

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LASER – ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Οι παρακάτω κανόνες προστασίας καθιερώθηκαν παγκοσμίως μετά το 1976 (OSHA Regulations: 29 CFR 1926.54 and 102). Ως συνέπεια τα laser που παράγονται έκτοτε είναι κατηγοριοποιημένα από τον ίδιο τον κατασκευαστή προκαθορίζοντας έτσι τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λάβει ο χρήστης (εκπαίδευση, γυαλιά, ταμπέλες, κτλ.).

Εάν παρόλα αυτά η κλάση δεν είναι γνωστή τότε μπορεί να μετρηθεί ή και να υπολογιστεί (από εξειδικευμένο προσωπικό). Τα laser κατηγοριοποιούνται με βάση την ικανότητά της βασικής ή μιας ανακλώμενης δέσμης τους να τραυματίσει το μάτι ή το δέρμα. Η κατάλληλη κλάση καθορίζεται από το μήκος κύματος, την ισχύ και τη διάρκεια του παλμού (αν είναι το laser παλμικό). Η κατηγοριοποίηση βασίζεται στην μέγιστη προσβάσιμη ισχύ εξόδου. Υπάρχουν τέσσερις κλάσεις laser. Η κλάση 1 είναι η λιγότερο επικίνδυνη. Όλες οι υπόλοιπες κλάσεις laser πρέπει να αναγράφουν εμφανώς την κλάση τους.

2.1. Κατηγοριοποίηση των πηγών laser

CLASS I: Τα laser κλάσης 1 δεν προκαλούν καταστροφή στα μάτια ακόμη κι αν η δέσμη πέσει μέσα στο μάτι από ατύχημα. Ωστόσο συνεχόμενο κοίταγμα της δέσμης απευθείας με γυμνό μάτι θα πρέπει να αποφεύγεται. Η ισχύς των laser κλάσης 1 είναι μικρότερη από 0.4 μW για συνεχή CW laser με μήκος κύματος στο ορατό. Να σημειωθεί πως ένα laser που είναι εντελώς απομονωμένο από περιβάλλον του εργαστηρίου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως κλάσης 1 εάν οι εκπομπές στον περιβάλλοντα χώρο δεν ξεπερνούν τα όρια της κλάσης 1.

CLASS II: Τα laser κλάσης 2 δεν προκαλούν καταστροφή στα μάτια κατά τη διάρκεια ενός ανοιγοκλεισίματος του ματιού (blink), δηλ. περίπου 0.25 sec. Ωστόσο μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην περίπτωση που ο παραπάνω χρόνος παραταθεί. Τα laser κλάσης 2 έχουν μήκη κύματος στο ορατό (400 - 700 nm) και ισχύ εξόδου μεταξύ 0.4 μW και 1 mW για CW laser. Ο μεγαλύτερος αριθμός αυτής της κατηγορίας είναι τα Ηλίου-Νέου (He-Ne).

CLASS IIIa: Τα laser κλάσης 3a δεν προκαλούν καταστροφή στα μάτια κατά τη διάρκεια ενός ανοιγοκλεισίματος του ματιού (blink), δηλ. περίπου 0.25 sec. Ωστόσο, είναι πιθανή η ζημιά στην περίπτωση που κοιτάξουμε τη δέσμη με κάποιο φακό ή και απευθείας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η ισχύς εξόδου για CW laser με μήκη κύματος στο ορατό είναι μεταξύ 1-5 mW.

CLASS IIIb: Τα laser κλάσης 3b μπορούν να προκαλέσουν ζημιές από ατυχήματα στα μάτια στην περίπτωση που κοιτάξουμε τη δέσμη απευθείας ή ακόμη και κάποιο ανακλώμενο κομμάτι της. Η ισχύς εξόδου για CW laser είναι μεταξύ 5 - 500 mW. Εξαιρώντας τα μεγάλης ισχύος laser αυτής της κατηγορίας, διαχεόμενη δέσμη laser δεν είναι επικίνδυνη εκτός κι αν την κοιτάξουμε με κάποιο φακό.

CLASS IV: Τα laser κλάσης 4 είναι τα πιο επικίνδυνα laser. Έκθεση στη δέσμη τους ή ακόμη και σε ανάκλασή της ή και διάχυσή της είναι ενδεχόμενα επικίνδυνα τόσο για τα μάτια όσο και για το δέρμα. Επιπλέον μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών, να δημιουργήσει επικίνδυνα αέρια (π.χ. O₃), κ.α. Η ισχύς εξόδου για CW laser για όλα τα μήκη κύματος είναι μεγαλύτερη από τα 500 mW. Όλα τα παλμικά laser που λειτουργούν στα μήκη κύματος 400 nm έως 1,400 nm θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην κλάση 4.

Πίνακας 2.1. Συνοπτικός πίνακας κατάταξης των συστημάτων laser

CLASS I	P < 0.4 μW, Ακίνδυνο
CLASS II	0.4<P<1 mW CW ορατή ακτινοβολία, στιγμιαία άμεση έκθεση (0.25s)
CLASS IIIa	1<P<5 mW CW ορατή ακτινοβολία, στιγμιαία άμεση έκθεση (0.25s)
CLASS IIIb	5<P<500 mW CW καμιά άμεση έκθεση
CLASS IV	CW P>500 mW, παλμικά, ιδιαίτερα επικίνδυνα

2.2. Κίνδυνοι από τη δέσμη του laser

Μάτια: Το μάτι είναι εξαιρετικά ευάλωτο κατά την έκθεσή του στους περισσότερους τύπους laser. Ο τύπος της βλάβης του εξαρτάται από την ένταση του φωτός, το μήκος κύματός του, και από το μέρος του ιστού που εκτίθεται. Η καταστροφή προκαλείται είτε από την αύξηση της θερμοκρασίας είτε από φωτοχημικές διεργασίες. Έντονη έκθεση έχει σαν αποτέλεσμα εγκαύματα στον κερατοειδή (cornea) και τον αμφιβληστροειδή (retina). Εμφάνιση καταρράκτη ή και βλάβη στον κερατοειδή προκαλείται από χρόνια έκθεση σε φως από laser. Βλάβη του αμφιβληστροειδούς είναι συνήθης από έκθεση σε ορατή και κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία.

Οι περισσότερες μη-σύμφωνες πηγές φωτός μπορούν να κοιταχτούν απευθείας χωρίς κανέναν κίνδυνο επειδή μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της ισχύος του φτάνει στο μάτι κι απλώνεται σε όλο τον αμφιβληστροειδή. Αντίθετα, η ακτινοβολία laser είναι σύμφωνο φως. Η δέσμη της μπορεί να περάσει μέσα από την κόρη του ματιού (pupil) και να εστιαστεί σε μια πολύ μικρή επιφάνεια στον αμφιβληστροειδή εναποθέτοντας εκεί όλη του την ενέργεια. Μόνο το ορατό και το κοντινό υπέρυθρο εστιάζονται στον αμφιβληστροειδή. Βλάβη του αμφιβληστροειδούς συνεπάγεται μερική ή και ολική τύφλωση εάν πειραχθεί το οπτικό νεύρο. Η βλάβη μπορεί να είναι μη-αναστρέψιμη ενώ κατά την έκθεση δεν προκαλείται πόνος ή ενόχληση.

Επί πλέον, μερικά πολύ ισχυρά παλμικά laser μπορούν να προκαλέσουν τέτοια βλάβη στον αμφιβληστροειδή ώστε να προκληθεί αιμορραγία.

Δέρμα: Η έκθεση στην ακτινοβολία laser μπορεί να προκαλέσει και βλάβες στο δέρμα. Ισχυρή έκθεση μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς από ήπιο κοκκίνισμα (reddening) σε δημιουργία φλυκταινών (blistering) έως και κάψιμο (charring). Καρκίνοι του δέρματος μπορεί να προκληθούν από χρόνια έκθεση σε υπεριώδες (UV) φως. Το μέγεθος και ο τύπος της βλάβης εξαρτάται από την ποσότητα της αποτιθεμένης ενέργειας και από το μήκος κύματος του φωτός. Σε αντίθεση η βλάβες στο δέρμα είναι συνήθως αναστρέψιμες.

2.2.1. Υπεριώδης ακτινοβολία - UV (200 - 400 nm)

Η έκθεση του ματιού στο υπεριώδες φως στην περιοχή των 200-315 nm απορροφάται από τον κερατοειδή και μπορεί να προκαλέσει φωτοκερατίτιδα (φλεγμονή του κερατοειδούς). Η επαναλαμβανόμενη έκθεση του κερατοειδούς στο υπεριώδες φως δεν έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός μηχανισμού προστασίας, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στο δέρμα (μαύρισμα). Το κοντινό υπεριώδες φως στην περιοχή των 315-400 nm απορροφάται κυρίως στο φακό του ματιού και μπορεί να προκαλέσει καταρράκτη. Μήκη κύματος μικρότερα από 400 nm δεν αποτελούν κίνδυνο για τον αμφιβληστροειδή.

Η έκθεση του δέρματος στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει κοκκίνισμα, γήρανση ακόμη και καρκίνο του δέρματος.

2.2.2. Ορατή και κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία -NIR (400 -1400 nm)

Η έκθεση του ματιού σε laser δέσμες στο ορατό (400-700 nm) και κοντινό υπέρυθρο (700-1400 nm) φάσμα μπορεί να βλάψει τον αμφιβληστροειδή. Οι δέσμες laser αυτής της φασματικής περιοχής διαδίδονται μέσα στο μάτι και εστιάζονται από το φακό παράγοντας ισχυρή ένταση φωτός στον αμφιβληστροειδή. Η ένταση της ακτινοβολίας πάνω στον αμφιβληστροειδή μπορεί να ξεπεράσει κατά παράγοντα 100000 αυτής της προσπίπτουσας στον κερατοειδή εξαιτίας της εστίασης. Η μετατροπή αυτής της ενέργειας σε θερμότητα μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στον αμφιβληστροειδή με αποτέλεσμα την απώλεια όρασης ακόμη και τύφλωση αν πειραχθεί το οπτικό νεύρο. Ακόμη και χαμηλής ενέργειας δέσμες μπορούν να προκαλέσουν ζημία στο μάτι εάν εστιαστούν κατά παράγοντα 100000. Για το λόγο αυτό τα μήκη κύματος στην περιοχή των 400 - 1400 nm ονομάζονται περιοχή οφθαλμικής επικινδυνότητας (ocular hazard region).

Η έκθεση του δέρματος στην ορατή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και υπέρμετρη ξήρανση.

2.2.3. Μέση και μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία - FIR (1400 - 10000 nm)

Οι δέσμες laser της μέσης και μακρινής υπέρυθρης ακτινοβολίας προκαλούν βλάβες κυρίως στον κερατοειδή και λιγότερο στο φακό του ματιού. Η βλάβη οφείλεται συνήθως σε φαινόμενα θερμότητας αν και παλμικά laser μπορεί να προκαλέσουν βλάβες εξαιτίας θερμομηχανικών φαινομένων. Το φως με μήκη κύματος πάνω από 1400 nm δεν φτάνει στον αμφιβληστροειδή. Η μέση υπέρυθρη ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 1400 nm και 3000 nm μπορεί να διαπεράσει μέσα στο φακό προκαλώντας καταρράκτη. Η μακρινή

υπέρυθρη ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 3000 και 10000 nm απορροφάται από τον κερατοειδή και μπορεί να προκαλέσει καψίματα στον κερατοειδή μέχρι και απώλεια όρασης.

2.3. Άλλοι κίνδυνοι

Παράλληλα με τους κινδύνους από τις δέσμες laser ελλοχεύουν κι άλλοι κίνδυνοι σχετικοί με την λειτουργία του laser. Αυτοί περιλαμβάνουν εκρήξεις, ηλεκτρικές εκκενώσεις, κρυογενικά υγρά, εύφλεκτα υλικά, θόρυβο, ακτίνες x, ακτινοβολία υπεριώδους και επικίνδυνα χημικά αέρια που συνοδεύουν το laser.

2.3.1. Ηλεκτρικοί κίνδυνοι

Θανατηφόροι ηλεκτρικοί κίνδυνοι υπάρχουν στις υψηλής ισχύος ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των συστημάτων laser. Η ηλεκτροπληξία αποτελεί την πιο κοινή αιτία θανάτου σχετική με το περιβάλλον εργασίας υψηλής ισχύος συστημάτων laser. Μια σειρά από λεπτομερείς κανόνες αποφυγής ηλεκτρικών κινδύνων ακολουθούνται στα διάφορα εργαστήρια τόσο από το εξειδικευμένο προσωπικό όσο και από τους χρήστες.

2.3.2. Κίνδυνοι εκρήξεων

Λάμπες υψηλής πίεσης που χρησιμοποιούνται στα laser για άντληση πρέπει να είναι κατασκευαστικά προστατευμένες να αντέχουν πιθανές εκρήξεις κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Πιθανοί υποψήφιοι εκρήξεων είναι οι υψηλής τάσης πυκνωτές οι οποίοι θα πρέπει να είναι κατάλληλα θωρακισμένοι για τέτοιες περιπτώσεις. Τα παραπάνω πρότυπα πρέπει να τηρούνται από τον κατασκευαστή.

2.3.3. Επικίνδυνα χημικά αέρια

Αναθυμιάσεις, τοξικά αέρια, ατμοί και καπνός μπορεί να υπάρξουν σε χώρους εγκαταστάσεων συστημάτων laser. Για παράδειγμα, το όζον παράγεται γύρω από τις λάμπες άντλησης ενώ ίνες αμιάντου μπορούν να ελευθερωθούν από τούβλα που χρησιμοποιούνται για μπλοκάρουν δέσμες CO₂ laser. Η αυξημένη χρήση χημικών laser καθιστά τους χημικούς κινδύνους πιο επικίνδυνους από την ακτινοβολία laser. Για παράδειγμα, το φθόριο που χρησιμοποιείται σε KrF laser είναι εξαιρετικά τοξικό κι απαιτεί άμεση μεταχείριση μόλις κάποιος έρθει σε επαφή. He-Cd lasers μπορεί να μολύνουν το εργαστήριο με ατμούς καδμίου εάν δεν απάγεται σωστά από το εργαστήριο. Ο κατάλληλος εξαερισμός του εργαστηρίου είναι απαραίτητος έτσι ώστε τα πιθανά χημικά αέρια να βρίσκονται σε συγκεντρώσεις κάτω του επιτρεπτού ορίου.

2.3.4. Χρωστικές laser (Dyes)

Οι οργανικές χρωστικές που χρησιμοποιούνται από μερικά συστήματα laser είναι γνωστό πως μπορεί να οδηγήσουν σε καρκινογενέσεις, μεταλλάξεις και τερατογεννήσεις. Οι χρήστες αυτών των laser πρέπει να ακολουθούν πιστά το πρωτόκολλο ασφαλείας του εργαστηρίου σχετικά με την προετοιμασία των χρωστικών, την χρήση τους, την αποθήκευσή τους και την ανακύκλωσή τους. Γάντια, εργαστηριακές ποδιές και κατάλληλα γυαλιά πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν κανείς μεταχειρίζεται επικίνδυνα χημικά. Ένας σταθμός πλύσης ματιών και άμεσης παροχής νερού (ντους) πρέπει να υπάρχει σε χώρους που χειρίζονται επικίνδυνα χημικά. Φαγητό και ποτό απαγορεύονται στο εργαστήριο laser ιδίως όταν στο περιβάλλον υπάρχουν χημικές ουσίες.

2.3.5. Εύφλεκτα υλικά

Εύφλεκτοι υλικά και αέρια μπορεί να αναφλεγούν από δέσμες laser κλάσης 4. Τέτοιες δέσμες πρέπει να τερματίζονται με μη-εύφλεκτα υλικά. Εύφλεκτοι διαλύτες και υλικά πρέπει να αποθηκεύονται σε κατάλληλα σκεύη (containers) και να θωρακίζονται από τις δέσμες laser καθώς και από ηλεκτρικούς σπινθήρες. Εάν δεν χρησιμοποιούνται συχνά πρέπει να απομακρύνονται από το εργαστήριο. Τέλος κάθε εργαστήριο πρέπει απαραίτητα να έχει λειτουργικό πυροσβεστήρα.

2.3.6. Κρυογενικά υγρά

Κρυογενικά υγρά (ειδικά το υγρό άζωτο) μπορεί να χρησιμοποιούνται για την ψύξη των κρυστάλλων του laser. Τα υγρά αυτά μπορούν να προκαλέσουν εγκαύματα στο δέρμα ή ακόμη και εξατμιζόμενα να μειώσουν τα επίπεδα του οξυγόνου σε μη επαρκώς εξαεριζόμενα εργαστήρια. Η χρήση και αποθήκευση των κρυογενικών υγρών πρέπει να γίνεται φορώντας γάντια με μόνωση και μάσκα προστασίας. Εάν το δέρμα έρθει σε επαφή με το υγρό ρίξτε επάνω άφθονη ποσότητα νερού. Ο επαρκής εξαερισμός του εργαστηρίου που χρησιμοποιεί κρυογενικά υλικά είναι απαραίτητος.

2.3.7. Υγρασία - θερμοκρασία

Συνήθως τα υψηλής ισχύος παλμικά laser απαιτούν συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας του χώρου στέγασής τους για να λειτουργήσουν. Η συνήθης θερμοκρασία είναι γύρω στους 20 °C . Ο χρήστης θα πρέπει να είναι κατάλληλα ντυμένος ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες σε περίπτωση που θα εργαστεί στο χώρο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η συνήθης τιμή υγρασίας είναι 30% ένα όριο που είναι πολύ χαμηλότερο από το επιτρεπτό (45%) για τον άνθρωπο προκαλώντας ξηρασία λαιμού στον χρήστη. Εάν ο χρήστης χρειάζεται να παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα στο χώρο είναι καλό να κάνει πολλά μικρά διαλλείματα.

2.3.8. Ακτίνες X

Η παραγωγή ακτινών X είναι πιθανή όταν οι τάσεις ξεπερνούν τα 15 kV, όχι και τόσο σύνηθες για τυπικά εργαστηριακά laser. Σε αυτή την περίπτωση το εργαστήριο πρέπει να παρακολουθείται για τα επιτρεπτά επίπεδα ραδιενέργειας των ακτινών X.

2.3.9. Υπεριώδης ακτινοβολία

Αν και η υπεριώδης ακτινοβολία της δέσμης laser παρουσιάζει τους μεγαλύτερους κινδύνους, εντούτοις υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να παραχθεί και από τις εκκενώσεις λαμπών άντλησης. Η σωστή θωράκισή τους είναι απαραίτητη και συχνά παρέχεται από τον κατασκευαστή.

2.3.10. Θόρυβος

Τα επίπεδα του θορύβου σε μερικά εργαστήρια laser μπορεί να ξεπεράσουν τα επιτρεπτά όρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η χρήση ωτοασπίδων.

Πως λειτουργεί το μάτι

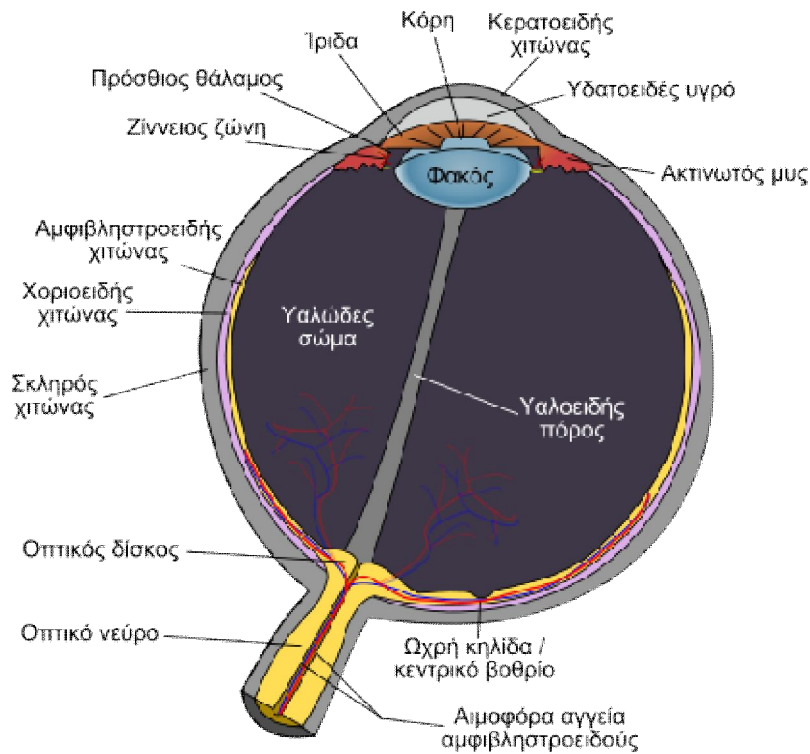
Το μάτι λειτουργεί σαν μια φωτογραφική μηχανή ακριβείας και αποτελείται από διαφορετικά μέρη που δουλεύοντας όλα μαζί μας επιτρέπουν να βλέπουμε. Η ίριδα είναι το χρωματιστό μέρος του ματιού με μία οπή στο μέσο που ονομάζεται κόρη. Μπροστά από την ίριδα βρίσκεται ένας διάφανος χιτώνας, ο κερατοειδής, που λειτουργεί σαν το πρόσθιο προστατευτικό κέλυφος του ματιού αλλά και σαν εστιακός φακός. Ο πρόσθιος θάλαμος είναι ο ενδιάμεσος χώρος μεταξύ του κερατοειδή και της ίριδας. Ο πρόσθιος θάλαμος διατηρεί το σχήμα του καθώς περιέχει υδατοειδές υγρό το οποίο προμηθεύει με οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά το εσωτερικό του ματιού.

Ο κερατοειδής είναι ο πιο δυνατός φακός του οπτικού συστήματος του ματιού. Είναι σχεδόν αόρατος καθώς αποτελείται από διάφανο ιστό. Το κυρτό του σχήμα, του επιτρέπει να λειτουργεί και σαν φακός, προσφέροντας τα δύο τρίτα της συνολικής δύναμης εστίασης του ματιού. Η υπόλοιπη δύναμη εστίασης προέρχεται από τον κρυσταλλοειδή φακό, που βρίσκεται στο πρόσθιο μέρος του ματιού, πίσω από την ίριδα.

Ο αμφιβληστροειδής λειτουργεί σαν το φιλμ της φωτογραφικής μηχανής καλύπτοντας την εσωτερική επιφάνεια στο πίσω μέρος του ματιού. Αποτελείται από νευρικό ιστό και φωτοποδοχείς που μετατρέπουν τις ακτίνες φωτός σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία πηγαίνουν στον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου.

Η ίριδα και ο φακός μέσα στο μάτι λειτουργούν μαζί σαν το μπροστινό μέρος φωτογραφικής μηχανής, επιτρέποντας τις ακτίνες του φωτός από ένα αντικείμενο να περάσουν στον αμφιβληστροειδή στο πίσω μέρος του ματιού, όπου η εικόνα εντυπώνεται αλλά ανεστραμμένη. Ο εγκέφαλος μετά αναλύοντας την εικόνα τη ξαναστρέφει στη κανονική της

θέση. Καθ' όλη τη διάρκεια ο φακός μέσα στο μάτι αλλάζει το σχήμα του προσαρμόζοντας το βάθος εστίασης που χρειάζεται για το μάτι να βλέπει καθαρά.



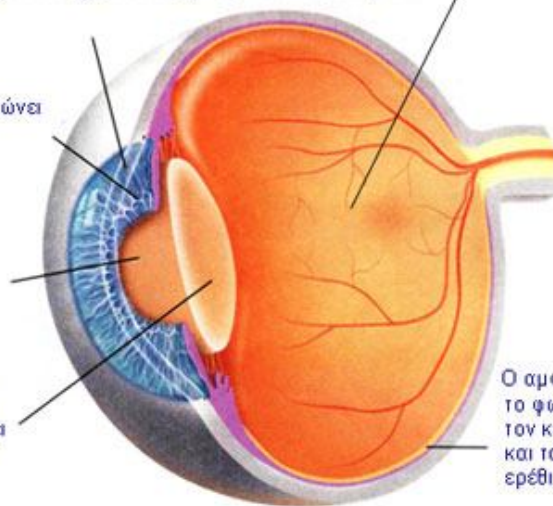
Ο κερατοειδής είναι το διαυγές, πρόσθιο, προστατευτικό τμήμα του ματιού. Είναι επίσης ένας πολύ δυνατός φακός εστίασης με δύναμη περίπου 45 διοπτριών.

Το διαφανές υαλώδες σώμα γεμίζει το εσωτερικό του βολβού.

Η ίριδα, το έγχρωμο τμήμα του ματιού, μεγαλώνει ή μικραίνει το άνοιγμα της κόρης.

Η κόρη είναι το μικρό άνοιγμα που επιτρέπει την είσοδο του φωτός στον οφθαλμό.

Ο φακός προβάλλει το φως επάνω στον αμφιβληστροειδή. Έχει δύναμη 18 διοπτριών περίπου.



Ο αμφιβληστροειδής δέχεται το φως που εστιάζεται από τον κερατοειδή και τον φακό και το μεταφράζει σε οπτικό ερέθισμα.

Το παρακάτω κείμενο δημοσιεύθηκε στο περιοδικό "Laser Focus" τον Αύγουστο του 1977.

Accident victim's view

Because laser injuries to eyes are rare, workers tend to discount the importance of safety precautions. The following dramatic account by Dr. C. David Decker, a victim of such an accident earlier this year was prepared in the hope that his experience may increase vigilance among his colleagues.

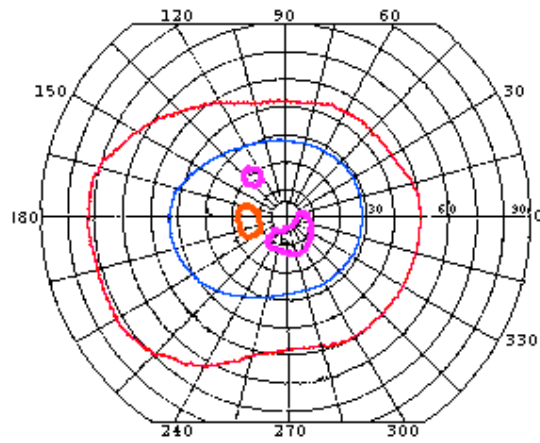
The necessity for safety precautions with high power lasers was forcibly brought to me last January when I was partially blinded by a reflection from a relatively weak Nd-YAG laser beam. Retinal damage resulted from a 6-millijoule, 10-nanosecond pulse of invisible 1064-nanometer radiation. I was not wearing protective goggles at the time, although they were available in the laboratory. As any experienced laser researcher knows, goggles not only cause tunnel vision and become fogged but they become very uncomfortable after several hours in the laboratory.

When the beam struck my eye I heard a distinct popping sound, caused by a laser-induced explosion at the back of my eyeball. My vision was obscured almost immediately by streams of blood floating in the vitreous humour, and by what appeared to be particulate matter suspended in the vitreous humour. It was like viewing the world through a round fishbowl full of glycerol into which a quart of blood and a handful of black pepper have been partially mixed. There was local pain within a few minutes of the accident, but it did not become excruciating. The most immediate response after such an accident is horror. As a Vietnam Veteran, I have seen several terrible scenes of human carnage, but none affected me more than viewing the world through my blood-filled eyeball. In the aftermath of the accident I went into shock, as is typical in personal injury accidents.

As it turns out, my injury was severe but not nearly as bad as it might have been. I was not looking directly at the prism from which the beam had reflected, so the retinal damage is not in the fovea. The beam struck my retina between the fovea and the optic nerve, missing the optic nerve by about three millimeters. Had the focused beam struck the fovea, I would have sustained a blind spot in the centre of my field of vision. Had it struck the optic nerve, I probably would have lost the sight of that eye.

Eye damage caused by laser pulse is shown in this plot of field of view under high-intensity illumination (red line) and under low-intensity illumination (blue line). Outer circles show field of view; the two small regions inside the field (pink) of view are blind spots produced by laser damage. The blind spots are larger than the lesion and occupy a larger area under low illumination. The optic nerve blind spot is orange, close to the lesions.

The beam did not strike so close to the optic nerve, however, that it wavered nerve-fiber bundles radiating from the optic nerve. This has resulted in a crescent shaped blind spot many times the size of the lesion. The diagram is a Goldman-Fields scan of the damaged eye, indicating the sightless portions of my field of view four months after the accident. The small blind spot at the top exists for no discernible reason; the lateral blind spot is the optic nerve blind spot. The effect of the large blind area is much like having a finger placed over one's field of vision. Also I still have numerous floating objects in the field of view of my damaged eye, although the blood streamers have disappeared. These "floaters" are more a daily hindrance than the blind areas, because the brain tries to integrate out the blind area when the undamaged eye is open. There is also recurrent pain in the eye, especially when I have been reading too long or when I get tired.



The moral of all this is to be careful and to wear protective goggles when using high power lasers. The temporary discomfort is far less than the permanent discomfort of eye damage. The type of reflected beam which injured me also is produced by the polarizers used in Q switches, by intracavity diffraction gratings, and by all beamsplitters or polarizers used in optical chains.