



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τον οφθαλμό: ποιοτικός έλεγχος τεχνολογίας Laser στην όραση

Ερωφίλη Τσιτσινάκη Α.Μ. 695

Χριστίνα Θεοδωρίδη Α.Μ. 620

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Ανδρικόπουλος

Αίγιο - 2016

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται για το τμήμα της Οπτικής και Οπτομετρίας, παραρτήματος του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος της Πάτρας, στο Αίγιο. Αφορά την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Laser σε σχέση με τον ανθρώπινο οφθαλμό. Η εργασία βασίζεται στην έρευνα που έγινε γύρω από αυτό το θέμα σε χειρουργούς οφθαλμιάτρους που κάνουν επεμβάσεις μέσα σε νοσοκομεία και κλινικές, οι οποίες έχουν συσκευές τύπου Laser και συνεργάζονται με αυτές μαζί με έναν αριθμό προσωπικού και με ασθενείς.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε όσους συνεργάστηκαν μαζί μας για μας βοηθήσουν να ολοκληρωθεί αυτή η έρευνα. Τα άτομα που συνέβαλλαν σε όλο αυτό ήταν οφθαλμιάτροι, προσωπικό που συνεργάζονταν με τους κατάλληλους οφθαλμιάτρους, όπως επίσης και υπεύθυνοι των νοσοκομείων που λειτούργησαν ως τα ενδιάμεσα πρόσωπα, ώστε να φτάσουν τα ερωτηματολόγια στους ιατρούς του νοσοκομείου. Ακόμα, υπήρξαν και ιατροί άλλων ειδικοτήτων, οι οποίοι μας συνέστησαν σε συναδέλφους τους οφθαλμιάτρους. Ιδιαίτερα, πρέπει να ευχαριστήσουμε τους ιατρούς, οι οποίοι παρόλο τον όγκο της εργασίας τους συνέβαλαν με διαφορετικό τρόπο στην ολοκλήρωση του ερωτηματολογίου μέσω τηλεφώνου και ηλεκτρονικής αλληλογραφίας.

Με αρκετή θέληση και υπομονή, μέσα σε αυτούς τους έξι μήνες χρειάστηκε να πάμε σε διάφορους εργασιακούς χώρους και να αντιμετωπίσουμε πολλούς ανθρώπους του επαγγέλματος. Αυτό σημαίνει ότι αντιμετωπίσαμε μία πληθώρα διαφορετικών χαρακτήρων, τις οποίες έπρεπε να αντιμετωπίσουμε με τον κατάλληλο τρόπο, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο σκοπός της έρευνάς μας. Εκτός από αυτό, με την ανάγκη να πηγαίνουμε σε αρκετούς και διαφορετικούς εργασιακούς χώρους που ήταν για την ίδια ειδικότητα, παρατηρήσαμε την διαδικασία που ακολουθούσαν για την συντονισμένη λειτουργία τους και την τήρηση του προγράμματός τους.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή του τμήματός μας, ο οποίος ήταν επόπτης της πτυχιακής εργασίας μας, για τις πληροφορίες και τη βοήθεια που μας έδωσε, καθώς και για τις οδηγίες, ώστε να προχωράμε σωστά στην έρευνα και να ολοκληρωθεί στην ώρα της όλη αυτή η προσπάθεια.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την αλληλεπίδραση των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών σε σχέση με τον ανθρώπινο οφθαλμό. Η λειτουργία του οφθαλμού και οι διάφοροι τύποι ακτινοβολιών (ιοντίζουσες και μη-ιοντίζουσες) παρουσιάζουν πολλά διαφορετικά φαινόμενα που κάποιες φορές μπορεί να βλάψει τους οφθαλμούς και όλη την υγεία ενός ανθρώπου και κάποιες άλλες φορές μπορεί να αποδειχθεί σωτήρια. Για την είσοδο των ακτινοβολιών αυτών στην Φυσική Ιατρική δεν χρειάστηκε παρά μόνο μία ανακάλυψη, πάνω στην οποία αποδείχθηκε η χρησιμότητά της και το έργο που επρόκειτο να έδινε. Με το πέρας των χρόνων, η ιατρική εξελίχθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό και έφτασε η στιγμή που οι ακτινοβολίες θα έμπαιναν στην καθημερινότητα της ιατρικής πρακτικής με πρωτόκολλα και κανονισμούς, ώστε να δίνουν στους ασθενείς καλύτερη υγεία, όπως στην παρούσα έρευνα που αφορά τις συσκευές τύπου Laser.

Αρχικά θα περιγραφεί ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο γύρω μας. Ο ανθρώπινος οφθαλμός λειτουργεί όπως μία φωτογραφική μηχανή. Δηλαδή, από τη στιγμή που θα υπάρξει ένα οπτικό ερέθισμα θα ακολουθήσει μια συγκεκριμένη διαδικασία μέχρι να υπάρξει σχηματισμός ειδώλου. Στη συνέχεια με τις κατάλληλες διεργασίες, μέσω του οπτικού νεύρου, θα καταλήξει σε μία καθαρή, ευκρινής εικόνα στον εγκέφαλο. Στη συνέχεια θα υπάρξει λεπτομερή περιγραφή του τι είναι ακτινοβολία και σε τι χωρίζεται (ιοντίζουσες και μη-ιοντίζουσες). Μετά αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η ακτινοβολία των συσκευών τύπου Laser και ποια είναι τα σωστά μέτρα για να υπάρχει προφύλαξη από τον κίνδυνο ακτινοβολιών είτε ο γιατρός και το προσωπικό είτε οι ασθενείς. Μέσα από μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε μέσω ερωτηματολογίων, ερωτήθηκαν αρκετοί γιατροί για την ποιότητα των συσκευών Excimer Laser, καθώς και για κάποιους κανονισμούς που πρέπει να τηρούνται.

Περιεχόμενα

Πρόλογος – Ευχαριστίες	ii
Περίληψη	iii
Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1: Οφθαλμός και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	12
1.1 Ανατομία οφθαλμού	12
1.1.1 Ο οφθαλμικός βολβός.....	13
1.1.2 Οι οφθαλμικοί χιτώνες.....	14
1.1.3 Τα διαθλαστικά μέσα του βολβού.....	14
1.1.4 Οι μύες του οφθαλμικού κόγχου:.....	14
1.1.5 Τα επικουρικά μόρια.....	15
1.2 Φυσιολογία οφθαλμού.....	15
1.2.1 Υδατοειδές υγρό.....	15
1.2.2 Δακρυϊκή συσκευή	15
1.2.3 Κερατοειδής	15
1.2.4 Κρυσταλλοειδής φακός	16
1.2.5 Αμφιβληστροειδής χιτώνας	16
1.2.6 Τα αντανάκλαστικά της κόρης.....	16
1.2.7 Η κινητικότητα του οφθαλμού	16
1.2.8 Οπτικό νεύρο και οπτικός φλοιός.....	16
1.3 Η Ακτινοβολία.....	17
1.4 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	18
1.5 Ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	19
1.5.1 Η ακτινοβολία άλφα.....	20
1.5.2 Η ακτινοβολία βήτα.....	20
1.5.3 Οι ακτινοβολία γάμμα και οι ακτίνες-Χ.....	20
1.5.4 Η ακτινοβολία νετρονίων	20
1.6 Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	20
1.7 Πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας.....	21
1.7.1 Ορατό φως.....	21
1.7.2 Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	22
1.7.3 Ραδιοκύματα	22
1.7.4 Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF)	22
1.8 Φυσικές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων.....	23

1.9 Ανθρωπινή Δραστηριότητα και Πηγές μη-ιοντίζοντας ακτινοβολίας.....	23
1.10 Επιπτώσεις μη ιοντίζοντας ακτινοβολίας στον άνθρωπο	24
1.11 Θερμικές και μη-θερμικές επιδράσεις.....	24
1.11.1 Θερμικές επιδράσεις	24
1.11.2 Μη-θερμικές επιδράσεις	24
1.12 Επιπτώσεις μη ιοντίζοντας ακτινοβολίας στον άνθρωπο	25
1.12.1 Ακτινοβολία (ELF).....	25
1.12.2 Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μικροκυμάτων (MW).....	25
1.12.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία(IR).....	26
1.12.4 Ορατή ακτινοβολία	26
1.12.5 Υπεριώδης ακτινοβολία(UV).....	27
1.12.6 Ακτινοβολία λέιζερ	27
1.12.7 Τα κινητά τηλέφωνα	27
1.12.8 Οπτική Ακτινοβολία	28
1.12.9 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μικρό Μήκος Κύματος	28
1.12.10 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μεγάλο Μήκος Κύματος.....	29
1.13 Κανονισμοί προστασίας από μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία	29
1.14 Ακτινοπροστασία από μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες.....	30
1.15 Νομοθετικό Πλαίσιο και μέτρα προστασίας από την ακτινοβολία Laser.....	30
1.16 Διεθνή όρια ασφαλείας	32
1.17 Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο.....	34
Κεφάλαιο 2: Laser και βιολογικές επιδράσεις του οφθαλμού.....	36
2.1 Ιατρική Φυσική του 20ου αιώνα.....	36
2.1.1 Ακτινοβολίες στην Ιατρική Φυσική.....	37
2.2 Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες	37
2.3 Τεχνητές πηγές ακτινοβολιών και η χρήση τους από τον άνθρωπο	38
2.3.1 Βιολογικές επιδράσεις	38
2.4 Μη Ιοντίζουσες ακτινοβολίες.....	39
2.4.1 Πηγές μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών.....	39
2.5 Βιολογικές επιδράσεις	39
2.6 Laser.....	39
2.7 Απορρόφηση, Αυθόρμητη εκπομπή, Εξαναγκασμένη εκπομπή	40
2.7.1 Απορρόφηση	40
2.7.2 Αυθόρμητη εκπομπή.....	40

2.7.3 Εξαναγκασμένη Εκπομπή.....	40
2.7.4 Δημιουργία δέσμης laser	40
2.8 Χαρακτηριστικά Ακτινοβολίας Laser.....	41
2.8.1 Μονοχρωματικότητα.....	41
2.8.2 Κατευθυντικότητα.....	42
2.8.3 Φωτεινότητα (Brightness).....	42
2.8.4 Συμφωνία (Χρονική - Χωρική)	42
2.9 Ταξινόμηση των laser βάσει επικινδυνότητας.....	42
2.9.1 Κατηγορία 1 (Class1).....	43
2.9.2 Κατηγορία 1M (Class 1M)	43
2.9.3 Κατηγορία 2 (Class 2)	43
2.9.4 Κατηγορία 2M (Class 2M)	43
2.9.5 Κατηγορία 3R(Class 3R)	43
2.9.6 Κατηγορία 3B (Class 3B).....	44
2.9.7 Κατηγορία 4 (Class 4).....	44
2.10 Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας.....	44
2.10.1 Continuous Wave Lasers- CW (Laser συνεχούς λειτουργίας)	44
2.10.2 Single Pulsed Lasers (Laser μονού παλμού).....	44
2.10.3 Single Pulsed Q-Switched (Laser μετατροπής Q):.....	44
2.10.4 PulsedLasers (Παλμικά Laser):	44
2.10.5 Mode Locked Lasers (Laser εγκλείδωσης ρυθμού):.....	45
2.11 Ανάλογα με το ενεργό μέσο.....	45
2.11.1 Solid State Laser (Laser στερεάς κατάστασης):	45
2.11.2 Semiconductor Laser (Laser ημιαγωγών ή διοδικά):	45
2.11.3 Gas Laser (Laser αερίων):	45
2.11.4 Excimer Laser (Laser διεγερμένων διμερών):.....	45
2.11.5 Chemical Laser (χημικά Laser):	45
2.11.6 Dye Laser (Laser χρωστικών):	45
2.11.8 Laser ελευθέρων ηλεκτρονίων:	46
2.12 Βιολογικές επιδράσεις οφθαλμού.....	46
2.12.1 Ο Κερατοειδής χιτώνας.....	46
2.12.2 Ο φακός	47
2.12.3 Η ωχρά κηλίδα	47
2.13 Βλεφάρισμα και αντίδραση αποστροφής.....	47

2.14 Μετάδοση και απορρόφηση ακτινοβολίας Laser	47
2.14.1 Η υπεριώδης-B και υπεριώδης-C (100-315 nm)	47
2.14.2 Η υπεριώδης-A (315 έως 400 nm).....	47
2.14.3 Ορατό Φως και υπέρυθρο-A (400 έως 1400 nm).....	47
2.14.4 Υπέρυθρο-B και υπέρυθρο-C (1.400 - 1,0 X 10 ⁶ nm).....	48
2.15 Σημάδια έκθεσης του οφθαλμού	48
2.16 Μηχανισμοί που προκαλούν βλάβη στον οφθαλμό	49
2.16.1 Ηλεκτρομηχανική και ακουστική βλάβη.....	49
2.17 Φωτοεκτομή (Photoablation)	49
2.18 Θερμική βλάβη	49
2.19 Φωτοχημική βλάβη	50
Κεφάλαιο 3: Ποιοτικός Έλεγχος Συσκευών Laser – Έρευνα	51
Εισαγωγή	51
3.1 Διαθλαστικές Ανωμαλίες Οφθαλμού	52
3.1.1 Μυωπία	52
3.1.2 Υπερμετρωπία	52
3.1.3 Αστιγματισμός	52
3.2 Διαθλαστική Χειρουργική	52
3.3 Προϋποθέσεις για διαθλαστική χειρουργική	53
3.4 Λειτουργία Excimer Laser	53
3.4.1 PRK.....	53
3.4.2 LASIK.....	53
3.4.3 LASEK.....	53
3.4.5 EPI-LASIK / E-LASIK	54
3.4.6 LASIK EXTRA	54
3.4.7 Custom LASIK.....	54
3.4.8 SMILE	54
3.5 Ερωτηματολόγια – Έρευνα	54
3.5.1 Τρόπος Παράδοσης	54
3.5.2 Τρόπος Συγκέντρωσης - Τρόπος Ανάλυσης.....	58
3.6 Αποτελέσματα Έρευνας	59
Κεφάλαιο 4: Κανονισμοί Προστασίας από την Ακτινοβολία Laser	71
4.1 Προστασία προσωπικού	71
4.1.1 Ασθενής.....	71

4.1.2 Χειρουργοί.....	71
4.1.3 Βοηθοί Χειρουργείου	71
4.1.4 Συνοδοί-Παρατηρητές	72
4.1.5 Προσωπικό Συντήρησης-Επιδιόρθωσης	72
4.2 Όρια έκθεσης – MPE.	72
4.2.1 Παράμετροι που επηρεάζουν τον υπολογισμό των MPE.....	73
4.2.2 Μεθοδολογία προσδιορισμού δόσης ακτινοβολίας MPE.	74
4.3 Μέτρα Μηχανικού Ελέγχου Ασφαλείας	75
4.3.1 Έννοιες των Μέτρων Μηχανικού Ελέγχου Ασφαλείας.....	75
4.3.2 Σχεδιασμός Συστήματος Laser και Απαιτούμενα Χαρακτηριστικά Ασφαλείας.....	75
4.3.3 Το προστατευτικό περίβλημα (ProtectiveHousing)	76
4.3.4 Το σύστημα παροχής δέσμης (Beam Delivery System).....	76
4.4 Λειτουργία, Συντήρηση και Επισκευή	77
4.6 Διακόπτης-Κλειδί Γενικού Ελέγχου (Key-Switched Master Control)	79
4.7 Απομακρυσμένος Έλεγχος Συνδέσμου Αλληλασφάλισης (RemoteInterlock (Control) Connector)	79
4.8 Οπτικά Προβολής	80
4.8.1 Απαιτήσεις	80
4.8.2 Φιλτράρισμα Μη-ορατών Δεσμών.....	80
4.8.3 Χρωματική Απόδοση (ColorRendering)	80
4.8.4 Οφθαλμικές Αναδρομές (Ophthalmic Flashbacks).....	81
4.8.5 Βοηθητικά Οπτικά.....	81
4.9 Εξασθενητής Δέσμης (Beam Attenuator)	81
4.10 Μετρητές Ισχύος	82
4.11 Δείκτης Εκπομπών Δέσμης	83
4.12 Διακόπτης Προστασίας	83
4.13 Σήμανση (Labeling)	84
4.14 Εστιασμένες Δέσμες Και ΝΗΖ(NominalHazardZone)	85
4.15 Σχεδιασμός Χώρου Εργασίας Και Ελεγχόμενες Περιοχές	85
4.16 Προειδοποιητική Σήμανση και Φωτισμός	85
4.17 Διαρροές Δέσμης	85
4.18 Έλεγχος Ανακλάσεων	86
4.18.1 Τράπεζα, Καμπίνα Λειτουργίας και Επιφάνειες	86
4.18.2 Ερμάρια και Επιφάνειες Τοίχων στο Χειρουργικό Δωμάτιο	87

4.19 Σφάλματα Λειτουργικού και Ηλεκτρονικών	87
4.20 Διαχειριστικά Μέτρα Ελέγχου	87
4.20.1 Στοιχεία Ασφάλειας Laser	87
4.21 Καθήκοντα υπεύθυνου ασφάλειας laser	88
4.22 Επιτροπή ασφάλειας laser	89
4.23 Κατάρτιση-Εκπαίδευση Σε Θέματα Ασφαλείας Laser	89
4.24 Διαδικασίες ασφάλειας λέιζερ (LSP) για κλινική χρήση	90
4.24.1 LSP # 1	90
4.24.2 LSP # 2	91
4.24.3 LSP # 3	91
4.24.4 LSP # 4	91
4.24.5 LSP # 5	92
4.24.6 LSP # 6	92
4.24.7 LSP # 7	92
4.24.8 LSP # 8	92
4.25 Προσωπικός προστατευτικός εξοπλισμός	93
4.25.1 Προστασία Οφθαλμού	93
4.25.2 Καθορισμός Των Προστατευτικών Οφθαλμού.....	93
4.25.3 Βλάβη Φίλτρων	94
4.25.4 Άνεση και Εφαρμογή.....	94
4.25.5 Φίλτρο Δοκιμές.....	94
4.25.6 Προστασία από το Λευκό Φως.....	95
4.25.7 Τρόποι Κατασκευής	95
4.26 Προστασία Δέρματος	95
4.27 Προστασία Αναπνευστικού Συστήματος	96
4.27.1 Διαθέσιμες Χειρουργικές Μάσκες.....	96
Συμπέρασμα	97
Βιβλιογραφία	98

Εισαγωγή

Το περιεχόμενο της εργασίας σχετίζεται με μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τις συσκευές Laser που υπάρχουν στους χώρους των χειρουργείων, στους οποίους πραγματοποιούνται οφθαλμολογικές επεμβάσεις. Πιο συγκεκριμένα θα μιλήσουμε για τις διαθλαστικές επεμβάσεις που χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν διαθλαστικές ανωμαλίες, όπως η μυωπία, η υπερμετρωπία και ο αστιγματισμός. Αυτά διορθώνονται με το Excimer Laser, το οποίο περιέχει πολλές μεθόδους και τεχνικές που χρησιμοποιούνται, ώστε να δώσουν ένα καλύτερο αποτέλεσμα στον κάθε ασθενή. Οι κύριες τεχνικές είναι το PRK και το LASIK, από τις οποίες έχουν εξελιχθεί κάποιες λίγο πιο εξεζητημένες που βοηθούν κάποιες ανάγκες ασθενών (LASEK, CUSTOM LASIK και άλλες).

Για να μπορέσει να υλοποιηθεί η έρευνα μοιράστηκε ένα ερωτηματολόγιο σε χειρουργούς οφθαλμιάτρους που περιείχε δώδεκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που ήταν απλές και κατανοητές. Η συμπλήρωσή τους δεν απαιτούσε πάνω από πέντε λεπτά. Οι ερωτήσεις αφορούσαν μόνο εκείνους, διότι εκείνοι έχουν την ειδική κατάρτιση, ώστε να πραγματοποιούν τέτοιου είδους μικροεπεμβάσεις. Οι ερωτήσεις αφορούσαν κάποια προσωπικά στοιχεία, αλλά όχι το όνομά τους ή τον τόπο εργασίας τους, για να παραμείνει ανώνυμο. Εκτός από τα προσωπικά στοιχεία περιείχε και ερωτήσεις που αφορούσαν την ακτινοπροστασία του προσωπικού και των ασθενών, καθώς και την τήρηση πρωτοκόλλων για τη σωστή λειτουργία των συσκευών Laser.

Για να μοιραστεί το ερωτηματολόγιο χρειάστηκε να επικοινωνήσουμε με χειρουργούς οφθαλμιάτρους εντός νομού Αττικής και να κανονίσουμε κάποιου είδους επικοινωνία (ραντεβού στον προσωπικό χώρο, email ή τηλεφωνικώς) και να το συμπληρώσουν. Για να επιτευχθεί αυτή η επικοινωνία και να απαντήσουν έπρεπε να κρατάμε μία πολύ σοβαρή στάση και με υπομονή να τους εξηγούμε ακριβώς ποιες είμαστε και τι έχουμε ετοιμάσει για την εργασία μας. Έπειτα, έπρεπε να συγκεντρώσουμε όλο το υλικό και να το μετατρέψουμε σε μορφή διαγραμμάτων για να το αναλύσουμε και να εξάγουμε τα συμπεράσματα. Ωστόσο, μέχρι να φτάσουμε στο ερευνητικό μέρος της εργασίας μας θα πρέπει να εξηγηθούν πολλά πράγματα πιο πριν, όπως βασικές έννοιες της ανατομίας του οφθαλμού, της ακτινοβολίας και τέλος των πρωτοκόλλων και των κανονισμών που χρειάζονται μέσα σε ένα χειρουργείο.

Αρχικά γίνεται μία λεπτομερή αναφορά στην ανατομία, τη φυσιολογία και το πώς βλέπει ένας ανθρώπινος οφθαλμός. Για να φτάσει στον εγκέφαλο μία καθαρή εικόνα με μεγάλη ευκρίνεια και χρώματα θα πρέπει να γίνει μία διαδικασία, η οποία όσο περίπλοκη και αν φαίνεται, γίνεται συνεχώς στον άνθρωπο. Από ένα φωτεινό ερέθισμα, μία φωτεινή ακτίνα περνά τα διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού και καταλήγει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Από εκεί μέσω του οπτικού νεύρου το ερέθισμα γίνεται νευρική ώση, η οποία καταλήγει στον οπτικό φλοιό στο πίσω μέρος του εγκεφάλου. Πολλά ενδιάμεσα ανατομικά μέρη του οφθαλμού λειτουργούν ασταμάτητα για να δίνεται ένα τέτοιο αποτέλεσμα. Ωστόσο, μια τέλεια φυσιολογική όραση δεν είναι τόσο συχνό φαινόμενο, αλλά με την εξέλιξη της ιατρικής και της τεχνολογίας μαζί με τη φυσική μπορούν και αποκαθιστούν τέτοιου είδους προβλήματα.

Στη συνέχεια σειρά έχει η ακτινοβολία. Θα αναφερθεί τι είναι η ακτινοβολία και σε τι χωρίζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ακτινοβολία είναι η εκπομπή που γίνεται της ατομικής ενέργειας ή του σωματιδίου από τον ασταθή πυρήνα των ατόμων, με σκοπό να γίνει σταθερός. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται στην ιοντίζουσα και στη μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία. Ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η παραγόμενη ενέργεια από τα ραδιενεργά υλικά, τα οποία είναι φτιαγμένα από τον άνθρωπο. Αυτές, όταν γίνεται αλληλεπίδραση με την ύλη προκαλούνται ιοντισμοί και περιλαμβάνονται οι ακτίνες α, οι ακτίνες β, οι ακτίνες γάμμα, οι ακτίνες χ, τα πρωτόνια, τα νετρόνια και σωματίδια από την κοσμική ακτινοβολία και τις πυρηνικές αντιδράσεις. Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι αυτή που δεν έχει αρκετή ενέργεια για την απόσπασση ηλεκτρονίων από τα άτομα. Σε αυτή τη μορφή ακτινοβολίας υπάγεται το ορατό φως, τα μικροκύματα ή τα ραδιοκύματα, τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναφερθούν οι κανόνες προστασίας από την ακτινοβολία και ποια μέτρα πρέπει να τηρούνται από τους ειδικούς, από τους ιατρούς και γενικά από όλο το προσωπικό που βρίσκεται μέσα σε μία επέμβαση. Βέβαια, πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη προστασία και για τον ίδιο τον ασθενή. Αυτό γίνεται για μην υπάρξει σε καμία από τις δύο πλευρές (προσωπικό και ασθενείς) κάποια έκθεση σε ακτινοβολία από τις συσκευές Laser. Ακόμα, αναφέρονται τα μέτρα, οι κανονισμοί και τα πρωτόκολλα για τις ίδιες τις συσκευές Laser που υπάρχουν μέσα στο χώρο του χειρουργείου. Αυτό που τονίζεται πάντα είναι η τήρηση των κανονισμών και η παρακολούθηση των μηχανημάτων από ειδικούς τεχνικούς σε τέτοια ζητήματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς και μετά από κάθε χειρουργείο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ασφαλής χρήση και η ασφαλής αντιμετώπιση από τον χειρουργό οφθαλμίατρο απέναντι στον ασθενή και το προσωπικό.

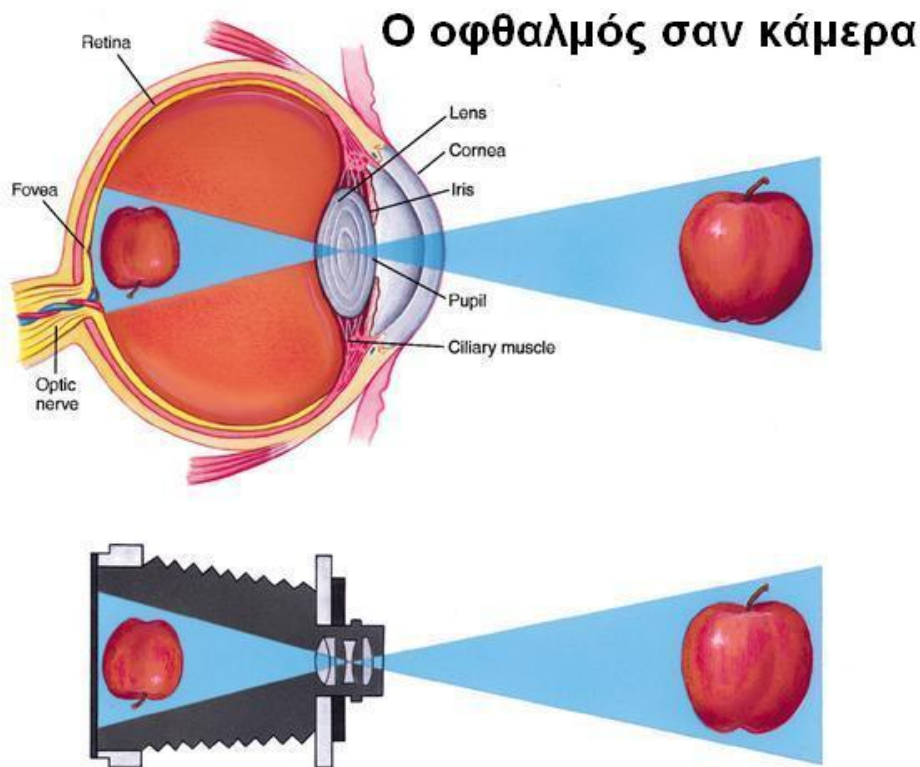
Κεφάλαιο 1: Οφθαλμός και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

1.1 Ανατομία οφθαλμού

Ο οφθαλμός είναι ένα μέσο, με το οποίο ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί τον κόσμο γύρω του. Με την όραση υπάρχει η αντίληψη του φωτός και των αντικειμένων γύρω μας, καθώς επίσης μπορούμε να ξεχωρίζουμε και διάφορα χρώματα. Όλα αυτά δίνουν την δυνατότητα σε ένα άτομο να έχει την αίσθηση του πού είναι και τι κινείται στο χώρο που βρίσκεται.

Η πορεία των οπτικών ερεθισμάτων προς τα διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού, μέχρι και την ωχρά κηλίδα, μπορεί να παρομοιαστεί με τη λειτουργία μιας φωτογραφικής μηχανής και είναι η εξής: Οι φωτεινές ακτίνες του οπτικού ερεθίσματος προσπίπτουν στον οφθαλμό. Από εκεί περνούν από τα διαθλαστικά μέσα, δηλαδή τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, το φακό και το υαλώδες σώμα και καταλήγουν στην πίσω πλευρά του αμφιβληστροειδή και πιο συγκεκριμένα στην ωχρά κηλίδα. Η ωχρά κηλίδα είναι η πιο φωτοευαίσθητη περιοχή. (Σχήμα 1).

Ο λόγος που υπάρχουν τα οπτικά ερεθίσματα είναι τα κωνία και τα ραβδία. Όταν εισέρχεται στον οφθαλμό μία οπτική ακτίνα, τα κωνία και τα ραβδία ερεθίζονται και προκαλούν νευρικά σήματα. Σε αυτό βοηθούν οι φωτοχημικές διεργασίες και οι βιοηλεκτρικές μεταβολές. Από αυτά, μέσω του οπτικού νεύρου μεταφέρονται στην οπτική οδό και από εκεί στον εγκέφαλο, όπου και δημιουργούνται οι εικόνες με αποτέλεσμα να βλέπουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα.



Σχήμα 1: Ο μηχανισμός της όρασης

1.1.1 Ο οφθαλμικός βολβός

Ο βολβός του οφθαλμού, που είναι το όργανο της όρασης, έχει σχήμα σφαιρικό. Για να είναι πιο εύκολο να περιγραφεί ανατομικά, ο βολβός του οφθαλμού αποτελείται από δύο πόλους, τον πρόσθιο και τον οπίσθιο. Οι δύο πόλοι ενώνονται με το γεωμετρικό άξονα, ο οποίος συμπίπτει με τον οπτικό άξονα. Έχει βάρος 6,5-7,5 gr. Οι διαστάσεις του είναι:

- Προσθιοπίσθια διάμετρος 24 mm.
- Κάθετη διάμετρος 23 mm.
- Οριζόντια διάμετρος 23,5 mm.

Η τοποθεσία του είναι μέσα στην οφθαλμική κοιλότητα. Μέσα εκεί περιβάλλονται και τα υπόλοιπα στοιχεία του οφθαλμού. Ακόμα, περιβάλλεται από τρεις χιτώνες και έχει τρεις θαλάμους, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

Οι τρεις χιτώνες είναι οι εξής:

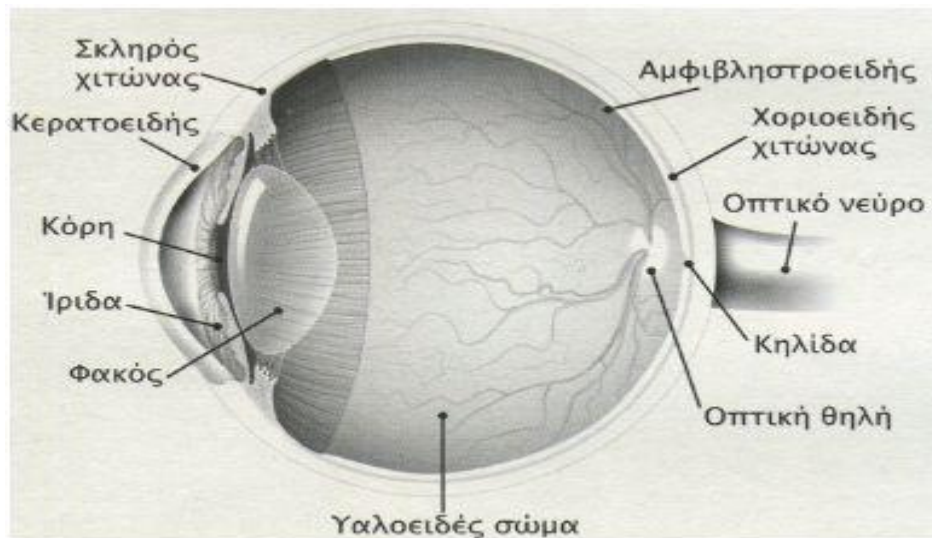
- ο έξω ή ινώδης που αποτελείται από τον κερατοειδή και τον σκληρό χιτώνα.
- ο μέσος ή αγγειώδης που αποτελείται από την ίριδα, το ακτινωτό σώμα, και τον χοριοειδή χιτώνα.
- ο έσω ή νευρικός που αποτελείται από το επιθήλιο του ακτινωτού σώματος και τον αμφιβληστροειδή.

Οι τρεις χώροι είναι οι εξής :

- ο πρόσθιος θάλαμος και τη γωνία αυτού, απ' όπου αποχετεύεται το υδατοειδές υγρό.
- ο οπίσθιος θάλαμος και το ακτινωτό σώμα όπου παράγεται το υδατοειδές υγρό.
- Το υαλώδες σώμα που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του οφθαλμικού βολβού.

Τα υπόλοιπα τμήματα είναι τα εξής:

- Τα τμήματα που προστατεύουν το μάτι, άνω και κάτω βλέφαρο και βλεφαρίδες.
- Οι δακρυϊκοί αδένες, οι οποίοι διατηρούν υγρό και διαυγές το επιθήλιο του κερατοειδούς.
- Οι αποχετευτικές δακρυϊκοί οδοί, που διατηρούν καθαρά τα κολπώματα του επιπεφυκότα. Στα δάκρυα περιέχεται λυσοζύμη. Με αυτό τον τρόπο αναπτύσσουν βακτηριοκτόνο δράση απέναντι στους μικροοργανισμούς του επιπεφυκότα.
- Η οφθαλμική κοιλότητα που περιλαμβάνει τους οφθαλμικούς μύες, τα αγγεία και τα νεύρα, το λιπώδες υπόστρωμα και το σύστημα του συνδετικού ιστού.



Σχήμα 2: Ανατομία οφθαλμού

1.1.2 Οι οφθαλμικοί χιτώνες

Ο βολβός του οφθαλμού είναι το σημαντικότερο τμήμα της όρασης. Από έξω προς τα μέσα είναι:

- Ο ινώδης χιτώνας: είναι ο εξωτερικός χιτώνας του βολβού και αποτελείται από το σκληρό χιτώνα προς τα πίσω και του κερατοειδή προς τα μπρος.
- Ο αγγειώδης χιτώνας: βρίσκεται ανάμεσα στον αμφιβληστροειδή και τον ινώδη χιτώνα, και αποτελείται από τρία τμήματα:
 - α) του χοριοειδή χιτώνα
 - β) το ακτινωτό σώμα
 - γ) την ίριδα.
- Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας: Είναι ο πιο ευαίσθητος χιτώνας στις φωτεινές ακτίνες του οφθαλμού. Καλύπτει από μέσα τον αγγειώδη χιτώνα. Παρουσιάζει τρεις μοίρες, από τις οποίες η οπτική εξυπηρετεί την όραση:
 - i. την οπτική,
 - ii. την ακτινωτή και
 - iii. την ιδρική.

1.1.3 Τα διαθλαστικά μέσα του βολβού

Η κοιλότητα του βολβού περιέχει τον κρυσταλλοειδή φακό. Μπροστά από αυτόν βρίσκεται το υδατοειδές υγρό και πίσω το υαλοειδές σώμα. Οι φωτεινές ακτίνες διέρχονται από αυτά τα τρία διαθλαστικά μέσα και καταλήγουν στον αμφιβληστροειδή, όπου διεγείρονται οι φωτουποδοχείς που υπάρχουν σε εκείνο το σημείο.

1.1.4 Οι μύες του οφθαλμικού κόγχου:

Μέσα στον οφθαλμικό κόγχο υπάρχουν τα εξής:

- Επτά γραμμωτοί μύες. Τέσσερις ορθοί, δύο λοξοί και ο ανεκκτήρας του άνω βλεφάρου.

- Διάσπαρτες λείες μυϊκές ίνες οι οποίες σχηματίζουν τον κοχχάιο μυ.

1.1.5 Τα επικουρικά μόρια

Στα επικουρικά μόρια του βλεφάρου υπάγονται:

- 1) Τα ινώδη έλυτρα του βολβού (η βολβική και η περιόφθαλμος περιτλωνεία). Είναι λεπτός υμένας που περιβάλλει το μεγαλύτερο μέρος του βολβού.
- 2) Τα φρύδια. Δύο τριχωτά ογκώματα του δέρματος που φέρονται ως τοξοειδές σχήμα πάνω από τα βλέφαρα. Χρησιμεύουν στην προστασία των ματιών από τον ιδρώτα.
- 3) Τα βλέφαρα. Είναι δύο μυώδεις πτυχές του δέρματος. Καλύπτουν τα μάτια και συμβάλλουν στην προστασία τους από το δυνατό φως ή κάποιο κίνδυνο που μπορεί να τον βλάψει.
- 4) Ο επιπεφυκώς υμένας (είναι λεπτός και διαφανείς βλεννογόνος)
- 5) Η δακρυϊκή συσκευή. Αποτελείται από το δακρυϊκό αδέν, τα δακρυϊκά σωληνάκια, το δακρυϊκό ασκό και το ρινοδακρυϊκό πόρο, με τα οποία τα δάκρυα αποχετεύονται στην ρινική κοιλότητα. Ο δακρυϊκός αδένας βρίσκεται στο άνω τοίχωμα του οφθαλμικού κόγχου όπου παράγει δάκρυα και μεταφέρονται στην κοιλότητα του επιπεφυκότα. Διατηρούν υγρό τον επιπεφυκότα και τον κερατοειδή.

1.2 Φυσιολογία οφθαλμού

1.2.1 Υδατοειδές υγρό

Το υδατοειδές υγρό προέρχεται από το αίμα. Η παραγωγή του γίνεται στο ακτινωτό σώμα από όπου και εκκρίνεται. Έχει σχεδόν τα ίδια συστατικά με το αίμα, αλλά δεν περιέχει πρωτεΐνες. Ο χώρος που καταλαμβάνει είναι μεταξύ του φακού, της ίριδας και του κερατοειδή. Έχει θρεπτικά συστατικά, τα οποία παρέχει στα προαναφερθέντα τρία στοιχεία. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να διατηρεί σταθερή την πίεση του οφθαλμού (ενδοφθάλμια πίεση). Το υδατοειδές υγρό αποχετεύεται από τη γωνία του προσθίου θαλάμου όπου εκεί υπάρχει και ο ηθμός (πορώδης σχηματισμός). Το υδατοειδές αποχετεύεται μέσω πόρων και ενός σωλήνα και με ειδικές φλέβες γυρίζει στην φλεβική κυκλοφορία. Σε φυσιολογικούς ρυθμούς πρέπει η παραγωγή και η αποχέτευση του υγρού να έχουν μία ισορροπία.

1.2.2 Δακρυϊκή συσκευή

Με την παραγωγή δακρύων διατηρείται υγρή η εξωτερική επιφάνεια, διαλύεται το οξυγόνο και οξυγονώνεται ο κερατοειδής και αποβάλλει άχρηστες ουσίες ή νεκρά κύτταρα. Τα βλέφαρα ανοιγοκλείνοντας μαζί με την αποχετευτική δακρυϊκή οδό βοηθούν στην αποχέτευση των δακρύων.

1.2.3 Κερατοειδής

Είναι το διαθλαστικό μέσο, το οποίο συγκεντρώνει τις φωτεινές ακτίνες, ώστε να φτάσουν στον αμφιβληστροειδή. Είναι διαφανής και δεν στέκεται εμπόδιο στην είσοδο των ακτίνων. Έχει μια εξωτερική στιβάδα, το επιθήλιο, το οποίο λειτουργεί ως εμπόδιο στην είσοδο μικροβίων. Ακόμα, έχει τον έλεγχο και εστιάζει το φως πάνω στο φακό.

1.2.4 Κρυσταλλοειδής φακός

Είναι επίσης διαθλαστικό μέσο και βοηθά στην προσαρμογή της όρασης, ανάλογα με την απόσταση που θέλει να δει ένας άνθρωπος (μακρινή-κοντινή). Είναι διαφανής σε φυσιολογική κατάσταση, αλλά με την πάροδο των χρόνων ο φακός γίνεται θολός και τελείως αδιαφανής, δημιουργώντας καταρράκτη. Εστιάζει το φως που εισέρχεται πάνω στον αμφιβληστροειδή για να σχηματίσει εικόνες.

1.2.5 Αμφιβληστροειδής χιτώνας

Συμβάλλει στην οπτική λειτουργία. Εκεί βρίσκεται η ωχρά κηλίδα που έχει άφθονα κωνία (υπεύθυνα στην αναγνώριση χρωμάτων), στην οποία καταλήγουν οι περισσότερες οπτικές ακτίνες. Χάρη σε αυτό υπάρχει μεγάλη ευκρίνεια. Τα κωνία έχουν τρεις υποδοχείς, του κόκκινου, του κυανού και του πράσινου. Σε άλλη περιοχή του αμφιβληστροειδή υπάρχουν συγκεντρωμένα και τα ραβδία, τα οποία βοηθούν στην αντίληψη του φωτός ή του σκοταδιού. Η περιοχή που βλέπει ο κάθε οφθαλμός είναι το οπτικό πεδίο, η οποία είναι συγκεκριμένη.

1.2.6 Τα αντανακλαστικά της κόρης

Με αυτά, ο φωτεινός ερεθισμός του ενός αμφιβληστροειδή προκαλεί σύσπασση της κόρης.

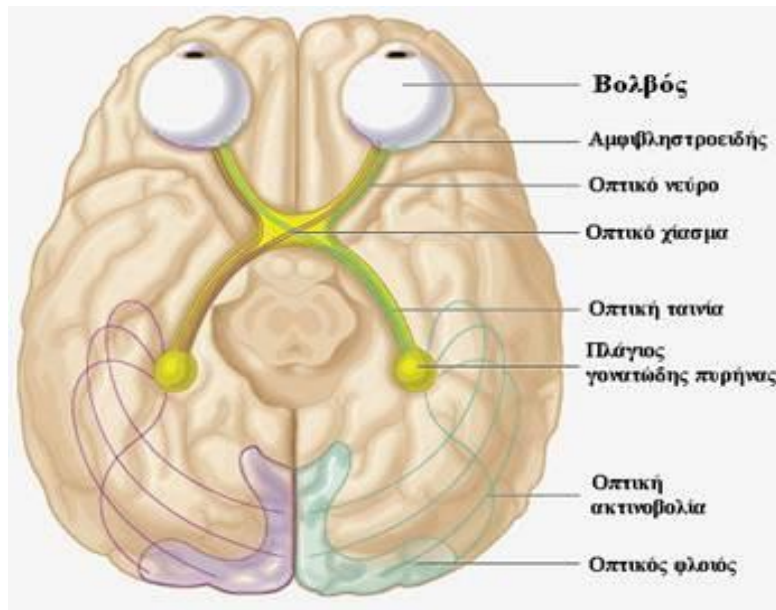
1.2.7 Η κινητικότητα του οφθαλμού

Γίνεται μέσω των έξι οφθαλμοκινητικών μυών (άνω, κάτω, έσω και έξω ορθούς και άνω και κάτω λοξούς).

1.2.8 Οπτικό νεύρο και οπτικός φλοιός

Οι φωτουποδοχείς του κάθε αμφιβληστροειδή, μέσω κάποιων διεργασιών, μετατρέπουν το οπτικό ερέθισμα σε νευρική ώση. Αυτές φτάνουν στον ινιακό λοβό, μέσω των οπτικών νεύρων. Εκεί βρίσκεται το κέντρο της όρασης. Ο οπτικός φλοιός από την άλλη, λαμβάνει τις νευρικές ώσεις και προσπαθεί να ενοποιήσει τις δύο εικόνες που φτάνουν από τα δύο μάτια, ώστε να δημιουργηθεί μία ενιαία. Για να δημιουργηθεί πρέπει να ταιριάζει το μέγεθος, οι μορφές, τα αντικείμενα και τα χρώματα των δύο εικόνων. Αφού αυτό πραγματοποιηθεί μπορεί να επιτευχθεί μία πλήρης αντίληψη του οπτικού πεδίου.

Ο κάθε οφθαλμός από τους δύο μπορεί να παρατηρήσει αντικείμενα σε ένα μεγάλο οπτικό πεδίο. Με το συνδυασμό τους μπορεί ο άνθρωπος να έχει ενιαία στερεοσκοπική όραση, δηλαδή μία τρισδιάστατη απεικόνιση, αφού μπορεί να αντιλαμβάνεται το βάθος στην εικόνα που βλέπει. Αυτό βέβαια δεν ισχύει στην όραση μόνο από τον ένα οφθαλμό, ωστόσο είναι επαρκής για να εξυπηρετεί πολλές ανθρώπινες ανάγκες.



Σχήμα 3: Η οπτική οδός.

1.3 Η Ακτινοβολία

Όλα τα υλικά αποτελούνται από άτομα. Τα άτομα αποτελούνται τον πυρήνα που περιέχει μικρά σωματίδια που ονομάζονται πρωτόνια και νετρόνια. Όλα αυτά περιβάλλονται από στιβάδες στις οποίες περιστρέφονται ηλεκτρόνια. Ο πυρήνας έχει θετικό φορτίο που προέρχεται από τα πρωτόνια. Τα νετρόνια δεν έχουν φορτίο. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φόρτο. Η ετερώνυμη έλξη μεταξύ των δύο αντίθετων φορτίων κρατάει σταθερά συνδεδεμένο το άτομο.

Ο πυρήνας των ατόμων θέλοντας να γίνει σταθερός εκπέμπει την επιπλέον ενέργεια που περιέχει. Με αυτό τον τρόπο ο ασταθής πυρήνας μπορεί να αποβάλει ένα μέρος ενέργειας, ή να αποβάλει ένα σωματίδιο. Έτσι λοιπόν, η ακτινοβολία είναι αυτή η εκπεμπόμενη ατομική ενέργεια ή το σωματίδιο.

Για το χαρακτηρισμό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως βασικό μέγεθος είναι:

- η συχνότητα ν (σε Hertz),
- το μήκος κύματος λ (σε μέτρα) και
- η ενέργεια των φωτονίων E (σε Joule < σε ηλεκτρονιοβόλτ, eV).

Όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας χωρίζεται σε δύο βασικές περιοχές:

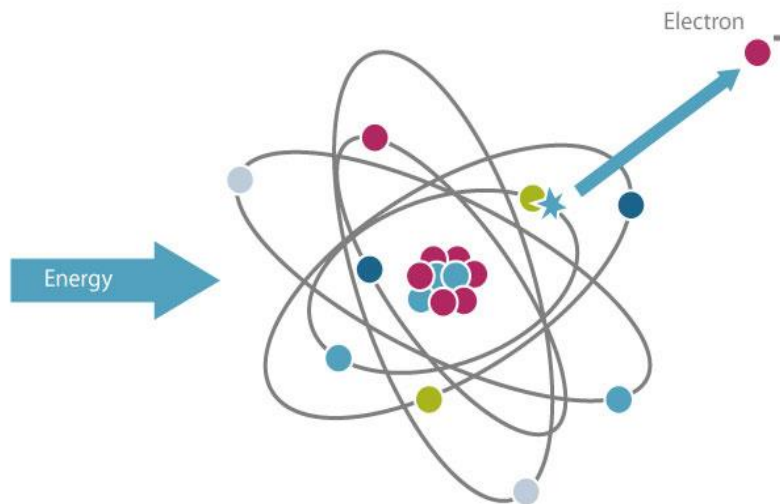
- 1) Την ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τα φωτόνια της ιοντίζουσας ακτινοβολίας έχουν την ικανότητα, όταν απορροφηθούν από την ύλη, να προκαλούν ρήξη των χημικών δεσμών στα μόρια και να δημιουργούν ιόντα.
- 2) Τη μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αναφέρεται σε συχνότητες του φάσματος μέχρι 10^{15}Hz . Πρακτικά αυτό καλύπτει την περιοχή του φάσματος έως και την υπεριώδη ακτινοβολία.

Όριο μεταξύ μη ιοντίζουσας και ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, για την ιατρική φυσική, θεωρείται η ενέργεια των φωτονίων που είναι ικανή να ιοντίσει τα άτομα του μορίου του νερού ($1,978 \cdot 10^{18}$ Joules η 12,4 eV). Στο πλήρες φάσμα η ενέργεια αυτή βρίσκεται στην υπεριώδη περιοχή του φωτός (UV) με μήκος κύματος 100 nm.

Όμως ένα μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας δε συμπεριλαμβάνεται στη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Οι ακτινοβολίες με μήκος κύματος μικρότερο από 295 nm απορροφώνται έντονα από την ατμόσφαιρα και δεν έχουν δείξει μέχρι τώρα ιδιαίτερο βιολογικό ενδιαφέρον. Είναι λίγες οι «σημαντικές» πηγές που χρησιμοποιούν τις συχνότητες αυτές (μερικά μόνο LASER). Η αναφορά στον όρο αυτό σε θέματα αλληλεπίδρασης με τους βιολογικούς οργανισμούς «περιορίζεται» μέχρι τη συχνότητα των 300GHz.

1.4 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ο ιονισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις στοιβάδες του, λόγω εξωτερικού αιτίου, έχει αποτέλεσμα την παραγωγή δύο αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων, του θετικά φορτισμένου ιόντος του ατόμου και του αρνητικά φορτισμένου ηλεκτρονίου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Ιονισμός του ατόμου

Κάποια φυσικά υλικά είναι ασταθή. Οι πυρήνες τους μπορούν να διασπαστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χάσουν την ενέργεια που περικλείουν τη μορφή ακτινοβολίας και την παραγωγή ιόντων. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται φυσική ραδιενέργεια. Ραδιενεργά υλικά είναι τα υλικά που εκπέμπουν την ραδιενέργεια. Πολλές φορές ο όρος ραδιενέργεια δίνει τη θέση του για να δηλώσει την ακτινοβολία που προέρχεται από τους ραδιενεργούς πυρήνες, υποκαθιστώντας τη λέξη ακτινοβολία.

Ραδιενεργός διάσπαση ονομάζουμε τη διαδικασία μεγάλων ασταθών ατόμων να γίνονται περισσότερο ευσταθή εκπέμποντας ακτινοβολία. Μπορεί να εκπεμφθεί με:

- την μορφή θετικά φορτισμένων άλφα σωματιδίων,
- ενός αρνητικά φορτισμένα βήτα σωματιδίου, ή
- με την μορφή ακτινών γάμμα.

Μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας είναι το Becquerel (Bq) που αντιστοιχεί σε μια διάσπαση ασταθούς πυρήνα ανά δευτερόλεπτο. Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιοϊσοτόπου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει στο μισό η αρχική τιμή ραδιενέργειας $T_{1/2}$. Ο χρόνος αυτός χαρακτηρίζει κάθε ραδιοϊσότοπο και είναι σταθεράς.

Ο όρος ακτινοβολία είναι πολύ ευρύς και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- την ιοντίζουσα (ακτίνες α, β, γ, ακτίνες-Χ, νετρόνια), και
- τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (ορατό φως, μικροκύματα, ραδιοκύματα, υπεριώδης, υπέρυθρη).

Η ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό σε ένα βιολογικό υλικό. Από αυτό μπορεί να συμβεί ρήξη χημικών δεσμών, δηλαδή καταστροφή του μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δραστικών χημικών ριζών. Η ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει τα απαραίτητα για τη ζωή ή για τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόρια. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται από τη διάσπαση των μορίων, με τη σειρά τους προκαλούν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι επιδρούν σε άλλα μόρια, τα καταστρέφουν και δημιουργούν άχρηστες ή βλαβερές χημικές ενώσεις για το κύτταρο.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό του κυττάρου γιατί επηρεάζουν τη ζωή και την αναπαραγωγή τους. Αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης.

1.5 Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Μετά την ανακάλυψη των ακτινών Χ 1895 και της ραδιενέργειας, το 1896 φάνηκαν τα πρώτα βιολογικά αποτελέσματα από τη χρήση των ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες που, όταν αλληλεπιδράσουν με την ύλη, προκαλούν ιοντισμούς. Στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνονται:

- οι ακτίνες Χ,
- η ακτινοβολία γ,
- οι σωματιδιακές ακτινοβολίες α, β,
- τα νετρόνια,
- τα πρωτόνια,
- στοιχειώδη σωματίδια που προκαλούνται στις διάφορου τύπου πυρηνικές αντιδράσεις,
- σωματίδια που ανευρίσκονται στην κοσμική ακτινοβολία και προϊόντα πυρηνικής σχάσης.

Ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η ενέργεια που παράγεται από φυσικά ραδιενεργά υλικά ή ακόμα από υλικά που έχει φτιάξει ο άνθρωπος. Είναι παρούσα παντού στο περιβάλλον μας, γιατί υπάρχει στα ραδιενεργά μεταλλεύματα που παραμένουν στην

γη από τα πρώτα χρόνια που δημιουργήθηκε ο πλανήτης μας. Μας οδηγεί σε έκθεση στις ακτίνες γάμμα και σε αέριο ραδιενεργό ράδιο από συγκεκριμένα πετρώματα και από ραδιενεργά υλικά που υπάρχουν στην τροφή και σε αυτά που πίνουμε.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Τα γνωστότερα είδη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι:

- οι ακτίνες Χ που παράγονται στις λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων και χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική,
- οι ακτινοβολίες α, β, γ και τα νετρόνια που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων ραδιενεργών υλικών.

1.5.1 Η ακτινοβολία άλφα

Είναι σωματιδιακή ακτινοβολία. Αποτελείται από θετικά φορτισμένα σωματίδια (πυρήνες ήλιου με δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια), τα οποία εκπέμπονται από τα άτομα βαρέων στοιχείων, όπως το ουράνιο και το ράδιο. Η ακτινοβολία-α έχει μικρή διεισδυτικότητα και μπορεί να ανακοπεί εντελώς από ένα υλικό. Ωστόσο, εάν η ακτινοβολία-α που εκπέμπουν τα υλικά ληφθεί εσωτερικά με την αναπνοή, την τροφή ή το ποτό, ακτινοβολούνται άμεσα οι εσωτερικοί ιστοί και ως εκ τούτου προκαλούνται βιολογικές βλάβες.

1.5.2 Η ακτινοβολία βήτα

Αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Είναι πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία άλφα και μπορεί να περάσει μέσα από πάχος 1-2 cm νερού. Σε γενικές γραμμές, ένα φύλλο από αλουμίνιο πάχους μερικών χιλιοστών ανακόπτει την ακτινοβολία-β.

1.5.3 Οι ακτινοβολία γάμμα και οι ακτίνες-Χ

Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγάλης συχνότητας, παρόμοια με το φως και τα ραδιοκύματα. Οι ακτίνες-γ, ανάλογα με την ενέργειά τους, μπορούν να περάσουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα. Μπορούν όμως να ανακοπούν από χοντρούς τοίχους από σκυρόδεμα ή μόλυβδο.

1.5.4 Η ακτινοβολία νετρονίων

Είναι σωματίδια νετρονίων, τα οποία δεν παράγουν άμεσα ιονισμό στην ύλη. Η αλληλεπίδρασή τους με τα άτομα διαφόρων υλικών μπορεί να οδηγήσει στην εκπομπή ακτινοβολιών (άλφα, βήτα, γάμμα ή ακτινών Χ), που μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενώς ιονισμό. Τα νετρόνια είναι πολύ διεισδυτικά. Μπορούν να ανακοπούν μόνο από παχιές πυκνές μάζες από σκυρόδεμα, νερό ή παραφίνη.

1.6 Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία

Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που δεν έχει αρκετή ενέργεια, ώστε να αποσπάσει ηλεκτρόνια από τα άτομα. Τέτοιες μορφές ακτινοβολίας είναι το ορατό φως, τα μικροκύματα ή τα ραδιοκύματα. Τα ηλεκτρόνια που είναι αρνητικά φορτισμένα και οι ασταθείς πυρήνες που είναι θετικά φορτισμένοι μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στους ζωντανούς ιστούς.

Υπάρχει στο περιβάλλον μας και προέρχεται από την έκθεση στο φως του ηλίου, στις γραμμές υψηλής τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, στις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε καθημερινά και στα κινητά μας τηλέφωνα. Δεν έχει

την απαιτούμενη ενέργεια να παράγει τους ιονισμούς αυτούς η συγκεκριμένη ακτινοβολία. Γι αυτό ονομάζεται μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

Τα εξωγενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχουν άμεση σχέση με τις βιολογικές λειτουργίες των ζωντανών οργανισμών. Εξωγενή θεωρούνται τα πεδία, τα οποία δημιουργούνται εξωτερικά από άλλες δραστηριότητες του ανθρώπου και απορροφώνται από το ανθρώπινο σώμα.

Οι βιολογικές επιδράσεις από την απορρόφηση της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αφορά όλη την κοινωνία. Από τη μία οι τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες συμβιώνουν αναγκαστικά με το πρόβλημα (με αυξανόμενους ρυθμούς), αλλά από την άλλη οι διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές ομάδες προσεγγίζουν το πρόβλημα από διαφορετικές και συχνά αντίπαλες σκοπιές.

1.7 Πηγές μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας

Στις μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνονται:

- τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, παραδείγματος χάρη το μαγνητικό πεδίο της γης. Η έκθεση σε αυτά τα πεδία είναι διαρκής και η ένταση τους είναι περίπου σταθερή,
- τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας που δημιουργούνται στο περιβάλλον από διατάξεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και από συστήματα τα οποία λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικοί κινητήρες, θερμαντικά σώματα, κ.ά.)
- τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών, όπως οι κεραίες της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας και τας συστήματα εντοπισμού θέσης-ταχύτητας (radar) και
- η υπέρυθρη, η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Βασικές πηγές μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας σε εργαστηριακούς χώρους είναι:

- τα κύρια συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τυχόν διατάξεις υποβιβασμού της ηλεκτρικής τάσης (μετασχηματιστές),
- ηλεκτρικοί κινητήρες σε διάφορες συσκευές όπως αντλίες υψηλού κενού, φυγόκεντροι κ.ά.,
- συσκευές με ισχυρά μαγνητικά πεδία όπως οι συσκευές Μαγνητικού Πυρηνικού Συντονισμού (NMR) και
- τα συστήματα αποστείρωσης χώρων και απαγωγών με υπεριώδη ακτινοβολία.

1.7.1 Ορατό φως

Τα χρώματα ενός ουράνιου τόξου. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι (από 400 έως 700 νανόμετρα) είναι ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

1.7.2 Υπέρυθρη ακτινοβολία

Ξεκινάει από εκεί που σταματάει η ορατή ακτινοβολία, δηλαδή περίπου τα 700 νανόμετρα, μέχρι περίπου το ένα χιλιοστό. Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα σώματα κοντά σε θερμοκρασία δωματίου (20°C). Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του. Οι πιο κοινές εφαρμογές της υπέρυθρης ακτινοβολίας αφορούν τη νυχτερινή όραση, ανιχνευτές σε δορυφόρους και αεροπλάνα, καθώς και την αστρονομία.

1.7.3 Ραδιοκύματα

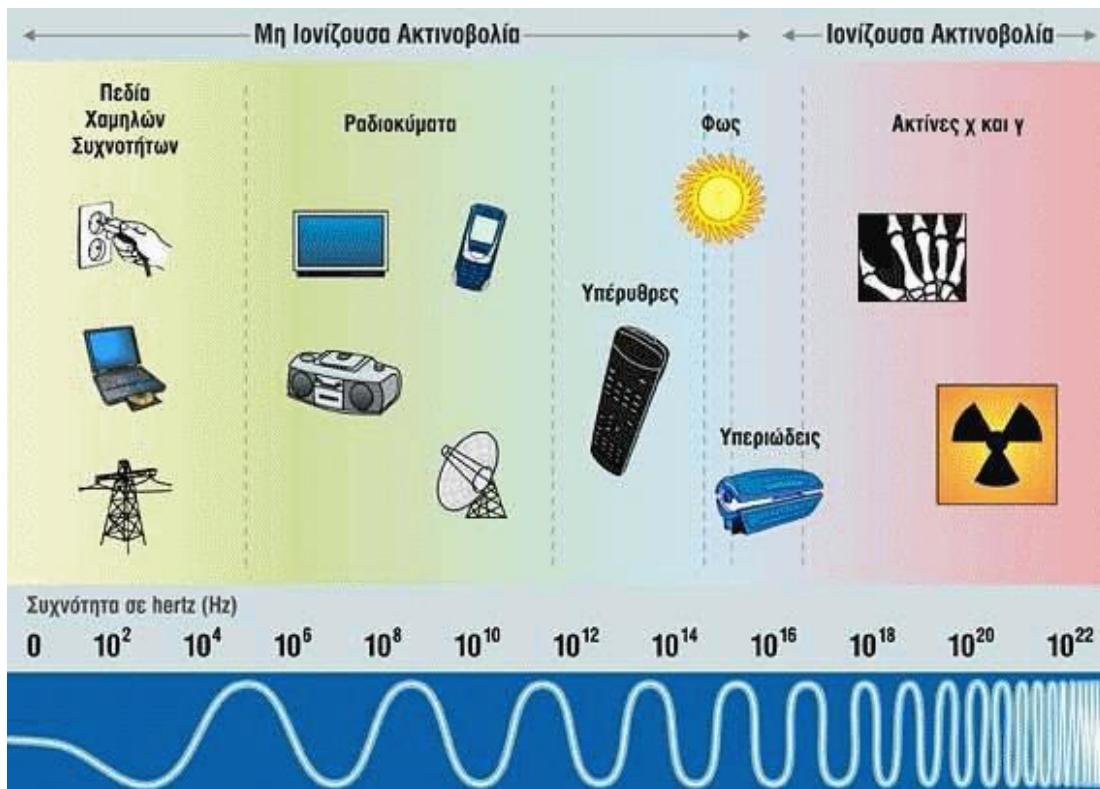
Τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος, που εκτείνεται σε μια αρκετά μεγάλη περιοχή, από ένα χιλιοστό έως δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα. Μέρος τους είναι τα μικροκύματα και το πεδίο χαμηλών συχνοτήτων. Εκπέμπονται από τη Γη, τα κτήρια, τα αυτοκίνητα κι άλλα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα. Οι πηγές ακτινοβολίας των ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών κυμάτων, τα ραντάρ, τα κυψελωτά κινητά τηλέφωνα και σταθμούς κινητής τηλεφωνίας.

1.7.4 Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF)

Η ακτινοβολία ELF των 60 Hz παράγεται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια, την ηλεκτρική καλωδίωση, και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Οι κοινές πηγές έντονης έκθεσης σε αυτή την ακτινοβολία περιλαμβάνουν τους κλιβάνους επαγωγής και τα υψηλής τάσεως ηλεκτροφόρα καλώδια.

Οι ραδιοσυχνότητες (RF) είναι κατηγορία συχνοτήτων που περιλαμβάνει τις εφαρμογές της κινητής τηλεφωνίας και έχει εύρος που εκτείνεται από 3 KHz έως 300 GHz.

- Στις ραδιοσυχνότητες εκπέμπουν και άλλες εφαρμογές που έχουν κατακλίσει την κοινωνία, όπως το ασύρματο διαδίκτυο, οι ραδιοτηλεοπτικοί σταθμοί και γενικά κάθε ασύρματη ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή.
- Μια άλλη εφαρμογή που αναμένεται να αναπτυχθεί πολύ γρήγορα είναι τα έξυπνα δίκτυα, δηλαδή το ηλεκτρικό δίκτυο που μαζεύει πληροφορίες για τον ευφυή έλεγχο της ροής ενέργειας ώστε, οι συσκευές να λειτουργούν πιο οικονομικά και με περισσότερη αποτελεσματικότητα.



Σχήμα 5: Πηγές εκπομπής Ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία

1.8 Φυσικές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

Στη γη αναπτύσσονται εκατομμύρια χρόνια ζωή με την επίδραση του φυσικού γεωμαγνητικού πεδίου και του φυσικού γεωηλεκτρικού πεδίου. Τα πεδία ή μεταβάλλονται με αργούς ρυθμούς ή είναι σχεδόν στάσιμα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια της Γης από το διάστημα και μέχρι τον Ήλιο μέσω των ραδιοσυχνοτήτων (300Hz-300GHz). η πυκνότητα της ισχύος αυτής της ακτινοβολία είναι μικρότερη με την ακτινοβολία που δημιουργούνται από τον άνθρωπο.

1.9 Ανθρωπινή Δραστηριότητα και Πηγές μη-ιονίζοντα ακτινοβολίας

Όσο ξέρουμε την περισσότερη ακτινοβολία την έχει η ραδιοφωνία, η τηλεόραση και οι τηλεπικοινωνίες. Οι τηλεπικοινωνίες έχουν λιγότερη ακτινοβολία σε σύγκριση με των μέσων μαζικής επικοινωνίας. Μπορεί όμως να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος σε περιοχές κοντά σε σταθμούς εκπομπής ή εγκαταστάσεις ραντάρ. Στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να δημιουργηθούν και στο περιβάλλον και από άλλες πηγές, όπως τα συστήματα ασφάλειας και τα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς. Οι εργαζόμενοι που δουλεύουν στη ραδιοφωνία, στην τηλεόραση και στις τηλεπικοινωνίες ή τα ραντάρ να εισέρθουν μεγάλο βαθμό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ειδικά όταν εργάζονται κοντά σε κεραιές εκπομπής. Σε αυτές τις δουλειές τηρούνται τα μετρά προστασίας, ώστε να μην έχουν τραγικές καταστάσεις.

Μέσα στο χώρο μας έχουμε πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και αυτά είναι φούρνοι μικροκυμάτων, τα κινητά, τα ασύρματα τηλεφώνά και τα ασύρματα δίκτυα

και Εφαρμογές του Ηλεκτρομαγνητισμού στην Ιατρική υπολογιστών, τα αντικλεπτικά συστήματα και τις οθόνες τηλεόρασης και υπολογιστών . Οι φούρνοι μικροκυμάτων αποτελούν μεγάλη υψηλή πυκνότητας ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου καλύπτεται από πρότυπα ασφάλειας. Οι φούρνοι μικροκυμάτων περιορίζονται δραστικά από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η πυκνότητα ισχύος στις οικιακές συσκευές είναι μερικές δεκάδες $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Η ύπαρξη ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στους χώρους εργασίας είναι μηδαμινή. Αλλά υπάρχουν πολλές ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές στην ιατρική και στη βιομηχανία.

Στην ιατρική πάντα το εργασιακό περιβάλλον ελέγχεται, γιατί μέσα σε αυτούς τους χώρους περιέχονται ηλεκτροχειρουργικές συσκευές τομής ιστών, φούρνοι ταχείας απόψυξης πλάσματος αίματος, γιατί μπορεί να ανέβει δεκάδες W/m^2 η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όλο αυτά χρησιμοποιούνται στη περιοχή ραδιοσυχνοτήτων όπως στη θερμική κατάλυση, στη διαθερμία και την υπερθερμία.

1.10 Επιπτώσεις μη ιοντίζοντας ακτινοβολίας στον άνθρωπο

Στον ανθρώπινο οργανισμό κυκλοφορούν ηλεκτρικά ρεύματα, τα όποια είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία του οργανισμού. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από το νευρικό σύστημα. Το νευρικό σύστημα λειτουργεί με ηλεκτρικές διεργασίες δηλαδή με παλμικά ηλεκτρικά σήματα. Από όσο ξέρουμε το 70% των ιστών αποτελούνται από νερό. Όποτε αυτό είναι η διείσδυση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του οργανισμού και η αλληλεπίδραση του με τα δίπολα αυτά ή με τα φυσικά πεδία του οργανισμού, είναι δυνατόν να έχουμε κάποιες επιπλοκές στον οργανισμό. Ο οργανισμός μπορεί να απορρόφηση ακτινοβολία και αυτό εξαρτάται από την συχνότητα ακτινοβολίας. Αυτή η ακτινοβολία απορροφάται κοντά στο δέρμα, έτσι τα ραδιοκύματα παίρνουν μέσα στο σώμα και αυτό παίρνει από τα όργανα που βρίσκονται μέσα μας.

1.11 Θερμικές και μη-θερμικές επιδράσεις.

1.11.1 Θερμικές επιδράσεις

Στον άνθρωπο η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει θερμικές επιπτώσεις. Εφόσον αυτό απορροφάται και διεισδύει στο σώμα και προκαλεί κίνηση των μορίων όπου αυτά προκαλούν τριβές και κρούσεις, που με αυτά τα δυο προκαλείται αύξηση θερμοκρασίας των ιστών. Οι όρχις και οι οφθαλμοί είναι ευπαθεστέρα σημεία έχουν μικρό βαθμό θερμότητας λόγω της μικρότερης κυκλοφορίας του αίματος. Μπορούν να προκαλέσουν βλάβες άμα οι θερμικές επιπτώσεις είναι πάνω από 100KHz και δεν γίνετε σωστή επαναφορά της θερμοκρασίας.

Θερμικές ονομάζονται οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται για αύξηση πάνω από $0,1^\circ\text{C}$ η οποία προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του $1\text{mW}/\text{cm}^2$ ή για μέσο ρυθμό απορρόφησης (EPA) σε όλο το σώμα πάνω από $5\text{W}/\text{Kg}$. Επίσης θερμικές επιδράσεις ονομάζονται οι οποιεσδήποτε βλάβες οφείλονται στη θέρμανση των ιστών από την ακτινοβολία και την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διάφορων ιστών να την αντιμετωπίσουν.

1.11.2 Μη-θερμικές επιδράσεις

Στην βιολογική δράση της ακτινοβολίας στη λειτουργία των συστατικών των κυττάρων, αν και δεν είναι γνωστός ο μηχανισμός που η ακτινοβολία δρα στα

κύτταρα. Ίσως επηρεάζουν τη ροή του ασβεστίου διά μέσου των τοιχωμάτων των κυττάρων, πράγμα που σημαίνει ότι είτε διευκολύνουν την πρόοδο υπαρχόντων ήδη για άλλους λόγους καρκίνων, είτε μειώνουν την ικανότητα αντίστασης των κυττάρων στη γένεση ενός καρκίνου.

Μη-θερμικές ή αθερμικές ονομάζονται οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μη μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Στις μη θερμικές επιδράσεις η θερμοκρασία δεν αυξάνεται περισσότερο από 0.1°C και μπορούν να προκληθούν από πολύ μικρές πυκνότητες ισχύος της τάξεως των λίγων $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Για παράδειγμα η διαταραχή στην κυτταρική μεμβράνη από το ηλεκτρικό πεδίο με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διηλεκτρική διαπερατότητα και να αλλάζει τη δραστηριότητα συγκεκριμένων ένζυμων, μεγαλώνοντας την εκροή ιόντων ασβεστίου καθώς και τη διαπερατότητα του αιματολογικού φραγμού.

Στην επιστημονική κοινότητα οι θερμικές επιδράσεις σχετίζονται με επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που υπάρχουν στην καθημερινότητα μας. Κυρίως οι επιστήμονες των ανατολικών χωρών ανίχνευσαν πριν ακόμη από το Β΄ παγκόσμιο πόλεμο μη-θερμικές επιδράσεις και τις έλαβαν υπόψη στα όρια που θέσπισαν για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτός είναι ο λόγος που τα όρια των ανατολικών χωρών είναι πολύ πιο αυστηρά από αυτά της δύσης.

Επίσης είναι πιο σημαντικές από βιολογικής / ιατρικής πλευράς και δεν καλύπτουν τα όρια ασφάλειας που έχουν λάβει επειδή δεν είναι άμεσα μετρήσιμες με κάποιο όργανο. Είναι αυτονόητο ότι ανάλογα με το αν είναι ισχυρή η ασθενής η ακτινοβολία, από το χρόνο που εκτίθεται ένας οργανισμός και το ποσό απέχει από την πηγή ακτινοβολίας υπάρχουν και οι αντίστοιχες επιπτώσεις.

1.12 Επιπτώσεις μη ιοντίζοντας ακτινοβολίας στον άνθρωπο

Έχουν παρατηρηθεί σύζευξη των ηλεκτρικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων με τη ζώσα υλη, η όποια μπορεί να προκαλέσει σε ροή ηλεκτρικού ρεύματος και πόλωση ηλεκτρικών δίπολων των ιστών. Η όποια προκαλεί ηλεκτρικά και κυκλικά ρεύματα στους ιστούς.

1.12.1 Ακτινοβολία (ELF)

Έχει χαμηλή συχνότητα 50-60 Hz που συμβαίνει από τα ηλεκτροφόρα καλώδια χαμηλής και υψηλή τάσης, τους μετασχηματιστές παντός τύπου, την ηλεκτρική καλωδίωση, τον ηλεκτρικό οικιακό εξοπλισμό και τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Αυτά δεν προκαλούν ανθυγιεινή επίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο. Οι εντάσεις αυτές είναι μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια.

1.12.2 Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μικροκυμάτων (MW)

Οι πηγές ακτινοβολίας RF και MW περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών, τα ραντάρ, τα ασύρματα δίκτυα, τα συστήματα μικροκυματικών ζεύξεων, τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, τα συστήματα επικοινωνίας αστυνομίας, στρατού, πυροσβεστικής, αεροπορίας, ναυσιπλοΐας, τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς κινητής τηλεφωνίας

Αυτές οι δυο ακτινοβολίες βλάπτουν τον ιστό εξαιτίας της θέρμανσης που προκαλούν αν και υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για της επιπτώσεις στην υγεία.

Πολλοί επιστήμονες αναζήτησαν τρόπους αλληλεπίδρασης της μη ιοντίζοντα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την έμβια ύλη για τον καθορισμό ασφαλών ορίων έκθεσης σε αυτήν. Η γενικά αποδεκτή άποψη για τη βιολογική δράση της Η/Μ ακτινοβολίας ήταν ότι αυτή είναι μόνο θερμικού χαρακτήρα, όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από 0.5 μm. Πρόσφατες έρευνες διερευνούν τυχόν μη θερμικά (αθερμικά) αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων με τα βιολογικά συστήματα.

Η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας απορροφάται από τους βιολογικούς σχηματισμούς και οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αύξησης της κινητικής ενέργειας των βιομορίων (π.χ. του νερού), με τρεις κυρίως μηχανισμούς:

- αύξηση της κινητικής ενέργειας των φορέων ηλεκτρικού φορτίου (ιόντων),
- δημιουργία ηλεκτρικών διπόλων και επαγωγή πόλωσης στα μόρια,
- προσανατολισμός ήδη υπαρχόντων διπόλων προς μια κατεύθυνση.

Η απορρόφηση των Η/Μ κυμάτων και η κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στα βιολογικά συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (W/m²),
- τη γεωμετρία και η μάζα του ιστού,
- την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος,
- τη μορφή του ακτινοβολητή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- τον χρόνο έκθεσης.

Για τη μέτρηση της βιολογικής δράσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος «Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA» (στην αγγλική ορολογία Specific Absorption Rate, SAR) που μετράται σε W/Kg και ορίζεται ως:

$SAR = (1/103) (\sigma/\rho) E^2$ (W/Kg), όπου σ = αγωγιμότητα του ιστού σε s/m, ρ = πυκνότητα μάζας του ιστού σε g/cm³, E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε V/m (μέση τετραγωνική ένταση, rms).

Τα μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων που έχουν αναφερθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία είναι για παράδειγμα:

- Δέσμευση και απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου (Ca⁺⁺) στον εγκέφαλο,
- Επιτάχυνση της συγκόλλησης καταγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία,
- Επαγωγή ιού από καρκινικά κύτταρα.

1.12.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία(IR)

Πηγες υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι οι φούρνοι, οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες θερμότητας και τα λέιζερ. Αυτή η ακτινοβολία γίνεται αντιληπτοί από τη θερμότητα που προκαλεί. Οι οφθαλμοί και το δέρμα έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία ως θερμότητα.

1.12.4 Ορατή ακτινοβολία

Από αυτά που ξέρουμε ο ήλιος είναι η σημαντικότερη πηγή όπως και η ποικιλία των ηλεκτρικών λαμπτήρων πυρακτώσεως και φθορισμού. Οι διαφορές

συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εισέρχεται στον οφθαλμό ως διάφορα χρώματα. Οι ορατοί ακτινοβολία γνωστή ως το φως μπορεί να βλάψει τους οφθαλμούς και το δέρμα όταν είναι έντονη.

1.12.5 Υπεριώδης ακτινοβολία(UV)

Οι πηγές της UV ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τον ήλιο, τα μαύρα φώτα, τις συσκευές οξυγονοκόλλησης, και τα UV λείζερ. Τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν υψηλή ενέργεια, λόγω της υψηλής συχνότητάς τους και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα, μη περιοριζόμενη μόνο στη θέρμανση του σώματος που την απορροφά, αλλά μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα κύτταρα του δέρματος που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε καρκίνο. Άλλωστε μια περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ανήκει στις ιονίζουσες.

Η υπεριώδης ακτινοβολία (**Ultra Violet, UV**) έχει μήκη κύματος μεταξύ 100 και 400 nm. Για πρακτικούς λόγους, η υπεριώδης ακτινοβολία διαιρείται συμβατικά σε υποπεριοχές, ανάλογα με το μήκος κύματος ή την απόστασή τους από το ορατό φάσμα. Έτσι διακρίνουμε την εγγύς (UV-A), τη μεσαία (UV-B) και την μακράν (UV-C) υποπεριοχή, ανάλογα με την απόσταση από την περιοχή του ορατού (400-800 nm). Η ενέργεια των φωτονίων στο υπεριώδες είναι περίπου 3.1 – 12.4 eV, μικρότερη σε γενικές γραμμές από την ενέργεια ιονισμού των ατόμων.

1.12.6 Ακτινοβολία Laser

Η ακτινοβολία αυτή παράγεται από τις ομώνυμες συσκευές, οι οποίες στην πραγματικότητα δρουν σαν ενισχυτές αντίστοιχων μονοχρωματικών ακτινοβολιών. Τα λείζερ εκπέμπουν UV, ορατές και IR ακτινοβολίες και μπορούν να επιφέρουν ζημιές κυρίως στα μάτια και στο δέρμα, είτε με θερμική δράση, οπότε εξέρχονται οι πρωτεΐνες, είτε με φωτοχημική δράση, οπότε επέρχονται αλλοιώσεις των χαρακτηριστικών των μορίων.

1.12.7 Τα κινητά τηλέφωνα

Εκπέμπουν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων. Είναι εκτεταμένη η χρήση τους και εκατομμύρια οι άνθρωποι (άνδρες, γυναίκες, παιδιά) που εκτίθενται σ' αυτή. Άλλωστε, οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας της κινητής τηλεφωνίας στην υγεία των ανθρώπων έχει απασχολήσει πλήθος ερευνητών επί πολλά χρόνια και όχι αδικαιολόγητα, αφού καμιά άλλη ακτινοβολία δεν έχει την μαζικότητα αυτής. Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερα ενεργά κινητά τηλέφωνα από τους κατοίκους της, ενώ το 80% των παιδιών κάτω των 12 ετών είναι χρήστες. Όλες οι άλλες ακτινοβολίες αφορούν κυρίως μικρές ομάδες ανθρώπων που υποτίθεται μάλιστα ότι είναι ενημερωμένοι και λαμβάνουν μέτρα προστασίας στο χώρο έκθεσής τους.

Το κινητό τηλέφωνο λειτουργεί ως πομπός ραδιοσυχνοτήτων μεταφέροντας διαμορφωμένη τη φωνή του χρήστη, όταν φυσικά αυτός μιλάει, και ως δέκτης ραδιοσυχνοτήτων, όταν αυτός ακούει, λαμβάνοντας την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων από τον πομπό της βάσης. Η κεραία ενός πομπού βάσης βρίσκεται συνήθως στην οροφή υψηλών κτιρίων, πολλές φορές και μέσα σε κατοικημένες περιοχές, ώστε να είναι δυνατή η κυψελοειδής κάλυψη όσο το δυνατόν ευρύτερων περιοχών. Οι σταθμοί βάσης σχηματίζουν κυψέλη (η γεωγραφική περιοχή που καλύπτουν χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές, δηλαδή κυψέλες) παραπέμποντας τη σύνδεση ο ένας στον άλλον, όταν αλλάζει η θέση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της συνομιλίας.

Ακριβέστερα, όταν κάποιος καλεί κάποιον άλλο με το κινητό του, ενεργοποιεί ένα σταθμό βάσης (συνήθως τον κοντινότερο), ο οποίος με τη σειρά του και αφού αναγνωρίσει τον καλούμενο αριθμό, στέλνει σ' αυτόν σήμα κλήσης. Όταν απαντήσει αυτός που καλείται, τότε αρχίζει η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των δύο κινητών τηλεφώνων με την παρεμβολή του σταθμού βάσης, οπότε και οι τρεις τους λειτουργούν τόσο ως δέκτες όσο και ως πομποί.

Από χρόνια λοιπόν γίνονται επιδημιολογικές μελέτες, στις οποίες οι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν με στατιστική ανάλυση αν κάποιες ασθένειες ή κάποια συμπτώματα είναι πιο συχνά σε δείγμα ανθρώπων που διαθέτουν κινητά τηλέφωνα, σε σύγκριση με αντίστοιχο δείγμα που δεν κάνει χρήση αυτών των συσκευών. Στο πρώτο δείγμα έχουν διαπιστωθεί συχνά απώλειες μνήμης και πονοκέφαλοι.

Το μη-ιονίζων ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις περιοχές ανάλογα με τις βιολογικές του επιπτώσεις:

- Το τμήμα της οπτικής ακτινοβολίας, όπου μπορεί να συμβεί διέγερση ηλεκτρονίων με φωτοχημικές βιολογικές επιδράσεις.
- Το τμήμα του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπου το μήκος κύματος είναι μικρότερο από το σώμα που ακτινοβολείται και μπορεί να προκληθεί θέρμανση μέσω των επαγόμενων ρευμάτων.
- Το τμήμα του φάσματος, όπου τα μήκη κύματος είναι πολύ μεγαλύτερα από το σώμα και είναι σπάνιο να επαχθούνε ρεύματα και θερμότητα.

1.12.8 Οπτική Ακτινοβολία

Στο τμήμα αυτό ανήκει η χαμηλή υπεριώδης ακτινοβολία, το ορατό φως και η υπέρυθη ακτινοβολία. Οι τιμές σχετίζονται με βιολογικές επιπτώσεις από την οπτική ακτινοβολία έχουμε μερικούς τύπους που θα τους δούμε πιο κάτω, οι όποιοι εξαρτώνται από το μήκος κύματος και τη διάρκεια έκθεσης στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από: $E = dP / dA$ [$W \ m^{-2}$] και $H = \int E(t) dt$ [$J \ m^{-2}$], όπου: dP : ισχύς, Εκφράζεται σε [W], dA : επιφάνεια. Εκφράζεται σε τετραγωνικά μέτρα [m^2], $E(t)$, E : ακτινοβολισμός ή πυκνότητα ισχύος: η ισχύς ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, ανά μονάδα επιφανείας, συνήθως εκφραζόμενη σε [$W \cdot m^{-2}$]. Οι τιμές των $E(t)$, E προέρχονται από μετρήσεις ή μπορεί να παρέχονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού, H : έκθεση σε ακτινοβολία, το ολοκλήρωμα χρόνου του ακτινοβολισμού. Εκφράζεται σε [$J \cdot m^{-2}$], t : χρόνος, διάρκεια της έκθεσης. Εκφράζεται σε δευτερόλεπτα, λ : μήκος κύματος. Εκφράζεται σε [nm], γ : περιοριστική γωνία κώνου οπτικού πεδίου μέτρησης. Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου [$mrad$], γ_m : οπτικό πεδίο μέτρησης, Εκφράζεται σε [$mrad$], α : γωνιακή υποθέμουσα παρατηρούμενης πηγής, σε [$mrad$], περιοριστικό άνοιγμα: η κυκλική επιφάνεια επί της οποίας προσδιορίζεται ο μέσος όρος του ακτινοβολισμού και της έκθεσης σε ακτινοβολία, G : ολοκληρωμένη ακτινοβολήση: το ολοκλήρωμα της ακτινοβολήσης για δεδομένη διάρκεια έκθεσης. Εκφράζεται ως ενέργεια ακτινοβολίας ανά μονάδα ακτινοβολούσας επιφανείας ανά μονάδα στερεάς γωνίας εκπομπής, σε [$J \ m^{-2} \ sr^{-1}$] (τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακίνιο).

1.12.9 Μη-Ιονίζουσα Ακτινοβολία Με Μικρό Μήκος Κύματος

Σε αυτό το κομμάτι του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκουν τα μικροκύματα και οι υψηλές ραδιοσυχνότητες. Οι επιπτώσεις αυτού του είδους των

ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από τον βαθμό απορρόφησης τους από τους διάφορους ιστούς.

Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβόλησης. Όταν η RF ακτινοβολία θερμαίνει τους ιστούς, τότε αν ο θερμορυθμιστικός μηχανισμός του σώματος δεν μπορεί να επαναφέρει την κανονική θερμοκρασία τους και γι' αυτό προξενούνται βλάβες. Όμως για να έχουμε παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας, πρέπει η πυκνότητα ισχύος να είναι πολύ μεγάλη ($1\text{mW}/\text{cm}^2$) ή η μέση τιμή ενέργειας που απορροφάται από όλο το σώμα (SAR) να είναι πάνω από $5\text{ W}/\text{kg}$.

Οι ραδιοσυχνότητες στην περιοχή AM (106 Hz), αλληλεπιδρούν πολύ ασθενώς με τους ανθρώπινους ιστούς και έτσι δεν προκαλούν θερμικά φαινόμενα. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μην μπορούν να προκύψουν τέτοιες θερμικές επιδράσεις. Εφόσον αυτές οι οριακές τιμές τηρούνται σε όλους τους προσιτούς χώρους καθώς και κατά τη συνομιλία με συσκευή κινητού τηλεφώνου, δεν πρέπει να φοβόμαστε θερμικές επιδράσεις.

1.12.10 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μεγάλο Μήκος Κύματος

Στο τελευταίο τμήμα του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκουν οι χαμηλές ραδιοσυχνότητες, τα μαγνητικά πεδία που παράγονται από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και τα στατικά πεδία. Στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία υπάρχουν ως φυσικά φαινόμενα, Αυτά δημιουργούνται από τις ηλεκτρικές φορτίσεις στις επιφάνειες, όπως για παράδειγμα στα σύννεφα, όπου οι διαφορές ηλεκτρικών δυναμικών μπορούν να υπερβούν τα κατώφλια των διηλεκτρικών αντοχών και να προκληθούν αποφορτίσεις με αστραπές. Επίσης, στατικά μαγνητικά πεδία 20-70μT υπάρχουν σε όλη την επιφάνεια της γης και σχετίζονται με τον προσανατολισμό και την αποδημητική συμπεριφορά ορισμένων ζώων.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων είναι εκτεθειμένη σε πολύ χαμηλή πεδιακή ισχύ. Υπάρχουν, εν τούτοις, αρκετές περιοχές βιολογικής αλληλεπίδρασης σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης που μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και για τις οποίες οι γνώσεις μας είναι περιορισμένες. Στην έκθεση σε στατικά ηλεκτρικά πεδία οι κύριες συνέπειες προέρχονται από την αντίληψη του πεδίου και από τις σπινθηρικές εκφορτίσεις με την επαφή αντικειμένων με διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό.

Όπως στα ηλεκτρικά πεδία, έτσι και οι βασικές επιδράσεις της έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία, προέρχονται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν τα ηλεκτρικά πεδία που επάγονται εξ' αιτίας της κίνησης μέσα στο πεδίο. Οι επιδράσεις αυτές εξαρτώνται από το μέγεθος των πεδίων και είναι αμελητέες στα επίπεδα της ακτινοβολίας που συνήθως δεχόμαστε καθημερινά. Σύμφωνα με μελέτες ωστόσο, οξεία έκθεση σε υπερβολικά χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επαρκούς ισχύος πεδίου ή πυκνότητας ροής θα καταλήξει στην αίσθηση έντονης επιφανειακής φόρτισης (ηλεκτρικά πεδία μόνο) και στην επαγωγή τέτοιων ηλεκτρικών δυναμικών και ρευμάτων στο σώμα, που μπορούν να επιδράσουν σε ηλεκτρικά διεγερσιμους ιστούς όπως τα νεύρα και οι μύες.

1.13 Κανονισμοί προστασίας από μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία

Οι μη-ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που δεν μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές επιδράσεις λόγω ιοντισμού. Μεταφέρουν σχετικά μικρή

ενέργεια που δεν είναι αρκετή να προκαλέσει ιοντισμό, ενώ είναι αρκετή για να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα. Οι βλάβες αυτές μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία τους με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ως θεραπευτικά μέσα.

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται από την ένταση και τη συχνότητά τους καθώς και από τον χρόνο έκθεσης. Έτσι, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνουν τα κύτταρα και τους ιστούς.

1.14 Ακτινοπροστασία από μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Οι βλάβες που μπορούν να προκληθούν από την μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία περιορίζονται μόνο κατά την διάρκεια ή αμέσως μετά το πέρας της έκθεσης σε αυτές. Επίσης οι βλάβες προκαλούνται μόνο όταν η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτές ξεπεράσουν ορισμένα όρια, όπως η υπερβολική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Σημαντική επίδραση στην πρόκληση βλαβών από τις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες έχουν οι ιδιαιτερότητες του εκτιθέμενου ατόμου. Στον γενικό πληθυσμό υπάρχουν και ειδικές ομάδες ατόμων όπως μικρά παιδιά, ασθενείς, ηλικιωμένοι, έγκυες, στους οποίους συχνά τα όρια πρόκλησης βλαβών είναι χαμηλότερα από το μέσο όρο του γενικού συνόλου. Η τήρηση όμως των βασικών περιορισμών για τις ομάδες αυτές εξασφαλίζει και την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν από τα ελάχιστα όρια για την πρόκληση αποδεδειγμένων βλαβερών επιδράσεων στην υγεία αφού υιοθετηθούν μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας π.χ. για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα 0- 300 GHz, της τάξης του 50.

Οι περισσότεροι βασικοί περιορισμοί δεν αφορούν μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον όπου λειτουργούν οι διατάξεις εκπομπής μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας, αλλά επαγόμενα μεγέθη στο εσωτερικό του σώματος των ανθρώπων που είναι δύσκολο να μετρηθούν και μπορεί να ποικίλουν σημαντικά ανάμεσα σε άτομα της ίδιας πληθυσμιακής ομάδας. Για τον λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες έκθεσης του ατόμου σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες, προκύπτουν «επίπεδα αναφοράς» που είναι εύκολα μετρήσιμες παράμετροι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η τήρησή τους εξασφαλίζει και την τήρηση του βασικού περιορισμού και κατά συνέπεια την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την γνώση που αποκτάται σε σχέση με τις βλάβες που προκαλούνται από την έκθεση σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες τα όρια έκθεσης σε αυτές για την αποφυγή πρόκλησης βλαβών τελούν υπό συνεχή αναθεώρηση.

Γενικός κανόνας είναι να τηρούνται τα όρια έντασης των μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών, καθώς και του μέγιστου χρόνου έκθεσης σε αυτές, γιατί περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο πρόκλησης βλαβών στον ανθρώπινο οργανισμό.

1.15 Νομοθετικό Πλαίσιο και μέτρα προστασίας από την ακτινοβολία Laser

Ορισμένες βασικές αρχές για την λειτουργία συσκευών με πηγές ακτινοβολίας Laser έχουν τεθεί στην Ελληνική Νομοθεσία με το Προεδρικό Διάταγμα 377/1993 «Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στις οδηγίες 89/392/ΕΟΚ και 91/368/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές».

Συγκεκριμένα, στο παράρτημα Ι, παράγραφος 1.5.12 περιγράφονται οι βασικές αρχές προστασίας από τους κινδύνους που οφείλονται στους εξοπλισμούς Laser.

Ο υπεύθυνος πρέπει να επεξηγεί και να ενημερώνει για τους κινδύνους όσους εργάζονται σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser. Για κάθε επόμενη κατηγορία (από την Ι στην IV) απαιτούνται πρόσθετα μέτρα ελέγχου και προστασίας του χρήστη και των παρόντων.

Οι κανόνες ασφάλειας για την χρήση συσκευών ακτινοβολίας Laser πρέπει να βρίσκονται σε ευκρινές σημείο και να φέρουν τις κατάλληλες σημάνσεις και προειδοποιήσεις. Είναι απαραίτητη η ανάρτηση σχετικών προειδοποιητικών σημάτων στις εισόδους του χώρου όπου υπάρχουν οι συσκευές με ακτινοβολία Laser, καθώς και η σήμανση των συσκευών για την κατηγορία στην οποία ανήκει η πηγή ακτινοβολίας Laser που διαθέτουν. Επίσης, πρέπει να υπάρχει κατάλληλο οπτικό σύστημα στην είσοδο του χώρου, προκειμένου να προειδοποιεί τυχόν εισερχόμενους για την λειτουργία της πηγής ακτινοβολίας Laser.

Οι εργαζόμενοι σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser πρέπει:

- να φορούν υποχρεωτικά τα κατάλληλα προστατευτικά γυαλιά κατά την διάρκεια της εργασίας τους, ακόμη και όταν δημιουργούνται δυσκολίες,
- να αποφεύγουν να κοιτάζουν απευθείας την δέσμη ακτινοβολίας Laser,
- να λαμβάνουν μέτρα για την προστασία των χεριών τους και άλλων μερών του σώματος από τη ακτινοβολία,
- να μην επιτρέπουν σε κανέναν την είσοδο στους χώρους αυτούς κατά την διάρκεια λειτουργίας της πηγής ακτινοβολίας Laser,
- να ανάβουν την πηγή ακτινοβολίας Laser μόνον εφόσον έχει απομακρυνθεί από την πορεία της κάθε ανακλώσα επιφάνεια που θα μπορούσε να την οδηγήσει προς ανεπιθύμητες κατευθύνσεις,
- να αποφεύγουν να φορούν οτιδήποτε μπορεί να ανακλά την δέσμη Laser, όπως ρολόγια, κοσμήματα,
- να επισκέπτονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα οφθαλμίατρο προκειμένου να διαγνωσθούν έγκαιρα τυχόν βλάβες του αμφιβληστροειδούς,
- να αποφεύγουν να τρώνε και να πίνουν, όπως άλλωστε σε όλους του εργαστηριακούς χώρους.

Επίσης εκτός από τους κινδύνους της πηγής ακτινοβολίας Laser υπάρχουν ορισμένοι επιπλέον κίνδυνοι από τα ηλεκτρικά συστήματα των συσκευών Laser, όπως:

- οι συσκευές Laser λειτουργούν σε υψηλές τάσεις και τυχόν διαρροές μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία, ο δε κίνδυνος αυξάνει όταν χρησιμοποιείται νερό για την ψύξη της συσκευής Laser,
- κίνδυνος από κρουγονικά υγρά ψύξης των συσκευών Laser (υγρό άζωτο, υγρό ήλιο) τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία και
- κίνδυνος εκδήλωσης φωτιάς (από πυκνωτές, εύφλεκτα αέρια ή διαλύτες, στατικός ηλεκτρισμός).

- πρέπει να αποφεύγεται κάθε επέμβαση για την επισκευή της συσκευής Laser από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, ακόμη και όταν είναι συνδεδεμένη στην ηλεκτρική παροχή, αλλά εκτός λειτουργίας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί μόλυνση της ατμόσφαιρας του εργαστηριακού χώρου που λειτουργεί η πηγή ακτινοβολίας Laser.

Οι σημαντικότερες αιτίες για την πρόκληση της μόλυνσης είναι:

- προϊόντα του συστήματος αερίων του Laser (ενεργό αέριο, σύστημα ψύξης, κ.ά.) και
- καπνοί που δημιουργούνται από την απανθράκωση ή την αποδόμηση ιστών, κάτι που απαντάται συχνότερα σε χειρουργικές εφαρμογές.

Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλου κλιματιστικού συστήματος, το οποίο, εκτός από την διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου σε καθορισμένα επίπεδα που να εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της συσκευής με πηγή ακτινοβολίας Laser, να καθαρίζει επαρκώς την ατμόσφαιρα.

Ανάλογες προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται σε εργαστηριακούς χώρους όπου χρησιμοποιούνται άλλα είδη επιβλαβούς ακτινοβολίας, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος από 100 έως 400 nm (UVA (400-315nm), UVB (315-280nm) και UVC (280-100nm)).

Η παρατεταμένη έκθεση στην UVB ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και μερικές φορές καρκίνο του δέρματος. Εντούτοις, η πλέον θανατηφόρα μορφή είναι το κακοήθες μελάνωμα το οποίο προκαλείται από την άμεση καταστροφή του DNA (ελεύθερες ρίζες και οξειδωτικό). Στους ανθρώπους, σε παρατεταμένη έκθεση τους σε UV ακτινοβολία μπορεί να προκληθούν οξεία και χρόνια προβλήματα υγείας στο δέρμα, στους οφθαλμούς και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Επιπλέον, η UVC-ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιδράσεις οι οποίες ανάλογα με την περίπτωση να είναι μεταλλαξιογόνες ή καρκινογόνες. Η UVC-ακτινοβολία έχει την μεγαλύτερη ενέργεια και είναι ο πιο επικίνδυνος τύπος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία UVC κατακρατείται σε σημαντικό ποσοστό από την ατμόσφαιρα και γι' αυτό δεν είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτήν τις τελευταίες δεκαετίες. Εντούτοις, η χρήση της σε συσκευές αποστείρωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα εάν η λυχνία UV παραμένει αναμμένη, ενώ η συσκευή είναι ανοικτή (Κροντηράς και συν., 2012).

1.16 Διεθνή όρια ασφαλείας

Η καθιέρωση ορίων ασφαλείας για τη μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τους πλέον σοβαρούς διεθνείς οργανισμούς ή κράτη, είναι η πλέον κραυγαλέα ομολογία της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για τις επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού από την έκθεση στην ακτινοβολία αυτή.

Τα όρια που προτείνονται πρέπει να τονιστεί ότι είναι όρια επικινδυνότητας και όχι όρια ασφαλείας, αφού μια οποιαδήποτε δόση ακτινοβολίας, οποιουδήποτε είδους και να είναι δεν μπορεί ποτέ να θεωρηθεί ασφαλής. Τα όρια επικινδυνότητας διαφέρουν από κράτος σε κράτος και από οργανισμό σε οργανισμό. Αυτή η διαφορά οφείλεται στη διαφορετική εκτίμηση του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο είδος της ακτινοβολίας. Έτσι όσοι δέχονται τις θερμικές επιδράσεις προτείνουν υψηλά όρια, ενώ όσοι πιστεύουν στις μη θερμικές

επιδράσεις προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια. Στον πίνακα 3 (συντάχθηκε το Φεβρουάριο του 2000), παρουσιάζονται συγκριτικά πρότυπα που αφορούν την έκθεση του κοινού στην ΗΜΑ (ραδιοσυχνότητες), τα οποία έχουν θεσπιστεί από διάφορες χώρες ή οργανισμούς. Το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz)», L 199 (1999/519/EC), κατόπιν σχετικής εισήγησης της επιστημονικής επιτροπής καθοδήγησης επί διεπιστημονικών θεμάτων, υιοθέτησε τα όρια για την προστασία του κοινού της ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection – Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες), όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της. Η ICNIRP είναι μια ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση, μεγάλου κύρους που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας). 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 1οC. 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 ότι η 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 (Institute of Electrical and Electronic Engineers – Ίδρυμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών), το NRPB (National Radiological Protection Board – Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας) της Μεγάλης Βρετανίας, κ.ά..

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης: χαμηλότερα όρια για το γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματίες ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνυόμενα μέτρα προστασίας. Επιπλέον, ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν εύκολα να

μετρηθούν. Επισημαίνεται ότι για τη διατύπωση των βασικών περιορισμών έχει υιοθετηθεί ένας παράγοντας ασφάλειας (10 ως και 50), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα εκτίμησης του ορίου εμφάνισης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία.

Τα όρια (επίπεδα αναφοράς) που προτείνονται από την ICNIRP διαφοροποιούνται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας ΡΣ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απορρόφηση ενέργειας ΡΣ από ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος ΡΣ. Τα πλέον αυστηρά όρια για ολόσωμη έκθεση αντιστοιχούν στο εύρος συχνοτήτων 30-300 MHz, όπου το ανθρώπινο σώμα απορροφά περισσότερο την ενέργεια ΡΣ. Για συσκευές που συμβάλλουν μόνο στην έκθεση τμήματος του σώματος, όπως τα κινητά τηλέφωνα, καθορίζονται τα όρια έκθεσης μόνο με βάση τον SAR.

1.17 Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η Ελληνική Νομοθεσία, εναρμονιζόμενη στις βασικές οδηγίες διεθνών οργανισμών όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, η Διεθνής Επιτροπή για την προστασία από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες και η Ευρωπαϊκή Ένωση, υιοθέτησε βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς και εξέδωσε όρια για την ασφαλή έκθεση του κοινού στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων σε όλο το φάσμα των σύγχρονων εφαρμογών και υπηρεσιών (ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο εύρος συχνοτήτων 0-300 GHz).

Αρμόδια ελληνική υπηρεσία για τον έλεγχο και την εφαρμογή των κανονισμών της ελληνικής νομοθεσίας, είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), η οποία μέσω ελέγχων και επί τόπου μετρήσεων, καταγράφει τα επίπεδα της έκθεσης του γενικού πληθυσμού και διασφαλίζει την τήρηση των θεσμοθετημένων ορίων σε όλους τους ελεύθερα προσπελάσιμους από το κοινό χώρους στο περιβάλλον σταθμών κεραιών και διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, προδιαγράφοντας ειδικά μέτρα προφύλαξης του κοινού (όπου είναι αυτά απαραίτητα). Στην ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, υπάρχουν σειρά Προεδρικών Διαταγμάτων, Κανονισμών και βασικών οδηγιών της Ελληνικής και της Κοινοτικής Νομοθεσίας, εγκύκλιοι και αποφάσεις του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΕΑΕ, που αφορούν το πλαίσιο λειτουργίας διατάξεων που εκπέμπουν μη-ιονίζουσα ακτινοβολία, τα αποδεκτά όρια για τον πληθυσμό και τους εργαζόμενους σε χώρους όπου εκπέμπεται μη-ιονίζουσα ακτινοβολία, καθώς και τα μέτρα προστασίας του πληθυσμού και των εργαζομένων.

Για το αν υπάρχουν οριακές τιμές, πάνω από τις οποίες ενδέχεται να υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις, αρμόδιοι φορείς για παροχή πληροφόρησης και οδηγιών είναι κυρίως η ICNIRP, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Διάφοροι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει όρια επικινδυνότητας για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και στους διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς. Τα όρια επικινδυνότητας διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το σε ποιους απευθύνονται, στον γενικό πληθυσμό ή στους επαγγελματικά απασχολούμενους. Έτσι για παράδειγμα, τα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη συχνότητα των 900 MHz (συχνότητα κινητής τηλεφωνίας), τα οποία καθιερώθηκαν το 1988 από τη “Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, IRPA” (“International Radiation Protection Association”) [IRPA, 1988] και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη “Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιονίζουσα Ακτινοβολία, ICNIRP”, (“International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”) [ICNIRP, 1998], είναι:

- για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 2.25 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.4 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.
- για τον γενικό πληθυσμό: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 0.45 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.08 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Άλλα όρια έκθεσης έχουν προταθεί από άλλες επιστημονικές οργανώσεις, όπως: ANSI (“American National Standards Institute”) [ANSI, 1982], IEEE, (“Institute of Electrical and Electronic Engineers”) [IEEE, 1992] και NCRP, (“National Council on Radiation Protection and Measurements” - ΗΠΑ) [NCRP, 1995], με ελαφρά μεγαλύτερες τιμές ορίων έκθεσης (Verschaeve, 1998).

Στη χώρα μας η κινητή τηλεφωνία εκπέμπει στα 900 MHz, στα 1800 MHz και στα 2100 MHz για να αποτρέπεται η παρεμβολή μεταξύ των διαφορετικών ραδιοσημάτων, ενώ οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας που λειτουργούν στην Ελλάδα είναι η COSMOTE (GSM900, DCS1800, UMTS), η Q-TELECOM (DCS1800), η TIM (GSM900, DCS1800, UMTS) και η VODAFONE (GSM900, DCS1800,UMTS).

Ο νόμος 3431/2006 επιβάλλει περιορισμούς σχετικά με όρους εγκατάστασης κεραιών κινητής τηλεφωνίας καθορίζοντας μάλιστα σαν ανώτατα όρια το 70% των ορίων της ICNIRP, ενώ αν σε απόσταση μικρότερη από 300 μέτρα υπάρχουν βρεφονηπιακοί σταθμοί, σχολεία, γηροκομεία, ή νοσοκομεία, τα επίπεδα έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των ορίων της ICNIRP. Δηλαδή εφαρμόζονται ακόμα αυστηρότερα όρια σε σχέση με αυτά που ορίζονται από την ICNIRP, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Στις παρενθέσεις είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στο 60%.

Αρμόδιος φορέας για τον έλεγχο της τήρησης των ορίων έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), ενώ οι μετρήσεις της ακτινοβολίας πραγματοποιούνται από την ίδια ή από εξουσιοδοτημένους από αυτήν φορείς.

Κεφάλαιο 2: Laser και βιολογικές επιδράσεις του οφθαλμού

2.1 Ιατρική Φυσική του 20ου αιώνα

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα ανακαλύφθηκαν οι ακτίνες-Χ από τον Rontgen, η ραδιενέργεια από τον Henri Becquerel και οι Pierre και Marie Curie ανακάλυψαν το Ράδιο και απομόνωσαν ραδιενεργά ισότοπα. Στην αρχή οι ανακαλύψεις τους δεν έγιναν με σκοπό την ιατρική εφαρμογή, όμως από τις μετέπειτα εφαρμογές που πραγματοποίησαν οδήγησαν στην πρώτη ακτινογραφία, η οποία έγινε με το χέρι της γυναίκας του Rontgen (Σχήμα 6). Το 1897 που ιδρύθηκε η πρώτη κοινότητα ραδιολογία, οι ακτίνες – Χ εισήχθησαν στην ιατρική για θεραπευτικούς σκοπούς. Η επικινδυνότητα των ακτίνων – Χ φάνηκε από νωρίς. Το 1898 δημιουργήθηκε επιτροπή με σκοπό να ερευνήσει τις αρχές προστασίας από τις ακτινοβολίες.



Σχήμα 6: Ακτινογραφία του χεριού της συζύγου του Rontgen.

Έπειτα από χρόνια μελετών, στις αρχές του 1980, έκαναν την εμφάνιση τους και νοσοκομεία, καθώς παρουσιάστηκαν μικρότερα σε μέγεθος και πιο ισχυρά laser. Τα περισσότερα από αυτά ήταν:

- laser διοξειδίου του άνθρακα, για κοπή και εξάχνωση ιστού και
- laser αργού για οφθαλμολογική χρήση.
- Ένα νέο πεδίο στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν laserNd:YAG και KTP(KTiOPO4) ήταν οι λαπαροσκοπικές επεμβάσεις.

Ωστόσο η δεύτερη αυτή γενιά laser ήταν όλα τους συνεχούς λειτουργίας (CW, continuous wave). Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού προκαλούσαν εγκαύματα (λόγω της συνεχούς προσφοράς ενέργειας στον ιστό που την απορροφούσε και αύξανε την θερμοκρασία του) και απαιτούσαν εξειδικευμένο προσωπικό.

Η πιο σημαντική εξέλιξη είναι η ανάπτυξη των παλμικών laser που επιτύγχαναν επιλεκτική καταστροφή του ασθενούς ή ανεπιθύμητου ιστού, περιορίζοντας όμως στο ελάχιστο την επιβάρυνση που δέχεται ο υγιής ιστός. Τα πρώτα laser που χρησιμοποίησαν αυτή την αρχή της επιλεκτικής θερμόλυσης ήταν τα παλμικά laser χρωστικών (Pulsed Dye Laser) στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και ακολούθησαν τα Q-Switched laser. Επιπλέον η ανάπτυξη τεχνικών σάρωσης είχε ως αποτέλεσμα τον ακριβή χειρισμό των laser με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η εισαγωγή των Laser στην Ιατρική έκανε δυνατή την θεραπεία ασθενειών ήταν είτε δύσκολες ως προς την ίαση είτε μη ιάσιμες, με τους ασθενείς να επωφελούνται από την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων και την μείωση του κόστους. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη laser για την θεραπεία βλαβών των αιμοφόρων αγγείων, στην διόρθωση προβλημάτων όρασης, χωρίς την εμπλοκή του ιατρού, καθώς και στην βελτιστοποίηση της φωτοδυναμικής θεραπείας του καρκίνου του δέρματος.

2.1.1 Ακτινοβολίες στην Ιατρική Φυσική

Στην Ιατρική Φυσική γίνεται χρήση ακτινοβολιών. Τις οποίες τις κατατάσσουμε σε δύο κατηγορίες αναλόγως αν μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό της ύλης, με την οποία αλληλεπιδρούν ή όχι. Οι κατηγορίες είναι οι εξής: Ιονίζουσες ακτινοβολίες και Μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες. Τα χαρακτηριστικά τους θα τα μελετήσουμε παρακάτω.

2.2 Ιονίζουσες Ακτινοβολίες

Ιονίζουσες ακτινοβολίες: οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς.

Ο ιοντισμός του ατόμου: είναι φυσικό φαινόμενο που ακολουθεί την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας με την ύλη. Είναι η βίαιη εκδίωξη ηλεκτρονίου από το άτομο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζεύγους αντίθετα φορισμένων ιόντων.

Οι γνωστότερες ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες Χ. Παράγονται στις λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων, καθώς και οι ακτινοβολίες α, β, και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι διεισδυτικές ως ακτινοβολίες διεισδυτικότητά τους στην ύλη εξαρτάται από το είδος τους και την ενέργεια που μεταφέρουν. Δόση ακτινοβολίας είναι η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας. Ανάλογα με το μέτρο της δόσης της ακτινοβολίας έχει σχέση με την πιθανότητα βλάβης της υγείας.

Ο άνθρωπος όσο ζει, δέχεται ακτινοβολία από ένα μεγάλο σύνολο φυσικών και τεχνητών πηγών που βρίσκονται διεσπαρμένες γύρω του. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες ανάλογα με την πηγή εκπομπή τους διακρίνονται σε:

- Φυσικές ακτινοβολίες (γήινο και διαστημικό περιβάλλον) και
- Τεχνητές ακτινοβολίες, τις οποίες εφηύρε και χρησιμοποιεί ο άνθρωπος.

- Οι φυσικές πηγές είναι συνθετικό του γήινου περιβάλλοντος. Σε αυτές είναι και τα συστατικά του φλοιού της γης και η κοσμική ακτινοβολία.
- Το έδαφος, το νερό και ο αέρας, περιλαμβάνουν και φυσικά ραδιενεργά στοιχεία, ενώ η επιφάνεια της γης προσβάλλεται συνεχώς και από την κοσμική ακτινοβολία με πηγές εκπομπής τον ήλιο και άλλες αστρικές περιοχές βυθισμένες στο διάστημα.

2.3 Τεχνητές πηγές ακτινοβολιών και η χρήση τους από τον άνθρωπο

Ο άνθρωπος, στα τέλη του 19ου αιώνα, ανακάλυψε τις τεχνητές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών. Έκτοτε η συστηματική έρευνα οδήγησε στην εκτεταμένη χρήση τους και στην λήψη μέτρων για προστασία από τις πιθανές βλαβερές επιπτώσεις τους.

Οι ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται σήμερα:

- στην ιατρική με συμβολή στη διάγνωση και στη θεραπεία
- στη βιομηχανία (ραδιογραφίες, ακτινοβολητές για αποστείρωση υλικών, διάφορα καταναλωτικά αγαθά κ.λπ.)
- στην παραγωγή ενέργειας
- στη γεωργία, την έρευνα και την εκπαίδευση.
- Στις τεχνητές πηγές ακτινοβολίας του ανθρώπου θα πρέπει να προστεθεί και η ραδιορύπανση του περιβάλλοντος. Οφείλεται σε πυρηνικές δοκιμές στην ατμόσφαιρα που έγιναν πριν το 1962.

2.3.1 Βιολογικές επιδράσεις

Η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να έχει άμεσα ή μακροπρόθεσμα βλαπτικά αποτελέσματα για την υγεία.

- Για πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας, η έκθεση μπορεί να ακολουθηθεί από άμεση καταστροφή κυττάρων, οργάνων και συστημάτων και να οδηγήσει ενίοτε στο θάνατο του ανθρώπου. Δόσεις που οδηγούν σε άμεσα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν μόνο σε μεγάλα ραδιολογικά ή πυρηνικά ατυχήματα.
- Για σχετικά χαμηλές δόσεις, μικρότερες από αυτές που οδηγούν σε άμεσα αποτελέσματα, υπάρχει στατιστικά η πιθανότητα μελλοντικής εμφάνισης καρκίνου, της οποίας το μέτρο είναι ανάλογο της δόσης.
- Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό του κυττάρου. Αυτές συνδέονται με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης. Η αποκτηθείσα γνώση μας επιτρέπει με βεβαιότητα να συγκαταλέξουμε τις ακτινοβολίες στους 4000 και πλέον καταγεγραμμένους καρκινογόνους παράγοντες, - κατά κανόνα χημικά και φαρμακευτικά προϊόντα της σύγχρονης τεχνολογίας - που υπονομεύουν καθημερινά τη ζωή μας. Στην κλίμακα επικινδυνότητας, οι ακτινοβολίες κατατάσσονται στους σχετικά ήπιους καρκινογόνους παράγοντες.

2.4 Μη Ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, ανίκανη να προκαλέσει ιοντισμό, μπορεί όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα, που μπορούν να είναι επιβλαβείς ή ευεργετικές για τη λειτουργία τους. Ειδικότερα, μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες στις οποίες εντάσσονται τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών (π.χ. κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας συστήματα ραντάρ κ.ά.), καθώς και η υπέρυθρη, η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται από την ένταση και τη συχνότητά τους. Έτσι, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνοντας τα κύτταρα και τους ιστούς.

2.4.1 Πηγές μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών

Μη ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που είναι ανίκανες να προκαλέσουν βιολογικές επιδράσεις λόγω ιοντισμού. Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών (π.χ. σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας), κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστημάτων ραντάρ κ.ά., καθώς και η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθρη ακτινοβολία. Στην Ιατρική οι κύριες πηγές μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών είναι τα υψηλής έντασης μαγνητικά πεδία από το MRI, οι υπέρηχοι από τις συσκευές υπερήχων καθώς και η ακτινοβολίας που προέρχεται από τα ιατρικά Laser.

2.5 Βιολογικές επιδράσεις

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών είναι διαφορετικές από εκείνες των ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Έτσι, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνοντας τα κύτταρα και τους ιστούς.

2.6 Laser

Η λέξη Laser είναι ακρωνύμιο των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation που σημαίνει ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Δηλαδή ένα laser είναι ένας ενισχυτής φωτός και μπορεί να παράγει μία έντονη δέσμη φωτονίων, τα οποία έχουν την ίδια συχνότητα, φάση, διεύθυνση και

πόλωση. Όλες οι εφαρμογές των lasers βασίζονται σε ένα ή και περισσότερα από αυτά τα ειδικά γνωρίσματα. Από τα παραπάνω, το χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει και τονίζει την ιδιαιτερότητα των laser είναι η συμφωνία, για αυτό και το φως που προέρχεται από το laser ονομάζεται «σύμφωνο», σε αντίθεση με το κοινό φως το οποίο είναι ασύμφωνο.

2.7 Απορρόφηση, Αυθόρμητη εκπομπή, Εξαναγκασμένη εκπομπή

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία ενός laser πρέπει πρώτα να αναλυθούν οι βασικές διεργασίες που μπορούν να λάβουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση ενός φωτονίου (Φωτός) και ενός ατομικού συστήματος (Υλης). Αυτές είναι η Απορρόφηση, η Αυθόρμητη Εκπομπή και η Εξαναγκασμένη Εκπομπή.

2.7.1 Απορρόφηση

Ένα άτομο μπορεί να απορροφήσει ένα φωτόνιο ενέργειας $h\nu$ (όπου h είναι η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του φωτονίου) και να υποστεί διέγερση από μία κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας E_1 σε μία κατάσταση υψηλότερης ενέργειας E_2 όπου όμως ισχύει $E_2 - E_1 = h\nu$.

2.7.2 Αυθόρμητη εκπομπή

Κατά την αυθόρμητη εκπομπή, ένα άτομο το οποίο είναι διεγερμένο στην κατάσταση E_2 αποδιεγείρεται στην κατάσταση E_1 εκπέμποντας ταυτόχρονα φωτόνιο το οποίο έχει ενέργεια ίση με την διαφορά ενέργειας των δύο καταστάσεων $E_2 - E_1 = h\nu$.

2.7.3 Εξαναγκασμένη Εκπομπή

Η εξαναγκασμένη εκπομπή μοιάζει με την αυθόρμητη εκπομπή. Η αυθόρμητη εκπομπή αποδιεγείρει το άτομο μόνο του. Στην εξαναγκασμένη το αναγκάζουμε να αποδιεγερθεί με την χρήση ενός φωτονίου ενέργειας ίσης με την διαφορά των δύο επιπέδων $E_2 - E_1 = h\nu$. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε δύο φωτόνια, τα οποία έχουν την ίδια ακριβώς ενέργεια. Στο φαινόμενο της εξαναγκασμένης εκπομπής βασίζεται η λειτουργία των Laser.

2.7.4 Δημιουργία δέσμης laser

Παρακάτω θα μελετηθεί η δημιουργία της δέσμης laser, με τον τρόπο του φαινομένου της αναστροφής πληθυσμών. Όταν το φως προσπίπτει σε ένα σύστημα ατόμων υπό θερμική ισορροπία υπάρχει απορρόφηση ενέργειας και υπάρχουν περισσότερα άτομα στην θεμελιώδη κατάσταση από ότι στην διεγερμένη. Με την αντιστροφή πληθυσμών προκαλούμε την αντιστροφή αυτής της κατάστασης, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται στην διεγερμένη. Στην κατάσταση αντιστροφής πληθυσμών ένα και μοναδικό φωτόνιο μπορεί σε κατάλληλες συνθήκες να προκαλέσει χιονοστιβάδα από φωτόνια, τα οποία έχουν προέλθει από εξαναγκασμένη εκπομπή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλα τα φωτόνια που προκύπτουν να έχουν την ίδια συχνότητα, την ίδια φάση και να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση.

Τα διαφορετικά είδη laser μοιράζονται ένα κοινό στοιχείο: Κάθε ένα από αυτά περιέχει ένα υλικό, το οποίο είναι ικανό να ενισχύει την ακτινοβολία, το οποίο

ονομάζεται Ενεργό Υλικό (Gain Medium), επειδή η ακτινοβολία ενισχύεται με κάθε πέρασμά της μέσα από αυτό.

Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν ένα laser είναι:

- το Ενεργό Υλικό (Amplifying / Gain Medium). Με αυτό ενισχύει την ακτινοβολία που διέρχεται από αυτό. Το υλικό αυτό βρίσκεται ανάμεσα από δύο κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας, ολικής το ένα και μερικής το άλλο. Σκοπός είναι να «παγιδεύουν» το φως, ώστε να το αναγκάζουν να εγκλωβίζεται μέσα στην οπτική κοιλότητα και να διέρχεται συνεχόμενα μέσα από το ενεργό υλικό, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυσή του.
- Ένα φωτόνιο παράγεται παράλληλα στον άξονα του Ενεργού Υλικού και υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις ανάμεσα στα κάτοπτρα. Μετά από κάθε πλήρη κύκλο στην κοιλότητα, η ένταση του πακέτου των φωτονίων που σχηματίζεται αυξάνεται κατά G^2 και μειώνεται κατά R , (όπου G είναι η απολαβή έντασης της ράβδου και R η ανακλαστικότητα του μερικώς ανακλαστικού κατόπτρου).

Αν ισχύει όμως $G^2 \cdot R > 1$ τότε η ένταση του φωτός αυξάνεται χωρίς όριο, με αποτέλεσμα να έχουμε την εκπομπή μιας ισχυρής-κατευθυντικής δέσμης φωτός με την ισχύ της.

Δεύτερη προϋπόθεση για την εκπομπή ακτινοβολίας laser είναι τα φωτόνια, τα οποία υφίστανται τις πολλαπλές ανακλάσεις για να έχουν την ίδια φάση με τα φωτόνια, τα οποία προέρχονται από το ενεργό υλικό. Αν δεν συμβαίνει αυτό, τότε τα δύο κύματα θα συμβάλλουν καταστροφικά, με αποτέλεσμα τον τερματισμό της εκπομπής. Επομένως τα μόνα κύματα που υπάρχουν στην κοιλότητα είναι αυτά που ικανοποιούν την συνθήκη: $n\lambda = 2d$, όπου d το μήκος της οπτικής κοιλότητας.

Το σύστημα αυτό σε συνδυασμό με τα κάτοπτρα, ονομάζεται Οπτικό Αντηχείο. Ενισχύει συγκεκριμένες οπτικές συχνότητες σε αντιστοίχιση με το Ακουστικό Αντηχείο το οποίο ενισχύει συγκεκριμένες ακουστικές συχνότητες.

Ένα ποιοτικό laser πρέπει να επιφέρει κέρδος και να έχει λιγότερες απώλειες. Κάθε στάδιο της λειτουργίας ενός laser λειτουργεί με τις βασικές αρχές της Φυσικής και είναι μια ευκαιρία για απώλεια ενέργειας και αύξηση της εντροπίας.

2.8 Χαρακτηριστικά Ακτινοβολίας Laser

Ο ιδιαίτερος τρόπος, με τον οποίο δημιουργείται το φως από τα Laser, έχει κάποια χαρακτηριστικά που δεν έχουν οι υπόλοιπες πηγές φωτός (φυσικό και τεχνητό φως). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η υψηλή κατευθυντικότητα, η φωτεινότητα, η μονοχρωματικότητα και ο υψηλός βαθμός συμφωνίας.

2.8.1 Μονοχρωματικότητα

Αν φυσικό ή τεχνητό φως περάσει μέσα από ένα πρίσμα φαίνεται η ανάλυσή του στα διάφορα χρώματα – μήκη κύματος του ορατού φάσματος που είναι το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο, το μπλε και το ιώδες. Κάνοντας το αντίστοιχο με την δέσμη ενός laser, θα παρατηρήσουμε μόνο ένα χρώμα να εμφανίζεται στο χαρτί, αυτό της προσπίπτουσας στο πρίσμα δέσμης. Αν αντί για πρίσμα χρησιμοποιήσαμε μονοχρωμάτορα σχετικά μεγάλης αναλυτικής ικανότητας θα μπορούσαμε να μετρήσουμε την κατανομή της έντασης του φωτός του laser ως

συνάρτηση του μήκους κύματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Το πλάτος στο μισό του ύψους της κατανομής (FWHM, Full Width at Half Maximum) χαρακτηρίζει την μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας ή ισοδύναμα το φασματικό εύρος (Bandwidth) του laser. Όσο πιο στενή είναι η κατανομή, τόσο πιο μονοχρωματική είναι η ακτινοβολία.

2.8.2 Κατευθυντικότητα

Η ακτινοβολία που εξέρχεται από ένα laser έχει διάδοση προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση με μικρή γωνιακή διασπορά ως προς την κατεύθυνση διάδοσης όπως δείχνεται και στο Σχήμα 13. Έχει δηλαδή κατευθυντικότητα. Όσο μικρότερη είναι η γωνία απόκλισης, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατευθυντικότητα της δέσμης. Η κατευθυντικότητα της δέσμης laser καθορίζεται από τον τύπο του οπτικού αντηχείου, την ποιότητα των κατόπτρων, την κοιλότητα, καθώς και τον τρόπο άντλησης.

2.8.3 Φωτεινότητα (Brightness)

Η φωτεινότητα της ακτινοβολίας των διαφόρων συστημάτων laser είναι πολύ μεγάλη και μπορεί να θεωρηθεί ως και μεγαλύτερη με εκείνης του ήλιου. Η φωτεινή ισχύ ανά μονάδα φωτιζόμενης επιφάνειας και ανά μονάδα στερεάς γωνίας μέσα στην οποία διαδίδεται η ακτινοβολία είναι: Laser: $1.2 \cdot 10^9 \text{W/m}^2\text{sr}$, Λάμπα πυρακτώσεως: $4 \cdot 10^3 \text{W/m}^2\text{sr}$, Ήλιος: $2 \cdot 10^7 \text{W/m}^2\text{sr}$

Παρατηρούμε ότι η φωτεινότητα του laser είναι περίπου 60 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του ήλιου. Έτσι ένα laser με ισχύ εξόδου μόλις 5mW θεωρείται επικίνδυνο ενώ μία λάμπα πυρακτώσεως 100W όχι.

2.8.4 Συμφωνία (Χρονική - Χωρική)

Η ύπαρξη του φασματικού εύρους $\Delta\nu$ δείχνει ότι διαφορετικές συχνότητες μέσα σε μια δέσμη laser μπορούν να βρεθούν εκτός φάσης μεταξύ τους. Ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε δύο συχνότητες που διαφέρουν κατά $\Delta\nu$ εκτός φάσης κατά 2π ισούται με $1/\Delta\nu$. Μετά αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να έχουμε καταστροφική συμβολή, με αποτέλεσμα η δέσμη να χάσει την συμφωνία της. Το χρονικό αυτό διάστημα $\Delta t = 1/\Delta\nu$ ονομάζεται χρόνος συμφωνίας της δέσμης. Ακόμα και για ένα laser που έχει φασματικό εύρος $\Delta\nu = 1 \text{MHz}$ βρίσκουμε ότι ο χρόνος συμφωνίας είναι $\Delta t = 1 \mu\text{s}$ και είναι πολύ μικρότερος σε σύγκριση με το $\Delta t = 2 \cdot 10^{-15}$, που είναι ο χρόνος συμφωνίας του ηλιακού φωτός. Αντίστοιχα ως χωρική συμφωνία ορίζεται το διάστημα που πρέπει να διανύσει η δέσμη, μέχρι να χάσει την συμφωνία της και ορίζεται ως μήκος συμφωνίας το διάστημα $\Delta z = c\Delta t$.

2.9 Ταξινόμηση των laser βάσει επικινδυνότητας

Τα laser ταξινομούνται με βάση την επικινδυνότητά τους. Αυτό έγινε, διότι με αυτό τον τρόπο οι χρήστες laser μπορούν να κάνουν μια εκτίμηση κάποιου πιθανού κινδύνου που μπορεί να τους συμβεί με τη χρήση τους.

Τα laser χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με:

- τη ισχύ και την ενέργεια της δέσμης,
- το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και

την διάρκεια της έκθεσης.

Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στις περιπτώσεις των Laser που μπορεί να προκαλέσουν βιολογικές βλάβες στο μάτι ή και στο δέρμα, και στο ενδεχόμενο πρόκλησης πυρκαγιών. Αυτά οφείλονται στην άμεση έκθεση στην δέσμη, καθώς και στην διάχυση ή ανάκλαση αυτής. Δηλαδή, με βάση αυτή την ταξινόμηση ο κάθε χρήστης μπορεί να ακολουθήσει τις απαραίτητες προφυλάξεις ασφαλείας που είναι συγκεκριμένες για την κάθε κατηγορία. Η κατανόηση της ταξινόμησης αποτελεί σημαντικό βήμα στα θέματα ασφαλείας που σχετίζονται με τα Laser. Η ταξινόμηση των Laser βασίζεται στη μέγιστη ισχύ ανάλογα με τη χρήση που προορίζεται. Εάν όμως το σύστημα μπορεί και εκπέμπει σε διάφορα μήκη κύματος, τότε η ταξινόμηση γίνεται με βάση την πιο επικίνδυνη δυνατή λειτουργία.

2.9.1 Κατηγορία 1 (Class1)

Σε αυτή την κατηγορία είναι τα Laser που δεν παράγουν επιβλαβή ακτινοβολία κατά την προβλεπόμενη λειτουργία τους. Μπορούν όμως να προκαλέσουν βλάβες, οι οποίες όμως δεν οφείλονται στην δέσμη Laser (Non-beamhazards). Όμως, άσκοπη έκθεση στην δέσμη αυτών των Laser θα πρέπει να αποφεύγεται.

2.9.2 Κατηγορία 1M (Class 1M)

Ούτε αυτή η κατηγορία μπορεί σε κανονικές συνθήκες να παράγει επίπεδα ακτινοβολίας που να προκαλούν ζημιά. Εκτός αν κοιτάξουμε την δέσμη με την βοήθεια ισχυρών οπτικών μέσων, όπως ισχυρούς φακούς (eye-loupe) ή τηλεσκόπιο. Τα laser αυτά δεν χρειάζονται παραπάνω μέτρα προστασίας πέρα από την πρόληψη χρήσης οπτικών μέσων.

2.9.3 Κατηγορία 2 (Class 2)

Ένα Laser που βρίσκεται στην κατηγορία 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς και με τον τρόπο που προβλέπεται από τον κατασκευαστή. Δεν χρειάζεται ειδική κατάρτιση. Τα Laser αυτά εκπέμπουν ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του φάσματος(400-700nm) και μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στον οφθαλμό στην περίπτωση της μακροχρόνιας έκθεσης. Το πετάρισμα του οφθαλμού απέναντι στη συγκεκριμένη πηγή διαρκεί 0,25 δευτερόλεπτα και αυτό το φυσικό αντανακλαστικό των βλεφάρων παρέχει επαρκή προστασία. Η ισχύς τους είναι μεταξύ 0.4 microwatt (μW) και 1 milliwatt (mW) για Laser συνεχούς λειτουργίας. Ο μεγαλύτερος αριθμός αυτή της κατηγορίας είναι τα Laser Ηλίου-Νέου (He-Ne).

2.9.4 Κατηγορία 2M (Class 2M)

Το ίδιο με τα παραπάνω. Ο κίνδυνος να γίνουν επικίνδυνα αυξάνει σημαντικά όταν η έκθεση γίνεται μέσα από οπτικά μέσα.

2.9.5 Κατηγορία 3R(Class 3R)

Αυτά τα συστήματα laser είναι δυνητικά επικίνδυνα σε άμεση ή σε (κατοπτρική) ανάκλαση και έκθεση του ματιού που είναι σταθερό και κατάλληλα εστιασμένο. Η πιθανότητα τραυματισμού είναι μικρή. Δεν δημιουργούν κινδύνους πυρκαγιάς ή κινδύνους από διάχυση της δέσμης. Μπορούν όμως να δημιουργήσουν κινδύνους αν διέρχονται μέσα από κατάλληλα οπτικά μέσα. Laser ισχύος εξόδου μεταξύ 1-5mW, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

2.9.6 Κατηγορία 3B (Class 3B)

Τα Laser σε αυτή την κατηγορία μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό του οφθαλμού, εάν κοιτάξουμε απευθείας την δέσμη ή ακόμα και κάποια ανάκλασή της. Η ισχύς εξόδου των Laser κυμαίνεται από 5-500 mW για Laser συνεχούς λειτουργίας (CW) και λιγότερο από 0,03 Joule (J) για παλμικά Laser (Pulsed), τα οποία έχουν εύρος παλμού μικρότερο από 0,25 δευτερόλεπτα.

2.9.7 Κατηγορία 4 (Class 4)

Αυτά τα Laser είναι τα πιο επικίνδυνα. Όλοι οι τύποι δέσμης (άμεση, ανακλώμενη, διαχεόμενη) μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό στον οφθαλμό και στο δέρμα. Ακόμα, μπορούν να προκαλέσουν ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών και να δημιουργήσει επικίνδυνα αέρια(π.χ. O₃). Η ισχύς εξόδου για όλα τα μήκη κύματος είναι άνω των 500mW για Laser συνεχούς λειτουργίας (CW) και μεγαλύτερη από 0,03J για παλμικά Laser (Pulsed). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι είτε στα ορατά είτε στα μη-ορατά μήκη κύματος.

Τα συστήματα Laser χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με:

- τον τρόπο λειτουργίας τους,
- τη «φύση» του οπτικού ενεργού μέσου.

Στη συνέχεια αναφέρουμε τους κανόνες ταξινόμησης των Laser σε κατηγορίες που αναφέρθηκαν.

2.10 Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας

2.10.1 Continuous Wave Lasers- CW (Laser συνεχούς λειτουργίας)

Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με σταθερό ρυθμό ισχύος της δέσμης. Στα περισσότερα Laser μεγάλης ισχύος υπάρχει δυνατότητα καθορισμού της, ενώ στα laser αερίων μικρής ισχύος (He-Ne) η ισχύς εξόδου είναι σταθερή εκ κατασκευής και μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

2.10.2 Single Pulsed Lasers (Laser μονού παλμού)

Τα laser συνήθως έχουν διάρκεια παλμού από μερικές εκατοντάδες microseconds ως μερικά milliseconds. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας αναφέρεται και ως κανονικός τρόπος, ή μακρύς παλμός.

2.10.3 Single Pulsed Q-Switched (Laser μετατροπής Q)

Αυτά τα συστήματα Laser, στα οποία μία καθυστέρηση, εκτός της κοιλότητας, επιτρέπει στο ενεργό μέσο να αποθηκεύσει το μέγιστο της ενέργειας. Στη συνέχεια, ύστερα από συνθήκες βέλτιστου κέρδους (gain), η εκπομπή συμβαίνει σε μονό παλμό, της τάξης του 10⁻⁸s. Η ισχύς των παλμών αυτών συνήθως φτάνει σε επίπεδα μεταξύ 10⁶-10⁸W.

2.10.4 PulsedLasers (Παλμικά Laser)

Αυτά τα συστήματα Laser λειτουργούν όπως τα μονού παλμού, με επανάληψη της διαδικασίας με σταθερό ή μεταβλητό ρυθμό.

2.10.5 Mode Locked Lasers (Laser εγκλειδωσης ρυθμού)

Αυτά είναι αποτέλεσμα των συντονισμένων ρυθμών της οπτικής κοιλότητας, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά της εξερχόμενης δέσμης. Όταν οι φάσεις των διαφορετικής συχνότητας ρυθμών συγχρονίζονται, τότε οι ρυθμοί συμβάλλουν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα στενούς επαναλαμβανόμενους παλμούς. Τα laser αυτής της κατηγορίας παράγουν σειρές από παλμούς με διάρκειες από picoseconds(10^{-12}) ως femtoseconds(10^{-15}).

2.11 Ανάλογα με το ενεργό μέσο

2.11.1 Solid State Laser (Laser στερεάς κατάστασης)

Αυτά τα Laser χρησιμοποιούν ως ενεργό μέσο ένα μονωτικό κρύσταλλο, ή γυαλί. Το υλικό που παράγει την ακτινοβολία Laser, συνήθως ιόντα Cr^{3+} , Nd^{3+} , είναι διασκορπισμένο σε κρυσταλλικό πλέγμα.

2.11.2 Semiconductor Laser (Laser ημιαγωγών ή διοδικά)

Ημιαγώγιμες διατάξεις, οι οποίες αποτελούνται από δύο στρώματα ημιαγώγιμου υλικού σε επαφή. Τα Laser αυτά είναι πολύ μικρά σε διαστάσεις και ισχύ και μπορούν να τοποθετηθούν σε ολοκληρωμένα κυκλώματα.

2.11.3 Gas Laser (Laser αερίων)

Χρησιμοποιούν ως ενεργό μέσο ένα αέριο ή μείγμα αερίων μέσα σε σωλήνα.

2.11.4 Excimer Laser (Laser διεγερμένων διμερών)

Μοριακά Laser που εμπλέκουν μεταπτώσεις μεταξύ διαφορετικών ηλεκτρονικών καταστάσεων.

2.11.5 Chemical Laser (χημικά Laser)

Είναι αυτά τα Laser, στα οποία η αναστροφή πληθυσμών παράγεται άμεσα μέσω μιας χημικής αντίδρασης. Συνήθως στα χημικά laser περιλαμβάνονται οι μηχανισμοί άντλησης μία αντίδρασης μεταξύ αερίων στοιχείων ή ενώσεων.

2.11.6 Dye Laser (Laser χρωστικών)

Είναι εκείνα που το ενεργό μέσο αποτελείται από διαλύματα σύνθετων οργανικών χρωστικών σε υγρά, όπως η αιθυλική και η μεθυλική αλκοόλη ή το νερό. Κατάλληλη επιλογή της χρωστικής και της συγκέντρωσής της επιτρέπει την παραγωγή δέσμης Laser σε μεγάλη περιοχή μηκών κύματος, μέσα και γύρω από το ορατό φάσμα.

2.11.7 Laser Χρωματικών Κέντρων

Αυτά τα laser έχουν χρωματικά κέντρα σε κρυστάλλους αλογονούχων αλκαλίων και χρησιμοποιούνται ως αποδοτικά, οπτικά αντλούμενα laser με πλατιά επιλεκτικότητα στο κοντινό υπέρυθο.

2.11.8 Laser ελευθέρων ηλεκτρονίων

Τα ηλεκτρόνια κινούνται ελεύθερα διαμέσου ενός περιοδικού μαγνητικού πεδίου και η διαδικασία εξαναγκασμένης εκπομπής προέρχεται από την αλληλεπίδραση του Η/Μ πεδίου της δέσμης Laser με τα ηλεκτρόνια.(κυρίως σε πειραματικό στάδιο).

2.12 Βιολογικές επιδράσεις οφθαλμού

Όταν γίνεται χρήση συστημάτων laser πάντα υπάρχει η ανησυχία, μήπως υπάρξει πιθανότητα τραυματισμού των οφθαλμών. Για αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα μέτρα ασφαλείας και η εφαρμογή τους. Ένα laser ανάλογα με το μήκος κύματος που έχει όταν ακτινοβολεί, έχει και διαφορετική επίδραση στο τμήμα του οφθαλμού που αλληλεπιδρά. Οι βιολογικές επιδράσεις διαφέρουν ανάμεσα στην άμεση και στη διάχυτη έκθεση.Ο οφθαλμός είναι από τα πιο ευαίσθητα ως όργανο, όταν εκτίθεται στο φως. Για αυτό και αποτελούν κίνδυνο οι ακτίνες που εισέρχονται σε αυτόν. Όταν εισέρχεται μια μικρή δέσμη Laser μπορεί να εστιάσει σε μία περιοχή των 10 ως 20 μm .

Ένα Laser μπορεί να προκαλέσει έγκαυμα στον οφθαλμό, ακόμα και όταν η εστιασμένη δέσμη του είναι στα 40 mW (milliwatt), το οποίο είναι αρκετή ενέργεια. Όσο μικρότερο το μέγεθος της εστίας τόσο η πυκνότητα ενέργειας μιας δέσμης αυξάνεται. Δηλαδή, η ενέργεια της δέσμης μπορεί να ενισχυθεί έως και 100.000 όταν είναι εστιασμένη στον οφθαλμό, για μήκη κύματος από το ορατό μέχρι και το εγγύς υπέρυθρο. Ακόμα και ένα Laser χαμηλής ισχύος της τάξης των mW, μπορεί να προκαλέσει έγκαυμα αν είναι εστιασμένο πάνω στον αμφιβληστροειδή, αφού η ακτινοβολία που εισέρχεται στο μάτι εάν είναι 1 mW/cm², η ακτινοβολία στο αμφιβληστροειδή θα είναι 100 W/cm².

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι οπτικές ακτίνες εισέρχονται στον οφθαλμό μέσω του διαφανή και διαυγούς κερατοειδή. Στην συνέχεια περνούν στην κόρη, την κυκλική οπή της ίριδας. Μετά σε ένα σημείο ακριβώς πίσω από το κρυσταλλοειδή φακό οι οπτικές ακτίνες συγκλίνουν και η εικόνα που δίνουν είναι ανεστραμμένη. Οι ακτίνες συνεχίζουν και περνούν μέσα από το υαλοειδές σώμα και στο τέλος εστιάζονται πίσω στον αμφιβληστροειδή, στην περιοχή της ωχράς κηλίδας.

Οι παλμοί φωτός που φτάνουν στον αμφιβληστροειδή μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτά μέσω του οπτικού νεύρου περνούν στον ινιακό λοβό του εγκεφάλου και τα σήματα αυτά γίνονται εικόνες. Οι βλάβες, οι οποίες μπορεί να υπάρξουν, εξαρτώνται από το μήκος κύματος της δέσμης. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες πιθανές βλάβες λόγω των ακτίνων.

2.12.1 Ο Κερατοειδής χιτώνας

Είναι το πρώτο διαθλαστικό μέσο που περνάει το φως και συμβάλλει στην εμπόδιση της εισόδου των μικροβίων στο μάτι και στον έλεγχο της σωστής εστίασης πάνω στο φακό. Εάν υπάρξει βλάβη στον κερατοειδή προκαλείται ένα κοκκιώδες συναίσθημα στην όραση ή μπορεί να είναι κάτι επώδυνο. Συνήθως γίνεται γρήγορη επούλωση. Ωστόσο, εάν υπάρξει βλάβη στα πιο βαθιά στρώματά του μπορεί ο τραυματισμός να είναι μόνιμος στον οφθαλμό.

2.12.2 Ο φακός

Ο φακός έχει τη δυνατότητα να εστιάζει το φως πάνω στον αμφιβληστροειδή. Όσο περνούν τα χρόνια ο φακός χάνει την προσαρμοστικότητά του και δυσκολεύεται να εστιάσει σε κοντινά αντικείμενα (πρεσβυωπία). Με την πάροδο της ηλικίας, επίσης, μπορεί να γίνει θολός έως τελείως αδιαφανής (καταρράκτης).

2.12.3 Η ωχρά κηλίδα

Η ωχρά κηλίδα βρίσκεται σε μια περιοχή του αμφιβληστροειδή και είναι εκείνη που παρέχει την ευκρινή όραση. Παρέχει τα κωνία, που με αυτά αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος τα χρώματα. Κατά την κίνηση των ματιών η εικόνα που λαμβάνεται επικεντρώνεται στην ωχρά κηλίδα και μπορεί να υπάρξει μια καθαρή και ευκρινής εικόνα. Το φως και την κίνηση την αντιλαμβάνεται το υπόλοιπο τμήμα του αμφιβληστροειδή που περιέχει τα ραβδία. Το έγκαυμα όμως στο κεντρικό βοθρίο έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της κεντρικής όρασης. Ωστόσο, εάν το άτομο δε βλέπει περιφερικά λόγω εγκάυματος, τότε μπορεί να μην έχει τόση μεγάλη επίπτωση στην όρασή του.

2.13 Βλεφάρισμα και αντίδραση αποστροφής

Το βλεφάρισμα και η αντίδραση αποστροφής (μηχανισμοί αυτοάμυνας του οφθαλμού) προστατεύουν από την έκθεση στο έντονο φως και μπορεί να γίνει μέσα σε 0.25sec. Αυτό εφαρμόζεται και προστατεύει στα ορατά μήκη κύματος και σε laser χαμηλής ισχύος. Σε υψηλής ισχύος laser η βλάβη μπορεί να γίνει σε λιγότερο από ένα τέταρτο του δευτερολέπτου.

2.14 Μετάδοση και απορρόφηση ακτινοβολίας Laser

2.14.1 Η υπεριώδης-B και υπεριώδης-C (100-315 nm)

Η επιφάνεια του κερατοειδούς έχει την ικανότητα να απορροφά όλα τα μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Από τις φωτοχημικές διαδικασίες δημιουργείται μετουσίωση των πρωτεϊνών του κερατοειδή και προκαλεί την φωτοκερατίτιδα. Όμως, οι ιστοί του κερατοειδούς αναγεννώνται σε λιγότερο από 24 ώρες και η κατάσταση διορθώνεται

2.14.2 Η υπεριώδης-A (315 έως 400 nm)

Η υπεριώδης ακτινοβολία αυτών των μήκων κύματος δεν απορροφώνται από τον κερατοειδή, τον φακό και το υαλοειδές σώμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι με την μετουσίωση των πρωτεϊνών στο φακό εμφανίζεται καταρράκτης.

2.14.3 Ορατό Φως και υπέρυθρο-A (400 έως 1400 nm)

Σε αυτά τα μήκη κύματος ο κερατοειδής χιτώνας, ο φακός, και το υδατοειδές υγρό είναι διάφανα. Ωστόσο μπορεί να υπάρξει βλάβη στον ιστό του αμφιβληστροειδούς, όταν απορροφά φως και το μετατρέπει σε θερμότητα από τους κόκκους μελανίνης στο μελάγχρουν επιθήλιο ή με φωτοχημική δράση στους φωτουποδοχείς. Ακόμα, από την εστίαση του φωτός στον κερατοειδή και στο φακό υπάρχουν επιδράσεις, οι οποίες μπορούν να αυξήσουν την ακτινοβολία του

αμφιβληστροειδούς μέχρι και 100.000 φορές. Στο ορατό φως (400-700nm) η αποστροφή διαρκεί 0.25sec και έτσι μειώνεται η έκθεση στο έντονο φως. Αυτό όμως δεν γίνεται εάν η ένταση του laser είναι πολύ μεγάλη ή όταν χρησιμοποιείται στο φάσμα του κοντινού υπέρυθρου (700-1400nm), γιατί υπάρχει ευαισθησία στον οφθαλμό με τέτοια μήκη κύματος.

2.14.4 Υπέρυθρο-B και υπέρυθρο-C (1.400 - 1,0 X 10⁶ nm)

Αυτό το μήκος κύματος μπορεί να απορροφηθεί από τον αμφιβληστροειδή. Το αποτέλεσμα αυτού είναι ότι τα δάκρυα και τα υγρά του ιστού απορροφούν την ενέργεια και έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία και γίνεται μετουσίωση των πρωτεϊνών στην επιφάνεια του κερατοειδούς.

2.15 Σημάδια έκθεσης του οφθαλμού

Τα συμπτώματα ενός εγκαύματος στον οφθαλμό από μία δέσμη Laser μπορεί να είναι:

- Πονοκέφαλος (σύντομα μετά την έκθεση)
- Υπερβολική εφύγρυνση του ματιού
- Φωτοψία (λάμπεις στο οπτικό πεδίο ή κλείσιμο των ματιών για μερικά sec) και
- Μυοψία (Μαύρα κινούμενα στίγματα μέσα στο οπτικό πεδίο). Αυτό συμβαίνει με έγκαυμα στον κερατοειδή.

Όταν ο οφθαλμός βρίσκεται σε έκθεση με μια ορατή δέσμη laser, αυτή μπορεί να ανιχνευθεί από την λάμψη χρώματος λόγω του μήκους κύματος του Laser και της εικόνας που ακολουθείται με το συμπληρωματικό χρώμα. Για παράδειγμα, μια δέσμη πράσινου χρώματος θα παράγει πράσινη λάμψη και θα ακολουθείται από κόκκινο είδωλο.

Όταν η δέσμη προέρχεται από Q-switched Laser Nd:YAG (1064 nm) είναι πολύ επικίνδυνη. Αρχικά θα είναι απαραίτητη λόγω της αόρατης δέσμης του και επειδή ο αμφιβληστροειδής δεν έχει νεύρα που προκαλούν την αίσθηση του πόνου. Ακόμα, μπορεί από βλάβη του αμφιβληστροειδή να προκύψει αποπροσανατολισμός. Αυτός δεν φαίνεται μέχρι να γίνει σημαντική θερμική βλάβη.

Όταν η δέσμη προέρχεται από Laser CO₂ (10.600nm) υπάρχει μεγάλη επικινδυνότητα λόγω της μη ορατής δέσμης. Γίνεται αντιληπτή, διότι επιφέρει επίπονο κάψιμο στο σημείο που υπήρξε η έκθεση στον κερατοειδή.

Οι παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό του τραύματος στον οφθαλμό από ακτινοβολία Laser είναι:

- Το μέγεθος της κόρης του οφθαλμού. (Σμίκρυνση διαμέτρου κόρης – μείωση ποσού συνολικής ενέργειας που μεταφέρεται στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδή)
- Ο βαθμός του χρωματισμού. Περισσότερος χρωματισμός οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας.
- Το μέγεθος της αμφιβληστροειδικής εικόνας. Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μεγαλύτερη και η βλάβη. Πρέπει να επιτευχθεί θερμοκρασιακή ισορροπία, ώστε να προκληθεί βλάβη. Ο ρυθμός ανάπτυξης της ισορροπίας καθορίζεται από το μέγεθος της εικόνας.

- Η διάρκεια του παλμού. Όσο μικρότερος ο χρόνος, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα για τραυματισμό.
- Ο ρυθμός επανάληψης των παλμών. Όσο γρηγορότερος ο ρυθμός, τόσο μικρότερη η πιθανότητα για απώλεια της θερμότητας και θερμική αποκατάσταση των ιστών.
- Μήκος κύματος. Καθορίζει το που εναποτίθεται η ενέργεια και σε τι ποσοστό διαπερνάει τα οπτικά μέσα.

2.16 Μηχανισμοί που προκαλούν βλάβη στον οφθαλμό

2.16.1 Ηλεκτρομηχανική και ακουστική βλάβη

Αυτή η βλάβη απαιτεί δέσμες εξαιρετικά υψηλής ισχύος (10^9 - 10^{12} W/cm²) σε εξαιρετικά σύντομους παλμούς (nanosecond-ns), σε πυκνότητες περίπου 100 J/cm² και πολύ υψηλά ηλεκτρικά πεδία (10⁶-10⁷ V/cm), συγκρίσιμη με το μέσο ατομικό ή διαμοριακό ηλεκτρικό πεδίο. Με αυτόν τον παλμό προκαλείται διηλεκτρική κατάρρευση στους ιστούς και έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μικροπλάσματος ή ιονισμένου όγκου με μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων. Προκαλείται εντοπισμένη μηχανική ρήξη ιστού λόγω της επέκτασης του πλάσματος μέσω του κύματος σοκ (ShockWave). Όταν υπάρξουν παλμοί Laser διάρκειας μικρότερης των 10μsec έχουν την ικανότητα να ένα κύμα σοκ στον ιστό του αμφιβληστροειδούς. Αυτό σαν αποτέλεσμα έχει τη ρήξη του ιστού. Αποτελεί μόνιμη βλάβη. Βέβαια, υπάρχουν και πιο καταστροφικές βλάβες σε σχέση με ένα θερμικό έγκαυμα για τον αμφιβληστροειδή, όπως είναι οι ακουστικές βλάβες. Αυτές επηρεάζουν μεγαλύτερες περιοχές του αμφιβληστροειδούς. Η ενέργειά του είναι πολύ χαμηλότερη.

2.17 Φωτοεκτομή (Photoablation)

1. Φωτοεκτομή είναι η φωτοδιάσπαση ή η άμεση διάσπαση των ενδομοριακών δεσμών σε βιοπολυμερή, που προκαλείται από την απορρόφηση των προσπίπτοντων φωτονίων, έχει ως επακόλουθο την απελευθέρωση βιολογικού υλικού.
2. Τα Excimer Laser εκπέμπουν στο υπεριώδες (ArF, 193nm/6.4eV, KrF, 248nm/5eV, XeCl, 308nm/4eV) με παλμούς nanosecond, μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της φωτοεκτομής. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν εστιαστούν στον ιστό, έχουμε πυκνότητα ισχύος περίπου 10⁸ W/cm². Η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται εξαιρετικά έντονα από τα βιομόρια, και έτσι το βάθος διείσδυσης είναι πολύ μικρό της τάξεως των μερικών μικρομέτρων(μm).

2.18 Θερμική βλάβη

Όταν υπάρχει μετατροπή της ενέργειας σε θερμότητα προκαλείται η θερμική βλάβη. Το Laser εστιάζει σε σημεία πολύ μικρής διαμέτρου. Έτσι, η υψηλή πυκνότητα ισχύος περιορίζεται χωρικά στην προσφορά θερμότητας στους συγκεκριμένους ιστούς-στόχους. Ανάλογα με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μεταβάλλεται το βάθος διείσδυσης του ιστού. Με αυτό τον τρόπο καθορίζει το πόσο αφαιρούμενος ιστός υπάρχει και τον έλεγχο της αιμοραγίας. Κατά την φωτοθερμική διαδικασία έχουμε απορρόφηση των φωτονίων. Αυτό παράγει δονητικές διεγερμένες καταστάσεις στα μόρια. Στη συνέχεια προκύπτουν ελαστικές σκεδάσεις με γειτονικά μόρια. Αυτά αυξάνουν την κινητική τους ενέργεια και δημιουργούν μια άνοδο της

θερμοκρασίας. Σε κανονικές συνθήκες η κινητική ενέργεια ανά μόριο (kT) είναι περίπου 0.025eV . Τα φαινόμενα αυτά ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από την απορρόφηση μορίων στόχων όπως νερό, αιμοπρωτεΐνες, μελανίνη, και άλλα μακρομόρια, όπως τα νουκλεϊκά οξέα.

2.19 Φωτοχημική βλάβη

Όταν το φως έχει μήκος κύματος κάτω από 400nm δεν έχει εστίαση πάνω στον αμφιβληστροειδή. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω του ίδιου του Laser ή λόγω του Laser άντλησης ή από αλληλεπιδράσεις του στόχου. Ως αποτέλεσμα είναι η συσσώρευση για ένα χρονικό διάστημα. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται επιπρόσθετες προφυλάξεις.

Κεφάλαιο 3: Ποιοτικός Έλεγχος Συσκευών Laser – Έρευνα

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συμπεριληφθεί το ερευνητικό μέρος της εργασίας, το οποίο σχετίζεται με τους χειρουργούς οφθαλμιάτρους και τις συσκευές Laser των νοσοκομείων. Πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο που δόθηκε, το οποίο περιείχε ερωτήσεις σχετικά με τη συσκευή του Excimer Laser που χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια ενός χειρουργείου διαθλαστικού προβλήματος. Το ερωτηματολόγιο περιείχε ερωτήσεις που αφορούσαν την επαγγελματική κατάσταση του χειρουργού οφθαλμιάτρου, την κατάσταση της συσκευής Laser και την κατάρτιση των βοηθών και των λοιπών που βρίσκονται μέσα στο χώρο του χειρουργείου. Ωστόσο, παρέμεινε ανώνυμο από την πλευρά του οφθαλμιάτρου, αλλά και από την πλευρά του νοσοκομείου.

Η διαθλαστική χειρουργική αφορά την ολική ή μερική εξάλειψη της μυωπίας, της υπερμετρωπίας και του αστιγματισμού. Για να φτάσει στο χειρουργείο ο ασθενής πρέπει να περάσει από αρκετές εξετάσεις, ώστε να δειχθεί εάν είναι ικανός να κάνει μία τέτοιου είδους επέμβαση. Τα κριτήρια είναι αρκετά για μία πετυχημένη επέμβαση και ίδια για κάθε συσκευή του Excimer Laser του εκάστοτε νοσοκομείου. Αυτό που διαφέρει είναι η περίπτωση και οι ανάγκες του κάθε ασθενή. Ένα σημαντικό κομμάτι αποτελεί η επαγγελματική εμπειρία που έχει συλλέξει ένας γιατρός μέσα από τις περιπτώσεις που έχει αναλάβει όλα αυτά τα χρόνια που εξασκεί το επάγγελμά του. Συσκευές Excimer Laser, ως επί το πλείστον, υπάρχουν στα ιδιωτικά γενικά νοσοκομεία και στις ιδιωτικές οφθαλμολογικές κλινικές που είναι αποκλειστικά για τέτοιας επαγγελματικής φύσεως θέματα.

Για να μοιραστεί αρχικά το ερωτηματολόγιο έπρεπε να επικοινωνήσουμε με τους οφθαλμιάτρους, οι οποίοι να έχουν την ειδικότητα του χειρουργού οφθαλμιάτρου. Εάν ενδιαφέρονταν να πάρουν μέρος στην έρευνα βρήκαμε κάποιον τρόπο, ώστε το ερωτηματολόγιο να συμπληρωθεί. Γινόταν κυρίως με ραντεβού στον εργασιακό τους χώρο, διότι η επικοινωνία μέσα σε μία συνάντηση έδειχνε περισσότερη εμπιστοσύνη στο να απαντήσουν το ερωτηματολόγιο. Βέβαια, αν δεν υπήρχε ο κατάλληλος χρόνος για να κλεισθεί κάποιο ραντεβού, λόγω των επαγγελματικών υποχρεώσεων του ιατρού, γινόταν να απαντηθεί είτε τηλεφωνικώς είτε μέσω email με την απαραίτητη επεξήγηση. Από την άλλη πλευρά, υπήρξαν και οι περιπτώσεις, οι οποίες τα ερωτηματολόγια μοιράστηκαν. Αυτό συνέβη σε περιπτώσεις κλινικών και νοσοκομείων και σε άμεση συνεννόηση με τον κατάλληλο υπεύθυνο.

Τα ερωτηματολόγια συγκεντρώθηκαν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για να μπορέσουμε να αναλύσουμε τα συμπεράσματα από τις απαντήσεις που δόθηκαν. Το περιεχόμενο του ερωτηματολογίου είχε ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, δηλαδή κάτω από την ερώτηση ο κάθε ιατρός επέλεγε την απάντηση από μία λίστα διαθέσιμων απαντήσεων. Σε περίπτωση που μία ερώτηση δεν την γνώριζε ο ιατρός την παρέλειπε. Βέβαια, στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται και οι περιπτώσεις που κάποιος ιατρός δήλωνε ότι δεν επιθυμούσε να πάρει μέρος στην έρευνα. Στα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν, μετά το πέρας της των ενεργειών για τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, δόθηκαν τα αποτελέσματα για κάθε ερώτηση, ξεχωριστά για άνδρες και γυναίκες ιατρούς. Πριν προχωρήσουμε στην έρευνα,

πρέπει να αποσαφηνιστούν βασικές έννοιες, οι οποίες δεν αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια.

3.1 Διαθλαστικές Ανωμαλίες Οφθαλμού

Ο οφθαλμός, όταν τα διαθλαστικά του μέσα είναι σε φυσιολογική κατάσταση, είναι εμμετρωπικός. Αυτό σημαίνει ότι, όταν το είδωλο από το αντικείμενο που βλέπει βρίσκεται σε μακρινή απόσταση, τότε οι ακτίνες εστιάζονται πάνω στον αμφιβληστροειδή, χωρίς τη χρήση της προσαρμογής και προσδίδουν ευκρινή όραση. Όταν αυτό δεν συμβαίνει (συχνή κατάσταση), τότε ο οφθαλμός έχει κάποια αμετρωπία και τον κάνει να βλέπει θολά. Οι αμετρωπίες είναι η μυωπία, η υπερμετρωπία και ο αστιγματισμός.

3.1.1 Μυωπία

Είναι η διαθλαστική κατάσταση κατά την οποία ο οφθαλμός έχει μεγαλύτερο προσθιοπίσθιο αξονικό μήκος, δηλαδή ο κερατοειδής είναι πιο κυρτός και παρουσιάζει μεγάλη οπτική ισχύ σε σχέση με έναν εμμετρωπικό οφθαλμό, με αποτέλεσμα οι ακτίνες που εισέρχονται στον οφθαλμό να εστιάζονται πιο μπροστά από τον αμφιβληστροειδή. Η επίπτωση αυτού είναι η θολή όραση.

3.1.2 Υπερμετρωπία

Είναι η διαθλαστική κατάσταση κατά την οποία ο οφθαλμός έχει μικρότερο προσθιοπίσθιο αξονικό μήκος, δηλαδή ο κερατοειδής είναι πιο επίπεδος και παρουσιάζει μικρότερη οπτική ισχύ σε σχέση με έναν εμμετρωπικό οφθαλμό, με αποτέλεσμα οι ακτίνες που εισέρχονται στον οφθαλμό να εστιάζονται πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Η επίπτωση αυτού είναι η κοπιωπία (ο οφθαλμός κουράζεται από τη συνεχή χρήση της προσαρμογής) και η θολή όραση.

3.1.3 Αστιγματισμός

Είναι η διαθλαστική κατάσταση κατά την οποία ο οφθαλμός δεν παρουσιάζει την ίδια διαθλαστική δύναμη σε όλους τους μεσημβρινούς του. Η συγκέντρωση των ακτίνων που εισέρχονται δεν είναι δυνατή, γιατί εστιάζουν σε διαφορετικό επίπεδο. Ο κερατοειδής στις περισσότερες περιπτώσεις είναι υπεύθυνος λόγω της ανομοιογενούς καμπυλότητάς του. Η επίπτωση αυτού είναι τα αντικείμενα (κοντινά και μακρινά) να φαίνονται παραμορφωμένα.

3.2 Διαθλαστική Χειρουργική

Είναι όλες οι χειρουργικές τεχνικές κατά τις οποίες διορθώνονται οι διαθλαστικές ανωμαλίες του οφθαλμού (μυωπία, υπερμετρωπία, αστιγματισμός). Γίνεται ρύθμιση στην εστίαση του οφθαλμού χειρουργικά, ώστε να μην χρειάζεται πλέον η χρήση γυαλιών ή φακών επαφής για να έχει σωστή εστίαση.

Η τεχνική που θα εφαρμοστεί στον κάθε ασθενή ποικίλλει, διότι ο ιατρός θα πρέπει να κάνει έναν εξαιρετικά προσεκτικό προεγχειρητικό έλεγχο για να δει τις ανάγκες του. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής είναι εκείνη που θα βοηθήσει τον ασθενή να έχει καλύτερο ασφαλές αποτέλεσμα, χωρίς κάποια επιπλοκή. Το κόστος, ωστόσο, μπορεί να είναι υψηλό, αλλά ο ασθενής στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζεται να ξαναχρησιμοποιήσει γυαλιά ή φακούς επαφής.

3.3 Προϋποθέσεις για διαθλαστική χειρουργική

- Να έχει συμπληρωθεί το 18^ο έτος της ηλικίας του ασθενή.
- Να μην υπάρχουν χρόνιες παθήσεις στον κερατοειδή ή στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του οφθαλμού.
- Η όραση να είναι σταθερή τουλάχιστον κατά τον τελευταίο χρόνο.
- Να μην υπάρχει εγκυμοσύνη και γαλουχία ή μια ενδεχόμενη περίπτωση εγκυμοσύνης για τους επόμενους δύο μήνες.
- Σε περίπτωση που υπάρχει βηματοδότης, να υπάρχει έγκριση από τον καρδιολόγο.

3.4 Λειτουργία Excimer Laser

Εκπέμπει μια ακτίνα υπεριώδους φωτός συνήθως 13 nm για να απομακρύνει τμήμα του ιστού του κερατοειδούς. Όταν η επιφάνεια του κερατοειδούς αναδιαμορφωθεί σωστά, επιτρέπει στις ακτίνες του φωτός να εστιάσουν σωστά πάνω στον αμφιβληστροειδή για καθαρή όραση. Οι παλμοί του υπεριώδους φωτός διεισδύει μόνο σε ένα μικρό μέρος του κερατοειδούς και έχει τη δυνατότητα να αφαιρέσει σε 0,25 microns (ένα χιλιοστό του χιλιοστού) τμήμα του ιστού τη στιγμή. Το laser παρεμβαίνει στον κερατοειδή και τον κάνει πιο επίπεδο ή σε άλλες περιπτώσεις να του δώσει πιο κανονικό σχήμα. Κάποιες από τις τεχνικές του Excimer Laser, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και ερωτηματολόγιο είναι: PRK, LASIK, LASEK, EPI-LASIK/E-LASIK, LASIK EXTRA, CUSTOM LASIK, SMILE.

3.4.1 PRK

Ο χειρουργός αφαιρεί εντελώς το εξαιρετικά λεπτό εξωτερικό στρώμα του κερατοειδούς (που είναι σαν μια «επιδερμική στρώση» που καλύπτει τον κερατοειδή χιτώνα), χρησιμοποιώντας ένα διάλυμα αλκοόλης, μια συσκευή σκλήρυνσης ή ένα αμβλύ χειρουργικό εργαλείο. Το υποκείμενο στρώμα του κερατοειδούς αναδιαμορφώνεται από το excimer laser. Το επιθηλιακό στρώμα αναγεννιέται πίσω μέσα σε λίγες μέρες.

3.4.2 LASIK

Ένα λεπτό κυκλικό "καπάκι" δημιουργείται στην επιφάνεια του ματιού χρησιμοποιώντας ένα μικροκερατόμο ή ένα femtosecond laser χειρουργικό εργαλείο. Ο χειρουργός στη συνέχεια διπλώνει πίσω το "καπάκι", ώστε να έχουν πρόσβαση στο στρώμα και να αναδιαμορφώσει τον ιστό του κερατοειδή χρησιμοποιώντας το excimer laser. Το "καπάκι" στη συνέχεια επιστρέφει στην αρχική του θέση και χρησιμεύει ως φυσικό επίδεσμος, κρατώντας το μάτι άνετα καθώς θεραπεύεται. Το καπάκι τηρεί με ασφάλεια, χωρίς ράμματα, και η επούλωση γίνεται σχετικά γρήγορα.

3.4.3 LASEK

Η διαδικασία μοιάζει με το LASIK και με το PRK. Όπως και στην PRK, το επιθήλιο του κερατοειδούς διαχωρίζεται από το υποκείμενο στρώμα του στρώματος. Αλλά αντί εντελώς την αφαίρεση και απόρριψη αυτή ιστού, όπως σε PRK, ο χειρουργός στο LASEK σπρώχνει ένα υπέρλεπτο "καπάκι" από επιθήλιο στη μία πλευρά του κερατοειδούς, όπου παραμένει προσκολλημένο στο μάτι (όπως το παχύτερο καπάκι του κερατοειδούς ιστού που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της

χειρουργική επέμβαση LASIK) . Όταν η θεραπεία λέιζερ έχει τελειώσει, ο επιθηλιακός ιστός επανατοποθετείται στην επιφάνεια του ματιού για να καλύψει το στρώμα χάραξης, και ένας φακός επαφής, που χρησιμοποιείται ως επίδεσμος, τοποθετείται στο μάτι για να κρατήσει το επιθήλιο σε θέση καθώς θεραπεύεται.

3.4.5 EPI-LASIK / E-LASIK

Είναι παρόμοια με τη LASEK, αλλά αντί τη χρήση αλκοόλης για το επιθήλιο, στο EPI-LASIK χρησιμοποιείται μία αμβλεία πλαστική λεπίδα για το διαχωρισμό του επιθηλιακού φύλλου από το μάτι. Αυτό αποφεύγει την πιθανότητα αντίδρασης από την αλκοόλη, που μπορεί να σκοτώσει τα επιθηλιακά κύτταρα.

3.4.6 LASIK EXTRA

Τα βήματα που ακολουθούνται στην επέμβαση Lasik Extra περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό της επέμβασης Lasik και της διασύνδεσης του κολλαγόνου του κερατοειδούς (cross linking) που εφαρμόζεται και για την θεραπεία του κερατόκωνου. Συγκεκριμένα, μετά την εφαρμογή του laser ακολουθεί η διασύνδεση του κολλαγόνου του κερατοειδούς που σκοπό έχει την μηχανική ενίσχυση αυτού. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενστάλαξη οφθαλμικού διαλύματος ριβοφλαβίνης (βιταμίνης B2 για 90sec στο στρώμα του κερατοειδούς και εν συνεχεία ακολουθεί ακτινοβολία του κερατοειδούς με υπεριώδη ακτινοβολία A με ειδική συσκευή για 90 δευτερόλεπτα. Με τον τρόπο αυτό η ριβοφλαβίνη σχηματίζει καινούργιους χημικούς δεσμούς με τα κολλαγόνα ινίδια του κερατοειδούς και έτσι επιτυγχάνεται η ισχυροποίηση του κερατοειδούς και η πρόληψη μιας σπάνιας επιπλοκής που ονομάζεται κερατεκτασία.

3.4.7 Custom LASIK

Γίνεται ανάλυση wavefront, που μας δίνει τις ακριβείς πληροφορίες ενός εκάστου οφθαλμού, εξετάζοντας το ως ένα μοναδικό οπτικό σύστημα. Βελτιώνει την οπτική οξύτητα, αλλά και ποιοτικά στοιχεία της όρασης που μετρώνται με άλλες παραμέτρους όπως contrast sensitivity και fine vision.

3.4.8 SMILE

Μοιάζει με την LASIK, αλλά χρησιμοποιούνται δύο άλλα μηχανήματα, όπου δεν δημιουργούν "καπάκι" στον κερατοειδή, αλλά την δημιουργία μιας εξαιρετικά μικρής τομής, όπου γίνεται η σμίλευση και η διόρθωση. Αυτό δεν εξασθενεί τον οφθαλμό, παραμένει το ίδιο δυνατός με πριν και δεν υπάρχει τόσο μεγάλος κίνδυνος να πάθει κάτι το μάτι σε περίπτωση τραυματισμού και βοηθά ιδιαίτερα περιπτώσεις κερατόκωνου.

3.5 Ερωτηματολόγια – Έρευνα

3.5.1 Τρόπος Παράδοσης

Το ερωτηματολόγιο της έρευνάς διαθέτει δώδεκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και είναι ανώνυμη ως προς τους ιατρούς που το συμπλήρωσαν. Περιέχει κάποιες προσωπικές ερωτήσεις, οι οποίες σχετίζονταν με το φύλο αυτού που το συμπλήρωνε, καθώς και την ηλικία του και την επαγγελματική του εμπειρία. Τέλος, έπρεπε να συμπληρώσει πόσες συσκευές του excimer laser υπάρχουν στο χώρο που χειρουργεί. Παρακάτω, αφορούσε τον αριθμό των επεμβάσεων που κάνει ανά

κάποια διαστήματα και πόσο προσωπικό βρίσκεται στο χώρο τη στιγμή της επέμβασης. Στη συνέχεια, ερωτήθηκαν για κριτήρια που αφορούν την προστασία των εργαζομένων κατά την διάρκεια μιας επέμβασης και τέλος κάποιες ερωτήσεις σχετικά με τη συσκευή laser που χρησιμοποιείται για το χειρουργείο. Ο συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου ήταν γύρω στα δύο λεπτά. Το συνολικό ραντεβού με τους γιατρούς διαρκούσε από πέντε έως δέκα λεπτά. Εάν σε κάποια ερώτηση ο ιατρός δεν γνώριζε την απάντηση ή δεν ήθελε να απαντήσει για προσωπικούς λόγους, μπορούσε να παραλείψει την ερώτηση. Αν, όμως, δεν επιθυμούσε να απαντήσει έπρεπε να μας το πει ή να το γράψει πάνω στο ερωτηματολόγιο ότι <<ΔΕΝ ΕΠΙΘΥΜΩ ΝΑ ΑΠΑΝΤΗΣΩ>>. Παρακάτω στην Εικόνα 1α, 1β και 1γ θα δούμε αναλυτικά το περιεχόμενο του ερωτηματολογίου.

Η έρευνα ξεκινούσε με την επικοινωνία μας προς τους γιατρούς. Έπρεπε να τους εξηγήσουμε ποιες είμαστε και ποιο το θέμα της έρευνας. Έπρεπε να κρατάμε σοβαρή στάση στο τηλέφωνο, ώστε να μην δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα απέναντί τους και να ανταποκριθούν στο αίτημά μας. Εκτός από τους χειρουργούς οφθαλμιάτρους, επικοινωνήσαμε και με κάποιους υπεύθυνους ιδιωτικών οφθαλμολογικών κλινικών, ώστε να μας προωθήσουν στους κατάλληλους ιατρούς. Ο συγκεκριμένος τύπος laser άλλωστε, χρησιμοποιείται κυρίως στις ιδιωτικές κλινικές και ιδιωτικά οφθαλμολογικά κέντρα και όχι τόσο στα δημόσια νοσοκομεία της Αττικής. Οι ιατροί που ανταποκρίθηκαν επιθυμούσαν να επικοινωνήσουν με:

- ραντεβού, όπως έγινε τις περισσότερες φορές,
- τηλεφωνικώς ή μέσω email και
- να μοιραστούν τα ερωτηματολόγια στους υπεύθυνους των κλινικών, να συμπληρωθούν και μετά να τα λάβουμε πίσω.

Η επιλογή του ραντεβού ήταν και η πιο ασφαλής, διότι ο χειρουργός οφθαλμιάτρος αντιμετώπιζε πιο σοβαρά το περιεχόμενο της έρευνας και εφόσον μας έβλεπε ως φυσικές παρουσίες στο χώρο της δουλειάς του, δημιουργούταν ένα κλίμα εμπιστοσύνης. Το ραντεβού ζητούσαμε να κλειστεί κάποια στιγμή, στην οποία να μην ενοχλούμε την δουλειά του ιατρού και να μην δημιουργήσουμε κάποιο κώλυμα στα υπόλοιπα ραντεβού της βάρδιάς του. Βεβαίως, από τις συναντήσεις αυτές ο γιατρός είχε όλο το χρόνο να μας ρωτήσει για κάποια τυχόν απορία που είχε ή κάποια διευκρίνιση που ήθελε να του κάνουμε.

Η επόμενη επιλογή, αυτή του τηλεφώνου και του email, ήταν πιο απλή. Οι ιατροί, λόγω πολλών επαγγελματικών υποχρεώσεων, δέχονταν να γίνει η απάντηση του ερωτηματολογίου μέσω τηλεφώνου, αν όχι την ίδια στιγμή, κάποια άλλη η οποία θα οριζόταν κατόπιν συμφωνίας. Κάποιοι άλλοι επέλεγαν να τους στείλουμε το ερωτηματολόγιο μέσω email για να το επεξεργαστούν και να το λάβουμε πίσω απαντημένο.



Ποιοτικός έλεγχος συσκευών Laser

Ερωτηματολόγιο για οφθαλμιάτρους και βοηθούς

I. Φύλο:

Άνδρας Γυναίκα

II. Ηλικία:

21-25 26-30 31-35 36-40
41-45 46-50 51-55 56-60
61-65

III. Έτη επαγγελματικής εμπειρίας:

< 5 5-10 10-15 15-20 > 20

1. Πόσες συσκευές Laser περιλαμβάνει ο χώρος που χειρουργείτε τους ασθενείς σας:

A. PRK

1 2 3 4

B. LASIK

1 2 3 4

Γ. LASEK

1 2 3 4

Δ. EPI-LASIK/E-LASIK

1 2 3 4

E. LASIK EXTRA

1 2 3 4

ΣΤ. Custom LASIK

1 2 3 4

Z. SMILE

1 2 3 4

Εικόνα 1α: Η πρώτη σελίδα του ερωτηματολογίου



2. Πόσοι επαγγελματίες υγείας/χρήστες συσκευών *Laser* απασχολούνται στο χώρο του χειρουργείου, συμπεριλαμβανομένου και του εαυτού σας;

1 0 2 0 3 0 4 0 Παραπάνω από 20 0

3. Πόσους ασθενείς χειρουργείτε (με χρήση συσκευών *Laser*) ημερησίως;

0-5 0 6-10 0 11-15 0 Παραπάνω από 20 0

4. Πόσους ασθενείς χειρουργείτε (με χρήση *Laser*) μηνιαίως;

0-10 0 11-20 0 21-30 0 Παραπάνω από 30 0

5. Υπάρχουν διαθέσιμα γραπτά πρωτόκολλα για τυποποιημένες χειρουργικές επεμβάσεις για κάθε μηχάνημα *Laser*;

Ναι 0 Όχι 0

6. Υπάρχει ειδική προστασία (π.χ. προστατευτικές καλύπτρες, γυαλιά, κλπ) για το προσωπικό και τους ασθενείς κατά την εγκυμοσύνη και γαλουχία;

Ναι 0 Όχι 0

7. Υπάρχει πιστοποιητικό επάρκειας γνώσεων και καταρτίσεων των εργαζομένων που απασχολούνται στον χώρο σας σε θέματα ακτινοπροστασίας;

Ναι 0 Όχι 0


8. Είσατε ενήμερος/η αν υπάρχουν γραπτά πρωτόκολλα εργασίας για την προστασία από την ακτινοβολία από τις συσκευές *Laser*;



Ναι 0 Όχι 0

9. Ο χειρουργικός χώρος σας διαθέτει γραπτά πρωτόκολλα ελέγχων των συσκευών *Laser* (π.χ. βλάβη στο ειδικό θωρακισμένο καλώδιο, παρατήρηση για λειτουργική συμπεριφορά του μηχανήματος);

Ναι 0 Όχι 0

Εικόνα 1β: Η δεύτερη σελίδα του ερωτηματολογίου

 **Εργαστήριο**
Υγειοφυσικής &
Υπολογιστικής Νοημοσύνης

10. Τηρείτε ημερολόγιο βλαβών των συσκευών Laser (αναγραφή βλαβών, μετατροπών, επιδιορθώσεων και του προσωπικού που τις διαπίστωσε και αυτούς που διόρθωσαν την βλάβη);

Ναι Οχι

11. Τηρείτε Ημερολόγιο για κάθε συσκευή Laser (αρχείο ελέγχων ποιότητας, έλεγχοι αποδοχής/εγκατάστασης, περιοδικοί τεχνικοί έλεγχοι, έλεγχοι μετά από κάθε χειρουργική επέμβαση, κλπ);

Ναι Οχι

12. Όταν χρησιμοποιείτε την συσκευή Laser καθορίζετε εσείς την δόση ανά πάθηση ή χρησιμοποιείτε τα θεραπευτικά πρωτόκολλα που προτείνει η ίδια η συσκευή (εργοστασιακά);

Ναι Οχι Και τα δύο

Εικόνα 1γ: Η τρίτη σελίδα του ερωτηματολογίου

3.5.2 Τρόπος Συγκέντρωσης - Τρόπος Ανάλυσης

Τα ερωτηματολόγια αφού συμπληρώθηκαν και από εκείνους που είχαν μοιραστεί ή σταλθεί, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που τους δόθηκε, τα πήραμε πίσω, ώστε να προχωρήσουμε στα αποτελέσματα. Οι απαντήσεις θα συγκεντρώνονταν για να αναλυθούν σε διαγράμματα ξεχωριστά στο κάθε φύλο σε κάθε ερώτηση.

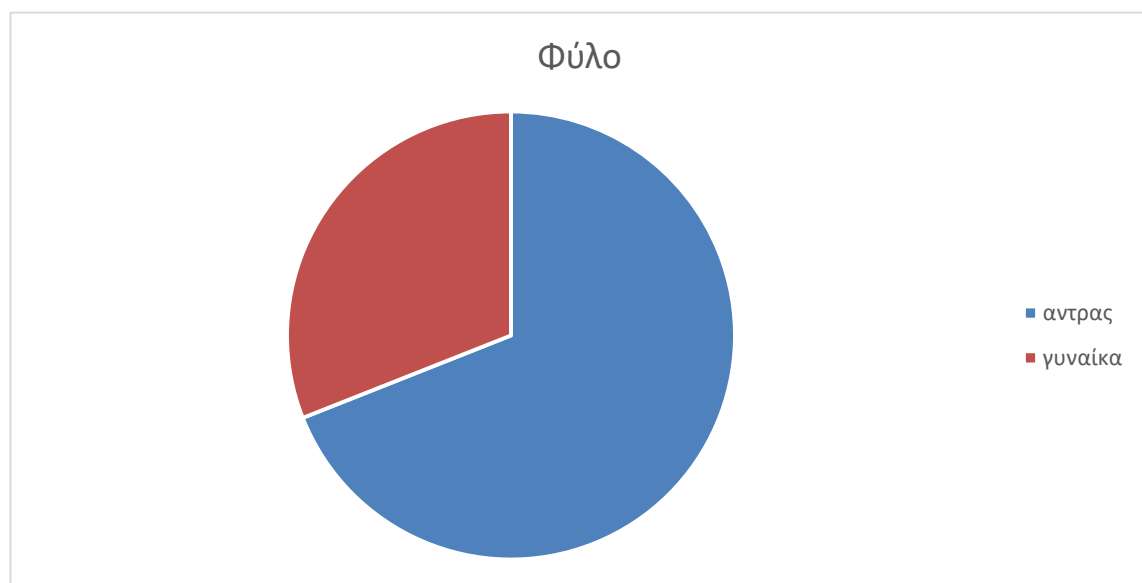
Οι απαντήσεις συμπληρώθηκαν και αναλύθηκαν σε πρόγραμμα Microsoft Excel και αυτόματα βγήκαν και τα ποσοστά των απαντήσεων μέσα σε διαγράμματα. Τα διαγράμματα θα αναλυθούν περαιτέρω στην συνέχεια του κεφαλαίου.

3.6 Αποτελέσματα Έρευνας

I. Φύλο:

- Άντρες: 69
- Γυναίκες: 31

Το μεγαλύτερο δείγμα χειρουργών οφθαλμιάτρων που συναντήσαμε ήταν άντρες. Ωστόσο, αυτό δεν έπαιζε κάποιο ρόλο, διότι τόσο οι άντρες οφθαλμίατροι όσο και οι γυναίκες, αντιμετώπισαν με ευγενή τρόπο το περιεχόμενο του ερωτηματολογίου, όπως και εμάς ως φοιτήτριες.

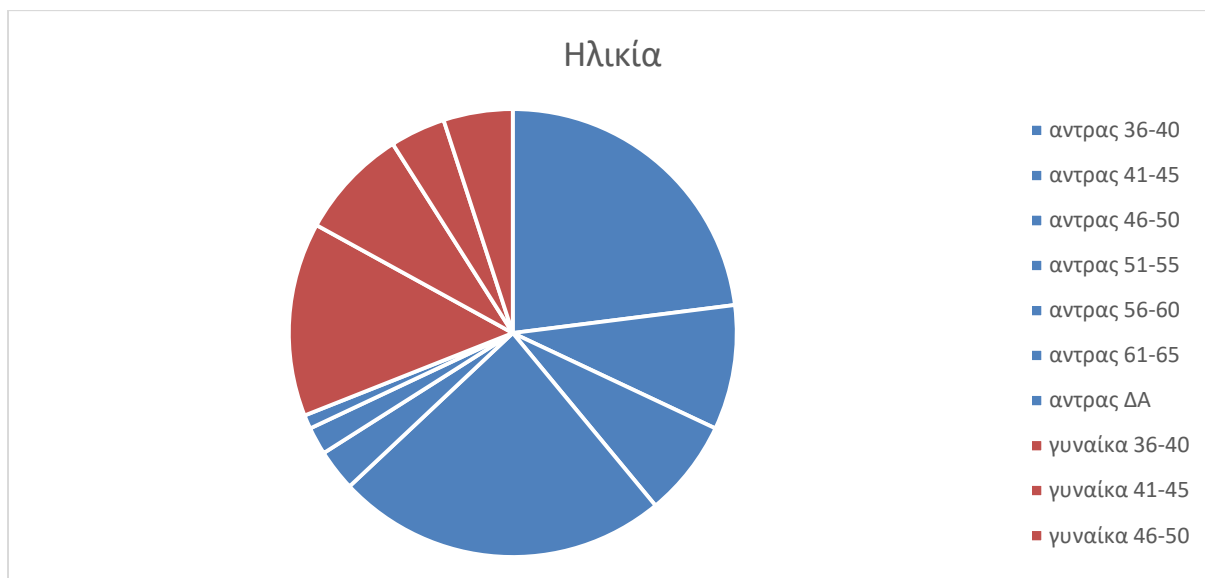


Πίνακας 1: Το διάγραμμα των φύλων του ερωτηματολογίου.

II. Ηλικία:

	Άντρες	Γυναίκες
36-40	23	14
41-45	9	8
46-50	7	4
51-55	24	5
56-60	3	
61-65	2	
ΔΑ	1	

Σύμφωνα με τα δεδομένα μας και με τον πίνακα 1, οι περισσότεροι ιατροί βρίσκονται σε σχετικά μικρή ηλικία, κατά την οποία εξασκούν το συγκεκριμένο επάγγελμα με αυτήν την ειδικότητα του χειρουργού, όπου τους δίνει το δικαίωμα να κάνουν τέτοιες επεμβάσεις. Βέβαια, αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο καθένας από αυτούς συνέχισαν τις σπουδές τους μετά την ειδικότητα του οφθαλμιάτρου, ώστε να έχουν περισσότερη κατάρτιση στο χώρο της οφθαλμολογίας.

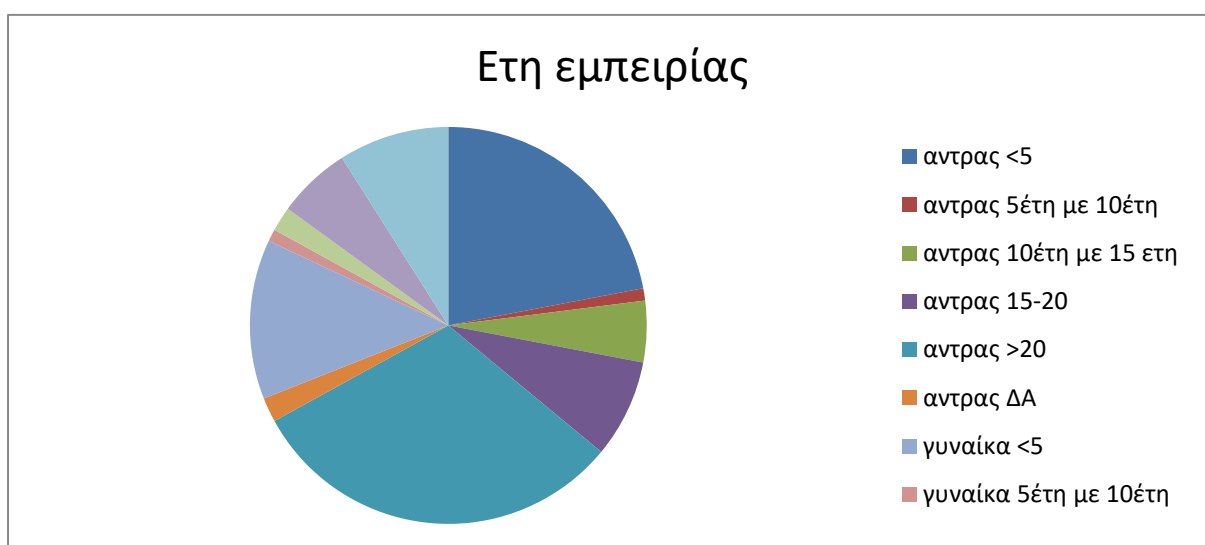


Πίνακας 2: Το διάγραμμα των ηλικιών του διαγράμματος

II. Έτη Επαγγελματικής Εμπειρίας:

Αντρες		Γυναίκες	
<5 έτη	22	<5 έτη	13
5-10	1	5-10 έτη	1
10-15 έτη	5	10-15 έτη	2
15-20 έτη	8	15-20 έτη	6
>20	31	>20 έτη	9
ΔΑ	2		

Από τα χρόνια εμπειρίας τους φαίνεται ότι συνεχίζουν διαρκώς να εξελίσσουν τις δυνατότητές τους στο επάγγελμά τους ως χειρουργοί οφθαλμίατροι.



Πίνακας 3: Το διάγραμμα των ετών της επαγγελματικής εμπειρίας των ιατρών του ερωτηματολογίου.

1 . Πόσες συσκευές Laser περιλαμβάνει ο χώρος που χειρουργείτε τους ασθενείς σας:

• Άντρες

PRK (1)/LASIK (1)	2
PRK (1)/LASIK (1)/LASEK (1)/EPI-LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)	2
PRK (1)/LASIK (1)/LASEK (1)/EPI-LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)/SMILE (1)	20
PRK (1)/LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)	1
PRK (1)/LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)	1
PRK (1)/LASIK (2)/LASEK (2)/EPI-LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)/SMILE (1)	1
PRK (2)/LASIK (1)/LASEK (2)/EPI-LASIK (2)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)	1
PRK (2)/LASIK (2)	6
PRK (2)/LASIK (2)/EPI-LASIK (1)/EXTRA LASIK (1)	2
PRK (2)/LASIK (2)/LASEK (2)/EPI-LASIK (2)/LASIK EXTRA (2)/CUSTOM LASIK (2)	6
PRK (2)/LASIK (2)/LASEK (2)/EPI-LASIK (2)/LASIK EXTRA (2)/CUSTOM LASIK (2)/SMILE (2)	2
PRK (2)/LASIK (2)/LASIK EXTRA (2)/CUSTOM LASIK (1)	1
PRK (3)/LASIK (3)	22
PRK (3)/LASIK (3)/LASEK (1)	1
ΔΑ	1

• Γυναίκες

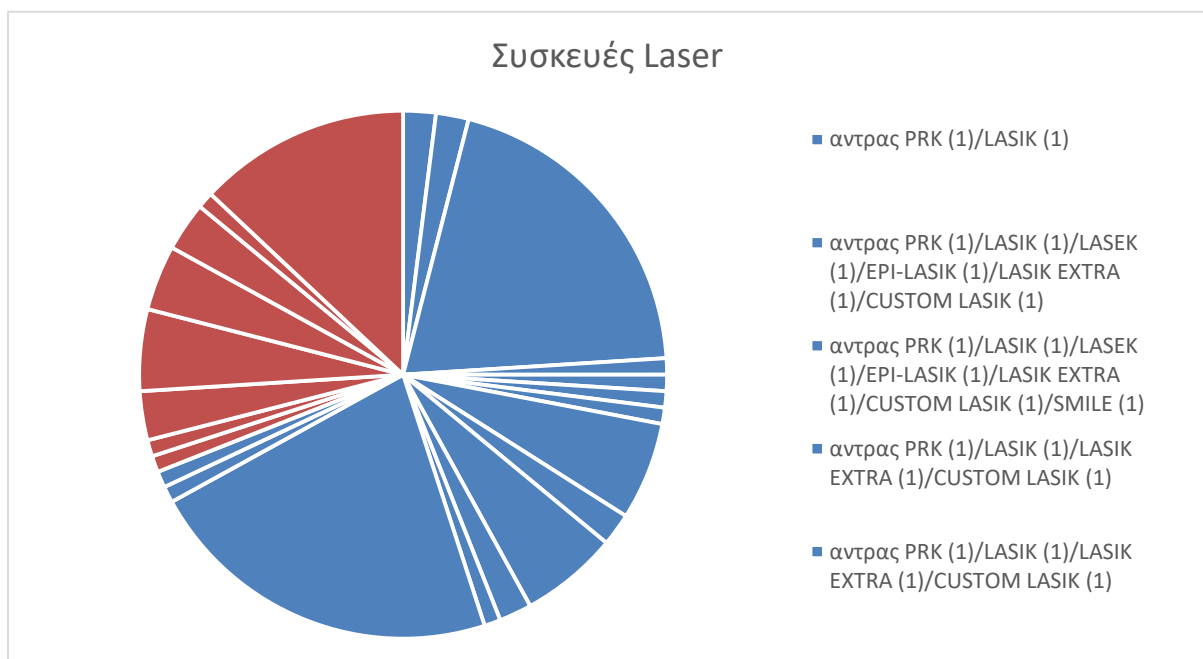
LASIK (2)	1
PRK (1)/LASIK (1)/EPI-LASIK (1)/CUSTOM LASIK(1)	1
PRK (1)/LASIK (1)/LASEK (1)/EPI-LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)	3
PRK (1)/LASIK (1)/LASEK (1)/EPI-LASIK (1)/LASIK EXTRA (1)/CUSTOM LASIK (1)/SMILE (1)	5
PRK (2)/LASIK (2)	4
PRK (2)/LASIK (2)/LASEK (2)/EPI-LASIK (2)/LASIK EXTRA (2)/CUSTOM LASIK (2)	3
PRK (2)/LASIK (2)/LASIK EXTRA (2)/CUSTOM LASIK (2)	1
PRK (3)/LASIK (3)	13

Τα παραπάνω νούμερα, όπως και στον πίνακα 4, σημειώνεται ακόμη μια φορά με νούμερα πόσοι πολλοί χώροι σήμερα διαθέτουν συσκευές Excimer Laser και πραγματοποιούν τέτοιου είδους επεμβάσεις. Φυσικά, οι μέθοδοι LASIK και PRK κατέχουν την πρωτεύουσα θέση, αφού αποτελούν από τις πιο παλιές μεθόδους διαθλαστικής εγχείρησης και έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο επίπεδο. Βεβαίως, όπως φαίνεται, σταδιακά ανεβαίνουν τα ποσοστά και των υπολοίπων μεθόδων επέμβασης, αφού συνεχώς δοκιμάζονται καινούριες πρακτικές που ανταποκρίνονται όλο και περισσότερο στις ανάγκες του κάθε ασθενή, όπως η μέθοδος SMILE. Με αυτό επιτυγχάνεται να μειώνονται τα ποσοστά λάθους και τα ποσοστά αποτυχιών ή επιπλοκών μέσα στο χώρο του χειρουργείου.

Ακόμα, όλο και περισσότερες κλινικές πραγματοποιούν τέτοιου είδους μικροεπεμβάσεις (όπως αναφέρονται σε κάποια νοσοκομεία). Αυτό δείχνει ότι παρά το κόστος της επέμβασης οι ασθενείς επιλέγουν αυτό τον τρόπο να μειώσουν ή να

απαλλαγθούν από τα διαθλαστικά τους σφάλματα. Υπάρχει περισσότερη εμπιστοσύνη στις μέρες μας, εφόσον υπάρχουν καλά αποτελέσματα. Έτσι υπάρχουν περισσότερες συσκευές Laser και περισσότεροι ιατροί που πραγματοποιούν τις παραπάνω μεθόδους, ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε ασθενή.

Τα νούμερα των συσκευών προκύπτουν κυρίως από τα ιδιωτικά νοσοκομεία και κλινικές που εργάζονται ή συνεργάζονται οι χειρουργοί οφθαλμίατροι. Η κάθε συσκευή έχει ένα κόστος και χρειάζεται συγκεκριμένο χώρο, σύνεργα και πρωτόκολλα για να μπορεί να λειτουργήσει, χωρίς να δημιουργηθούν βλάβες στα άτομα που εργάζονται εκεί. Έτσι, ένας χειρουργός οφθαλμίατρος μπορεί να λειτουργεί ιδιωτικό ιατρείο σε κάποια περιοχή και να συνεργάζεται με κάποιο/κάποια ιδιωτικά κέντρα, στα οποία να χειρουργεί τους ασθενείς του με ασφάλεια.



Πίνακας 4: Το διάγραμμα από τις συσκευές Laser που έχει ο χώρος των ιατρών στο χώρο που χειρουργούν.

2. Πόσοι επαγγελματίες υγείας/χρήστες συσκευών Laser απασχολούνται στο χώρο του χειρουργείου, συμπεριλαμβανομένου και του εαυτού σας:

• Άντρες

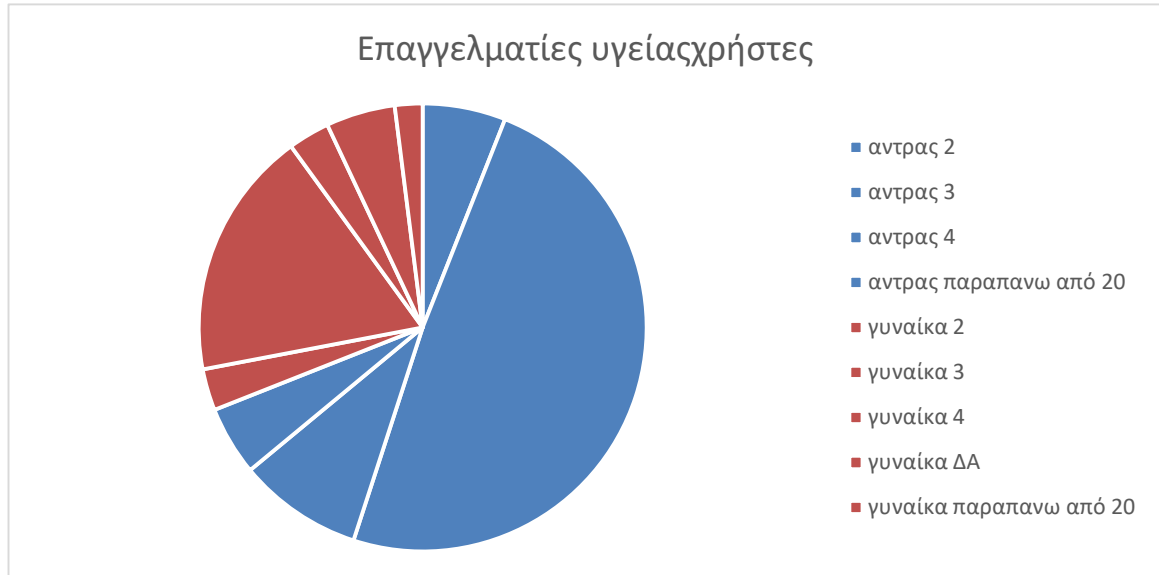
2	6
3	49
4	9
Παραπάνω από 20	5

Γυναίκες

2	3
3	18
4	3
Παραπάνω από 20	5
ΔΑ	2

Τα ποσοστά αυτά δείχνουν την ανάγκη συγκεκριμένου κυρίως αριθμού επαγγελματιών υγείας/χρήστες συσκευών Laser. Οι συγκεκριμένοι επαγγελματίες βρίσκονται μέσα στο χώρο κατά την διάρκεια μιας επέμβασης μαζί με τον χειρουργό οφθαλμίατρο και βοηθούν στην εξέλιξη και ολοκλήρωσή του. Τα άτομα αυτά μπορεί

να νοσηλευτές, οπτομέτρες και αναισθησιολόγοι, οι οποίοι όλοι να είναι άρτια καταρτισμένοι και εκπαιδευμένοι στο συγκεκριμένο αντικείμενο, ώστε να αποδίδουν με καλά αποτελέσματα με αυτόν τον ενεργό τους ρόλο. Σε περίπτωση που συμβεί μια επιπλοκή στον ασθενή ή ένα πρόβλημα να είναι ικανοί να επέμβουν, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για να ισορροπήσουν την κατάσταση.



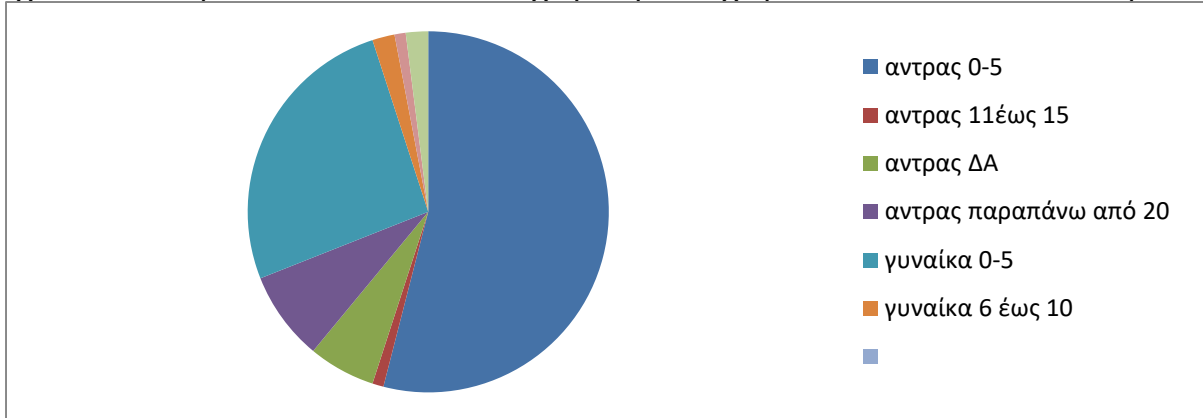
Πίνακας 5: Το διάγραμμα των επαγγελματιών υγείας/χρηστών συσκευών Laser μαζί με τους ιατρούς.

3. Πόσους ασθενείς χειρουργείτε (με χρήση συσκευών Laser) ημερησίως:

Άντρες		Γυναίκες	
0-5	54	0-5	26
11-15	1	6-10	1
Παραπάνω από 20	8	11-15	1
ΔΑ	6	Παραπάνω από 20	2
		ΔΑ	1

Φαίνεται, τόσο από τα νούμερα όσο και από το διάγραμμα, ότι ημερησίως είναι υψηλό το νούμερο των επεμβάσεων που μπορεί να πραγματοποιηθεί. Ένας ιατρός μπορεί να μην κάνει σε καθημερινή βάση τόσες πολλές επεμβάσεις, αλλά αυτό το νούμερο να αποτελεί μία μέρα του ή κάποιες μέρες την βδομάδα ή μήνα τις οποίες έχει προγραμματίσει να πραγματοποιήσει τις επεμβάσεις στο χώρο μιας κλινικής ή νοσοκομείου. Αυτές οι επεμβάσεις προκύπτουν από ασθενείς του που τον

έχουν επισκεφτεί στον ιδιωτικό του χώρο ή στο χώρο του ίδιου του νοσοκομείου.



Πίνακας 6: Το διάγραμμα των ασθενών που χειρουργούνται ημερησίως.

4. Πόσους ασθενείς χειρουργείτε (με χρήση Laser) μηνιαίως:

Αντρες		Γυναίκες	
0-10	38	0-10	19
11-20	20	11-20	7
21-30	2	21-30	1
Παραπάνω από 30	9	Παραπάνω από 30	3
		ΔΑ	1

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την προηγούμενη ερώτηση και αποδεικνύουν την συχνότητα των χειρουργειών που μπορεί να κάνει ένας οφθαλμίατρος. Μέσα από τον κατάλληλο προεγχειρητικό έλεγχο και την σωστό προγραμματισμό και αποτελεσμάτων, ολοκληρώνεται μία επέμβαση με συσκευή Laser.



Πίνακας 7: Το διάγραμμα με τους ασθενείς που χειρουργούνται μηνιαίως.

6. Υπάρχουν διαθέσιμα γραπτά πρωτόκολλα για τυποποιημένες χειρουργικές επεμβάσεις για κάθε μηχάνημα Laser:

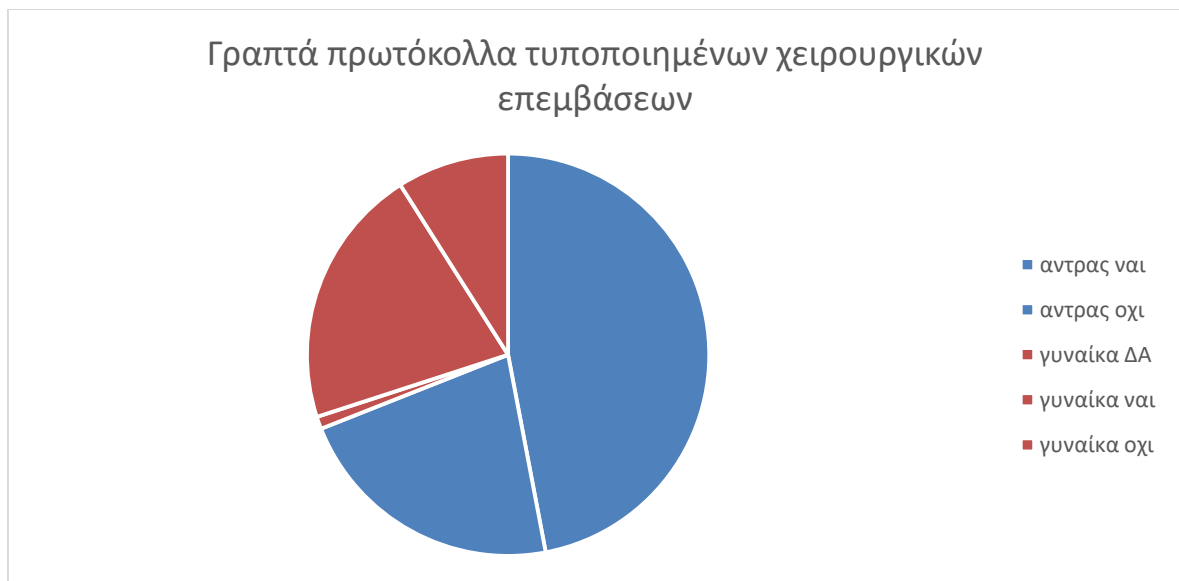
- Αντρες

Ναι	47
Όχι	22

- Γυναίκες

Ναι	21
Όχι	9
ΔΑ	1

Οι απαντήσεις δείχνουν ότι υπάρχει ένα ποσοστό μικρό, το οποίο δε συγκρατεί γραπτά πρωτόκολλα για κάθε επέμβαση που γίνεται μέσα σε έναν χώρο χειρουργείου με μια συσκευή Laser. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί επιζήμιο σε μια πιθανή ζημιά του μηχανήματος ή του ασθενή ή κάποιου από το προσωπικό.



Πίνακας 8: Το διάγραμμα των γραπτών πρωτοκόλλων για τυποποιημένες χειρουργικές επεμβάσεις για κάθε μηχάνημα Laser.

6. Υπάρχει ειδική προστασία (π.χ. προστατευτικές καλύπτρες, γυαλιά, κλπ) για το προσωπικό και τους ασθενείς κατά την εγκυμοσύνη γαλουχία:

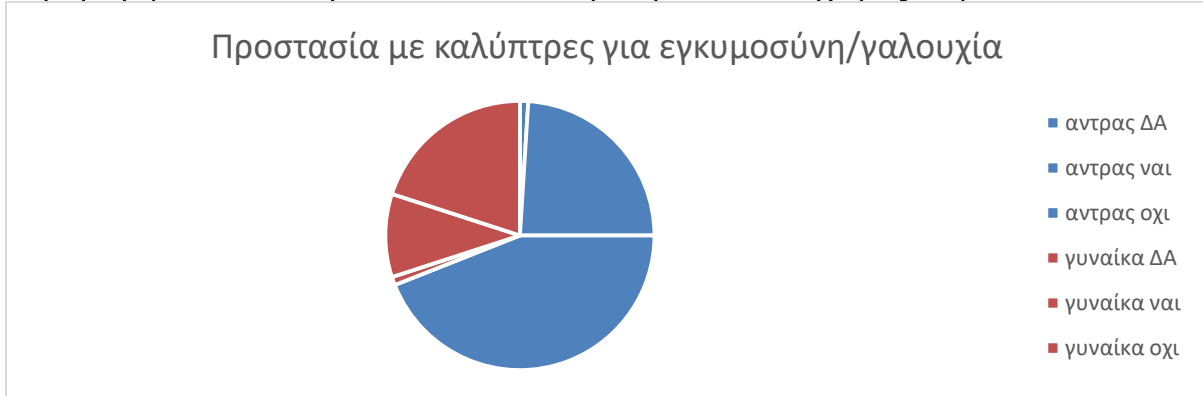
- Άντρες

- Γυναίκες

Ναι	17	Ναι	8
Όχι	51	Όχι	22
ΔΑ	1	ΔΑ	1

Στη συγκεκριμένη ερώτηση φαίνεται πως αφήνουν το προσωπικό ή μία εγκυμονούσα χωρίς ειδική προστασία. Στους κανονισμούς για μια διαθλαστική επέμβαση αναφέρεται ότι απαγορεύεται ρητώς από όλα τα νοσοκομεία να γίνει οποιαδήποτε κίνηση για να χειρουργηθεί μία εγκυμονούσα ή μια γυναίκα που βρίσκεται σε περίοδο γαλουχίας. Ωστόσο, ούτε στο προσωπικό που βρίσκεται μέσα στο χώρο του χειρουργείου φαίνεται να πραγματοποιούν κάτι τέτοιο. Κανονικά, όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο, λέγεται ότι δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος εφόσον τηρούνται όλες οι προϋποθέσεις στη συσκευή Laser, όμως δεν γίνεται να υπάρχει ο φόβος κάποιας επιπλοκής της συσκευής, κατά την οποία θα υπάρξει η

παραμικρή πιθανότητα να ακτινοβοληθεί ο χώρος με το Laser.

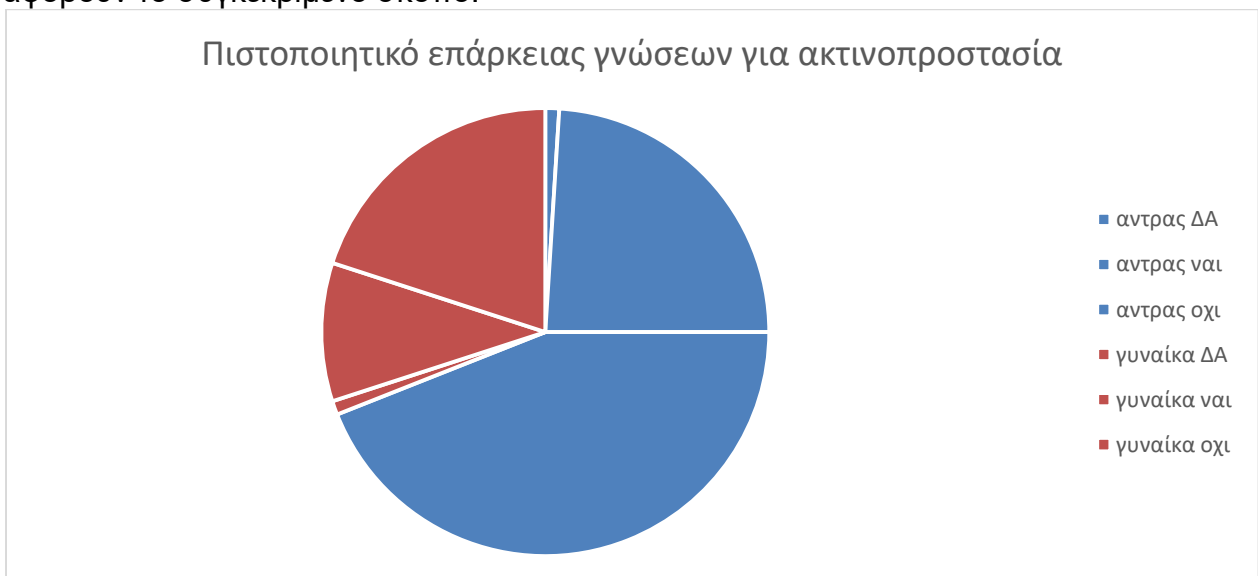


Πίνακας 9: Το διάγραμμα για την παροχή ειδικής προστασίας κατά την εγκυμοσύνη/γαλουχία.

7. Υπάρχει πιστοποιητικό επάρκειας γνώσεων και καταρτίσεων των εργαζομένων που απασχολούνται στον χώρο σας σε θέματα ακτινοπροστασίας;

Άντρες		Γυναίκες	
Ναι	24	Ναι	10
Όχι	44	Όχι	20
ΔΑ	1	ΔΑ	1

Μέσα σε ένα χώρο χειρουργείου όσοι παρευρίσκονται θα πρέπει να γνωρίζουν τι είναι και πώς να προστατεύονται από τις ακτίνες (ακτινοπροστασία). Αυτό εξασφαλίζει την δική τους υγεία, αλλά και να ξέρουν πώς να συμπεριφερθούν αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα μέσα στο χώρο που γίνεται η επέμβαση. Τα δεδομένα μας δείχνουν ότι μεγάλο ποσοστό των εργαζομένων δεν κατέχουν κάποιο πιστοποιητικό για το συγκεκριμένο ζήτημα. Την συγκεκριμένη κατάρτιση μπορούν να την αποκτήσουν είτε μέσα από το χώρο των σπουδών τους οι ανάλογοι επαγγελματίες ή με την παρακολούθηση ειδικών μαθημάτων ή σεμιναρίων που αφορούν το συγκεκριμένο σκοπό.

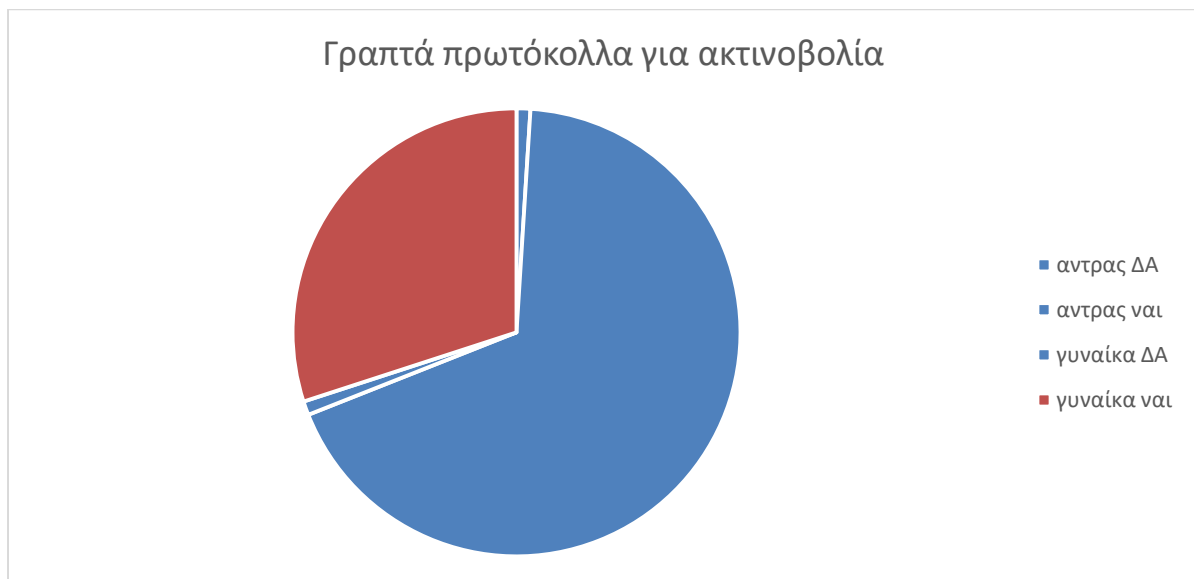


Πίνακας 10: Το διάγραμμα για την πιστοποίηση των γνώσεων και καταρτίσεων των εργαζομένων μέσα στο χώρο εργασίας.

8. Είσατε ενήμερος/η αν υπάρχουν γραπτά πρωτόκολλα εργασίας για την προστασία από την ακτινοβολία από τις συσκευές Laser:

Άντρες		Γυναίκες	
Ναι	40	Ναι	19
Όχι	28	Όχι	11
ΔΑ	1	ΔΑ	1

Μέσα στο χώρο του χειρουργείου θα πρέπει να υπάρχει κάποιο πρωτόκολλο, το οποίο να αποδεικνύει την προστασία από την έκθεση της ακτινοβολίας του Laser της συσκευής, το οποίο συνήθως υπάρχει από το εργοστάσιο, στο οποίο φτιάχτηκε η συγκεκριμένη συσκευή.

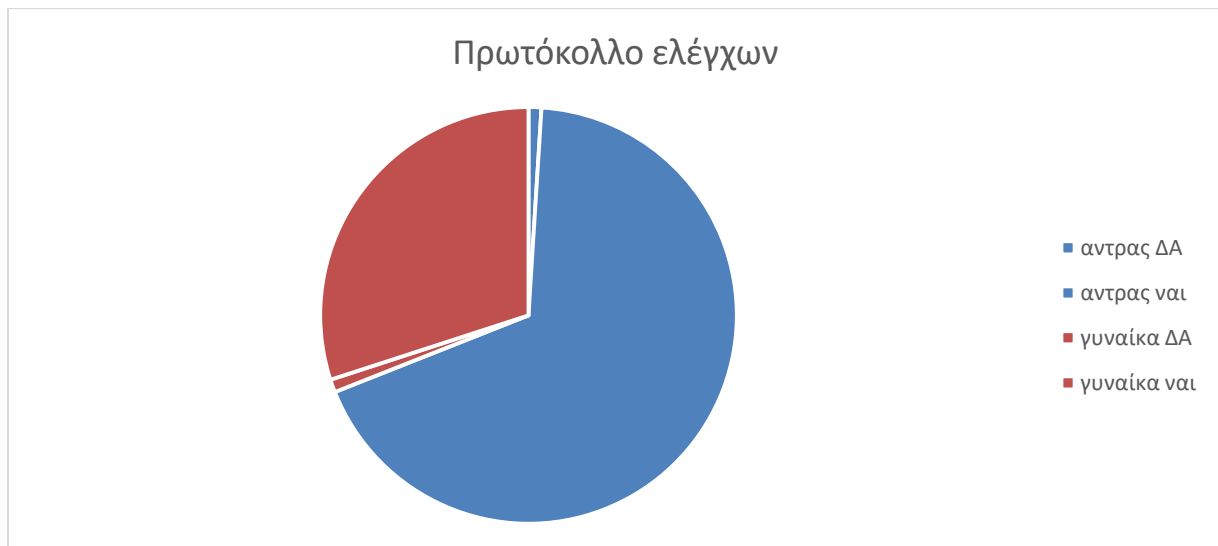


Πίνακας 11: Το διάγραμμα με το αν είναι ενήμεροι για γραπτά πρωτόκολλα εργασίας για την προστασία από την ακτινοβολία.

9. Ο χειρουργικός χώρος σας διαθέσει γραπτά πρωτόκολλα ελέγχων των συσκευών Laser (π.χ. βλάβη στο ειδικό θωρακισμένο καλώδιο, παρατήρηση για λειτουργική συμπεριφορά του μηχανήματος):

Άντρες		Γυναίκες	
Ναι	68	Ναι	30
ΔΑ	1	ΔΑ	1

Κάθε μηχάνημα πρέπει να ελέγχεται συνέχεια μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα από τον ειδικό τεχνικό για τέτοιου είδους συσκευές , για να πιστοποιείται ότι δεν έχει κάποια βλάβη και μπορεί να συνεχίσει να επιτελεί το έργο του με ασφάλεια. Όπως φαίνεται και από τα νούμερα, αυτό ακολουθείται πιστά.

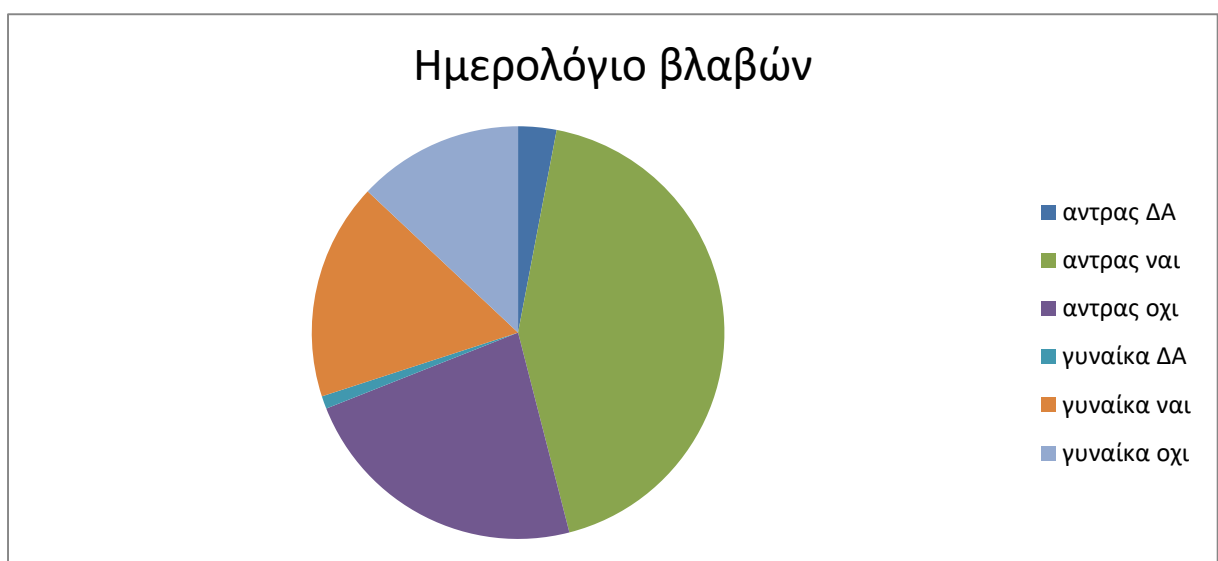


Πίνακας 12: Το διάγραμμα που δείχνει αν υπάρχουν γραπτά πρωτόκολλα για τους ελέγχους των συσκευών Laser.

10. Τηρείτε Ημερολόγιο βλαβών των συσκευών Laser (αναγραφή βλαβών, μετατροπών, επιδιορθώσεων και του προσωπικού που τις διαπίστωσε και αυτούς που διόρθωσαν την βλάβη):

Αντρες		Γυναίκες	
Ναι	43	Ναι	17
Όχι	23	Όχι	13
ΔΑ	3	ΔΑ	3

Εάν σε κάποια περίπτωση εμφανίσει κάποιο πρόβλημα η συσκευή Laser θα πρέπει να τηρείται κάποιο Ημερολόγιο Βλαβών, μέσα στο οποίο να αναφέρεται αναλυτικά το πρόβλημα, το χρόνο που διορθώθηκε και από ποιον. Μεγάλο ποσοστό ιατρών απαντά πως αυτό γίνεται. Με αυτό τον τρόπο πιστοποιείται η πορεία και η ασφάλεια μιας επέμβασης.

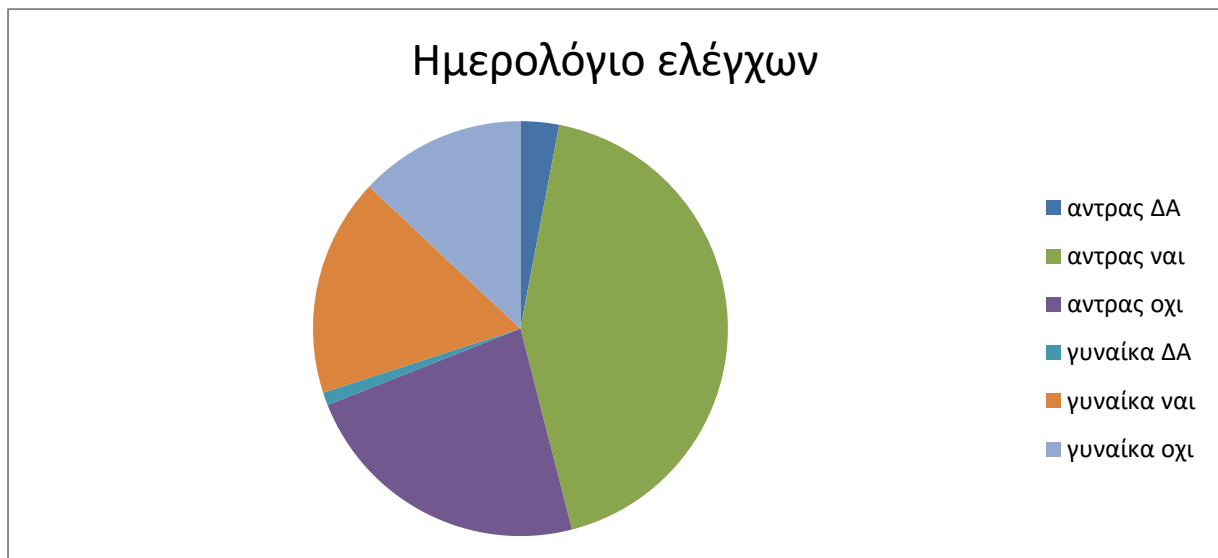


Πίνακας 13: Το διάγραμμα του ημερολογίου βλαβών της συσκευής Laser.

11. Τηρείτε Ημερολόγιο για κάθε συσκευή Laser (αρχείο ελέγχων ποιότητας, έλεγχοι αποδοχής/εγκατάστασης, περιοδικοί τεχνικοί, έλεγχοι μετά από κάθε χειρουργική επέμβαση, κλπ):

Αντρες		Γυναίκες	
Ναι	23	Ναι	17
Όχι	43	Όχι	13
ΔΑ	3	ΔΑ	1

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχουν πολλές συσκευές που δεν ελέγχονται μετά από μία χειρουργική επέμβαση για να φανεί εάν παραμένει η λειτουργία του σωστή για μία επόμενη επέμβαση. Οι έλεγχοι θα πρέπει να γίνονται πάλι από ειδικούς τεχνικούς.

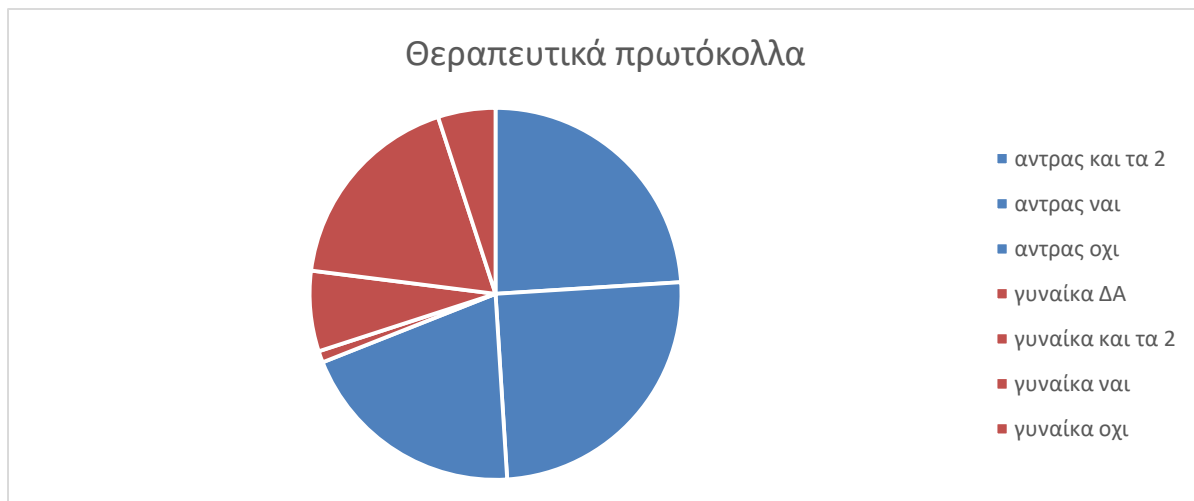


Πίνακας 14: Διάγραμμα για Ημερολόγιο κάθε συσκευής Laser για ελέγχους.

12. Όταν χρησιμοποιείτε τη συσκευή Laser καθορίζετε εσείς την δόση ανά πάθηση ή χρησιμοποιείτε τα θεραπευτικά πρωτόκολλα που προτείνει η ίδια η συσκευή (εργοστασιακά):

Αντρες		Γυναίκες	
Ναι	25	Ναι	7
Όχι	20	Όχι	18
Και τα 2	24	Και τα 2	5
		ΔΑ	1

Κάθε φορά που γίνεται μια επέμβαση θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες της συσκευής για μία σωστή και ασφαλή λειτουργία. Βέβαια, για να επιτευχθεί και η σωστή μέθοδος θα πρέπει να γνωρίζει κάθε φορά ο ιατρός την δόση την οποία θα πρέπει να παρέχει στον κάθε ασθενή. Στα αποτελέσματα φαίνεται ότι γίνεται χρησιμοποιείται το δεύτερο, δηλαδή ότι ο ιατρός καθορίζει τη δόση.



Πίνακας 15: Το διάγραμμα που δείχνει τον καθορισμό της δόσης ανά πάθηση στη συσκευή Laser.

Κεφάλαιο 4: Κανονισμοί Προστασίας από την Ακτινοβολία Laser

4.1 Προστασία προσωπικού

4.1.1 Ασθενής

Οι Κανονισμοί ασφαλείας στα Laser δεν αφορούν την έκθεση του ασθενή σε ένα χειρουργείο. Αλλά θα πρέπει να υπάρξει ανησυχία αν υπάρξει κάποια τυχαία έκθεσή του από λάθος κατεύθυνση της δέσμης. Τα λάθος τα μέτρα ασφαλείας μπορούν να οδηγήσουν σε τραυματισμό του οφθαλμού και του δέρματος του ασθενούς. Μεγαλύτερη ανησυχία αποτελεί το Laser όταν χρησιμοποιείται κοντά στον οφθαλμό και η δέσμη δεν προορίζεται για θεραπεία αυτού και η έκθεσή του είναι ακούσια. Για τους οφθαλμούς χρησιμοποιείται μεταλλική προστατευτική θωράκιση. Με αυτήν η προσπίπτουσα ακτινοβολία που θα πήγαινε στην περιοχή των ματιών, θα ανακλάται και δε θα δημιουργεί κάποιο τραυματισμό.

4.1.2 Χειρουργοί

Ο χειρουργός ή ο χειριστής του Laser συνήθως δεν κινδυνεύει ιδιαίτερα από τραυματισμό από την χρήση ενός ιατρικού Laser. Ο κίνδυνος αυτός ελαχιστοποιείται, όταν ο χειρουργός βλέπει τον ιστό-στόχο μέσω οπτικών συστημάτων που έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα για χρήση με το συγκεκριμένο όργανο Laser. Ωστόσο, κατά τη χρήση βοηθητικών ενδοσκοπίων, η απουσία ενός φίλτρου ασφαλείας θα μπορούσε να δημιουργήσει μια κίνδυνο για τα μάτια του χειρουργού. Με τα συστήματα Laser χειρός, το χέρι του χειρουργού είναι πολύ κοντά στο σημείο που στοχεύει η δέσμη Laser και έτσι, ταυτόχρονα, είναι πλησιέστερα προς δυνητικά επικίνδυνες ανακλάσεις, οι οποίες προέρχονται από τα γειτονικά(προς το σημείο-στόχο) χειρουργικά εργαλεία.

4.1.3 Βοηθοί Χειρουργείου

Το προσωπικό που είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία ενός χειρουργείου (νοσηλεύτες, χειρουργικοί βοηθοί) είναι δυνητικά εκτεθειμένοι στις δέσμες Laser. Αυτό μπορεί να προκύψει από ενεργοποίηση του ποδοδιακόπτη που συνήθως έχουν τα χειρουργικά Laser, κατά λάθος. Υπό αυτές τις συνθήκες ο κίνδυνος παραμονεύει, επειδή το σύστημα μεταφοράς και αποδέσμευσης της δέσμης, δεν κατευθύνεται στο χειρουργικό πεδίο και η δέσμη μπορεί να προσπέσει σε στοχευόμενες περιοχές, οι οποίες είναι ευάλωτες σε ζημιές. Τρόποι προστασίας μπορούν να είναι οι εξής:

- Μπορεί να αποφευχθεί με την τοποθέτηση του Laser σε κατάσταση «αναμονής», όταν δεν βρίσκεται σε λειτουργία-χρήση.
- Πρέπει να υπάρχει προσοχή στην τοποθέτηση του ποδιού του χειριστή σε σχέση με τον ποδοδιακόπτη, έτσι ώστε να αποφευχθεί η ακούσια ενεργοποίηση του Laser.
- Οι βοηθοί ενδέχεται να εκτεθούν σε δευτερεύουσες ανακλάσεις, οι οποίες προέρχονται από τις χειρουργικές συσκευές.
- Τα μικροσκόπια χειρουργείου που χρησιμοποιούνται στην μικροχειρουργική Laser μπορούν να προστατεύσουν τα μάτια του χειρουργού, αν είναι σχεδιασμένα σωστά, ενώ οι βοηθοί και οι παρευρισκόμενοι θα εκτεθούν σε δυνητικά επικίνδυνες ανακλάσεις από χειρουργικά εργαλεία, τα οποία θα εισέλθουν στην πορεία της δέσμης. Το μεγαλύτερο ποσοστό των

ανακλώμενων ακτίνων είναι εξαιρετικά αποκλίνουσες όταν η δέσμη είναι αρκετά καλά εστιασμένη. Αυτό οδηγεί σε μη επικίνδυνες εντάσεις ακτινοβολίας εντός 1 έως 2 m από το στόχο στις περισσότερες περιπτώσεις.

Οι ανακλάσεις που προέρχονται παράλληλη δέσμη είναι οι πιο επικίνδυνες. Το Σχήμα 20 δείχνει τις ανακλάσεις μιας δέσμης Laser που μπορεί να έχουμε κατά τη διάρκεια μιας οφθαλμολογικής ή άλλης χειρουργικής διαδικασίας. Να σημειώσουμε εδώ την μεγάλη σημασία της τραχύτητας και της υφής που έχει η επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει η δέσμη.

4.1.4 Συνοδοί-Παρατηρητές

Αυτοί που παρευρίσκονται κατά την χειρουργική διαδικασία είναι παρόντες είτε για να παρατηρούν την χειρουργική διαδικασία είτε να ηρεμήσουν τον ασθενή (π.χ. συγγενικό πρόσωπο ασθενούς). Υπάρχει η περίπτωση να εκτεθούν σε ανακλώμενες δέσμες, όπως και το νοσηλευτικό προσωπικό και οι βοηθοί του χειρουργείου. Όμως, επειδή υπάρχει έλλειψη κατάρτισης ή γνώσεων σχετικά με τη χειρουργική επέμβαση με χρήση Laser και τους κινδύνους που παραμονεύουν, βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες που αναφέραμε.

4.1.5 Προσωπικό Συντήρησης-Επιδιόρθωσης

Το προσωπικό, το οποίο ασχολείται με την συντήρηση και επιδιόρθωση ενός Laser είναι συχνά εκτεθειμένοι στο να πάθουν κάποιο τραυματισμό, γιατί έχουν συχνά πρόσβαση σε ευθυγραμμισμένες δέσμες μέσα από την ίδια την κοιλότητα ή με την διαχείριση των οπτικών μεταφοράς-διάδοσης της δέσμης, όπου έχουν πρόσβαση σε παράλληλες δέσμες πριν από την εστιακή της σύγκλιση. Τα περισσότερα χειρουργικά Laser χρησιμοποιούν μια εστιασμένη δέσμη, η οποία εξέρχεται από το σύστημα παροχής, εστιάζεται πολύ γρήγορα και στη συνέχεια αποκλίνει πάλι.

Σοβαρός κίνδυνος για μάτια και δέρμα μπορεί να αποτελέσει η ζώνη δέσμης, η οποία συγκλίνει σε ένα μέγεθος. Συνήθως πρόκειται για μία περιορισμένη ζώνη κοντά στην εστία της. Όμως, μια παράλληλη δέσμη, όπως η δέσμη άντλησης από τις περισσότερες οπτικές κοιλότητες ή η κατοπτρική ανάκλαση, μπορεί να εκπεμφθεί κατά την διάρκεια που το προσωπικό συντήρησης έχει πρόσβαση στο μηχάνημα Laser. Τουλάχιστον δύο σοβαροί τραυματισμοί του οφθαλμού έχουν συμβεί σε προσωπικό συντήρησης, το οποίο εκτέθηκε σε δευτεροβάθμια αόρατη δέσμη, υψηλής παραλληλότητας από LaserNd: YAG 1.064-nm, όταν οι τεχνικοί αποκτήσαν πρόσβαση στην κοιλότητα του.

4.2 Όρια έκθεσης – MPE.

Τα διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα έχουν καθιερώσει ασφαλή όρια έκθεσης σε ακτινοβολία laser, τα οποία μας δίνουν την μέγιστη δόση ενέργειας που δεν είναι επιζήμια για τους ιστούς. Αυτά τα όρια, γνωστά και MPE (maximum per missible exposure) δίνονται αναλυτικά στα πρότυπα IEC 60825 1 (-6) , EN 207, EN 208, ANSIZ136.1(-.6) κ.α. Τα πρότυπα αυτά παρόλο που έχουν ενημερωθεί και επικαιροποιηθεί, έρευνα συνεχίζει και γίνεται. Τα MPE δημιουργήθηκαν με βάση

πειραματικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από ακτινοβολήση σε ιστούς ζώων αλλά και ανθρώπινους. Τα πειράματα έγιναν με δεδομένα:

- το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- την ακτινοβολήση δέρματος ή οφθαλμού,
- την διάμετρο της δέσμης στο σημείο αλληλεπίδρασης και τη διάρκεια του παλμού που δέχτηκε ο ιστός και
- αλλάζοντας την ισχύ του παλμού ή την ισχύ του συνεχούς Laser.

Μετά έγινε εξέταση των ιστών για τυχόν κακώσεις, μεταλλάξεις ή τραυματισμούς. Οι εξετάσεις δείχνουν διάφορα αποτελέσματα. Το όριο έκθεσης, για το οποίο το 50% των δεδομένων μας δίνουν κάποια κάκωση, καλείται “Effective Dose 50%” και συμβολίζεται ED-50 . Η ED-50 αποτελεί στατιστικό αποτέλεσμα, έτσι και για μικρότερες δόσεις παρατηρούνται τραυματισμοί και κακώσεις. Τα MPE λοιπόν είναι κυρίως μικρότερα από την ED-50 και σε γενικές γραμμές χρησιμοποιείται ένας παράγοντας της τάξης του 1/10. Έτσι, ο παράγοντας ασφαλείας παρουσιάζει διακυμάνσεις γύρω από αυτή την τιμή, ανάλογα με το μήκος κύματος και τον χρόνο έκθεσης. Για έκθεση ελαφρώς πάνω από το MPE παρατηρούνται συνήθως τραυματισμοί. Όσο αυξάνεται η δόση πάνω από το MPE, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να αυξάνεται ραγδαία. Ο οφθαλμός και το δέρμα απορροφούν διαφορετικά και έχουν διαφορετικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα στην περιοχή που απορροφά ο αμφιβληστροειδής (ορατό), με αυτό λοιπόν αποδεικνύεται ότι τα όρια έκθεσης είναι επίσης διαφορετικά. Οι τιμές των MPE προσδιορίζονται σε μονάδες ενέργεια ή ισχύος ανά τετραγωνικό εκατοστό, δηλαδή σε J/cm^2 ή W/cm^2 και εξαρτώνται από την διάρκεια της έκθεσης και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Για τον οφθαλμό, μπορεί να εξαρτάται και από το μέγεθος του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή. Για μεγάλους χρόνους έκθεσης το MPE είναι χαμηλότερο από ότι για μικρής διάρκειας, όμως υπάρχουν και περιοχές τιμών μήκους κύματος και διάρκειας για τις οποίες το MPE δεν εξαρτάται από τις τιμές τους.

4.2.1 Παράμετροι που επηρεάζουν τον υπολογισμό των MPE.

Για να υπολογιστεί το άνοιγμα, όταν θέλουμε να συγκρίνουμε μία δόση με το MPE, πρέπει να ορίζεται ένα οριακό άνοιγμα της δέσμης (διάμετρος), το οποίο υπολογίζεται ανάλογα με μήκος κύματος και τον ιστό απορρόφησης. Αυτό εξαρτάται από τις οπτικές ιδιότητες του κερατοειδούς και του φακού γιατί από αυτές εξαρτάται η επιφάνεια ακτινοβολήσης του αμφιβληστροειδούς.

Όσο αφορά την απόσταση πηγής – στόχου πρέπει πάντα να χρησιμοποιούμε το κοντινότερο σημείο που έχει πρόσβαση στην τροχιά της δέσμης laser. Μια τελευταία παράμετρο αποτελεί η γωνία υποδοχής. Προσοχή σε αυτήν, γιατί διαφέρει από το άνοιγμα την δέσμης θ . Τα πρότυπα μας δίνουν τις μέγιστες τιμές, ώστε να αποφεύγεται λανθασμένη εκτίμηση του κινδύνου από λάθος μετρήσεις και εκτιμήσεις. Για σύγκριση με τα όρια θερμικής επίπτωσης στο αμφιβληστροειδή δίνεται : $\gamma_{ph}=100$ mrad. Για σύγκριση με τα όρια φωτοχημικής επίπτωσης στον αμφιβληστροειδή δίνονται συναρτήσεις του χρόνου έκθεσης:

- $\gamma_{intexp} < 100$ s , $\gamma_{ph} = 11$ mrad .
- $\gamma_{in} 100s < t_{exp} < 10000$ s , $\gamma_{ph} = 1,1 t^{1/2}$ mrad .
- $\gamma_{in} t_{exp} > 10000$ s , $\gamma_{ph} = 110$ mrad .

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται μόνο για υπολογισμούς στα μήκη κύματος 400 – 600 nm και αφορούν μόνο τις επιπτώσεις στον αμφιβληστροειδή, όπως φαίνεται και στους πίνακες του παραρτήματος.

4.2.2 Μεθοδολογία προσδιορισμού δόσης ακτινοβολίας MPE.

Τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθούνται για τους υπολογισμούς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με την ακόλουθη μεθοδολογία:

Προσδιορισμός της δόσης ΜΠΕ:

1. Προσδιορίζουμε το μήκος κύματος που εκπέμπει το laser (λ).
2. Προσδιορίζουμε τον μέγιστο εκτιμώμενο χρόνο έκθεσης (t).

- Για εσκεμμένη έκθεση: $t =$ διάρκεια έκθεσης.
- Για τυχαία έκθεση στο μάτι: α) στο ορατό, $t = 0,25s$. β) στο υπεριώδες, $t = 30000 s$. γ) στο υπέρυθρο, $t = 100 s$
- Για έκθεση στο δέρμα: $t = 10 - 100 s$.

3. Καθορίζουμε αν το άνοιγμα της δέσμης (θ) (στους πίνακες παρακάτω το συναντάμε και με το σύμβολο α) ανήκει σε ένα από τα τρία σύνολα: $\theta < 1,5 \text{ mrad}$, $1,5 \text{ mrad} < \theta < 100 \text{ mrad}$, $\theta > 100 \text{ mrad}$.

4. Βρίσκουμε το MPE από τους πίνακες κάνοντας και τους απαραίτητους υπολογισμούς.

5. Αν έχουμε παλμικό laser:

- Μοναδικός παλμός: α) στο ορατό, αν $t_{\text{pulse}} < 0,25 s$, τότε θέτουμε $t = t_{\text{pulse}}$, αλλιώς $t = 0,25s$. β) στο υπεριώδες, $t = 30000 s$. γ) στο υπέρυθρο, $t = 10 s$.
- Για συστοιχία παλμών: α) υπολογίζουμε το MPE_{single} , μονού παλμού με $t = t_{\text{pulse}}$. β) υπολογίζουμε για την συστοιχία: $MPE_{\text{train}} = MPE_{\text{single}} \cdot N \cdot 0,25$, όπου N ο αριθμός των παλμών. γ) υπολογίζουμε το μέσο MPE ως εξής: $MPE_{\text{μέσο}} = (MPE \text{ για } t = \text{διάρκεια έκθεσης}) / N$. δ) χρησιμοποιούμε το μικρότερο από τα τρία.

6. Προσδιορίζουμε το ζητούμενο MPE με την βοήθεια των πινάκων.

Προσδιορισμός της δόσης (E_{exp}):

Υπολογίζουμε την ισχύ ή την ενέργεια ανά τετραγωνικό εκατοστό που δέχτηκε ή μπορεί να δεχτεί ο ιστός.

Συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας: Για να χαρακτηρίσουμε ασφαλή μία δόση ακτινοβολίας πρέπει $E_{\text{exp}} < MPE$.

Υπάρχουν εύκολα προγράμματα υπολογισμού των MPE. Μπορεί ο χρήστης να τα πληρώσει και να κάνει λήψη από τον υπολογιστή του. Είναι προγράμματα εταιρειών, οι οποίες ασχολούνται με προϊόντα ασφαλείας laser.

Ένα άλλο στοιχείο που είναι σημαντικό είναι η απόσταση ασφαλείας από την πηγή, δηλαδή πάνω από ποια απόσταση το άνοιγμα της δέσμης απλώνει τόσο, ώστε η έκθεση στην ακτινοβολία laser να είναι ασφαλής. Η απόσταση ασφαλείας ονομάζεται NOHD (nominal ocular hazard distance) και υπολογίζεται είτε πειραματικά είτε υπολογίζοντας με την βοήθεια εξισώσεων. Είναι η απόσταση στην οποία η

έκθεση του οφθαλμού γίνεται ίση με το αντίστοιχο MPE. Υπάρχουν απώλειες από τον αέρα ή άλλο οπτικό μέσο, μέσω σκεδάσεων και απορροφήσεων.

4.3 Μέτρα Μηχανικού Ελέγχου Ασφαλείας

4.3.1 Έννοιες των Μέτρων Μηχανικού Ελέγχου Ασφαλείας

Τα μέτρα ελέγχου κινδύνων από την χρήση Laser μπορούν να διαχωριστούν σε:

- διοικητικές διαδικασίες (Administrative Controls),
- εξοπλισμό ατομικής προστασίας (Personal Protective Equipment - προστατευτικά ματιών, αναπνευστήρες, γάντια, κλπ) και
- σε μηχανικούς ελέγχους (Engineering Controls) για την συσκευή Laser και το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργεί.

Οι μηχανικοί έλεγχοι θεωρούνται γενικά πιο αξιόπιστοι από όλα τα άλλα είδη προστασίας, παρότι είναι οι πιο ακριβοί, δεδομένου ότι δεν πρέπει να είναι κανείς σίγουρος ότι όλοι θα ακολουθήσουν τις προκαθορισμένες αυστηρές διαδικασίες για την αποφυγή επικίνδυνης έκθεσης στην δέσμη του Laser, αλλά και σε οποιοδήποτε άλλο κίνδυνο που μπορεί να προκύψει από την χρήση του. Παραδείγματος χάριν, ο χρήστης μπορεί να ξεχάσει να φορέσει προστατευτικά γυαλιά ή να καλύψει όλες της ανακλαστικές επιφάνειες. Παραδείγματα των μηχανικών μέτρων ελέγχου είναι:

- η εγκατάσταση διαφραγμάτων (Baffles-Barriers),
- η τοποθέτηση προστατευτικών φίλτρων στην είσοδο (γενικά στις πόρτες),
- κλείστρα (Shutters) στις εξόδους της δέσμης,
- χαμηλής ανακλαστικότητας επίστρωση στους τοίχους, καθώς και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας του ίδιου του συστήματος Laser (όπως προστατευτικά περιβλήματα-protective housing,
- διακόπτες, οι οποίοι ενεργοποιούνται με την χρήση κλειδιού – keylocked switches, και
- δικλείδες ασφαλείας- interlocks).

Αυτά τα χαρακτηριστικά ασφαλείας είναι συνήθως εγκατεστημένα στο σύστημα από τον κατασκευαστή του.

4.3.2 Σχεδιασμός Συστήματος Laser και Απαιτούμενα Χαρακτηριστικά Ασφαλείας.

4.3.2.1 Παθητικός έλεγχος

Χρησιμοποιείται όταν αναφερόμαστε στα μηχανικά μέτρα ασφαλείας. Αυτά έχουν σχεδιαστεί και έχουν ενσωματωθεί μέσα στο σύστημα Laser που χρησιμοποιείται στο χώρο μέσα στον οποίο το Laser έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί. Ο σχεδιασμός του συστήματος Laser έχει σημαντικό ρόλο, γιατί συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των πιθανών κινδύνων από την τυχαία λανθασμένη χρήση του κλινικού συστήματος Laser. Παραδείγματος χάριν, η χρήση του κεντρικού διακόπτη με κλειδί περιορίζει τη χρήση του συστήματος μόνο στους εξουσιοδοτημένους χειριστές. Η αυτόματη διακοπή της δέσμης απαιτεί τη δράση του χειρουργού-χειριστή για να λειτουργήσει το Laser. Αυτό γίνεται με ένα διακόπτη ποδιού (ποδοδιακόπτη) ή διακόπτη τύπου σκανδάλης. Δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένος τρόπος κατασκευής των συστημάτων Laser. Υπάρχουν όμως

συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας που θα πρέπει να εφαρμόζονται σε ορισμένες κατηγορίες συστημάτων Laser. Τα περισσότερα χειρουργικά συστήματα Laser είναι κατηγορίας 4(Class 4, δηλαδή έχουμε ένα πολύ επικίνδυνο σύστημα).

4.3.3 Το προστατευτικό περίβλημα (Protective Housing)

4.3.3.1 Αποτροπή Πρόσβασης (Access Prevention)

Το προστατευτικό περίβλημα απαιτείται για όλες τις κατηγορίες των Laser. Προλαμβάνει την έκθεση του ανθρώπου σε δέσμες που υπερβαίνουν το προσβάσιμο όριο εκπομπής (Accessible Emission Limit-AEL) για την κατηγορία 1, εκτός από το σημείο της εκπομπής της δέσμης. Αν και τα διεθνή πρότυπα απαιτούν ότι το προστατευτικό περίβλημα εμποδίζει "την ανθρώπινη πρόσβαση" σε ακτινοβολία Laser, αυτή δεν απαιτείται για την προτεινόμενη-προβλεπόμενη λειτουργία του συστήματος. Η κύρια ιδέα για το προστατευτικό περίβλημα είναι η αποτροπή της ανθρώπινης πρόσβασης στην έκθεση της εκπεμπόμενης δέσμης, καθώς και σε κάθε δευτερεύουσα δέσμη. Όμως το περίβλημα έχει διάφορα ανοίγματα, οι οποίες είναι αναγκαίες για να λειτουργεί το σύστημα σωστά. Τέτοιες είναι οι θυρίδες ψύξης, οι οποίες επιτρέπονται, με τις προϋποθέσεις ότι οι δευτερεύουσες δέσμες δεν θα εξέλθουν από αυτά τα ανοίγματα και ότι οι διαστάσεις των ανοιγμάτων αυτών δεν επιτρέπουν την πρόσβαση στα εσωτερικά του συστήματος. Παραδείγματος χάριν, κάθε άνοιγμα θα πρέπει να είναι τόσο μικρό, ώστε να μην μπορεί να εισαχθεί σε αυτό ένας οδοντιατρικός καθρέφτης που μπορεί να ανακλά την δέσμη σε μη επιθυμητές κατευθύνσεις διάμεσο του ανοίγματος. Αυτό το περίβλημα είναι σπάνια μεγαλύτερο από το κανονικό περίβλημα που θα υπάρχει γύρω από κάθε ηλεκτρονική συσκευή. Παρέχει προστασία για την εκπομπή δευτερευόντων δεσμών, του φωτός που προέρχεται από την λυχνία αντλήσεως, την υπεριώδη ακτινοβολία και από την πρόσβαση σε ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία διαρρέονται από ρεύμα και είναι αγωγίμα, παρέχοντας έτσι και ασφάλεια από ηλεκτροπληξία επιπλέον.

Είναι ένα σημαντικό μέτρο ελέγχου που απαιτείται για όλα τα προϊόντα λέιζερ, όπου η αφαίρεση του περιβλήματος θα δώσει πρόσβαση σε επικίνδυνες δέσμες Laser. Στην περίπτωση όμως που πρέπει να γίνεται σκόπιμη αφαίρεση του περιβλήματος κατά την συντήρηση ή συνήθη χρήση του συστήματος, μπορούμε να τοποθετήσουμε μια δικλείδα ασφαλείας-interlock. Πολλοί κατασκευαστές σχεδιάζουν τα προϊόντα τους ώστε να εμποδίζουν την πρόσβαση σε ακτινοβολία που υπερβαίνει το προσβάσιμο όριο εκπομπής(Accessible Emission Limit-AEL) για την κατηγορία 1, χωρίς την ανάγκη πάνελ με δικλείδες ασφαλείας.

4.3.4 Το σύστημα παροχής δέσμης (Beam Delivery System)

Το προστατευτικό περίβλημα είναι το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος παροχής δέσμης οποιουδήποτε συστήματος Laser. Η απομάκρυνσή του από το σύστημα Laser πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή της εκπομπής Laser. Αυτό συμβαίνει όταν αφαιρεθούν τα καλώδια οπτικών ινών, αλλά πρέπει να περιλαμβάνει οποιαδήποτε αρθρωτό βραχίονα ή παρόμοια δομή που προορίζεται να αφαιρείται και να επανασυνδέεται. Η απαίτηση να υπάρχει δικλείδα ασφαλείας για την διασύνδεση αυτών των κομματιών που αποσυναρμολογούνται υπάρχει στα διεθνή πρότυπα για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος (ANSI standard Z-136.3).

4.4 Λειτουργία, Συντήρηση και Επισκευή

Υπάρχει διάκριση μεταξύ τριών εξειδικευμένων όρων που χρησιμοποιούνται στα διεθνή πρότυπα. Αυτοί οι όροι είναι

- λειτουργία,
- συντήρηση και επισκευή ενός συστήματος Laser.

Για την ασφάλεια του προστατευτικού περιβλήματος οι απαιτήσεις του σχεδιασμού είναι μεγαλύτερες για τη λειτουργία και τη συντήρηση. Οι λιγότερο αυστηρές είναι στην περίπτωση όπου έχουμε επισκευή του συστήματος.

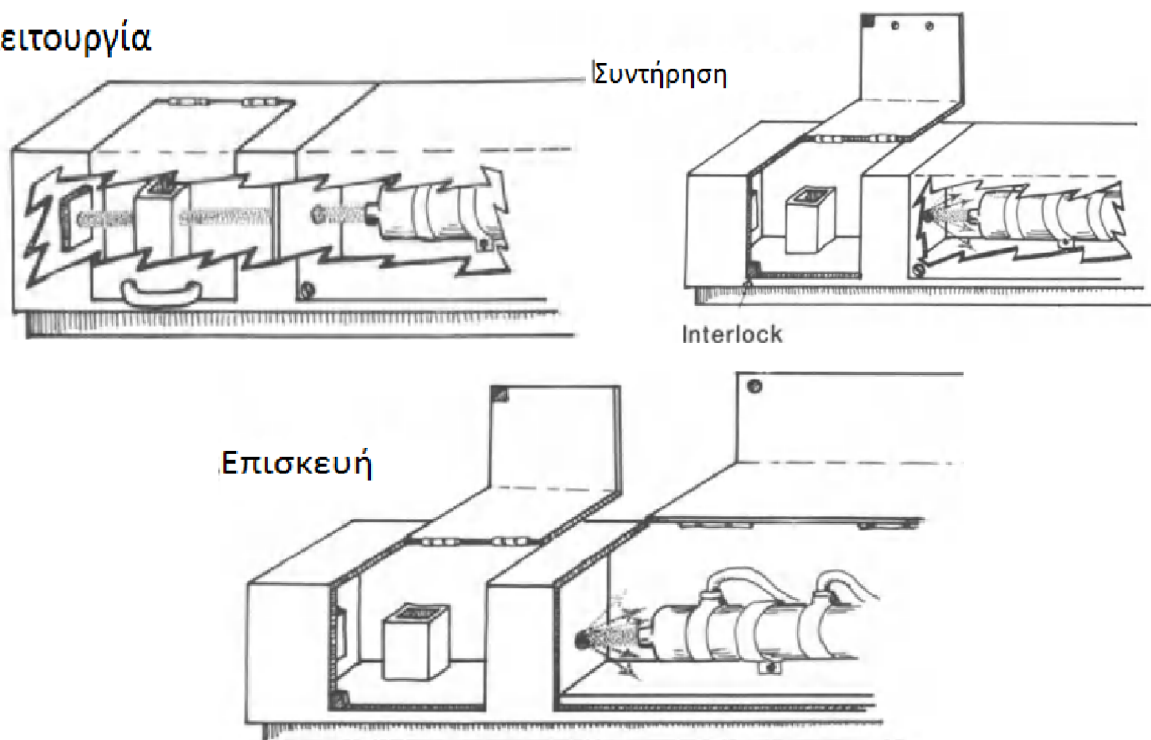
Η λειτουργία είναι η κανονική λειτουργία του συστήματος, ώστε να εκτελέσει την προβλεπόμενη λειτουργία του. Για παράδειγμα, η προβλεπόμενη λειτουργία ενός χειρουργικού Laser είναι να εκτελεί χειρουργικές επεμβάσεις.

Η συντήρηση είναι πρακτικές που εκτελούνται από το χρήστη με σκοπό να διατηρήσει το σύστημα Laser σε κανονική λειτουργία. Για παράδειγμα, η συντήρηση είναι:

- ο καθαρισμός των ενδοσκοπίων,
- γυάλισμα ακίδων επαφής,
- την αντικατάσταση των δοχείων των αερίων,
- τα φίλτρα νερού και
- ότι άλλα αναλώσιμα διαθέτει το σύστημά μας.

Η επισκευή είναι οι εργασίες που εκτελούνται από εξειδικευμένο, εκπαιδευμένο προσωπικό (το οποίο συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή ή τον αντιπρόσωπο της εταιρείας). Υποθετικά, ο χρήστης, ο οποίος κάνει τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος δεν έχει εξειδικευμένη κατάρτιση στον τομέα της προστασίας Laser. Όμως, το προσωπικό που εκτελεί την επισκευή πρέπει να έχει τις γνώσεις που απαιτούνται. Για παράδειγμα, ένα σύστημα Laser χρωστικών (dye mode-locked photo disruptor) χρησιμοποιείται σε οφθαλμολογικά χειρουργεία. Η λειτουργία του έχει σχέση με την κλινική εφαρμογή της φωτοδιάσπασης. Η συντήρησή του έχει σχέση με την τοποθέτηση νέας χρωστικής μέσα στο στοιχείο (Cell) που βρίσκεται μέσα στην οπτική κοιλότητα του Laser. Αυτό πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε, αφού με την χρήση του Laser η χρωστική αποικοδομείται και χάνει την αποτελεσματικότητά της. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να ανοιχτεί το προστατευτικό περίβλημα και να ενεργοποιηθούν οι δικλίδες ασφαλείας ούτως ώστε να διακοπεί η λειτουργία του Laser. Το ίδιο και στη διαδικασία συντήρησης. Πρέπει να θεωρηθεί η αλλαγή ενός φίλτρου σε ένα κλινικό σύστημα. Αυτές οι διαδικασίες συντήρησης θα πρέπει να καθορίζονται και να υπάρχουν αναλυτικά βήματα στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Λειτουργία



Σχήμα 7: Οι διαφορές ανάμεσα στην λειτουργία, στη συντήρηση και στην επισκευή στο σύστημα του Laser.

Με αυτά τα δεδομένα, η επικίνδυνη ακτινοβολία Laser δεν θα πρέπει να είναι προσβάσιμη στο χρήστη. Η συντήρηση όμως μπορεί να απαιτήσει την απομάκρυνση του πάνελ στο πίσω μέρος του μηχανήματος. Αυτό πρέπει να γίνεται από εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό που θα αποκτήσει πρόσβαση στο εσωτερικό της συσκευής και ενδεχομένως να εκτεθεί. Το τεχνικό προσωπικό θα πρέπει να είναι επαρκώς εκπαιδευμένο. Εάν, κατά τη διάρκεια της επισκευής υπάρξει κάποια εκπομπής επικίνδυνης ακτινοβολίας, τότε ο τεχνικός θα πρέπει να οριοθετήσει μία "Προσωρινά ελεγχόμενη περιοχή" και να προειδοποιεί τους υπόλοιπους με ενημέρωση – πινακίδα για αυτήν.

4.5 Αποσύνδεση Συστήματος Παράδοσης Δέσμης (BeamDeliveryDisconnect)

Για τα ιατρικά συστήματα Laser που ανήκουν στην κατηγορία 3B και 4 πρέπει να υπάρχει το χαρακτηριστικό της αποσύνδεσης του συστήματος παράδοσης της δέσμης. Προϋπόθεση δηλαδή του κατασκευαστή είναι να κάνει ενσωμάτωση ενός διακόπτη αποσύνδεσης κλείστρου ή εξασθενητή, στο τελικό σύστημα παροχής της δέσμης. Με αυτό θα αποτρέπονται οι δέσμες που υπερβαίνουν την Μέγιστη Επιτρεπόμενη Έκθεση (MPE), όταν το τελικό στοιχείο παράδοσης (χειρουργικό μικροσκόπιο, μικροσκόπιο, κολποσκόπιο, ή χειρολαβή) είναι αποσυνδεδεμένο. Αυτό πρέπει να γίνεται διότι η ανάγκη αποσύνδεσης της δέσμης πριν την τελική παράδοσή της συχνά παραλληλίζεται. Ο λόγος που γίνεται ο παραλληλισμός είναι γιατί αν γίνει κάποια τυχαία εκπομπή της σε αυτή την κατάσταση θα μπορούσε να αποτελεί κίνδυνο ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από το σημείο εκπομπής της. Από την άλλη πλευρά, όταν γίνεται χρήση χειρολαβής, οπτικής ίνας ή σχισμοειδούς λυχνίας συνδεδεμένης, η κατεύθυνση της δέσμης είναι πολύ πιο συγκεκριμένη και η δέσμη είτε έχει εστιαστεί ή αποκλίνει. Με αυτό ελαχιστοποιείται η ονομαστική κινδύνου (NHZ). Η δέσμη που εκπέμπεται από ένα σύστημα διανομής οπτικών ινών, όμως δεν είναι

ιδιαίτερα ευθυγραμμισμένη. Η υψηλή ευελιξία του συστήματος αυτού αυξάνει επίσης τον κίνδυνο της τυχαίας, ακούσιας έκθεσης ενός ατόμου. Οι ειδικές ακίδες συχνά τοποθετούνται στα άκρα της οπτικής ίνας και είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί η αποσύνδεση.

4.6 Διακόπτης-Κλειδί Γενικού Ελέγχου (Key-Switched Master Control)

Για όλα τα Laser κατηγορίας 4, καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις σε Laser κατηγορίας 3B, πρέπει να υπάρχει ένας διακόπτης-κλειδί που θα χειρίζεται τον γενικό έλεγχο της συσκευής. Σχεδόν όλα τα χειρουργικά λέιζερ είναι κατηγορίας 4, άρα θα πρέπει να έχουν όλα έναν τέτοιο διακόπτη. Ο διακόπτης επιτρέπει στον χρήστη να απενεργοποιεί το μηχάνημα, όταν δεν λειτουργεί ή όταν ένας εξουσιοδοτημένος χρήστης δεν υπάρχει. Πρέπει να υπάρχει σε συνδυασμό με τον διακόπτη ρεύματος ON/OFF και να λειτουργεί και ανεξάρτητα από αυτόν. Είναι ένα από τα πιο χρήσιμα χαρακτηριστικά για την εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης του οποιουδήποτε συστήματος Laser στο περιβάλλον του νοσοκομείου και για αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα άτομο το οποίο να είναι υπεύθυνο για το κλειδί και να διασφαλίζει ότι δεν θα είναι διαθέσιμο σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα τα οποία δεν γνωρίζουν για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος.

4.7 Απομακρυσμένος Έλεγχος Συνδέσμου Αλληλασφάλισης (Remote Interlock (Control) Connector)

Τα συστήματα Laser κατηγορίας 3B ή 4 πρέπει να είναι εφοδιασμένα με έναν απομακρυσμένο σύνδεσμο αλληλασφάλισης. Η απαίτηση αυτή είναι υποχρεωτική στα πρότυπα IEC και για τις δύο κατηγορίες, αλλά στο πρότυπο ANSI είναι υποχρεωτική μόνο για τα συστήματα Laser της κατηγορίας 4. Ο σύνδεσμος που λειτουργεί με απομακρυσμένο έλεγχο απαιτείται να είναι εγκαταστημένος σε όλα τα Laser κατηγορίας 3B και 4. Η χρήση του χαρακτηριστικού αυτού ασφαλείας επιτρέπει στο χρήστη να διασυνδέει έναν επιπλέον διακόπτη ασφαλείας στην εγκατάσταση. Για παράδειγμα, στις θύρες πρέπει να υπάρχουν οι δικλείδες ασφαλείας για να διακόπτεται η λειτουργία του Laser στην περίπτωση που ανοίγει η συγκεκριμένη θύρα. Όταν αυτή η πρακτική εφαρμόστηκε στα χειρουργεία, φάνηκε πως ο κίνδυνος για ένα άτομο που εισέρχεται σε μια χειρουργική αίθουσα με το σύστημα Laser σε λειτουργία ήταν πολύ μικρότερος από ό, τι ο κίνδυνος για τον ασθενή στην περίπτωση που το ιατρικό Laser τεθόταν εκτός λειτουργίας απότομα. Ακόμα έγινε αντιληπτό ότι αν δεν υπάρχει έλεγχος της συσκευής Laser κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης, φέρει άμεσο και εμφανή κίνδυνο. Για το λόγο αυτό, το πρότυπο Z-136.3 δεν απαιτεί μια έναν τέτοιο τρόπο ασφάλισης των θυρών.

Με την εφαρμογή του απομακρυσμένου ελέγχου υπάρχει η ικανότητα να παρέχεται ο απλούστερος τρόπος για να επιτευχθεί η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της ασφαλείας κατά την αποσύνδεση του συστήματος παράδοσης δέσμης. Ο σύνδεσμος λειτουργεί σε λιγότερα από 110VAC για να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα που σχετίζονται με ηλεκτρική ασφάλεια. Τέλος, αν ήταν συνδεδεμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε με το που ενεργοποιείται να ξεκινάει την προβολή μιας προειδοποιητικής πινακίδας, έναν απαγωγό ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα επιθυμούμε.

4.8 Οπτικά Προβολής

4.8.1 Απαιτήσεις

Τα διεθνή πρότυπα για την προστασία από τα συστήματα Laser της κατηγορίας 1 απαιτούν ότι όποια έξοδος της δέσμης ή οπουδήποτε παράθυρο στο σύστημα Laser θα πρέπει να ενσωματώνει μέσα για να γίνεται περιορισμός της έκθεσης στο AEL. Δηλαδή, η έκθεση θα πρέπει να είναι λιγότερη από το MPE για 8 ώρες παρατήρησης μέσα από κάποιο παράθυρο ή γυαλιά. Αυτά τα δύο αν υπάρχουν θα πρέπει να μην επιτρέπουν να εκτεθεί κάποιος σε επικίνδυνα επίπεδα ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, ένα χειρουργικό μικροσκόπιο, ένα ενδοσκόπιο, ή ένα μικροσκόπιο με σχισμοειδή λυχνία που συνδέεται με το σύστημα παροχής της δέσμης, θα πρέπει να έχουν προστατευτικά φίλτρα, εγκατεστημένα έτσι ώστε να εξασφαλίζουν ότι ο παρατηρητής δεν εκτίθενται σε επικίνδυνες δέσμες μέσα από το οπτική πεδίο θέασης. Αυτό ισχύει για όλες τις κατηγορίες Laser όπου ενδέχεται να υπάρχει υπέρβαση του MPE. Θα πρέπει να είναι εγκατεστημένα συνέχεια τα εξειδικευμένα επιλογής προστατευτικά φίλτρα του μήκους κύματος κατά την διάρκεια μια χειρουργικής επέμβασης.

4.8.2 Φιλτράρισμα Μη-ορατών Δεσμών

Όπως αναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο, η δέσμη της υπέρυθρης και η υπεριώδους ακτινοβολίας είναι δεν είναι ορατή. Το αποτέλεσμα για την προστασία των οφθαλμών να χρησιμοποιούνται φίλτρα. Το υλικό θα είναι διαφανές στο ορατό φάσμα και θα αποκόπτει όλο την υπόλοιπη περιοχή του οπτικού φάσματος. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση των LaserCO₂, το απλό γυαλί και τα διαφανή πλαστικά χρησιμεύουν ως ένα πολύ καλό προστατευτικό φίλτρο, και δεν χρειάζονται εξειδικευμένα φίλτρα να εγκατασταθούν. Όμως, για τα Laser Argon, Dye, Nd:YAG Laser ή άλλα που εκπέμπουν στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, το συνηθισμένο οπτικό γυαλί που χρησιμοποιείται στα ενδοσκοπικά οπτικά μικροσκόπια δεν θα εξασθενίσει ικανοποιητικά την ενέργεια της δέσμης σε αυτά μήκη κύματος. Στο Εγγύς και μεσαίο υπέρυθρο (IR-A και IR-B) μήκος κύματος όπως τα 1064nm και 1334nm μήκη κύματος του Nd:YAG Laser, 1.3J/m του Er:YLF, 2.9J/m του Er:YAG, 2.06J/m του Ho:YAG, ή 2.16 J/m από το Ho: YAG (θούλιο με ενεργοποιητές χρώμιο) δεν εξασθενεί ικανοποιητικά από το τυπικό οπτικό γυαλί ή πλαστικό. Αυτά τα συστήματα Laser θα απαιτήσουν ειδικής "θερμότητας απορρόφησης" (Υπέρυθρη απορρόφηση) φίλτρα (π.χ. SchottKG-3 ή KG-5) που πρέπει να εγκατασταθούν στα οπτικά θέασης.

4.8.3 Χρωματική Απόδοση (ColorRendering)

Τα φίλτρα που προστατεύουν από τα Laser, τα οποία εκπέμπουν στο ορατό τμήμα του φάσματος, εισάγουν κάποιο βαθμό χρωματικής παραμόρφωσης. Το προστατευτικό φίλτρο μπορεί να είναι εμπόδιο για το χειρουργό στο να δει τον ιστό – στόχο με λεπτομέρεια. Ακόμα μπορεί να μην τον αφήνει να δει την ευθυγράμμιση της δέσμης του Laser. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί μηχανικά να εισαχθεί ένα άλλο φίλτρο το οποίο θα αναιρεί αυτές τα προβλήματα που δημιουργεί η παρουσία των προστατευτικών φίλτρων. Για παράδειγμα, Argon Laser φωτοπηξίας (photoagulator) με σχισμοειδή λυχνία σύστημα παροχής δέσμης κάνουν χρήση ενός πορτοκαλί

προστατευτικού φίλτρου που εισάγεται μηχανικά μέσα από τον φακό του μικροσκοπίου, όταν ο χειρουργός ενεργοποιεί την δέσμη Laser. Όταν το λέιζερ δεν λειτουργεί σε πλήρη ισχύ πήξης, ο οφθαλμίατρος μπορεί να δει το φως του Laser να ανακλάται από το βάθος από μία χαμηλής ισχύος δέσμη στόχευσης. Εναλλακτικό σύστημα προστασίας θα μπορούσε να είναι η χρήση δέσμης στόχευσης διαφορετικού μήκους κύματος (π.χ., He-Ne, 632.8nm) και κατηγορίας 2 ή χαμηλότερης. Μετά, το προστατευτικό φίλτρο για την δέσμη θεραπείας θα μπορούσε να εγκατασταθεί μόνιμα στο μικροσκόπιο προβολής του λαμπτήρα σχισμής. Όμως, το μόνιμα εγκατεστημένο φίλτρο παρεμβαίνει στην ορατότητα των σημείων που έχει ορίσει ο ιατρός στον αμφιβληστροειδή. Αυτό καθιστά πολύ δύσκολη την ταυτοποίηση των δομών που θα θεραπευθούν. Υπολογίζεται ότι μεταξύ 50 -300 J/W_{Laser} που εκπέμπει στο ορατό φάσμα είναι απαραίτητα για δέσμη που θα χρησίμευε για στόχευση και θα εισέρχεται στον ανθρώπινο οφθαλμό. Η ισχύς του Laser που απαιτείται για τη στόχευση θα αλλάζει ανάλογα με το μήκος κύματος. Αυτή η μεταβολή προκύπτει από την ανάκλαση της δέσμης στην βάση του οφθαλμού που αλλάζει ανάλογα με το μήκος κύματος, καθώς και από την ευαισθησία του αμφιβληστροειδούς του χειρουργού που εκτελεί το χειρουργείο. Ακόμα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι φως, το οποίο είναι κόκκινου χρώματος, είναι λιγότερο επικίνδυνο από ό, τι μπλε φωτός για αυτή την εφαρμογή.

4.8.4 Οφθαλμικές Αναδρομές (Ophthalmic Flashbacks)

Παραπάνω αναφέρθηκε ότι το πορτοκαλί φίλτρο που χρησιμοποιείται στο LaserArgon φωτοπηξίας του αμφιβληστροειδούς, αφαιρείται κατά την διάρκεια της αρχικής στόχευσης. Γίνεται χρήση ενός Laser χαμηλής ισχύος, με μήκος κύματος ανάλογο, ώστε οι ανακλάσεις να είναι ελάχιστες. Αν και μερικές φορές μπορεί να υπάρχουν ανακλάσεις της δέσμης από τους γωνιοσκοπικούς φακούς επαφής που χρησιμοποιούνται, παρόλα αυτά είναι αρκετά χαμηλότερες από το όριο έκθεσης.

Ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό του φίλτρου και τον τρόπο που πρέπει να είναι τοποθετημένο, ώστε να είναι αποτελεσματικό ως προς την ασφάλεια του προτύπου. Αν ο σχεδιασμός δεν ανταποκρίνεται, τότε πρέπει να τροποποιηθεί διορθωτικά το σύστημα από τον κατασκευαστή. Η δράση του μπορεί να περιλαμβάνει και την ανάκληση του συστήματος.

4.8.5 Βοηθητικά Οπτικά

Όλα τα όργανα προβολής (τηλεσκόπια ή ενδοσκοπική συσκευή το οποίο δεν είναι πραγματικό μέρος του συστήματος Laser, αλλά χρησιμοποιείται με αυτό) θα πρέπει να έχουν κατάλληλα φίλτρα αν δεν είναι αναπόσπαστα τμήματα των οπτικών.

4.9 Εξασθενητής Δέσμης (Beam Attenuator)

Τα διεθνή πρωτόκολλα απαιτούν να υπάρχει μόνιμα συνδεδεμένος ένας εξασθενητής δέσμης ή διακόπτης που να την σταματάει την ίδια την δέσμη και να μην είναι όχι ηλεκτρικός. Με αυτόν εμποδίζεται η έξοδος της δέσμης, χωρίς όμως να απενεργοποιείται η λειτουργία του ίδιου του συστήματος. Προτείνεται για κάθε Laser κατηγορίας 4 και 3B. Ως σκοπός αυτού είναι να μειώνει την απαραίτητη, την επιθυμητή μείωση ή την διακοπή εκπομπής Laser ως εναλλακτική λύση στην

απενεργοποίηση του συστήματος. Πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό για Laser που απαιτούν μια μακρά περίοδο προθέρμανσης, ώστε να λειτουργήσουν. Για να αποφασιστεί ποιο από τα δύο θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κυρίως από την εκπεμπόμενη ισχύς του Laser που θα πρέπει να είναι κάτω από την κατηγορία 1 AEL (το οποίο μεταφράζεται στο αντίστοιχο MPE για την άμεση, ενδοδεσμική προβολή). Ως δεύτερη επιλογή για έναν μηχανικό εξασθενητή, αποτελεί ένας δεύτερος διακόπτης διακοπής ασφαλείας που επιτρέπεται να υπάρχει ξεχωριστά από τον κεντρικό διακόπτη λειτουργίας.

4.10 Μετρητές Ισχύος

Όλα τα ιατρικά προϊόντα Laser πρέπει να διαθέτουν μια συσκευή παρακολούθησης της ισχύος εξόδου η οποία να έχει ακρίβεια +/- 15%. Αυτό αυτή μπορεί παρουσιάσει κάποια προβλήματα στις περιπτώσεις που γίνεται χρήση τελικών συστημάτων διανομής χειρός που εναλλάσσονται, όπου υπάρχουν διαφορετικά εστιακά μήκη φακών ή συνδέσμων για κολποσκόπηση, ενδοσκόπια, ή μικροσκόπια. Έτσι λοιπόν, μόνο κατά την έναρξη του συστήματος παροχής παρακολουθείται η ισχύς εξόδου. Ο χειρουργός θα πρέπει να προσδιορίσει το σημείο της παράδοσης του συστήματος με τη χρήση του Laser, όπου η μέτρηση της ισχύος γίνεται για την αποφυγή εσφαλμένων υποθέσεων σε σχέση με την πραγματική ισχύ που παρέχεται προς τον ιστό - στόχο.

Η ισχύς εξόδου (στο άκρο ενός αρθρωτού βραχίονα) σε ένα LaserCO2 συχνά διαφέρει από την ισχύ που παρακολουθείται στην έξοδο του Laser ακριβώς πριν από το σημείο που η δέσμη εισέρχεται στο αρθρωτό βραχίονα. Η πραγματική ισχύ μπορεί να μεταβάλλεται κατά ένα παράγοντα μεγαλύτερο από 2, ανάλογα από το πόσο έντονα κάμπτεται η ίνα.

Στην κονσόλα ελέγχου του συστήματος συνήθως βρίσκεται η ένδειξη της ισχύος και συνήθως ρυθμίζεται για να διαβάζεται η ισχύς σαν να υπάρχει όντως η έξοδος της ισχύος του μετά το πέρασμα μέσα από τα οπτικά παράδοσης της δέσμης, του βραχίονα πορείας, ή άλλο μέρος του συστήματος παροχής συμπεριλαμβανομένων των οπτικών ινών. Ο συντελεστής βαθμονόμησης όμως μπορεί να μεταβάλλεται. Αυτό μπορεί να συμβεί σε πολλά χειρουργικά LaserCO2, όπου από τις αναθυμιάσεις του ιστού-στόχου καλύπτονται από καθρέπτες και άλλα στοιχεία στο κοίλο αρθρωτό βραχίονα τέτοιων Laser. Αυτό μειώνει την οπτική ισχύ που μεταδίδεται μέσω της παροχής του βραχίονα. Με αυτό τον τρόπο, η ένδειξη της ισχύος που αναγράφεται στην κονσόλα θα είναι μια πολύ χαμηλότερη τιμή από ό, τι στην πραγματικότητα από το σύστημα. Η κάμψη των οπτικών ινών σε μεγάλες τιμές θα δώσει επίσης λιγότερη ισχύ, και ο χειρουργός θα πρέπει να πειραματιστεί με νέο σύστημα παράδοσης οπτικών ινών πριν από την αρχική χρήση σε έναν ασθενή, αν υπάρχει το ενδεχόμενο μεγάλης κάμψης των οπτικών ινών κατά την διάρκεια της επέμβασης.

Συνεπώς, πρέπει να γίνεται συχνά βαθμονόμηση ή να ελέγχουμε την έξοδο ισχύος ορισμένων τύπων συστημάτων παράδοσης δέσμης μέσω ενός εξωτερικού μετρητή. Μερικά συστήματα έχουν εγκαταστήσει από πριν τέτοιο εξωτερικό μετρητή και απλά θα πρέπει να εισαχθεί η οπτική ίνα μέσα στο άνοιγμα μετρήσεως της κονσόλας από κάποιον, ώστε να μετρηθεί η ισχύς εξόδου του συστήματος. Για την αναγνωσιμότητα του μετρητή ισχύος της κονσόλας του συστήματος δεν υπάρχει

ειδική απαίτηση, αλλά θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ένδειξη τόσο πιο εύκολα θα μπορεί να την διαβάσει ο ιατρός. Ωστόσο μπορεί να έχει μια μικρή ένδειξη, στην οποία να χρειάζεται βοήθος.

4.11 Δείκτης Εκπομπών Δέσμης

Ένας δείκτης εκπομπής δέσμης μπορεί να έχει εγκατασταθεί σε όλα τα κατηγορίας 3B. Στα συστήματα κατηγορίας 4 Laser, ωστόσο, θα πρέπει να έχει εγκατασταθεί σε όλα. Είναι απαραίτητη η χρήση ενός ήχου ή μιας προειδοποιητικής λυχνίας ενεργοποίησης κάθε φορά που το σύστημα Laser ενεργοποιείται. Η προειδοποιητική λυχνία εφαρμόζεται συνήθως για το σκοπό αυτό. Σε μερικά απλά συστήματα όπου η ισχύς της δέσμης είναι άμεση, μια προειδοποιητική λυχνία-πιλότος είναι συχνά απαραίτητη. Συχνά, αυτό μπορεί απλά να είναι ένα κόκκινο προειδοποιητικό φως που είναι εμφανές μόνο όταν έχουμε εκπομπή. Εναλλακτικές προειδοποιήσεις είναι κινούμενη κουκκίδα ή άλλους ορατούς ή ακουστικούς δείκτες που πρέπει να είναι εμφανείς ακριβώς πριν από την εκπομπή.

Ο χειρουργός ή ο βοηθός θα ενεργοποιούν τον δείκτη και η θέση του θα πρέπει να είναι εύκολα ορατή στον ιατρό. Ο δείκτης αυτός θα παίρνει την μέγιστη τιμή του όταν:

- η εκπεμπόμενη δέσμη είναι αόρατη (για παράδειγμα η δέσμη του excimer, Nd:YAG και CO₂ Laser) ή
- όταν η λειτουργία του Laser είναι εντελώς αθόρυβη (για παράδειγμα το KTPsolidstateLaser και το ArgonLaser).

Ακόμα, θα πρέπει να ελέγχεται σε ορατή δέσμη εάν μέσα από τα ειδικά φίλτρα φαίνονται τα φώτα προειδοποίησης και ενδείξεων. Ακόμα, πρέπει να είναι γνωστό ότι τα diode ή τα solidstatecrystalLasers, όπου η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, είναι εξαιρετικά επικίνδυνα. Μοναδική ένδειξη για τη λειτουργία τους είναι μία προειδοποιητική λυχνία. Αυτό συμβαίνει και σε ορισμένα οφθαλμολογικά αθόρυβα diodeLaser ισχύος 3W τα οποία διαθέτουν ηχητική ένδειξη για την λειτουργία τους σε συνδυασμό με την προειδοποιητική λυχνία. Τα μέτρα αυτά θα πρέπει να ενεργοποιούνται πριν την λειτουργία του Laser σε χρόνο τόσο ώστε να αποφευχθεί η έκθεση σε μη επιθυμητή ακτινοβολία. Αν το Laser λειτουργεί σε χώρο ο οποίος βρίσκεται μακριά από την κονσόλα ελέγχου τότε θα πρέπει να υπάρχουν προειδοποιητικές ενδείξεις και στους δύο χώρους.

4.12 Διακόπτης Προστασίας

Όλα τα συστήματα Laser κατηγορίας 3B και 4 που χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς είναι απαιτητό να έχουν έναν διακόπτη που να ελέγχει την έκθεση του ασθενή στην ακτινοβολία. Για παράδειγμα, ένας φυλασσόμενος διακόπτης ποδιού (ποδοδιακόπτης ή μία σκανδάλη-διακόπτης) ελαχιστοποιεί την πιθανότητα τυχαίας εκπομπής της δέσμης, άρα και τυχαίας έκθεσης η οποία μπορεί να είναι επιβλαβής. Θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα, ώστε σε περιβάλλον με πολλούς ποδοδιακόπτες να μην υπάρχει η πιθανότητα να πατηθεί κατά λάθος άλλος διακόπτης από αυτόν που επιθυμεί ο ιατρός και έχουμε εκπομπή της δέσμης.

4.13 Σήμανση (Labeling)

Όλα τα συστήματα Laser που δεν ανήκουν στην κατηγορία 1, θα πρέπει να φέρουν την κατάλληλη προειδοποιητική σήμανση, η οποία θα δείχνει:

- a) τη θέση του ανοίγματος της δέσμης και
- b) γενικές προειδοποιήσεις οι οποίες σχετίζονται με την κατηγορία του συστήματος Laser.

Τα βιομηχανικά συστήματα Laser έχουν σήμανση που αναγράφει "ΑΠΟΦΥΓΕΤΕ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ-ΕΚΠΟΜΠΗ LASER ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ"(AVOID EXPOSURE LASER RADIATION EMITTED FROM THIS APERTURE). Αυτό βρίσκεται στο σημείο εξόδου της δέσμης. Ωστόσο, στα κλινικά συστήματα, για να αποφευχθεί η σύγχυση που θα προκαλείται στον ασθενή από τέτοιες προειδοποιήσεις, ο κανονισμός προβλέπει ότι η φράση "Ανοιγμα Εκπομπής Laser"(Laser Emission Aperture), να βρίσκεται στο σημείο εξόδου της δέσμης. Η σήμανση που βρίσκεται στο άνοιγμα μπορεί να φαίνεται μια ασήμαντη απαίτηση, καθώς παραλίγο να συμβούν τραυματισμοί στα αρχικά συστήματα Laser, γιατί δεν ήταν εντελώς σαφές στον χειρουργό ποιο άκρο του οπτικού παράδοσης δέσμης χρησιμοποιούταν για να λειτουργήσει το Laser. Επιπλέον ένα οπτικό παρατήρησης δεν πρέπει ποτέ να συγχέεται με το οπτικό σύστημα παράδοσης της δέσμης. Για τις κατηγορίες Laser από 2 έως 4, οι προειδοποιήσεις για τη σήμανση, πρέπει να βρίσκονται σε ευδιάκριτο σημείο στο Laser, στο προστατευτικό περίβλημά του και στον πίνακα ελέγχου, ώστε να είναι σίγουρο ότι ο χρήστης του συστήματος έχει επίγνωση του κινδύνου που μπορεί να υπάρξει και έχει λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή τραυματισμού.

Το πώς διατυπώνεται η σήμανση προειδοποίησης πρέπει να ακολουθεί ορισμένες τυποποιημένες δηλώσεις ανάλογα με το πόσο επικίνδυνο είναι. Παραδείγματος χάρη:

- για Laser κατηγορίας 2, χαμηλής ισχύος, που δεν ενέχουν μεγάλο κίνδυνο από την στιγμιαία-άμεση προβολή, η προειδοποιητική σήμανση θα είναι «Ακτινοβολία Laser [Φως], Μην κοιτάζετε την ακτίνα." (Laser Radiation [Light], Do Not Stare Into Beam.).
- Για Laser κατηγορίας 3B, όπου ακόμη και στιγμιαία-άμεση έκθεση είναι επικίνδυνη, η σήμανση θα πρέπει να αναφέρει: "Ακτινοβολία Laser, αποφεύγετε την άμεση έκθεση στην δέσμη ", (Laser Radiation, Avoid Direct Exposure to Beam).
- Για την κατηγορίας 4, η σήμανση θα πρέπει να αναφέρει "Ακτινοβολία Laser, Αποφύγετε την έκθεση στα μάτια ή το δέρμα από άμεση ή σκεδαζόμενη ακτινοβολία" (Laser Radiation, Avoid Eye or Skin Exposure to Director Scattered Radiation). Πρόσθετες πληροφορίες, όπως το είδος του λείζερ και η μέγιστη ισχύς του, μπορεί να αναφέρονται. Η σήμανση θα έχει ένα πρότυπο λογότυπο (Sunburst) και το "ΚΙΝΔΥΝΟΣ" ή "ΠΡΟΣΟΧΗ". Ο τύπος του Laser πρέπει να προσδιορίζεται, π.χ., Ruby, Argon, Nd: YAG, κλπ. Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος, η διάρκεια παλμού, η μέγιστη ισχύς ή η ενέργεια εξόδου μπορεί επίσης να απαιτείται. Οι τιμές ισχύος εξόδου και της ενέργειας συνήθως υπερεκτιμώνται, αφού ο κατασκευαστής πρέπει να παρέχει θεωρητικά, τις μέγιστες τιμές. Η ρεαλιστική απόδοση του συστήματος προσεγγίζει σπάνια αυτές τις τιμές. Ένα ArgonLaser, για παράδειγμα, που έχει ονομαστική ισχύ εξόδου 1W, μπορεί να έχει ένδειξη ισχύος 5W.

4.14 Εστιασμένες Δέσμες Και NHZ(NominalHazardZone)

Η δέσμη δεν είναι εξαιρετικά ευθυγραμμισμένη στις περισσότερες χειρουργικές εφαρμογές συστημάτων Laser και εστιάζει σε ένα μικρό σημείο. Η δέσμη περνά πέρα από αυτό εστιακό σημείο αποκλίνοντας πάρα πολύ γρήγορα. Μπορεί κάλλιστα να έχει εξασθενήσει πολύ προτού ανακλαστεί σε κάποια επίπεδη ανακλαστική επιφάνεια που βρίσκεται κοντά. Για το λόγο αυτό, εισάγουμε την ονομαστική ζώνη κινδύνου (NHZ-Nominal Hazard Zone), με τον ίδιο τρόπο που ορίζεται η NOHZ. Η NHZ ορίζει την περιοχή γύρω από ένα σύστημα απελευθέρωσης δέσμης εντός του οποίου είναι επικίνδυνο να υπάρχει μια διαχεόμενη δέσμη ή μια κατοπτρική ανάκλαση. Πολλά από τα μέτρα προστασίας (π.χ. προστατευτικά ματιών) είναι υποχρεωτικά μόνο μέσα στη NHZ.

4.15 Σχεδιασμός Χώρου Εργασίας Και Ελεγχόμενες Περιοχές

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανολογικά μέτρα ελέγχου για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων μέσα σε ένα χειρουργείο ή μέσα σε άλλο κλινικό περιβάλλον. Αυτά μπορεί να είναι καλύμματα παραθύρων, η χρήση φίλτρων πάνω από αυτά, αδιαφανείς κουρτίνες και την απομάκρυνση αντικειμένων που μπορούν να προκαλέσουν κατοπτρικές ανακλάσεις κοντά στην περιοχή που χρησιμοποιείται η δέσμη. Πρέπει να ορίζεται μια «ελεγχόμενη περιοχή» στις ασφαλιστικές δικλείδες (Interlocks) και στις εισόδους που λειτουργεί ένα σύστημα Laser κατηγορίας 3B ή 4.

4.16 Προειδοποιητική Σήμανση και Φωτισμός

Πρέπει να υπάρχει προειδοποιητική σήμανση ή ένδειξη στην είσοδο περιοχής όπου λειτουργεί σύστημα Laser και είναι υποχρεωτική. Αυτή μπορεί να είναι μία προειδοποιητική σήμανση που τοποθετείται στην είσοδο τη στιγμή που το Laser χρησιμοποιείται, ή μπορεί να είναι ένα κόκκινο προειδοποιητικό φως πάνω από την είσοδο προς το χειρουργείο. Θα πρέπει η σήμανση να είναι εμφανής μόνο όταν το σύστημα Laser λειτουργεί, διότι θα πρέπει να γνωρίζει το προσωπικό πότε είναι σε λειτουργία για να είναι εξασφαλισμένη η προστασία τους. Πολλές φορές χρησιμοποιείται μία φωτιζόμενη προειδοποιητική ένδειξη που ενεργοποιείται τη στιγμή που ανάβει η κεντρική κονσόλα χειρισμού του συστήματος Laser.

4.17 Διαρροές Δέσμης

Το χειρουργείο που έχει μέσα συσκευή Laser θα πρέπει να ελέγχεται, ώστε οι ακτινοβολία να μην εξέρχεται έξω από την συγκεκριμένη αίθουσα, εκτός εάν είναι κάτω από το MPE. Στα τμήματα που υπάρχει όμως σκέδαση, θα υπάρχει διαρροή κάτω από τις εισόδους. Δε θα πρέπει να αποτελεί ανησυχία κάτι τέτοιο, αφού η ενέργεια της διαχεόμενης δέσμης είναι απολύτως ασφαλής. Η πλήρης κάλυψη των παραθύρων είναι συχνά περιττή, όπως στην περίπτωση χρήσης LaserCO₂, αφού όλα τα τζάμια θα εξασθενήσουν ολοκληρωτικά την ακτινοβολία με το μήκος κύματος 10.6μm. Αντίθετα, για ορατά μήκη κύματος και για μήκη κύματος που διαδίδονται από κοινό γυαλί (κυρίως από 330nm στο υπεριώδες να 4.000nm στο υπέρυθρο), θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα εξωτερικά παράθυρα αδιαφανείς κουρτίνες ή καλύμματα. Μερικές φορές τοποθετούνται προστατευτικά φίλτρα στα παράθυρα της εισόδου των χειρουργείων.

Στην ακτινοβολία του LaserCO₂ Τα συνήθη ακρυλικά, όπως πολυμεθύλιο (PMMA, γνωστό από τις εμπορικές ονομασίες, όπως Lucite, Perspex ή πλεξιγκλάς),

πολυκαρβονικά, και άλλα διαφανή πλαστικά καθώς και γυαλί, είναι αδιαφανή. Παρέχουν αρκετή προστασία αν διαφύγει ακτινοβολία Laser από τον χώρο του χειρουργείου. Το γυαλί σε όλα τα μήκη κύματος μεγαλύτερα από 4μm είναι αδιαφανές. Φυσικά, αν εκτεθούν σε μια παραλληλισμένη δέσμη ισχύος 50W από LaserCO2 μπορεί να σπάσουν και να κάψει αυτά τα παράθυρα. Εντούτοις τα παράθυρα θα πρέπει να θεωρούνται ότι παρέχουν επαρκή ασφάλεια μόνο σε διάχυτη ή ανακλώμενη ακτινοβολία, όμως μπορεί να είναι ακατάλληλα για προστασία κοντά στην εστία της δέσμης.

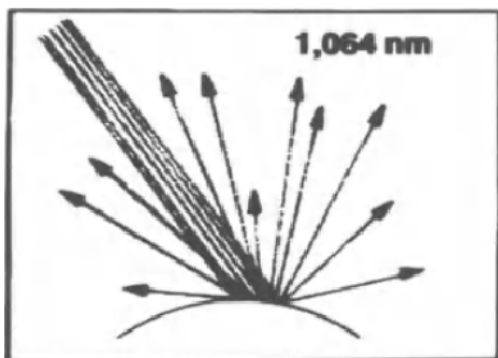
Η προστασία απέναντι σε δέσμες από Nd:YAG, Argon και άλλα Laser που εκπέμπουν στην ορατή ή εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, χρειάζεται διαφορετική αντιμετώπιση. Τα παράθυρα μπορούν να καλυφθούν με αδιαφανές υλικό κατά τη λειτουργία του Laser ή μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτά υλικά που χρησιμοποιούνται ως φίλτρα στους φακούς προστασίας. Η προσέγγιση αυτή έχει προβλήματα εάν στο χειρουργείο γίνεται χρήση από διαφορετικά είδη συστημάτων Laser. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα από αυτά τα φίλτρα για να επιτευχθεί μια επαρκής οπτική μετάδοση και να υφίσταται και προστασία από την δέσμη Nd:YAG, Argon και CO2 Laser. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί γυαλί που απορροφά την θερμότητα (Heat absorbing glass) στα παράθυρα σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν Nd:YAG και συστήματα Laser που εκπέμπουν στο IR-B, αλλά η φασματική μετάδοση του γυαλιού θα πρέπει να ελέγχεται πριν από την εγκατάστασή του. Ακόμα χρησιμοποιούνται πλαστικές κουρτίνες που εμφανίζονται οπτικά να είναι αδιαφανείς μπορεί να είναι διαπερατές σε δέσμες με μήκος κύματος στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (π.χ., 1.064, 1.330, 1.440, 1.540, 2.080nm, κλπ). Αυτές οι κουρτίνες πρέπει να ελέγχονται αν είναι σωστές, ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή επικίνδυνης και μη-ορατής ακτινοβολίας.

4.18 Έλεγχος Ανακλάσεων

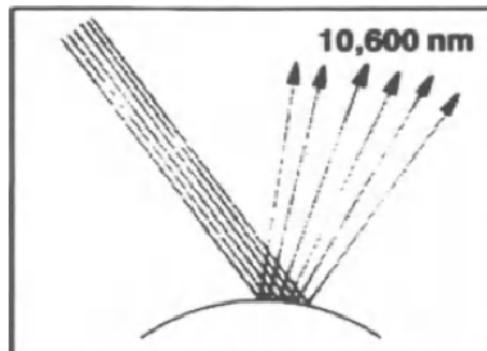
4.18.1 Τράπεζα, Καμπίνα Λειτουργίας και Επιφάνειες

Όπου χρησιμοποιείται παραλληλισμένη δέσμη Laser, δεν πρέπει να γίνει πρόσπτωσης αυτής πάνω σε επίπεδη, κατοπτρική επιφάνεια. Μια κατοπτρική επιφάνεια είναι μια γυαλισμένη, λεία επιφάνεια που ανακλά το φως σαν ένας καθρέφτης.

- Το διαφανές γυαλί, για παράδειγμα, που χρησιμοποιείται στα παράθυρα, θα ανακλάσει ένα κλάσμα της προσπίπτουσας δέσμης(συνήθως 4%-8%).
- Οι επίπεδες, ματ μεταλλικές επιφάνειες θα συμπεριφερθούν και αυτές σαν καθρέφτες στο 10,6μm ακόμη αν και είναι φαινομενικά θαμπές και μη ανακλαστικές στα ορατά και Nd:YAG μήκη κύματος. Η μεταβολή του συντελεστή ανάκλασης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος πρέπει να βρίσκεται πάντα υπόψη όταν μελετάμε την ασφάλεια σε συστήματα Laser που εκπέμπουν στο μη-ορατό φάσμα.
- Τα χειρουργικά ντουλάπια, οι δίσκοι, τα χειρουργικά τραπέζια, και οι ανοξείδωτες επιφάνειες (Σχήμα 8) γενικά έχουν επίπεδες επιφάνειες από ανοξείδωτο χάλυβα, που είναι σαν καθρέφτης στα 10.6μm, μήκος κύματος που εκπέμπει το LaserCO2. Παρόλα αυτά, η δέσμη του συστήματος δεν πρέπει να στοχεύει απευθείας σε καμία επίπεδη, μεταλλική επιφάνεια.



Διαχεόμενη



Κατοπτρική

Σχήμα 8: Πώς διαχέεται η ακτίνα και πώς κατοπτρίζεται στις ανοδιωμένες επιφάνειες.

4.18.2 Ερμάρια και Επιφάνειες Τοίχων στο Χειρουργικό Δωμάτιο

Εάν υπάρχει κίνδυνος από γυάλινα ερμάρια ή κάποιες άλλες γυαλιστερές επιφάνειες μπορούν να υπάρξουν κινητά διαχωριστικά για τα δωμάτια, καθώς και κουρτίνες για να μην προκληθούν ανακλάσεις της δέσμης μέσα στο ΝΗΖ. Η ΝΗΖ παρόλα αυτά είναι σχετικά καλά περιορισμένη και η χρήση των παραπάνω είναι σπάνια. Επίσης, έχουν γίνει μετρήσεις σε δέσμες Laser που ανήκουν στην ορατή και IR-A περιοχή του φάσματος (π.χ. Argon και Nd:YAG). Αυτές ανακλώνται από αυτά τα πλακάκια και παρουσιάζουν ημικατοπτρικές ανακλάσεις, οι οποίες όμως δεν ενέχουν σημαντικό κίνδυνο για απόσταση πέραν του 1m από την επιφάνειά του. Αυτές οι επιφάνειες απορροφούν ισχυρά δέσμες στο μήκος κύματος του LaserCO2 10.6μm.

4.19 Σφάλματα Λειτουργικού και Ηλεκτρονικών

Η χρήση των ηλεκτρονικών στα συστήματα Laser έχουν σκοπό να βοηθήσουν τον ιατρό – χειρουργό στον υπολογισμό της δόσης και στον καθορισμό της έκθεσης. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται το επίπεδο ασφάλειας του ασθενούς και να μειώνουν το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους. Ωστόσο, ακόμα και αυτές οι συσκευές μπορούν να μη λειτουργήσουν όπως απαιτείται και να παραπλανήσουν το χειριστή. Αυτός με τη σειρά του θα εκθέσει εν αγνοία του περισσότερο τον ασθενή. Το προσωπικό θα πρέπει να είναι σε επιφυλακή για ενδείξεις δυσλειτουργίας του συστήματος, οι οποίες συνήθως είναι προφανείς. Τα συστήματα ασφαλείας του Laser πρέπει να είναι σχεδιασμένα για να προλάβουν μια αποτυχία του λογισμικού, η οποία δεν θα οδηγήσει σε μια δυνητικά επικίνδυνη έκθεση του ασθενούς.

4.20 Διαχειριστικά Μέτρα Ελέγχου

4.20.1 Στοιχεία Ασφάλειας Laser

Στον τομέα της ασφάλειας, οι μηχανικοί έλεγχοι πάντα προηγούνται σε σχέση με τους διαχειριστικούς ελέγχους. Οι διαχειριστικοί έλεγχοι είναι κατά κύριο λόγο «γραφειοκρατικοί» έλεγχοι. Η αντίθεση στους μηχανικούς ελέγχους είναι ότι δεν επιτρέπουν να γίνει καμία εργασία αν δεν είναι ενεργό το σύστημα ελέγχου. Μεγάλο μέρος των προγραμμάτων για την ασφάλεια Laser στις ιατρικές εφαρμογές είναι διαχειριστικής-διοικητικής φύσεως. Αυτή τονίζει την ανάγκη για την κατάρτιση του

προσωπικού και των χειριστών, τους ελέγχους και την προσοχή στη λεπτομέρεια των διαδικασιών. Παρακάτω είναι τα διοικητικά στοιχεία ενός προγράμματος ασφάλειας Laser στις ιατρικές εφαρμογές:

- Πρόγραμμα Πολιτικής Ασφάλειας Laser.
- Προειδοποιητικά σήματα για κάθε συσκευή Laser.
- Διορισμός της αρχής (επιτροπής), η οποία θα φέρει την ευθύνη για την αξιολόγηση και τον έλεγχο των κινδύνων Laser (Medical Laser Safety Officer). Συνήθως αυτός ο ρόλος αναλαμβάνεται από τον Φυσικό Ιατρικής που υπάρχει στο Τμήμα.
- Διαχείριση συμβάντων και ατυχημάτων, μαζί με την υποβολή εκθέσεων, την έρευνα, την ανάλυση και τα διορθωτικά μέτρα.
- Εκπαίδευση και ενημέρωση του προσωπικού που εμπλέκεται στη χρήση και τη συντήρηση των ιατρικών Laser.
- Σχηματισμός επιτροπής για την ασφάλεια από την χρήση των ιατρικών Laser.
- Η δημιουργία ενός προγράμματος διασφάλισης ποιότητας συμπεριλαμβανομένων των τακτικών επιθεωρήσεων του εξοπλισμού.
- Κατά την διάρκεια εργασιών συντήρησης να υπάρχει παρουσία περισσότερων του ενός ατόμου, ώστε στην περίπτωση τραυματισμού ή ατυχήματος να παρέχει πρώτες βοήθειες ή να καλέσει βοήθεια.

4.21 Καθήκοντα υπεύθυνου ασφάλειας laser

Το πρότυπο ANSI Z136.3 για την ασφαλή χρήση των Lasers στους χώρους Παροχής Υπηρεσιών Υγείας ορίζει ότι:

- 1) ο «Υπεύθυνος Ασφαλείας Laser» (LSO-Laser Safety Officer) είναι ένα άτομο που έχει την κατάλληλη εκπαίδευση, αλλά και την εμπειρία για να διαχειριστεί ένα πρόγραμμα ασφαλείας για Laser.
- 2) Έχει την ευθύνη επίβλεψης και καταγραφής των κινδύνων από την χρήση του Laser και είναι υπεύθυνος για την διατήρηση ποιοσ ασφαλείας κατά την χρήση των Laser.
- 3) Δεν υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας για το ποιος θα είναι ο Υπεύθυνος Ασφαλείας Laser (αν και τον ρόλο αυτό θα πρέπει να τον αναλαμβάνει ο Φυσικός Ιατρικής), αλλά το άτομο που θα επιλεγθεί θα πρέπει να έχει την σωστή εκπαίδευση και ενημέρωση και θα πρέπει να παρέχει τον σωστό εξοπλισμό ασφαλείας καθώς και την κατάλληλη εκπαίδευση στους χρήστες και να δίνει κίνητρα, ώστε οι ίδιοι να επιδιώκουν την προσωπική και όχι μόνο ασφαλείά τους.

Η εκπαίδευση του προσωπικού πάνω σε θέματα ασφαλείας σχετικά με την χρήση των Laser συσκευών είναι ακριβή, αλλά είναι σίγουρα λιγότερο ακριβή από την αποκατάσταση, κλινική ή μη ενός ατυχήματος. Μερικά από τα καθήκοντα του Υπεύθυνου Ασφαλείας Laser είναι:

- Διασφάλιση της σωστής ταξινόμησης όλων των συσκευών Laser.
- Διαχείριση κινδύνου για κάθε περιοχή όπου χρησιμοποιείται Laser.
- Ανάπτυξη και επίβλεψη μέτρων ελέγχου.
- Εξετάζει και εγκρίνει τις τυποποιημένες διαδικασίες λειτουργίας, μαζί με τις λίστες ελέγχου λειτουργίας πριν και μετά την λειτουργία.
- Διαφύλαξη ότι υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός ατομικής προστασίας π.χ. προστατευτικά γυαλιά.

- Διασφάλιση ύπαρξης και σωστής τοποθέτησης των προειδοποιητικών πινακίδων (σήμανσης).
- Συμμετοχή στον σχεδιασμό και στην τοποθέτηση της εγκατάστασης.
- Ενημέρωση όλου του προσωπικού που κάνει χρήση ή βρίσκεται στον χώρο του Laser για τα μέτρα ασφαλείας και την πιθανή του έκθεση.
- Επιτήρηση κατά την διάρκεια μια χειρουργικής επέμβασης.

4.22 Επιτροπή ασφαλείας laser

Ο αριθμός, το είδος και η ποικιλία των διαδικασιών που πραγματοποιούνται κατά την ιατρική εφαρμογή των Laser ποικίλει. Μπορεί να έχει ανάγκη επιτροπής ασφαλείας που θα αποτελείται από ιατρικό προσωπικό. Αυτή η επιτροπή περιλαμβάνει: εκπρόσωπο της διοίκησης, τον Υπεύθυνο Ασφαλείας Laser και έναν εκπρόσωπο από το νοσηλευτικό προσωπικό που σχετίζεται με τα Laser (δηλαδή προσωπικό το οποίο είναι παρών σε χειρουργεία με χρήση Laser). Θα μπορούσαν να υπάρχουν μέσα στην επιτροπή και οι παρακάτω: έναν μηχανικό Βιοιατρικής, τεχνικό προσωπικό καθώς και προσωπικό Διαχείρισης Κινδύνων. Ο ρόλος της επιτροπής είναι να καθιερώνει και να διατηρεί επαρκείς πολιτικές και πρακτικές για τον έλεγχο των κινδύνων που προέρχονται από την χρήση Laser. Επιπλέον θα μπορεί να ερευνά τα ατυχήματα που γίνονται από την λανθασμένη χρήση των ιατρικών Laser και να θεσπίσει τις απαιτήσεις της ιατρικής επίβλεψης.

4.23 Κατάρτιση-Εκπαίδευση Σε Θέματα Ασφαλείας Laser

Σε όλες τις ιατρικές ή βιομηχανικές εφαρμογές των Laser υπάρχει ευθύνη για την ασφαλή χρήση των Laser που λειτουργούν. Η εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την επίτευξη αυτού του στόχου μαζί με τον καθορισμό του Υπεύθυνου Ασφαλείας Laser. Το επίπεδο της εκπαίδευσης μπορεί να είναι διαφορετικό ανάλογα με την πιθανότητα έκθεσης στην ακτινοβολία Laser. Η πλειονότητα των Laser που χρησιμοποιούνται στην ιατρική είναι κατηγορίας 3B ή και 4. Αυτές οι κατηγορίες αποτελούν έναν δυνητικό κίνδυνο για τα μάτια και το δέρμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να πρέπει να υπάρχει εκπαίδευση στο προσωπικό το οποίο εκτίθεται ή χρησιμοποιεί δέσμες από αυτά τα Laser. Η εκπαίδευση αυτή πρέπει να περιλαμβάνει:

- Κατανόηση των προειδοποιητικών πινακίδων.
- Κατανόηση των μηχανικών και των διαχειριστικών μέτρων ελέγχου.
- Επείγοντα μέτρα που πρέπει να ληφθούν.
- Βιο-επιδράσεις της ακτινοβολίας λέιζερ.
- Χρήση και φροντίδα του προστατευτικού εξοπλισμού.
- Αιτίες και είδη ανακλώμενων ακτινοβολιών που προέρχονται από την δέσμη.

Ανάλογα με τις ανάγκες μπορούμε να αναφερθούμε και σε:

1. Ιατρική επίβλεψη.
2. Η γνώση αρχών λειτουργίας Laser.
3. Ενημέρωση για τους κινδύνους που δεν προέρχονται από την ίδια την δέσμη.
4. Ταξινόμηση Laser.
5. Διαδικασίες χρήσης Laser.
6. Είδη Laser και Μήκη - Κύματος.
7. Υπολογισμός MPE, OD, NHZ.

Στον παρακάτω Πίνακα 16 παρουσιάζονται τα Διοικητικά-Διαχειριστικά μέτρα που εφαρμόζονται ανάλογα την κατηγορία (Class) της συσκευής Laser που χρησιμοποιούμε.

Class	Διαδικαστικοί και Διαχειριστικοί Έλεγχοι	Εκπαίδευση Προσωπικού	Ιατρική Επιτήρηση	Υπεύθυνος Ασφαλείας Laser(LSO)
1	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται
1M	Απαιτείται	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)
2	Δεν Απαιτείται (1)	Δεν Απαιτείται (1)	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται
2M	Απαιτείται	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)	Εξαρτάται από Εφαρμογή (2)
3R	Δεν Απαιτείται (1)	Δεν Απαιτείται (1)	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται (1)
3B	Απαιτείται	Απαιτείται	Προτείνεται	Απαιτείται
4	Απαιτείται	Απαιτείται	Προτείνεται	Απαιτείται

- 1) Δεν απαιτείται, εκτός από περιπτώσεις εφαρμογών που υπάρχει εκούσια έκθεση στην δέσμη.
- 2) Ορισμένες χρήσεις Laser κατηγορίας 1M ή 2M ή συστημάτων που υπερβαίνουν την κατηγορία 1 ή 2 μπορεί να απαιτείται να γίνει εκτίμηση κινδύνου.

4.24 Διαδικασίες ασφαλείας λέιζερ (LSP) για κλινική χρήση

Οι διαδικασίες ασφαλείας Laser(LSP) παρέχουν πρακτική και εύκολη χρήση σε ιατρικές εφαρμογές ρουτίνας. Χρησιμοποιούνται ως ένας γρήγορος οδηγός αναφοράς για ανάπτυξη και εφαρμογή ενός προγράμματος ασφαλείας Laser, το οποίο θα είναι σύμφωνο με τα υφιστάμενα πρότυπα:

4.24.1 LSP # 1

- Όλα τα άτομα θα πρέπει να έχουν επίγνωση της περιοχής χρήσης των Laser και πρέπει να υπάρχει ελεγχόμενη πρόσβαση σε αυτές τις περιοχές.
- Η ονομαστική ζώνη κινδύνου (NHZ) πρέπει να προσδιορίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η ακούσια έκθεση στην δέσμη Laser.
- Το προσωπικό που βρίσκεται μέσα στην NHZ πρέπει να είναι αποκλειστικά και μόνο εξουσιοδοτημένο.
- Το προσωπικό αυτό πρέπει να είναι ενημερωμένο σχετικά με τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν.

- Πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη σήμανση τοποθετημένη σε όλες τις εισόδους που να προειδοποιεί τους παρευρισκόμενους για τους δυνητικούς κινδύνους.
- Οι πόρτες στις NHZ θα πρέπει να παραμένουν κλειστές και τα παράθυρα να είναι καλυμμένα.

4.24.2 LSP # 2

Όλοι μέσα στην NHZ πρέπει να φορούν κατάλληλα προστατευτικά γυαλιά τα οποία θα έχουν εγκριθεί από τον Υπεύθυνο Ασφαλείας Laser(LSO).

- Τα προστατευτικά γυαλιά πρέπει να είναι κατάλληλα για το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης δέσμης καθώς και να υπάρχει σήμανση της οπτικής πυκνότητας.
- Τα μάτια και τα βλέφαρα του ασθενούς θα πρέπει να προστατεύονται αντίστοιχα και αυτά με γυαλιά, υγρά επιθέματα ή eye-shields.

4.24.3 LSP # 3

Η έκθεση στον καπνό που παράγεται κατά την χειρουργική επέμβαση με χρήση Laser θα πρέπει να περιοριστεί με την χρήση μηχανικών ελέγχων

- Χειρουργικές μάσκες υψηλού φιλτραρίσματος.
- Μονάδες απορρόφησης με φίλτρα πάνω στους τοίχους.
- Μονάδες απαγωγής καπνού.
- Τα μικροσωματίδια του καπνού προκαλούν μεταλλάξεις και ενδεχόμενη καρκινογόνο δράση. Υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο για βακτηριακή και ιογενή μόλυνση.

4.24.4 LSP # 4

Όλα τα άτομα στην περιοχή της θεραπείας θα πρέπει να προστατεύονται από την έκθεση στο δέρμα και των άλλους μη ιστούς-στόχους.

- Οι εκτεθειμένοι ιστοί γύρω από την περιοχή όπου γίνεται η επέμβαση με το Laser θα πρέπει να προστατεύονται με την χρήση κορεσμένων υδατικών διαλυμάτων, τα οποία θα επιβραδύνουν και την φωτιά.
- Μη ανακλαστικά ή ματ όργανα θα πρέπει να είναι χρησιμοποιούνται κοντά στην επιφάνεια που προσπίπτει η δέσμη.
- Όταν μία οπτική ίνα χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την δέσμη Laser μέσω ενός ενδοσκοπίου, το άκρο της ίνας πρέπει να εκτείνεται πέρα από το άκρο του ενδοσκοπίου, γιατί η πλειονότητα των καλυμμάτων των ενδοσκοπίων είναι εύφλεκτα και καταστρέφονται εύκολα από την εκπεμπόμενη θερμότητα

4.24.5 LSP # 5

Όλα τα άτομα στην περιοχή της θεραπείας θα πρέπει να προστατεύονται από τους κινδύνους ανάφλεξης που ενδέχεται να προκαλέσει ένα Laser.

- Η φωτιά είναι ένας από τους σημαντικούς κινδύνους της χρήσης Laser.
- Η έντονη θερμότητα μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη εύφλεκτων στερεών, υγρών και αερίων.
- Ελεύθερη ροή οξυγόνου μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία εξάπλωση της φωτιάς.
- Πυροσβεστήρες και νερό / αλατούχο διάλυμα θα πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμοι.
- Ενδοτραχειακοί σωλήνες που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να έχουν προστασία για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων πυρκαγιάς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τυπικοί ενδοτραχειακοί σωλήνες είναι εύφλεκτοι.

4.24.6 LSP # 6

Όλο το προσωπικό θα πρέπει να προστατεύεται από ηλεκτρικούς κινδύνους που σχετίζονται με τη χρήση Laser.

- Οπτική επιθεώρηση του εξοπλισμού, θα πρέπει να γίνεται μετά την ρύθμιση της συσκευής για τη χρήση.
- Θα πρέπει να υπάρχουν τα έγγραφα με τις εργασίες τακτικής συντήρησης και επισκευών τη συσκευής. Ο Υπεύθυνος Ασφαλείας Laser θα πρέπει να εξετάζει και να εγκρίνει την χρήση του εξοπλισμού μετά την συντήρηση.

4.24.7 LSP # 7

Το προσωπικό που εργάζεται θα πρέπει να επιδείξουν ικανότητες ανάλογα με τις αρμοδιότητές τους.

- Οι χειρουργοί, ο χειριστής της συσκευής, το νοσηλευτικό προσωπικό, ο υπεύθυνος ασφαλείας Laser και ο μηχανικός Βιοιατρικής.
- Τα προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης θα πρέπει να είναι ειδικά για τις συσκευές Laser και τις εφαρμογές που γίνονται στο συγκεκριμένο κλινικό περιβάλλον.

4.24.8 LSP # 8

Πολιτικές και διαδικασίες για την ασφάλεια των Laser θα πρέπει να αναπτυχθούν σε σχέση με τις επιμέρους εφαρμογές που γίνονται, καθώς και με αποδεκτά πρότυπα/πρωτόκολλα.

- Θα πρέπει να επανεξετάζονται περιοδικά και να υπάρχουν αναθεωρημένες εκδόσεις και να είναι άμεσα διαθέσιμες στο προσωπικό.
- Καθιέρωση κατευθυντήριων γραμμών για την αξιολόγηση της ποιότητας(Quality Assessment).
- Επιτροπή για την Ασφάλεια Laser.

- Διοικητικούς και διαδικαστικούς Ελέγχους (Administrative and Procedural Controls).
- Προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης(Education and Training Programs).
- Ιατρική επίβλεψη και ελέγχους ασφαλείας(Medical Surveillance and Safety Audits).
- Συντήρηση Συσκευών(Laser Service and Maintenance).

4.25 Προσωπικός προστατευτικός εξοπλισμός

4.25.1 Προστασία Οφθαλμού

Τα προστατευτικά των οφθαλμών είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος προστασίας, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπου η δέσμη Laser δεν είναι έγκλειστη μέσα σε κάποιο οπτικό μέσο. Αυτά τα προστατευτικά μπορεί να είναι σε μορφή γυαλιών, μάσκας με διπλούς φακούς ή ολόκληρης μάσκας. Ο στόχος τους είναι να φιλτράρουν συγκεκριμένα μήκη κύματος κατά τη διάρκεια εκπομπής, αλλά ταυτόχρονα να επιτρέπουν την διέλευση μεγάλης έντασης στο ορατό φάσμα για να μπορεί πιο εύκολα αυτός που τα φοράει να κάνει την δουλειά του.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα διαθέσιμα προστατευτικά για τους οφθαλμούς, αλλά τα περισσότερα έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένα και λίγα συστήματα Laser. Παρόλα αυτά είναι διαθέσιμα για τα πιο χρησιμοποιούμενα ιατρικά συστήματα Laser όπως: Argon (488 και 514,5nm), Nd:YAG (1.064nm), Nd:YAG (532nm), CO₂ (10.6μm).

Η προστασία των οφθαλμών είναι αναγκαία εάν υπάρχει «ανοιχτή» δέσμη σε επίπεδα ανώτερα του MPE. Είναι επικίνδυνο αν η δέσμη ανακλαστεί ή προσπέσει άμεσα πάνω σε άτομα. Επίσης, ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει μια επικίνδυνη ανάκλαση ή μία απευθείας έκθεση που είναι εξαιρετικά μικρή, πρέπει να υπάρχει προστατευτικός εξοπλισμός. Απαραίτητος πάντα για εργασία με Laser κατηγορίας 4. Με συστήματα κατηγορίας 3B απλά προτείνεται η χρήση προστασίας. Γενικά θα πρέπει να γίνεται χρήση του προστατευτικού εξοπλισμού μόνο όταν ο χρήστης βρίσκεται στην NHZ.

4.25.2 Καθορισμός Των Προστατευτικών Οφθαλμού

Για τον καθορισμό της επάρκειας του κάθε δοθέντος προστατευτικού οφθαλμού θα πρέπει να διαβαστούν οι προδιαγραφές του κατασκευαστή και να γίνουν μερικοί απλοί υπολογισμοί. Τα προστατευτικά γυαλιά θα πρέπει να έχουν σήμανση με συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως το φασματικό εύρος που παρέχουν προστασία, καθώς και τον βαθμό της οπτικής πυκνότητας(Optical Density), από τον οποίο προστατεύουν.

Είναι επικίνδυνο να κριθεί η καταλληλότητα ενός προστατευτικού μέτρου από το χρώμα του. Είναι σχετικά αληθές ότι:

- τα πράσινου χρώματος φίλτρα επιτρέπουν την μετάδοση πράσινου φωτός και θα μετριάσει κόκκινο και

- μπλε φίλτρα επιτρέπουν την μετάδοση μπλε και απορροφούν το κόκκινο χρώμα.

Αλλά δεν μπορεί εξακριβωθεί ο βαθμός απορρόφησης σε αυτό το μήκος κύματος. Φυσικά, αν ένα φίλτρο είναι έχει το ίδιο χρώμα με αυτό που εκπέμπει το σύστημα Laser είναι ακατάλληλο. Το μήκος κύματος πρέπει είναι καθορισθεί. Μερικά προστατευτικά γυαλιά έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρέχουν προστασία έναντι σε ένα τμήμα του φάσματος και ως εκ τούτου το επίπεδο προστασίας θα είναι διαφορετικό για διαφορετικά μήκη κύματος.

4.25.3 Βλάβη Φίλτρων

Πρέπει να είναι γνωστό σε ποιά επίπεδα ακτινοβολίας ή σε τι επίπεδα ισχύος υπάρχει το ενδεχόμενο υποβάθμισης του υλικού του φίλτρου και αν προκληθεί κάψιμο στην επιφάνειά του ή αν καταστραφεί τελείως από άμεση έκθεση στην δέσμη. Τα περισσότερα προστατευτικά δεν ενδείκνυνται για άμεση (Intrabeam) παρατήρηση της δέσμης, λόγω καταστροφής του φίλτρου. Η μοναδική περίπτωση να υπάρχει άμεση παρατήρηση της δέσμης είναι μόνο σε περίπτωση ατυχήματος.

Η πλήρης ισχύς των χειρουργικών συστημάτων Laser μπορεί να διαπεράσει στα περισσότερα υλικά προκαλώντας και κάψιμο. Από τέτοια υλικά είναι φτιαγμένα τα προστατευτικά γυαλιά. Αυτό όμως δεν πρόκειται να συμβεί, καθώς ο χρήστης ή ο ιατρός δεν θα παραμείνουν ακίνητοι και εκτεθειμένοι στην δέσμη, αλλά αντιθέτως θα απομακρυνθούν από αυτή. Ακόμα και ένα LaserCO₂ ισχύος 100W χρειάζεται μερικά δευτερόλεπτα για να διαπεράσει τα προστατευτικά γυαλιά με το κάψιμο. Τα προστατευτικά φίλτρα που κατασκευάζονται από Polycarbonate έχουν υψηλότερη αντίσταση στην καύση, σε σχέση με τα άλλα πλαστικά για το ίδιο πάχος φίλτρου.

4.25.4 Άνεση και Εφαρμογή

Σημαντικός παράγοντας στον προστατευτικό εξοπλισμό είναι η άνεση και η οπτική απόδοση που έχουν. Η προστατευτική μάσκα που φοριέται πρέπει να είναι άνετη σε ιατρό και να επιτρέπει την βέλτιστη ορατότητα όταν την χρησιμοποιεί. Μπορεί να προκύψουν προβλήματα από τα χαρακτηριστικά απορρόφησης του ίδιου του προστατευτικού, καθώς και από θολωμένες ή υποβαθμισμένες επιφάνειες. Είναι σημαντικό ο LSO να διαβεβαιώνει ότι τα προστατευτικά οφθαλμών που χρησιμοποιούνται παρέχουν άνεση αλλά και προστασία στον χρήστη.

Δεν πρέπει ένα προστατευτικό να έχει πολύ σφιχτή εφαρμογή και να μην επιτρέπει την κυκλοφορία του αέρα με αποτέλεσμα να θολώνει ο φακός. Πρέπει το προστατευτικό να έχει την κατάλληλη εφαρμογή. Η απόλυτη προστασία δεν υπάρχει χωρίς την πλευρική θωράκιση, η οποία είναι απαραίτητη σε συστήματα Laser τα οποία εκπέμπουν στο UV, ορατό, και IR-A τμήμα του φάσματος, εκτός εάν ο μέγιστη πιθανή έκθεση είναι μόνο δέκα φορές πάνω από το ενδεικνυόμενο MPE.

4.25.5 Φίλτρο Δοκιμές

Τα προστατευτικά φίλτρα θα πρέπει να ελέγχονται, ώστε να διασφαλίζεται υπάρχει συμμόρφωση με τις προδιαγραφές ασφαλείας, άρα μπορούν και προστατεύουν τον

χρήστη. Αυτό μπορεί να γίνει σε ένα εργαστήριο, όπου με ένα φασματοφωτόμετρο γίνεται η μέτρηση της οπτικής πυκνότητας του φίλτρου.

Τα υλικά αν εκτίθενται σε ασυνήθες περιβάλλον, όπως σε άμεσο και έντονο ηλιακό φως ή σε σημείο όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να χάσουν κάποιες από τις ιδιότητές τους. Γενικά όμως δεν υπάρχει ένδειξη ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα προστατευτικά χάνουν αυτές τις ιδιότητές. Όμως, θα πρέπει να ελέγχονται μήπως έχουν παρουσιάσει κάποιο ελάττωμα όσον αφορά π.χ. την εφαρμογή τους ή κάποιον βραχίονα.

4.25.6 Προστασία από το Λευκό Φως

Οι σπίθες ή λάμπεις(flash) που παράγονται σε ορισμένες διαδικασίες ενδέχεται να είναι ενοχλητικές και πρέπει να υπάρχει φιλτράρισμα αυτών, ώστε η έντασή τους να είναι κάτω από ένα επιθυμητό επίπεδο. Ωστόσο, αυτό δεν είναι απαραίτητο αν δεν προκαλούν είδωλα στην όραση του χρήστη.

4.25.7 Τρόποι Κατασκευής

Τα προστατευτικά για τους οφθαλμούς είναι κατασκευασμένα από γυαλί ή από φορμαρισμένο πλαστικό. Τα πλαστικά μπορεί να είναι εμποτισμένα με χρωστικές ή κατά την διαδικασία μίξης με επιφανειακή διάχυση. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά έχει και πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα.

- Το γυαλί είναι γενικότερα πιο ανθεκτικό στις εκδορές και στα γδαρσίματα.
- Χάνουν τις ιδιότητές τους με χαμηλότερο ρυθμό σε σχέση με τον χρόνο και με την χρήση.
- Γενικά έχουν καλύτερη ποιότητα όρασης-παρατήρησης μέσα από αυτά.
- Όμως οι φακοί αυτοί έχουν περισσότερο βάρος και είναι και πιο ευαίσθητοι σε σχέση με τους αντίστοιχους πλαστικούς.
- Επιπλέον μπορεί να υπάρχει αντιχαρακτική επίστρωση στους φακούς, ώστε να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά τους απέναντι σε εκδορές και γδαρσίματα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν γίνεται επιλογή προστατευτικών. Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι το πλαίσιο μπορεί να διαχωρίζεται από τους φακούς, αλλά θα πρέπει να μην είναι διαφανές στο μήκος κύματος της εκπνευόμενης από το σύστημά μας δέσμης.

Είδος Υλικού Κατασκευής	Κατώφλι Καταστροφής(W/cm ²)
Πλαστικό	1-100
Γυαλί	100-500
Γυαλί με Επίστρωση	500-1000

Πίνακας 17: Κατώφλι καταστροφής για υλικά από τα οποία, κατασκευάζονται τα προστατευτικά γυαλιά.

4.26 Προστασία Δέρματος

Η προστασία του δέρματος κανονικά δεν απαιτείται με την χρήση των περισσότερων Laser. Τα χειρουργικά συστήματα Laser, ωστόσο, είναι ικανά να τραυματίσουν και να προκαλέσουν βλάβη στο δέρμα και δεν έχει σχέση ότι η έξοδος

τους είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης. Η σωστή και ενδεδειγμένη χρήση του συστήματος είναι απίθανο να οδηγήσει σε δερματικό τραυματισμό. Οι σκεδαζόμενες δέσμες από οποιοδήποτε χειρουργικό σύστημα Laser, το οποίο εκπέμπει στο ορατό ή υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, δεν προκαλούν ανησυχία ακόμη και αν υπερβαίνουν τα όρια έκθεσης του δέρματος. Ωστόσο, στα χειρουργικά Laser που εκπέμπουν υπεριώδεις (UV) πρέπει να υπάρχει ανησυχία για την σκεδαζόμενη ακτινοβολία, αφού μια τυχαία έκθεση του δέρματος στην δέσμη τους είναι ικανή να ξεπεράσει τα όρια έκθεσης που έχουν οριστεί. Οι χειρουργικές στολές έχουν αρκετή προστασία όπως και τα γάντια. Όμως ορισμένα από αυτά ενδέχεται να μην απορροφούν ικανοποιητικά την υπεριώδη ακτινοβολία, οπότε θα πρέπει να τα ελέγχουμε πριν από την χρήση τους με ένα τέτοιο σύστημα.

4.27 Προστασία Αναπνευστικού Συστήματος

Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια που παράγονται κατά την διάρκεια της εξαχνωσης από την λειτουργία ορισμένων συστημάτων Laser προκαλούν ανησυχία ιδιαίτερα όταν έχουμε μεγάλες συγκεντρώσεις όπου θα αποτελέσουν κίνδυνο για τους πνεύμονες. Αυτά μπορεί επιπλέον να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς που προέρχονται από το κόψιμο του ασθενούς ιστού. Επομένως θα πρέπει να επιτύχουμε προστασία του αναπνευστικού συστήματος με κατάλληλους τρόπον ώστε να μην παρεμποδίζεται η εργασία του χειρουργικού προσωπικού και των ιατρών.

4.27.1 Διαθέσιμες Χειρουργικές Μάσκες

Οι συμβατικές χειρουργικές μάσκες παρέχουν έναν βαθμό προστασίας απέναντι σε ορισμένους τύπους ρύπων. Το μέγεθος τους είναι μεταξύ 10 με 30μm. Ωστόσο, τέτοιος μάσκες δεν προστατεύουν απέναντι σε αιωρούμενα σωματίδια που έχουν μέγεθος 0.3 με 0.5μm. Ωστόσο, με την χρήση ειδικών φίλτρων μπορούμε να φιλτράρουμε και σωματίδια μέχρι 0.3μm και να παρέχει ολική προστασία. Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια μπορούν να περιοριστούν με τη χρήση απαγωγών και τον εξαερισμό του χώρου, Έτσι γίνεται έλεγχος της συγκέντρωσης σε αποδεκτά επίπεδα. Ο εξαερισμός ενός γραφείου – εργαστηρίου είναι συνήθως της τάξεως των 500Lt/min.

Συμπέρασμα

Ύστερα από όσα παραθέσαμε σε αυτή την έρευνα της πτυχιακής εργασίας, αξίζει να αναφερθεί ότι ο αριθμός των ιατρών που κάνουν τέτοιου είδους επέμβαση είναι αρκετοί. Στο σύνολό τους το μεγαλύτερο ποσοστό οφθαλμιάτρων, οι οποίοι βοήθησαν να γίνει αυτή η έρευνα, ήταν ευγενικοί και με μεγάλη υπομονή. Μάλιστα κάποιοι από αυτούς βοήθησαν στην επεξήγηση κάποιων θεμάτων απέναντι στο χειρουργείο και στις συσκευές Laser και με κάποιες σχετικές υποδείξεις μας έδωσαν ώθηση στην συνέχιση της έρευνας. Μάλιστα, κάποιοι από αυτούς μας παρέπεμψαν και σε συναδέλφους τους, οι οποίοι ήταν επίσης πρόθυμοι να πάρουν μέρος στην έρευνα, ως αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των ερωτηματολογίων.

Το αποτέλεσμα που εξάχθηκε είναι ότι υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό, το οποίο ακολουθεί τους απαραίτητους κανόνες και τα απαραίτητα πρωτόκολλα για τους κανόνες της ακτινοπροστασίας μέσα σε ένα χώρο χειρουργείου, προστατεύοντας έτσι το προσωπικό και τους ασθενείς ή κάποιους συνοδούς/παρατηρητές, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται μέσα στο χειρουργείο για κάποιο συγκεκριμένο λόγο. Ωστόσο, εάν συνεχίσουν να γίνονται έλεγχοι από ειδικούς τεχνικούς που είναι γνώστες των συγκεκριμένων συσκευών Laser, μπορεί το επίπεδο των αποτελεσμάτων να παραμείνει υψηλό και να εξελιχθεί και περαιτέρω.

Βιβλιογραφία

1. Δεληγά Μ.Γ. (2003). *Περιοδικό Υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας*. Τριμηνιαία έκδοση του ελληνικού ινστιτούτου υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας. Τεύχος 13 Ιανουάριος-Φεβρουάριος- Μάρτιος
2. Deborah Pavan-Langston (2006). Επιμ.: [Κοζέης Ν.](#) *Εγχειρίδιο και διάγνωση και θεραπείας παθήσεων οφθαλμού*. 5η έκδοση. Θεσσαλονίκη: [Ιατρικές Εκδόσεις Σιώκης](#)
3. Ιακωβάκης Δ., (2008). *Μη Ιονίζουσα Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία και οι Βιολογικές της Επιδράσεις: Βιβλιογραφική Έρευνα*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
4. Κολιόπουλος, Ι. (1995). *Οφθαλμολογία*. Αθήνα: Γρ. Παρισιάνος
5. Κροντηράς Χρ., Παπαδοπούλου Χρ., Παντελιού Σ., Βανταράκης Απ., Κλεπετσάνης Π., Τσάνης, Κωνσταντοπούλου Γ., (2012). *Προστασία από Ραδιενέργεια*. Στο: *Οδηγός Υγιεινής & Ασφάλειας Πανεπιστημίου Πατρών*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών
6. Μιχαήλ Ν. Παντελής (2013). *Μελέτη Επιδράσεων της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας Από Κινητά Τηλέφωνα και Σταθμούς Βάσης Στον Ανθρώπινο Οργανισμό*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
7. Πατενιώτης Κ. Μ. (2007). *Καρκίνος και Έκθεση στις Ιοντίζουσες και μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες*. Στο Επαγγελματική Ένωση Παθολόγων Ογκολόγων Ελλάδος (Επιμ.) *Κλινική Ογκολογία*. (σσ. 66-76). Τόμος Α' Γενικό μέρος. Αθήνα
8. Συμελιάδης, Θ., (2014). *Επιπτώσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας και των ΤΠΕ στο Περιβάλλον*. Πτυχιακή εργασία. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
9. Συνήγορος του Πολίτη, (2003). *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>
10. Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1999). «*Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz)*». L 199 (1999/519/EC).
11. Τσάμης Χ.Ι., (2014). *Ο κόσμος μας. Από το μηδέν στο άπειρο*. Εκδοτικός Οίκος: myedition.gr
12. Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, (2009). *Η Ακτινοβολία στη ζωή μας*. Λευκωσία: Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας
13. Χατζημπούγιας Ι., (2003). *Στοιχεία ανατομικής του ανθρώπου*. 3η έκδοση Θεσσαλονίκη: GM DESING Γ. Μανιατογιάννης
14. Κατσούλος Κ., Ασημέλλης Γ., (2008), *Η Σύγχρονη Διαθλαστική εξέτασης, Σύγχρονη γνώση*.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Becker R. & Andrew Marino (1995). *Electromagnetism and life*. Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Charles Polk-Elliot Postow CRC Press.
2. Kaufman, P., Albert, Alm. (2003). *Adler's Physiology of the Eye: Clinical application*. Tenth Edition, Philadelphia: Mosby.

3. Spalton D.J., Hitchings R.A. & Hunter P., (2005). *Atlas of Clinical Ophthalmology*. 3rd Edition. Hardcover.
4. Verschaeve, A. Maes, (1998). *Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields*. *Mutation Research* 410: 141–165.
5. Alan L McKenzie, (1988), *Aspects of laser safety in surgery and medicine*, Northern Regional Medical Physics Department, Newcastle General Hospital, Newcastle.
6. American National Standard for Safe Use of Lasers. ANSI Z136.1 -2000.
7. American National Standard for Safe Use of Lasers in Health Care. ANSI Z136.3 -2007.
8. Gordon R Higson, (2002), *The Regulation of Medical Devices for Public Health and Safety*, MEDICAL DEVICE SAFETY.
9. Ronalt W. (2002) *Lasers in Medicine*, Waynant.
10. Harvard University, (2002), *Radiation Safety Manual*, Boston.
11. Helena Jelínková, (2013), *Lasers for medical applications*.
12. LASER SAFETY MANUAL, University of Texas Health Science Center.
13. G.T. Absten-S.N, (1989), *Lasers in Medicine*, Joffe, Springer Science.
14. Ken Baret, (2006), *Laser Safety Management*, Taylor & Francis.
15. Wendy Lam, (2009), *Magnetic Resonance Imaging (MRI) Safety Manual*.
16. (2009), *Biological Effects and Safety in Magnetic Resonance Imaging: A Review*, International Journal of Environmental Research and Public Health.
17. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*, MRI Safety, www.mrisafety.com.
18. *Physical Principles of Medical Ultrasonics*, Ellis Horwood Series in Applied Physics.
19. *Guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound equipment*, The British Medical Ultrasound Society.
20. (2012), *Laser Safety Manual*, Boston Medical Center.
21. *Medical Ultrasound Safety*, American Institute of Ultrasound in Medicine.
22. History of laser, Mary Bellis, Inventors.
23. O.Svelto, Springer, (1998) Principles of Laser.
24. P.Milonni J. Eberly, Wiley, (2010), Laser Physics.

Πηγές από το διαδίκτυο:

1. ΕΕΚΤ:
<http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=kGiaKhidtn%3D&tabid=102>
2. Σαμαράς Θ. 2012 *Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα Εμβιοηλεκτρομαγνητισμός*. Τμήμα Φυσικής. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στο: http://users.auth.gr/theosama/docs/Bioelectromagnetics_Notes.pdf
3. Τσάμης Χ.Ι. *Περί ακτινοβολιών*. Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στο: <http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Aktinovolies/Aktinovolies.htm>
4. Ψαρράκος, Κ. Κουφογιάννης, Δ. Σιούντας, Α. (2002). *Ακτινοβολίες*. Στο *Επαγγελματικές παθήσεις* (σσ. 271-288). Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε στις 25/05.2015 από <http://www.ethorax.gr/index.php?section=703>
5. <http://www.emfguru.org/CellPhone/cell-health/cellphone-health.html>
6. <http://www.land-sbg.gv.at/celltower>.

7. www.rli.com
8. <http://www.lasersafety.com/>
9. <http://www.lasershields.com/>
10. <http://web.princeton.edu/>
11. <https://www.osha.gov/SLTC>
12. <https://esd.uga.edu/laser-safety>
13. <https://taxidistignosi.wordpress.com>
14. <https://www.medicalradiation.com>
15. <http://www.eekt.gr>
16. <http://www.mixanitouxronou.gr/>
17. <http://www.eyepathology.gr/>
18. <http://www.healthyliving.gr/2014/03/19/mati-anatomia-orash/>
19. <http://www.allaboutvision.com>