα:

- Έστω ότι μια κεραία εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ισχύ $P = 50W$ και υπάρχει άνθρωπος που στέκεται σε απόσταση 3m. Η πυκνότητα ισχύος σε αυτή τη θέση υπολογίζεται:

$$Pd = \frac{P \cdot G}{4\pi R^2} = \frac{50 \cdot 1,585}{4 \cdot 3,14 \cdot 3^2} = \frac{79,25}{113,04} = 0,701 W/m^2$$

ή αλλιώς

$$Pd = \frac{50.000 \cdot 1,585}{4 \cdot 3,14 \cdot 300^2} = \frac{79.250}{1.130.400} = 0,0701 mW/cm^2$$

Αφού υπολογίστηκε ποια θα είναι η ενέργεια που δέχεται ο άνθρωπος στην ανά τετραγωνικό μέτρο ή τετραγωνικό εκατοστό επιφάνεια του σώματός του, μπορεί κανείς να ανατρέξει στους υπάρχοντες αποδεκτούς πίνακες και να ελέγξει αν είναι εντός των επιτρεπομένων ορίων ή όχι.

- Αν στο προηγούμενο παράδειγμα διπλασιαστεί η απόσταση (δηλ. από 3 γίνει 6 μέτρα), υπολογίζεται:

$$Pd = \frac{P \cdot G}{4\pi R^2} = \frac{50 \cdot 1,585}{4 \cdot 3,14 \cdot 6^2} = \frac{79,25}{452,16} = 0,175 \text{ W/m}^2$$

Παρατηρεί κανείς πως διπλασιάζοντας την απόσταση από την κεραία, δεν μειώθηκε στο μισό η πυκνότητα ισχύος, αλλά μειώθηκε πολύ περισσότερο, αφού από $0,701 \text{ W/m}^2$ μειώθηκε στο $0,175 \text{ W/m}^2$.

- Αν όμως από τα 3 μέτρα απόσταση που ήταν η αρχική θέση, απομακρυνθεί ο άνθρωπος επιπλέον 1,24 μέτρα, η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται:

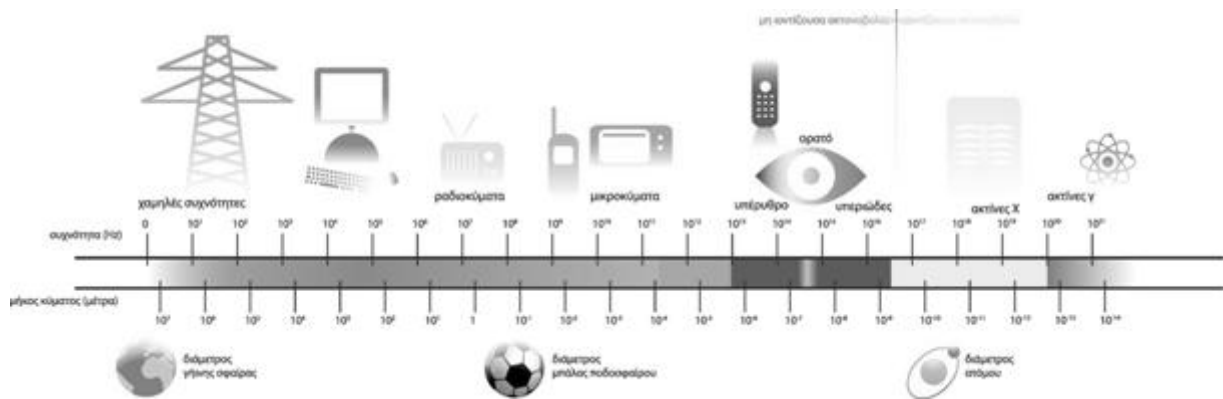
$$Pd = \frac{P \cdot G}{4\pi R^2} = \frac{50 \cdot 1,585}{4 \cdot 3,14 \cdot 4,24^2} = \frac{79,25}{225,798} = 0,350 \text{ W/m}^2$$

Έτσι μειώθηκε η πυκνότητα ισχύος στο μισή τιμή της, με την απόσταση του ανθρώπου από τη κεραία να αυξάνει μόνο κατά 1,24 m και όχι να διπλασιάζεται. **Συμπερασματικά, η παραμικρή απομάκρυνση από την κεραία, είναι μεγάλο κέρδος για τον άνθρωπο.**

1.9.4 Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνδέεται με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων όπως είναι η αποδιέγερση των ατόμων, οι πυρηνικές διασπάσεις κ.α. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα μηκών

κύματος και συχνοτήτων (Εικ 1.8). Παρά τις τεράστιες διαφορές στις εφαρμογές και στην παραγωγή τους, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά. Εφόσον όλα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα c , η συχνότητα τους και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση: $c = \lambda \cdot f$, όπου



Εικόνα 1.8 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

f η συχνότητα του κύματος και λ το μήκος κύματος. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα υπόλοιπα.

Ραδιοκύματα: Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 105m έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως τα κυκλώματα LC , και χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία και την τηλεόραση.

Μικροκύματα: Το μήκος κύματός τους εκτείνεται από 30cm έως 1mm περίπου. Παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι οικιακοί φούρνοι μικροκυμάτων λειτουργούν με κύματα αυτής της περιοχής. Μικροκύματα χρησιμοποιούν και τα ραντάρ.

Υπέρυθρα κύματα: Καλύπτουν την περιοχή από 1mm έως 7×10^{-7} m περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα

σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του.

Το ορατό φως: Είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από 400 nm έως 700 nm (δηλαδή από 400×10^{-9} m έως 700×10^{-9} m) (Εικ. 1.8). Το ορατό φως παράγεται από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και στα μόρια. Κάθε υποπεριοχή του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος. Προσεγγιστικά τα μήκη κύματος των διαφόρων χρωμάτων του ορατού φάσματος είναι :

- α. Ερυθρό : από 700 έως 630 nm,
- β. Πορτοκαλί : από 630 έως 590 nm,
- γ. Κίτρινο : από 590 έως 560 nm,
- δ. Πράσινο : από 560 έως 480 nm,
- ε. Κυανό : από 480 έως 440 nm και
- στ. Ιώδες : από 440 έως 400 nm.

Μια ακτινοβολία που περιέχει μήκη κύματος σε μια πολύ στενή περιοχή χαρακτηρίζεται μονοχρωματική. Τέτοια ακτινοβολία μπορούμε να πάρουμε με τη χρήση ειδικών πηγών ή φίλτρων. Το απόλυτα μονοχρωματικό φως, δηλαδή το φως που αποτελείται μόνο από ένα μήκος κύματος, αποτελεί μια εξιδανίκευση. Τα λέιζερ παράγουν φως που πλησιάζει πολύ στο απόλυτα μονοχρωματικό.

Υπεριώδης ακτινοβολία: Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από $3,8 \times 10^{-7}$ m έως 6×10^{-8} m περίπου. Ο Ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το "μαύρισμα" της καλοκαιρινής ηλιοθεραπείας. Μεγάλες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους

ακτινοβολίας, που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα).

Το όζον της στρατόσφαιρας, απορροφά κατά κύριο λόγο την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Σήμερα εντοπίζεται πιθανή καταστροφή αυτής της προστατευτικής ασπίδας ενάντια στις υπεριώδεις ακτίνες του Ήλιου. Το όζον της στρατόσφαιρας μειώνεται εξαιτίας εκτεταμένης χρήσης των χλωροφθορανθράκων, ενώσεων που χρησιμοποιούνται στα ψυγεία, τα κλιματιστικά τους ψεκαστήρες και αλλού.

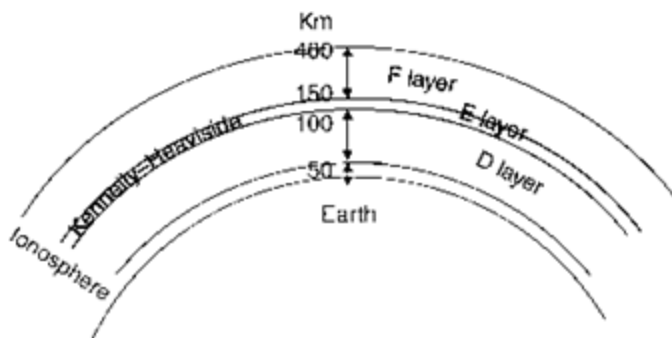
Οι ακτίνες X (ή ακτίνες *Röntgen*): Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 10^{-8} m έως 10^{-13} m περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτίνων X είναι η επιβράδυνση ηλεκτρονίων που προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική, κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (ακτινογραφίες), και στη μελέτη των διαφόρων κρυσταλλικών δομών. Οι ακτίνες X μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγουμε την έκθεσή μας σ' αυτές χωρίς σοβαρό λόγο.

Οι ακτίνες γ : Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα και κατά τη διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Τα μήκη κύματός τους αρχίζουν από 10^{-10} m και φτάνουν ως τα 10^{-14} m. Είναι πολύ διεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τις απορροφούν.

1.9.5 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Στα μακρά κύματα η επιφάνεια της Γης χρησιμεύει σαν οδηγός τους, και ένα μέρος του αντί να διαδίδεται σε ευθεία γραμμή, μπορεί να διαδίδεται ακολουθώντας την καμπυλότητα της Γης. Αυτό το μέρος της ακτινοβολίας των

μακρών κυμάτων ονομάζεται **ακτινοβολία εδάφους**. Ένα άλλο όμως εκπέμπεται προς τα πάνω στο χώρο και ονομάζεται **ακτινοβολία χώρου**. Το ποσοστό της ολικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται σαν ακτινοβολία χώρου είναι ιδιαίτερα μεγάλο για τα βραχέα κύματα.



Εικόνα 1.9 Ιονόσφαιρα και το στρώμα Heaviside – Kennelly.

Η ακτινοβολία χώρου συναντά στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας την ιονόσφαιρα και ανακλάται πάνω σ' ένα στρώμα της που ονομάζεται στρώμα *Heaviside – Kennelly* (Εικ. 1.9).

Έτσι μπορούμε να εξηγήσουμε τις μεγάλες αποστάσεις στις οποίες διαδίδονται τα βραχέα κύματα. Επειδή το ύψος της ιονόσφαιρας είναι μικρότερο κατά την ημέρα και μεγαλύτερο κατά τη νύχτα, ελαττώνεται η εμβέλεια των πομπών βραχέων κυμάτων την ημέρα. Έτσι εξηγείται και το φαινόμενο των ζωνών σιωπής, στα βραχέα κύματα. Η ακτινοβολία εδάφους των βραχέων κυμάτων απορροφάται γρήγορα, ενώ η ακτινοβολία χώρου εμφανίζεται ξανά πάνω στην επιφάνεια της Γης αφού ανακλαστεί, σε μια σχετικά μεγάλη απόσταση. Έτσι σε μια περιοχή γύρω από τον πομπό δεν εμφανίζονται τα κύματα, ενώ εμφανίζονται ξανά σε μεγαλύτερη απόσταση. Η νεκρή αυτή περιοχή ονομάζεται **ζώνη σιωπής** ή **νεκρή ζώνη** (Παπαϊωάννου Κ, 1986).

Τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά κύματα υποδιαίρονται ανάλογα με το μήκος κύματος σε:

- α. Μακρά κύματα με μήκος κύματος $\lambda > 600 \text{ m}$
- β. Μεσαία κύματα με μήκος κύματος $600 \text{ m} > \lambda > 200 \text{ m}$
- γ. Βραχέα κύματα με μήκος κύματος $200 \text{ m} > \lambda > 10 \text{ m}$
- δ. Υπερβραχέα κύματα με μήκος κύματος $10 \text{ m} > \lambda > 1 \text{ m}$

ε. Μικροκύματα με μήκος κύματος $1\text{ m} > \lambda > 0,1\text{ cm}$.

Αυτά διαδίδονται ή σαν κύματα επιφάνειας ή σαν κύματα χώρου, η δε απόσταση που μεταφέρονται εξαρτάται από το μήκος κύματος αυτών. Τα μακρά κύματα παθαίνουν μικρή απορρόφηση και μπορούν να διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις σαν κύματα επιφάνειας, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται περισσότερο στη ραδιοφωνία. Τα μεσαία κύματα διαδίδονται σε σχετικά μικρές αποστάσεις σαν κύματα επιφάνειας ενώ η διάδοση αυτών από ανάκλαση στην ιονόσφαιρα γίνεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτά χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία για μεταδόσεις σε σχετικά μικρές αποστάσεις. Τα βραχέα κύματα διαδίδονται με κύματα χώρου γιατί αυτά σαν κύματα επιφάνειας απορροφούνται ισχυρά. Γι' αυτό σε μικρή μόνο απόσταση από το πομπό έχουμε λήψη με κύματα επιφάνειας, μετά έχουμε τη ζώνη σιγής και κατόπιν είναι η περιοχή στην οποία έχουμε λήψη με κύματα χώρου. Τα βραχέα κύματα χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία από πομπούς μεγάλης εμβέλειας. Τα υπερβραχέα και τα μικροκύματα δεν ανακλούνται πάνω στην ιονόσφαιρα με αποτέλεσμα να διαδίδονται μόνο με κύματα επιφάνειας. Αυτά διαδίδονται ευθύγραμμα και μπορεί να γίνει λήψη μόνο όταν ο δέκτης βρίσκεται στις θέσεις του οπτικού ορίζοντα. Τα υπερβραχέα κύματα χρησιμοποιούνται στη τηλεόραση και τα μικροκύματα στα ραντάρ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣ

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υποδιαιρείται σύμφωνα με το μήκος του κύματος λ . Ως **μήκος κύματος** ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών στοιχείων του μέσου, που απέχουν το ίδιο από τη θέση ισορροπίας τους και κινούνται κατά την ίδια φορά. Ένα άλλο κριτήριο σύμφωνα με το οποίο κατηγοριοποιείται η ακτινοβολία είναι η συχνότητα f η οποία υπολογίζεται σε *Hertz* (Hz). Ως **συχνότητα** ορίζεται ο αριθμός των κορυφών, αφού πρόκειται για εγκάρσιο κύμα, που φθάνουν σε κάποιο σημείο του μέσου στη μονάδα του χρόνου κατά την διάδοση του κύματος.

Εντοπίζεται αντίστροφη αναλογία ανάμεσα στο μήκος και τη συχνότητα των κυμάτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και αυτό αποδεικνύεται με τη **θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής** κατά την οποία: $v = \lambda \cdot f$. Ενώ η ταχύτητα διάδοσης του κύματος v παραμένει σταθερή, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα f μειώνεται το μήκος κύματος λ και το αντίστροφο. Τα δύο φυσικά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα και καθορίζουν ταυτόχρονα το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (*Μοίρας II*, 2006).

Βασικό χαρακτηριστικό για τη μελέτη των βιολογικών επιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελεί η συχνότητά της. Στις χαμηλές συχνότητες (< 500 Hz) το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι ασύνδετα μεταξύ τους ενώ για μεγαλύτερες συχνότητες (> 3 MHz) συνδέονται με απλές μαθηματικές σχέσεις. Κατά τη μελέτη πεδίων, τα όρια επικινδυνότητας της έκθεσης, για τις χαμηλές συχνότητες εκφράζονται σε μονάδες **έντασης του**

ηλεκτρικού πεδίου (σε V/m και τα υποπολλαπλάσιά τους) και έντασης του μαγνητικού πεδίου (σε A/m και τα υποπολλαπλάσιά τους) ενώ για τις υψηλότερες συχνότητες εκφράζονται σαν **πυκνότητα ισχύος** (W/m^2 και τα υποπολλαπλάσιά τους). Επίσης λαμβάνονται υπόψη χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με την ισχύ, τον τρόπο με τον οποίο εκπέμπεται και τον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται στον χώρο η ακτινοβολία (τρόπος διαμόρφωσης, συνεχής ή παλμική εκπομπή κ.α.).

2.2 IONTIZΟΥΣΑ ΚΑΙ ΜΗ IONTIZΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υποδιαιρείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σύμφωνα με τη συχνότητα και το μήκος κύματος, όπως περιγράφονται παρακάτω:



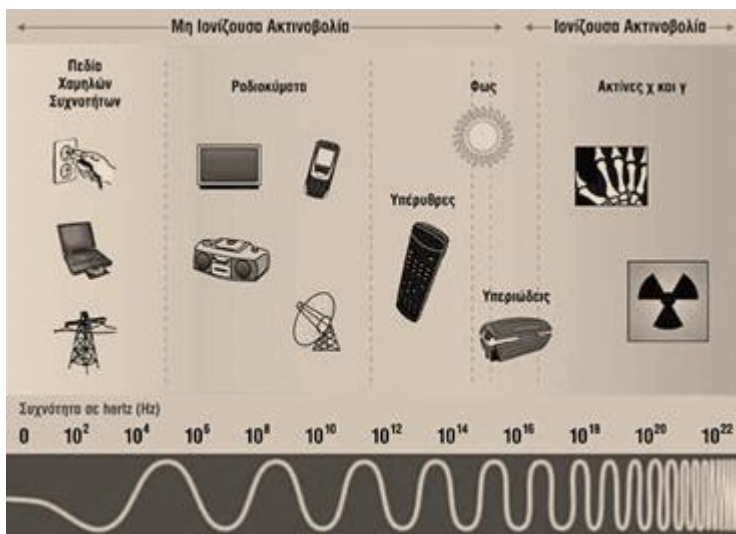
Ιοντίζουσα ακτινοβολία: Χαρακτηρίζεται από μικρό μήκος κύματος, υψηλή συχνότητα και μεταφορά μεγάλης ποσότητας ενέργειας ενώ περιλαμβάνει τις ακτίνες X (χρησιμοποιούνται στις ακτινογραφίες, στους αξονικούς τομογράφους κ.α.), τις ακτίνες γάμα « γ », τη κοσμική ακτινοβολία και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή είναι λίαν επικίνδυνη διότι δύναται να προκαλεί ιονισμό. Ως ιονισμός ορίζεται η απόσπαση ηλεκτρονίων από τα άτομα. Με τη αυτή τη διαδικασία διασπώνται δεσμοί DNA και τελικά

Εικόνα 2.1 Marie Skłodowska - Curie (1867-1934).

προκαλούνται βλάβες που μπορούν να οδηγήσουν σε ασθένειες, ακόμα και σε κακοήθεις όγκους. Συνίσταται εξειδίκευση και προσοχή στη χρήση τους. Είναι

γνωστό πως οι πρώτοι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τις ακτινοβολίες, όπως η *Marie Skłodowska - Curie* (Εικ. 2.1), απεβίωσαν πρόωρα λόγω λευχαιμίας ή άλλων μορφών καρκίνου.

Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία: Χαρακτηρίζεται από μεγάλο μήκος κύματος, χαμηλή συχνότητα (περίπου μέχρι 300 GHz) και μεταφορά μικρής ποσότητας ενέργειας, ενώ περιλαμβάνει το ορατό φως, την υπέρυθη ακτινοβολία, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, τα πολύ χαμηλής συχνότητας πεδία που



δημιουργούνται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια και γενικά τις συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρισμό (Εικ. 2.2). Η ακτινοβολία αυτή δεν μπορεί να διασπάσει τους χημικούς δεσμούς ή να αποσπάσει ηλεκτρόνια από άτομα προκαλώντας ιονισμό της ύλης όπως η ραδιενέργεια. Υπάρχουν όμως

Εικόνα 2.2 Σχηματικό φάσμα ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας

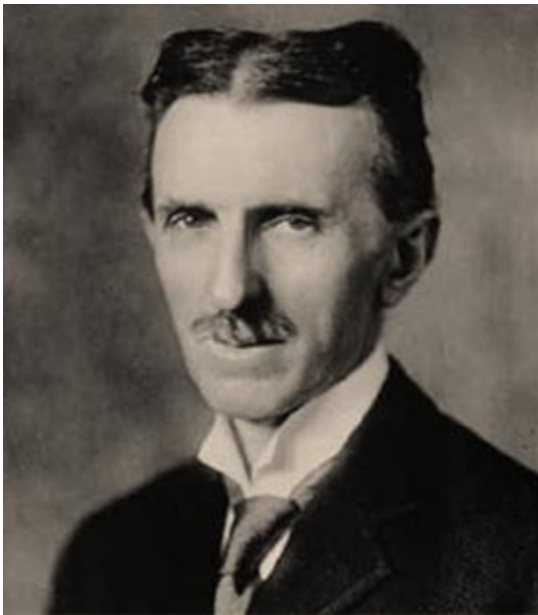
βιολογικές επιδράσεις στην ζώσα ύλη που δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα.

Το φάσμα της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας υποδιαιρούμενο σύμφωνα με τη συχνότητα των κυμάτων περιγράφεται αναλυτικά (Πιν. 1, Παράρτημα 1). Οι δύο κύριες κατηγορίες είναι:

- **RF** – Ραδιοσυχνότητες (*Radio Frequencies*) = 3 KHz – 300 MHz
- **MF** - Μικροκύματα (*Microwaves*) = 300 MHz – 300 GHz

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το 1889 ανεξάρτητα οι *d' Arsonval* και *Tesla* (Εικ. 2.3) παρατήρησαν για πρώτη φορά τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε βιολογικούς οργανισμούς. Ιστορικής σημασίας είναι οι εργασίες του *d' Arsonval* σε ανθρώπους το 1893-94 ο οποίος «παρενόχλησε» με αυτεπαγωγή ή με χωρητική σύζευξη την λειτουργία των κυττάρων και ανακοίνωσε ότι παρουσιάστηκε σημαντική βελτίωση σε ρευματοπαθείς ασθενείς, σε αντίθεση με νευρολογικούς ασθενείς. Το 1930 η τεχνολογική πρόοδος έδωσε τη δυνατότητα δημιουργίας ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και της βιολογικής έρευνας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπου το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας σχεδόν μονοπωλούσαν η πυρηνική ενέργεια και οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες.



Εικόνα 2.3 *Nikola Tesla (1856 -1943).*

Ως προς τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία, η πρώτη σοβαρή ενασχόληση έγινε λίγο πριν τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο με την ανακάλυψη και την ευρεία εφαρμογή των *radars*. Οι πρώτες συστηματικές έρευνες άρχισαν το 1956, κυρίως όμως με την ιδέα πως η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει θερμικές επιδράσεις, ενώ το μεγαλύτερο ενδιαφέρον επικεντρώθηκε σε εκθέσεις σε ακτινοβολίες σχετικά μεγάλης ισχύος ($>100 \text{ mW/cm}^2$). Εν συνεχεία όμως η όλο και αυξανόμενη καθημερινή ανθρώπινη επαφή με ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες τα επόμενα χρόνια, οδήγησε στην ανάγκη μελέτης των βιολογικών επιδράσεων και μικρότερης ισχύος. Πάντοτε όμως παρέμεναν σημαντικές δυσκολίες οι οποίες προέρχονται από το γεγονός πως η ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, λόγω της

φύσης της, ανιχνεύεται και προσδιορίζεται μόνο από τα αποτελέσματά της. Επίσης ο ακριβής προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του μέσου διάδοσης είναι πολλές φορές δύσκολο εγχείρημα. Κατά συνέπεια σε συνθήκες πραγματικής έκθεσης ο ποσοτικός χαρακτηρισμός και η μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και γνώση του αντικειμένου, διότι δύναται να προκρίπουν πρακτικές δυσκολίες (Ψαρράκος Κ και συν., 2010).

2.4 ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Έρευνες έχουν δείξει ότι ο συντονισμός της λειτουργίας του τεράστιου αριθμού κυττάρων ενός οργανισμού, επιτυγχάνεται με την παραγωγή, από τα ίδια τα κύτταρα, ενός συστήματος ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που στηρίζουν το σύστημα ενδοεπικοινωνίας τους (Valone T, 2000). Οι ζώντες ιστοί εκπέμπουν σύμφωνη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια της ίδιας φάσης), όπως εκείνη των *laser*. Τα κύτταρα, πριν το θάνατό τους, εκπέμπουν ένα σήμα με την μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού ενημερώνοντας το νευρικό σύστημα ή τα γειτονικά κύτταρα, ώστε να αποβληθούν και να αντικατασταθούν.

Σύμφωνα με παλαιότερη αντίληψη, η λειτουργία του νευρικού συστήματος στηρίζεται σε ηλεκτρονικούς παλμούς που μεταδίδονται μεταξύ των νευρικών κυττάρων, στηρίζοντας ένα σύστημα σαν εκείνο του ηλεκτρονικού υπολογιστή (Czerski P et al., 1974). Οι παλμοί των νευρικών κυττάρων είναι της τάξης των 1,5 MV/m. Η διαφορά δυναμικού V ανάμεσα στο εξωτερικό ηλεκτροθετικότερο τμήμα της κυτταρικής μεμβράνης και στο εσωτερικό ηλεκτραρνητικότερο τμήμα, ενώ είναι μικρή (100 mV), αντιστοιχεί σε μεγάλη ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (50 MV/m) επειδή το πάχος l της κυτταρικής μεμβράνης είναι μόνο 5 nm (σύμφωνα με τη σχέση $E=V/l$). Συμπερασματικά, τα εσωτερικά πεδία του

οργανισμού είναι τόσο ισχυρά, που θα έπρεπε να αποτελούν επαρκή ασπίδα των κυττάρων απέναντι στα εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Οι πιο σύγχρονες αντιλήψεις θεωρούν ότι ο εγκέφαλος λειτουργεί όχι όπως ένας ψηφιακός (δυαδικός) ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά σαν ένας εξαιρετικά σύνθετος, μη γραμμικός ταλαντωτής, που παράγει τα δικά του ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (όπως εκείνα ανιχνεύονται στα εγκεφαλογραφήματα) και τα χρησιμοποιεί για να ολοκληρώσει τις λειτουργίες του και να επεξεργαστεί σήματα από τους αισθητήρες του (αισθήσεις). Έτσι, σήματα εισόδου από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε χωροχρονικές κυματομορφές συχνοτήτων χαρακτηριστικών του εγκεφάλου και στη συνέχεια αποθηκεύονται στα εγκεφαλικά κύτταρα (*Furse C et al., 2009*). Όταν νέα σήματα εισέρχονται, διεγείρουν τα εγκεφαλικά κύτταρα και μέσα από φαινόμενα συντονισμού με τις ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου, αναδεικνύουν τις αποθηκευμένες κυματομορφές και συντελούν στην απόκτηση συνειδητής εμπειρίας.

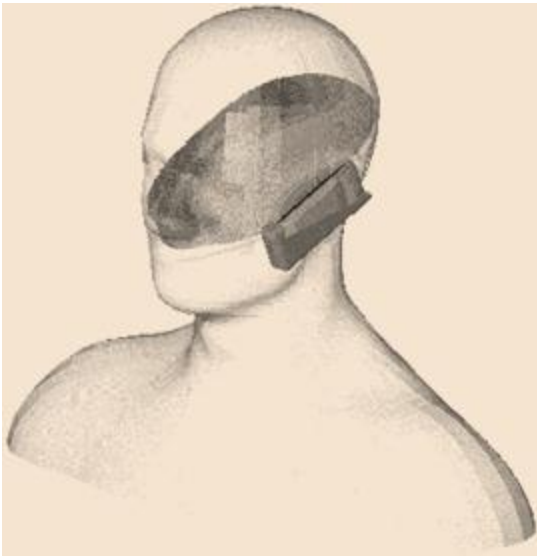
Έχει αποδειχθεί ότι το σύνολο των κυτταρικών μεμβρανών του εγκεφάλου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μεγάλη μεμβράνη-σύστημα ηλεκτρονικών δίπολων, που επηρεάζεται από την απουσία ή παρουσία ιόντων ασβεστίου (*Ueno S, 1996*). Η ισχυρή αυτή αλληλεπίδραση δίπολων και ιόντων αποτελεί το έναυσμα μη γραμμικών ταλαντώσεων με συντονισμούς στην περιοχή των συχνοτήτων 0-300Hz, οπότε η μεγαλομεμβράνη λειτουργεί σαν ένας ενισχυτής ικανός να ενισχύσει οποιοδήποτε εξωτερικό πεδίο, που η συχνότητά του εμπίπτει στην περιοχή των ιδιοταλαντώσεών της.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μεγαλομόρια του κυτταροπλάσματος συγκρατούνται στις θέσεις τους με τη βοήθεια ενός πλέγματος πολυμερών αλυσίδων-νηματίων, που η στερεότητά του εξασφαλίζεται από μόρια ασβεστίου. Το ασβεστούχο αυτό πλέγμα απουσιάζει από τα καρκινικά κύτταρα.

Με την ακτινοβολία, το πλέγμα αυτό καταρρέει και το πλεονάζον ασβέστιο αποβάλλεται από τα κύτταρα, προδιαθέτοντάς τα στην νεοπλασία.

2.5 ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο θεωρητικός υπολογισμός της απορροφούμενης ενέργειας είναι συχνά αναποτελεσματικός για λόγους όπως η υπέρθεση πεδίων από πολλές και



διαφορετικές τιμές, ο διαφορετικός τρόπος διάδοσής τους στο χώρο και η διαφορετική συμπεριφορά του μέσου στο οποίο διαδίδονται (Εικ. 2.4). Τα βιολογικά αποτελέσματα από την έκθεση σε μη ιοντίζουσα ακτινοβολία εξαρτώνται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που εφαρμόζονται στο εσωτερικό των ζώντων οργανισμών με συνέπεια να έχει μεγαλύτερη σημασία για τη μελέτη ο προσδιορισμός της ενέργειας η οποία απορροφάται από τους ζωντανούς

Εικόνα 2.4 Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη χρήση κινητού τηλεφώνου.

οργανισμούς. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως όταν η ίδια ενέργεια ακτινοβολίας εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό και σε έναν οργανισμό ζώου, υπάρχει διαφορά στην απορρόφησή της ανάμεσα τους (Ψαρράκος Κ και συν., 2010). Κατά την έκθεση ενός σώματος σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η ενέργεια που απορροφάται, η ενέργεια που ανακλάται και η ενέργεια που διέρχεται εξαρτάται από τη συχνότητά της, το μέγεθος του ακτινοβολούμενου σώματος, η σύστασή του, το σχήμα του, ο προσανατολισμός του σε σχέση με τη διάδοση ακτινοβολίας, η απόστασή του από τη πηγή κ.α.

2.5.1 Ρυθμός απορρόφησης

Η πολυπλοκότητα των μηχανισμών διάδοσης και απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας οδήγησε στη δημιουργία του ενός ειδικού δείκτη απορρόφησης και συγκεκριμένα του **ειδικού ρυθμού απορρόφησης SAR** (*Specific Absorption Rate*) όπου μετράται σε Watts/Kg και τα υποπολλαπλάσιά του, και ορίζεται από τη σχέση: $SAR = \frac{\sigma}{\rho} E_T^2$ mWatts/Kg, όπου σ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του σώματος σε συγκεκριμένη συχνότητα, ρ η πυκνότητα του ιστού του σώματος που απορροφά σε kg/m³, και E_T είναι η μέση τετραγωνική ένταση (rms) του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στον ιστό σε Volts/m (*Krawczyk A & Kubacki R, 2008*).

Οι τιμές του SAR παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις μέσα στο σώμα όταν εκτεθεί σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η συνολική επίδρασή της όμως σε ολόκληρο το βιολογικό σύστημα υπολογίζεται καλύτερα με τη **συνολικά απορροφούμενη ακτινοβολία AR** (*Absorbed Radiation*) αν ολοκληρώσουμε το SAR για τη συνολική μάζα M του σώματος: $AR = \int_M SAR \, dm$ (Watt). Επίσης χρησιμοποιείται και η μέση τιμή του SAR, όταν πρόκειται για υπολογισμό ολόκληρου του ακτινοβολούμενου σώματος από την ολική απορροφούμενη ενέργεια AR, δηλ: $\overline{SAR} \equiv SAR_{AV} \equiv \frac{AR}{M}$ (Watts/Kg).

2.5.2 Θεωρητικός υπολογισμός απορροφούμενης ακτινοβολίας

Οι παράγοντες γενικότερα που καθορίζουν την απορροφούμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ενός βιολογικού οργανισμού είναι η διηλεκτρική του σταθερά, η αγωγιμότητά του, η γεωμετρία του και τα χαρακτηριστικά της πηγής της ακτινοβολίας. Η γνώση της κατανομής της ενέργειας στο εσωτερικό του οργανισμού, συνδέεται με συγκεκριμένες αντιδράσεις και συνισφάει στον προσδιορισμό μηχανισμών αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Τα περισσότερα πρότυπα θεωρητικού υπολογισμού συμφωνούν πως η απορροφούμενη ισχύς

εξαρτάται από το μέγεθος του οργανισμού, την ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειάς του, τον λόγο του μεγέθους του προς το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και το εύρος της δέσμης της. Για τον θεωρητικό υπολογισμό της μέσης τιμής του SAR υπάρχουν διάφορα πρότυπα, όπως αριθμητικές τεχνικές που χωρίζουν το ανθρώπινο σώμα σε ομογενείς κυψελίδες, εξισώσεις που αναφέρονται σε κυλινδρικές ζώνες του ανθρώπου, πρότυπα γεωμετρικής οπτικής που περιγράφουν την ακτινοβολία με διαδιδόμενες ακτίνες κ.α (Ψαρράκος K και συν., 2010).

Το SAR εξαρτάται από τη συχνότητα των κυμάτων, τα χαρακτηριστικά πόλωσης της ακτινοβολίας, από τον ρυθμό εισόδου (συνεχής ή παλμικός) και από τον προσανατολισμό του ανθρώπου ως προς την ακτινοβολία. Θεωρώντας πως στο εγκάρσιο επίπεδο ο οργανισμός αποτελείται από δύο άξονες (μικρότερο και μεγαλύτερο) κάθετους μεταξύ τους, ο **προσανατολισμός** χωρίζεται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- ένταση ηλεκτρικού πεδίου E παράλληλη προς τον μεγάλο άξονα και ένταση μαγνητικού πεδίου H κάθετη προς τον μεγάλο άξονα ($SAR =$ μέγιστες τιμές),
- ένταση ηλεκτρικού πεδίου E κάθετη προς τον μεγάλο άξονα και ένταση μαγνητικού πεδίου H παράλληλη προς τον μεγάλο άξονα ($SAR =$ ελάχιστες τιμές) και
- ένταση ηλεκτρικού πεδίου E παράλληλη προς τον μικρό άξονα και ένταση μαγνητικού πεδίου H κάθετη προς τον μεγάλο άξονα ($SAR =$ ενδιάμεσες τιμές).

2.5.3 Πειραματικός υπολογισμός απορροφούμενης ακτινοβολίας

Όταν παρουσιάζονται υψηλά επίπεδα έκθεσης ακτινοβολίας του ανθρώπινου οργανισμού με συνοδά εμφανή θερμικά αποτελέσματα, οι πειραματικές μετρήσεις γίνονται με εμφυτευμένους μεταλλάκτες θερμοκρασίας. Τότε ο SAR

υπολογίζεται από τη σχέση: $SAR = 1468 \frac{c\Delta T}{t}$ σε W/Kg, όπου c η ειδική θερμότητα σε Kcal/Kgr, ΔT η αύξηση της θερμοκρασίας σε C° και t ο χρόνος σε sec. Με ορισμένες παραδοχές, η σχέση εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις έκθεσης σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Μελέτες σε ανθρώπινα ομογενή ομοιώματα έδειξαν πως ο μέσος SAR αυξάνεται όσο αυξάνεται και η συχνότητα, μέχρι ένα σημείο, όπου παίρνει και τη μέγιστη τιμή του. Σε αυτό το σημείο η συχνότητα ονομάζεται **συχνότητα συντονισμού** και διαφέρει από σώμα σε σώμα. Εν συνεχεία ο ρυθμός απορρόφησης μειώνεται σταδιακά, χωρίς όμως να μηδενίζεται.

Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφάται από τον άνθρωπο με τους εξής μηχανισμούς: αύξηση της κινητικής ενέργειας των ιόντων και των ηλεκτρονίων, πόλωση μορίων και δημιουργία ηλεκτρικών δίπολων και προσανατολισμών των ήδη υπάρχοντων δίπολων προς την ίδια κατεύθυνση. Έτσι, λόγω τριβών και συγκρούσεων, αυξάνεται η θερμοκρασία. Δύο παράμετροι περιγράφουν την απόδοση αυτής της ενέργειας, η σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ_r ή αλλιώς ηλεκτρική διαπερατότητα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα σ . Έρευνες σε μυϊκό και λιπώδη ιστό έδειξαν πως και η διηλεκτρική σταθερά και η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζουν τάση μείωσης καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Όσον αφορά τα πειράματα, χρησιμοποιούνται ομοιώματα ανθρώπων κατασκευασμένα από υλικά με παρόμοια διαπερατότητα και αγωγιμότητα. Επίσης χρησιμοποιούνται θερμογραφικές κάμερες που καταγράφουν την επιφανειακή κατανομή θερμότητας.

Ανάμεσα στον θεωρητικό και στον πειραματικό υπολογισμό της απορρόφησης ενέργειας παρουσιάζονται διαφορές και αυτό κυρίως οφείλεται στη απόκλιση κατανομής του SAR στο χώρο και στη διαφορετική και επιλεκτική πραγματική απορρόφηση ακτινοβολίας ανά ανθρώπινο ιστό. Η μέγιστη απορρόφηση

παρατηρείται πειραματικά στις συχνότητες των 30 MHz – 300 MHz (*Ψαρράκος Κ και συν.*, 2010).

2.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η αρχική επίπτωση στην υγεία από τις ακτινοβολίες *RF* και *MW* είναι οι θερμικές. **Θερμικές** ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό προκαλούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολουμένων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβόλησης. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1 mW/cm^2 . Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που αποτελούν κυρίως το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες. Οι κανονισμοί της έκθεσης των Δυτικών χωρών βασίζονται στην αποφυγή των θερμικών προβλημάτων. Εντούτοις, η έρευνα συνεχίζεται σε πιθανά "μη-θερμικά" αποτελέσματα.

Η απορρόφηση της ενέργειας των *RF* και *MW* μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα. Η μικροκυματική ακτινοβολία απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία *RF* μπορεί να απορροφηθεί από τα όργανα βαθιά στο σώμα. Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό και το μόριο του νερού αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο (πολική ομοιοπολική ένωση). Έτσι, όταν το ανθρώπινο σώμα βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, που είναι δίπολα, αρχίζουν να περιστρέφονται ή να πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου είναι μεγαλύτερη, τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν.

Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36°C και 37°C. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36-37°C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37°C (*Habash R, 2007*).

Οι **μη θερμικές** επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (λίγα $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), ώστε να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Η δράση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει τη διέγερση κυττάρων του μυϊκού και νευρικού ιστού, που ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτά προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα.

Οι επιδράσεις που χαρακτηρίζονται ως μη θερμικές συμβαίνουν συνήθως για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz. Μη θερμικές επιδράσεις μπορεί να έχουμε και σε υψηλότερες συχνότητες, εφόσον οι τιμές *SAR* είναι μικρότερες από τα όρια. Για να φτάσει στο κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων, απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν παρατηρηθεί όμως, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στη θερμοκρασία και για τις τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο (*Barnes FS & Greenebaum B, 2006*).

Σύμφωνα με τις παρούσες επιστημονικές γνώσεις δεν είναι εντελώς σαφής ο τρόπος με τον οποίο οι μη θερμικές επιδράσεις αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρ' όλα αυτά, έχει προταθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο με βάση τα

αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή μπορεί να θεσπιστούν όρια ασφαλείας για τις μη θερμικές επιδράσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

3.1 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

Στις 26/01/1987 δημοσιεύθηκε το Προεδρικό Διάταγμα (ΠΔ) 29/87 το οποίο καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις χορήγησης άδειας λειτουργίας εργαστηρίου φυσικοθεραπείας στην Ελλάδα, οι οποίες ισχύουν έως και σήμερα. Στο άρθρο 2 του ΠΔ 29/87 ορίζονται οι απαιτήσεις περί χώρων και εξοπλισμού των εργαστηρίων. Οι απαιτήσεις του εξοπλισμού περιλαμβάνουν:

- α. Τράπεζες θεραπείας (2),
- β. Πολύζυγο (1),
- γ. Τροχός ώμου (1),
- δ. Ποδήλατο στατικό (1),
- ε. Ηλεκτροκίνητη έλξη, αυχενική και οσφυϊκή μοίρα, σπονδυλικής στήλης (1),
- στ. Συσκευή ηλεκτροθεραπείας γαλβανικών, φαραδικών και διαδυναμικών ρευμάτων (1),
- η. Συσκευή διαθερμίας (1),
- θ. Συσκευή υπερήχων (1),
- ι. Δινόλουτρο (1),
- ια. Παραφινόλουτρο (1),
- ιβ. Συσκευή ηλεκτρομαλάξεων (1),
- ιγ. Μηχάνημα πρηνισμού, υπτιασμού άκρας χειρός και περιστροφής καρπού (1)
- ιδ. Θερμά, ψυχρά επιθέματα.

Εκτός των συσκευών που απαιτούνται για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας εργαστηρίου φυσικοθεραπείας, υπάρχουν και άλλες όπου χρησιμοποιούνται

ευρέως στην αποκατάσταση, με θετικά θεραπευτικά αποτελέσματα. Συσκευές που περιλαμβάνονται στο συνολικό εξοπλισμό των εργαστηρίων φυσικοθεραπείας, εκπέμπουν κατά τη χρήση τους στον ανθρώπινο οργανισμό, ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εν συνεχεία γίνεται σύντομη περιγραφή αυτών των συσκευών, καθώς και των τρόπων εφαρμογής τους.

3.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΑΘΕΡΜΙΑΣ

Οι συσκευές διαθερμίας ανήκουν στη κατηγορία του εξοπλισμού που προκαλούν εν τω βάθει θέρμανση των ιστών. Υποδιαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες: στις διαθερμίες βραχέων κυμάτων και στις διαθερμίες μικροκυμάτων.



3.2.1 Διαθερμίες βραχέων κυμάτων

Οι διαθερμίες βραχέων κυμάτων (ΔΒΚ) (Εικ. 3.1) είναι συσκευές θεραπευτικής εφαρμογής υψηλής συχνότητας ηλεκτρικών ρευμάτων. Χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας για τη παραγωγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υψηλής

Εικόνα 3.1 Συσκευή διαθερμίας βραχέων κυμάτων.

συχνότητας που μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στους ιστούς. Το μήκος κύματος των συσκευών εξαρτάται από τη συχνότητα βάσει του τύπου: $c = \lambda \cdot f$, όπου λ το μήκος κύματος, f η συχνότητα και c η ταχύτητα του φωτός. Οι συχνότητες f που επιτρέπονται για τη παραγωγή εν τω βάθει θερμότητας είναι: 13,56 MHz με $\lambda = 22$ m, 27,12 MHz με $\lambda = 11.06$ m και 40,68 MHz με $\lambda = 7.5$ m. Οι περισσότερες συσκευές ΔΒΚ λειτουργούν σε συχνότητα **27,12 MHz**. Η ισχύς των μηχανημάτων ποικίλλει από 40W έως 1025W. Οι μέθοδοι εφαρμογής των

συσκευών ΔΒΚ είναι: η μέθοδος πεδίου πυκνωτή (ή χωρητικής σύζευξης) και η μέθοδος επαγωγικού πηνίου (ή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ή επαγωγικής σύζευξης).

Μέθοδος πεδίου πυκνωτή

Οι συσκευές ΔΒΚ που χρησιμοποιούν τη μέθοδο πεδίου πυκνωτή λειτουργούν με τύμπανα ή με πλακέ ηλεκτρόδια. Κάθε τύμπανο αποτελείται από ένα κυκλικό μεταλλικό ηλεκτρόδιο που περιβάλλεται από κυκλική γυάλινη ή πλαστική θήκη. Το πλακέ ηλεκτρόδιο αποτελείται από ένα αποπεπλατισμένο επίπεδο ηλεκτρόδιο που περιβάλλεται από πλαστική θήκη.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τους ιστούς του οργανισμού σαν διηλεκτρικό μέσο μεταξύ των τυμπάνων ή των πλακέ ηλεκτροδίων και η θερμότητα παράγεται από τη ταλάντωση των μορίων των ιστών του ασθενή. Για να αποφευχθεί η υπερθερμότητα παρεμβάλλει σχετική απόσταση από το δέρμα. Η κατανομή της θερμότητας εξαρτάται από το πάχος του υποδόριου λίπους και συγκεκριμένα όταν το πάχος είναι μεγαλύτερο του 1,2 cm τότε ο υποδόριος ιστός θα θερμανθεί ικανοποιητικά, ενώ οι βαθύτεροι ιστοί όχι. Όταν το πάχος του λίπους είναι μικρότερο του 0,5 cm τότε σημαντικός παράγοντας στη κατανομή θερμότητας είναι η τεχνική της εφαρμογής. Οι τεχνικές εφαρμογών πεδίου πυκνωτή στις συσκευές ΔΒΚ είναι οι εξής:

α. Τεχνική **παράλληλης τοποθέτησης** με ίδιου μεγέθους τύμπανα ή ηλεκτρόδια. Δημιουργείται ομοιόμορφη αύξηση της θερμοκρασίας στη περιοχή εφαρμογής.

β. Τεχνική **εν σειρά τοποθέτησης** με ίδιου μεγέθους τύμπανα ή ηλεκτρόδια. Οι ιστοί που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντίσταση (π.χ. ινώδης ιστός, λίπος) παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση θερμότητας λόγω της αυξημένης πυκνότητας πεδιακών γραμμών.

γ. Τεχνική με **παράλληλα προς τους ιστούς, όχι όμως παράλληλα μεταξύ τους** τα ίδια μεγέθους ηλεκτρόδια ή τύμπανα.

δ. Τεχνική με **ηλεκτρόδια διαφορετικού μεγέθους**. Κατά αυτή τη τεχνική η τοποθέτηση του μικρότερου ηλεκτροδίου ή τυμπάνου τοποθετείται στη πάσχουσα πλευρά, διότι εκεί γίνεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση των πεδίων.

Μέθοδος επαγωγικού πηνίου

Με τη μέθοδο επαγωγικού πηνίου για να θερμανθούν περισσότερο οι εν τω βάθει ιστοί και λιγότερο το υποδόριο λίπος λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου, η διασταυρούμενη επιφάνεια των γραμμών του πεδίου και η κατεύθυνση του πεδίου σε σχέση με τους ιστούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των διασταυρούμενων γραμμών του πεδίου και όσο πιο κάθετο είναι το πεδίο στους ιστούς, τόσο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη και βαθύτερη αύξηση θερμοκρασίας. Επίσης όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του πεδίου και όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα των γραμμών του, τόσο ταχύτερη είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στους ιστούς (*Cameron MH, 2006*).

Οι συσκευές ΔΒΚ που χρησιμοποιούν τη μέθοδο επαγωγικού πηνίου λειτουργούν με επαγωγικό ελικοειδή εφαρμοστή ο οποίος έχει τις εξής μορφές:

α. **Πτυσσόμενο τύμπανο** (για μύες των κάτω άκρων, ωμική ζώνη, αυχενική και οσφυϊκή μοίρα σπονδυλικής στήλης),

β. **Monode** (για σχετικά μικρή έκταση),

γ. **Τηγανίτας ή Pancake** (για σχετικά μεγάλες επιφάνειες) και

δ. **Καλώδιο** (για αρθρώσεις άκρων).

3.2.2 Διαθερμίες Μικροκυμάτων



Εικόνα 3.2 Συσσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων.

Η διαθερμία μικροκυμάτων (ΔΜΚ) (Εικ. 3.2) είναι συσκευή εκπομπής και θεραπευτικής εφαρμογής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής συχνότητας με τη δυνατότητα χρήσης με συνεχή και παλμική ροή ενέργειας. Οι συχνότητες που λειτουργεί είναι: 2456 MHz, 915 MHz, 750 MHz και 433,92 MHz. Για θεραπευτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται οι συχνότητες **915 MHz** με μήκος κύματος 33 cm και **2.456 MHz** με μήκος κύματος 12,2 cm.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια όπως διαδίδεται μέσα στους ιστούς, απορροφάται από αυτούς και μετατρέπεται σε θερμότητα. Το βάθος διείσδυσης της διαθερμίας μικροκυμάτων είναι 8 cm. Οι ιστοί υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, όπως ο μυϊκός ιστός, απορροφούν μεγάλο ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και θερμαίνονται ανάλογα. Επειδή όμως το δέρμα και ο λιπώδης ιστός μεγάλου πάχους παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση, δεν επιτρέπουν την εύκολη διείσδυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα σ' αυτούς, οπότε μικρό ποσοστό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εισέρχεται στον μυϊκό ιστό. Για τον λόγο αυτό, όταν εφαρμόζεται ΔΜΚ σε περιοχές με παχύ στρώμα λίπους, θερμαίνεται σε πολύ υψηλό βαθμό το δέρμα και ο υποδόριος ιστός και σε μικρότερο βαθμό οι εν τω βάθει ιστοί.

Χαρακτηριστικά Συχνοτήτων

Οι συχνότητες 915 MHz και 2456 MHz φέρουν διαφορετικά χαρακτηριστικά κατά την εφαρμογή τους στους ζώντες ιστούς. Η συχνότητα 915 MHz παρουσιάζει μικρή ανάκλαση της ακτινοβολίας ενώ το ποσοστό της

απορροφώμενης ενέργειας φτάνει τα 30% - 40%, ανεξάρτητα από το πάχος του δέρματος και του υποδόριου λίπους. Επίσης υπάρχει μικρός κίνδυνος ανάπτυξης «θερμών κηλίδων» λόγω μειωμένης ανάκλασης στην επιφάνεια του ιστού. Η θέρμανση στη συχνότητα αυτή είναι κυρίως στους εν τω βάθει ιστούς.

Αντίθετα η συχνότητα των 2.456 MHz παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση ακτινοβολίας ενώ το ποσοστό της απορροφώμενης ενέργειας κυμαίνεται από 20% έως 100%, ανάλογα το πάχος του δέρματος και του υποδόριου λίπους. Επίσης υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος ανάπτυξης «θερμών κηλίδων» και θερμαίνει ως επί των πλείστων τους επιπολής ιστούς.

Οδηγοί και τεχνικές εφαρμογής

Η εφαρμογή της θερμοθεραπείας από τις συσκευές ΔΜΚ γίνεται με τρεις διαφορετικούς τύπους οδηγών ή ανακλαστήρων ή αλλιώς κατευθυντήρων. Οι τύποι είναι οι **ημισφαιρικοί** (η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη στη περιφέρεια), οι **γωνιώδεις** (η ένταση του πεδίου είναι πιο έντονη στο κέντρο) και τα **πτυσσόμενα τύμπανα**.

Η εφαρμογή των οδηγών γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η **άμεση επαφή** του οδηγού με το δέρμα, κατά την οποία εξασφαλίζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση ακτινοβολούμενης ενέργειας στην περιοχή που θεραπεύεται, ενώ θερμαίνονται καλύτερα οι εν τω βάθει ιστοί του σώματος. Στην τεχνική αυτή η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι συνήθως αυτή των 915 MHz για θέρμανση των ενδαρθρικών κατασκευών. Ο δεύτερος τρόπος είναι η **εφαρμογή του οδηγού από απόσταση** και συγκεκριμένα από 2-3 cm έως και 15 cm. Στη τεχνική αυτή η συχνότητα που χρησιμοποιείται συνήθως είναι 2.456 MHz και οι επιπολής ιστοί θερμαίνονται περισσότερο από τους εν τω βάθει (*Prentice WE, 2001*).

3.3 ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ



Εικόνα 3.3 Συσκευή μαγνητοθεραπείας.

Τα μαγνητικά πεδία αναλόγως την προέλευσή τους διαχωρίζονται σε στατικά (μαγνήτες διαρκείας) και μεταβαλλόμενα. **Στατικό πεδίο** δημιουργούν οι φυσικοί μαγνήτες ή τα πηνία, μέσα στα οποία περνά συνεχές ρεύμα σταθερής εντάσεως και φοράς.

Μεταβαλλόμενο πεδίο δημιουργείται όταν μέσα από ένα πηνίο περνά εναλλασσόμενο ή παλμικό ρεύμα και οι μεταβολές του πεδίου εξαρτώνται από τη μεταβαλλόμενη ένταση ή συχνότητα του ρεύματος, που διαπερνά το πηνίο.

Ανάλογα με τη συχνότητα του ρεύματος υπάρχουν μεταβαλλόμενα πεδία: **υπερχαμηλής συχνότητας** ($< 3\text{MHz}$) όπου το μαγνητικό πεδίο είναι το κυρίαρχο, τα **εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας** ($3\text{Hz} - 3\text{MHz}$) όπου υπερισχύει το μαγνητικό πεδίο έναντι του ηλεκτρικού και τα **υψηλής συχνότητας** ($> 27\text{MHz}$) όπου είναι της ηλεκτρομαγνητοθεραπείας.

Για την κατανόηση του μηχανισμού δράσης των μαγνητικών πεδίων ως θεραπεία (Εικ. 3.3), απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατανόηση των υλικών στοιχείων του ανθρώπινου οργανισμού, στα οποία ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις και κατά συνέπεια επηρεάζεται η λειτουργία τους. Τα υλικά αυτά στοιχεία ανάλογα τη συμπεριφορά τους στην επιρροή των μαγνητικών πεδίων, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: στα διαμαγνητικά, στα παραμαγνητικά και στα σιδηρομαγνητικά.

3.3.1 Μαγνητικά υλικά στοιχεία

Διαμαγνητικά χαρακτηρίζονται όλα τα στοιχεία, τα οποία απωθούνται ή ελάχιστα μόνο επηρεάζονται από ένα μαγνητικό πεδίο. Σε αυτά ανήκουν όλες οι υγιείς κυτταρικές μεμβράνες. Οι κυριότερες επιδράσεις των μαγνητικών πεδίων ασκούνται πάνω στα παραμαγνητικά, στα οποία κατατάσσονται τα στοιχεία του ανθρώπινου σώματος, που μπορούν να γίνουν μαγνητικά δίπολα και να αποκτήσουν όλες τις μαγνητικές ιδιότητες που έχει το μαγνητικό πεδίο στο οποίο βρίσκονται.

Τα **παραμαγνητικά** τυποποιούνται σε τρεις κατηγορίες. Πρώτη είναι τα μέταλλα και τα σύνθετά τους. Εκ των μετάλλων, ο σίδηρος (*Fe*), ο ψευδάργυρος (*Zn*), το μαγνήσιο (*Mn*) και ο χαλκός (*Cu*) έχουν ουσιώδη σημασία για τις βασικές βιολογικές λειτουργίες. Η ύπαρξή τους φαίνεται στις κυριότερες συνθέσεις ουσιών, ακόμη και σε μορφή ιχνοστοιχείων όπως στα ένζυμα, στις ορμόνες και στις βιταμίνες. Δεύτερη κατηγορία είναι οι ελεύθερες ρίζες με σημαντική παρουσία στην εξισσορόπηση των διαταραχών ζωτικής λειτουργίας του οργανισμού όπως στη περίπτωση φλεγμονών, εκφύλισης και καρκινογενέσεων. Τρίτη κατηγορία είναι τα πυρηνικά παραμαγνητικά, όπου βρίσκονται στους πυρήνες των ατόμων του υδρογόνου (*H*), του φωσφόρου (*P*), του άνθρακα (*C*) και του φθορίου (*F*). Έχουν διπολική μαγνητική ροπή, που τους δίνει τις παραμαγνητικές τους ιδιότητες.

Τα **σιδηρομαγνητικά** στοιχεία βρίσκονται κυρίως στα οστά, όπως στη βάση του κρανίου, στην επίφυση και σε ορισμένου αδένες όπως είναι η υπόφυση. Η επίδραση των μαγνητικών πεδίων είναι έκδηλη, ιδιαίτερα στα παραμαγνητικά, αλλά και στα διαμαγνητικά εκείνα στοιχεία που μπορούν να γίνουν παραμαγνητικά. Στόχος της θεραπείας είναι η επαναφορά των στοιχείων στις φυσιολογικές τους καταστάσεις. Σε δυσλειτουργίες συμβαίνει να υπάρχουν μεγάλες ποσότητες παραμαγνητικών στοιχείων στον οργανισμό. Η εφαρμογή

της μαγνητοθεραπείας στις δυσλειτουργίες αυτές συμβάλλει στην εξισορρόπηση των παραμαγνητικών στοιχείων και συνεπώς στην αποκατάσταση πολλών παθήσεων.

3.3.2 Τεχνικές μαγνητοθεραπείας

Τα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται σε οξεία, υποξεία και χρόνια περιστατικά, ενώ έχουν ισχυρή αντιφλεγμονώδη και αναλγητική δράση. Πρώτη τεχνική εφαρμογής είναι η **ολικής σωματικής ροής** (*total body*) και η τεχνική **αντίστροφης σωματικής ροής** (*reverse total body*). Απαιτείται ειδική συσκευή μαγνητοθεραπείας και ειδικό κρεβάτι με μεγάλα κυλινδρικά πηνία, για τη θεραπεία του κορμού και των άκρων. Χρησιμοποιείται στατικό ή μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Δεύτερη είναι η τεχνική των **εφαρμοστών με πηνία**. Τα πηνία είναι διαφόρων διαστάσεων και πολικότητας, αναλόγως την ένδειξη και την περιοχή θεραπείας που θα εφαρμοστούν. Χρησιμοποιείται και πάλι στατικό ή μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Συνίσταται η θεραπεία να αρχίζει με τον μικρότερο χρόνο και τη μικρότερη ένταση με καθημερινή σταδιακή αύξηση των τιμών, μέχρι τις μέγιστες επιτρεπτές. Οι συσκευές λειτουργούν με δύο εφαρμοστές, που ο καθένας δημιουργεί μονοπολικά ή διπολικά μαγνητικά πεδία με πολικότητα ρυθμιζόμενη κατά την επιλογή του χειριστή. Στην τεχνική αυτή ισχύει ο κανόνας ότι στις οξείες και επώδυνες καταστάσεις η συχνότητα και η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να είναι χαμηλές και ο χρησιμοποιούμενος πόλος να είναι ο βόρειος. Στην υποξία φάση συνίσταται η χρήση του νότιου πόλου και η σταδιακή αύξηση έντασης και συχνότητας (Γιόκαρης Π, 1998).

3.4 ΣΥΣΚΕΗ LASER

Ο όρος *Laser* προήλθε από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* όπου σημαίνουν ενίσχυση του φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο πρώτος που διατύπωσε τη θεωρία της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας ήταν ο *Einstein* το 1917. Οι συσκευές που παράγουν την ακτινοβολία *Laser* αποτελούνται από τα εξής στοιχεία: την ενεργειακή πηγή, το ενεργό υλικό και τον οπτικό αντανακλαστήρα.

Τα χαρακτηριστικά διαφοροποίησης του ενισχυμένου φωτός *Laser* από το φως των συμβατικών πηγών που του δίνουν τη δυνατότητα πολλαπλής εφαρμογής είναι η λαμπρότητα, η μονοχρωματικότητα, η χαμηλή διασπορά και η συνοχή στο χώρο και στο χρόνο. Επιστημονικοί τομείς που βρίσκει εφαρμογή εκτός της φυσικής αποκατάστασης είναι η πλαστική χειρουργική, η οδοντιατρική, η οφθαλμολογία, η δερματολογία, η νευροχειρουργική και η γενικότερη ενδοσκόπηση.

3.4.1 Είδη και παράμετροι των *Laser*

Τα *Laser* ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως κριτηρίων. Ως κριτήριο το είδος του ενεργού υλικού και την κατάσταση της ύλης ταξινομούνται σε *Laser στερεά, υγρά και αέρια*. Τα στερεά που χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς περιλαμβάνουν το ρουβίδιο (*Rb*), το νεοδήμιο (*Nd*), το γάλιο (*Ga*), το αρσενικό (*As*) και το αλουμίνιο (*Al*). Τα αέρια *Laser* που χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς είναι το ήλιο (*He*), το νέο (*Ne*), το αργό (*Ar*) και το διοξείδιο του άνθρακα (*CO₂*).

Ως κριτήριο τη μέγιστη και μέση ισχύ εξόδου της ακτινοβολίας, ταξινομούνται σε *Soft Laser, Mid Laser* και *Power Laser*. Ως κριτήριο την επίδραση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στους ιστούς, ταξινομούνται σε **πηκτικά**, σε **χημικά ή ζεστα** και σε **θεραπευτικά *Laser***. Τα πηκτικά *Laser* απορροφώνται

από την αιμοσφαιρίνη και προκαλείται αιματική στάση και πήξη. Τα χημικά *Laser* απορροφώνται από το υγρό των ιστών και προκαλείται έντονη αύξηση της θερμοκρασίας. Στα θεραπευτικά *Laser* παρατηρείται μικρή απορρόφηση από την αιμοσφαιρίνη και το υγρό των ιστών και προκαλείται διείσδυση σε βάθος με διάφορες αντιδράσεις.

Οι παράμετροι των *Laser* συνοπτικά είναι: το μήκος κύματος, η μέγιστη ισχύς εξόδου, η συχνότητα, η διάρκεια παλμού, η μέση ισχύς εξόδου, η ενέργεια, η ενεργειακή ένταση, η γωνία απόκλισης της δέσμης, η απόσταση μεταξύ εξόδου εκπομπής και ακτινοβολούμενης περιοχής, οι διαστάσεις εξόδου εκπομπής και η γωνία πρόπτωσης της δέσμης στην περιοχή.

3.4.2 Νόμος Arnold – Schoultz

Η καλύτερη κατανόηση των φυσιολογικών και βιολογικών αντιδράσεων που προκαλεί η ακτινοβολία των *Laser* στους ιστούς προϋποθέτει τη γνώση του νόμου *Arnold – Schoultz*. Σύμφωνα με το νόμο αυτόν, **ανάλογα με την ένταση των ερεθισμάτων που δέχονται οι ιστοί, διαφοροποιούνται οι λειτουργίες τους**. Τα χαμηλής έντασης ερεθίσματα επιταχύνουν τις φυσιολογικές λειτουργίες των ιστών. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται επιτάχυνση της αναγέννησης και της διαδικασίας μίτωσης των κυττάρων, ενεργοποίηση της μιτοχονδριακής λειτουργίας, επιτάχυνση της διαδικασίας σύνθεσης των νουκλεϊκών οξέων και επιτάχυνση της πρωτεϊνοσύνθεσης. Τα μέτριας ή υψηλής έντασης ερεθίσματα επιβραδύνουν ή και αναστέλλουν τις φυσιολογικές λειτουργίες των ιστών. Τα πολύ υψηλής έντασης ερεθίσματα αναστέλλουν ανεπιστρεπτί τις φυσιολογικές ιστικές λειτουργίες δηλαδή δημιουργούνται κυτταροδιαλυτικά, κυτταροπηκτικά και κυτταρονεκρωτικά φαινόμενα με τερατογεννητικές και ογκογεννητικές παραμορφώσεις.

3.4.3 Επιδράσεις στους ιστούς

Όσον αφορά το δέρμα, τα *Laser* προκαλούν έκκριση κολλαγόνου από τους ινοβλάστες και αύξηση της εκκριτικής ελαστίνης με αποτέλεσμα την αναζωογόνηση και το γέμισμα των δερματικών ρυτίδων. Παράλληλα αυξομειώνεται το επίπεδο έκκρισης των σμηγματογόνων αδένων με τελική βελτίωση της φυσιολογικής λίπανσης του δέρματος. Στον λιπώδη ιστό τα *Laser* προκαλούν μείωση του όγκου των λιποκυττάρων, αύξηση του μεταβολισμού τους και επιτάχυνση της απομάκρυνσης των μεταβολικών παραγώγων. Στον μυϊκό ιστό προκαλούν αύξηση του μεταβολισμού λόγω υπεραιμίας και χαλάρωση των καταπονημένων μυών. Στο νευρικό ιστό προκαλείται αύξηση της πύλης ερεθισμού της περιοχής λόγω υπερπόλωσης των μεμβρανών των αισθητικών νευρικών ινών με ελάττωση ή πλήρη αναστολή του πόνου. Τέλος στο οστίτη ιστό τα *Laser* προκαλούν αύξηση της ανάπλαστικής ικανότητας του οστού λόγω της επίδρασης στους οστεοβλάστες και αυξητική τάση στα αιματικά στοιχεία.



Εικόνα 3.4 Συσκευή θεραπείας *Laser* με εφαρμογή καθετήρα.

3.4.4 Τρόποι και σημεία εφαρμογής

Οι τρόποι εφαρμογής των *Laser* είναι ο καθετήρας (*probe*) (Εικ. 3.4) και η σάρωση (*scan*). Η εφαρμογή με **καθετήρα** είναι η συνηθέστερη διότι παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι εστιάζει με ακρίβεια η ακτινοβολία στην υπο

θεραπεία περιοχή. Επίσης επειδή η ακτινοβολία της περιοχής γίνεται εξ επαφής είναι πιθανότερο η ακτινοβολία να εισέρχεται σε μεγαλύτερο βάθος από ότι με τη σάρωση. Το μειονέκτημα της εφαρμογής με καθετήρα είναι ότι ο φυσικοθεραπευτής σε όλη τη διάρκεια της θεραπείας πρέπει να ασχολείται με

τον ασθενή τοποθετώντας και μετακινώντας στα ενδεικνυόμενα στοιχεία. Κατά την τοπική εφαρμογή κάθε επώδυνο σημείο δεν πρέπει να ακτινοβολείται συνεχώς πάνω από 1,5 m.

Η εφαρμογή των *Laser* με **σάρωση** έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ακτινοβολείται μεγάλη σε έκταση περιοχή για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται, χωρίς να είναι απαραίτητη η φυσική παρουσία του θεραπεύτη. Το μειονέκτημα της σάρωσης είναι πως δεν εστιάζεται με ακρίβεια η ακτινοβολία σε περιοχές που δεν μπορεί να τοποθετηθούν κάθετα στην έξοδο εκπομπής της ακτινοβολίας. Ο συνολικός χρόνος έκθεσης της πάσχουσας περιοχής στην ακτινοβολία με σάρωση είναι μεγαλύτερος από ότι στην ακτινοβολία με καθετήρα.

Σημεία εφαρμογής των *Laser* συνήθως είναι τοπικά στα **επώδυνα σημεία**. Για τα οξέα περιστατικά επιλέγεται μικρή συχνότητα και μικρή διάρκεια παλμού, ενώ για τα χρόνια περιστατικά επιλέγεται μεγάλη συχνότητα και μεγάλη διάρκεια παλμού. Άλλα σημεία εφαρμογής είναι τα **ειδικά σημεία** όπως τα σημεία βελονισμού, τα κινητικά σημεία και τα σημεία επιφανειακών νεύρων. Σε αυτά τα σημεία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις κεφαλαλγιών, αυχενικών συνδρόμων, οσφυοισχιαλγιών, αρθραλγιών, νευραλγιών καθώς και διάχυτων πόνων. Ως προς την επιλογή παραμέτρων ισχύουν τα ίδια με τη τοπική εφαρμογή *Laser* στα επώδυνα σημεία. Χρόνος ακτινοβολίας κάθε ειδικού σημείου μπορεί να κυμαίνεται από 15 sec μέχρι 1,5 min. Σε **αντανεκλαστικά σημεία του αυτιού** γίνεται επίσης εφαρμογή των *Laser*. Αυτά τα σημεία σχετίζονται με την πάσχουσα περιοχή αλλά πρόκειται για μια δύσκολη διαδικασία διότι υπάρχουν δυσκολίες ως προς τον εντοπισμό και τις μικρές αποστάσεις που τα χωρίζουν. Η μέση ισχύς εξόδου της ακτινοβολίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 mW/cm^2 λόγω μεγάλης ευαισθησίας της περιοχής του αυτιού. Ο χρόνος εφαρμογής κυμαίνεται από 1 sec έως τα 30 sec και συνολικά

δεν ακτινοβολούνται περισσότερα από 14 σημεία ανά συνεδρία (Νάθαν ΚΕ, 1998).

3.5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι συσκευές αυτές (Εικ 3.5) ανήκουν στην κατηγορία της επιπολής θερμοθεραπείας ή αλλιώς επιφανειακής. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: μη φωτεινής γεννήτριας και φωτεινής γεννήτριας.

3.5.1 Μη φωτεινή γεννήτρια

Η ακτινοβολούμενη θερμότητα από μια μη φωτεινή υπέρυθη γεννήτρια συνήθως παράγεται από καλώδιο ανθρακοκυριτίου που βρίσκεται μέσα σε ένα



Εικόνα 3.5 Συσκευές υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας.

μεταλλικό αντανακλαστή. Όταν περάσει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από το καλώδιο, το καλώδιο λόγω της μεγάλης αντίστασής του θερμαίνεται. Οποιοδήποτε σώμα θερμανθεί εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία υπό μορφή κυμάτων. Τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που εκπέμπονται εξαρτώνται από τη

θερμοκρασία των στοιχείων του σώματος που θερμαίνεται. Στη περίπτωση της μη φωτεινής υπέρυθρης γεννήτριας το μεγαλύτερο ποσοστό των κυμάτων που εκπέμπονται είναι της τάξης των $2 \cdot 10^{-6} \text{ m} - 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Επίσης εκπέμπονται σε μικρή αναλογία μικρά υπέρυθρα και ερυθρά ορατά κύματα. Η ισχύς των γεννητριών αυτών κυμαίνεται από 50W έως 1.000W. Ο αντανακλαστής χρησιμεύει στο να εστιάζει τα κύματα στην υπό θεραπεία περιοχή. Το καλώδιο

για να θερμανθεί και να φτάσει στο μέγιστο της απόδοσής του χρειάζεται προθέρμανση 5 - 10 min.

3.5.2 Φωτεινή γεννήτρια

Η φωτεινή υπέρυθη ακτινοβολία παράγεται συνήθως από νηματοειδής λαμπτήρες βολφραμίου που βρίσκονται σε μεταλλικό αντανακλαστή. Οι λαμπτήρες αυτοί αναπτύσσουν πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Ισχύει ότι όσο περισσότερο θερμαίνεται ένα σώμα, τόσο περισσότερα υπέρυθρα κύματα εκπέμπει. Το μήκος των περισσότερων κυμάτων που εκπέμπονται από τις φωτεινές γεννήτριες υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι περίπου 10^{-6} m. Τα υπόλοιπα κύματα που εκπέμπονται είναι επιμήκη ορατά υπέρυθρα και μερικά υπεριώδη. Ο αντανακλαστής χρησιμεύει στο να εστιάζει τα κύματα στη θεραπευόμενη περιοχή. Η ισχύς των γεννητριών κυμαίνεται μεταξύ 60W και 1.500W. Η θερμότητα παράγεται αμέσως, χωρίς προθέρμανση της συσκευής (*Robertson V et al., 2006*).

3.6 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η υπεριώδης ακτινοβολία (Εικ 3.5) παράγεται από δύο τύπους γεννητριών οι οποίες είναι οι ζεστές γεννήτριες χαλαζία (*quartz*) και οι ψυχρές γεννήτριες χαλαζία. Η **ζεστή γεννήτρια** είναι μια λάμπα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης που ψύχεται στον αέρα και αποτελείται από ένα σωλήνα «*quartz*» που επιτρέπει τη μετάδοση των υπεριωδών κυμάτων. Μέσα στο σωλήνα υπάρχει μια ατμόσφαιρα «αργού» αερίου και μια ποσότητα υδραργύρου. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα περάσει μέσα από το σωλήνα, ο υδράργυρος γίνεται ατμός και εκπέμπει υπεριώδη και ορατή ιώδη ακτινοβολία με μήκη κύματος ευρέως φάσματος. Ο

σωλήνας αυτός είναι τοποθετημένος σε ένα αντανάκλαστή που χρησιμεύει στο να προσανατολίζει στις ακτίνες σε συγκεκριμένη περιοχή. Οι γεννήτριες αυτές δουλεύουν σε μεγάλες θερμοκρασίες και ψύχονται από ρεύμα αέρα. Για τοπικές θεραπείες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα κωνικός εντοπιστής που εστιάζει τις ακτίνες σε μικρές υπό θεραπεία περιοχές.

Η **κρύα γεννήτρια** λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο με τη ζεστή αλλά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας στις συσκευές φυσικοθεραπείας, κυμαίνεται από $1,8 \cdot 10^{-7}$ m έως $4 \cdot 10^{-7}$ m. Τα κύματα αυτά απορροφώνται από την επιδερμίδα, παράγοντας φωτοχημικές αντιδράσεις και συμπεριφέρονται όπως τα άλλα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τις ίδιες ιδιότητες αντανάκλασης, μετάδοσης και απορρόφησης (Γιόκαρης Π, 1988).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Αρχικά σημειώνεται πως η αρθρογραφία που πραγματεύεται το θέμα της έκθεσης των φυσικοθεραπευτών σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και οι τυχόν επιπτώσεις στην υγεία τους, είναι περιορισμένη. Μια απλή αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων έγκυρων περιοδικών, αναδεικνύει το ποσοτικό έλλειμμα ερευνών του συγκεκριμένου τομέα. Η αναζήτηση της παρούσας έρευνας ανέδειξε ως ευρήματα συνολικά 27 άρθρα που αφορούσαν μετρήσεις ακτινοβολίας σε χώρους φυσικοθεραπείας, εκ των οποίων σε συσκευές διαθερμίας μικροκυμάτων αναφέρονταν 9, σε συσκευές διαθερμίας βραχέων κυμάτων αναφέρονταν 13, σε διαθεμίες γενικώς χωρίς διαχωρισμό 7, σε συσκευές μαγνητοθεραπείας 2 και συνολικά σε χώρο αποκατάστασης 1. Όσων αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία των φυσικοθεραπευτών λόγω έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αναφέρονταν 14. Άρθρα 7 αφορούσαν μόνο γυναίκες, 1 άνδρες και 6 με ακαθόριστο φύλλο. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 2 άρθρα που αναφέρονταν σε πειραματόζωα ποντίκια και στις επιπτώσεις στην υγεία τους.

Συμπεραίνουμε πως πρόκειται για ένα αντικείμενο που δεν έχει διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό από τη παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στη πλήρωση του κενού αυτού.

4.1 ΠΕΡΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

Στους πρωτοπόρους του τομέα ανήκει η ιατρός *Johanna M. Van Went* (1954) από το ινστιτούτο φυσικής ιατρικής και ρευματολογίας του Άμστερνταμ, η οποία εξέφρασε τις ανησυχίες της γύρω από το θέμα της έκθεσης στην ακτινοβολία



Εικόνα 4.1 Λογότυπο του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Εθνικών Ορίων (ANSI).

από τους επαγγελματίες υγείας. Στο βιβλίο της «*Ultrasonic and ultra short waves in medicine*» προτείνει ως απόσταση ασφαλείας από τα βραχέα κύματα, τα 2 m. Το 1974 το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Εθνικών Ορίων (ANSI) (Εικ. 4.1) έθεσε

όρια που αφορούσαν την οκτάωρη έκθεση των επαγγελματιών. Το ανώτατο όριο έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ήταν τα 200 V/m και μαγνητικού τα 0,5 A/m και με πυκνότητα ισχύος τα 100 W/m². Παρόμοια όρια έθεσε τότε και το Αμερικανικό Κυβερνητικό Συμβούλιο Βιομηχανική Υγιεινής (ACGIH - 1976).

Περισσότερα από 30 χρόνια έχουν περάσει από τότε που έγιναν στην Αμερική οι πρώτες ερευνητικές προσπάθειες από τους *Bassen et al.* (1978) και τους *Witters & Kantor* (1978), όσων αφορά τις διαθερμίες μικροκυμάτων. Λίγο αργότερα ο *Mild* (1980) ανέφερε την ύπαρξη κινδύνου στον χώρο φυσικοθεραπείας, όσων αφορά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τόνισε πως τόσο οι φυσικοθεραπευτές λόγω της χρήσης των διαθερμιών, όσο και οι συντηρητές και τεχνικοί στους πύργων μετάδοσης τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σημάτων, εργάζονται σε συνθήκες όπου η ακτινοβολία ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια που είχε θέσει το ANSI το 1974, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Λίγους μήνες αργότερα ο *Ruggera* (1980) παρατήρησε πως κατά τις θεραπείες με διαθερμία βραχέων και μικρών κυμάτων, δεν ακτινοβολείται μόνο ο πάσχων ιστός του ασθενούς, αλλά και ο χειριστής του εξοπλισμού, είτε είναι φυσικοθεραπευτής είτε προπονητής αποκατάστασης. Κατά την έρευνά του σε τρεις συσκευές διαθερμίας μικροκυμάτων μέτρησε ένταση ηλεκτρικού πεδίου ίση με 70 V/m και μαγνητικού πεδίου ίση με 0,19 A/m, τοποθετώντας την ανίχνευση στη περιοχή ρύθμισης της συσκευής. Οι αντίστοιχες τιμές σε έξι

διαθερμίες βραχέων κυμάτων ήταν 250 V/m και 0,47 A/m. Έτσι πρότεινε τη κατάργηση των περιττών ακτινοβολιών κατά τις θεραπείες ασθενών.

Ύστερα από ένα χρόνο, συνεχίζοντας την έρευνά τους οι *Witters & Kantor* (1981) χαρτογράφησαν το ηλεκτρικό πεδίο κοντά στα ηλεκτρόδια μιας συσκευής διαθερμίας μικροκυμάτων. Παράλληλα, με τη βοήθεια θερμογραφικής κάμερας και προσομοίωσης βιολογικού ιστού, αξιολόγησαν τα θερμικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τον ρυθμό απορρόφησης ακτινοβολίας. Τελικά πρότειναν την αλλαγή και βελτίωση των ηλεκτροδίων έτσι ώστε να υπάρχει περισσότερη ομοιομορφία του ηλεκτρικού πεδίου και λιγότερη διαρροή ακτινοβολίας στο χώρο.

Την ίδια χρονική περίοδο οι *Moseley & Davison* (1981) στη Σκωτία, ασχολήθηκαν με τη πυκνότητα ισχύος σε δύο συσκευές διαθερμίας μικροκυμάτων. Οι μετρήσεις έγιναν σε 8 ασθενείς από απόσταση 30 cm κατά τη διάρκεια θεραπειών ώμου, γόνατος, Ο.Μ.Σ.Σ., Θ.Μ.Σ.Σ και άλλες. Παρ' όλο που οι τέσσερις εκ των οκτώ μετρήσεις ήταν πάνω από το όριο του εξοπλισμού μέτρησης (10 mW/cm^2) και οι τρεις κοντά στο όριο, η εργασία συμπεραίνει πως δεν υπάρχει κίνδυνος για τους φυσικοθεραπευτές. Αυτό συμβαίνει διότι τα όρια έκθεσης έπρεπε να ξεπεραστούν για οκτάωρη συνεχή έκθεση για να θεωρηθούν επικίνδυνα, σύμφωνα με τις οδηγίες *MRC 1971*, (*Medical Research Council 70/1314*), *ANSI C95.1-1974* (*American National Standards Institute*) και *ACGIH 1976* (*American Conference of Industrial Hygienists*). Αυτές οι οδηγίες προτεινόταν τότε για το Ηνωμένο Βασίλειο και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Οι *Stuchly et al.* (1982) ερεύνησαν στον Καναδά επτά διαφορετικές συσκευές διαθερμίας κατά τη διάρκεια έντεκα συνεδριών, με πέντε διαφορετικούς τύπους εφαρμοστών. Η έκθεση σε ακτινοβολία δεν ξεπέρασε τα θεσμοθετημένα όρια της καναδικής κυβέρνησης όμως οι ερευνητές προτείνουν στον χειριστή του

εξοπλισμού να κρατά απόσταση τουλάχιστον 0,5 m από τα ηλεκτρόδια και τα καλώδια λόγω των διακυμάνσεων. Για μεγάλες διακυμάνσεις ειδικότερα του μαγνητικού πεδίου κυρίως λόγω των ηλεκτροδίων, αναφέρονται και οι *Lau & Dunscombe* (1984) σε σχετική τους έρευνα. Την ίδια περίοδο οι *Tofani & Agnesod* (1984) επιβεβαιώνουν ομοίως τη μεγάλη διακύμανση της ακτινοβολίας κατά τη θεραπεία με διαθερμία βραχέων κυμάτων, κυρίως όμως λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στο χώρο.

Λίγο αργότερα ο *Skotte* (1986), αφού μέτρησε σε εν λειτουργία διαθερμίες βραχέων κυμάτων, το ηλεκτρικό και μαγνητικό τους πεδίο, εντόπισε τη μεγάλη διαφορά που υπάρχει μεταξύ των ηλεκτροδίων ως προς την εκπομπή ακτινοβολίας. Τονίζει τον κίνδυνο που υπάρχει για έκθεση σε άσκοπη ακτινοβολία και προτείνει στους κατασκευαστές εξοπλισμού την αλλαγή του σχεδίου της συσκευής, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η προστασία του θεραπευτή. Στους χειριστές προτείνει να στέκονται ακριβώς απέναντι των ηλεκτροδίων εφαρμογής και όχι στα πλάγια της συσκευής.



Εικόνα 4.2 Λογότυπο Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (IRPA).

Οι *Martin et al.* (1990) οργάνωσαν μια μεγάλη έρευνα σε 15 νοσοκομεία και 5 κέντρα υγείας της Σκωτίας. Ζήτησαν να συμπληρωθούν ερωτηματολόγια περί εξοπλισμού, ασθενών και θεραπειών από τους αρμόδιους επαγγελματίες υγείας, ενώ παράλληλα έγιναν μετρήσεις με εξειδικευμένους ανιχνευτές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε 36 συνολικά συσκευές διαθερμίας. Έχοντας υπόψη τις νεότερες τότε οδηγίες των *International Radiation Protection Association* (1988) (Εικ. 4.2), *International Non Ionizing Radiation Committee* (1988) και *National Radiological Protection Board* (1989) η εργασία προτείνει τα παρακάτω ως προς τις αποστάσεις ασφαλείας :

- α. Συνιστάται εν γένει ως απόσταση του θεραπευτή από τον εξοπλισμού διαθερμίας τα 1 – 2 m,
- β. να αποφεύγεται απόσταση μικρότερη του 0.5 m από καλώδια και ηλεκτρόδια ακόμη και βραχυπρόθεσμα και
- γ. απόσταση μεγαλύτερη του 1 m κατά τη διάρκεια θεραπείας συνεχούς εκπομπής.

Επίσης διαπιστώνει πως η παλμική εκπομπή είναι λιγότερο βλαβερή από τη συνεχή εκπομπή για την υγεία του προσωπικού στους χώρους αποκατάστασης με διαθερμίες. Οι *Martin et al.* (1991) συνέχισαν την έρευνα και δημοσίευσαν νέα ευρήματα. Προτείνουν απόσταση ασφαλείας από τις διαθερμίες συνεχούς εκπομπής το 1 m και από τις διαθερμίες παλμικής εκπομπής το 1,5 m. Επισημαίνουν δε πως το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο συγκεντρώνεται γύρω από τα ηλεκτρόδια, ενώ το μέγιστο μαγνητικό κοντά στα καλώδια των συσκευών. Σε μετέπειτα έρευνα οι *Tzima & Martin* (1994) συμπεραίνουν πως η έκταση των πεδίων δεν διαφέρει σημαντικά με το είδος της θεραπείας που εκτελείται αλλά με τη μέθοδο εφαρμόζεται. Πιο συγκεκριμένα αναφέρουν πως τουλάχιστον για τη παλμική ροή, η απόσταση επικινδυνότητας είναι μεγαλύτερη στη μέθοδο πεδίου πυκνωτή (0,5 – 0,8 m), από ότι στη μέθοδο επαγωγικού πηνίου (0,2 m).

Οι *Larsen & Skotte* (1991) σε πιλοτική έρευνα που πραγματοποίησαν σε 11 κέντρα φυσικοθεραπείας, προσπάθησαν να βρουν συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής έκθεσης στην ακτινοβολία λόγω της χρήσης συσκευών διαθερμίας βραχέων κυμάτων, με τη εκτίμηση των ίδιων των φυσικοθεραπευτών από τηλεφωνικές συνεντεύξεις. Βρέθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές διότι τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούσαν στα κέντρα ήταν διαφορετικής εκπομπής άρα και επικινδυνότητας για τους ίδιους. Την ίδια περίοδο οι *Mcdowell & Lunt* (1991) μελέτησαν συσκευές θεραπείας *Megapuls* ως προς το ηλεκτρομαγνητικό

πεδίο που δημιουργούν. Οι καταγεγραμμένες τιμές δεν ξεπέρασαν τα κατευθυντήρια όρια περί ασφαλείας, που είχε θέσει τότε η Μ. Βρετανία.



Εικόνα 4.3 Συσκευή διαθερμίας *Ultratherm 608s*.

Στο Ισραήλ σε 6 κέντρα αποκατάστασης, μετρήθηκαν από τους *Lerman et al.* (1996) δέκα πέντε συσκευές διαθερμίας βραχέων κυμάτων σε λειτουργία συνεχούς ροής. Τα μοντέλα που αξιολογήθηκαν ήταν δέκα συσκευές *Ultratherm 608S* (Εικ. 4.3) και πέντε *Curapuls 419* (Εικ. 4.4). Και τα δύο μοντέλα έχουν σαν μέγιστη δυνατότητα ισχύος τα 400 W αλλά η μετρήσεις έγιναν περίπου στα 25% – 40% της τιμής αυτής. Συνολικά έγιναν μετρήσεις σε διάφορες αποστάσεις (20, 50, 70 και 100 cm) από τα ηλεκτρόδια. Σύμφωνα με τα όρια που είχε θέσει το *NRPB (1989)*, οι τιμές μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου βρέθηκαν πάνω από το όριο, ακόμα και σε απόσταση 70 - 100 cm από τα ηλεκτρόδια και τα καλώδια των συσκευών. Περί της ίδιας απόστασης γίνεται αναφορά από τον *Scandurra (1989)*, με τη διαφορά πως πρόκειται για διαθερμία μικροκυμάτων. Η έρευνά του αναδεικνύει τον κίνδυνο έκθεσης σε ηλεκτρικό πεδίο και πυκνότητα ισχύος από απόσταση 100 cm, ακόμη και σε μια τυπική θεραπεία οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης.



Εικόνα 4.4 Συσκευή διαθερμίας *Curapuls 419*.

Μερικά χρόνια αργότερα έγιναν μετρήσεις ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε συσκευή διαθερμίας βραχέων κυμάτων *Curapuls 419* (Εικ. 4.4) στα 400 W και σε λειτουργία συνεχούς ροής από τους *Li & Feng (1999)*. Υπολογίστηκαν μέσες χωρικές τιμές από απόσταση 20 cm, στο ύψος του γόνατος, της

μέσης και της κεφαλής. Επίσης έγιναν μετρήσεις και σε μεγαλύτερες αποστάσεις (30 cm, 100 cm και 150 cm). Σύμφωνα με τις οδηγίες *IEEE C95.1-1991* περί ορίων ολόσωμης έκθεσης, οι μέσες τιμές έκθεσης δεν ξεπέρασαν τα επιτρεπτά όρια Βρέθηκε όμως πως η μεγαλύτερη τοπική έκθεση ακτινοβολίας εντοπίζεται στο ύψος του γόνατος και η ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση από τα ηλεκτρόδια είναι τα 20 cm.

Οι *Shields et al.* (2002) κοινοποίησαν πως ο δημοφιλέστερος τρόπος θεραπείας στην Ιρλανδία είναι η διαθερμία βραχέων κυμάτων με το 27% να τη χρησιμοποιεί πάνω από δύο φορές την ημέρα αντιμετωπίζοντας κυρίως αρθρίτιδες και βλάβες μαλακών μορίων αλλά και με το 30% να δηλώνει πως δεν τηρεί κανένα μέτρο ασφαλείας. Σε συνέχεια των ερευνών τους οι *Shields et al.* (2003) τόνισαν τη σημασία του ποιοτικού ελέγχου των συσκευών διαθερμίας βραχέων κυμάτων. Υποστηρίζουν πως ελλείπει αυτών υπάρχει κίνδυνος χορήγησης εσφαλμένης δοσολογίας μέχρι 45% καθώς και κίνδυνος πυρκαγιάς σε ακραίες περιπτώσεις.



Εικόνα 4.5 Δοχείο 5 lt. NaCl – Προσομείωση ασθενούς (*Shields et al.*, 2004).

Αργότερα οι *Shields et al.* (2004) αξιολόγησαν το μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο από δέκα συσκευές διαθερμίας βραχέων κυμάτων σε έξι κέντρα φυσικοθεραπείας. Αξιοποιήθηκε κατάλληλος εξοπλισμός μετρήσεων και προσομοιώθηκε ασθενής με δοχείο 5 lt NaCl (0,365%) τοποθετημένο σε ξύλινο έπιπλο (Εικ. 4.5). Έγιναν μετρήσεις από οκτώ διαφορετικές κατευθύνσεις, σε αποστάσεις 0,5 m, 1 m, 1,5 m και 2 m, καθώς και στο ύψος ματιών (1490 mm) και στο ύψος ισχίων (815 mm). Οι διαθερμίες μετρήθηκαν σε συνεχή και παλμική ροή

ενέργειας και στο μέγιστο των επιδόσεών τους, θέλοντας έτσι να προκληθεί το

χειρότερο δυνατό σενάριο έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σύμφωνα με τις οδηγίες του *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998)* οι αποστάσεις ασφαλείας βρέθηκαν ως εξής :

- α. Με τη μέθοδο πεδίου πυκνωτή σε συνεχή ροή τα 2 m,
- β. με τη μέθοδο πεδίου πυκνωτή σε παλμική ροή το 1,5 m,
- γ. με τη μέθοδο επαγωγικού πηνίου σε συνεχή ροή το 1 m και
- δ. με τη μέθοδο επαγωγικού πηνίου σε παλμική ροή το 1 m.

Στα συμπεράσματα της έρευνας τονίζεται η απαραίτητη διατήρηση αυτών των ορίων από τους φυσικοθεραπευτές καθώς και το γεγονός πως η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφέρει ανά κατασκευαστή και ανά μοντέλο συσκευής διαθερμίας βραχέων κυμάτων.

Ένα χρόνο αργότερα οι ίδιοι ερευνητές, *Shields et al.* (2005) δημοσίευσαν έρευνα ως προς την ανησυχία και ενημέρωση που έχουν οι φυσικοθεραπευτές γύρω από το θέμα της έκθεσής τους σε υπέρμετρες ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Έστειλαν ταχυδρομικά 225 ερωτηματολόγια με τελική ανταπόκριση της τάξεως του 90%. Τα ευρήματα έδειξαν πως οι φυσιοθεραπευτές συνειδητοποιούν ότι μπορούν να προστατευθούν από ενδεχόμενους κινδύνους που συνδέονται με τη χρήση βραχέων κυμάτων διαθερμία, αν και θεωρούν πως βρίσκονται σε χαμηλό κίνδυνο έκθεσης. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν εντοπίστηκαν διαφορές στις απόψεις μεταξύ αυτών που εργάζονται σε χώρο με διαθερμία και σε αυτούς που δεν εργάζονται.

Ερωτηματολόγια έστειλαν ταχυδρομικά και οι *Shah & Farrow* (2007) σε 46 δημόσια τμήματα φυσικοθεραπείας στη νότια Αγγλία και την ευρύτερη περιοχή του Λονδίνου με κεντρικό θέμα τις διαθερμίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η μέθοδος παλμικής ροής χρησιμοποιείται ευρύτερα, πως υπάρχουν συνήθως μεταλλικά αντικείμενα στο χώρο θεραπείας με βραχέα και μικρά κύματα, πως οι

έγκυες γυναίκες δεν τις χρησιμοποιούν καθόλου, πως δεν είναι πάντα ξύλινα τα κρεβάτια στους χώρους με τις διαθερμίες και πως όσο λιγότεροι θεραπευτές εργάζονται, τόσο μεγαλύτερη είναι η χρήση τους.



Εικόνα 4.6 Λογότυπο του Αντικαρκινικού Ινστιτούτου Regina Elena στην Ιταλία.

Οι *Di Nallo et al.* (2008) αξιολόγησαν τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε βασικούς χώρους του εθνικού αντικαρκινικού ινστιτούτου *Regina Elena* στην Ιταλία (Εικ. 4.6). Ελέγχθηκαν η μονάδα εντατική θεραπείας, τα χειρουργεία, τα τμήματα φυσικοθεραπείας

και πρεσσοθεραπείας (τμήμα αντιμετώπισης λεμφικών οιδημάτων κ.α.). Το φυσικοθεραπευτικό τμήμα με εμβαδόν 36 m² διέθετε στατικό ποδήλατο, διάδρομο βάδισης, TENS, συσκευή ιοντοφόρηση, συσκευή laser και συσκευή υπερήχου. Τα ευρήματα έδειξαν πως τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι εντός επιτρεπτών ορίων, αλλά τονίζεται πως πρόκειται για τη φροντίδα ογκολογικών ασθενών και απαιτείται μεγάλη προσοχή.

Την ίδια χρονιά από την Ιταλία δημοσιεύεται δεύτερη έρευνα, αυτή τη φορά από τους *Maccà et al.* (2008). Σε επτά νοσοκομεία της αξιολογήθηκαν έντεκα διαθερμίες μικροκυμάτων, τέσσερις διαθερμίες βραχέων κυμάτων και δέκα πέντε συσκευές μαγνητοθεραπείας (δώδεκα φορητές και τρία κρεβάτια). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι τέσσερις από τις έντεκα διαθερμίες μικροκυμάτων ξεπερνούν τα όρια ακτινοβολίας από το 0,5 m αλλά μειώνονται γρήγορα οι τιμές καθώς αυξάνει η απόσταση (ίσως να μην ισχύει όταν παρεμβάλλονται μεταλλικά αντικείμενα π.χ. κρεβάτια, καρέκλες κ.α.). Επίσης πως μία από τις τέσσερις συσκευές βραχέων κυμάτων ξεπέρασε το όριο του μαγνητικού πεδίου σε κοντινή απόσταση και πως το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στις συσκευές μαγνητοθεραπείας είναι κάτω από το επιτρεπτό όριο με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται κατά την απουσία του ασθενούς.



Εικόνα 4.7 Ανιχνευτής ακτινοβολίας Radman XT Narda.

Η πρώτη ελληνική ερευνητική προσπάθεια έγινε από τους *Καραμπέτσος και συν.* (2010) και ανακοινώθηκε σε συνέδριο της Αλικαρνασσού (*Bodrum*) στη Τουρκία. Σε τριάντα φυσικοθεραπευτές στην Ελλάδα τοποθετήθηκε ανιχνευτής τσέπης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας *Radman XT Narda* (Εικ. 4.7) με εύρος μέτρησης τα 1 MHz – 40 GHz και ρυθμισμένος να μετρά μέσες και μέγιστες τιμές, ενώ κρατούσαν

ωρολόγιο πρόγραμμα θεραπειών. Από τους τριάντα οι δεκατέσσερις χρησιμοποίησαν διαθερμίες και εκτέθηκαν σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας αλλά μόνο για τα πρώτα δύο λεπτά της θεραπείας, αφού ύστερα αποκρύνονταν. Μάλιστα οι δώδεκα απομακρύνονταν όταν άκουγαν το χαρακτηριστικό ήχο του ανιχνευτή κατά την έκθεσή τους σε ακτινοβολία. Φαίνεται πως η συγκεκριμένη έρευνα υστερεί ποιοτικού αποτελέσματος, αφού οι θεραπευτές δεν συμπεριφέρονταν φυσιολογικά αλλά σύμφωνα με τους ήχους του ανιχνευτή που φορούσαν. Έτσι οι θεραπευτές δεν εκτέθηκαν σε κίνδυνο, δηλαδή σε έκθεση πάνω από 6 συνεχή λεπτά, σύμφωνα με τις οδηγίες των *ICNIRP-1998* και *2004/40/EC*, τροποποιημένες για τα ελληνικά δεδομένα.



Εικόνα 4.8 Συσκευή παλμικής μαγνητοθεραπείας ολόσωμης εφαρμογής.

Οι *Jaermann et al.* (2011) μέτρησαν τρία συστήματα παλμικής μαγνητοθεραπείας ολόσωμης εφαρμογής (Εικ. 4.8). Επιπρόσθετα υπολογίστηκαν η μέση πυκνότητα μαγνητικής ροής, η μέγιστη πυκνότητα μαγνητικής ροής και το ποσοστό (%) έκθεσης σύμφωνα με τις οδηγίες του *ICNIRP-1998*. Εκτός από τον εξοπλισμό μέτρησης πεδίων, χρησιμοποιήθηκε ειδική κατασκευή από άξονες

αλουμινίου και ακρυλικών μηχανικά στοιχεία *plexiglass*. Σημειώνεται πως ενώ η συσκευή κατά την εφαρμογή της έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο, βρέθηκε πως τα επιτρεπτά όρια ξεπεράστηκαν ακόμη και σε απόσταση 30 cm. Αναφέρεται στην έρευνα πως οι συσκευές προωθούνται ως συσκευές ευξείας και όχι ως ιατρικές και θεραπευτικές.

4.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΩΝ

Η επίδραση των ραδιοκυμάτων εν γένει στον ανθρώπινο οργανισμό διατίθεται σε πλούσια έρευνα και βιβλιογραφία. Όμως δεν συμβαίνει το ίδιο όταν πρόκειται για να γίνει αναφορά συγκεκριμένα στον τομέα των επαγγελματιών αποκατάστασης. Η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα δεν έχει να επιδείξει αρκετά ευρήματα γύρω από το συγκεκριμένο θέμα, με αποτέλεσμα να υπάρχει σχετική άγνοια, ως επί των πλείστον των επιπτώσεων της μακρόχρονης χρήσης εξοπλισμού αποκατάστασης, στην υγεία των φυσικοθεραπευτών. Στην αρχή του κεφαλαίου αναφέρθηκε ποσοτικά η αρθρογραφία, ενώ παρακάτω περιγράφονται οι έρευνες που αναφέρονται σχετικά.

Οι *Lancranjan et al.* (1975) μελέτησαν 31 άνδρες εργάτες, μέσης ηλικίας τα 33 έτη και μέσο όρο έκθεσης σε μικροκύματα τα οκτώ έτη. Η έρευνα περιελάμβανε ένα λεπτομερή ανδρολογικό ιστορικό, αναλύσεις σπέρματος, κετοστεροειδών, γοναδοτροπίνης και 24-ώρες αναλύσεις ούρων. Βρέθηκε μεγάλη συχνότητα μείωσης του γενετήσιου ενστίκτου, της ενεργητικής σεξουαλικής εξασθένισης σε ποσοστό 70% των εργατών και διαταραχές στη σπερματογένεση στο 74%, όπως ασθenoσπερμία, υποσπερμία και τερατοσπερμία. Με το ανδρικό αναπαραγωγικό σύστημα ασχολήθηκαν και οι *Mjsoen et al.* (2006) στη Νορβηγία. Αρχικά συνέλλεξαν στοιχεία από το ιατρικό μητρώο γεννών όσων αφορά πατέρες με επαγγελματική έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ύστερα κατέληξαν πως εκτός από μια μικρή αύξηση στους πρόωρους τοκετούς

και σε λαγόχειλα, δεν υπάρχει σαφή συσχέτιση ακτινοβολίας και αναπαραγωγικού αποτελέσματος.

Η *Silverman* (1973) υποστήριξε τη πιθανότητα ανάπτυξη νευρολογικών και συμπεριφορικών διαφοροποιήσεων από τα άτομα που το επάγγελμά τους συσχετίζεται με μικροκύματα, όπως οι στρατιωτικοί με ειδικότητα στα radars και οι επαγγελματίες υγείας – χειριστές εξοπλισμού μικροκυμάτων. Τον ίδιο κίνδυνο ψυχικών νοσημάτων τονίζουν οι *Czerski et al.* (1974) και οι *Albrecht & Landau* (1979) σε δική τους επιδημιολογική μελέτη. Η *Silverman* (1980) συνεχίζοντας την έρευνα, παρουσίασε σε σχετικό συνέδριο επιδημιολογικά στοιχεία ενημερώνοντας για τον επερχόμενο κίνδυνο των ατόμων υψηλής έκθεσης όσων αφορά το οπτικό τους σύστημα, τις νευροψυχολογικές διαταραχές, τις αναπτυξιακές δυσλειτουργίες και τον καρκίνο, αν και για τη περίπτωση της παιδικής λευχαιμίας δεν βρήκαν ιδιαίτερη συσχέτιση οι *Kheifets et al.* (2006), τουλάχιστον όσων αφορά την έκθεση σε χαμηλής συχνότητας πεδία. Για οπτικές διαταραχές αναφέρθηκε και ο *Cleary* (1980) και συγκεκριμένα για καταρρακτογέννεση.

Σε άλλη έρευνα οι *Källén et al.* (1982) μελέτησαν 2.043 βρέφη που γεννήθηκαν από 2.018 μητέρες φυσικοθεραπεύτριες οι οποίες κυοφορούσαν κατά τη διάρκεια των ετών 1973 – 1978. Οι πληροφορίες συλλέχθηκαν ταχυδρομικώς μέσω ερωτηματολογίων με ικανοποιητική απόκριση της τάξεως του 93%. Οι πληροφορίες σχετίζονταν με την επαγγελματική έκθεση όπως χρήση των διαθερμιών βραχέων κυμάτων, μικροκυμάτων, συσκευών υπερήχων, έκθεση σε ακτίνες X κ.α. Κατόπιν συνολικής επεξεργασίας των δεδομένων, βρέθηκε πως οι μητέρες με νεκρό ή δυσλειτουργικό νεογνό χρησιμοποιούσαν αρκετά περισσότερο τη διαθερμία βραχέων κυμάτων. Τον ίδιο κίνδυνο όσων αφορά τα βραχέα κύματα, τονίζουν οι *Larsen et al.* (1987) σε δική τους έρευνα.

Τις παραπάνω εργασίες συμπληρώνουν οι *Ouellet-Hellstrom & Stewart* (1993), οι οποίοι ερεύνησαν με τη ίδια μέθοδο των ερωτηματολογίων, 42.403 φυσικοθεραπεύτριες. Έλαβαν υπόψην το επαγγελματικό και το αναπαραγωγικό ιστορικό της κάθε περίπτωσης και βρήκαν 1.753 περιπτώσεις αποβολών. Θεώρησαν ως έκθεση σε ακτινοβολία τη χρήση διαθερμιών οποιουδήποτε τύπου, έξι μήνες πριν τη σύλληψη μέχρι και το πρώτο τρίμηνο της κύησης. Βρέθηκε συσχέτιση της χρήσης διαθερμίας μικροκυμάτων με τις αποβολές και συγκεκριμένα όσο μαγαλύτερη η έκθεση, τόσο πιθανότερη ήταν η αποβολή του εμβρύου. Σημειώνεται πως δεν εντοπίστηκε η ίδια συσχέτιση με τη χρήση διαθερμίας βραχέων κυμάτων, όπως συνέβη στην έρευνα των *Taskinen et al.* (1990). Στην εργασία αυτή, αξιολογήθηκαν όλες οι εγκυμονούσες φυσικοθεραπεύτριες της Φιλανδίας τη δεκαετία 1973-1983. Αναλύθηκαν τα στοιχεία που αφορούσαν επαγγελματική χρήση εξοπλισμού, αποβολές και δυσμορφίες βρεφών και εν συνεχεία συμπεραίνεται πως τελικά οι διαθερμίες βραχέων κυμάτων και οι υπέρηχοι αποτελούν παράγοντα κινδύνου για τις εγκύους.



Εικόνα 4.9 Λογότυπο του Συλλόγου Φυσικοθεραπευτών της Δανίας.

Με τις διαθερμίες βραχέων ασχολήθηκε και η έρευνα των *Lerman et al.* (2001). Μέσω ερωτηματολογίων και τηλεφωνικών συνεντεύξεων αξιολόγησαν 930 εγκυμοσύνες 434 φυσικοθεραπευτριών στο Ισραήλ, εκ των οποίων οι 630 ήταν φυσιολογικές. Σύμφωνα με τα στοιχεία των υπολοίπων βρέθηκε συσχέτιση της χρήσης διαθερμίας βραχέων κυμάτων με τα 33 νεογνά που γεννήθηκαν με χαμηλότερο βάρος από το φυσιολογικό όριο και μάλιστα εντονότερη στα νεογέννητα αγόρια. Σύμφωνα με τα τελευταία βρίσκεται η έρευνα των *Larsen et al.* (1991) με στοιχεία από το σύλλογο φυσικοθεραπείας της Δανίας (Εικ. 4.9). Η διαφορά είναι πως εκεί τα

βρέφη με χαμηλό βάρος ήσαν αποκλειστικά αγόρια. Η έρευνα αυτή δεν επιβεβαιώθηκε από την αντίστοιχη στην Ελβετία από τους *Gubéran et al.* (1994). Σε άλλη έρευνα όμως των *Cromie et al.* (2002) στην Αυστραλία δεν βρέθηκε καμία συσχέτιση της έκθεσης των μητέρων σε ακτινοβολία κατά το πρώτο τρίμηνο της κύησης με τη υγεία του νεογέννητου μωρού.

Σε ερωτηματολόγια απάντησαν και 3.004 άνδρες φυσικοθεραπευτές, μέλη του Αμερικανικού Συλλόγου Φυσικοθεραπείας (APTA) (Εικ. 4.10), χάρην έρευνας των *Hamburger et al.* (1983). Οι ερωτηθέντες διαχωρίστηκαν σε 16 κατηγορίες, σύμφωνα με την ηλικία τους, τους τύπους θεραπείας που ακολουθούν, τα χρόνια προϋπηρεσίας που είχαν και θεραπείες που ανελάμβαναν ανά εβδομάδα.



Εικόνα 4.10 Λογότυπο του Αμερικανικού Συλλόγου Φυσικοθεραπείας (APTA).

Μετά από αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων, βρέθηκε συσχέτιση των θεραπειών με τις καρδιοπάθειες και συγκεκριμένα, όσες περισσότερες συνεδρίες ανά εβδομάδα περιελάμβαναν διαθερμία βραχέων κυμάτων τόσο περισσότερες πιθανότητες βρέθηκαν για εμφάνιση καρδιοπαθειών από τη πλευρά των θεραπευτών.

Στην ίδια κατεύθυνση κλίνουν και οι *Israel et al.* (2007), όσων αφορά το καρδιαγγειακό σύστημα των φυσικοθεραπευτών. Η έρευνα σύγκρινε 52 φυσικοθεραπευτές (4 άνδρες και 48 γυναίκες) μέσης ηλικία τα 47,3 έτη και απόκλιση 8,7 έτη με 52 άτομα ως ομάδας ελέγχου που είχαν παρόμοια επαγγελματική συμπεριφορά, χωρίς όμως να εκτίθενται σε ακτινοβολία. Η σύγκριση περιελάμβανε στοιχεία ιατρικών εξετάσεων και οικογενειακού ιστορικού των συμμετεχόντων, όπως αρτηριακή πίεση, ποσοστά λιπιδαιμίας καθώς και δείκτες μάζας σώματος, περίμετρο ισχίων και καρπών, κάπνισμα, κατανάλωση αλκόολ κ.α. Τα συμπεράσματα αναδεικνύουν ελαφρώς μεγαλύτερα ποσοστά υπέρτασης, αυξημένα επίπεδα χοληστερόλης και τάση προς λιπιδαιμίας από τη πλευρά των φυσικοθεραπευτών.

Αξίζει να αναφερθεί πως οι *Yu et al.* (1988) αφού εξέθεσαν συστηματικά ποντίκια σε ακτινοβολία με διαθερμία βραχέων κυμάτων, έκαναν αιματολογικές συλλογές και εξετάσεις. Δεν βρήκαν τελικά αύξηση στη περιεκτικότητα των λευκών αιμοσφαιρίων, όπως περίμεναν, όμως συμβουλεύουν κάθε θεραπευτή που πάσχει από ασθένεια αίματος να μην χρησιμοποιεί προληπτικά τις διαθερμίες και να αποφεύγει την έκθεση γενικώς, αφού η συμπεριφορά των δύο διαφορετικών οργανισμών πιθανολογείται να μην είναι και η ίδια. Επιπροσθέτως η σταθερή περιεκτικότητα σε λευκά αιμοσφαίρια προ και μετά του πειράματος, δεν εγγυάται αποφυγή άλλων αιματικών ασθενειών.

Περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα των *Berman et al.* (1978) οι οποίοι πειραματίστηκαν επίσης σε ποντίκια, με τη διαφορά ότι η ακτινοβολήση ήταν με μικροκύματα συχνότητας 2,45 GHz, όπως ακριβώς εφαρμόζονται στη φυσικοθεραπεία. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν καθημερινά για εκατό λεπτά σε ποντίκια που κυοφορούσαν με εύρος πυκνότητας ισχύος τα 3,4 - 28 mW/cm². Εν συνεχεία εξετάστηκαν τα έμβρυα και βρέθηκε σημαντική μείωση στο βάρος σε σχέση με την ομάδα ελέγχου αλλά και αρκετά κρούσματα κρανιόσχισης, κάτι που δύναται να οδηγήσει σε ανεγκεφαλία του εμβρύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

5.1 ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΡΙΩΝ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Καμία δόση ακτινοβολίας δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ασφαλής, όσο μικρή και αν είναι. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1950 η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία πυκνότητας ισχύος 100 mW/cm^2 θεωρούνταν καταστροφική για τους βιολογικούς οργανισμούς. Αργότερα και κατά καιρούς προτάθηκαν όρια ασφαλείας $0,1 \text{ mW/cm}^2$, 1 mW/cm^2 , 10 mW/cm^2 , ενώ στην πρώην Σοβιετική Ένωση προτάθηκε και όριο $10 \mu\text{W/cm}^2$.

Τα όρια ασφαλούς έκθεσης της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα τον επιστημονικό οργανισμό που τα καθιέρωσε και το κράτος που τα αποδέχεται. Η βασικότερη αιτία της διάστασης αυτής, είναι η διαφορετική εκτίμηση ως προς τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τους βιολογικούς ιστούς. Όταν εκτιμώνται τα θερμικά αποτελέσματα από αυτή την αλληλεπίδραση, τα όρια ασφαλείας είναι υψηλά, ενώ όταν εκτιμώνται τα μη θερμικά τα όρια είναι αρκετά χαμηλότερα.

Όρια ασφαλείας έχουν προταθεί στο παρελθόν από τη Διεθνή Επιτροπή Μη



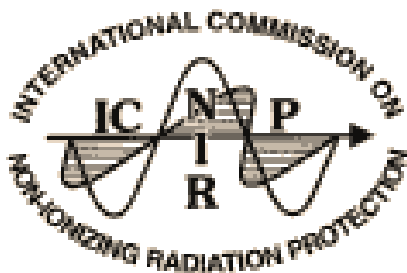
Εικόνα 5.1 Λογότυπο του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.

Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (*International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC*) της Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (*International Radiation Protection Association, IRPA*) σε συνεργασία με το τμήμα περιβαλλοντικής υγείας της Παγκόσμιας

Οργάνωσης Υγείας (*World Health Organization, WHO*). Επίσης από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Ορίων (*American National Standard Institute, ANSI*) προτάθηκαν όρια το 1992 ακολουθώντας πρόταση του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (*Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE*) (Εικ. 5.1). Το 1994 η γαλλική Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, CENELEC*) πρότεινε με τη σειρά της όρια έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

5.2 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑ ICNIRP

Η *ICNIRP* (*International Commission on Non Ionizing Radiation Protection - Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες*) (Εικ. 5.2) είναι μια ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (όπως είναι



Εικόνα 5.2 Λογότυπο της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες.

αυτές που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της αποκατάστασης). Είναι επίσημα αναγνωρισμένη μη κυβερνητική οργάνωση από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, το Διεθνές Γραφείο Εργασίας και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Έχει ως μέλη διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες που καλύπτουν τις επιστημονικές περιοχές της ιατρικής, της βιολογίας, της επιδημιολογίας, της φυσικής και της μηχανικής.

Η *ICNIRP* αφού εξέτασε το σύνολο των δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων, κατέληξε ότι οι μόνες επιδράσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την θέσπιση ορίων έκθεσης των ανθρώπων είναι αυτές που οφείλονται

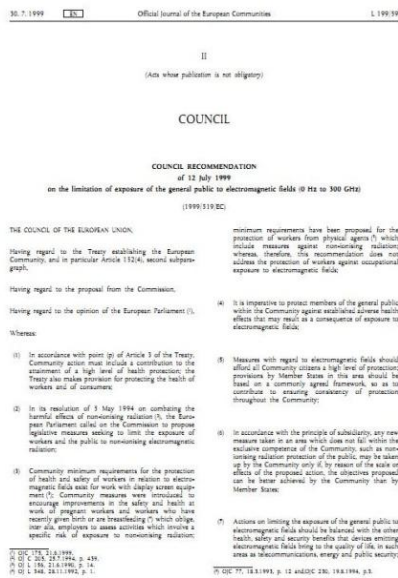
στην αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών από την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το σώμα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι οι δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις προκύπτουν με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1°C. Η αύξηση αυτή γίνεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα με ρυθμό μεγαλύτερο από 4W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg με ρυθμό 320W. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ενδεχομένως κάποιες ομάδες πληθυσμού να είναι πιο ευπαθείς και πως δεν αποκλείεται η έκθεση να λαμβάνει χώρα σε ήδη επιβαρημένους χώρους με αυξημένη θερμοκρασία ή υγρασία ή κατά την διάρκεια έντονης άσκησης, επέλεξαν έναν συντελεστή ασφαλείας 50 στη θέσπιση των ορίων έκθεσης του κοινού. Έτσι, προέκυψε ο βασικός περιορισμός για την έκθεση του κοινού σε 0,08W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg το όριο του ρυθμού απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι 6,4W. Ταυτόχρονα, για να μην υπάρχουν περιοχές του σώματος στις οποίες να εμφανίζεται τοπικά υψηλή απορρόφηση ενέργειας προβλέπονται οι περιορισμοί και για τον μέγιστο τοπικό ρυθμό απορρόφησης σε 2W/kg για το κεφάλι και τον κορμό του σώματος, και 4W/kg στα άκρα.

Σε παρόμοια συμπεράσματα και όρια για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν καταλήξει και άλλοι διεθνείς επιστημονικοί φορείς, όπως το *IEEE* και το *NRPB (National Radiological Protection Board – Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας)* της Μεγάλης Βρετανίας.

5.3 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κατόπιν σχετικής εισήγησης της επιστημονικής επιτροπής καθοδήγησης επί διεπιστημονικών θεμάτων, υιοθέτησε τα όρια για την προστασία του κοινού της *ICNIRP*, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της. Εν συνεχεία, στις 30-07-1999, το Συμβούλιο θέσπισε τη σχετική Σύσταση της Ευρωπαϊκής

Ένωσης L199 (1999/519/EC) «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz» προς τα κράτη – μέλη (Εικ. 5.3).



Εικόνα 5.3 Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης – 1999/519/EC.

λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά». Τόσο στην προαναφερθείσα Κοινή Υπουργική Απόφαση, όσο και στη Σύσταση της Ε.Ε. προβλέπονται βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς για την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι βασικοί περιορισμοί βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες ενώ τα επίπεδα αναφοράς χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης προκειμένου να διαπιστωθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών.

Ως όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στην Ελλάδα (παραγρ. 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431) θεωρούνται το **70% των τιμών** της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εισάγοντας έτσι ένα πρόσθετο συντελεστή ασφαλείας. Ειδικά σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την

Βάση της εν λόγω σύστασης, με τη σειρά της η Ελλάδα θεσπίζει τα δικά της όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού τα οποία ορίζονται με τις παραγράφους 9 και 10 (κατά περίπτωση) του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/A/03-02-2006) με θέμα «Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις» και στα άρθρα 2 - 4 της υπ' αριθ. 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/B/06-09-2000) Κοινής Απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την

περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, προβλέπεται περαιτέρω μείωση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού (παραγρ. 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431), καθώς αυτά απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών της Ε.Ε. Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες που έχουν θεσπίσει από τα αυστηρότερα όρια στην Ευρώπη.

Στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος 1 παρουσιάζονται οι βασικοί περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την περιοχή συχνοτήτων 100kHz - 10MHz για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι βασικοί περιορισμοί για την περιοχή συχνοτήτων 100kHz - 10GHz για τον ρυθμό ειδικής απορρόφησης SAR. Για συχνότητες από 10 - 300GHz οι βασικοί περιορισμοί αφορούν την πυκνότητα ισχύος και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 του Παραρτήματος 1. Επιπρόσθετα σε αυτούς τους Πίνακες παρουσιάζονται και οι βασικοί περιορισμοί στην Ελληνική Νομοθεσία, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60% κατά περίπτωση.

5.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναδείχθηκε το πρόβλημα έκθεσης των φυσικοθεραπευτών στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διεθνή κλίμακα, ενώ στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η ύπαρξη ορίων ασφαλούς έκθεσης σε αυτήν. Σύμφωνα με τα παραπάνω μοιραία προκύπτει ως κεντρικό ερώτημα το κατά πόσο ο σύγχρονος επαγγελματίας φυσικοθεραπευτής εκτίθεται ή είναι αρκετά προστατευμένος από την έκθεση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας λόγω των συσκευών θεραπείας που χρησιμοποιεί καθημερινά. Ενοχοποιούνται οι συσκευές και οι κατασκευάστριες εταιρίες ή η κακή χρήση από τη πλευρά των φυσικοθεραπευτών; Λαμβάνονται μέτρα προστασίας; Αν δεν είναι τελικά

προστατευμένοι, υπάρχουν τρόποι θωράκισής τους από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία; Επίσης αν η παρουσία ακτινοβολίας σε έναν εν λειτουργία μέσο χώρο αποκατάστασης, βρίσκεται εντός των ορίων ασφαλούς έκθεσης της χώρας αποτελεί σκέλος του ίδιου προβληματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι θεραπευτικές ανάγκες στο χώρο της φυσικής αποκατάστασης αλλά και η ελληνική νόμοθεσία (ΠΔ 29/87) απαιτούν από τους φυσικοθεραπευτές τη χρήση συσκευών διαθερμίας. Όμως κατά τη χρήση τους και σύμφωνα με έρευνες, εντοπίζεται κίνδυνος έκθεσης σε επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, πέραν των επιτρεπτών ορίων (*Lerman Y et al., 1996; Maccà I et al., 2008; Martin CJ et al., 1990; Shields N et al., 2004*). Η έρευνα που εκπονείται σκοπεύει γενικότερα:



Εικόνα 6.1 Διαθερμία μικροκυμάτων Radarmed 950+.

- Στον εντοπισμό της τυχόν ύπαρξης πραγματικού κινδύνου και εν συνεχεία στην ενημέρωση των φυσικοθεραπευτών. Ειδικότερα καταπιάνεται με τη πειραματική μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου, της πυκνότητας ισχύος και τη πιστοποίηση της υπέρβασης των ορίων, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού.

- Ακόμη αποσκοπεί στον εντοπισμό της σταθερής ή μη, αυξομείωσης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανάλογα με την αυξομείωση της ισχύος της συσκευής αλλά και της απόστασης από αυτήν.

- Επίσης γίνεται προσπάθεια εξομοίωσης των πραγματικών συνθηκών του μέσου χώρου θεραπείας ώστε να απαντηθούν ερωτήματα περί επικινδυνότητας σε ένα φυσικοθεραπευτήριο.
- Παράλληλα ελέγχεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε διαφορετικούς χρόνους. Η παρούσα έρευνα φιλοδοξεί να ανήκει στη προσπάθεια προστασίας της υγείας του σύγχρονου φυσικοθεραπευτή.

6.2 ΜΕΘΟΔΟΣ

Η ερευνητική εργασία έλαβε χώρα στο Τ.Ε.Ι. Πατρών – Παράρτημα Αιγίου και συγκεκριμένα στο εργαστήριο της Ηλεκτροθεραπείας Ι του τμήματος της Φυσικοθεραπείας (Εικ. α-δ, Παράρτημα 2). Έγινε χρήση ειδικού μετρητικού εξοπλισμού υψηλής ανάλυσης δεδομένων και διαμορφώθηκε ο χώρος σύμφωνα με τις ανάγκες των μετρήσεων, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Εικόνα 6.2 Συσκευή SRM-3000 (Narda STS).

6.2.1 Εξοπλισμός

Από το εργαστήριο της Ηλεκτροθεραπείας Ι χρησιμοποιήθηκε η συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων *Radarmed 950+* (*Enraf-Nonius B.V., Netherland*) (Εικ. 6.1) η οποία είναι μονάδα για συνεχή και παλμική ροή μονοπολικής εφαρμογής με συχνότητα 2450 MHz \pm 50 MHz και μήκος κύματος 12 cm, σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Η ρυθμιζόμενη ισχύ φθάνει το ανώτατο όριο των 250W. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ένα κοινό κρεβάτι θεραπείας μεταλλικής στήριξης και τρεις όμοιες ξύλινες καρέκλες με μεταλλική στήριξη.

Για τις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου έγινε χρήση της συσκευής *SRM-3000* της αμερικανικής εταιρίας *Narda STS* (Εικ. 6.2). Η συγκεκριμένη συσκευή παρέχει μετρήσεις εύρος συχνοτήτων 100 kHz - 3 GHz με κεραία τριών αξόνων ισοτροπικής μέτρησης εύρους 27 MHz - 3 GHz. Αποτελείται κυρίως από την ειδική οθόνη και τη κεραία που συνοδεύεται από ξύλινη τρίποδη στήριξη για να μην επηρεάζει τα μετρούμενα πεδία.

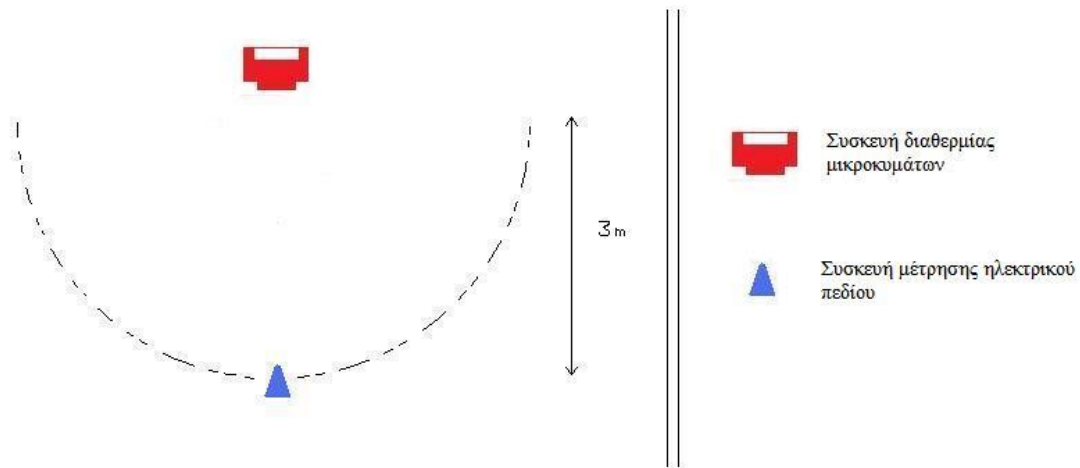
6.2.2 Μεθοδολογία

Σύμφωνα με έρευνες, υπάρχει συσχέτιση της χρήσης συσκευών διαθερμίας με επιπλοκές ως προς τον τοκετό αλλά και με δυσλειτουργίες των ίδιων των απογόνων (*Källén et al., 1982; Larsen et al., 1987; Larsen et al., 1991; Lerman et al., 2001; Ouellet-Hellstrom & Stewart 1993*). Διαπιστώνοντας τη σημαντικότητα του θέματος της αναπαραγωγής και συμμετέχοντας στο εγχείρημα, έγιναν μετρήσεις στο ύψος των ανθρώπινων γονάδων, κατά προσέγγιση. Σύμφωνα με δημοσιευμένα σωματομετρικά στοιχεία, εντοπίζεται στον μέσο άνδρα το ύψος των ισχίου στα 935 mm και στις γυναίκες στα 815 mm (*Pheasant, 1984*). Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, όλες οι μετρήσεις έγιναν σε ύψος 900 mm από την επιφάνεια του δαπέδου.

Τονίζεται πως η ευρωπαϊκή και η ελληνική νομοθεσία καλύπτει τη περίπτωση της έκθεσης πέραν των ορίων, αρκεί να είναι μικρότερης χρονικής διάρκειας των 6 min. Έτσι, κάθε μετρήση έγινε αφού ξεπεράστηκε το όριο των 6 min ώστε να μην υπάρχει περιορισμός στην εργασία.

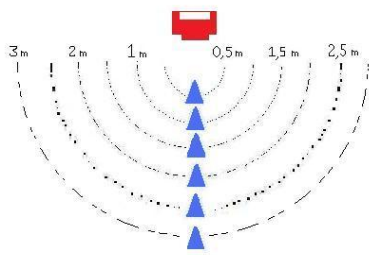
Φάση Α: Αρχικά έγιναν μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου από σταθερό σημείο απόστασης των 3 m και γωνίας 0° , με τιμές ισχύος στα 100, 150, 200 και 250 Watt, σε συνεχή ροή ενέργειας (Σχ. 6.1). Οι ίδιες μετρήσεις έγιναν τρεις φορές σε διαφορετικούς χρόνους με τις ίδιες επικρατούσες συνθήκες, ώστε να εντοπιστούν τυχόν σφάλματα της συσκευής και να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων ως προς την επαναληπτικότητά τους.

Φάση Β: Έγιναν μετρήσεις και υπολογισμοί έντασης ηλεκτρικού πεδίου και πυκνότητας ισχύος από τις αποστάσεις των 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 και 3 m καθώς και από τις γωνίες των 0° , 45° και 90° δεξιόστροφα (+) και αριστερόστροφα (-) της συσκευής μικροκυμάτων (Σχ. 6.2 - 6.7). Η διαθερμία ήταν ρυθμισμένη σε συνεχή ροή και σε ισχύ ίση με 250 Watt, δηλαδή στο χειρίστο δυνατό σενάριο.

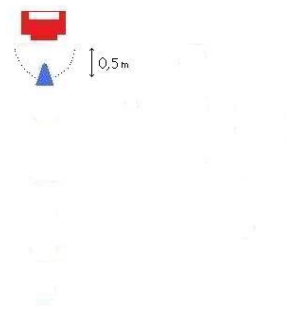


Σχήμα 6.1 Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου από απόσταση 3 m και γωνία 0° με επεξήγηση των συμβόλων.

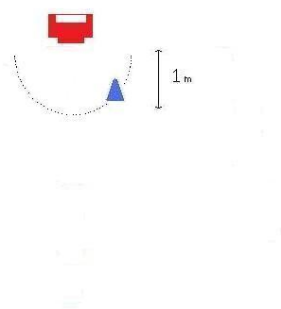
Φάση Γ: Έγιναν τέσσερις μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου από το ίδιο σημείο με παρεμβολή κρεβατιού θεραπείας σε διάφορες θέσεις (Σχ 6.8 – 6.11) και ακόμη τέσσερις μετρήσεις με τη παρεμβολή καρεκλών, επίσης σε διάφορες θέσεις (Σχ. 6.12 – 6.15). Η ισχύς της συσκευής μικροκυμάτων ρυθμίστηκε σε επίπεδα μετρίου βαθμού (150 W) και σε συνεχή ροή. Με τις παραπάνω μετατροπές έγινε προσπάθεια κατά πρώτον να εξομοιωθεί αρχικά ο πραγματικός χώρος και οι συνθήκες αποκατάστασης, ενώ στη συνέχεια να εντοπιστούν οι διαφορές στο εκπεμπόμενο πεδίο στο χώρο.



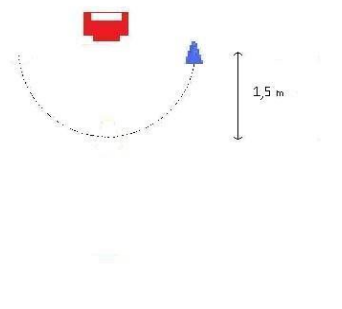
Σχήμα 6.2 Σχέδιο κάτοψης του χώρου μετρήσεων.



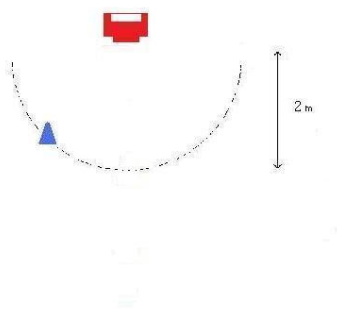
Σχήμα 6.3 Μέτρηση από απόσταση 0,5 m και γωνία 0° .



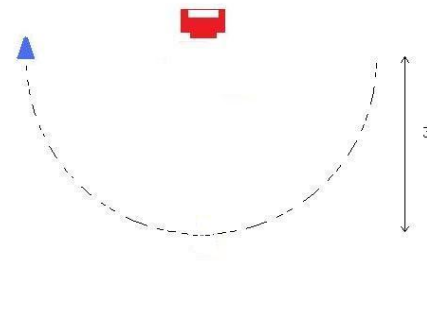
Σχήμα 6.4 Μέτρηση από απόσταση 1 m και γωνία $+45^\circ$.



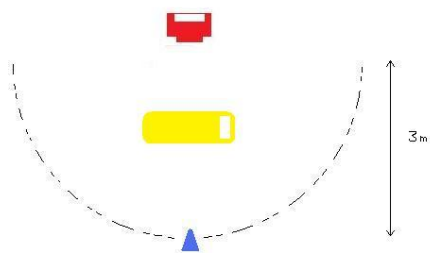
Σχήμα 6.5 Μέτρηση από απόσταση 1,5 m και γωνία $+90^\circ$.



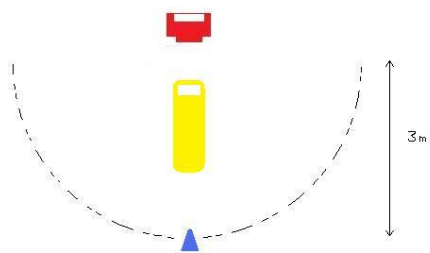
Σχήμα 6.6 Μέτρηση από απόσταση 2 m και γωνία -45° .



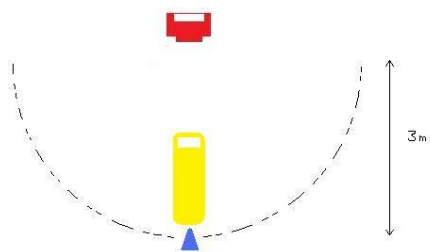
Σχήμα 6.7 Μέτρηση από απόσταση 3 m και γωνία -90° .



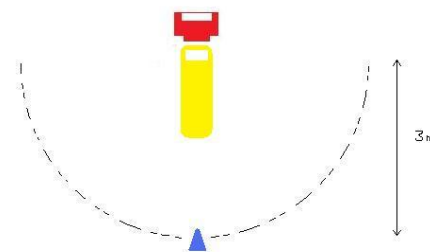
Σχήμα 6.8 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (I).



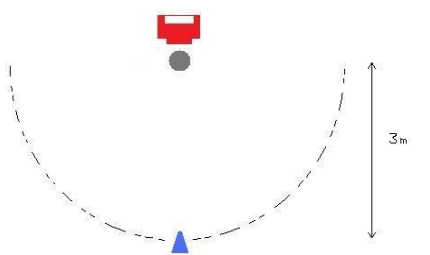
Σχήμα 6.9 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (II).



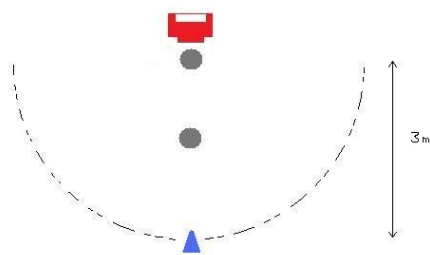
Σχήμα 6.10 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (III).



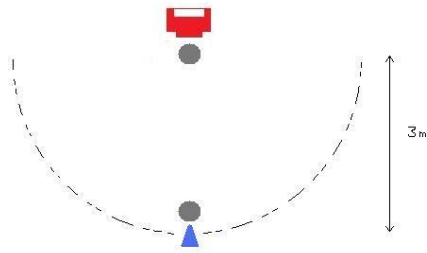
Σχήμα 6.11 Μέτρηση με παρεμβολή κρεβατιού (IV).



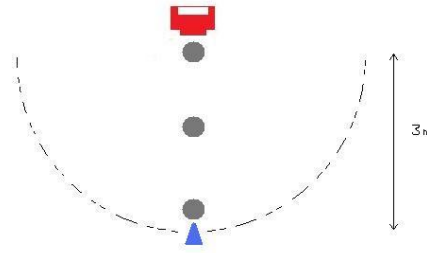
Σχήμα 6.12 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (V).



Σχήμα 6.13 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VI).



Σχήμα 6.14 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VII).



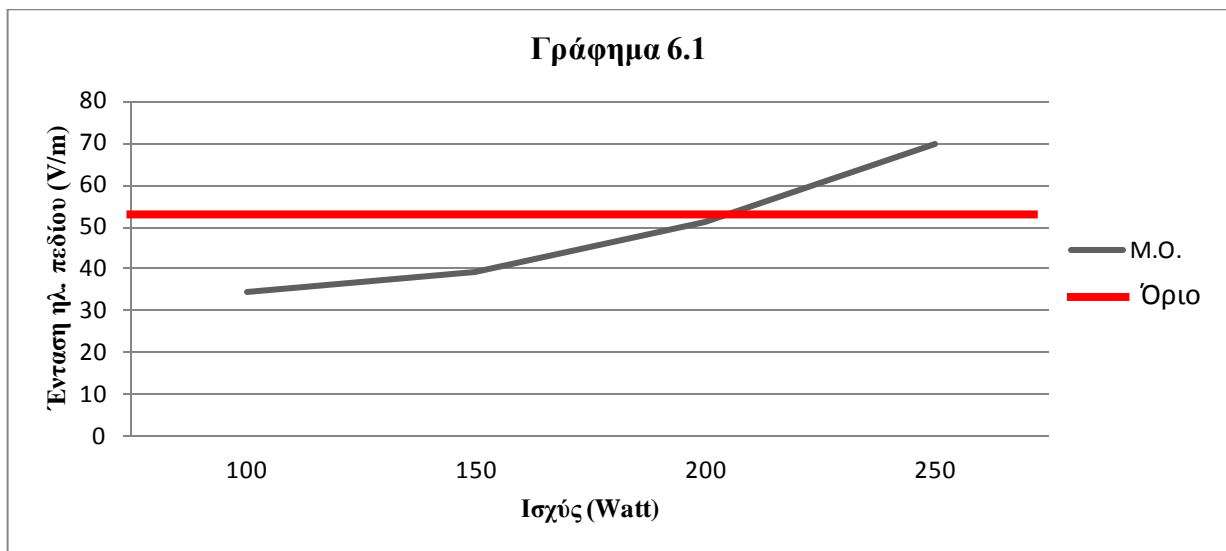
Σχήμα 6.15 Μέτρηση με παρεμβολή καρεκλών (VIII).

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά την **Φάση Α**, έγιναν τρεις μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε διαφορετικούς χρόνους για κάθε διαφορετική τιμή ισχύος και βρέθηκαν αποτελέσματα σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1. Όλες οι μετρήσεις έγιναν από απόσταση 3 m και γωνία 0° (Σχ. 6.1). Εν συνέχεια σε επόμενες στήλες, υπολογίστηκε ο μέσος όρος (Μ.Ο.) των τριών μετρήσεων και η μέγιστη απόκλιση από αυτόν. Η πρώτη στήλη περιλαμβάνει και τη μετατροπή της ισχύος σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου ενώ στη τελευταία στήλη υπολογίστηκε το πηλίκο του Μ.Ο. με τη τιμή της ισχύος. Κατά αυτό το τρόπο υπολογίστηκε ο Συντελεστής* της σχέσης ένδειξης της συσκευής με τη πραγματική τιμή.

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Α.

Ισχύς (Ένταση) W (V/m)	Μετρήσεις (V/m)			Μ.Ο.**	Μέγιστη απόκλιση	Συντελεστής*
	1η	2η	3η			
250 (306)	74,14	68,89	66,21	69,7	4,44	0,2
200 (275)	56,37	49,07	47,68	51,0	5,37	0,2
150 (237)	40,09	39,2	39,04	39,4	0.69	0,2
100 (194)	33,92	34,7	35,31	34,6	0.71	0,2

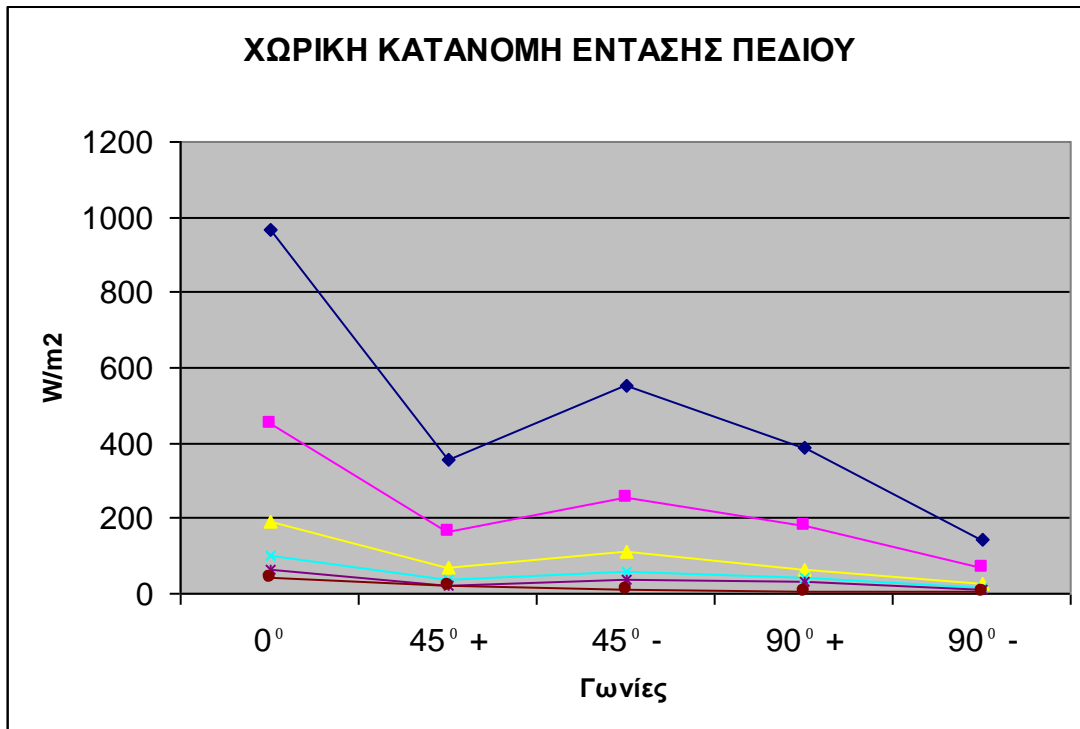


Γράφημα 6.1 ** Τιμές μέσου όρου (M.O.) μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές ισχύος της συσκευής.

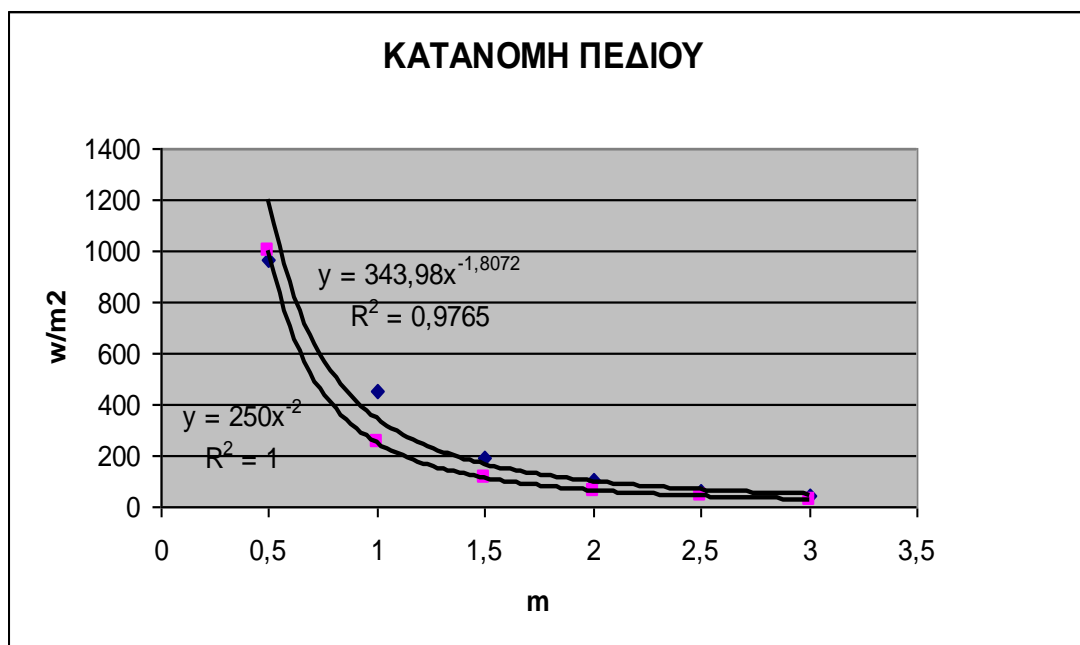
Κατά τη **Φάση Β** πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου και υπολογισμοί της πυκνότητας ισχύος από καθορισμένες γωνίες και αποστάσεις, από τη συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων. Η συσκευή ήταν ρυθμισμένη να λειτουργεί στο χειρίστο δυνατό σενάριο και συγκεκριμένα σε συνεχή ροή και σε ισχύ 250W. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Β (σε w/m^2).

Απόσταση (m)	Πειραματικές τιμές πυκνότητας ισχύος (w/m^2) [†]					Θεωρητική τιμή (w/m^2) ^{††}
	0°	45° +	45° -	90° +	90° -	
0,5	965	357,05	550,05	386	144,75	1000,00
1	450	166,5	256,5	180	67,5	250,00
1,5	190	70,7	110	65,7	28,14	111,11
2	102	37,74	58,14	40,8	15,3	62,50
2,5	62	22,94	35,34	30,9	9,3	40,00
3	40	23,6	12,79	7,69	7	27,78



Γράφημα 6.2α ⁺ Πειραματικές τιμές μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές πυκνότητας ισχύος της συσκευής στις αποστάσεις 0,5/1,0/1,5/2,0/2,5/3,0 μέτρα.



Γράφημα 6.2β ⁺⁺ Θεωρητική και πειραματική καμπύλη των μετρήσεων σύμφωνα με τις τιμές πυκνότητας ισχύος της συσκευής για 0° και στις αποστάσεις 0,5/1,0/1,5/2,0/2,5/3,0 μέτρα.

Οι πειραματικές τιμές απεικονίζονται γραφικά συγκρινόμενες μεταξύ τους, ώστε να δοθεί μια πληρέστερη εικόνα των μετρήσεων και της ανομοιογένειας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (Γραφ. 6.2α). Με ευθείες διαφορετικών χρωμάτων και σχημάτων παρουσιάζονται οι αποστάσεις μεταξύ της συσκευής μετρήσεων ακτινοβολίας και της διαθερμίας μικροκυμάτων. Η ευθεία των ρόμβων απεικονίζει την απόσταση του 0.5 m, η ευθεία των τετραγώνων απεικονίζει την απόσταση του 1 m και ούτω καθεξής.

Η τελευταία στήλη του Πίνακα 6.2 περιλαμβάνει τις θεωρητικές τιμές της πυκνότητας ισχύος, δηλαδή τις τιμές εκείνες που ήταν οι θεωρητικά αναμενόμενες. Αυτές προέκυψαν από τη στατιστική μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όπως είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα Excel των MS Office, επιλέγοντας τις μετρήσιμες – πειραματικές τιμές της γωνίας 0° (Γραφ. 6.2β). Αυτές οι τιμές δημιούργησαν τη κατά προσέγγιση καμπύλη με συνάσταση $y=343,98x^{-1,8072}$ και συντελεστή συσχέτισης $R^2=0,9765$. Η αναμενόμενες τιμές (θεωρητικές) όμως με τέλειο συντελεστή συσχέτισης $R^2=1$, είναι οι αντίστοιχες της καμπύλης με συνάσταση $y=250x^{-2}$. **Από το συγκεκριμένο γράφημα διαπιστώνεται ότι σε όλες τις αποστάσεις οι πειραματικές τιμές ξεπερνούν συστηματικά τις θεωρητικές.**

Κατά τη **Φάση Γ** έγινε μια μέτρηση για κάθε διαμόρφωση του χώρου, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι ευκόλως συγκρίσιμα μεταξύ τους. Οι διαμορφώσεις με τοποθετημένο κρεβάτι (I-IV) και καρέκλες (V-VIII) παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.8 – 6.15 της υποενότητας 6.2.2 περί Μεθοδολογίας. Σημειώνεται πως οι μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου έγιναν από σταθερό σημείο απόστασης 3 m και γωνίας 0° . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα μετρήσεων και υπολογισμών της Φάσης Γ
(σταθερή τιμή ισχύος: 150 watt).

Διαμόρφωση χώρου	Τιμές (V/m)
I	38,04
II	45,31
III	38,77
IV	40,59
V	42,87
VI	44,27
VII	36,83
VIII	39,76

6.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά τη **Φάση Α** έγιναν τρεις μετρήσεις με τις ίδιες συνθήκες θέσεων για κάθε τιμή ισχύος που είχε προγραμματιστεί εξ αρχής. Υπολογίζοντας τον Μ.Ο. των τιμών αυτών εντοπίστηκε αναμενόμενα πως όσο αυξάνεται η ρυθμιζόμενη ισχύ, τόσο αυξάνεται και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (Γραφ. 6.1). Σημειώνεται στο εν λόγω γράφημα με κόκκινη γραμμή η σύγκριση με την ελληνική ρύθμιση περί ορίων ασφαλούς έκθεσης (Πιν. 5, Παράρτημα 1) και κατά πόσο αυτή ξεπεράστηκε στη τιμή των 250 W και απόσταση 3 m. Τονίζεται πως το γράφημα παρουσιάζει τον Μ.Ο. και όχι τις πραγματικές πειραματικές μετρήσεις που τουλάχιστον στις περιπτώσεις των μεγάλων τιμών ισχύος, οι τιμές θα είχαν υπερβεί το όριο σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό. Αναλυτικότερα αποδίδεται το θέμα στη Φάση Β.

Εν συνεχεία υπολογίζοντας τις μέγιστες αποκλίσεις από τον Μ.Ο. που είχαν οι μετρήσεις, βρέθηκε πως στις χαμηλές τιμές ισχύος (100 W και 150 W) η συσκευή δεν παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις εν αντιθέσει με τις υψηλές

τιμές (200 W και 250 W) (Πιν 6.1). Φαίνεται πως η συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων δεν είναι αξιόπιστη όταν ο θεραπευτής θέλει να χορηγήσει υψηλές τιμές ισχύος. Κατά συνέπεια δεν αποδίδει τα μέγιστα και αναμενόμενα θεραπευτικά αποτελέσματα με ό,τι αυτό συνεπάγεται για τον ασθενή και τον φυσικοθεραπευτή.

Αυτή η έλλειψη αξιοπιστίας πιθανώς να οφείλεται σε ελλιπή συντήρηση του μηχανήματος. Προτείνεται ο συχνός έλεγχος των συσκευών διαθερμίας με κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό, ενδεχομένως μια φορά ανά έτος. Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα να εντοπίζονται οι ελλείψεις και να καλείται έπειτα ειδικός τεχνικός της κατασκευάστριας εταιρίας προς επαναρυθμίση της εκπομπής ακτινοβολίας.

Ο Συντελεστής της σχέσης ένδειξης της συσκευής και πραγματικής τιμής υπολογίστηκε για κάθε διαφορετική τιμή ισχύος και βρέθηκε σταθερός (Πιν. 6.1). Συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις της συσκευής *Narda SRM-3000* είναι αξιόπιστες αφού το πηλίκο του Μ.Ο. με τη τιμή ισχύος παραμένει σταθερό, ασχέτως των υψηλών αποκλίσεων της συσκευής διαθερμίας μικροκυμάτων.

Στη **Φάση Β** έγιναν μετρήσεις και υπολογισμοί της πυκνότητας ισχύος από διάφορες αποστάσεις και γωνίες με σταθερή ισχύ 250 W και συνεχή εκπομπή ενέργειας (Σχ. 6.2 – 6.7). Έγινε προσπάθεια δημιουργίας του χειρίστου δυνατού σεναρίου και τα ευρήματα παρουσιάστηκαν αναλυτικά στον Πίνακα 6.2. Τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου, που αντιστοιχούν στις τιμές πυκνότητας ισχύος (Πιν. 6.2), εντοπίστηκαν στην υπερδιπλάσια τιμή που ορίζουν τα όρια ασφαλούς έκθεσης (Παράρτημα 1 – Πιν. 5), ακόμα και στην απόσταση των 3 m. Συγκεκριμένα:

- Στη θέση απόστασης 3m και γωνίας 0° η πυκνότητα ισχύος μετρήθηκε $P_d=40 \text{ W/m}^2$ που αν μετατραπεί σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι

$E=122,8 \text{ V/m}$, ενώ το όριο ασφαλούς λειτουργίας στην Ελλάδα, για συχνότητα $f=2.450 \text{ MHz}$, είναι το $E=51 \text{ V/m}$.

Σε περιπτώσεις δε μικρότερης απόστασης, όπως π.χ. το $0,5 \text{ m}$ έφτασε η ένταση να ξεπερνά το όριο σχεδόν κατά 12 φορές και συγκεκριμένα:

- Στη θέση απόστασης $0,5\text{m}$ και γωνίας 0° η πυκνότητα ισχύος μετρήθηκε $P_d=965 \text{ W/m}^2$ που αν μετατραπεί σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι $E=603,16 \text{ V/m}$, ενώ το όριο ασφαλούς λειτουργίας στην Ελλάδα, για συχνότητα $f=2.450 \text{ MHz}$, είναι το $E=51 \text{ V/m}$.

Βέβαια τα παραπάνω ισχύουν στη περίπτωση που η έκθεση του φυσικοθεραπευτή ξεπερνά χρονικά σε συνέχεια τα 6 min , όπως αναφέρουν οι οδηγίες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων υποδεικνύουν διακυμάνσεις στις τιμές της έντασης όταν αλλάζει η γωνία και η απόσταση παραμένη σταθερή (Γραφ. 6.2α). Πρόκειται δηλαδή για τη δημιουργία ανομοιογενούς πεδίου με σημαντικές αποκλίσεις, τουλάχιστον όσον αφορά τη λειτουργία με τις συγκεκριμένες παραμέτρους. Η θεωρητική μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαπιστώνεται πειραματικά πως διαφέρει αρκετά από τη πραγματική (Γραφ. 6.2β, Πιν. 6.2), τουλάχιστον όταν εκπέμπεται σε κλειστούς χώρους όπως ένα εργαστήριο φυσικοθεραπείας, με τη παρουσία αντικειμένων. Φαίνεται τελικά πως δεν ισχύουν συγκεκριμένες αποστάσεις ασφαλείας που προτείνει ο κατασκευαστής και μερίδα της ερευνητικής αρθρογραφίας, αν ληφθούν υπόψη και τα ευρήματα της φάσης Α. Χωρίς ομοιογένεια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου δεν μπορούν να δωθούν συγκεκριμένες οδηγίες με αποστάσεις ασφαλούς έκθεσης από τα ηλεκτρόδια και τα καλώδια της συσκευής διαθερμίας. Μόνο οι επί τόπου μετρήσεις με ειδικό εξοπλισμό, μπορούν να κατευθύνουν με σχετική ασφάλεια τη συμπεριφορά του φυσικοθεραπευτή ως προς τη χρήση της συσκευής.

Κατά τη **Φάση Γ** έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών ενός φυσικοθεραπευτηρίου. Η συσκευή διαθερμίας ρυθμίστηκε σε ισχύ 150W (μέγιστη ισχύ συσκευής τα 250W) και μετρήθηκε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από απόσταση 3 m και γωνία 0°. Σημειώνεται πως κατά τη Φάση Α, η ρυθμιζόμενη ισχύ των 150W βρέθηκε να παρουσιάζει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα. Με τις παρεμβολές των αντικειμένων (κρεβάτι και καρέκλες) εντοπίστηκαν διαφορές στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία (Πιν 6.3).

Όσον αφορά τις διαμορφώσεις με κοινό κρεβάτι θεραπείας, τις μικρότερες και σχεδόν ίσες τιμές, είχαν οι θέσεις I και III. Φαίνεται πως στη θέση I το κρεβάτι με τα μεταλλικά του μέρη, συλλέγει αρκετό μέρος από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και συμπεριφέρεται ως ασπίδα για τον θεραπευτή. Το αντίθετο ισχύει για τον ασθενή που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το κρεβάτι και σε αυτή τη θέση εκτίθεται πολύ περισσότερο από ότι συνήθως. Στη θέση III το κρεβάτι είναι αρκετά μακριά από τη διαθερμία και συλλέγει τελικά τη μικρότερη ακτινοβολία που φθάνει μέχρι εκεί. Αυτή η θέση δεν είναι εύκολα εφαρμόσιμη στις πραγματικές συνθήκες θεραπείας λόγω της μεγάλης απόστασης. Αντιθέτως η θέση IV είναι αρκετά εφαρμόσιμη για διάφορες θεραπείες, όπως της Α.Μ.Σ.Σ. ή της Ο.Μ.Σ.Σ. Εδώ παρατηρείται αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που φθάνει τα 3 m απόσταση δηλαδή μεγαλύτερη έκθεση του θεραπευτή. Ακόμη μεγαλύτερη όμως έκθεση παρουσιάστηκε στη θέση II, όπου το κρεβάτι βρίσκεται κατά μήκος της εκπομπής και σε μέση απόσταση από τη συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων. Σε αυτή τη θέση καταλήγει να υπάρχει η μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητα για τον φυσικοθεραπευτή.

Οι διαμορφώσεις του χώρου με καρέκλες έδειξαν πως μεγαλύτερη ασφάλεια υπάρχει όταν αυτές τοποθετηθούν όπως στο Σχήμα 6.14 (VII) και μικρότερη όπως στο Σχήμα 6.13 (VI) (Πιν 6.3). Στη θέση VI υποθέτουμε πως οι καρέκλες έλκουν περισσότερη ενέργεια όταν βρίσκονται κοντά στη συσκευή και έτσι κατευθύνεται περισσότερη υπολοιπούμενη ακτινοβολία στον θεραπευτή που

βρίσκεται στην ίδια ευθεία. Όταν λείπει η καρέκλα της μέσης θέσης (Σχ.6.12 - V) παρατηρείται μείωση της έντασης, άρα η ενέργεια διαχέεται περισσότερο στο χώρο. Αν όμως αντί να αφαιρεθεί, προστεθεί μια καρέκλα και έχουμε τη θέση VIII, φαίνεται πως λειτουργεί ως ασπίδα του θεραπευτή αφού έλκουν ακτινοβολία και τα δικά της μεταλλικά στοιχεία και έτσι η ένταση μειώνεται ακόμη περισσότερο. Τελικά η θέση VII είναι και η λιγότερο επικίνδυνη πρόταση αφού λείπει η μεσαία καρέκλα και δεν κατευθύνεται πολύ ενέργεια προς το μέρος του θεραπευτή, ενώ παράλληλα υπάρχει και ασπίδα συλλογής ακτινοβολίας.

Γνωρίζουμε πως τα μεταλλικά στοιχεία πρέπει να αποφεύγονται και να μην χρησιμοποιούνται στους χώρους διαθερμίας. Δεν είναι όμως και πρακτικά δυνατό να «αποστειρωθεί» τέλεια ένας σύγχρονος χώρος από όλα αυτά. Από τη Φάση Γ συμπεραίνουμε πως η ορθή χρήση και τοποθέτηση των μεταλλικών στοιχείων μπορεί ακόμα και να προστατεύσει εν μέρει τον φυσικοθεραπευτή από την υπερβολική και ανεπιθύμητη έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη και προτείνεται η μελέτη ακτινοβολίας του χώρου θεραπείας από ειδικούς, για δημιουργία προτάσεων αλλαγών διαμόρφωσης, χρήσης και λήψης μέτρων προστασίας.

6.5 ΚΛΙΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρθηκαν έγκυρες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με τις επιπτώσεις στην υγεία που δύναται να έχει η χρήση των συσκευών διαθερμίας. Μερικές από τις σημαντικότερες είναι οι καρδιαγγειακές νόσοι, οι δυσλειτουργίες του ανδρικού κυρίως αναπαραγωγικού συστήματος, η σεξουαλική ενεργητική εξασθένιση, οι αποβολές εμβρύων, οι πρόωροι τοκετοί, τα ελλειποβαρή νεογνά και οι νευροψυχικές διαταραχές. Η λογική της εργασίας τείνει εμμέσως προς την ίδια κατεύθυνση και συμβάλλει παρουσιάζοντας

μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου από τη χρήση συσκευής διαθεμίας μικροκυμάτων. Μελλοντικά υπάρχει η δυνατότητα να επεκταθεί και να εφαρμοστεί σε περισσότερο εξελιγμένη μορφή, στα εργαστήρια φυσικοθεραπείας και έτσι να συμβάλει ακόμα περισσότερο και πιο άμεσα στη προστασία των επαγγελματιών. Μπορούν ακόμα να ενημερωθούν και να ευαισθητοποιηθούν γύρω από το θέμα, οργανισμοί και ιδρύματα που ασχολούνται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τις εφαρμογές της.

6.6 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

Η εργασία διεξήχθη ερευνώντας τη συμπεριφορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από μια συσκευή διαθεμίας μικροκυμάτων, την οποία διέθεσε το εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας Ι, του τμήματος Φυσικοθεραπείας του Τ.Ε.Ι. Πατρών (Εικ. α-δ, Παράρτημα 2). Στο μέλλον αναμένονται μετρήσεις από περισσότερες συσκευές διαφόρων κατασκευαστών ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και να αξιολογηθούν οι ασφαλέστερες ως προς τη χρήση. Επίσης η έρευνα θα πρέπει να επεκταθεί ομοίως και στη χρήση των συσκευών διαθεμίας βραχέων κυμάτων, κάτι που δεν επέτρεψε ο όγκος της παρούσης εργασίας. Θα έχει επιστημονικό ενδιαφέρον να συγκριθούν τα δύο είδη διαθεμίας ως προς την ακτινοβολία και τα πεδία που δημιουργούν. Ακόμη μεγαλύτερο ενδιαφέρον θα έχει μελλοντικά η μελέτη όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών θεραπευτικών συσκευών ενός φυσικοθεραπευτηρίου, ώστε να δοθεί συνολικά και πληρέστερα η εικόνα της έκθεσης.

Κατά την εξέλιξη της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρεις όμοιες καρέκλες και ένα κοινό κρεβάτι θεραπείας τα οποία παρεμβάλλονταν, με διάφορους σχηματισμούς και θέσεις, μεταξύ της συσκευής διαθεμίας και της συσκευής μέτρησης της ακτινοβολίας. Αναμένεται μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν

περισσότερα και διαφορετικά αντικείμενα, ώστε να διεξαχθούν ακόμη πιο χρήσιμα συμπεράσματα και κατά πόσο επηρεάζουν τα παραγώμενα πεδία.

Επίσης θα μπορούν οι ίδιες μετρήσεις να πραγματοποιούν σε εργαστήρια φυσικοθεραπείας και σε σύγχρονα κέντρα αποκατάστασης. Θα μπορεί έτσι ο κάθε επαγγελματίας υγείας να ενημερωθεί για τα επίπεδα και τις τυχόν διαφορές ακτινοβολίας που υπάρχουν στο χώρο εργασίας του και τελικά να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα διαμόρφωσης και προστασίας. Τέλος υπάρχει και η δυνατότητα επέκτασης των ορίων της εργασίας στην επιδημιολογική μελέτη των επιπτώσεων στην υγεία, που πιθανόν να υπάρχουν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως στόχο να απαντήσει σε ερωτήματα που αφορούν τη παρουσία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο σύγχρονο εργαστήριο φυσικοθεραπείας. Φιλοδοξεί δε να συμβάλει στη πληρέστερη κατανόηση θεμάτων ασφαλείας και των πιθανών κινδύνων που υπάρχουν λόγω της ευρείας χρήσης των συσκευών διαθερμίας. Παράλληλα ελέγχθηκε η τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού που καθορίζει η ελληνική νομοθεσία, όσον αφορά την εκπομπή και έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε αυτού του είδους τα πεδία.

Σύμφωνα με μετρήσεις συσκευής διαθερμίας μικροκυμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της Ηλεκτροθεραπείας Ι του τμήματος Φυσικοθεραπείας, του Τ.Ε.Ι. Πατρών (Εικ. α-δ, Παράρτημα 2) **παρατηρήθηκε έλειψη αξιοπιστίας** στις υψηλές τιμές πυκνότητας ισχύος και κατα συνέπεια εντοπίστηκε η επιτακτική **ανάγκη για συχνούς ελέγχους** τουλάχιστον των συσκευών του εργαστηρίου φυσικοθεραπείας, που παράγουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Στην εν λόγω συσκευή βρέθηκε πως κυρίως σε υψηλές τιμές ισχύος, η συσκευή υστερεί αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Το παραπάνω πιθανόν να προκλήθηκε είτε από χρόνια είτε από υπέρμετρη χρήση της συσκευής. Παράλληλα βρέθηκε πως σε αυτές τις τιμές η συσκευή **ξεπερνά τα όρια ασφαλούς λειτουργίας** που έχει υιοθετήσει και τροποποιήσει το ελληνικό κράτος.

Ενδεχομένως να απαιτείται ετήσιος **σχεδιασμός προγράμματος συντήρησης** της κάθε θεραπευτικής συσκευής σε κάθε εργαστήριο φυσικοθεραπείας. Αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετρήσεις των πεδίων και της παραγόμενης ενέργειας από ειδικευμένη ομάδα που διαθέτει και έχει τη δυνατότητα χειρισμού του κατάλληλου εξοπλισμού. Αφού γίνει η αξιολόγηση θα μπορεί να

καλείται ο τεχνικός της κατασκευάστριας εταιρίας για να επαναφέρει τη συσκευή στις εργοστασιακές της ρυθμίσεις. Έτσι ελαττώνονται τα φαινόμενα αλλοιωμένου θερμικού αποτελέσματος στον ασθενή και τελικά η αναποτελεσματική θεραπεία. Παράλληλα ο επαγγελματίας φυσικοθεραπευτής αφού θα γνωρίζει καλύτερα τη ποσότητα ενέργειας που χορηγεί, θα γνωρίζει και το ποσοστό έκθεσης του ιδίου.

Άλλες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν πιστοποιούν και ενισχύουν έρευνες (Martin CJ et al., 1990; Maccà I. et al., 2008) στο γεγονός πως **το πεδίο που σχηματίζεται κατά τη χρήση των συσκευών διαθερμίας μικροκυμάτων δεν είναι ομοιογενές**, ακόμη και όταν ο χώρος δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από άλλα παρεμβαλλόμενα αντικείμενα. Η ανομοιογένεια καθώς και η μεγάλη ανισοκατανομή ενέργειας του παραγόμενου πεδίου εντοπίστηκε και κατά τη σύγκριση των θεωρητικών τιμών, από τη γωνία 0° , με τις αντίστοιχες πειραματικές, μέσω στατιστικής μεθόδου και αντίστοιχης γραφικής παράστασης με διαφορετικές καμπύλες. Συνέπεια τούτου είναι πως **οι αποστάσεις ασφαλείας** που προτείνονται από τον κατασκευαστή **δεν ισχύουν** για όλες τις θέσεις και γωνίες. Υπάρχουν θέσεις σταθερής απόστασης όπου από διαφορετικές γωνίες παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου και πυκνότητα ισχύος. Η αξιόλογη αυτή ανομοιογένεια της κατανομής της ενέργειας, ακόμη και σε κοντινές αποστάσεις μπορεί να επηρεάζει μεν την θεραπεία της πάσχουσας περιοχής αλλά και να θέτει καθημερινά σε πιθανό κίνδυνο τον φυσικοθεραπευτή που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τη συσκευή.

Το τελευταίο πιστοποιείται και από το γεγονός ότι βρέθηκαν μεγάλες τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου και πυκνότητας ισχύος, ακόμα και σε απόσταση 3 m από τη συσκευή διαθερμίας μικροκυμάτων. Από συγκεκριμένες γωνίες και όταν η ισχύς είναι ρυθμισμένη σε μέγιστη τιμή (250W), οι τιμές βρέθηκαν υπερδιπλάσιες των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού, ενώ από απόσταση 0,5

m έως και δωδεκαπλάσιες αυτών. Συμπεραίνουμε πως ο φυσικοθεραπευτής θα πρέπει να λαμβάνει **κατάλληλα μέτρα προστασίας** αν θέλει να ελαχιστοποιήσει τις πιθανότητες κινδύνου από την σχεδόν καθημερινή του έκθεση. Σύμφωνα με τη δεοντολογία της υγείας δε μπορούν να θεωρηθούν ως μέτρα ασφαλείας η αποφυγή της παραμονής κοντά στον ασθενή, η απομάκρυνση στις μεγαλύτερες δυνατές αποστάσεις και η εξαναγκασμένη ρύθμιση της συσκευής σε χαμηλές τιμές ισχύος. Κοντολογίς, φαίνεται να εισέρχεται το θέμα της ακτινοπροστασίας και στα εργαστήρια φυσικοθεραπείας.

Επιπροσθέτως, κάθε χώρος αποκατάστασης περιλαμβάνει διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, έπιπλα όπως κρεβάτια και καρέκλες, αναλώσιμα και μη υλικά και άλλα. Δεδομένου πως κάθε υλικό παρουσιάζει, σύμφωνα με το υλικό κατασκευής, του διαφορετικό βαθμό απορρόφησης και ανανάκλασης, συμπεραίνουμε πως το κάθετι επηρεάζει την εκπομπή ακτινοβολίας στο χώρο. Αυτό είναι αναπόφευκτο διότι δεν είναι δυνατό να «αποστειρώσουμε» τον χώρο θεραπείας από όλα τα αντικείμενα, ακόμα και μόνο από τα μεταλλικά που προτείνει ο κατασκευαστής. Μετρήσεις της παρούσης εργασίας έδειξαν πως **έπιπλα όπως το κρεβάτι και η καρέκλες, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ακτινοβολούμενη ενέργεια αλλά** δεδομένης της παρουσίας τους, **να δραματίσουν μέχρι και προστατευτικό ρόλο** για τον επαγγελματία αποκατάστασης.

Ως γνωστόν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπει η κάθε συσκευή θεραπείας δεν γίνονται αισθητικά αντιληπτά. Έτσι, δεν είναι δυνατόν να διαμορφώσει κανείς το χώρο θεραπείας κρίνοντας εμπειρικά και αυθαίρετα. Αν μάλιστα ένας χώρος απαιτεί τη ταυτόχρονη χρήση συσκευών εκπομπής ακτινοβολίας γίνεται αντιληπτό πως η απορροφούμενη δόση δεν υπολογίζεται με απλό τρόπο. Προτείνεται η δημιουργία ειδικής μελέτης ακτινοβολίας σε κάθε χώρο θεραπείας από εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό. Με τον κατάλληλο εξοπλισμό μπορούν να γίνουν μετρήσεις των πεδίων επί τόπου και

τελικά να σχεδιάζεται η **ορθότερη οροθέτηση του χώρου**, όσο αυτό επιτρέπεται και είναι δυνατό. Επίσης να προτείνονται και να λαμβάνονται **κατάλληλα μέτρα προστασίας**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπως π.χ. η τοποθέτηση κουρτίνας μικρομεταλλικού πλέγματος, η παρεμβολή προστατευτικών πετασμάτων, η χρήση τροχήλατης μολυβδύαλου, σκίαστρου γονάδων, η θωράκιση με προστατευτική ποδιά και γάντια ισοδύναμου μολύβδου (ελάχιστο πάχος : 0,25 mm) και η χρήση δοσιμέτρων και ειδικών γυαλιών.

Επίσης μπορεί να προστατευτεί ολόκληρος ο χώρος με επένδυση μολύβδου για ακόμη πιο αποτελεσματική ακτινοπροστασία. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται ευρέως ως ακτινοπροστατευτικό υλικό λόγω του μεγάλου ατομικού του αριθμού και της μεγάλης του πυκνότητας. Εξασφαλίζει μεγάλη απορροφητικότητα ακόμη και σε μικρό πάχος, είναι εύκαμπτο υλικό και έχει μικρό κόστος. Έχει βρεθεί πως έχει μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας από το αλουμίνιο και το σκυρόδεμα, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως στα ακτινολογικά εργαστήρια.

Απαραίτητη προϋπόθεση της πραγματικής προστασίας των φυσικοθεραπευτών είναι η **δημιουργία ειδικής μελέτης της ακτινοβολίας**, για τον συνολικό χώρο του εργαστηρίου φυσικοθεραπείας ή του κέντρου αποκατάστασης. Με αυτή τη διαδικασία θα υπάρχει η δυνατότητα εξατομικευμένης θωράκισης των συσκευών και των ειδικών χώρων θεραπείας με διαθερμίες. Έτσι θα δημιουργηθούν οι τεκμηριωμένες συνθήκες ακτινοπροστασίας για τον σύγχρονο φυσικοθεραπευτή.

Υπάρχει δυνατότητα συνέχειας της ερευνητικής εργασίας στο μέλλον. Μπορούν κατά τον ίδιο τρόπο να οργανωθούν μετρήσεις σε συσκευές διαθερμίας μικροκυμάτων διαφορετικών κατασκευαστών και στη συνέχεια να συγκριθούν τα ευρήματα. Ομοίως να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε διαθερμίες βραχέων κυμάτων, σε συσκευές *laser* και σε συσκευές μαγνητοθεραπείας. Στα πλαίσια

αυτής της επέκτασης μπορούν να είναι μετρήσεις έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και πυκνότητας ισχύος κατά τη διάρκεια ταυτόχρονης λειτουργίας δύο ή και περισσότερων συσκευών, όπως συμβαίνει σε πολλά σύγχρονα κέντρα αποκατάστασης. Όσον αφορά τα παρεμβαλλόμενα αντικείμενα μπορούν μελλοντικά να συγκριθούν αποτελέσματα από μετρήσεις με περισσότερους συνδυασμούς επίπλων και υλικών μεταλλικών ή μη, που χρησιμοποιεί ο φυσικοθεραπευτής. Τέλος δύναται να επεκταθεί η έρευνα σε εργαστήρια φυσικοθεραπείας και κέντρα αποκατάστασης κατά τη διάρκεια πραγματικών συνεδριών, με τη φυσική παρουσία των φυσικοθεραπευτών και των ασθενών. Έτσι θα προκύπτει τελικά και η πληρέστερη απεικόνιση της πραγματικής έκθεσης των παρόντων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

1. **Albrecht RM & Landau E (1979)**. Microwave radiation: an epidemiologic assessment. *Rev Environ Health*. 3 (1): 43-58.
2. **Bassen HI, Kantor G, Ruggera PS & Witters DM (1978)**. Leakage in the proximity of microwave diathermy applicators used on humans or phantom models. HEW Publication (FDA) 79-8073.
3. **Bernhardt JH (1992)**. Non-ionizing radiation safety: radiofrequency radiation, electric and magnetic fields. *Phys Med Biol*. 37 (4): 807-44.
4. **Berman E, Kinn JB & Carter HB (1978)**. Observations of mouse fetuses after irradiation with 2.45 GHz microwaves. *Health Phys*. 35 (6): 791-801.
5. **Cleary SF (1980)**. Microwave cataractogenesis. *Proc IEEE* 68: 49-55.
6. **Cromie JE, Robertson VJ & Best MO (2002)**. Occupational health in physiotherapy: general health and reproductive outcomes. *Aust J Physiother*. 48 (4): 287-94.
7. **Delpizzo V & Jouner KH (1987)**. On the safe use of microwave and shortwave diathermy units. *Aust J Physiother*. 33 (3): 152-162.
8. **Di Nallo AM, Strigari L, Giliberti C, Bedini A, Palomba R & Benassi M (2008)**. Monitoring of people and workers exposure to the electric, magnetic and electromagnetic fields in an Italian National Cancer Institute. *J Exp Clin Cancer Res*. 27: 16.
9. **Garcia PA & Toledo BM (2009)**. Risk prevention against nonionizing radiation in physical therapy. *Fisioterapia*. 31 (4): 143-150.
10. **Gobbato F & Valentinuzzi C (1988)**. Exposure to radio waves in physiotherapy. *Med Lav*. 79 (1): 70-7.
11. **Gubéran E, Campana A, Faval P, Gubéran M, Sweetnam PM, Tuyn JW & Usel M (1994)**. Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists. *Scand J Work Environ Health*. 20 (5): 345-8.
12. **Hamburger S, Logue JN & Silverman PM (1983)**. Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: an exploratory study. *J Chronic Dis*. 36 (11): 791-802.
13. **Hocking B & Joyner K (1995)**. Re: "Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation". *Am J Epidemiol*. 141 (3): 273-4.

14. **Iskra S, McKenzie R & Cosic I (2010).** Factors influencing uncertainty in measurement of electric fields close to the body in personal RF dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. 140 (1): 25-33.
15. **Israel M, Vangelova K & Ivanova M (2007).** Cardiovascular risk under electromagnetic exposure in physiotherapy. *Environmentalist*. 27 (4): 539–543.
16. **Jaermann T, Suter F, Osterwalder D & Luechinger R (2011).** Measurement and analysis of electromagnetic fields of pulsed magnetic field therapy systems for private use. *J Radiol Prot*. 31 (1): 107-16.
17. **Källén B, Malmquist G & Moritz U (1982).** Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: is non-ionizing radiation a fetal hazard? *Arch Environ Health*. 37 (2): 81-5.
18. **Kheifets L, Afifi AA & Shimkhada R (2006).** Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environ Health Perspect*. 114 (10): 1532-7.
19. **Lancranjan I, Măicănescu M, Rafailă E, Klepsch I & Popescu HI (1975).** Gonadic function in workmen with long-term exposure to microwaves. *Health Phys*. 29 (3): 381-3.
20. **Larsen AI (1991).** Congenital malformations and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among Danish physiotherapists. *Scand J Work Environ Health*. 17 (5): 318-23.
21. **Larsen AI, Jensen AO, Skotte J & Istre O (1987).** Does non-ionizing radiation influence fetal development? *Ugeskr Laeger*. 149 (8): 518-20.
22. **Larsen AI, Olsen J & Svane O (1991).** Gender-specific reproductive outcome and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among physiotherapists. *Scand J Work Environ Health*. 17 (5): 324-9.
23. **Larsen AI & Skotte J (1991).** Can exposure to electromagnetic radiation in diathermy operators be estimated from interview data? A pilot study. *Am J Ind Med*. 19 (1): 51-7.
24. **Lau RW & Dunscombe PB (1984).** Some observations on stray magnetic fields and power outputs from short-wave diathermy equipment. *Health Phys*. 46 (4): 939-43.
25. **Lerman Y, Caner A, Jacobovich R & Ribak J (1996).** Electromagnetic fields from shortwave diathermy equipment in physiotherapy departments. *Physiotherapy*. 82 (8): 456-458.
26. **Lerman Y, Jacobovich R & Green MS (2001).** Pregnancy outcome following exposure to shortwaves among female physiotherapists in Israel. *Am J Ind Med*. 39 (5): 499-504.
27. **Li CY & Feng CK (1999).** An evaluation of radio frequency exposure from therapeutic diathermy equipment. *Ind Health*. 37 (4): 465-8.
28. **Maccà I, Scapellato ML, Carrieri M, Pasqua di Bisceglie A, Saia B & Bartolucci GB (2008).** Occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy departments. *Radiat Prot Dosimetry*. 128 (2): 180-90.

29. **Markov MS (2007).** Expanding use of pulsed electromagnetic field therapies. *Electromagn Biol Med.* 26 (3): 257-74.
30. **Martin CJ, McCallum HM & Heaton B (1990).** An evaluation of radiofrequency exposure from therapeutic diathermy equipment in the light of current recommendations. *Clin Phys Physiol Meas.* 11 (1): 53-63.
31. **Martin JC, McCallum HM, Strelley S & Heaton B (1991).** Electromagnetic fields from therapeutic diathermy equipment: A review of hazards and precautions. *Physiotherapy.* 77 (1): 3-7.
32. **Mcdowell AD & Lunt MJ (1991).** Electromagnetic Field Strength Measurements on Megapulse Units. *Physiotherapy.* 77 (12): 805-809.
33. **Mild KH (1980).** Occupational exposure to radio-frequency electromagnetic fields. *Proc. IEEE.* 68 (1): 12-17.
34. **Mjøen G, Saetre DO, Lie RT, Tynes T, Blaasaas KG, Hannevik M & Irgens LM (2006).** Paternal occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields and risk of adverse pregnancy outcome. *Eur J Epidemiol.* 21 (7): 529-35.
35. **Moseley H & Davison M (1981).** Exposure of physiotherapists to microwave radiation during microwave diathermy treatment. *Clin Phys Physiol Meas.* 2 (3): 217-21.
36. **Ouellet-Hellstrom R & Stewart WF (1993).** Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation. *Am J Epidemiol.* 138 (10): 775-86.
37. **Pope GD, Mockett SP & Wright JP (1995).** A survey of electrotherapeutic modalities: ownership and use in the NHS in England. *Physiotherapy* 81 (2): 82–91.
38. **Preece AW, Hand JW, Clarke RN & Stewart A (2000).** Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence? *Phys Med Biol.* 45 (9): 139-54.
39. **Ruggera PS (1980).** Measurements of emission levels during microwave and shortwave diathermy treatments. HEW Publication (FDA) 80-8119.
40. **Scandurra G (1989).** Levels of the electromagnetic field in the vicinity of therapeutic devices using radiofrequency and microwaves. *Med Lav.* 80 (4): 335-40.
41. **Shields N, Gormley J & O'Hare N (2001)** Short-wave diathermy in Irish physiotherapy departments. *Br J Ther Rehabil.* 8: 331–9.
42. **Shields N, Gormley J & O'Hare N (2002).** Short-wave diathermy: current clinical and safety practices. *Physiother Res Int.* 7 (4): 191-202.
43. **Shields N, O'Hare N, Boyle G & Gormley J (2003).** Development and application of a quality control procedure for short-wave diathermy units. *Med Biol Eng Comput.* 41 (1): 62-8.
44. **Silverman C (1973).** Nervous and behavioral effects of microwave radiation in humans. *Am J Epid* 97: 219-224.

45. **Silverman C (1980).** Epidemiologic studies of microwave effects. *Proc IEEE* 68: 78-84.
46. **Skotte J (1986).** Reduction of radiofrequency exposure to the operator during short-wave diathermy treatments. *J Med Eng Technol.* 10 (1): 7-10.
47. **Shah SG & Farrow A (2007).** Investigation of practices and procedures in the use of therapeutic diathermy: a study from the physiotherapists' health and safety perspective. *Physiother Res Int.* 12 (4): 228-41.
48. **Shields N, Gormley J & O'Hare N (2005).** Physiotherapist's perception of risk from electromagnetic fields. *Adv Physiother.* 7 (4): 170-175.
49. **Shields N, O'Hare N & Gormley J (2004).** An evaluation of safety guidelines to restrict exposure to stray radiofrequency radiation from short-wave diathermy units. *Phys Med Biol.* 49 (13): 2999-3015.
50. **Stuchly MA, Repacholi MH, Lecuyer DW & Mann RD (1982).** Exposure to the operator and patient during short wave diathermy treatments. *Health Phys.* 42 (3): 341-66.
51. **Taskinen H, Kyyrönen P & Hemminki K (1990).** Effects of ultrasound, shortwaves, and physical exertion on pregnancy outcome in physiotherapists. *J Epidemiol Community Health.* 44 (3): 196-201.
52. **Tofani S & Agnesod G (1984).** The assessment of unwanted radiation around diathermy RF capacitive applicators. *Health Phys.* 47 (2): 235-41.
53. **Tzima E & Martin CJ (1994).** An evaluation of safe practices to restrict exposure to electric and magnetic fields from therapeutic and surgical diathermy equipment. *Physiol Meas.* 15 (2): 201-16.
54. **Witters DM & Kantor G (1978).** Free space electric field mapping of microwave diathermy applicators. HEW Publication (FDA) 79-8074.
55. **Witters DM & Kantor G (1981).** An evaluation of microwave diathermy applicators using free space electric field mapping. *Phys Med Biol.* 26 (6): 1099-114.
56. **Yu G & Ng P (1988).** To investigate the general exposure effects of shortwave diathermy on the number of white blood cells in rats. *HKPJ.* 10: 34-42.

BIBAIA

1. **Andrä W & Nowak H (2007).** *Magnetism in medicine: A handbook*, 2Ed. Wiley-VCH.
2. **Barnes FS & Greenebaum B (2006).** *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*, 3Ed. CRC Press.

3. **Behrens BJ (2006).** Laboratory manual for physical agents: Theory and practice, 2Ed. F.A. Davis Company.
4. **Cameron MH (2006).** Physical agents in rehabilitation: From research to practice, 2Ed. Saunders.
5. **Czerski P, Ostrowski K, Silverman C, Shore JL, Suess MJ & Waldeskog B (1974) eds.** Biologic effects and health hazards of microwave radiation, Warsaw Poland: Polish Medical Publishers.
6. **Furse C, Christensen DA & Durney CH (2009).** Basic introduction to bioelectromagnetics, 2Ed. CRC Press.
7. **Habash R (2007).** Bioeffects and therapeutic applications of electromagnetic energy. CRC Press.
8. **Hitchcock RT & Patterson RM (1995).** Radio frequency and ELF electromagnetic energies - A handbook for health professionals. 259-338, Van Nostrand Reinhold, New York.
9. **Israel M & Tschobanoff P (2006).** Exposure to non-ionizing radiation of personnel in physiotherapy, Ayrapetyan SN & Markov MS, eds., Bioelectromagnetics. 367-376. Netherlands, Springer Press.
10. **Kitchen R (2001).** RF and microwave radiation safety, 2Ed. Newnes.
11. **Krawczyk A & Kubacki R (2008).** Electromagnetic field, health and environment: Proceedings of EHE'07, IOS Press.
12. **Morton ER (1916).** Essentials of medical electricity, 3Ed. St. Louis, C.V. Mosby Company.
13. **Omar A (2010).** Electromagnetic scattering and material characterization, Artech House.
14. **Pheasant ST (1984).** Anthropometrics : An Introduction for Schools and Colleges, British Standards Institution, London.
15. **Prentice WE (2001).** Therapeutic modalities for physical therapists, 2Ed. McGraw-Hill / Appleton & Lange.
16. **Robertson V, Ward A, Low J, Reed A (2006).** Electrotherapy Explained: Principles and Practice, 4Ed. Butterworth-Heinemann.
17. **Someda CG (2001).** Electromagnetic waves, 2Ed. CRC Press.
18. **Van Went JM (1955).** Ultrasonic and ultrashort waves in medicine. Elsevier Publishing Company.
19. **Ueno S (1996).** Biological effects of magnetic and electromagnetic fields. Springer.

20. **Ulaby FT, Michielssen E, Ravaioli U (2010).** Fundamentals of Applied Electromagnetics, 6Ed. Prentice Hall.
21. **Valone T (2000).** Bioelectromagnetic healing: A rationale for its use, 2Ed. Integrity Research Inst.
22. **Young HD (1992).** University physics – Extended version with modern Physics, 8Ed. Addison – Wesley publishing company, Inc.
23. **Young M (2009).** Essential physics for manual medicine. Churchill Livingstone.
24. **Γιόκαρης Π (1988).** Κλινική ηλεκτροθεραπεία. 3Ed. Αθήνα : Εκδόσεις Παρισιάνου Μαρία Γρ.
25. **Κουμαριανός Δ, Κουτρομπής Γ, Στασινός Σ (2001).** Ακτινοπροστασία, ΟΕΔΒ.
26. **Μοίρας Π (2006).** Φυσική ΙΙΙ – Κυματική. Αθήνα: Εκδόσεις Αρνός.
27. **Νάθαν ΚΕ (1998).** Ιατρική αποκατάσταση με Laser – Στους τομείς φυσιατρικής και φυσικοθεραπείας.
28. **Παπαϊωάννου Κ (1986).** Φυσική - Θεωρία και πράξη. Αθήνα: Εκδόσεις Βεργίνα.
29. **Τσιμπούκη ΘΚ (1991).** Εισαγωγή στη βασική θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, Τόμος ΙΙΙ – Διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος, Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
30. **Φραγκοράπτης Ε (2002).** Εφαρμοσμένη Ηλεκτροθεραπεία 2Ed. Θεσσαλονίκη.
31. **Ψαρράκος Κ, Κουφογιάννης Δ, Γκοτζαμάνη - Ψαρράκου, Μολυβδά - Αθανασοπούλου Ε, Σιούντας Α (2010).** Ιατρική φυσική – Τόμος Β, 4Ed. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

ΔΙΑΤΡΙΒΕΣ ΚΑΙ ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

1. **Karabetsos E, Basiouka M & Zissimopoulos A (2010).** Occupational exposure of physical therapists to radio frequency radiation - The situation in Greece. Bodrum, 10 -14 October 2010, Turkey.
2. **Silverman C (1973).** Epidemiologic approach to the study of microwave effects. New York, 9-10 April 1979, USA.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

1. **ACGIH (1976)**. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment American Conference of Governmental Industrial Hygienists. p 81.
2. **ACGIH (2004)**. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biol. Exp. Indices. Signature Publications.
3. **ACGIH (2006)**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLVs and BEIs based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists).
4. **ANHMRC (1985)**. Code of practice for the safe use of shortwave (radiofrequency) diathermy units Australian Government Publishing Service, Canberra.
5. **ANSI (1974)**. Safety level of electromagnetic radiation with respect to personnel American National Standard, ANSI C95.1-1974.
6. **ANSI (1982)**. American National Standards Institute, American national standards. Safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 300 kHz to 100 GHz (New York: IEEE, ANSI) C95-1-1982.
7. **BSI (1976)**. Specification for microwave ovens. particular requirements for testing, BS 3456: Section 2.33, (London: British Standards Institute).
8. **BSI (1976)**. Specification for safety of commercial electrical appliances using microwave energy for heating Foodstuffs. Requirements for testing ovens with or without additional forms of heating, BS 5175 (London: British Standards Institute).
9. **CSP (1992)**. Guidelines for the safe use of continuous shortwave therapy equipment. *Physiotherapy*. 78: 755–7.
10. **CSP (1994)**. Guidelines for the safe use of pulsed shortwave therapy equipment. *Physiotherapy*. 80: 233–5.
11. **EC (2004)**. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). Eighteenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC.
12. **DHW (1983)**. Safety Code 25 Shortwave Diathermy: Guidelines for Limiting Radiofrequency Exposure. Canadian Environment Health Directorate.
13. **ICNIRP (1998)**. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) *Health Phys.* 74: 494–522.
14. **IEEE (1992a)**. IEEE recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields-RF and microwave (C95.3-1991), IEEE, New York.

15. **IEEE (1992b)**. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz (C95.1-1991), IEEE, New York.
16. **IRPA/INIRC (1985)**. International Radiation Protection Association/ International Non-Ionizing Radiation Committee. Review of concepts, quantities, units, and terminology for non-ionizing radiation protection. Health Phys. 49 1329-62.
17. **MRC (1971)**. Medical Research Council 70/1314.
18. **NCRP (1986)**. National Council on Radiation Protection and Measurements Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields. Report No 86 (Bethesda MD: NCRP Publications).
19. **NRC (1981)**. Effects of microwave radiation the lens of the eye. Report by Working Group 35, Committee on Vision, Assembly of behavioral and Social Sciences. Washington DC: National Academy Press, (National Research Council).
20. **NRPB (1986)**. National Radiological Protection Board. Advice on the protection of workers and members of the public from the possible hazards of electric and magnetic fields with frequencies below 300 GHz: a consultative document. (London: HMSO).
21. **NRPB (1989)**. Guidance as to restrictions on exposures to time-varying electromagnetic fields and the 1988 recommendations of the International Non-ionizing Radiation Committee, report NRPB GS-11, HMSO.
22. **UNEP/WHO/IRPA (1981)**. United Nations Environment Program/World Health Organization/International Radiation Protection Association. Environmental Health Criteria 16. Radiofrequency and Microwaves (Geneva: WHO).

NΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΛΛΑΔΟΣ

1. **Προεδρικό διάταγμα (ΠΔ) 29/87**: «Όροι και προϋποθέσεις για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας του εργαστηρίου φυσικοθεραπείας».
2. **ΦΕΚ 1105/Β/06-09-2000**: «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά».
3. **ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006**: «Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις».

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

1. **Narda STS SRM-3000** Operating Manual, Narda Safety Test Solutions, Hauppauge, NY, USA.
2. **Radarmed 950+** Operating instructions, Enraf-Nonius B.V., Netherland, March 2000.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1. **American Conference of Industrial Hygienists:** <http://www.acgih.org/>
2. **American National Standards Institute:** <http://www.ansi.org/>
3. **British Standards Institute:** <http://www.bsigroup.com/>
4. **European Agency for Safety and Health at Work** - Electromagnetic fields and waves: <http://osha.europa.eu/el/legislation/directives/exposure-to-physical-hazards/osh-directives/directive-2004-40-ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council>
5. **Health Canada:** <http://www.hc-sc.gc.ca/index-eng.php>
6. **Institute of Electrical and Electronics Engineers:** <http://www.ieee.org/index.html>
7. **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection:** <http://www.icnirp.de/>
8. **Medical Research Council:** <http://www.mrc.ac.uk/index.htm>
9. **National Council on Radiation Protection & Measurements:** <http://www.ncrponline.org/>
10. **Nuclear Regulatory Commission:** <http://www.nrc.gov/>
11. **The Chartered Society of Physiotherapy:** <http://www.csp.org.uk/>
12. **World Health Organization** - Electromagnetic fields: <http://www.who.int/peh-emf/en/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Πίνακας 1

Ζώνες συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Διεθνής ονομασία	Συντομογραφία	Συχνότητα	Μήκος κύματος
sub-hertz	subHz	< 3 Hz	> 100,000 km
Extremely low frequency	ELF	3–30 Hz	100,000 – 10,000 km
Super low frequency	SLF	30–300 Hz	10,000 – 1000 km
Ultra low frequency	ULF	300–3000 Hz	1000 – 100 km
Very low frequency	VLF	3–30 kHz	100 – 10 km
Medium frequency	MF	300–3000 kHz	1 km – 100 m
High frequency	HF	3–30 MHz	100 – 10 m
Very high frequency	VHF	30–300 MHz	10 – 1 m
Ultra high frequency	UHF	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Super high frequency	SHF	3–30 GHz	100 – 10 mm
Extremely high frequency	EHF	30–300 GHz	10 – 1 mm

Πίνακας 2

Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος σε συχνότητες 100kHz-10MHz.

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές Ε.Ε. (mA/m ²)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών Ε.Ε. (mA/m ²)	60% τιμών Ε.Ε. (mA/m ²)
Πυκνότητα επαγόμενου ρεύματος	$f / 500$	$f / 714$	$f / 833$

Πίνακας 3

Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συχνότητες 100kHz-10GHz.

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές Ε.Ε. (W/kg)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών Ε.Ε. (W/kg)	60% τιμών Ε.Ε. (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0,08	0,056	0,048
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2	1,4	1,2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4	2,8	2,4

Πίνακας 4

Περιορισμοί της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συχνότητες 10-300GHz.

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές Ε.Ε. (mA/m ²)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών Ε.Ε. (W/m ²)	60% τιμών Ε.Ε. (W/m ²)
Πυκνότητα Ισχύος	10	7	6

Πίνακας 5

Το αριθμητικά μικρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου περιοχών συχνοτήτων με συντελεστή 70%.

Όριο (V/m)	Φασματική περιοχή (MHz)	
	Από	Έως
23,40	75	400
24,66	400	460
34,11	460	880
35,07	880	930
35,63	930	960
49,13	960	1.825
49,86	1.825	1.880
51,00	1.880	3.000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2



Εικόνα 3 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας Ι (α).



Εικόνα 2 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας Ι (β).



Εικόνα 3 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας Ι (γ).



Εικόνα 4 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο Ηλεκτροθεραπείας Ι (δ).