



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΡΑΠΕΙΑ ΜΕ LASER ΚΑΙ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ**

Σπουδάστριες: RAKDANI OULAYA

ΑΛΕΞΑΚΗ ΕΛΕΝΗ

Επιβλέπων καθηγητής

ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Αίγιο, Μάιος 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα εργασία με θέμα τη Θεραπεία με λέιζερ και προβλήματα όρασης περατώνονται οι σπουδές μας στο τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας του ΤΕΙ Πατρών που λειτουργεί στο Αίγιο από το 2007.

Η παρούσα εργασία πέραν της γνώσης και της εμπειρίας που μας προσέφερε λειτούργησε σαν εφαλτήριο για την συνέχιση των σπουδών μας με σωστές βάσεις σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Οφείλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χρήστο Σπηλιωτόπουλο για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε για την ανάθεση της εργασίας, αλλά και που μας έδωσε την ευκαιρία να εμβαθύνουμε στο αντικείμενο της οφθαλμικής χειρουργικής θεραπείας με laser, καθώς και την κ. Νικολέττα Μαλεβίτη.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την κ. Ελένη Λώλου, υπεύθυνη της βιβλιοθήκης του τμήματος για την πολύτιμη βοήθειά της στην ανεύρεση πληροφοριών για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστούμε τις οικογένειες μας και όλους τους φίλους μας για τη συμπαράσταση και υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μας θητείας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους σας!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας αποτελεί την απάντηση της ανθρώπινης διάνοιας στα προβλήματα και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανθρώπινη φύση και η κοινωνία. Χάρη σε αυτή, ο άνθρωπος μπόρεσε να εντοπίσει και να αναλύσει αιτίες προβλημάτων, όπως είναι οι ασθένειες, και με βάση τις ανακαλύψεις αυτές να εφεύρει τρόπους αντιμετώπισής τους. Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί εκατομμύρια επεμβάσεις διαθλαστικής χειρουργικής με εξαιρετικά αποτελέσματα. Ιδιαίτερα μετά από την εφαρμογή των συστημάτων laser στον οφθαλμολογικό τομέα, έχει πραγματοποιηθεί μια πραγματική επανάσταση. Πολλοί άνθρωποι έχουν απαλλαγεί από τα βοηθήματα οράσεως με αποτέλεσμα να έχουν διευκολύνει την καθημερινότητά τους, ενώ με την χρήση συστημάτων laser έχουν αντιμετωπιστεί ακόμη και οφθαλμολογικά προβλήματα τα οποία δεν μπορούσαν να αντιμετωπιστούν επιτυχώς με τις συνήθεις οφθαλμολογικές επεμβάσεις.

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελείται από το «φυσικό» κομμάτι, όπου αναλύονται με ποιοτικό τρόπο το τι είναι laser, οι ιδιότητες της ακτινοβολίας και τα συστήματα laser, ενώ στο δεύτερο σκέλος, όπου είναι και το «ιατρικό» κομμάτι, παρουσιάζεται η διαθλαστική χειρουργική μέσα από τις τεχνικές της αλλά και εφαρμογές των laser στον υπόλοιπο οφθαλμό.

Αν και η θεραπεία με λέιζερ μπορεί να βοηθήσει πολλούς ασθενείς που πάσχουν από διαφορετικές ασθένειες που προσβάλλουν τα μάτια, δεν μπορεί να είναι κατάλληλη για όλους. Οι ασθενείς θα πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένοι για την διαδικασία και τα πιθανά προβλήματα που μπορούν να προκύψουν, όπως επίσης και για τα θετικά αποτελέσματα στα οποία μπορούν να προσδοκούν.

ABSTRACT

The technology development is the response of the human intellect to the problems and challenges that human nature and society facing. Thanks to this, man was able to identify and analyze the causes of problems, such as diseases, and based on these discoveries, invented ways to overcome them. The last 20 years have been made millions of refractive surgeries with excellent results. Especially after the application of laser systems in the ophthalmologic field, has made a real revolution. Many people have been exonerated from low vision devices thus have facilitated their daily routine. While the use of laser systems have been addressed even eye problems which could not be successfully treated with conventional eye surgeries.

This project consist the “natural” part, where we investigate in a qualitative way what a laser is, the characteristics of its radiation and the laser systems, while, in the second part, which constitutes the “medical” piece, we are presenting the refractive surgery through its techniques and the applications of laser in the other parts of the eye.

The laser treatment can help many patients who suffering from various diseases affecting the eyes, although, it cannot be suitable for everyone. Patients should be fully informed about the procedure and the possible problems that may arise, as well as the positive results they can expect.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
<i>Ιστορικές αναφορές</i>	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	10
1.1 Τι είναι το laser – Γενικές ιδιότητες των Laser.....	10
1.2 Ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser	10
1.3 Τύποι laser	15
1.4 Εφαρμογές των laser.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	16
2.1 Μέρη Συστήματος laser	16
2.2 Αρχή λειτουργίας των laser	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	20
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
3.1 Ανατομία Οφθαλμού	20
3.1.1 Βλέφαρα και βλεφαρίδες.....	20
3.1.2 Εσωτερική δομή οφθαλμού.....	21
3.1.3 Αμφιβληστροειδής χιτώνας:	21
3.1.4 Οπτικό νεύρο και οπτικός φλοιός	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	23
4.1 Ο ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ	23
4.1.1 Ανατομία κερατοειδούς.....	23
4.1.2 Ιστολογική δομή του κερατοειδή.....	23
4.1.3 Ο κερατοειδής χιτώνας σαν οπτικό στοιχείο.....	25
4.1.4 Η διαφάνεια του κερατοειδή.	26
4.2 ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ	27
4.2.1 Κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος στον γενικό πληθυσμό	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	34
ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΕ LASER	34
5.1 Προεγχειρητικός έλεγχος.....	34
5.2 Ποιοι είναι κατάλληλοι υποψήφιοι για διαθλαστική επέμβαση	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	39
6.1 Τρόπος εφαρμογής της δέσμης laser ανάλογα με το διαθλαστικό σφάλμα	39
6.1.1 Φωτοδιαθλαστική κερατεκτομή (PRK PhotorefractiveKeratectomy)	39
6.1.2 LASIK (με ExcimerLaser).....	40
6.1.3 PTK (PhototherapeuticKeratectomy).....	41

6.3.4 FemtosecondLASIK (Μέθοδος διαθλαστικής διόρθωσης με τη χρήση FemtosecondLaser).....	42
6.3.5 Epi-LASIK.....	42
6.3.6 LASEK.....	43
6.3.7 Θερμοκερατοπλαστική (TKP)	44
6.3.8 Αστιγματική Κερατοτομή - Astigmatic Keratotomy (AK).....	45
6.3.9 ASLA (All Surface Laser Ablation)	46
6.4 Άλλες Επεμβάσεις.....	47
6.4.1 Ένθεση Ενδοφακού.....	47
6.4.2 Φακικός Ενδοφακός PhakicIntraocularLens (IOL) Implantation	47
6.4.3 Laser στην διόρθωση πρεσβυωπίας	48
6.4.3.1 Πολυεστιακό Laser (Presby-LASIK).....	48
6.4.3.2LasikMonovision	50
6.4.4 Laser στην χειρουργική αντιμετώπιση του γλαυκώματος	51
6.4.6 Laser στην αντιμετώπιση παθήσεων του αμφιβληστροειδή	56
6.4.7 Laser και Δευτερογενής Καταρράκτης	57
6.4.7.1 Δευτερογενής Καταρράκτης – Θόλωση Οπισθίου Περιφακίου	58
6.4.7.2 Θεραπεία με χρήση laser	58
6.4.8 Laser στην αντιμετώπιση του κερατόκωνου.....	59
6.4.8.1 Διασύνδεση κολλαγόνου (UV-CXL).....	60
6.4.8.2 PRK + UV-CXL	61
6.4.8.3 Σύγχρονη κερατοπλαστική.....	61
6.4.8.4 Στρωματική μεταμόσχευση κερατοειδή (Lamellarkeratoplasty)	62
6.5 Επιπλοκές.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	65
7.1 Αλληλεπίδραση laser – βιολογικού ιστού.....	65
7.2 Εφαρμογές των laser στην οφθαλμολογία.....	65
7.3 Excimer Laser	66
7.3.1 Excimer Laser στην οφθαλμολογία- μηχανισμός φωτοαποδόμησης.....	67
7.4 Femtosecond Laser	68
7.4.1 Αρχή λειτουργίας του FemtosecondLaser	69
7.4.2 Αλληλεπίδραση Femtosecond laser - ιστού.....	70
7.4.3 Εφαρμογές στη διαθλαστική χειρουργική	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο	73
8.1 Ασφαλής χρήση των Laser	73
8.2 Κατηγοριοποίηση των Laser σε ομάδες, για λόγους ασφάλειας	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΤΑ LASER ΣΤΗΝ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΑ

Ιστορικές αναφορές

Η ιδέα να χρησιμοποιηθεί φωτεινή ακτινοβολία για την θεραπεία ορισμένων οφθαλμικών παθήσεων άρχισε να γεννιέται από πολύ παλιά όταν παρατηρήθηκε για πρώτη φορά ότι το ηλιακό φως μπορούσε να προκαλέσει μόνιμες αλλοιώσεις στον αμφιβληστροειδή. Ο πρώτος που μελέτησε τα φαινόμενα του ηλιακού και τεχνητού φωτός στην δομή του οφθαλμού τριών ασθενών που έπασχαν από κακοήθεις οφθαλμικούς όγκους ήταν ο Luigi Maggioro το 1927.

Τα πρώτα κλινικά πειράματα φωτοπηξίας αμφιβληστροειδή όμως έγιναν στην στέγη του πανεπιστημιακού νοσοκομείου της Heidelberg στην Γερμανία από τον Gred Meyer Schwickerath και τα αποτελέσματα του ανακοινώθηκαν στην Γερμανική Οφθαλμολογική Εταιρεία το 1949. Αυτή ήταν και ιστορικά η πρώτη εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε το ηλιακό φως το οποίο με ένα σύστημα φακών συνέκλινε στον αμφιβληστροειδή του ασθενούς. Παράλληλα το 1950 ο Moran Salas οφθαλμίατρος από την Σεβίλλη δημοσίευσε τις εμπειρίες του από την θεραπευτική εφαρμογή της φωτοπηξίας.



Ο Meyer Schwickerath βελτίωσε την μέθοδο χρησιμοποιώντας φωτεινή ακτινοβολία φωτοβολταϊκού τόξου και το 1956 λυχνία με Xenon και οδήγησε στην κλινική ανάπτυξη της φωτοπηξίας του αμφιβληστροειδή. Παράλληλα στην Ιταλία ο Emilio Raverdino με την βοήθεια της οικογένειας Prevost που κατασκεύαζε μηχανήματα προβολής κινηματογράφου επινόησε ένα μηχάνημα φωτοπηξίας Xenon. Τα μηχανήματα φωτοπηξίας με λευκό φως, που παρήγαγε μια λάμπα Xenon διαδόθηκαν μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 60.

Η φωτοπηξία του αμφιβληστροειδούς με αυτό το φως επηρέαζε όλα τα στρώματα του αμφιβληστροειδούς και του χοριοειδούς, δεν επέτρεπε μικρή εστία ώστε να πλησιάσει την περιοχή της ωχράς κηλίδας, ήταν δύσχρηστη και ο πόνος που προκαλούσε κάθε βολή ήταν έντονος κι αυτό καθιστούσε απαραίτητη την οπισθοβόλβια αναισθησία. Παρ όλα αυτά η φωτοπηξία με Xenon άνοιξε νέους ορίζοντες στην οφθαλμολογία και για πρώτη φορά επιτεύχθηκε πρόληψη αποκόλλησης αμφιβληστροειδούς.

Τα μειονεκτήματα της φωτοπηξίας με Xenon οδήγησαν στην άμεση εφαρμογή της φωτοπηξίας laser σαν πρώτη κλινική εφαρμογή, όταν αυτή διαδόθηκε εμπορικά. Ο Christian Sweng το 1963 ήταν ο πρώτος που μελέτησε τα αποτελέσματα της φωτοπηξίας Laser στον αμφιβληστροειδή, χρησιμοποιώντας ένα Ruby laser. Πολλοί ερευνητές άρχισαν να χρησιμοποιούν πειραματικά το Ruby Laser αλλά το ερυθρό χρώμα της ακτίνας και το είδος της παλλόμενης ακτινοβολίας έκανε δύσκολη της κλινική του χρήση, με δημιουργία φυσαλίδων ατμού και αιμορραγιών στον αμφιβληστροειδή κατά την διάρκεια της αγωγής.

Το 1968 ο Francis L'Esperance στην Νέα Υόρκη, ακολουθούμενος από τους Hunter Little και Christian Zweng εγκαινίασαν την εποχή της κλινικής χρήσης της φωτοπηξίας Laser με μηχανήματα Argon Laser τα οποία παράγονται σε βιομηχανική κλίμακα από το 1971 (το 1972 εισήχθη το πρώτο μηχάνημα Argon Laser στην Ελλάδα και χρησιμοποιήθηκε στην Πανεπιστημιακή Οφθαλμολογική Κλινική της Αθήνας).

Το 1972 ο L'Esperance άρχισε να πειραματίζεται με το Krypton και τα μονοχρωματικά πράσινα Laser. Τα πρώτα Laser με χρωστική (Dye Laser) κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν στην Ιταλία από τους Brancato και Pratesi το 1972 αλλά αναπτύχθηκαν σε βιομηχανικό επίπεδο μόνο το 1983. Εκτοτε εμφανίζονται νέες συσκευές Laser όπως το Nd:Yag Laser για την τεμαχισμό ιστών, το neodymium free running Laser για την διασκληρική φωτοπηξία και τα πρώτα μηχανήματα που χρησιμοποιούσαν ημιαγωγούς διόδων (Diode Laser – Brancato, Pratesi) το 1984-86.

Την ίδια εποχή στην Βοστώνη ο Carmen Puliafito μελετούσε την ενδοφωτοπηξία με laser. Οι θεωρητικές και κλινικές μελέτες συνεχίζονται συνεχώς και εμφανίζονται όλο και πιο ελαφρά και μικρά μηχανήματα εύχρηστα και αξιόπιστα.

Τι είναι πραγματικά το LASER;

Ακτίνες LASER

Είμαστε προκατειλημμένοι να σκεπτόμαστε τις ανακαλύψεις ως στιγμιαία γεγονότα και όχι ως μακρές και επίπονες διαδικασίες. Η κατασκευή των LASERS υπήρξε μια τέτοια διαδικασία. Η αρχική ιδέα του LASER αναφέρεται από τον Max Planck, φυσικό του 19ου αιώνα, ο οποίος πίστευε ότι η ενέργεια αποτελείται από μικρά πακέτα quanta ή φωτόνια.

Το φωτόνιο είναι πακέτο ενέργειας συγκεκριμένου μήκους κύματος. Ο Niels Bohr προώθησε αυτήν την ιδέα δημιουργώντας την θεωρία ότι ένα άτομο αποτελείται από τον κεντρικό πυρήνα που περιβάλλεται από μια σειρά ενεργειακών πεδίων που περιέχουν ηλεκτρόνια. Το επίπεδο ενέργειας ενός ατόμου εξαρτάται από την τροχιά που βρίσκεται το ηλεκτρόνιο. Όσο πιο μακριά από τον πυρήνα βρίσκεται το ηλεκτρόνιο τόσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο ενέργειάς του. Ο Bohr πίστευε ότι εάν ένα ηλεκτρόνιο λάβει ένα quantum ενέργειας, θα μεταβεί σε μεγαλύτερη ενεργειακή τροχιά και εάν ένα ηλεκτρόνιο μεταπέσει σε χαμηλότερη τροχιά εκπέμπει ενέργεια ενός φωτονίου.

Ο πρώτος ο οποίος περιέγραψε θεωρητικά την ενέργεια LASER ήταν ο Einstein το 1911. Πίστευε ότι με εξαναγκασμένη αύξηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων και την συντεταγμένη και ταυτόχρονη μετάπτωση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη (εκπομπή φωτονίων) ήταν δυνατόν να παραχθεί φωτεινή ενέργεια μεγάλης έντασης. Το όνομα LASER είναι ακρωνύμιο της φράσης Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.



Πρακτικά η κατασκευή και η εφαρμογή του LASER άρχισε τον Σεπτέμβριο του 1957 όταν ο Charles H. Townes (Nobelφυσικής 1964) από το Πανεπιστήμιο Columbi αέγραψε στο σημειωματάριό του την ιδέα για κατασκευή maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) με οπτική συχνότητα διότι ο ίδιος με τον James P. Gordon και με την βοήθεια του Herbert J. Zeiger είχαν ήδη ασχοληθεί με αυτό το θέμα και είχαν κατασκευάσει το πρώτο MASER (microwave amplification by stimulated mission of radiation) ταλαντωτή με μήκος κύματος 1.25 cm στο Πανεπιστήμιο Columbia την άνοιξη του 1954.

Η ιδέα να χρησιμοποιηθεί η ίδια τεχνική για να δημιουργηθεί συμπαγής ακτινοβολία με μήκος κύματος χιλιοστών, μέχρι και υπέρυθρου προβλημάτιζε την επιστημονική κοινότητα παρά τις δυσκολίες του εγχειρήματος.



Τα πρώτα πειράματα για την δημιουργία Laser άρχισαν από τον Townes σε συνεργασία με τον γαμπρό του Arthur L. Schawlow, μεταπτυχιακό φοιτητή. Τα κεφάλαια της έρευνας τα διέθεσε το τμήμα έρευνας της Αεροπορίας των ΗΠΑ (AFOSR: Air Force Office of Scientific Research).

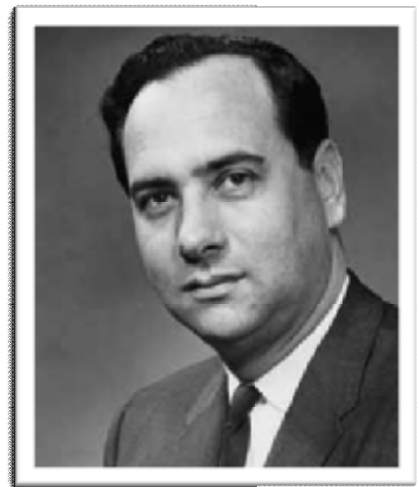
Πολλοί ερευνητές σε διάφορα ερευνητικά κέντρα άρχισαν να μελετούν παράλληλα και ανεξάρτητα μεταξύ τους την δυνατότητα κατασκευής ακτίνας Laser.

Στις 7 Ιουλίου του 1960 η εταιρεία Hughes Aircraft στην Pasadena της Καλιφόρνιας έδωσε συνέντευξη τύπου όπου ανακοινώθηκε ότι στο εργαστήριο του καθηγητή Theodore Maiman πραγματοποιήθηκε μία από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις της σύγχρονης φυσικής: γεννήθηκε το L.A.S.E.R.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Maiman είχε στείλει στις 24 Ιουνίου ένα άρθρο με θέμα Optical Maser Action in Ruby στον Samuel Goudsmit, εκδότη του περιοδικού Physical Review Letters το οποίο απορρίφτηκε. Τελικά έστειλε ένα περιληπτικό γράμμα στο περιοδικό Nature {Nature 187,493(1960)}

Οι έρευνες για το LASER (φωτεινή συχνότητα) ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 1960 όταν οι Ali Javan, William Bennett και Donald Herriott των Bell Telephone Laboratories λειτούργησαν το πρώτο συνεχές LASER.

Η επιστημονική ομάδα του Bell Telephone Laboratories έστειλε τον Αύγουστο του 1960 στο έγκριτο περιοδικό Physical Review Letters μία αναλυτική εργασία για την κατασκευή ruby laser η οποία τελικά δημοσιεύθηκε τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Για τον λόγο αυτό η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε αρχικά αυτό το εργαστήριο τον εφευρέτη του Laser.



Τα Laser αρχικά κατασκευάστηκαν για την πολεμική βιομηχανία αλλά είχαν πολλούς ενδιαφερόμενους. Εφαρμόστηκαν σαν επιστημονικό όργανο σε υψηλής ανάλυσης σπεκτροσκόπιο, οι οπτικές τους ιδιότητες ενδιέφεραν τις τηλεπικοινωνίες, η μεγάλη ένταση της δέσμης τους ενδιέφερε τις ένοπλες δυνάμεις, οι οποίες ενδιαφέρονταν για αντί πυραυλικά συστήματα, ελαφρά και μεγάλης ευκρίνειας ραντάρ και πολλές άλλες εφαρμογές.

Ένας παράγοντας που επιτάχυνε τις έρευνες για νέες εφαρμογές την διετία 58-60 ήταν ο στρατιωτικός ανταγωνισμός των ΗΠΑ με την Σοβιετική Ένωση μετά την εκτόξευση του Sputnik τον Οκτώβριο του 1957.

Η ιστορία της κατασκευής LASER θα ήταν ελλιπής εάν δεν αναφέρουμε τον Gordon Gould. Ο Gordon Gould υπήρξε φοιτητής του Charles Townes στο πανεπιστήμιο Columbia Είχε πρώτος την ιδέα να κατασκευαστεί μία στενή αλλά μεγάλης έντασης ακτίνα που της έδωσε το όνομα LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) και σχεδίασε στο επιστημονικό του σημειωματάριο τον τρόπο κατασκευής αυτής της συσκευής. Παρ όλο που κατοχύρωσε σε συμβολαιογράφο το όνομα LASER, δεν του εδόθη η άδεια συμμετοχής στην κατασκευή διότι ως απόρρητη πολεμικής χρήσης συσκευή απαιτούσε ειδικό πιστοποιητικό νομιμοφροσύνης. Ο Gordon Gould εθεωρείτο με τα αμερικανικά πρότυπα κομμουνιστής λόγω της πολιτικής του δράσης.

Μετά τριάντα χρόνια δικαστικούς αγώνες και έχοντας ξοδέψει το 80% των δικαιωμάτων του σε δικαστικά έξοδα κατοχύρωσε την αποκλειστικότητα και πέθανε το 2005 πλούσιος. Παρ' όλα αυτά πατέρας του Laser θεωρείται ο Theodor H. Maiman ο οποίος τον Ιούλιο του 1960 ανακοίνωσε στο Hughes Research Laboratories ότι κατασκεύασε Ruby Laser.

Συστήματα μετάδοσης ακτινοβολίας. Οι πρώτες συσκευές φωτοπηξίας laser

Οι πρώτες συσκευές φωτοπηξίας laser έτειναν να προσαρμόζονται σε οφθαλμοσκόπια και η δέσμη laser μετεδίδετο με έναν ή περισσότερους φακούς οι οποίοι επέτρεπαν στο χειριστή τον έλεγχο της εστίασης. Σήμερα το φως laser διοχετεύεται με μία οπτική ίνα σε ένα μικροσκόπιο τύπου διόπτρας (τη σχισμοειδή λυχνία).

Η δέσμη laser μπορεί να διοχετευθεί στο όργανο αυτό τοποθετώντας ένα κάτοπτρο υψηλής ανακλαστικότητας σε θέση 45° μεταξύ των δύο αντικειμενικών φακών του μικροσκοπίου. Η λεπτή ρύθμιση μπορεί να γίνεται με ένα χειριστήριο που μπορεί να συνδέεται με το κάτοπτρο το οποίο μπορεί να κατευθύνει τη δέσμη όπως χρειάζεται. Η δέσμη laser συγκλίνει σε μία εστία που βρίσκεται γενικά στο επίπεδο της εξέτασης, αλλά το μέγεθος της κηλίδας μπορεί να αυξηθεί με από εστίαση της δέσμης.

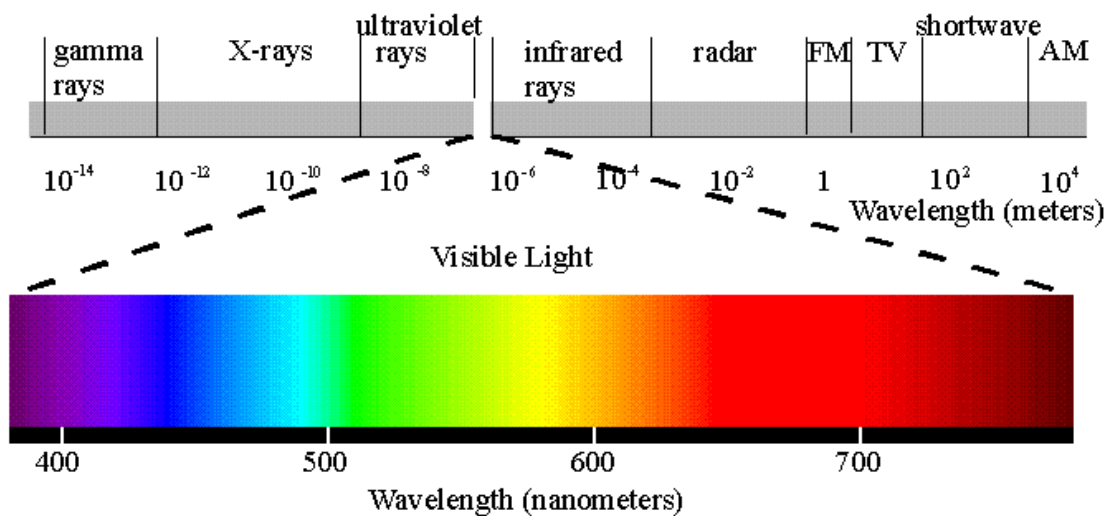
Ποιοι μπορούν να εκτελέσουν τη χειρουργική επέμβαση με λέιζερ;

Η επέμβαση με λέιζερ είναι χειρουργική επέμβαση, αλλά χωρίς τη χρησιμοποίηση χειρουργικού νυστεριού. Οποιαδήποτε χειρουργική διαδικασία ανεξάρτητα από το πόσο "απλή" φαίνεται, έχει τη δυνατότητα να γίνει περίπλοκη και να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες στον ασθενή. Το κλειδί για μια καλή έκβαση, είναι η προσεκτική επιλογή των ασθενών ,που θα ωφελούνταν από τη χειρουργική επέμβαση, από έναν πεπειραμένο αλλά και επιδέξιο χειρουργό. Ο χειρουργός που χρησιμοποιεί τα λέιζερ πρέπει να ξέρει την τεχνολογία, να έχει εκπαιδευθεί καλά στη χρήση τους και να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις πιθανές περιπλοκές-επιπλοκές. Λόγω των παραπάνω, μόνο οι ιατροί πρέπει να εκτελούν τη χειρουργική επέμβαση.

Οι οφθαλμολόγοι βρίσκονται μεταξύ των πρωτοπόρων και των καινοτόμων στον τομέα της χειρουργικής επέμβασης με λέιζερ. Γίνονται ειδικοί στις τεχνικές χειρουργικών επεμβάσεων με λέιζερ, παρακολουθώντας σειρά μαθημάτων κατάρτισης, συνεχόμενων εκπαιδευτικών σεμιναρίων και μέσω της εκτέλεσης των χειρουργικών επεμβάσεων, υπό την καθοδήγηση των πιο πεπειραμένων χειρουργών.

1.1 Τι είναι το laser– Γενικές ιδιότητες των Laser

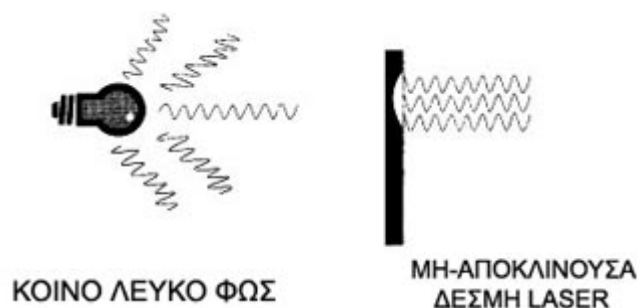
Το laser είναι μια πηγή φωτός η οποία παράγει μια δέσμη σχεδόν μονοχρωματικού φωτός με υψηλό βαθμό συμφωνίας, σαν αποτέλεσμα συντονισμένης εκπομπής από πολλά άτομα. Η λέξη Laser προέρχεται από τα ακρωνύμια των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, δηλαδή ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας (Εικόνα 1). Στην ουσία ένα laser είναι ένας ενισχυτής φωτός που παράγει μια έντονη δέσμη φωτονίων τα οποία έχουν την ίδια συχνότητα, φάση και διεύθυνση.



Εικόνα 1 Το φάσμα της ακτινοβολίας

1.2 Ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser

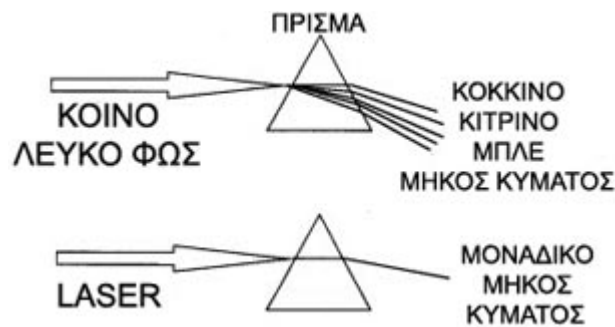
Ο λόγος που μια δέσμη laser να ξεχωρίζει από μία απλή δέσμη φωτός οφείλεται στα εξής ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει: λαμπρότητα, μονοχρωματικότητα, συμφωνία, κατευθυντικότητα και πόλωση. Από τα αναφερόμενα, το χαρακτηριστικό που τονίζει την ιδιαιτερότητα του laser είναι η συμφωνία, χαρακτηριστικό που εκλείπει από το κοινό φως.



Εικόνα 2 Δέσμη φωτός από λαμπτήρα πυρακτώσεως και δέσμη laser

A. Μονοχρωματικότητα

Η πιο ενδιαφέρουσα ίσως ιδιότητα των Laser είναι η μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας τους, δηλαδή τα σωματίδια της δέσμης έχουν ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (λ) ή ένα περιορισμένο εύρος μήκους κυμάτων. Αν και μια πηγή φωτός δεν μπορεί να δώσει απόλυτα μονοχρωματικό φως, τα Laser δίνουν την καλύτερη υπαρκτή προσέγγιση προς το ιδανικό μονοχρωματικό φως (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 Μονοχρωματικότητα laser

B. Κατευθυντικότητα (τα φωτόνια της δέσμης έχουν όλα την ίδια διεύθυνση)

Μια δέσμη laser δεν παρουσιάζει αποκλίσεις κατά την πορεία της γιατί αποτελείται από κύματα που ταξιδεύουν παράλληλα μεταξύ τους προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση χωρίς εκτροπές (και συνεπώς χωρίς απώλειες ενέργειας). Αυτό επιτρέπει στη δέσμη laser να εστιάζει με πολύ μεγάλη ένταση σε ένα σημείο. Τα συνηθισμένα κύματα φωτός διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις (εκτροπές) και έτσι χάνουν γρήγορα την ενέργειά τους.



Εικόνα 4 Σύγκριση κατανομής έντασης laser και κοινού φωτός

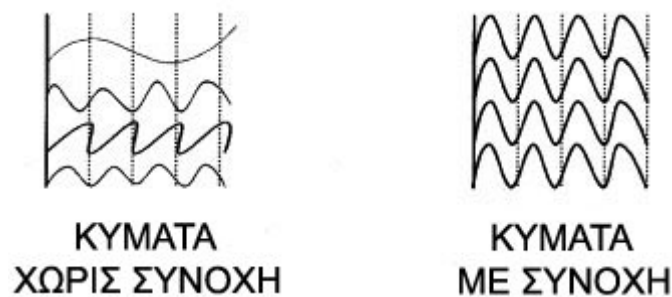
Γ. Λαμπρότητα δέσμης (Τεράστια συγκέντρωση ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας)

Τα Laser είναι πηγές ακτινοβολίας με μεγάλη λαμπρότητα, και έντασης ακτινοβολίας. Όπως προαναφέρθηκε, η ακτινοβολία laser εστιάζεται σε ένα σημείο. Η δέσμη laser δηλαδή ξεκινάει από την πηγή εκπομπής της και καταλήγει στο σημείο διατηρώντας στην πορεία της σχεδόν αναλλοίωτες τις ιδιότητες της (διάμετρος, χρώμα). Η δέσμη φωτός laser μπορεί να μεταφερθεί είτε άμεσα στον αέρα όπως το κοινό φως είτε μέσω ειδικών μεταφορέων. Η ενέργεια που έχει η ακτινοβολία laser είναι τεράστια (σε ένα τετραγωνικό εκατοστό είναι

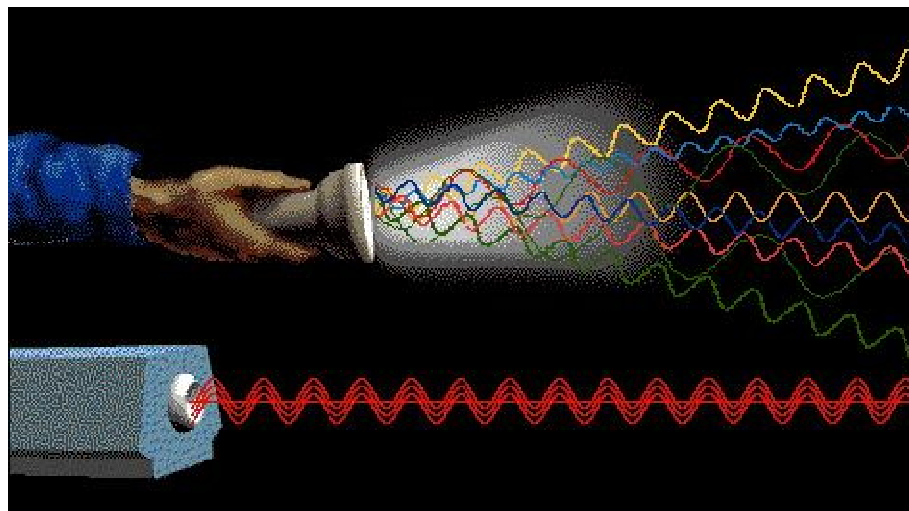
360000 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που έχει η ηλιακή ακτινοβολία). Παρεμβάλλοντας επιπλέον ειδικούς φακούς, η ενέργεια της ακτινοβολίας laser που απελευθερώνεται σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό μπορεί να αυξηθεί ακόμη μέχρι και 1000 φορές.

Δ. Σύμφωνη ακτινοβολία

Η φωτεινή δέσμη του laser παρουσιάζει συμφωνία, που σημαίνει ότι τα φωτεινά κύματα που την αποτελούν κινούνται ταυτόχρονα σε ίδιες φάσεις στον χρόνο και στο χώρο (ίδιες συχνότητες) (Εικόνα 5). Αντιθέτως, το κοινό φως (π.χ. το φως ενός λαμπτήρα), συνήθως δεν παρουσιάζει αυτή την ιδιότητα καθώς αποτελείται από διαφορετικά φωτεινά κύματα με διαφορετικές συχνότητες που διαχέονται προς διαφορετικές κατευθύνσεις (Εικόνα 6). στα laser συναντάται ο μεγαλύτερος βαθμός συμφωνίας από οποιαδήποτε άλλη πηγή φωτός για αυτό και η συμφωνία αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους.



Εικόνα 5 Συμφωνία laser



Εικόνα 6 Διαφορά συχνοτήτων απλού φωτός με laser

Ε. Η πόλωση της δέσμης laser

Το φως που εκπέμπεται από τις συνηθισμένες φωτεινές πηγές είναι συνήθως μη πολωμένο ή μερικώς πολωμένο. Αντίθετα, πολλά laser παράγουν πολωμένο φως είτε λόγω της φύσης και της μοριακής διάταξης του ενεργού υλικού τους (π.χ. ρουμπίνιο), είτε λόγω προσθήκης πολωτικών στοιχείων στο οπτικό αντηχείο (π.χ. πρίσματα, φράγματα ανάκλασης).

1.3 Τύποι laser

Το ενεργό υλικό που χρησιμοποιείται για το εκάστοτε σύστημα laser είναι και αυτό που χαρακτηρίζει τον τύπο του laser. Το ενεργό υλικό αποτελείται από ένα πλήθος ατόμων ή μορίων που μπορούν να διεγερθούν σε κατάσταση αναστροφής πληθυσμού και με τη βοήθεια της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας να εκπέμψουν ακτινοβολία. Ο συνδυασμός του ενεργού υλικού και της οπτικής κοιλότητας είναι αυτός που θα καθορίσει σε ποιο μήκος κύματος μπορεί να εκπέμψει laser.

Έτσι ανάλογα με το ενεργό υλικό που χρησιμοποιούν τα laser διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- I) υγρής κατάστασης
- II) Αέριας κατάστασης
- III) Στερεάς κατάστασης
- IV) ημιαγωγών

I) Laser υγρής κατάστασης

Τα μόνα laser στα οποία το ενεργό υλικό είναι σε υγρή μορφή είναι τα laser οργανικών χρωστικών (dye laser). Το ενεργό υλικό αποτελείται από διάλυμα μμεγάλων οργανικών μορίων χρωστικών διαλυμένα σε υγρούς διαλύτες (μεθανόλη, αιθελυνογλυκόλη, διοξάνη, κλπ) σε συγκεντρώσεις τάξης 1:10.000. Το χαρακτηριστικό των laser αυτής της κατηγορίας είναι ότι μπορούν να εκπέμψουν σε διάφορα μήκη κύματος. Κάποιες από τις οργανικές χρωστικές που χρησιμοποιούνται στα dye laser είναι οι παρακάτω: Οξαδιαζόλη, Ολιγοφαινυλένιο, Στιλβένιο, Κουμαρίνη, Ξανθένιο, Μεροκυανίνη, Κυανίνη.

II) Laser αέριας κατάστασης

Τα περισσότερα από τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα μπορούν να παράγουν ακτινοβολία laser όταν βρεθούν σε αέρια κατάσταση και κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Ένα από τα σημαντικότερα laser αερίων είναι το laser He-Ne το οποίο χρησιμοποιεί ως ενεργό υλικό άτομα He και Ne. Άλλα laser αυτής της κατηγορίας είναι το Laser ιόντων Αργού με ενεργό υλικό τα ιόντα Ar^{+} που εκπέσει σε διάφορα μήκη κύματος με σημαντικότερα εκείνα των 514.5 και 488 nm, το laser διοξειδίου του άνθρακα με ενεργό υλικό το CO_2 , το laser μονοξειδίου του άνθρακα με ενεργό υλικό το CO το οποίο εκπέμπει στα 5-6 μm , το laser Αζώτου με ενεργό υλικό το αέριο Αζωτο (N_2) και άλλα.

III) Laser στερεής κατάστασης

Στα laser αυτά, το ενεργό υλικό είναι στερεό συνήθως υπό την μορφή πρόσμειξης μΕΣΑ σε κάποιο κρύσταλλο υποδοχέα. Η λειτουργία των περισσότερων laser στερεάς κατάστασης περιγράφεται μέσω των συστημάτων 3 ή 4 επιπέδων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το Ruby laser (laser Ρουβιδίου) όπου ως ενεργό υλικό χρησιμοποιείται ο κρύσταλλος του ρουβιδίου (ρουπία). Το laser Ρουβιδίου εκπέμπει στα 694.3 nm (ερυθρό).

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν επίσης τα laser Νεολαίου (Nd-Lasers), στα οποία τρισθενή ιόντα νεοδυμίου (Nd^{+3}) χρησιμοποιούνται ως προσμείξεις μέσα σε κάποιο άλλο υλικό που

είναι ο υποδοχέας. Τα κυριότερα υλικά υποδοχείς που χρησιμοποιούνται στα laser αυτής της κατηγορίας είναι τα εξής:

A) κρύσταλλος Υτρίου - Αλουμινίου ($Y_3Al_5O_{12}$ Æ YAG (Yttrium Aluminum Garnet))

B) γυαλί (SiO_2 και άλλες προσμείξεις)

Γ) κρύσταλλος Υτρίου – Λιθίου – Φθορίου ($LiYF_4$)

Τα laser Nd:YAG εκπέμπουν στα 1064 nm.

Τέλος άλλα Laser αυτής της κατηγορίας είναι το laser Αλεξανδρίτη ($Cr^{+3}:BeAl_2O_4$) με ενεργό υλικό το χρώμιο υπό την μορφή τρισθενών ιόντων (Cr^{+3}) ως πρόσμειξη σε περιεκτικότητες από 0.01 ως 0.4% κατά βάρος σε κρυστάλλους $BeAl_2O_4$ το οποίο εκπέμπει στα 680 nm, το laser Ti:Sapphire, στο οποίο τρισθενή ιόντα τιτανίου (Ti^{+3}) αντικαθιστούν μερικά άτομα Al μέσα στο πλέγμα του κρυστάλλου Al_2O_3 σε περιεκτικότητα 0.1% κατά βάρος δημιουργώντας το ενεργό υλικό $Ti:Al_2O_3$, το laser Cr:LiCaF με ενεργό υλικό τον κρύσταλλο Cr:LiCaF, το laser Cr:LiSAF με ενεργό υλικό τον κρύσταλλο Cr:LiSrAlF καθώς και άλλα.

IV) Laser ημιαγωγών

Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν τα laser που χρησιμοποιούν για ενεργό υλικό κάποιον ημιαγωγό. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται επεξεργασμένοι κρυσταλλοδιόδοι GaAs (γαλιούχο αρσενικό), GaP (γαλλιούχος φώσφορος), InSb (ινιδιούχο αντιμόνιο), InAs (ινιδιούχο αρσενικό), InP (ινιδιούχος φώσφορος).

Τέλος ανάλογα με τον τρόπο εξόδου της δέσμης τα συστήματα laser διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα συνεχή και τα παλμικά. Τα laser συνεχούς λειτουργίας εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία λόγω της συνεχούς τους άντλησης. Αντίθετα τα παλμικά laser εκπέμπουν την ακτινοβολία με την μορφή οπτικών παλμών. Ανάλογα με την διάρκεια του παλμού, την ενέργεια του παλμού, το repetitionrate (ρυθμό επανάληψης) και το μήκος κύματος, υπάρχουν πολύ διαφορετικοί τρόποι για την δημιουργία των παλμών

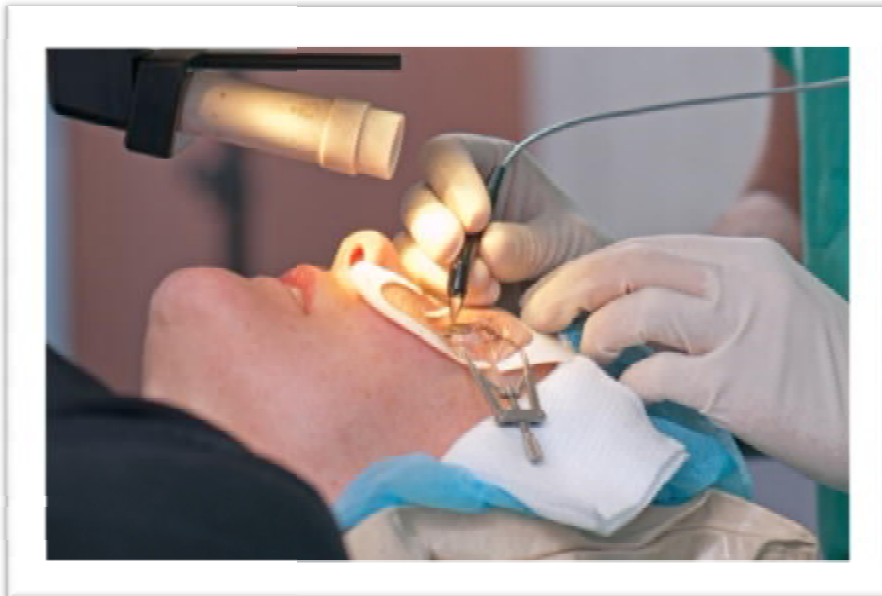


Εικόνα 7 Καλώδιο οπτικών ινών

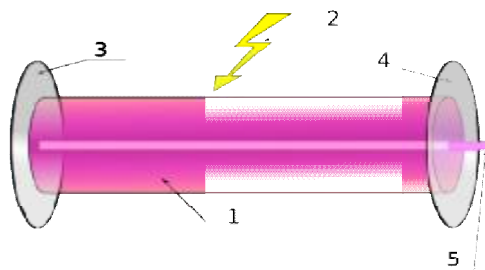
1.4 Εφαρμογές των laser

Όλες οι εφαρμογές των Laser βασίζονται σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ενώ είναι ατελείωτες και σχεδόν καθημερινά, εφευρίσκονται και νέες. Μερικοί από τους τομείς εφαρμογής του αναφέρονται παρακάτω.

- § Τηλεπικοινωνίες (καλώδια οπτικών ινών, δορυφορικές ζεύξεις)
- § Προϊόντα καταναλωτών (π.χ. CD)
- § Εξοπλισμός γραφείου (π.χ. εκτυπωτές, Fax, αναγνώστες barcode)
- § Μέσα οπτικής αποθήκευσης (π.χ. Η/Υ, σκληροί δίσκοι)
- § Όργανα ανίχνευσης και ελέγχου (συμβολόμετρα, μετρητές κτλ)
- § Ιατρικές εφαρμογές
- § Εφαρμογές στην βιομηχανία (για μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας)
- § Εφαρμογές στην επιστήμη και την έρευνα (π.χ. φασματοσκοπία, ψύξη ατόμων)



2.1 Μέρη Συστήματος laser



1. Ενεργό υλικό του Λείζερ
2. Προσφερόμενη ενέργεια άντλησης
3. Υψηλής ανακλαστικότητας κάτοπτρο
4. Διάταξη εξόδου δέσμης
5. Δέσμη Λείζερ

i. Το ενεργό υλικό

Είναι μία «συλλογή» ατόμων ή μορίων ή ιόντων η οποία μπορεί να διεγερθεί και να οδηγηθεί σε κατάσταση αντιστροφής πληθυσμών. Η συλλογή αυτή μπορεί επίσης να αποδώσει ΗΜΑ με εξαναγκασμένη εκπομπή.

Έχουν δημιουργηθεί εκατοντάδες ενεργά υλικά σε στερεή, υγρή, αέρια μορφή όπως και σε μορφή πλάσματος, καθένα από τα οποία εκπέμπει το δικό του χαρακτηριστικό μήκος κύματος, ανάλογα με τις ενεργειακές διαφορές των επιτρεπομένων επιπέδων του.

ii. Ο μηχανισμός διέγερσης

Είναι η πηγή ενέργειας που διεγείρει τα άτομα (ή μόρια, ή ιόντα), του ενεργού υλικού δημιουργώντας την αντιστροφή των πληθυσμών.

Σύμφωνα με τον νόμο της διατήρησης της ενέργειας, η εξερχόμενη ΗΜΑ¹ από τη συσκευή Laser πρέπει πάντοτε να έχει λιγότερη ενέργεια από όση πρόσφερε ο μηχανισμός διέγερσης. Υπάρχουν Laser με απόδοση μικρότερη του 1%, όπως υπάρχουν και άλλα με απόδοση κοντά στο 100%.

Μηχανισμοί διέγερσης είναι:

α. οπτική άντληση (διέγερση με φωτόνια): Είναι ο συνηθέστερος μηχανισμός διέγερσης όταν το ενεργό υλικό είναι στερεής ή υγρής μορφής και πρόκειται για ΗΜΑ-φωτόνια που απορροφάται από το ενεργό υλικό. Η ΗΜΑ «τροφοδοσίας» προέρχεται από λυχνίες αερίου (π.χ. ξένον, κρυπτόν ή ήλιον) χαμηλής πίεσης από χαλαζία ή από άλλα Laser ή από πηγές κοινού φωτός.

β. ηλεκτρική διέγερση (αερίου ενεργού υλικού): με ηλεκτρική εκκένωση κατάλληλου αερίου, που βρίσκεται σε σωλήνα ηλεκτρικά ουδέτερο. Όταν εφαρμοστεί υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό με τη βοήθεια ζεύγους καθόδου-ανόδου, ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν την κάθοδο, επιταχύνονται προς την άνοδο και στην πορεία τους συγκρούονται με τα μόρια του αερίου στα οποία και μεταδίδουν την κινητική τους ενέργεια, διεγείροντάς τα. Στην πράξη υπάρχει μια διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου στα άκρα του σωλήνα και ένας ισχυρός ηλεκτρικός παλμός δημιουργεί την εκφόρτιση με ηλεκτρική εκκένωση. Σημειώνεται πως δύσκολα πετυχαίνονται οι κατάλληλες συνθήκες για άμεση διέγερση του αερίου ενεργού υλικού.

¹ ΗΜΑ: Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία laser

γ. συγκρούσεις με άτομα: Είναι ο μηχανισμός που επιλέγεται για τα κοινά Laser He-Ne και CO₂ και απαιτεί την ύπαρξη δύο τουλάχιστον αερίων μέσα στο σωλήνα. Το ένα αέριο δέχεται την ενέργεια από τις συγκρούσεις με τα επιταχυνόμενα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ενώ το δεύτερο δέχεται ενέργεια με τις συγκρούσεις με τα διεγερμένα μόρια του πρώτου αερίου. Π.χ. στο Laser He-Ne η μάζα του ατόμου He είναι περίπου πέντε φορές μικρότερη από τη μάζα του ατόμου Ne, αλλά τα άτομα He είναι 6 φορές περισσότερα και επομένως έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα σύγκρουσης με τα ηλεκτρόνια και διέγερσής τους. Τα ενεργειακά επίπεδα E3 και E5 του νέον είναι πολύ κοντά στα αντίστοιχα διεγερμένα του ηλίου και «απορροφούν» με συγκρούσεις την ενέργειά τους. Είναι το φαινόμενο της συντονισμένης διέγερσης.

- i. χημική διέγερση
- ii. ηλεκτρικό ρεύμα σε διόδους

iii. Ο μηχανισμός ανάδρασης

Ο μηχανισμός ανάδρασης επιστρέφει πίσω, στο εσωτερικό του ενεργού υλικού, μέρος της HMA Laser που έχει δημιουργηθεί. Συνήθως επιτυγχάνεται με τη βοήθεια καθρεφτών, στα δύο άκρα του ενεργού υλικού, τοποθετημένων με τρόπο που να εξαναγκάζει την HMA να διασχίζει επανειλημμένα το υλικό μπρος-πίσω, ανακλώμενη στις δυο παράλληλες και αντιμέτωπες επιφάνειές τους.

Όλο αυτό το σύστημα αποτελεί την «οπτική κοιλότητα». Ο ένας καθρέφτης είναι 100% αποδοτικός, ενώ ο δεύτερος 10-99%, ανάλογα με τον τύπο του Laser. Από τον δεύτερο καθρέφτη έχουμε την έξοδο της HMA Laser κατά το υπόλοιπο (μέχρι το 100) ποσοστό.

Ο μηχανισμός ανάδρασης έχει στόχο την ενίσχυση της ακτινοβολίας μέσω των πολλαπλών «περασμάτων» του κάθε φωτονίου στο ενεργό υλικό. Όμως ο ίδιος μηχανισμός οδηγεί και στην «κατευθυντικότητα» της εξερχόμενης HMA καθώς στη δέσμη παραμένουν μόνον τα φωτόνια που διατηρούν πορεία με διεύθυνση κάθετη στις επιφάνειες των καθρεφτών.

iv. Ο συγχρονισμός στην έξοδο

Πρόκειται για τον μηχανισμό που επιτρέπει την έξοδο της HMA Laser από το ενεργό υλικό, μέσω του ημι-διαπερατού καθρέφτη.

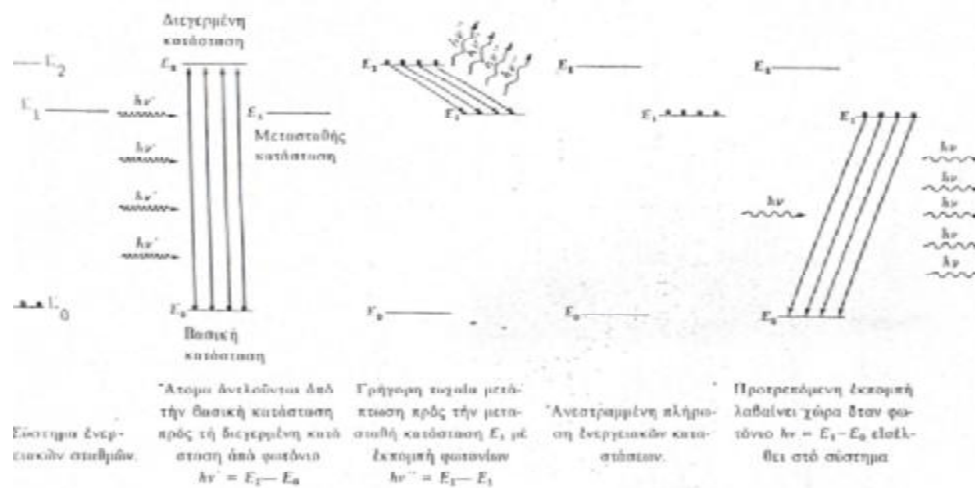
Στα «συνεχή» Laser εξέρχεται μικρό ποσοστό της ακτινοβολίας. Στα Laser κατά παλμούς εξέρχεται μεγάλο ποσοστό αλλά μόνον σε επιτρεπόμενες χρονικές στιγμές.

2.2 Αρχή λειτουργίας των laser

Η τεχνική παραγωγής ακτινών laser βασίζεται στην απορρόφηση φωτονίων από κατάλληλα υλικά (στερεά, υγρά ή αέρια), των οποίων τα άτομα, τα μόρια ή τα ιόντα βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης μέσω της πρόσληψης ενέργειας. Κατά τη μετάβαση των ηλεκτρονίων που περιβάλλουν τα άτομα από μια ανώτερη ενεργειακή στάθμη σε μια κατώτερη (αυτοδιέγερση), η προσληφθείσα επί πλέον ενέργεια αποβάλλεται υπό μορφή ακτινοβολίας. Η διαδικασία αυτή δεν γίνεται όμως αυθόρμητα, όπως στις κλασικές πηγές, αλλά με την επίδραση ενός εξωτερικού αιτίου, των φωτονίων που απορροφώνται, με αποτέλεσμα τα διεγερμένα άτομα κατά τη στιγμή της αποδιέγερσής τους να εκπέμπουν ακτινοβολία που έχει την ίδια φάση και την ίδια κατεύθυνση διάδοσης με αυτήν που έχουν προσλάβει. Η ακτινοβολία των φωτονίων αυτών έχει ενέργεια (και μήκος κύματος) χαρακτηριστική της ενεργειακής διαφοράς μεταξύ των σταθμών. Τα άτομα πολλών στοιχείων έχουν μετασταθείς

ενεργειακές καταστάσεις. Τα φωτόνια που εκπέμπονται σε μετασταθείς ενεργειακές καταστάσεις καθυστερούν της προπορευόμενης εκπομπής της ακτινοβολίας που προήλθε από την απευθείας μετάπτωση στη βασική στάθμη. Τα άτομα που είναι κατάλληλα για τη δράση των laser έχουν τουλάχιστον μια τέτοια μετασταθή στάθμη. Όταν ένα φωτόνιο το οποίο εκπέμπεται από ένα άτομο σε μια μετασταθή στάθμη περάσει κοντά από ένα άτομο που βρίσκεται στην ίδια κατάσταση, μπορεί να το διεγείρει και το τελευταίο να εκπέμψει ένα φωτόνιο ακτινοβολίας η οποία έχει την ίδια ενέργεια (μ.κ.), διεύθυνση, κατάσταση πόλωσης και φάση με το αρχικό φωτόνιο.

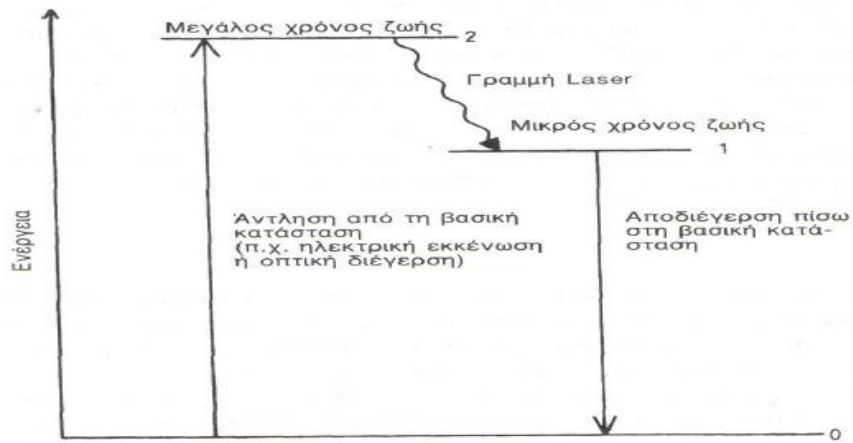
Το κάθε ένα από τα διεγερμένα φωτόνια μπορεί να προκαλέσει την εκπομπή και άλλων παρόμοιων φωτονίων. Αυτή η συνεχής παραγωγή φωτονίων σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των ηλεκτρονίων στη διεγερμένη κατάσταση είναι μερικά δευτερόλεπτα ενώ στη μετασταθή ο χρόνος αυτός μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 ns, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων σε μια ενεργειακή στάθμη σε σχέση με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που αντιστοιχεί σε μια χαμηλότερη ενεργειακά στάθμη. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αντιστροφή πληθυσμού (Εικόνα 8).



Εικόνα 8 Διαγράμματα που απεικονίζουν την αρχή των laser

Η κατάσταση αντιστροφής πληθυσμού, για τη διατήρησή της, απαιτεί ενέργεια η οποία προσφέρεται από εξωτερική πηγή. Το φαινόμενο της συνεχούς αυτής διέγερσης με απορρόφηση εξωτερικής ενέργειας ονομάζεται άντληση. Η δράση των laser στηρίζεται στην αντιστροφή πληθυσμού. Τα laser αποτελούνται από τρία επιμέρους μέρη: το ενεργό μέσο (στα άτομα του οποίου προκαλείται η διέγερση), την αντλία ενέργειας (η οποία είναι υπεύθυνη για την άντληση) και την κοιλότητα συντονισμού (η οποία στέλνει το φως που εκπέμπεται από τα άτομα του ενεργού μέσου να περάσει μέσα από αυτή).

Δυο είναι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της απόδοσης λειτουργίας των laser. Η καλή επιλεκτικότητα στην άντληση του άνω επιπέδου της ένωσης και η υψηλή κβαντική απόδοση. Επειδή μας ενδιαφέρει μόνο η ενέργεια των φωτονίων, εάν το άνω επίπεδο της ένωσης βρίσκεται ενεργειακά αρκετά πάνω από τη βασική κατάσταση, τότε η περισσότερη από την ενέργεια άντλησης χάνεται, όταν το άτομο μεταπίπτει από το χαμηλότερο επίπεδο πίσω στη βασική κατάσταση (Εικόνα 9).



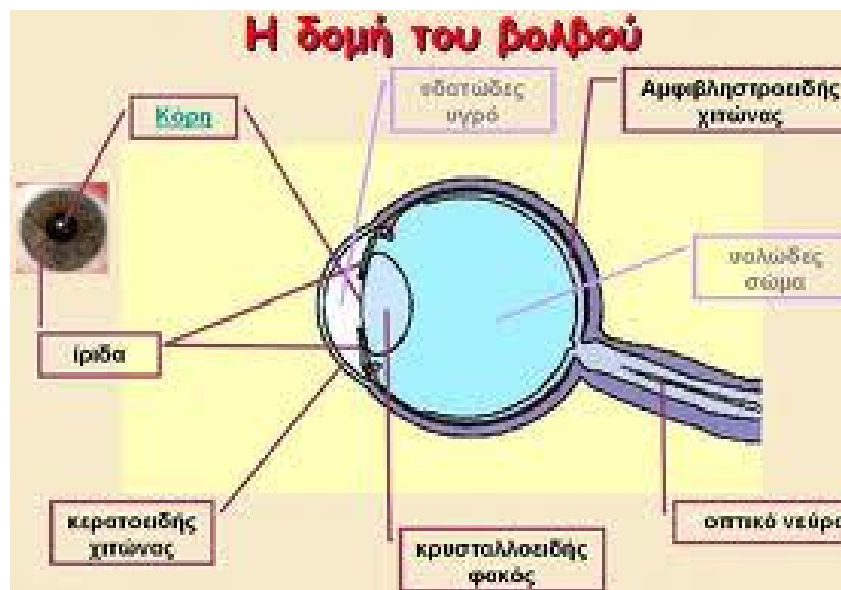
Εικόνα 9 Ένας απλός μηχανισμός άντλησης laser. Το ενεργό υλικό διεγείρεται από τη βασική κατάσταση σε μια κατάσταση 2, με μεγάλο χρόνο ζωής, κάτι που επιτρέπει τη δημιουργία αντιστροφής πληθυσμών. Το χαμηλότερο επίπεδο laser έχει μικρότερο χρόνο ζωής, που επιτυγχάνεται με γρήγορες αποδιεργήσεις πίσω στη βασική κατάσταση .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

3.1 Ανατομία Οφθαλμού

Ο οφθαλμός αποτελείται από τον οφθαλμικό βολβό, που είναι το κυρίως όργανο της όρασης, και από τα επικουρικά όργανα όπως βλέφαρα, μύες κ.τ.λ.. Τα επικουρικά όργανα είναι απαραίτητα για την προστασία και την λειτουργία του οφθαλμικού βολβού. Ο οφθαλμός έχει τρεις τύπους αδένων: τους δακρυϊκούς αδένες, τους σμηγματογόνους αδένες και τους βλεφαρικούς αδένες.

Οι δακρυϊκοί αδένες βρίσκονται στο βλέφαρο, ακριβώς επάνω από κάθε οφθαλμικό βολβό του ματιού. Οι δακρυϊκοί αδένες εκκρίνουν συνεχώς μικρή ποσότητα δακρύων που διανέμεται στην επιφάνεια του ματιού με το βλεφαρισμό, αποχετεύεται στο δακρυϊκό ασκό μέσω των δακρυϊκών πόρων και κατόπιν, στη μύτη, μέσω του ρινοδακρυϊκού πόρου. Τα δάκρυα σχηματίζουν ένα προστατευτικό λεπτό υμένιο, που εφυγραίνει το μάτι και παρασύρει δυνητικώς επιβλαβή σωματίδια, όπως σκόνη και χημικές ουσίες. Ακόμη, περιέχουν μία φυσική αντισηπτική ουσία, τη λυσοζύμη, που συντελεί στη προστασία των ματιών από τις μολύνσεις. Οι σμηγματογόνοι αδένες εμφανίζονται κατά μήκος των ακρών βλέφαρων.



Εικόνα 10 Ανατομία οφθαλμού

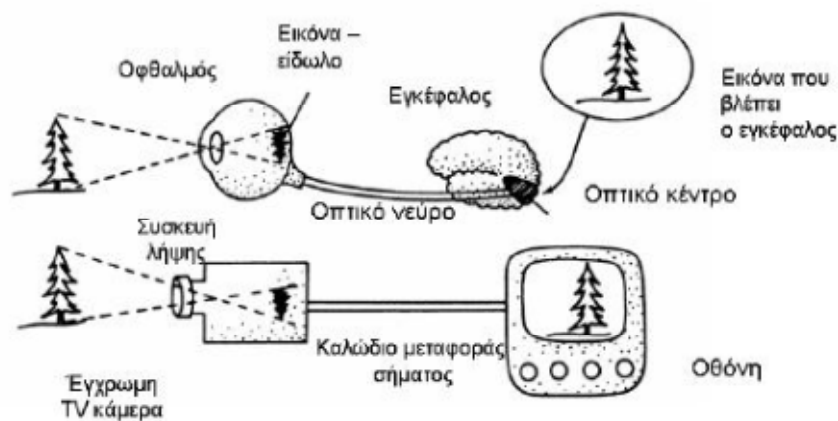
3.1.1 Βλέφαρα και βλεφαρίδες

Τρία σημαντικά προστατευτικά μέρη του ματιού είναι τα βλέφαρα, οι βλεφαρίδες και ο επιπεφυκότας, μια βλενώδη εκκρινουσα μεμβράνη. Τα άνω και κάτω βλέφαρα παρέχουν σημαντική προστασία στα μάτια, καθώς έχουν την ικανότητα να κλείνουν με μία αντανakλαστική κίνηση για να τα προστατεύουν από την είσοδο τυχόν έντονο φωτός αλλά και επιβλαβών υλικών. Επιπλέον, το κάθε βλέφαρο έχει δύο ή τρεις σειρές βλεφαρίδων, γεγονός που ενισχύει περισσότερο την προστασία του ματιού. Ο επιπεφυκότας βρίσκεται σε δύο θέσεις: την εσωτερική επένδυση των βλέφαρων και το μπροστινό μέρος του βολβού του ματιού. Είναι ένας λεπτός διαφανής υμένας που καλύπτει το άσπρο του ματιού και επενδύει

εσωτερικά τα βλέφαρα, όπως και το βολβό του ματιού, κρατώντας τα σε μία υγρή κατάσταση.

3.1.2 Εσωτερική δομή οφθαλμού

Κάθε οφθαλμικός βολβός είναι χονδρικά σφαιρικός, με διάμετρο περίπου 2,5 εκατ. Και βρίσκεται προφυλαγμένος μέσα στον οφθαλμικό κόγχο, που σχηματίζουν τα οστά του κρανίου. Η ρύθμιση των κινήσεων του οφθαλμικού βολβού πραγματοποιείται με την βοήθεια των εξωβολβικών ή αλλιώς οφθαλμοκινητικών μυών (άνω ορθός, κάτω ορθός, έσω ορθός, έξω ορθός, άνω λοξός και κάτω λοξός). Οι έξι μύες λειτουργούν ανά ζεύγη: ένα ζεύγος είναι αρμόδιο για την προς τα πάνω και προς τα κάτω κίνηση, ένα ζεύγος για την αριστερή και δεξιά κίνηση και ένα ζεύγος ελέγχει την περιστροφή. Ο βολβός του ματιού αποτελείται από τρία στρώματα: τον σκληρό χιτώνα, τον χοριοειδή χιτώνα και τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Ο σκληρός χιτώνας (ή το λευκό του ματιού) είναι ένα ανθεκτικό περίβλημα που περιβάλλει τον οφθαλμικό βολβό και διατηρεί το σχήμα του. χοριοειδής χιτώνας, ο οποίος τροφοδοτεί το μάτι με τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες, καλύπτει εσωτερικά το σκληρό. Ο χιτώνας αυτός περιλαμβάνει τον κερατοειδή χιτώνα, τον κρυσταλλοειδή φακό και την ίριδα. Οι εισερχόμενες στο μάτι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται αρχικά από τον κερατοειδή χιτώνα. Ο δακτύλιος των μυών της ίριδας ρυθμίζει το εύρος της κόρης για να επιτρέψει την είσοδο λιγότερων ή περισσότερων φωτεινών ακτινών. Ο κρυσταλλοειδής φακός με την ελαστικότητα που τον διακρίνει μπορεί ν' αλλάζει σχήμα ώστε να εστιάζει τις φωτεινές ακτίνες και από κοντινά και από μακρινά αντικείμενα. Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας καλύπτει εσωτερικά τον χοριοειδή και περιέχει δύο ειδών φωτοευαίσθητα κύτταρα: τα ραβδία, τα οποία είναι υπεύθυνα για την όραση σε αμυδρά φωτιζόμενους χώρους και τα κωνία, τα οποία χρησιμεύουν για την όραση στο φως και την αντίληψη των χρωμάτων.

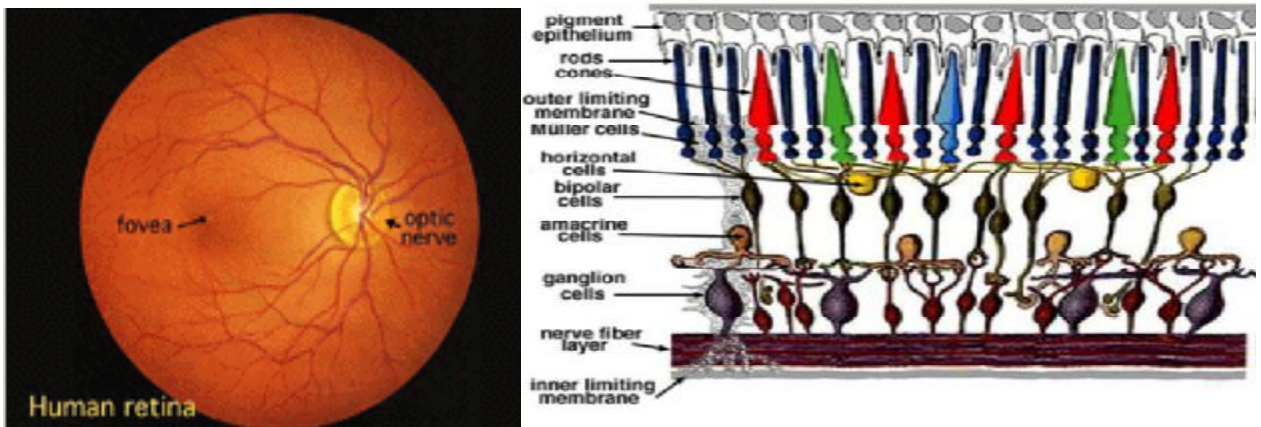


Εικόνα 11 Αναπαράσταση λειτουργίας όρασης

3.1.3 Αμφιβληστροειδής χιτώνας:

Τοποθετημένος στο πίσω μέρος του ματιού, ο αμφιβληστροειδής είναι ο εσωτερικός χιτώνας, ο οποίος περιέχει νευρικές ίνες και φωτοευαίσθητα κύτταρα. Στον αμφιβληστροειδή υπάρχουν δύο είδη φωτοευαίσθητων κυττάρων: τα ραβδία και τα κωνία. Τα ραβδία είναι υπεύθυνα για την όραση σε αμυδρό φως, αν και είναι ευαίσθητα σε όλες τις ορατές ακτινοβολίες, περιέχουν μία μονοχρωματική και δε μπορούν να διακρίνουν τα χρώματα. Τα κωνία είναι υπεύθυνα για την έγχρωμη και την υψηλής ευκρίνειας όραση. Κάθε κώνο είναι ευαίσθητο στην

ακτινοβολία ενός απ' τα τρία πρωταρχικά χρώματα, κόκκινο, πράσινο ή μπλε σε συνθήκες έντονου φωτισμού. Τα κωνία διαχωρίζονται σε τρεις τύπους ή αλλιώς φασματικές κατηγορίες. Αυτά που αντιλαμβάνονται την κόκκινη ακτινοβολία (570nm), αυτά που λειτουργούν με την επίδραση της πράσινης ακτινοβολίας (530 nm) και αυτά που ερεθίζονται από την μπλε (400nm). Πτυχιακή Εργασία τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων Όταν οι φωτεινές ακτίνες προσπέσουν στον αμφιβληστροειδή, τα κωνία και τα ραβδία διεγείρονται και παράγουν ηλεκτρικές ώσεις που αποτελούν το έναυσμα για τη δημιουργία περαιτέρω νευρικών ώσεων στα νευρικά κύτταρα, των οποίων αποτελούν αποφυάδες. Οι νευρικές ώσεις μεταδίδονται στον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου. Τα χρωμοφόρα κύτταρα πίσω από τα ραβδία και τα κωνία απορροφούν τις φωτεινές ακτίνες και αποτρέπουν την ανάκλασή τους μέσα στο μάτι.



Εικόνα 12 Το οπτικό νεύρο όπως φαίνεται **Εικόνα 13** Τα στρώματα του αμφιβληστροειδούς από το οφθαλμοσκόπιο

3.1.4 Οπτικό νεύρο και οπτικός φλοιός

Οι νευρικές ώσεις από όλα τα κύτταρα (φωτοϋποδοχείς) του κάθε αμφιβληστροειδή μεταδίδονται μέσω των οπτικών νεύρων. Οι νευρικές ώσεις και από τα δύο μάτια φθάνουν σε μία περιοχή στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου, τον ινιακό λοβό, όπου εντοπίζεται το κέντρο της όρασης. Εκεί συνενώνονται, γίνεται η ανόρθωση της εικόνας και επιτυγχάνεται έτσι η πλήρης αντίληψη του οπτικού πεδίου. Ο οπτικός φλοιός, επομένως, που βρίσκεται στον εγκέφαλο, λαμβάνει τα νευρικά ερεθίσματα, εκεί όπου τα μηνύματα ενοποιούνται από τα δύο μάτια σε μια πλήρη εικόνα και μεταφράζονται σε μεγέθη, μορφές, αντικείμενα και χρώματα. Κάθε ένας από τους δύο οφθαλμούς έχει τη δυνατότητα παρατήρησης αντικειμένων που βρίσκονται σε ένα αρκετά μεγάλο οπτικό πεδίο. Ο συνδυασμός και των δύο οφθαλμών του οπτικού συστήματος, μας παρέχει μια καλή αντίληψη του βάθους και βοηθάει στην ανάπλαση της τρισδιάστατης απεικόνισης. Βέβαια, ακόμα και στην περίπτωση της μονό-οφθαλμικής παρατήρησης, η όραση είναι επαρκής για τις περισσότερες από τις ανθρώπινες ανάγκες.

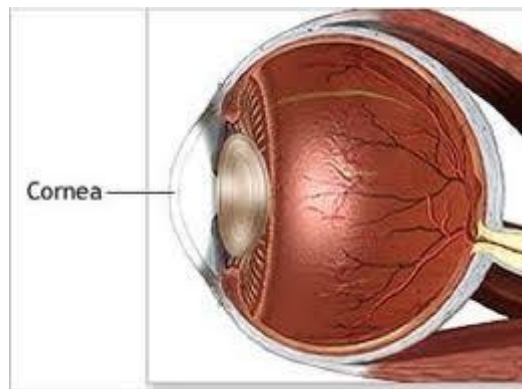
ΤΑ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

Τα σημαντικότερα διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού είναι ο κερατοειδής και ο κρυσταλοειδής φακός. Στο έργο αυτό επικουρούνται από το υδατοειδές υγρό (που ο ρόλος του είναι η ρύθμιση της ενδοφθάλμιας πίεσης και η θρέψη του ματιού) και το υαλώδες σώμα που, εκτός από διαθλαστικό ρόλο, συμβάλλει στην διατήρηση της δομής του οφθαλμού.

4.1 Ο ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ

4.1.1 Ανατομία κερατοειδούς

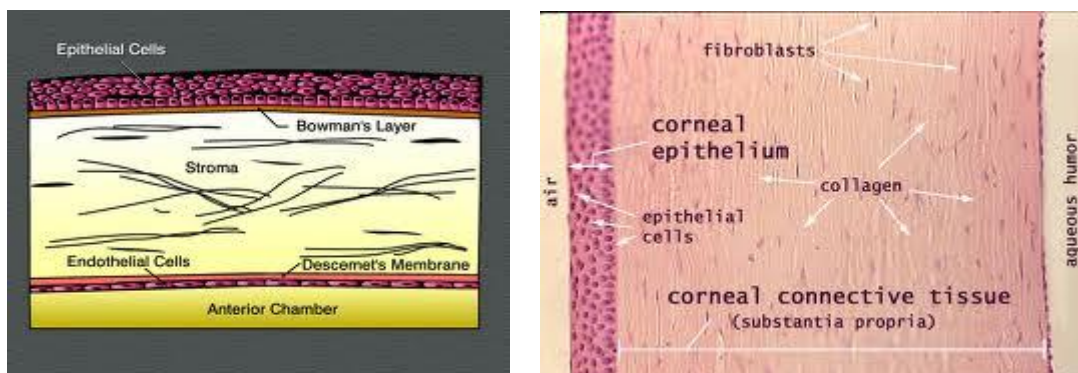
Ο κερατοειδής χιτώνας καταλαμβάνει το πρόσθιο και διαφανές τμήμα του ινώδη χιτώνα του οφθαλμικού βολβού, αποτελώντας το 1/6 του εξωτερικού στρατός του αφαλού. Είναι κυρτός, διαυγής και διάφανος ιστός, με διάμετρο 12mm. Παρέχει το 65% της συνολικής οπτικής ισχύς του αφαλού η οποία κατανοείται κυρίως στο κεντρικό κορεάτη του κερατοειδή το οποίο είναι περισσότερο καπέλο. Το πάχος του κερατοειδή α νίνο είναι κατά προσέγγιση 550μm ενώ στην περιφέρεια το πάχος αυτού αυξάνεται και φτάνει τα 650μm έως και 1000μm περίπου, καθιστώντας αυτόν ιδιαίτερα διαθλαστικό.



Εικόνα 14Ο κερατοειδής χιτώνας

4.1.2 Ιστολογική δομή του κερατοειδή

Ο κερατοειδής είναι μία οργανωμένη ομάδα κυττάρων και πρωτεΐνης, η οποία αποτελείται από τρία κύρια στρώματα και δύο βοηθητικά. Τα κύρια στρώματα από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του οφθαλμού είναι το επιθήλιο, το στρώμα και το ενδοθήλιο.



Εικόνα 15i. Ο κερατοειδής από οπτικό μικροσκόπιο, ii. Σχηματική αναπαράσταση των δομών του κερατοειδή.

Στην εξωτερική πλευρά υπάρχει το επιθήλιο, το οποίο αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία βρίσκεται η δακρυϊκή στοιβάδα. Η δακρυϊκή στοιβάδα είναι η εξώτατη διαθλαστική επιφάνεια του οφθαλμού και αποτελείται από τρία στρώματα: το στρώμα βλεννίνης, το υδατοειδές και λιπιδικό στρώμα.

Το στρώμα βλεννίνης βρίσκεται σε επαφή με τα κύτταρα του επιθηλίου και βασικός ρόλος του είναι να ομαλοποιεί την επιφάνεια του κερατοειδή, μετατρέποντας την έτσι σε μία λεία διαθλαστική επιφάνεια. Το επιθήλιο αποτελείται από 5-7 στρώσεις επιθηλιακών κυττάρων. Στην περιφέρεια έχει πάχος 80μm και φτάνει τις 10 στοιβάδες, αντίστοιχα προς το σκληροκερατοειδές όριο, όπου μεταπίπτει στο επιθήλιο του επιπεφυκότα. Αποτελείται από 3 είδη κυττάρων, τα βασικά επιθηλιακά, τα πτερυγοειδή πολυγωνικά και τα επιφανειακά κύτταρα. Τα κύτταρα στη βάση του επιθηλίου έχουν κυλινδρικό σχήμα ενώ τα επιφανειακά είναι πεπλατυσμένα.

Η βασική στιβάδα είναι η παραγωγική στοιβάδα, από την οποία προέρχονται τα νέα επιθηλιακά κύτταρα. Τα βασικά κύτταρα είναι τα μόνα επιθηλιακά κύτταρα που υφίστανται μίτωση. Μετά από κάθε κυτταρική διαίρεση, το ένα από τα δύο θυγατρικά κύτταρα παραμένει στη βασική στοιβάδα για να χρησιμεύσει σαν παραγωγικό κύτταρο για την επόμενη κυτταρική διαίρεση, ενώ το άλλο μεταναστεύει προς τα πάνω, διαφοροποιούτανε σταδιακά. Επομένως σκοπός τους είναι η γρήγορη αναπαραγωγή τους, σε περίπτωση τραυματισμού του κερατοειδούς, η οποία πραγματοποιείται κυρίως στην περιφέρεια του κερατοειδή και συγκεκριμένα στο σκληροκερατοειδικό όριο. Ο χρόνος που απαιτείται για μία πλήρη αναγέννηση του επιθηλίου είναι 7 μέρες, ενώ ο πολλαπλασιασμός αυτών των κυττάρων πραγματοποιείται κυρίως στην περιφέρεια του κερατοειδή και πιο συγκεκριμένα στο σκληροκερατοειδικό όριο.

Η πορεία των επιθηλιακών κυττάρων από την μίτωση έως την απόπτωση συνοδεύεται από μετακίνηση από την περιφέρεια προς το κέντρο και από την βάση του επιθηλίου προς την επιφάνεια. Επιπλέον εμποδίζει τη μετάβαση κάποιου ξένου υλικού στο μάτι και στα άλλα στρώματα του κερατοειδή και παρέχει μια ομαλή επιφάνεια που απορροφάτε οξυγόνο και άλλες αναγκαίες θρεπτικές ουσίες των κυττάρων.

Μεταξύ της βασικής στοιβάδας των επιθηλιακών κυττάρων και της μεμβράνης του Bowman είναι τοποθετημένη η βασική μεμβράνη. Εκκρίνεται από ειδικά κύτταρα της βασικής στιβάδας και αποτελείται από ίνες κολλαγόνου τύπου IV. Η μεμβράνη Bowman είναι μία πολύ σκληρή στοιβάδα, η οποία βρίσκεται ακριβώς κάτω από το επιθήλιο. Ουσιαστικά είναι συνέχεια του στρώματος, πάχους 8-10μm, δεν περιέχει κύτταρα αλλά αποτελείται από διαπλεγμένες ίνες κολλαγόνου και νεφέλιο ουσία. Η πρόσθια επιφάνεια της μεμβράνης του Bowman είναι λεία και ομαλή, σε αντίθεση με την οπίσθια, η οποία είναι ασαφής και συγγέεται με το δίκτυο των κολλαγόνων ινιδίων του πρόσθιου στρώματος. Θεωρείται ότι προσδίδει στον κερατοειδή μηχανική σταθερότητα και αντοχή ενώ παράλληλα τον προστατεύει από τραυματισμό.

Το στρώμα του κερατοειδούς αποτελεί το 90% του συνολικού πάχους αυτού και βρίσκεται ακριβώς κάτω από την μεμβράνη Bowman. Σχηματίζεται από ελάσματα κολλαγόνων ινιδίων, κύτταρα και θεμέλιο ουσία. Τα ελάσματα από κολλαγόνο, 200-250 συνολικά στον αριθμό, επικάθονται το ένα επί του άλλου και διατάσσονται παράλληλα τόσο μεταξύ τους όσο και προς την επιφάνεια του κερατοειδή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μηχανική ισοτροπία στις κάθετες στον οπτικό άξονα κατευθύνσεις, καθώς επίσης εξασφαλίζεται ότι η μέση απόσταση μεταξύ των δομικών στοιχείων του στρώματος είναι πολύ μικρότερη από το από το μήκος κύματος του ορατού φωτός του οποίου καλείται να υποστηρίξει τη διάδοση.

Κάθε έλασμα αποτελείται από κολλαγόνα ινίδια, που περιβάλλονται από θεμέλια ουσία, και είναι παράλληλα μεταξύ τους και αρμονικά διατεταγμένα. Η διάταξη αυτή αποτελεί την

κύρια αιτία της διαφάνειας του κερατοειδούς. Τα κύτταρα του στρώματος 20 διακρίνονται σε μόνιμα (κερατοκύτταρα) και μεταναστευτικά (λεμφοκύτταρα, πολυμορφοπύρρηνα, λευκοκύτταρα και μακροφάγα). Η εξωκυττάρια ουσία που περιβάλλει τα κολλαγόνα ινίδια αποτελείται από πρωτεογλυκάνες και γλυκοζαμινογλυκάνες στις οποίες δεσμεύεται νερό μέσω δεσμών υδρογόνου, καθώς επίσης και διάσπαρτα κερατοκύτταρα των οποίων ο ρόλος είναι η επουλωτική δραστηριότητα σε περίπτωση τραυματισμού του κερατοειδή.

Στην εσωτερική πλευρά του κερατοειδή βρίσκεται η μεμβράνη του Descemet, η οποία είναι η βασική μεμβράνη του ενδοθηλίου του κερατοειδή. Είναι ομοιογενής μεμβράνη η οποία εύκολα μπορεί να αποχωριστεί από το στρώμα και το ενδοθήλιο. Αποτελείται από λεπτά κολλαγόνα ινίδια με ομοιόμορφη κατανομή, διαφορετικά όμως από αυτά του στρώματος. Το ενδοθήλιο αποτελεί το ενδοτατο στρώμα του κερατοειδούς χιτώνα, το οποίο ιστολογικά είναι τυπικό πλακώδες επιθήλιο. Η άμεση όμως επαφή του με το υδατοειδές υγρό καθώς και ύπαρξη στα κύτταρά του οργανιδίων χαρακτηριστικών για κύτταρα που παίρνουν μέρος σε ενεργητική μεταφορά και πρωτεϊνική σύνθεση για έκκριση, το καθιστούν εξαιρετικής λειτουργικής σπουδαιότητας ιστό για τον μεταβολισμό του κερατοειδούς καθώς και τη διατήρηση της διαφάνειας αυτού.

Αποτελείται από μία μονοκυτταρική στρώση εξαγωνικών κυττάρων, πλούσια σε μιτοχόνδριο τα οποία συμβάλλουν σημαντικά στην μεταφορά ρευστού από τον κερατοειδή προς τον πρόσθιο θάλαμο και στην διατήρηση του κερατοειδή, ελαφρώς αφυδατωμένο, γεγονός που απαιτείται για την οπτική διαύγεια. Με την λειτουργία τους αυτή εξασφαλίζουν την πυκνή διάταξη των κολλαγόνων ινών του στρώματος σε διαφορετικές στρώσεις.

4.1.3 Ο κερατοειδής χιτώνας σαν οπτικό στοιχείο

Ο κερατοειδής χιτώνας αποτελεί την ισχυρότερη διαθλαστική δομή, ιδιότητα την οποία οφείλει στην καμπυλότητα τους και στην θέση του στον βολβό του οφθαλμού. Επιπλέον αποτελεί την πρώτη διαθλαστική επιφάνεια την οποία συναντούν οι εισερχόμενες στον οφθαλμό ακτίνες. Η ίριδα αποτελεί το διάφραγμα του οπτικού συστήματος του οφθαλμού, το οποίο ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός που φτάνει στον αμφιβληστροειδή, ενώ ο κρυσταλλοειδής φακός λειτουργεί ως μέσο ρύθμισης της συνολικής διοπτρικής ισχύος του οφθαλμού, προκειμένου να καθίσταται δυνατή η ευκρινής απεικόνιση των μακρινών και κοντινών αντικειμένων.

Η διαθλαστική ισχύς του κερατοειδή εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης ($n=1.376$) και την κυρτότητα αυτού, και ανέρχεται περίπου σε 45 διοπτρίες ($D=1/F(m)$). Παρουσιάζει δύο επιφάνειες, όπου η ακτίνα καμπυλότητας της πρόσθιας επιφάνειας είναι κατά μέσο όρο 7,8mm ενώ της οπίσθιας επιφάνειας του είναι 6,5mm. Η πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς είναι ένα από τα κύρια διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού όπου αντιστοιχεί στα 2/3 της διοπτρικής του ισχύος και αποτελεί την επιφάνεια με τη μέγιστη διαφορά δεικτών διάθλασής εκατέρωθεν της. Για τον λόγο αυτό η συμμετρία και η ομοιομορφία της επιφάνειας του κερατοειδή καθώς και η διαφάνειά του είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα του ειδώλου που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του οφθαλμού και γενικότερα της όρασης. Η οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή παρουσιάζει μεγαλύτερη καμπυλότητα, ενώ το κεντρικό 1/3 του κερατοειδούς είναι σχεδόν σφαιρικό και έχει διάμετρο 4mm στον φυσιολογικό οφθαλμό.

Ο κερατοειδής λειτουργεί ως ένα κυρτό κάτοπτρο. Ο φυσιολογικός κερατοειδής είναι πιο κρημνώδης στο κέντρο, ενώ επιπεδώνεται προχωρώντας στην περιφέρεια, εξασφαλίζοντας ελαχιστοποίηση των σφαιρικών εκτροπών. Οι διάφορες ανωμαλίες στην επιφάνεια του

κερατοειδή μπορούν να εισάγουν εκτροπές στο οπτικό σύστημα του οφθαλμού με αποτέλεσμα να επηρεάσουν την λειτουργία της όρασης.

4.1.4 Η διαφάνεια του κερατοειδή.

Η διαφάνεια του κερατοειδή κατά κύριο λόγο, οφείλεται στις ίνες κολλαγόνου που τον αποτελούν, των οποίων βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η ομοιόμορφη διάμετρος τους και η συνοχή τους, εξαιτίας των διαμοριακών δεσμών. Η ομοιόμορφη δομή των ινών κολλαγόνου και κατά συνέπεια η διαφάνεια του κερατοειδή, επηρεάζεται άμεσα από την αλλαγή σε περιεκτικότητα νερού στο κερατοειδή Το ενδοθήλιο, που βρίσκεται ανάμεσα στο στρώμα και στο υδατοειδές υγρό, διαδραματίζει ένα ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε αυτήν την λειτουργία. Κύρια λειτουργία του ενδοθηλίου είναι να αντλεί νερό από το στρώμα του κερατοειδή προς τον πρόσθιο θάλαμο, διατηρώντας σταθερή την κατάσταση ενυδάτωσής του.

Οι υβριδικές ινώδεις αυτές δομές κολλαγόνου του κερατοειδή είναι μίγμα από μόρια κολλαγόνου τύπου I, III και V. Αυτοί οι τύποι κολλαγόνου διαφέρουν μεταξύ τους στο αμινοξύ και καθορίζουν το μέγεθος των δομών ινών κολλαγόνου καθώς και το κατά πόσο μπορούν οι δομές αυτές να αυξηθούν πλευρικά. Επιπλέον ο κερατοειδής περιέχει σε μεγάλο ποσοστό κολλαγόνο τύπου IV, το οποίο διαμορφώνει διάφορες δομές, όπου ο ρόλος τους είναι καθοριστικός στην τροποποίηση της δομής και της λειτουργίας των ινών κολλαγόνου.

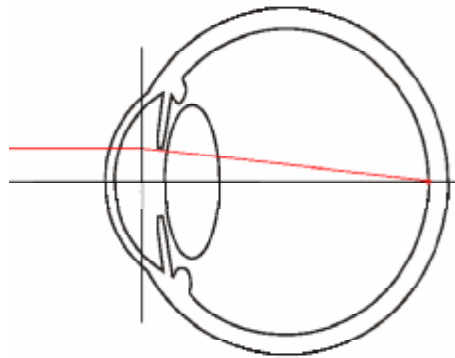
Οι ίνες κολλαγόνου είναι διατεταγμένες σχηματίζοντας ένα πλέγμα, όπου η μέση απόσταση μεταξύ αυτών είναι τέτοια ώστε η καταστρεπτική συμβολή του φωτός που σκεδάζεται, να συμβαίνει προς όλες τις κατευθύνσεις πέραν της κατεύθυνσης διάδοσης. Παράλληλα οι διαστάσεις των ινών κολλαγόνου είναι αρκετά μικρότερες από το μήκος κύματος, με αποτέλεσμα να συνεισφέρουν στην διαφάνεια του κερατοειδή.

Στον κερατοειδή, την αντοχή στην συμπίεση και την πλήρωση των χώρων ανάμεσα στα κύτταρα, εξυπηρετεί μια εντελώς διαφορετική ομάδα μακρομορίων του στρώματος, οι πρωτεογλυκάνες. Οι πρωτεογλυκάνες είναι υβριδικά μακρομόρια τα οποία αποτελούνται από έναν πρωτεϊνικό πυρήνα, όπου συνδέονται με τα μόρια μίας ειδικής κατηγορίας πολύπλοκων, αρνητικά φορτισμένων πολυσακχαριτών, γνωστών ως γλυκοζαμινογλυκάνες. Οι γλυκοζαμινογλυκάνες είναι πολύ υδρόφιλες και εκπτύσσονται πολύ, με συνέπεια να καταλαμβάνουν τεράστιο όγκο σε σχέση με την μάζα τους. Σχηματίζουν πηκτές ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ τα πολλαπλά αρνητικά φορτία τους προσελκύουν ένα νέφος κατιόντων, όπως τα κατιόντα του Na^+ , που είναι ωσμωτικά δραστικά και προσροφούν μεγάλες ποσότητες νερού μέσα στο στρώμα. Αυτό δημιουργεί μια πίεση διόγκωσης, η οποία αντισταθμίζεται από την τάση των ινών του κολλαγόνου που διαπλέκονται με τις πρωτεογλυκάνες. Τέλος είναι καθοριστικές στο να προσδιορίζουν ιξωδοελαστικές ιδιότητες του κερατοειδή καθώς και τις μηχανικές παραμορφώσεις που υφίστανται. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων πρωτεογλυκάνης και του κολλαγόνου έχει ρόλο κλειδί στην δημιουργία ινών κολλαγόνου, στην οργάνωση αυτών και τελικά στην διαφάνεια του κερατοειδή. Η οποιαδήποτε τροποποίηση στα μόρια της πρωτεογλυκάνης συνδέεται με την απώλεια της κερατοειδούς διαφάνειας. Τέλος πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η διόγκωση του κερατοειδούς από την άμεση βύθιση του σε διαλύματα αποσταγμένου νερού προκαλούν μία σημαντική απώλεια πρωτεογλυκάνης από το στρώμα.

4.2 ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

Για κάθε οφθαλμό υπάρχει ένα σημείο στον χώρο από το οποίο οι προερχόμενες ακτίνες, διαθλώμενες από το οπτικό σύστημα του οφθαλμού, εστιάζουν επί του αμφιβληστροειδούς, ενώ ο οφθαλμός βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Το σημείο αυτό καλείται το άπω σημείο της οράσεως. Η θέση του σημείου αυτού με την παραπάνω ιδιότητα, χαρακτηρίζει και την διαθλαστική ικανότητα του οφθαλμού (Δαμανάκις ΑΓ. 1999, Ψύλλας ΚΓ. 1996).

Στον εμμέτρωπα οφθαλμό (Εικόνα 16), οι διαθλώμενες από το οπτικό σύστημα παράλληλες ακτίνες εστιάζουν πάνω στον αμφιβληστροειδή, προερχόμενες από ένα σημείο που βρίσκεται θεωρητικά στο άπειρο (πρακτικά σε μεγάλη απόσταση). Το σημείο αυτό συμπίπτει με το άπω σημείο του εμμετρωπικού οφθαλμού.



Εικόνα 16 Στην κατάσταση της εμμετρωπίας, παράλληλες ακτίνες φωτός εστιάζουν επί του αμφιβληστροειδούς προερχόμενες από ένα σημείο που βρίσκεται θεωρητικά στο άπειρο.

Η παραπάνω κατάσταση δεν αποτελεί τον κανόνα. Στην περίπτωση που το άπω σημείο δεν βρίσκεται σε άπειρη απόσταση μπροστά από τον οφθαλμό, τότε ο οφθαλμός δεν είναι εμμετρωπικός αλλά αμετρωπικός. Στον αμετρωπικό οφθαλμό, οι παράλληλες προσπίπτουσες ακτίνες, διαθλώμενες από το οπτικό σύστημα του οφθαλμού, δεν εστιάζονται επί του αμφιβληστροειδούς αλλά είτε μπροστά (μυωπία) είτε πίσω από τον αμφιβληστροειδή (υπερμετρωπία). Ως μονάδα μέτρησης των αμετρωπιών χρησιμοποιείται η διοπτρία και συμβολίζεται με D. Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζει την κλίση της πορείας των φωτεινών ακτίνων που απαιτείται για την εστίασή τους από ένα οπτικό σύστημα. Οι παράλληλες ακτίνες έχουν κλίση μηδέν, οι αποκλίνουσες ακτίνες έχουν αρνητική κλίση (-) και οι συγκλίνουσες θετική (+). Η κλίση σε ένα σημείο χ της πορείας των ακτίνων είναι μεγαλύτερη όσο αυτό βρίσκεται πιο κοντά στην φωτεινή πηγή ή την πορεία σύγκλισης των ακτίνων. Η σχέση που συνδέει την κλίση των ακτίνων (σε D) και την απόσταση του σημείου χ (σε m) είναι:

$$\text{Κλίση (D)} = 1/\text{Απόσταση (m)}$$

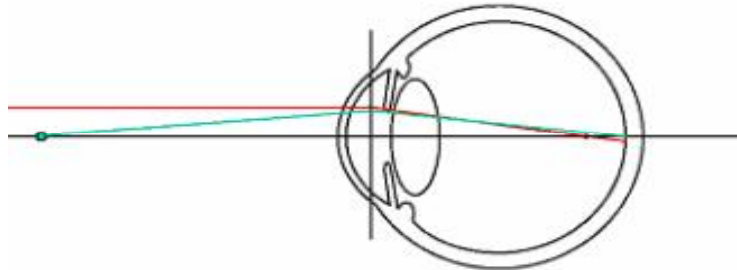
Μυωπία

Είναι η διαθλαστική ανωμαλία κατά την οποία ακτίνες φωτός, παράλληλες προς τον οπτικό άξονα του οφθαλμού, μετά την διάθλασή τους εστιάζονται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή, με αποτέλεσμα το είδωλο του αντικειμένου να μην απεικονίζεται ευκρινώς επί του αμφιβληστροειδούς (Εικόνα 17). Για να εστιαστούν οι ακτίνες πάνω στον αμφιβληστροειδή πρέπει να προσπέσουν στον οφθαλμό σαν αποκλίνουσες. Ο μυωπικός οφθαλμός βλέπει θολά τα μακρινά αντικείμενα. Το άπω σημείο του μύωπα δεν βρίσκεται στο άπειρο, όπως συμβαίνει στον εμμέτρωπα, αλλά σε κάποιο σημείο πλησιέστερα στον

οφθαλμό. Η απόσταση του άπω σημείου από τον οφθαλμό είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον βαθμό της μυωπίας:

$$S=1/D$$

όπου S απόσταση σε μέτρα και D ο βαθμός της μυωπίας σε διοπτρίες.



Εικόνα 17 Ακτίνες φωτός παράλληλες προς τον οπτικό άξονα του οφθαλμού μετά την διάθλασή τους εστιάζονται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή (μυωπία). Το άπω σημείο οράσεως δεν βρίσκεται στο άπειρο, αλλά σε κάποιο σημείο πλησιέστερα στον οφθαλμό.



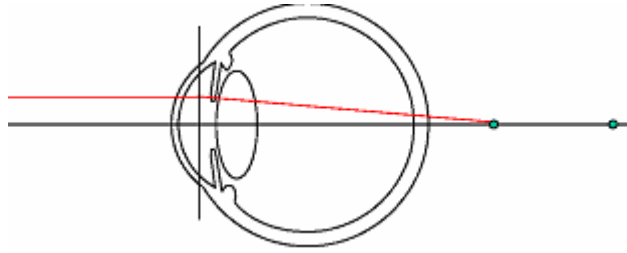
Εικόνα 18 Προσομοίωση όρασης ενός μύωπα με καλή κοντινή όραση και θολή όραση σε μακρινές αποστάσεις

Υπερμετροπία

Είναι η διαθλαστική ανωμαλία κατά την οποία, όταν ο οφθαλμός βρίσκεται σε ηρεμία (χαλάρωση της προσαρμογής), δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων εστιάζουν πίσω από τον αμφιβληστροειδή (Εικόνα 18). Για να εστιαστούν οι ακτίνες πάνω στον αμφιβληστροειδή πρέπει να προσπέσουν στον οφθαλμό σαν συγκλίνουσες. Τέτοιες ακτίνες δεν υπάρχουν στην φύση, παρά μόνο τις παράγουμε με συγκλίνοντες φακούς. Εφόσον στον υπερμέτρωπα οι παράλληλες ακτίνες δεν εστιάζουν στον αμφιβληστροειδή, πολύ περισσότερο οι αποκλίνουσες, συνάγεται ότι ο υπερμέτρωπας δεν βλέπει ούτε τα κοντινά ούτε τα μακρινά αντικείμενα όταν η προσαρμογή βρίσκεται σε ηρεμία. Η θέση του άπω σημείου στον υπερμέτρωπα βρίσκεται πίσω από τον οφθαλμό, στην θέση που θα εστίαζε η συγκλίνουσα δέσμη αν δεν παρεμβάλλονταν ο οφθαλμός. Η απόσταση του υποθετικού αυτού σημείου από τον κερατοειδή είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον βαθμό της υπερμετροπίας και δίνεται πάλι από την σχέση:

$$S=1/D$$

όπου S απόσταση σε μέτρα και D ο βαθμός της υπερμετροπίας σε διοπτρίες



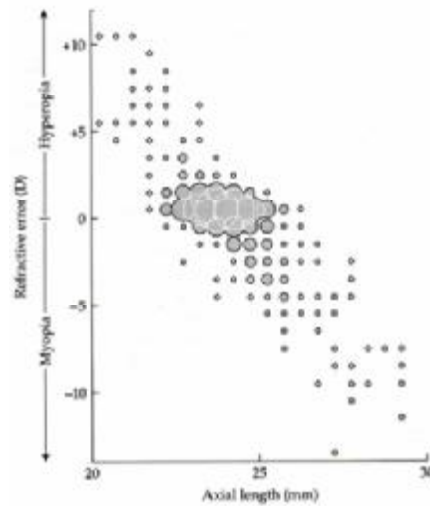
Εικόνα 19 Ακτίνες φωτός παράλληλες προς τον οπτικό άξονα του οφθαλμού μετά την διάθλασή τους εστιάζονται πίσω από τον αμφιβληστροειδή (υπερμετροπία). Το άπω σημείο οράσεως βρίσκεται πίσω από τον οφθαλμό, εκεί όπου θα εστίαζε η συγκλίνουσα δέσμη αν δεν παρεμβάλλονταν ο οφθαλμός.



Εικόνα 20: Ανάλογα και με την ικανότητα προσαρμογής ο υπερμέτρωπας βλέπει καλύτερα σε μακρινές αποστάσεις από ό, τι σε κοντινές.

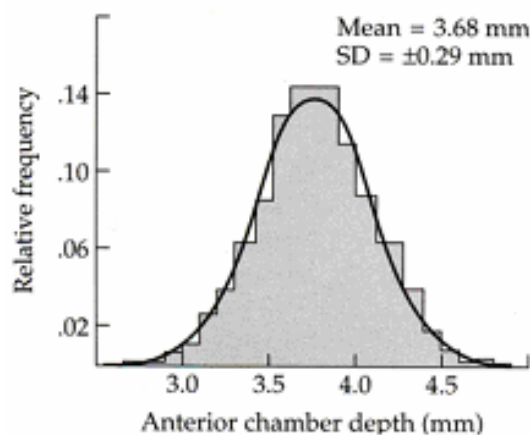
Η μυωπία και η υπερμετροπία μπορεί να οφείλονται:

- § Στο μεγάλο (μυωπία) ή μικρό (υπερμετροπία) μήκος του προσθιοπίσθιου άξονα του βολβού (αξονική μυωπία ή υπερμετροπία) (Εικόνα 21).



Εικόνα 21 Το διαθλαστικό σφάλμα (refractive error) σε συνάρτηση με το αξονικό μήκος (axial length). Αν διαφορετικές τιμές διαθλαστικών σφαλμάτων οφείλονται αποκλειστικά σε διαφορετικές τιμές αξονικού μήκους τότε η γραφική παράσταση των δύο μεγεθών θα ήταν μία ευθεία γραμμή. Αν και μια γραμμική σχέση είναι φανερή, υπάρχουν πολλά σημεία εκτός της μέσης γραμμής ($r=0,76$). Το αξονικό μήκος αν είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το διαθλαστικό σφάλμα του οφθαλμού, δεν είναι ο μόνος. Για παράδειγμα η συχνότερη τιμή αξονικού μήκους 24mm συναντάται σε μυωπικούς, εμμετροπικούς αλλά και υπερμετροπικούς οφθαλμούς. Το μέγεθος του κάθε κύκλου είναι ανάλογος του αριθμού των παρατηρήσεων στο κέντρο κάθε ενός από αυτούς (Stenström, 1948)

- § Στην μη εναρμόνιση της ισχύος του διαθλαστικού συστήματος και του αξονικού μήκους του οφθαλμού (Εικόνα 22). Στις περιπτώσεις αυτές, που αποτελούν πολύ συχνή αιτία μικρού βαθμού μυωπίας ή υπερμετροπίας, η ισχύς του διαθλαστικού συστήματος είναι μεγαλύτερη (μυωπία) ή μικρότερη (υπερμετροπία) από ότι χρειάζεται για δεδομένο αξονικό μήκος βολβού, παρόλο που και οι δύο παράγοντες έχουν μέγεθος εντός των ορίων των εμμετροπικών οφθαλμών (μυωπία ή υπερμετροπία συσχέτισης).



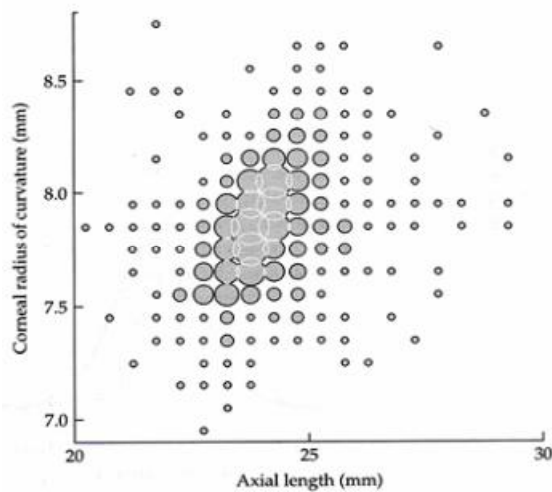
Εικόνα 22 Η σχετική συχνότητα (relative frequency) του βάθους του πρόσθιου θαλάμου (anterior chamber depth) και του αξονικού μήκους (axial length) εκατό οφθαλμών. Η μέση τιμή του βάθους του πρόσθιου θαλάμου είναι περίπου 3,7mm (διακύμανση από 2,8 μέχρι 4,8mm), ενώ του αξονικού μήκους περίπου 24mm (διακύμανση από 20 μέχρι 30mm). Οι τιμές του βάθους του πρόσθιου θαλάμου και του αξονικού μήκους ακολουθούν την κανονική κατανομή (Stenström, 1948).

- § Σε σπανιότερες περιπτώσεις μπορεί να οφείλονται στην εξαιρετικά αυξημένη (μυωπία) ή μειωμένη (υπερμετροπία) διαθλαστική ισχύ του διοπτρικού συστήματος του οφθαλμού, προερχόμενη είτε από τον κερατοειδή είτε από τον κρυσταλοειδή φακό. Έτσι, οφθαλμοί με μικρή ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς είναι συνήθως μυωπικοί, ενώ οφθαλμοί με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας υπερμετροπικοί.

Η αλληλεπίδραση όλων αυτών των οφθαλμικών παραμέτρων (διαθλαστική ισχύς κερατοειδούς και κρυσταλλοειδούς φακού, βάθος του πρόσθιου θαλάμου, αξονικό μήκος) έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων από το θεωρητικά αναμενόμενο να είναι εμμετροπικός ή «ελαφρώς υπερμετροπικός» το φαινόμενο αυτό καλείται εμμετροποίηση (Εικόνα 22). Για παράδειγμα, ένας οφθαλμός με αξονικό μήκος μεγαλύτερο της μέσης τιμής, για να βρίσκεται διαθλαστικά κοντά στην εμμετροπία πρέπει το μεγάλο του αξονικό μήκος να εξισορροπηθεί από διαθλαστική ισχύ του κερατοειδούς μικρότερη της μέσης τιμής. Μελέτες σε βρέφη πιθήκων (Raviola και Wiesel, 1985) υποδηλώνουν ότι η διαδικασία της εμμετροποίησης έχει σε μεγάλο βαθμό γενετικό υπόβαθρο ενώ επηρεάζεται και από τις περιβάλλοντικές συνθήκες.

Η παράμετρος του οφθαλμού με την μεγαλύτερη συσχέτιση με το διαθλαστικό σφάλμα είναι το αξονικό του μήκος. Μελέτες πολλαπλής παλινδρόμησης αποδίδουν σχεδόν 50% του διαθλαστικού σφάλματος στον παράγοντα του αξονικού μήκους, 20% στην διαθλαστική ισχύ του κερατοειδούς, 5% στο βάθος του πρόσθιου θαλάμου και το υπόλοιπο 25% σε άγνωστες παραμέτρους μία από τις οποίες είναι ο κρυσταλλοειδής φακός. Το μεγάλο αξονικό μήκος του βολβού είναι ο κύριος παράγοντας μυωπίας άνω των -6D ενώ σπανιότερα μικρό αξονικό μήκος έχει ως αποτέλεσμα μέση και υψηλού βαθμού υπερμετροπία.

Στις περιπτώσεις που η αμετροπία οφείλεται σε ακραίες τιμές ενός από τα στοιχεία του διαθλαστικού συστήματος του οφθαλμού, συχνά υπάρχει γονιδιακό υπόβαθρο. Τότε η κληρονομικότητα είναι συνήθως μονοπαραγοντική [υπολειπόμενη φυλοσύνδετη (Wold, 1949)].



Εικόνα 23 Η ακτίνα καμπυλότητας (corneal radius of curvature) του κερατοειδούς σε συνάρτηση του αξονικού μήκους (axial length) του οφθαλμού. Η ακτίνα καμπυλότητας τείνει να αυξάνεται (μείωση της διαθλαστικής ισχύος του κερατοειδούς) καθώς αυξάνεται και το αξονικό μήκος. Αν και η συσχέτιση αυτή είναι προς την σωστή κατεύθυνση για την μείωση του διαθλαστικού σφάλματος (μειωμένη ισχύς του κερατοειδούς εξισορροπεί το αυξημένο αξονικό μήκος) η μεγάλη διασπορά των σημείων, δείχνει ότι η συσχέτιση μικρή (Stenström, 1948)

Αστιγματισμός

Είναι η διαθλαστική ανωμαλία του οφθαλμού κατά την οποία η διαθλαστική ισχύς του διοπτρικού συστήματος δεν είναι ίδια σε όλους τους μεσημβρινούς, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εστίαση όλων των ακτινών σε ένα σημείο. Στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων οφείλεται στο γεγονός ότι ο κερατοειδής έχει διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας στους διάφορους μεσημβρινούς (άρα και διαθλαστική ισχύ) με μια μέγιστη τιμή στον ένα μεσημβρινό και μια ελάχιστη σε έναν άλλο. Σπανιότερα, ο αστιγματισμός μπορεί να οφείλεται σε μικροανωμαλίες στην καμπυλότητα της επιφάνειας του κρυσταλλοειδούς φακού ή σε μεταβολές του δείκτη διάθλασης του (φακικός αστιγματικός).

Στην καθημερινή κλινική πράξη χρησιμοποιείται ο όρος σφαιρικό ισοδύναμο για να περιγράψει συνολικά το διαθλαστικό σφάλμα. Ως σφαιρικό ισοδύναμο ορίζεται το αλγεβρικό άθροισμα του σφαιρώματος (μυωπία ή υπερμετροπία) με το ήμισυ του αστιγματισμού.

$$\text{Σφαιρικό Ισοδύναμο} = \text{Σφαίρωμα} + \text{Κύλινδρος}/2$$

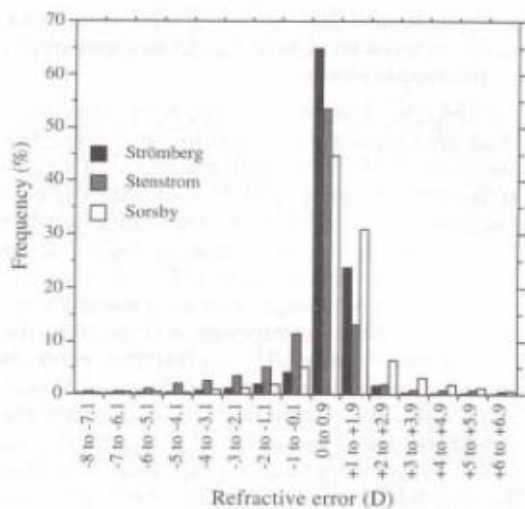
4.2.1 Κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος στον γενικό πληθυσμό

Η κατανομή των διαθλαστικών σφαλμάτων εξαρτάται από την ηλικία του πληθυσμού που μελετάται και εμφανίζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις κατά την παιδική ηλικία (Hirsch and Weymouth, 1991). Κατά την γέννηση ο οφθαλμός του ανθρώπου παρουσιάζει κατά μέσο όρο υπερμετροπία 2D, ενώ οι τιμές του διαθλαστικού σφάλματος ακολουθούν την κανονική κατανομή (Hirsch και Weymouth, 1991; Goss, 1998; Zadnick και Mutti, 1998). Από την γέννηση μέχρι τα 11-13 έτη, καθώς ο οφθαλμός αναπτύσσεται και φτάνει σχεδόν τις

διαστάσεις του οφθαλμού του ενήλικα, η κατάλληλη συσχέτιση της ισχύος των παραμέτρων του διαθλαστικού του συστήματος είναι αυτή που οδηγεί στην επιθυμούμενη εμμετροπία (Troilo, 1992).

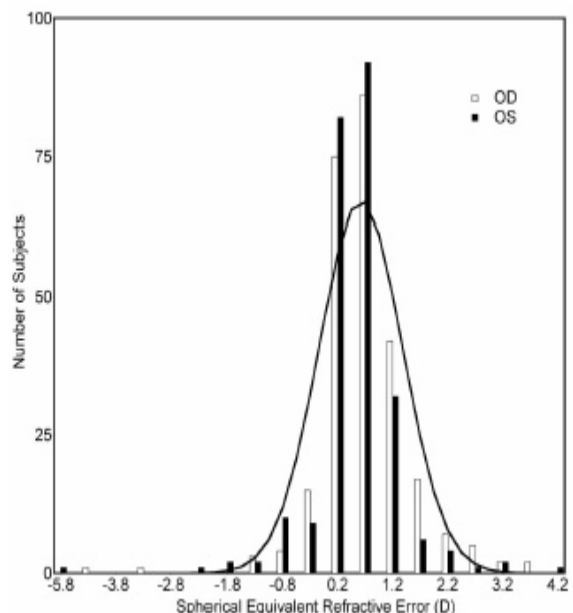
Η κατανομή της αμετροπίας στον ενήλικο γενικό πληθυσμό (Εικόνα 24) παρουσιάζεται σε μελέτες των Strömberg (1936), Stenstrom (1948), Sorsby και συν (1960).

Το μέσο διαθλαστικό σφάλμα είναι ελαφρά υπερμετροπικό με την κατανομή περισσότερο οξύαιχη από αυτήν της κανονικής κατανομής (λεπτοκύρτωση), ενώ υπάρχουν περισσότερες παρατηρήσεις οφθαλμών με υψηλή μυωπία και λιγότερες με υψηλή υπερμετροπία. Η κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος είναι πρακτικά σταθερή για τον ηλικιακό πληθυσμού μεταξύ 20 και 40 ετών και στην συνέχεια γίνεται λιγότερο λεπτόκυρτη (Grosvenor, 1991).



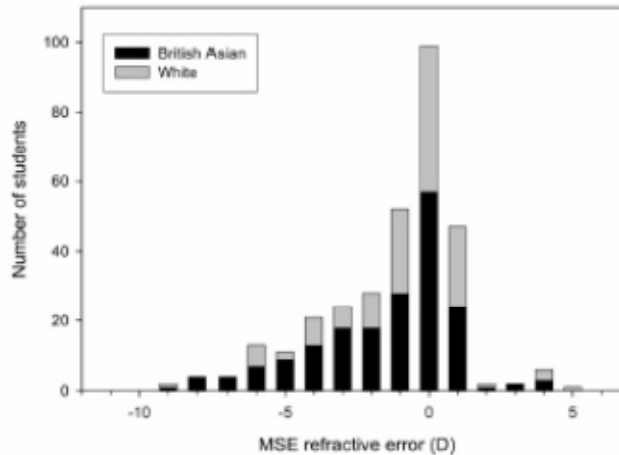
Εικόνα 24 Συχνότητα (frequency) του διαθλαστικού σφάλματος (refractive error) στον γενικό πληθυσμό. Υπάρχουν περισσότεροι οφθαλμοί εκ του αναμενόμενου με διαθλαστικό σφάλμα κοντά στο μηδέν και περισσότεροι οφθαλμοί με υψηλή μυωπία σε σχέση με οφθαλμούς με υψηλή υπερμετροπία (Strömberg 1936; Stenstrom, 1948; Sorsby και συν, 1960).

Εικόνα 25 Κατανομή του σφαιρικού ισοδύναμου διαθλαστικού σφάλματος (MSE refractive error) του δεξιού οφθαλμού 373 φοιτητών στην Μ. Βρετανία. Η κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά ανεξαρτήτου εθνικότητας (English white vs British Asians-India and Pakistan) αποδεικνύοντας ότι ο περιβαλλοντικός παράγοντας ("εκπαίδευση") παίζει σημαντικό ρόλο (Logan και συν, 2005).



Επιπλέον φυλετικές και εθνολογικές μελέτες δείχνουν ότι η μυωπία συναντάται συχνότερα σε Ασιάτες (κίτρινη φυλή) και Εβραίους, ενώ είναι σπανιότερη σε Αφρικανούς και Αμερικάνους. Μελέτη στην Ταϊβάν (Luke L-K και συν, 1996) ανεβάζουν την συχνότητα της μυωπίας στον ενήλικο πληθυσμό σε 84%.

Παράλληλα το γεγονός πως υπάρχει σημαντική διακύμανση στην συχνότητα των διαθλαστικών σφαλμάτων ανάλογα με τις υποεξετάση ομάδες (της ίδιας φυλής) υποδηλώνει πως και άλλοι παράγοντες έχουν συμμετοχή. Σύμφωνα με τους Baldwin (1964) και τους Angle και συν (1980) σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο αυξημένος χρόνος που αφιερώνουν καθημερινά οι άνθρωποι 15-25 ετών στο διάβασμα και γενικότερα στην κοντινή εργασία για την εμφάνιση χαμηλού βαθμού μυωπίας (Εικόνες 25 και 26).



Εικόνα 26 Κατανομή του σφαιρικού ισοδύναμου διαθλαστικού σφάλματος (spherical equivalent refractive error) σε δεξί και αριστερό οφθαλμό, πληθυσμού 259 γηγενών της περιοχής του Αμαζονίου. Κάθε ράβδος αντιστοιχεί σε εύρος τιμών 0,5D. Η συνεχής γραμμή αναπαριστά την κανονική κατανομή για δεδομένα από -3 έως +4D. Πρακτικά δεν υπάρχουν μύωπες! Μόνον το 2.7% παρουσιάζει χαμηλή μυωπία (μόνον 4 από τους εξεταζόμενους είχαν τελειώσει δημοτικό σχολείο) (Thorn και συν, 2005).

ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΕ LASER

Είναι οι πιο διαδεδομένες επεμβάσεις για την διόρθωση της μυωπίας, της υπερμετροπίας και του αστιγματισμού. Στην ουσία πρόκειται για επεμβάσεις που ρυθμίζουν την εστίαση του οφθαλμού, επεμβαίνοντας σε δομές όπως ο κερατοειδής ή ο κρυσταλλοειδής φακός, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ευκρινής όραση μειώνοντας, ή ακόμα εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης διορθωτικών γυαλιών ή φακών επαφής. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι αρκετές και διαφορετικές, ενώ κάθε φορά επιλέγεται αυτή που θα προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα στον ασθενή ανάλογα με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της κατάστασής του.

Κύριος στόχος της διαθλαστικής χειρουργικής είναι η αλλαγή της καμπυλότητας του κερατοειδούς μέσω της σμίλευσης της επιφάνειάς του με την χρήση laser καθώς και η χειρουργική αντιμετώπιση του καταρράκτη.

5.1 Προεγχειρητικός έλεγχος

Η προεγχειρητική διαδικασία περιλαμβάνει σειρά μετρήσεων και εξετάσεων ώστε να συνεκτιμηθούν παράγοντες όπως η σταθερότητα της όρασης, η κατάσταση του κερατοειδούς, η γενικότερη υγεία των ματιών, καθώς και το ιατρικό ιστορικό του υποψηφίου (πλήρης οφθαλμολογικός έλεγχος και μια σειρά μετρήσεων που πραγματοποιούνται με ιατρικό εξοπλισμό τελευταίας γενιάς). Ο προεγχειρητικός έλεγχος είναι απαραίτητος όχι μόνο για την επιλογή της διαθλαστικής τεχνικής, αλλά και για τον ακριβή προγραμματισμό της θεραπείας (μεexcimer laser) για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Σε περίπτωση που ο ασθενής φοράει φακούς επαφής, είναι απαραίτητο να τους έχει βγάλει την ημέρα της εξέτασης και να φοράει γυαλιά. Οι φακοί επαφής μεταβάλλουν το σχήμα του κερατοειδή ανάλογα με τον τύπο φακών. Αν ο ασθενής δεν έχει βγάλει τους φακούς επαφής για αρκετό διάστημα ώστε ο κερατοειδής να ανακτήσει το φυσιολογικό του σχήμα προ της επέμβασης, μπορεί να υπάρξουν αρνητικές συνέπειες όπως ανακριβείς προεγχειρητικές μετρήσεις και εγχειρητικό σχεδιασμό, καταλήγοντας έτσι μετεγχειρητικά σε μη ικανοποιητική όραση.

Σε περίπτωση που ο ασθενής φοράει:

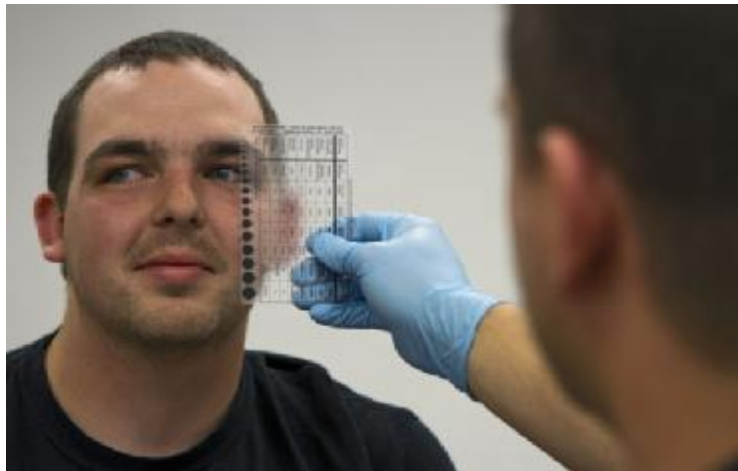
- § Μαλακούς φακούς επαφής, πρέπει να σταματήσει να τους φοράει δέκα ημέρες πριν από τον προεγχειρητικό έλεγχο.
- § Τορικούς φακούς επαφής ή άκαμπτους αεροδιαπερατούς φακούς, δεν πρέπει να τους φοράει τουλάχιστον τρεις εβδομάδες πριν.
- § Σκληρούς φακούς επαφής, θα πρέπει να σταματήσει να τους φοράει για τουλάχιστον ένα μήνα προ του προεγχειρητικού ελέγχου.

Οι προεγχειρητικές εξετάσεις, στις οποίες θα πρέπει να υποβληθεί ο ασθενής είναι:

Πλήρης οφθαλμολογικός έλεγχος: Σε αυτόν τον έλεγχο, ο οφθαλμίατρος θα εξακριβώσει την καλή υγεία των ματιών. Θα εξετάσει το βυθό, τον κερατοειδή, τον αμφιβληστροειδή και θα μετρήσει την ενδοφθάλμια πίεση των ματιών.

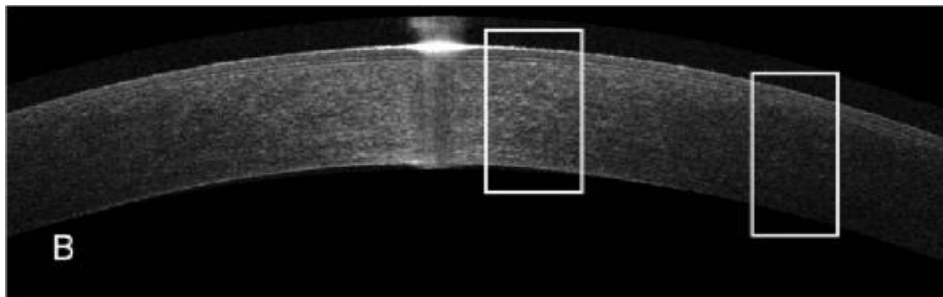
Μέτρηση της οπτικής οξύτητας: Οπτική οξύτητα είναι η ικανότητα του οφθαλμού να βλέπει καλά μακριά και αξιολογείται με την ανάγνωση ενός πίνακα που περιλαμβάνει γράμματα ή αριθμούς που σταδιακά μικραίνουν. Η κεντρική όραση καθορίζεται από τη μικρότερη γραμμή που μπορεί να διαβάσει ο ασθενής σε μια συγκεκριμένη απόσταση. Προκειμένου κάποιος να διορθώσει την όρασή του με laser θα πρέπει η οπτική οξύτητα να είναι σταθερή τουλάχιστον για δύο χρόνια.

Μέτρηση του μεγέθους της κόρης: Άτομα με μεγάλη κόρη, μετά από διαθλαστική επέμβαση συχνά παραπονιούνται –κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες- για ενοχλήσεις στην όραση, όπως λάμπεις ή θάμβος. Κατά το διαθλαστικό προεγχειρητικό έλεγχο, ο οφθαλμίατρος με ένα ειδικό όργανο μέτρησης της κόρης, θα μετρήσει το μέγεθός της, έναν παράγοντα καθοριστικό στο σχεδιασμό της εγχειρητικής διαδικασίας έτσι ώστε ο ασθενής, μετεγχειρητικά, να μην παρουσιάζει προβλήματα κατά τη νυχτερινή όραση.



Εικόνα 27 Μέτρηση μεγέθους κόρης με ειδικό πίνακα. Ο εξεταστής μετράει το μέγεθος κόρης σε συνθήκες φωτός και σκοταδιού.

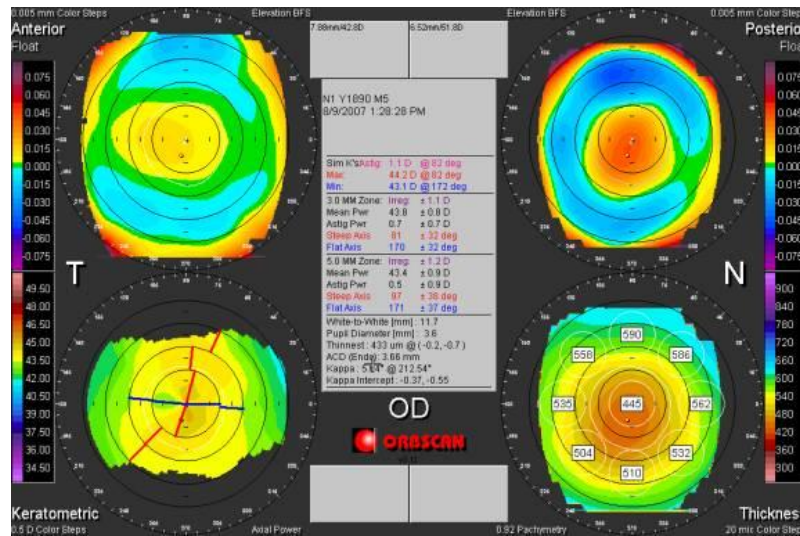
Παχυμετρία Κερατοειδούς: Με την παχυμετρία του κερατοειδούς μετράται το πάχος του κερατοειδικού ιστού. Αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική πληροφορία αφού είναι πολύ σημαντικό το πάχος του κερατοειδή να είναι μέσα στα ασφαλή όρια που επιτρέπουν την εφαρμογή του laser.



Εικόνα 28 Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός κερατοειδούς. Η παχυμετρία γίνεται παράλληλα με την τοπογραφία κερατοειδούς.

Τοπογραφία Κερατοειδούς ORBSCAN IIz & PENTACAM: Η τοπογραφία του κερατοειδούς είναι ένας έγχρωμος τοπογραφικός χάρτης επάνω στον οποίο αναπαρίσταται χρωματικά η κατανομή της διαθλαστικής ισχύος της επιφάνειας του κερατοειδούς, από το κέντρο έως την περιφέρειά του. Όπως οι γεωγραφικοί χάρτες με τα χρώματα απεικονίζουν τη διαμόρφωση

του εδάφους, έτσι και οι τοπογραφικοί χάρτες απεικονίζουν τις περιοχές με τη μεγαλύτερη ή τη μικρότερη διαθλαστική δύναμη του ματιού.



Εικόνα 29 Απεικόνιση κερατοειδούς με αστιγματισμό στο δεξί μάτι από τον τοπογράφο ORBCAN IZ. Οι δύο πάνω εικόνες αναπαριστούν την ανύψωση του κερατοειδούς στο πάνω και κάτω μέρος. Κάτω δεξιά: Η διαθλαστική ισχύς του κερατοειδούς. Κάτω αριστερά: Το πάχος του κερατοειδούς

Η απεικόνιση, όχι μόνο της πρόσθιας αλλά και της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς μέσα από την τοπογραφία, επιτρέπει στο χειρουργό να καθορίσει με ακρίβεια, εάν μπορεί να υποβληθεί ο ενδιαφερόμενος με ασφάλεια σε διαθλαστική επέμβαση.

Συγκεκριμένα, προεγχειρητικά, ο χειρουργός με τη βοήθεια της τοπογραφίας:

- Μπορεί να αποκλείσει από την επέμβαση ασθενείς με αρχόμενο κερατόκωνο.
- Να αναβάλλει την επέμβαση εάν υπάρχουν τοπογραφικές αλλοιώσεις σε ασθενείς που φορούσαν φακούς επαφής μέχρι την επάνοδο της κερατοειδικής τοπογραφίας στο φυσιολογικό.
- Από ένα πλήθος παραμέτρων της τοπογραφίας, να λάβει σοβαρά υπόψιν του τη διαμόρφωση της κερατοειδικής επιφάνειας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού της διαθλαστικής επέμβασης.

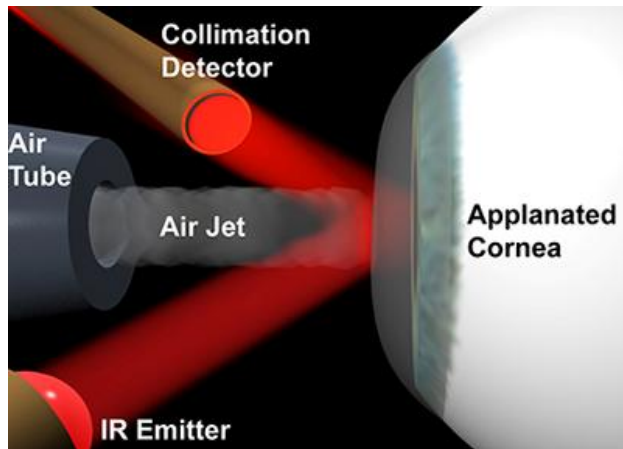
Μετεγχειρητικά, η μελέτη των έγχρωμων τοπογραφικών χαρτών βοηθά στην άμεση και μακροχρόνια αξιολόγηση του αποτελέσματος.

Αμπερομέτρηση με Allegro Analyzer: Μετά από την ενστάλαξη μυδριατικού κολλυρίου για την διαστολή της κόρης, με το αμπερόμετρο ο εξεταστής καταγράφει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τα ιδιαίτερα διαθλαστικά σφάλματα-εκτροπές του οπτικού συστήματος (high order aberrations).

Τα στοιχεία που θα προκύψουν από τη συγκεκριμένη μέτρηση προσφέρουν τη δυνατότητα στο χειρουργό να εφαρμόσει εξατομικευμένη θεραπεία προσαρμοσμένη στις ιδιαίτερες οπτικές σας ανάγκες, εξασφαλίζοντάς έτσι στον ασθενή υψηλή ποιότητα όρασης, κυρίως τις νυχτερινές ώρες.

Οπτική Βιομετρία – IOL master: Η οπτική βιομετρία είναι ένα σύγχρονο και ακριβές όργανο μέτρησης του αξονικού μήκους του οφθαλμού και υπολογισμού της ισχύος του ενδοφθalmίου φακού.

Ocular Response Analyser – ORA: Με τη συγκεκριμένη εξέταση μετρώνται τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κερατοειδούς. Η πληροφορία αυτή προσφέρει στο χειρουργό υψηλή ασφάλεια στον προεγχειρητικό έλεγχο των διαθλαστικών επεμβάσεων για την πρόληψη της μετεγχειρητικής εκτασίας.

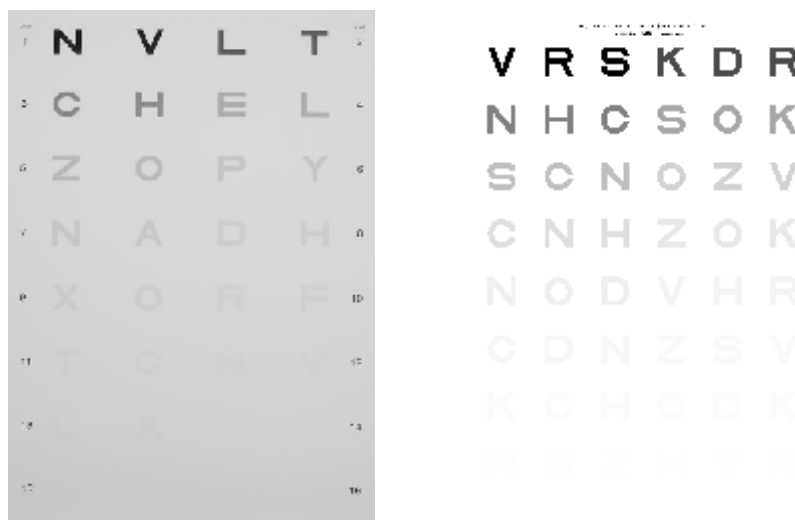


Εικόνα 30 Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ένας παλμός αέρα ασκεί δύναμη στον κερατοειδή, προκαλώντας την προς τα έσω κίνηση του κεντρικού τμήματος, την επιπέδωση και τελικά την έσω κοίλανση αυτού. Ένα φωτοκατευθυνόμενο ήλεκτρο-οπτικό σύστημα ανίχνευσης παρακολουθεί την κερατοειδική κοίλανση βασιζόμενο στην ανάκλαση του φωτός από τον κερατοειδή. Η διαφορά των δύο αυτών μετρήσεων ορίζεται ως κερατοειδική υστέρηση.

Ενδοθηλιοσκόπηση: Με την συγκεκριμένη εξέταση, μετράται ο αριθμός των ενδοθηλιακών κυττάρων του ματιού και εξετάζεται η ποιότητα του ενδοθηλίου.

Μέτρηση της χρωματικής αντίθεσης του φωτός-Contrast Sensitivity Test: Στις καθημερινές συνθήκες, η όρασή μας δε λειτουργεί μόνο σε αντίθεση του μαύρου και του άσπρου. Συνήθως, το μάτι μας καλείται να αναγνωρίσει αντικείμενα διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες φωτός όπως ομίχλη, νυχτερινό φως, έντονη ηλιακή ακτινοβολία κ.λ.π.. Σε πολλές οπτικές ανωμαλίες παρατηρείται απώλεια όρασης κάτω από ανάλογες καταστάσεις. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από μειωμένη χρωματική αντίληψη της αντίθεσης του φωτός και μεταφράζεται σε κακή ποιότητα όρασης.

Με τη μέτρηση της χρωματικής αντίθεσης του φωτός μέσω του Contrast Sensitivity Test (Εικόνα 31), προεγχειρητικά και μετεγχειρητικά, δίνεται η δυνατότητα για εκτίμηση, όχι μόνο της μετεγχειρητικής βελτίωσης της οπτικής οξύτητας του ασθενή, αλλά και την ποιότητα της όρασής του – έναν παράγοντα ιδιαίτερα σημαντικό στην ποιότητα του μετεγχειρητικού αποτελέσματος.



Εικόνα 31 Αριστερά δείγμα από πίνακα εξέτασης Hamilton-Veale και δεξιά δείγμα πίνακα PelliRobson

5.2 Ποιοι είναι κατάλληλοι υποψήφιοι για διαθλαστική επέμβαση

Θεωρητικά κάθε άνθρωπος που παρουσιάζει διαθλαστικά σφάλματα (μυωπία, υπερμετρωπία, αστιγματισμό) και επιθυμεί να απαλλαγεί από τα γυαλιά ή τους φακούς επαφής έχει την δυνατότητα να υποβληθεί σε διαθλαστική επέμβαση με laser.

Σε γενικές γραμμές όμως θα πρέπει να:

- ✓ έχει συμπληρώσει το 18^ο έτος της ηλικίας του
- ✓ έχει καλή γενική υγεία
- ✓ έχει σταθερή όραση κατά τα τελευταία δύο χρόνια (σταθεροποιημένες διαθλαστικές ανωμαλίες)
- ✓ μην πάσχει από σακχαρώδη διαβήτη ή ασθένειες του κολλαγόνου
- ✓ μην πάσχει από χρόνιες παθήσεις του κερατοειδούς,
- ✓ μην πάσχει από χρόνιες παθήσεις του αμφιβληστροειδούς
- ✓ μην έχει άλλες επικίνδυνες οφθαλμικές παθήσεις
- ✓ μην παίρνει φάρμακα όπως η αμιοδαρόνη (για ρύθμιση καρδιακών αρρυθμιών) και η ισοτρετινοΐνη (για αντιμετώπιση νεανικής ακμής)

Αντενδείξεις για διαθλαστική επέμβαση με laser;

- § κερατόκωνος
- § γλαύκωμα
- § κερατοειδής πολύ μικρού πάχους
- § διάφορες κερατοειδικές λοιμώξεις
- § περίοδος εγκυμοσύνης (οι ορμονικές μεταβολές προκαλούν οφθαλμικές αλλαγές)
- § AIDS
- § νοσήματα κολλαγόνου
- § σύνδρομο Sjogren
- § σακχαρώδης διαβήτης
- § οφθαλμικός έρπητας
- § διάφορες νευροπάθειες
- § έντονη ξηροφθαλμία

ΤΕΧΝΙΚΕΣ LASER ΣΤΗΝ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

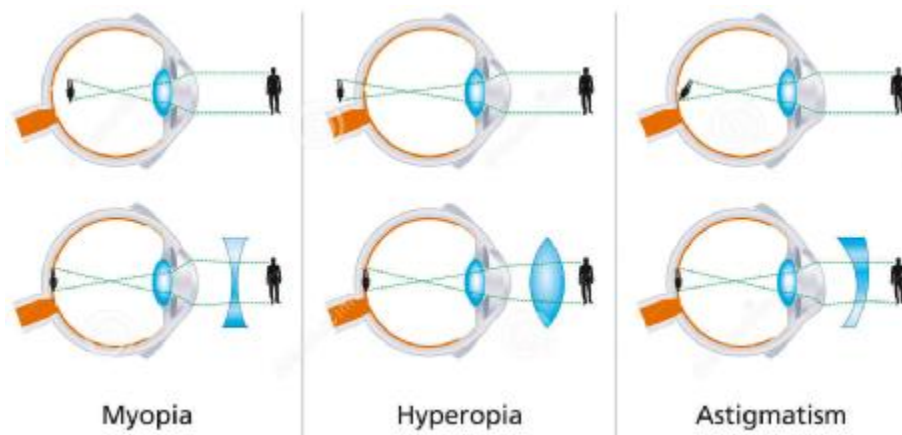
Η εξέλιξη της τεχνολογίας των laser στην ανάπτυξη μιας πληθώρας τεχνικών με σκοπό την διόρθωση των διαθλαστικών ανωμαλιών ανάλογα με τις ανάγκες του υποψηφίου αμέτρωπα. Οι δύο πιο γνωστές τεχνικές στις οποίες βασίζονται και οι υπόλοιπες παραλλαγές είναι η **Laser in Situ Κερατοσμίλευση (LASIK)** και η **Φωτοδιαθλαστική Κερατεκτομή (Photorefractive Keratectomy – PRK)**

6.1 Τρόπος εφαρμογής της δέσμης laser ανάλογα με το διαθλαστικό σφάλμα

Μυωπία: Για τη διόρθωση της μυωπίας απαιτείται επιπέδωση του κερατοειδή που σημαίνει ότι το laser εφαρμόζεται κεντρικά, κάθετα στον κερατοειδή σε κυκλικό σχήμα.

Υπερμετρωπία: Στην υπερμετρωπία απαιτείται δέσμη laser μικρότερου εύρους. Η δέσμη εφαρμόζεται περιφερικά στον κερατοειδή με κλίση ώστε να αυξηθεί η καμπυλότητα του και αποδομεί τον ιστό σε σχήμα έλλειψης. Η διόρθωση της υπερμετρωπίας πάνω από 3-4 D είναι λιγότερο προβλέψιμη από της μυωπίας και εμφανίζονται συχνά φαινόμενα υποστροφής.

Αστιγματισμός: Το βάθος της φωτοαποδόμησης είναι μεγαλύτερο στο μεσημβρινό με το μεγαλύτερο με το μεγαλύτερο σφάλμα.



Εικόνα 32 Αναπαράσταση οφθαλμού με μυωπία, υπερμετρωπία και αστιγματισμό (από αριστερά προς τα δεξιά)

6.1.1 Φωτοδιαθλαστική κερατεκτομή (PRK Photorefractive Keratectomy)

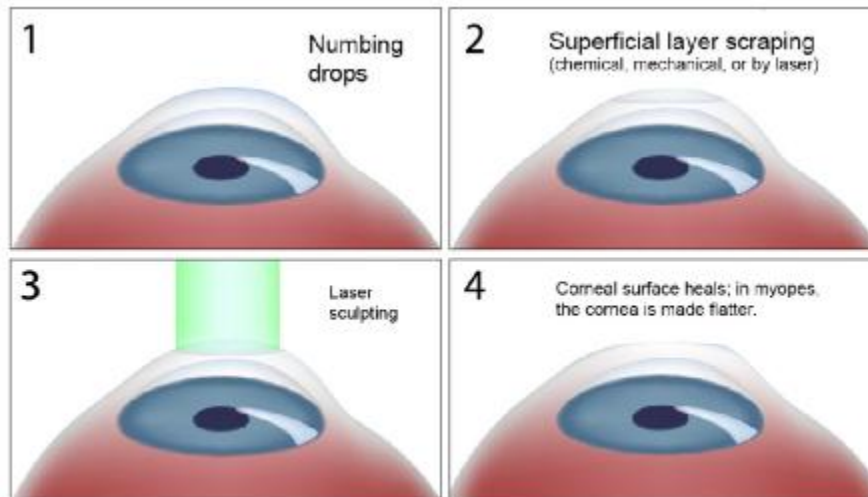
Είναι η πρώτη μέθοδος λέιζερ που εφαρμόστηκε. Η τεχνική αυτή στηρίζεται στην φωτοαποδόμηση των επιφανειακών στοιβάδων του κερατοειδούς έτσι ώστε να αλλάξει η καμπυλότητά του και να εστιάζεται το φως στον αμφιβληστροειδή.

Αφού γίνουν πρώτα οι απαραίτητες μετρήσεις και εξετάσεις, και με την προϋπόθεση ότι σε περίπτωση χρήσης φακών επαφής, αυτοί δεν θα έχουν χρησιμοποιηθεί για 1 εβδομάδα αν είναι μαλακοί και για 1 μήνα αν είναι σκληροί, γίνεται η επέμβαση.

Ο μύωπας (ή ο υπερμέτρωπας κ.λπ.), τοποθετείται σε ύπτια θέση, κάτω από το μικροσκόπιο του λέιζερ και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής του μηχανήματος, τροφοδοτείται με τα δεδομένα των μετρήσεων και ανάλογα ρυθμίζει την εκπομπή του λέιζερ.

Τεχνική

Αρχικά, γίνεται αφαίρεση του επιθηλίου με τη βοήθεια ενός ειδικού εργαλείου του μικροκερατόμου. Στην συνέχεια, μετά την απομάκρυνση του επιθηλίου, με τη χρήση Excimer Laser φωτοαφαιρείται η μεμβράνη του Bowman και το κερατοειδικό στρώμα (σε προκαθορισμένο βάθος και σε χρόνο 30-60 δευτερολέπτων). Το Excimer laser δρα σε ζώνη διαμέτρου 6-7 mm και τροποποιεί ελεγχόμενα τον κερατοειδικό ιστό διορθώνοντας το διαθλαστικό σφάλμα (Εικόνα 33).



Εικόνα 33 Τεχνική PRK

Η διαδικασία της επέμβασης διαρκεί μερικά λεπτά και γίνεται με τοπική νάρκωση (σταγόνες). Αμέσως μετά τοποθετείται προστατευτικός μαλακός φακός επαφής, για 3-5 ημέρες, μέχρι να επουλωθεί η περιοχή που έγινε το λέιζερ (το επιθήλιο του κερατοειδή συνήθως αναπλάθεται εντός 48-72 ωρών).

Ο οφθαλμός παρακολουθείται σε τακτικά χρονικά διαστήματα μέχρι την πλήρη σταθεροποίηση της όρασης, ενώ ρίχνουμε σταγόνες κολλυρίου για διάστημα περίπου 3 μηνών. Η καθαρότητα στην όραση επανέρχεται σταδιακά.

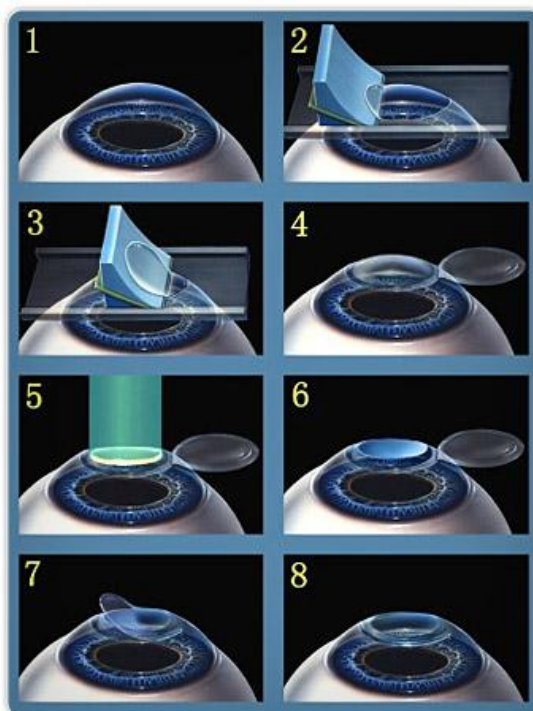
Παραλλαγές της PRK αποτελούν η Lasik και η EpiLasik.

6.1.2 LASIK (με Excimer Laser)

Η LASIK σαν μέθοδος είναι μεταγενέστερη της PRK. Στην μέθοδο αυτή η διόρθωση της διαθλαστικής ανωμαλίας γίνεται στο εσωτερικό του κερατοειδούς και όχι στις επιφανειακές στιβάδες όπως στην PRK. Συνήθως εφαρμόζεται σε ασθενείς με διαθλαστικό σφάλμα άνω των 5 D επειδή απαιτεί μεγαλύτερο πάχος κερατοειδή.

Τεχνική

Με την βοήθεια ενός ειδικού εργαλείου τον μικροκερατόμο, αρχικά δημιουργείται ένα λεπτό επιφανειακό πέταλο κερατοειδικού ιστού (κερατοειδικός κρημνός- corneal flap) πάχους 160 μm το οποίο δεν αφαιρείται αλλά συνεχίζει να συνδέεται με ένα μίσχο με τον υπόλοιπο κερατοειδή στη μια του πλευρά. Στη συνέχεια, το πέταλο ανασηκώνεται, αποκαλύπτοντας τις εσωτερικές στιβάδες του κερατοειδούς και εφαρμόζεται το Excimer Laser στο κερατοειδικό στρώμα, αλλάζοντας την καμπυλότητα του κερατοειδούς με στόχο τη διαθλαστική μεταβολή του. Μετά την εφαρμογή του Excimer Laser ο κερατοειδικός κρημνός επανατοποθετείται στην θέση του, στρώνεται και κολλά χωρίς να χρειάζονται ράμματα. Η επέμβαση γίνεται με αναισθητικές σταγόνες, διαρκεί λίγα λεπτά για το κάθε μάτι και είναι ανώδυνη (Εικόνα 34).



Εικόνα 34 Τεχνική Lasik

Αν μετά την επέμβαση υπάρξει απόκλιση από το αναμενόμενο αποτέλεσμα, δηλ. υπολειπόμενη μυωπία, αστιγματισμός ή υπερμετρωπία, αν και αυτό συμβαίνει σπάνια, αντιμετωπίζεται με συμπληρωματικό λέιζερ που γίνεται μετά από μερικούς μήνες. Το πρώτο καιρό είναι πιθανό να παρατηρηθεί μία ήπια ξηροφθαλμία η οποία όμως προοδευτικά υποχωρεί.

6.1.3 PTK (Phototherapeutic Keratectomy)

Η μέθοδος PTK, γνωστή και σαν φωτοθεραπευτική κερατεκτομή, χρησιμοποιείται σε περιστατικά που απαιτείται καλύτευση διαφόρων επιφανειακών κερατοειδικών ανωμαλιών (π.χ. δυστροφίες, επιφανειακές ουλές κτλ). Αποτελεί μια επιπλέον χρήση του Excimer Laser με την οποία γίνεται απόξεση στην επιφάνεια του κερατοειδή για τη θεραπεία πρόσθιων θολεροτήτων.

Οι θολερότητες αυτές μπορεί να οφείλονται σε κερατοειδικούς εκφυλισμούς, δυστροφίες, φλεγμονές ή τραυματισμό του κερατοειδή. Αν και ορισμένες από τις παραπάνω περιπτώσεις μπορούν να διορθωθούν με τεχνικές επιφανειακής κερατεκτομής, το PTK μπορεί να ελαχιστοποιήσει την αφαίρεση του κερατοειδικού ιστού και του εγχειρητικού τραυματισμού.

Τεχνική

Η αφαίρεση του κερατοειδικού επιθηλίου πραγματοποιείται με laser και στην συνέχεια εφαρμόζεται η διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος με Excimer Laser στην επιφάνεια του κερατοειδούς όπως και στην PRK. Η τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιεί μηχανικές μεθόδους για την αφαίρεση του επιθηλίου και την διεκπεραίωση της διόρθωσης, με αποτέλεσμα να γίνεται πρακτικά «χωρίς να αγγίζει» τον κερατοειδή.

Με αυτήν την τεχνική επιτυγχάνεται η διαύγεια και καθαρότητα του κερατοειδούς που αποσκοπεί σε αισθητή βελτίωση της όρασης. Με κατάλληλο προγραμματισμό του ειδικού λογισμικού (ablation diameter & depth) ο χειρουργός έχει απεριόριστες δυνατότητες στο να καθορίσει την κερατοειδική επιφάνεια.

Η επέμβαση διαρκεί λίγα λεπτά για τον κάθε οφθαλμό. Η διαδικασία γίνεται με σταγόνες όπως και η PRK και στην συνέχεια τοποθετείται φακός επαφής μέχρι την επούλωση του επιθηλίου για τρεις με τέσσερις περίπου μέρες.



Εικόνα 35 Αριστερή εικόνα: θολός κερατοειδής Δεξιά εικόνα: αποτέλεσμα μετά από αποξέωση του κερατοειδή με φωτοθεραπευτική κερατεκτομή

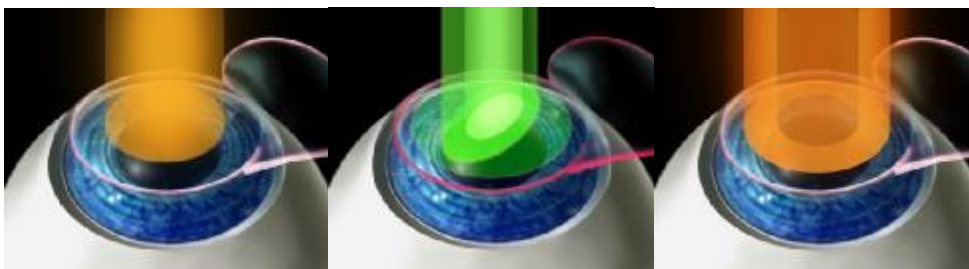
6.3.4 Femtosecond LASIK (Μέθοδος διαθλαστικής διόρθωσης με τη χρήση Femtosecond Laser)

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται laser τελευταίας γενιάς και εξαιρετικής ακρίβειας για τη δημιουργία της κερατοειδικής τομής χωρίς τη χρήση του μικροκερατόμου. Έτσι η τομή δημιουργείται με απόλυτη ακρίβεια ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του οφθαλμού του κάθε ασθενούς.

Μετά την δημιουργία πετάλου ακολουθεί η διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος με τη χρήση λέιζερ που αλλάζει την καμπυλότητα του κερατοειδούς όπως και στην παραδοσιακή LASIK. Η αποκατάσταση της όρασης είναι άμεση, αφού οι ασθενείς βλέπουν καθαρά μετά το χειρουργείο.

Η επέμβαση διαρκεί λίγα λεπτά για το κάθε μάτι, είναι ανώδυνη και γίνεται με αναισθητικές σταγόνες.

Δύο παραλλαγές της φωτοδιαθλαστικής χειρουργικής είναι η LASEK και η Epi-LASIK. Στις δύο αυτές τεχνικές το αφαιρούμενο επιθήλιο επανατοποθετείται στον κερατοειδή μέχρι να ολοκληρωθεί η ανάπλαση του καινούριου.



Εικόνα 36 Σχήμα ακτίνας laser ανάλογα με το διαθλαστικό σφάλμα του ασθενή. Από τα αριστερά προς τα δεξιά διόρθωση μυωπίας, αστιγματισμού και πρεσβυπίας

6.3.5 Epi-LASIK

Η τεχνική Epi-LASIK είναι μια μέθοδος επιφανειακής φωτοεκτομής. Όπως και στην PRK, πραγματοποιείται επιφανειακή φωτοεκτομή και αλλαγή της καμπυλότητας του κερατοειδούς. Η διαφορά είναι ότι το επιθήλιο δεν αφαιρείται αλλά διαχωρίζεται από τον υπόλοιπο κερατοειδή με ένα ειδικό εργαλείο, τον επικερατόμο. Στη συνέχεια το laser δρα πάνω στην

επιφάνεια του υπόλοιπου κερατοειδούς διορθώνοντας το διαθλαστικό σφάλμα και το επιθήλιο που αφαιρέθηκε επανατοποθετείται στο τέλος της επέμβασης.

Στο τέλος της επέμβασης τοποθετείται ένας προστατευτικός φακός επαφής που μένει για τρεις με τέσσερις μήνες μέχρι να ολοκληρωθεί η επούλωση.

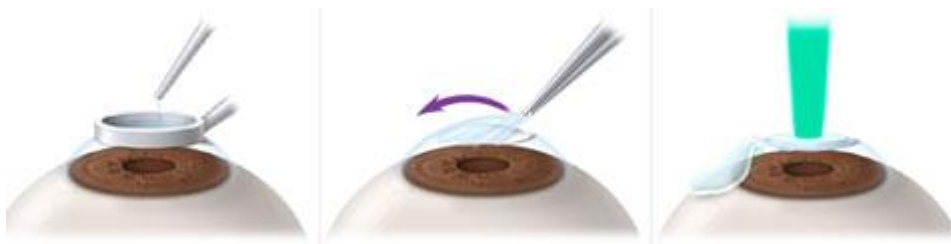
Η επέμβαση διαρκεί λίγα λεπτά για το κάθε μάτι, γίνεται με τοπικές αναισθητικές σταγόνες και είναι ανώδυνη.

6.3.6 LASEK

Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται αραιό διάλειμμα αλκοόλης για να διαχωριστεί το επιθήλιο από τον υπόλοιπο κερατοειδή. Στη συνέχεια ο κερατοειδής ανασηκώνεται και με ένα αμβλύ μαχαιρίδιο αποκολλάται συρρικνώνεται προς μια κατεύθυνση. Έπειτα εφαρμόζεται το laser που αλλάζει την καμπυλότητα του κερατοειδούς, όπως στην PRK (Εικόνα37).

Το επιθήλιο επανατοποθετείται στον κερατοειδή και στο τέλος της επέμβασης τοποθετείται ένας φακός επαφής μέχρι να ολοκληρωθεί η επούλωση του επιθηλίου μέσα στις επόμενες τρεις με τέσσερις μέρες.

Η επέμβαση διαρκεί για το κάθε μάτι, είναι ανώδυνη και γίνεται με αναισθητικές σταγόνες.



Εικόνα 37 Μέθοδος Lasek

ΣΥΓΚΡΙΣΗ LASIK ΚΑΙ PRK

Στην PRK αφαιρείται λιγότερος κερατοειδικός ιστός και το επιθήλιο αναπλάθεται εκ νέου και δεν επικολλείται όπως στη LASIK. Αυτό σημαίνει ότι μειώνονται οι επιπλοκές στην όραση λόγω κακής «συγκόλλησης» του κερατοειδικού κρημνού. Κατά την επούλωση του κρημνού μπορεί να συμβούν αλλαγές στην καμπυλότητα του κερατοειδή που να οδηγήσουν στη δημιουργία εκτροπών.

Κύριο μειονέκτημα της PRK έναντι στη LASIK είναι ο μετεγχειρητικός πόνος και η ανάγκη χρήσης τοπικών στεροειδών για περίπου τρεις που δρουν κερατοειδή ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση επιφανειακών νεφελίων (haze) και η επανάκαμψη του διαθλαστικού σφάλματος. Η εμφάνιση των επιφανειακών νεφελίων και η επανάκαμψη της μυωπίας οφείλονται στο ότι ενόσω το επιθήλιο αναπλάθεται μετεγχειρητικά έρχεται σε επαφή με το κερατοειδικό στρώμα καθώς η μεμβράνη του Bowman έχει φωτοαφαιρεθεί. Επίσης, η αποκατάσταση της όρασης παίρνει 1-2 εβδομάδες. Στη μέθοδο LASIK ο ασθενής δεν αισθάνεται πόνο μετά την επέμβαση και η χρήση των στεροειδών είναι πολύ περιορισμένη (περίπου μια εβδομάδα). Η μεμβράνη του Bowman παραμένει ακέραια και έτσι αποφεύγονται οι επιπλοκές της PRK. Η όραση επανέρχεται σε 2-3 μέρες. Στη LASIK η μεγάλη αφαίρεση κερατοειδικού ιστού μπορεί να οδηγήσει αργότερα κατά την επούλωση σε εκτασία του κερατοειδή. Τέλος η PRK επιλέγεται για διαθλαστικά σφάλματα κάτω των 5 D ενώ η LASIK για μεγαλύτερα.

LASIK	PRK
<i>Flap/πιο πολύπλοκη επέμβαση</i>	<i>Ολική αφαίρεση επιθηλίου</i>
<i>Ανώδυνη μετεγχειρητικά</i>	<i>Πόνος για 2-3 μέρες μετεγχειρητικά</i>
<i>Ταχεία επάνοδος όρασης (1-3 μέρες)</i>	<i>Πιο αργή επάνοδος όρασης (1-2 εβδομάδες)</i>
<i>Καλύτερη για υπερμετρωπία</i>	<i>Ιδανική σε ξηροφθαλμία</i>
<i>Απαιτεί μεγαλύτερο πάχος κερατοειδή</i>	<i>Γίνεται και σε λεπτότερο κερατοειδή</i>
<i>Απαιτεί συγκεκριμένα ανατομικά στοιχεία κερατοειδούς, κόγχου</i>	<i>Δεν επηρεάζεται τόσο από ακραίες παραμέτρους αυτών των στοιχείων</i>
<i>Προβλήματα κυρίως λόγω flap</i>	<i>Προβλήματα κυρίως λόγω haze</i>
<i>Σταθερότητα σε 1 εβδομάδα έως 1-3 μήνες</i>	<i>Σταθερότητα σε 1-3 μήνες (έως και 6-12 μήνες)</i>

6.3.7 Θερμοκερατοπλαστική (TKP)

Πρόκειται για μια μέθοδο εφαρμογής θερμότητας με **ραδιοσυχνότητες** ή λέιζερ, σε σημεία της περιφέρειας του κερατοειδή, που διορθώνει την υπερμετρωπία και τον υπερμετρωπικό αστιγματισμό και ως εκ τούτου μειώνει και την πρεσβυωπία.. Παλιότερα γινόταν και με θερμοκαυτηρίαση. Εφαρμόζεται σε χαμηλούς βαθμούς υπερμετρωπίας. Είναι ασφαλής μέθοδος. Μπορεί να υπάρξει μετεγχειρητικά αστιγματική απόκλιση, η οποία όμως επανέρχεται σταδιακά τους επόμενους μήνες.

Η θερμοκερατοπλαστική έχει το πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων, να μην προστίθεται ή να αφαιρείται ιστός ή άλλο υλικό, παρά γίνεται μια κάμψη των κολλαγόνων ινιδίων του κερατοειδούς.

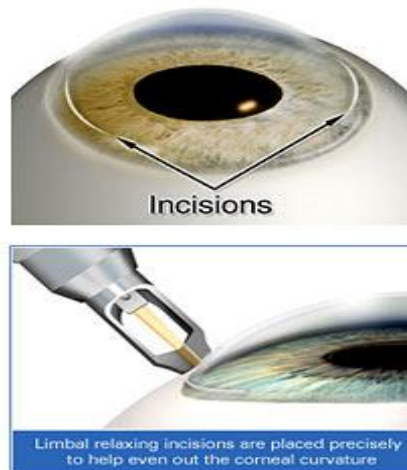
6.3.8 Αστιγματική Κερατοτομή - Astigmatic Keratotomy (AK)

Μία από τις παλαιότερες εναλλακτικές μεθόδους που χρησιμοποιείται ανάλογα με την περίπτωση είναι η διόρθωση της μυωπίας και του αστιγματισμού με ακτινωτή και τοξοειδή κερατοτομή με κρυστάλλους διαμαντιού. Η κερατοτομή σήμερα αποτελεί μια γρήγορη και ασφαλή μέθοδο. Η νεώτερη εξέλιξη της ακτινωτής κερατοτομής είναι η MINI RK (μικρή ακτινωτή κερατοτομή), για μυωπίες έως 4D και η τοξοειδής κερατοτομή με τις παραλλαγές της όπως οι αντιδιαμετρικές τομές (tunnel OCCI) στον κερατοειδή η οποία εφαρμόζεται συνήθως σε αστιγματισμούς έως 6D.

Η όλη διαδικασία διαρκεί λίγα λεπτά. Η αναισθησία γίνεται τοπικά με σταγόνες και ο ασθενής επανακτά την όραση του σχετικά γρήγορα. Οι τομές στην επιφάνεια του ματιού γίνονται με ειδικό μικρομετρικό κρυσταλλικό όργανο με αδαμάντινη κόψη.

Η μέθοδος είναι κατά κανόνα ασφαλής και με σταθερό αποτέλεσμα. Οι επιπλοκές είναι σπάνιες και μπορεί να οφείλονται είτε σε προϋπάρχουσες παθολογικές καταστάσεις (κερατοπάθειες, κερατόκωνοι), είτε σε λανθασμένες προεγχειρητικές μετρήσεις (βαθμός μυωπίας, πάχος κερατοειδούς, αστιγματισμός κ.λπ.), είτε σε τομές διαμέσου της οπτικής ζώνης λόγω μετακινήσεως του βολβού κατά την ολιγόλεπτη επέμβαση, είτε σε λοιμώξεις, υπερβολικό τρίψιμο των ματιών, κακή εφαρμογή φακών επαφής, κ.τ.λ. Άλλα πιθανά ενδεχόμενα προβλήματα που έχουν αναφερθεί είναι η υπερδιόρθωση, η υποδιόρθωση, και το βραδινό θάμβος οράσεως σε ειδικές συνθήκες φωτισμού.

Η ακτινωτή κερατοτομή σήμερα εφαρμόζεται σε περιορισμένες περιπτώσεις αφού το πεδίο διόρθωσης της καλύπτεται από την διόρθωση με Laser. Η αστιγματική τομή όμως έχει εφαρμογή ιδίως σε υψηλούς αστιγματισμούς. Χρησιμοποιείται επίσης σαν προστάδιο διόρθωσης σε ορισμένους κερατόκωνους καθώς και προ ή και μετά την μεταμόσχευση κερατοειδούς.



Εικόνα 38 Αστιγματική Κερατοτομή

6.3.9 ASLA (All Surface Laser Ablation)

Η ASLA είναι η πιο εξελιγμένη μέθοδος διαθλαστικής επέμβασης χωρίς λεπίδα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα laser υψηλής συχνότητας, του οποίου η δέσμη λειτουργεί με 100 φορές λιγότερη ενέργεια από τα πρώτα femtosecond lasers.

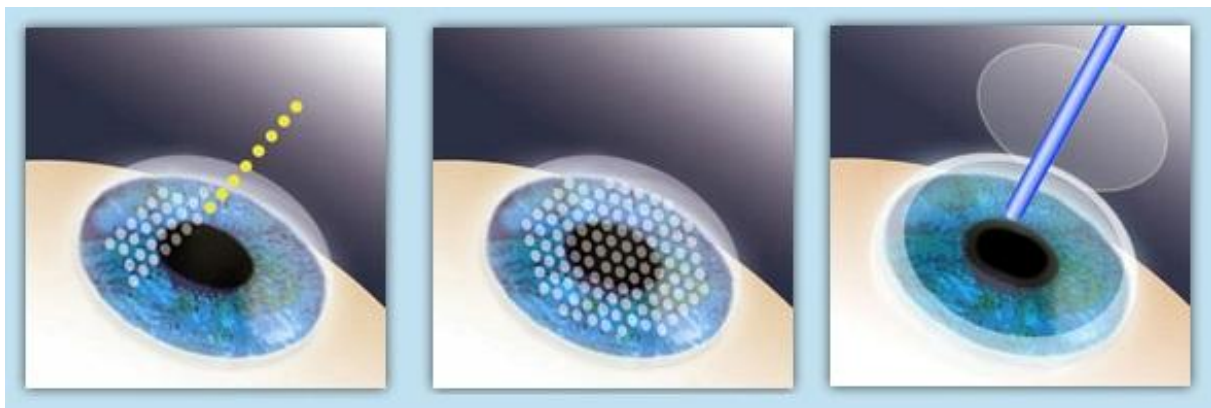
Η περαιτέρω βελτίωση του αλγορίθμου του Schwind Amaris 750S για τις επιφανειακές επεμβατικές πράξεις οδήγησε στη μοναδική διαθλαστική επέμβαση ASLA (All Surface Laser Ablation), κατά την οποία ακόμα και το επιθήλιο του κερατοειδούς αφαιρείται με λέιζερ. Το ρίσκο της επιπλοκής μειώνεται σε σύγκριση με τις προηγούμενες τεχνικές και η ποιότητα της μετεγχειρητικής όρασης είναι καλύτερη.

Η τεχνική αυτή είναι απολύτως No Touch One Step (χωρίς επαφή ή χωρίς άγγιγμα). Αυτό σημαίνει ότι κανένα εργαλείο ή ανθρώπινο χέρι δεν ακουμπά το μάτι και η διαδικασία αφαίρεσης τόσο του επιθηλίου όσο και του στρώματος του κερατοειδούς γίνεται στον ίδιο χρόνο (One Step) και όχι σε δυο διαφορετικά στάδια, όπως έκαναν και κάνουν μέχρι σήμερα οι άλλες πλατφόρμες λέιζερ. Η συνολική χρονική διάρκεια της όλης επέμβασης είναι περίπου 2-3 φορές ταχύτερη από τον μέσο όρο και διαρκεί, για 5 βαθμούς μυωπίας, περίπου 35 δευτερόλεπτα.

Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 2009, αλλά δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά παγκοσμίως το 2011 (Refractive Surgery at the Cutting Edge Advanced Surface Laser Ablation: A True No-Touch Technique, Cataract & Refractive Surgery, June 211) από τους υπογράφοντες επιστήμονες Δρ Ιωάννη Μ. Ασλανίδη από την Κρήτη και Δρ Αντώνη Ι. Ιωαννίδη από τη Λεμεσό της Κύπρου (Comparison of single-step reverse transepithelial all-surface laser ablation (ASLA) to alcohol-assisted photorefractive keratectomy, Clinical Ophthalmology, June 2012).

Το πλεονέκτημα αυτής της πρωτοποριακής τεχνικής είναι η ταχύτερη ανάρρωση και αποκατάσταση της όρασης όπως και η ελαχιστοποίηση των συμπτωμάτων δυσφορίας ή και πόνου που υπήρχαν μετά από την κλασική επέμβαση του PRK.

Η μέθοδος ASLA περιορίζει τις περιπτώσεις που κάποτε η διαθλαστική χειρουργική ήταν δυνητικά επικίνδυνη και επομένως απαγορευτική (όπως περιπτώσεις με λεπτό κερατοειδή αλλά και άλλες παθήσεις όπως στον κερατόκωνο) και επομένως αυξάνει τη θεραπευτική γκάμα του σύγχρονου διαθλαστικού χειρουργού.



Εικόνα 39 Τεχνική ASLA: 1. Διάνοιξη κερατοειδικού επιθηλίου με laser, 2. Ανασήκωση του επιθηλίου και διόρθωση επιφάνειας του κερατοειδούς με femtosecond laser,

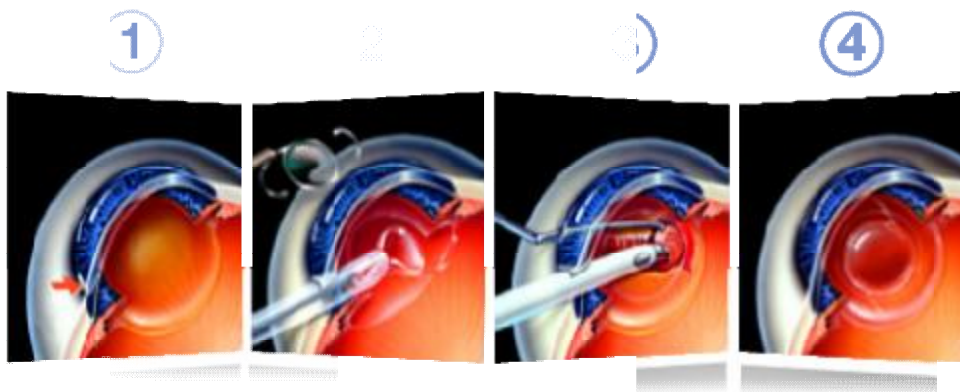
6.4 Άλλες Επεμβάσεις

6.4.1 Ένθεση Ενδοφακού

Αντικατάσταση του φυσικού φακού (Natural Lens Replacement)

Είναι μια χειρουργική επέμβαση για την διόρθωση διαθλαστικών ανωμαλιών. Διαφέρει από τις υπόλοιπες μεθόδους διαθλαστικής χειρουργικής καθώς εδώ δε γίνεται αναδιαμόρφωση του κερατοειδούς χιτώνα, αλλά αντικατάσταση του φυσικού φακού του ματιού. Η επέμβαση NLR εμφανίζει κάποια κοινά στοιχεία με την επέμβαση για την αντιμετώπιση του καταρράκτη. Ο χειρουργός αφαιρεί τον φυσικό φακό χρησιμοποιώντας υπέρηχους και τον αντικαθιστά με έναν ενδοφακό (IOL). Η διόρθωση μπορεί να αφορά είτε την κοντινή είτε τη μακρινή όραση, ανάλογα με το διαθλαστικό πρόβλημα του ασθενή. Η μέθοδος NLR προτείνεται κυρίως σε όσους πάσχουν ήδη από πρεσβυωπία και δε μπορούν να υποβληθούν σε διαθλαστική χειρουργική για αναδιαμόρφωση της επιφάνειας του κερατοειδούς.

Η επέμβαση γίνεται ενδοφθαλμίως (μέσα στο μάτι). Πρόκειται για μία μέθοδο που εφαρμόζεται σε άτομα τα οποία δε μπορούν να υποβληθούν σε διαθλαστική χειρουργική για αναδιαμόρφωση του κερατοειδούς και απαιτεί την αφαίρεση του φυσιολογικού κρυστάλλινου φακού. Είναι δηλαδή παρόμοια με τη διαδικασία αφαίρεσης του καταρράκτη.



Εικόνα 401. Γίνεται μια μικρή τομή, 2.Αφαίρεση του πρόσθιου τμήματος του κρυσταλλοειδούς φακού, 3. Εισαγωγή του ενδοφακού, 4. Τελικό αποτέλεσμα

6.4.2 Φακικός Ενδοτικός

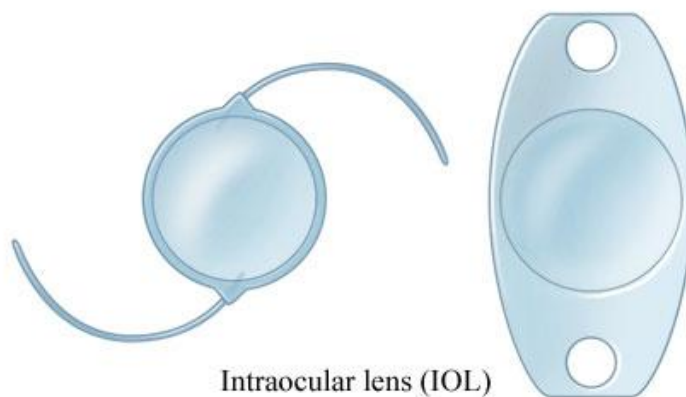
Phakic Intraocular Lens (IOL) Implantation

Είναι μια χειρουργική μέθοδος για την αντιμετώπιση υψηλών διαθλαστικών ανωμαλιών. Διαφέρει από τη διαθλαστική χειρουργική με λέιζερ καθώς εδώ εμφυτεύεται φακός στο μάτι χωρίς να αναδιαμορφωθεί ο κερατοειδής. Ο φακός εμφυτεύεται διαμέσου μιας μικρής τομής στην περιφέρεια του κερατοειδούς με παρόμοιο τρόπο της εμφύτευσης του φακού στην επέμβαση για τον καταρράκτη. Σε αντίθεση με την εγχείρηση καταρράκτη και την αντικατάσταση του φυσικού φακού του ματιού, ο φυσικός φακός εδώ δεν αφαιρείται κατά τη διάρκεια της εγχείρησης.

Με αυτή τη μέθοδο υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης υψηλής μυωπίας και αποτελεί μια εναλλακτική λύση για όσους δεν μπορούν να υποβληθούν σε διαθλαστική με λέιζερ. Με απλά λόγια πρόκειται για μία ενδοθήλιο επέμβαση χωρίς την αφαίρεση του φυσικού φακού του ματιού (κρυσταλλοειδής).



Εικόνα 41 Οφθαλμός με έμφυτο φακό (IOL Implanation)



Εικόνα 42 Τύποι Ενδοφακών

6.4.3 Laser στην διόρθωση πρεσβυωπίας

Η διόρθωση της πρεσβυωπίας είναι ο επόμενος στόχος της διαθλαστικής χειρουργικής. Η δυσκολία στην περίπτωση της πρεσβυωπίας βρίσκεται στη δυναμική υπόσταση της προσαρμογής.

Πρεσβυωπία ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία το μάτι χάνει σταδιακά την ικανότητά του να εστιάζει σε κοντινές αποστάσεις. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην μείωση της ελαστικότητας του κρυσταλλοειδούς φακού του ματιού που επέρχεται μετά την ηλικία των 40 ετών περίπου.

Τα πρώτα συμπτώματα εκδηλώνονται με την τάση που έχει ο πρεσβύωπας να απομακρύνει όλο και περισσότερο τα αντικείμενα που θέλει να δει ή να διαβάσει, με αδυναμία να δει κοντά σε χαμηλό φωτισμό και με κούραση ή πονοκέφαλο μετά από πολύωρη κοντινή εργασία.

6.4.3.1 Πολυεστιακό Laser (Presby - LASIK)

Η διαθλαστική τεχνική Presby - LASIK παρομοιάζεται σαν ένα πολυεστιακό laser (multifocal laser) και χρησιμοποιείται σε διαθλαστικούς ασθενείς που εκτός από την αντιμετώπιση των κοινών διαθλαστικών σφαλμάτων (μυωπία, υπερμετρωπία και αστιγματισμός), επιθυμούν να αντιμετωπίσουν και την πρεσβυωπία λόγω της γήρανσης. Η μέθοδος βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των πολυεστιακών ενδοφακών.

Στις περιπτώσεις υπερμετρωπικής πρεσβυωπίας έχει εξαιρετικά αποτελέσματα. Το Presby - LASIK χαρίζει ικανοποιητική κοντινή όραση (με κάποιους ίσως περιορισμούς). Μεσήλικες ή ηλικιωμένοι είναι εφικτό να εξυπηρετηθούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Η τεχνική συνεχώς αναπτύσσεται και βασίζεται σε ειδικά νομογράμματα και αλγόριθμους που τηρούνται στις ρυθμίσεις και στον προγραμματισμό του excimer laser (ablation profile settings) πριν από την εκάστοτε θεραπεία.

Πολυεστιακή φωτοαφαίρεση με excimer laser Τεχνικές με excimer laser (πολυεστιακή LASIK)

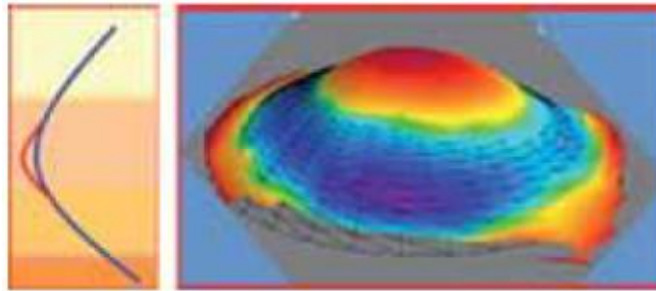
Με την πολυεστιακή lasik η κοντινή όραση βελτιώνεται μέσω κατάλληλου σχήματος φωτοαφαίρεσης που δημιουργεί πραγματική πολυεστιακότητα ή ψευδοπολυεστιακότητα μέσω αύξησης του εστιακού βάθους με εισαγωγή αρνητικής σφαιρικής εκτροπής και μεταβολή της ασφαιρικότητας του κερατοειδούς.

Σημεία σημαντικά για επιλογή του κατάλληλου σχήματος φωτοαφαίρεσης στην πολυεστιακή lasik είναι:

1. Η μετεγχειρητική δυνατότητα διόρθωσης με γυαλιά, και
2. Η δυνατότητα αντιστρεψιμότητας της πολυεστιακότητας με επανεπέμβαση

A. Κεντρική ασφαιρική πολυεστιακή lasik

Στην πράξη ο κερατοειδής γίνεται πιο κυρτός στο κέντρο και πιο επίπεδος στην περιφέρεια (Εικόνα43). Αυτό βοηθά στην κοντινή όραση λόγω της συνεργικής μύσης όταν βλέπουμε κοντά. Όταν βλέπουμε μακριά η κόρη μεγαλώνει και η μακρινή όραση βελτιώνεται



Εικόνα 43Επιφάνεια κερατοειδή

Κεντρική πολυεστιακή lasik

Στην κεντρική πολυεστιακή lasik έχει μεγάλη σημασία η σωστή επικέντρωση. Ενώ είναι δύσκολο να βελτιωθεί η όραση με την χρήση γυαλιών αν ο ασθενής δεν είναι ευχαριστημένος. Επίσης δεν είναι εφικτή η αναστρεψιμότητα της όρασης με επανάληψη της επέμβασης. Υπάρχει εξάρτηση από το μέγεθος της κόρης στην ποιότητα της όρασης.

Η κεντρική πολυεστιακή lasik φαίνεται πάντως να δίνει καλύτερη οπτική ποιότητα κατά τις μεταβολές της κόρης ανάλογα με τον φωτισμό και εισάγει λιγότερες εκτροπές.

Ο υποψήφιος πρεσβύωπας είναι κατά σειρά προτίμησης:

Υπερμέτρωπας

Αστιγματικός

Εμμέτρωπας ή μύωπας(με τελευταία-τελευταία προτίμηση)

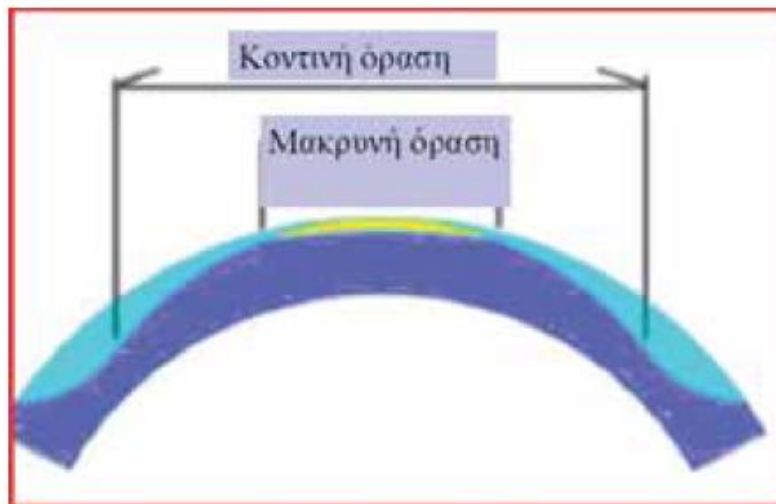
B. Περιφερική ασφαιρική πολυεστιακή lasik

Η περιφερική πολυεστιακή Lasik εισάγει στο κορικό πεδίο περισσότερες εκτροπές (Εικόνα 44). Και σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει δυσκολία βελτίωσης της όρασης με γυαλιά αν ο ασθενής δεν είναι ευχαριστημένος. Μειώνει πάντως λιγότερο την μακρινή όραση από την κεντρική πολυεστιακή Lasik.

Άλλοι προτιμούν την κεντρική πολυεστιακή LASIK, διότι λένε ότι προσφέρει καλύτερη κοντινή όραση και χρησιμοποιεί την συνεργική μύση της κόρης. Μερικοί προτιμούν την περιφερική πολυεστιακή LASIK, διότι προσφέρει καλύτερη μακρινή όραση και αποδεκτή κοντινή όραση.

Αν αποφασιστεί πολυεστιακή λύση θα πρέπει αυτή να εφαρμόζεται και στα δύο μάτια με στόχο την νευρωνική προσαρμογή (Neural adaptation) (με άλλα λόγια ξεχνά πως έβλεπε πριν). Αν η πολυεστιακότητα εφαρμοσθεί μόνο στο ένα μάτι ο ασθενής θα το συγκρίνει

πάντα με το άλλο. Με την πολυεστιακότητα πάντως είναι γεγονός ότι μειώνεται η ευαισθησία στη φωτεινή αντίθεση (contrast sensitivity).



Εικόνα 44 Ζώνες διόρθωσης κερατοειδή

ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΗ LASIK

1. Το laser δεν μπορεί εύκολα να δημιουργήσει πραγματική πολυεστιακότητα λόγω της επουλωτικής δράσης του επιθηλίου του κερατοειδούς
2. Υπάρχει εξάρτηση από το μέγεθος της κόρης
3. Η ακρίβεια δράσης του laser έχει εύρος ± 0.50 . Αν ξεφύγει από το στόχο παραπάνω η πολυεστιακότητα θα αποτύχει
4. Η επικέντρωση του πολυεστιακού σχήματος είναι επίσης θέμα

Μεγάλες ζώνες φωτοαφαίρεσης όπως μυωπικές διορθώσεις μπορούν να επικεντρωθούν στο κέντρο της κόρης χωρίς συνέπειες στην ποιότητα του ωχρικού ειδώλου.

Η επικέντρωση είναι σωστό να γίνεται στην αντανάκλαση του φωτός όπως την βλέπουμε πάνω στον κερατοειδή με ομοαξονικό μικροσκόπιο γιατί αυτή είναι πιο κοντά στο σημείο τομής του κερατοειδούς με τον οπτικό άξονα. Αν η απόσταση της ομοαξονικής αντανάκλασης από το κέντρο της κόρης είναι μεγάλη λόγω σημαντικής γωνίας (όπως συμβαίνει σε υπερμέτρωτες και αστιγματικούς ασθενείς) τότε η επικέντρωση γίνεται σε ενδιάμεσο σημείο.

6.4.3.2 Lasik Monovision

Η τεχνική Monovision σε διαθλαστική επέμβαση με laser, εφαρμόζεται από τον διαθλαστικό χειρουργό όταν κάποιος υποψήφιος, εκτός από την διόρθωση της μακρινής όρασης χρειάζεται βοήθεια και στην κοντινή ακριβώς επειδή ξεκινάει η προεσβυωπία (προοδευτική απώλεια της ελαστικότητας του φακού του ματιού, ο οποίος χάνει την ικανότητα να αλλάζει καμυλότητα και να εστιάζει στις κοντινές αποστάσεις).

Με την τεχνική Monovision στόχος είναι το άτομο να χρησιμοποιεί ένα μάτι για να βλέπει μακριά και ένα για να βλέπει κοντά, δηλαδή ο ένας οφθαλμός διορθώνεται για την κοντινή όραση (near vision), ενώ το άλλο για την μακρινή (distant vision).

Η τεχνική Monovision δεν συστήνεται για όλους τους διαθλαστικούς ασθενείς που έχουν να αντιμετωπίσουν την πρεσβυωπία, αφού αρκετοί είναι εκείνοι που δυσκολεύονται να συνηθίσουν στο να έχουν διαφορετική ικανότητα προσαρμογής σε κάθε μάτι. Κρίνεται σκόπιμο λοιπόν, πριν ένας υποψήφιος υποβληθεί σε Monovision με excimer laser, να δοκιμάσει με φακούς επαφής την διαθλαστική κατάσταση, προκειμένου να σιγουρευτεί ότι μετεγχειρητικά μπορεί να προσαρμοστεί. Η Monovision LASIK είναι μια έξυπνη λύση απαλλαγής από γυαλιά και φακούς επαφής για άτομα άνω των 45.

6.4.4 Laser στην χειρουργική αντιμετώπιση του γλαυκώματος

Μια άλλη εφαρμογή του laser είναι η χρησιμοποίησή του στη χειρουργική διάνοιξη της γωνίας του πρόσθιου θαλάμου του οφθαλμού για την φυσιολογική αποχέτευση του υδατοειδούς υγρού.

Το γλαύκωμα (glaucoma) είναι μια πολυπαραγοντική σύνθετη οφθαλμική νόσος η οποία χαρακτηρίζεται από προοδευτική βλάβη του οπτικού νεύρου λόγω υψηλής ενδοφθάλμιας πίεσης (intraocular pressure, IOP). Αποτελεί βασικό αίτιο απώλειας της όρασης, ιδιαίτερα στα ηλικιωμένα άτομα. Ο όρος αναφέρεται για πρώτη φορά από τον Αριστοτέλη και προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη γλαυκός (ανοιχτό γαλάζιο) και την κατάληξη -ωμα (από το σύμπτωμα). Το γλαύκωμα αρχικά συνοδεύεται από μείωση της περιφερειακής όρασης (συχνά οι ασθενείς δεν παρατηρούν την απώλεια όρασης παρά μόνο αφού έχει ήδη προκληθεί μεγάλη βλάβη) και εφόσον δεν διαγνωσθεί και θεραπευθεί έγκαιρα, εξελίσσεται σε μη αναστρέψιμη απώλεια όρασης, έως και οριστική τύφλωση. Αν και συνδέεται συνήθως με αυξημένη ενδοφθάλμια πίεση, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί ακόμα και με φυσιολογική ενδοφθάλμια πίεση.

Ενδοφθάλμια πίεση και γλαύκωμα

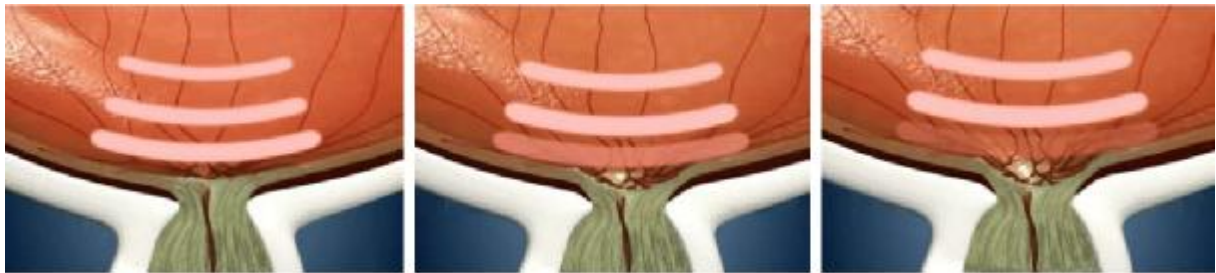
Το υδατοειδές (aqueous humor), που καταλαμβάνει το πρόσθιο τμήμα (θάλαμο) του οφθαλμού, συντελεί στη θρέψη του οφθαλμού και στη διατήρηση μιας σταθερής πίεσης μέσα στο μάτι, που είναι η ενδοφθάλμια πίεση, και βοηθά έτσι στη διατήρηση του σχήματός του. Το υδατοειδές βρίσκεται σε διαρκή ροή. Παράγεται από το ακτινωτό σώμα, το οποίο περιβάλλει το φακό, διέρχεται μέσω της κόρης για να αποχετευτεί τελικά μέσω ενός συμπλέγματος καναλιών που λέγεται διηθητικός ηθμός (trabecular meshwork) σε αιμοφόρα αγγεία, εισερχόμενο έτσι στην αιματική κυκλοφορία. Το σύστημα των καναλιών αποχέτευσης βρίσκεται στη γωνία που σχηματίζει ο κερατοειδής με την περιφέρεια της ίριδας (γωνία αποχέτευσης).

Στα περισσότερα άτομα η γωνία αυτή είναι ανοικτή, ενώ σε άλλα άτομα, κλειστή. Όταν η ροή του υδατοειδούς υγρού είναι φυσιολογική, η ενδοφθάλμια πίεση κυμαίνεται από 8 έως 19 mm Hg, αν και άλλοι παράγοντες, όπως το πάχος του κερατοειδή, μπορεί να επιτρέψουν αποκλίσεις από αυτό το εύρος. Συγκεκριμένα, σε έναν πιο λεπτό κερατοειδή αντιστοιχούν μικρότερες τιμές ενδοφθάλμιας πίεσης, ενώ σε έναν πιο παχύ κερατοειδή, μεγαλύτερες τιμές, αντίστοιχα. Εάν η αποχετευτική οδός του ματιού αποφραχθεί τότε το υδατοειδές υγρό δεν μπορεί να διοχετευθεί φυσιολογικά (δεξιά). Στην περίπτωση αυτή το υδατοειδές υγρό συγκεντρώνεται στον πρόσθιο θάλαμο του οφθαλμού και η ενδοφθάλμια πίεση αυξάνεται.

Παράγοντες που προκαλούν το γλαύκωμα

Πολλοί γνωρίζουν ότι 'το γλαύκωμα έχει να κάνει με την πίεση μέσα στο μάτι'. Αν και δεν είναι απόλυτα μονοσήμαντο, η αλήθεια είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ενδοφθάλμια πίεση τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα πρόκλησης βλάβης στο οπτικό νεύρο. Αρχικά επηρεάζονται οι ίνες που φέρουν την πληροφορία από την περιφέρεια του οπτικού πεδίου,

προκαλώντας την εμφάνιση περιφερειακά σκοτεινών περιοχών (σκοτώματα). Σταδιακά η απώλεια της περιφερειακής όρασης εξαπλώνεται, αφήνοντας μόνο μια μικρή περιοχή με ικανοποιητική όραση στο κέντρο. Η όραση αυτή λέγεται σωληνοειδής. Εάν το οπτικό νεύρο καταστραφεί σε όλη του την έκταση, προκαλείται τύφλωση.



Εικόνα 45 Αυξημένη ενδοφθάλμια πίεση οδηγεί σε σταδιακή βλάβη του οπτικού νεύρου

Αυτό συμβαίνει γιατί οι απολήξεις των οπτικών ινών είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε αύξηση της πίεσης. Έτσι, η αυξημένη πίεση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις ίνες του οπτικού νεύρου, με αποτέλεσμα την εμφάνιση επιπλοκών στη μετάδοση του οπτικού σήματος μέσω του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο.

Οι κύριοι προδιαθεσικοί παράγοντες γλαυκώματος είναι:

- § ηλικία. Οι πιθανότητα εμφάνισης γλαυκώματος είναι 6 φορές μεγαλύτερη στα άτομα άνω των 60 ετών.
- § οικογενειακό ιστορικό. Ο πιο συχνός τύπος γλαυκώματος (ανοικτής γωνίας) είναι κληρονομικός. Εάν συγγενή άτομα πρώτου βαθμού έχουν γλαύκωμα έχετε μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης γλαυκώματος.
- § Μακροχρόνια χορήγηση κορτιζόνης (ακόμα και εισπνεόμενη, π.χ. σε άσθμα) αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης γλαυκώματος
- § οφθαλμολογικό τραύμα
- § υψηλή μυωπία
- § αποκόλληση αμφιβληστροειδή
- § διαβήτης
- § Υπέρταση

Χρόνιο γλαύκωμα ανοικτής γωνίας

Το χρόνιο γλαύκωμα ανοικτής γωνίας (open angle glaucoma) αποτελεί την πιο συχνή μορφή γλαυκώματος. Πάνω από 90% του γλαυκώματος στους ενήλικες έχουν αυτού του είδους το γλαύκωμα. Η αποχετευτική οδός του ματιού γίνεται λιγότερο επαρκής με το πέρασμα του χρόνου και η πίεση στο εσωτερικό του οφθαλμού αυξάνει σταδιακά. Αυτή η αυξημένη πίεση προκαλεί προοδευτική βλάβη του οπτικού νεύρου, με σταδιακή απώλεια στην όραση, συνήθως και στα δύο μάτια, για να καταλήξει ακόμα και σε τύφλωση.

Το χρόνιο γλαύκωμα ανοικτής γωνίας μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην όραση με τόσο σταδιακό και ανώδυνο τρόπο, που δεν θα συνειδητοποιήσει ο πάσχων την ύπαρξη του προβλήματος έως ότου το οπτικό νεύρο έχει ήδη υποστεί σοβαρή και μη αναστρέψιμη βλάβη

Γλαύκωμα κλειστής γωνίας

Μερικές φορές η αποχετευτική γωνία του ματιού μπορεί να αποφραχθεί εντελώς. Στον οφθαλμό, η ίριδα μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο σε αυτόν τον τύπο γλαυκώματος, καθώς μπορεί να κλείσει εντελώς την αποχετευτική γωνία. Όταν η ενδοφθάλμια πίεση αυξηθεί απότομα τότε η κατάσταση καλείται οξύ γλαύκωμα κλειστής γωνίας (acute close angle glaucoma).

Τα συμπτώματα για το οξύ γλαύκωμα κλειστής γωνίας περιλαμβάνουν:

- § ερυθρότητα οφθαλμού
- § μείωση όρασης
- § διαταραχές όρασης κυρίως σε χαμηλό φως
- § σημαντικό οφθαλμικό πόνο και πονοκέφαλο
- § ναυτία και εμέτους
- § δακτύλιους ουρανού τόξου (άλως) γύρω από τις πηγές φωτός

Το οξύ γλαύκωμα κλειστής γωνίας μπορεί να οδηγήσει σε τύφλωση. Μια πιο σταδιακή και ανώδυνη απόφραξη της γωνίας καλείται χρόνια γλαύκωμα κλειστής γωνίας. Συμβαίνει πιο συχνά σε ανθρώπους Αφρικανικής και Ασιατικής καταγωγής.

Γλαύκωμα φυσιολογικής πίεσης

Σε αυτόν τον τύπο γλαυκώματος (δηλαδή βλάβη του οπτικού νεύρου και συνεπαγόμενη απώλεια όρασης) η ενδοφθάλμια πίεση είναι φυσιολογική. Δεν είναι απόλυτα γνωστά τα αίτια αυτού του γλαυκώματος. Είναι πιθανόν οι ασθενείς με γλαύκωμα φυσιολογικής πίεσης να έχουν είτε ασυνήθιστα ευαίσθητο οπτικό νεύρο ή μειωμένη αιματική ροή στο οπτικό νεύρο (π.χ. αρρυθμίες, υπόταση, αγγειοσπασμό).

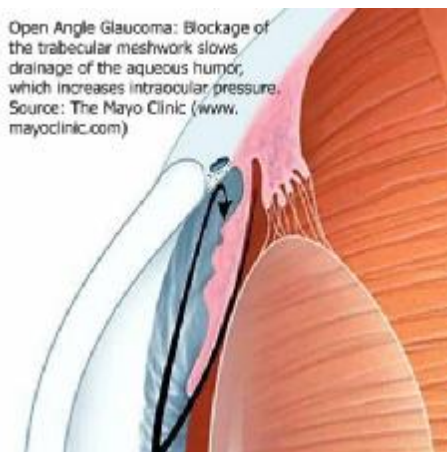
Εμφανίζεται κυρίως σε γυναίκες και σε άτομα Ιαπωνικής καταγωγής.

Δευτερογενές Γλαύκωμα

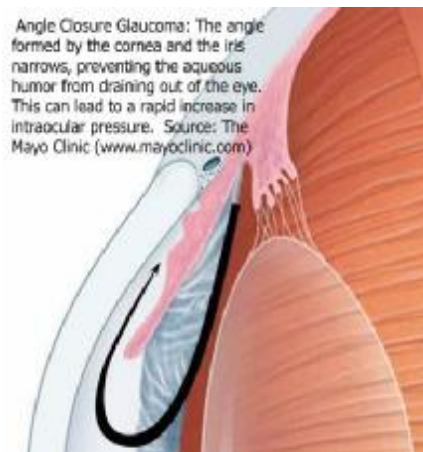
Ο τύπος αυτός γλαυκώματος προκύπτει μετά από οφθαλμολογικό τραύμα ή φλεγμονώδεις καταστάσεις (π.χ. ραγοειδίτιδα).

Συγγενές Γλαύκωμα

Ο τύπος αυτός γλαυκώματος είναι σπάνιος αλλά σοβαρός. Εμφανίζεται κατά τη γέννηση ή εκδηλώνεται λίγο αργότερα και προκαλείται λόγω ανατομικών ανωμαλιών του οφθαλμού.



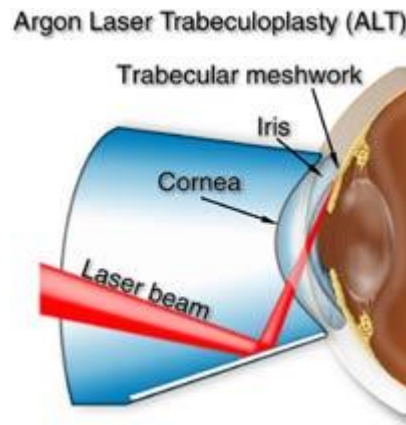
Εικόνα 46 Γλαύκωμα ανοιχτής γωνίας: Η απόφραξη του ακτινωτού σώματος επιβραδύνει την αποχέτευση του υδατοειδούς υγρού, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενδοφθάλμιας πίεσης



Εικόνα 47 Γλαύκωμα κλειστής γωνίας: Η γωνία μεταξύ του κερατοειδή και της ίριδας είναι στενή, έτσι εμποδίζεται η αποχέτευση του υδατοειδούς υγρού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μία ταχεία αύξηση της ενδοφθάλμιας πίεσης.

Κατά κανόνα, η βλάβη που προκαλείται από το γλαύκωμα είναι μη αναστρέψιμη. Η θεραπευτική αντιμετώπιση του γλαυκώματος με λέιζερ είναι μία ενδιάμεση θεραπεία πριν καταφύγουμε σε χειρουργική επέμβαση, στις περιπτώσεις που η φαρμακευτική αγωγή δεν είναι πλέον αποτελεσματική.

6.4.5.1 Argon Laser Τραμπεκουλοπλαστική (ALT): Εφαρμόζουμε θερμικό λέιζερ στο διηθητικό ηθμό, στην γωνία του προσθίου θαλάμου, με σκοπό την διάνοιξη αυτού. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμογή στα γλαυκώματα **ανοιχτής γωνίας**. Είναι μέθοδος ανώδυνη και δεν απαιτεί χειρουργείο. Δεν έχει όμως πάντοτε το αναμενόμενο αποτέλεσμα και όταν το έχει, συνήθως δεν διαρκεί πάνω από 3 με 5 έτη.



Εικόνα 48 Πορεία ακτίνας laser κατά την ALT

6.4.5.2 Εκλεκτική τραμπεκουλοπλαστική (SLT): Το SLT προέρχεται από τα αρχικά Selective Laser Trabeculoplasty (Επιλεκτική Laser Τραμπεκουλοπλαστική). Είναι μια αποτελεσματική διαδικασία laser η οποία μειώνει την ενδοφθάλμια πίεση που σχετίζεται με την πάθηση του γλαυκώματος.

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται Q-switched 532 Nd: YAG Laser οι βολές του οποίου κατευθύνονται στα χρωστικά κύτταρα του ηθμού. Σαν αντίδραση, οι μηχανισμοί επούλωσης του σώματος ξαναδημιουργούν αυτά τα κύτταρα. Οι βραχείας διάρκειας εκλεκτικές βολές επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίς την πρόκληση θερμικών βλαβών στον ηθμοειδικό ιστό, γεγονός που μας επιτρέπει να επαναλάβουμε την θεραπεία μέχρι και δύο φορές το χρόνο.

Η συγκεκριμένη διαδικασία ουσιαστικά βελτιώνει τον μηχανισμό αποχέτευσης του οφθαλμού. Περίπου μετά από 3 μέρες η ενδοφθάλμια πίεση ελαττώνεται σημαντικά (20-30% σε ένα ποσοστό που αγγίζει το 75-80% των ασθενών στους οποίους εφαρμόζεται).

Είναι σχετικά καινούρια μέθοδος ,ασφαλής, ανώδυνη και μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές, με μειωμένη όμως αποτελεσματικότητα από τη 3η συνεδρία και μετά. Η διάρκεια και το μέγεθος του αποτελέσματος είναι αρκετά ικανοποιητικό, μπορεί όμως να διαφέρει από άτομο σε άτομο. Από πολλούς εφαρμόζεται και σαν πρώτη επιλογή θεραπευτικά. Βέβαια θα πρέπει ο ασθενής να συνεχίσει την τακτική παρακολούθηση από το γιατρό του.

6.4.5.3 Περιφερικές ιριδοτομές: Η ιριδοτομή είναι μια σύντομη και ανώδυνη επέμβαση με laser. Είναι πολύ ασφαλής και δεν απαιτεί νοσηλεία του ασθενούς. Η τεχνική της ιριδοτομής εφαρμόζεται σε ασθενείς που εμφανίζουν ανατομικά στενές γωνίες και συνεπώς προδιάθεση

ή εγκατεστημένο **γλαύκωμα κλειστής γωνίας**. Στόχος της ιριδοτομής είναι να μεταβάλει την ανατομική θέση της ίριδας, να διευρύνει τη γωνία του οφθαλμού και να καταστήσει την απορροή του υδατοειδούς υγρού πιο ευχερή.

Με την βοήθεια συστήματος yag laser ο οφθαλμίατρος ανοίγει μικρές οπές στην περιφέρεια της ίριδας, με σκοπό την άμεση επικοινωνία του προσθίου με τον οπίσθιο θάλαμο. Η επέμβαση πραγματοποιείται με τοπική αναισθησία με σταγόνες, διαρκεί μερικά λεπτά και ο ασθενής μπορεί να επιστρέψει αμέσως στις καθημερινές του δραστηριότητες. Είναι πιθανό μετά την ιριδοτομή να απαιτούνται ανάλογα με την περίπτωση αντι-γλαυκωματικά κολλύρια, όπως και πριν την επέμβαση.



Εικόνα 49Αριστερά αναπαράσταση laser που ανοίγει οπή στην ίριδα και δεξιά μια πραγματική εικόνα ενός οφθαλμού μετά την επέμβαση. Η μαύρη κηλίδα στο πάνω μέρος της ίριδας είναι το σημείο τομής από το laser

6.4.5.4 Κυκλοφοτοπηξία: Αποτελεί σύγχρονη εφαρμογή παλαιότερης μεθόδου, της κυκλοκροτοπηξίας. Με την μέθοδο αυτή εφαρμόζουμε ειδικό λέιζερ, εξωτερικά ή εσωτερικά στον οφθαλμό, στη περιοχή του ακτινωτού σώματος πίσω από την ίριδα, με σκοπό την μείωση της παραγωγής του υδατοειδούς υγρού. Χρησιμοποιείται σε γλαυκώματα που αντιμετωπίζονται δύσκολα με άλλες θεραπευτικές μεθόδους ή και σαν μια μέθοδος πριν καταφύγουμε σε χειρουργική επέμβαση. Γίνεται στο χειρουργείο με τοπική αναισθησία και μπορεί να χρειαστούν περισσότερες της μιας συνεδρίες.

6.4.5.6 Laser Γλαυκώματος Ιριδοπλαστική (LIP): Όταν ο πρόσθιος θάλαμος είναι αβαθής, ο χώρος δηλαδή ανάμεσα στην ίριδα και τον κερατοειδή είναι στενός, και παραμένει αβαθής ακόμα και μετά την πραγματοποίηση laser ιριδοτομής τότε η ίριδα ενδέχεται να κατέχει μια διαμόρφωση που καλείται σύνδρομο ίριδος plateau. Το σύνδρομο ίριδος plateau είναι σπάνιο, τεκμηριώνεται κλινικά μετά την πραγματοποίηση laser ιριδοτομής και σε αυτό η ίριδα καταλαμβάνει μια διάταξη που αποφράσσει μόνιμα ή κατά διαστήματα τον αποχετευτικό σωλήνα του οφθαλμού που διαχειρίζεται το υδατοειδές υγρό του οφθαλμού. Κατά την laser ιριδοπλαστική χρησιμοποιούμε τις ιδιότητες της φωτεινής ακτινοβολίας και λεπταίνουμε την ίριδα στην περιφέρειά της ώστε να διευκολύνεται η ροή υδατοειδούς υγρού. Με αυτό τον τρόπο προστατεύεται το αποχετευτικό σύστημα του οφθαλμού από τη μόνιμη ή διαλείπουσα επαφή με την ίριδα η οποία σε βάθος χρόνου προκαλεί απόφραξη του.

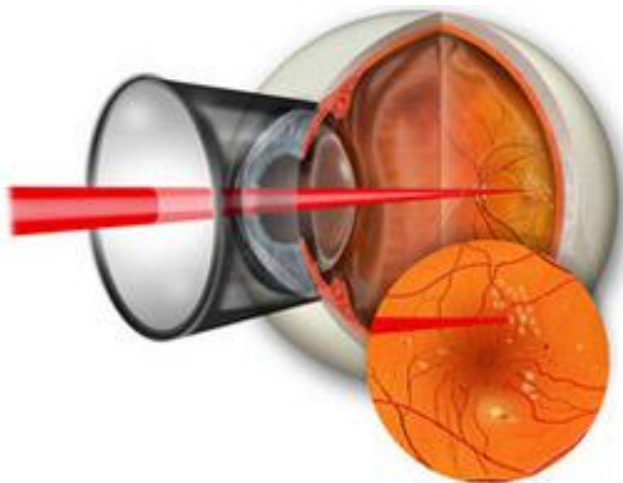
Στόχος της επέμβασης είναι η προστασία από την ανάπτυξη ιστικών επαφών ανάμεσα στην ίριδα και το αποχετευτικό σύστημα του οφθαλμού που οδηγεί σε προοδευτική άνοδο της πίεσης και χρόνια γλαύκωμα κλειστής γωνίας σε ασθενείς με σύνδρομο ίριδος plateau. Συνήθως έχει προηγηθεί laser ιριδοτομή πριν την ιριδοπλαστική.

Η επέμβαση διαρκεί 2-3 λεπτά ενώ ο ασθενής μπορεί να επιστρέψει μετά από 1 ώρα στο σπίτι του. Η όραση δεν επηρεάζεται ουσιαστικά μετά την επέμβαση και επανέρχεται στα προεγχειρητικά επίπεδα σε λίγες μέρες.

Εναλλακτικές Μέθοδοι: Η laser ιριδοπλαστική είναι μια ασφαλής μέθοδος για επιλεγμένους ασθενείς, συνοδεύεται από ταχεία αποκατάσταση της όρασης και γίνεται με σκοπό να προλάβει μελλοντική προοδευτική άνοδο της πίεσης σε προδιατεθειμένους οφθαλμούς με σύνδρομο ίριδος plateau. Εφόσον υπάρχουν αντικειμενικά σημεία που τεκμηριώνουν την ύπαρξη στενής γωνίας με τη συγκεκριμένη διαμόρφωση της ίριδος, αργά ή γρήγορα θα δημιουργηθούν συνθήκες που θα οδηγήσουν σε απόφραξη του αποχετευτικού συστήματος του οφθαλμού. Η εγχείρηση καταρράκτη συνήθως δεν προσφέρει πολλά σε οφθαλμούς με σύνδρομο ίριδος plateau.

6.4.6 Laser στην αντιμετώπιση παθήσεων του αμφιβληστροειδή

Η laser φωτοπηξία διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη τοποθέτηση των βολών laser στον αμφιβληστροειδή. Η **εστιακή φωτοπηξία** αφορά την εφαρμογή βολών laser στη περιοχή της ωχράς κηλίδας, τη κεντρική δηλαδή περιοχή της όρασης, προκειμένου να αντιμετωπιστούν παθήσεις που σχετίζονται με κάποιου βαθμού οίδημα στην ωχρά κηλίδα, όπως π.χ. το διαβητικό οίδημα της ωχράς ή το οίδημα λόγω φλεβικής απόφραξης αμφιβληστροειδούς. Στην **περιφερική φωτοπηξία** τοποθετούνται βολές laser στη περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς προκειμένου να σταματήσει η ανάπτυξη παθολογικών «νεοαγγείων» σε καταστάσεις προχωρημένης π.χ. διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας και να περιοριστεί ο κίνδυνος εκσεσημασμένης απώλειας όρασης. Περιφερικού τύπου φωτοπηξία εφαρμόζεται ακόμη σε περιστατικά ρωγμής του αμφιβληστροειδούς προκειμένου να «περιχαρακωθούν» τα χείλη της ρωγμής και να αποφευχθεί μελλοντική αποκόλληση του αμφιβληστροειδούς.



Εικόνα 50 Περιφερική φωτοπηξία

Ανάλογα τώρα με το μήκος κύματος της εφαρμοζόμενης δέσμης ακτινοβολίας τα laser που εφαρμόζονται στις παθήσεις του αμφιβληστροειδούς διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Green (532 nm)

Εφαρμόζεται τόσο ως εστιακό, όσο και ως περιφερικό laser για την αντιμετώπιση παθήσεων όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια και οι φλεβικές αποφράξεις του αμφιβληστροειδούς.

Yellow (577nm)

Εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση από την αιμοσφαιρίνη (βασικό συστατικό του αίματος) και έχει εφαρμοστεί πιλοτικά στην αντιμετώπιση διαβητικού οιδήματος της ωχράς με τη μορφή άμεσου εστιακού laser στις αγγειακές αλλοιώσεις της ωχράς (μικροανευρύσματα).

Infrared diode (810nm)

Εφαρμόζεται κατεξοχήν ως περιφερικό laser σε περιστατικά αμφιβληστροειδοπάθειας της προωρότητας σε νεογνά «υψηλού» κινδύνου. Λόγω της ιδιαίτερου φάσματος απορρόφησης του το διοδικό laser έχει εφαρμοστεί ως μέσο εν τω βάθει εστιακής φωτοπηξίας σε ιδιαίτερα περιστατικά (π.χ. πολυποειδική χοριοειδοπάθεια) με τη συνέργεια συστηματικής χορήγησης φωτοευαίσθητης χρωστικής (πράσινο ινδοκυανίνης). Αποτελεί επίσης τον ασφαλέστερο και ατραυματικότερο τρόπο κυκλοκαταστροφής σε περιστατικά γλαυκώματος τελικού σταδίου.

6.4.7 Laser και Δευτερογενής Καταρράκτης

Τι είναι καταρράκτης;

Η θόλωση του κρυσταλλοειδούς φακού του ματιού λέγεται **καταρράκτης**. Ο φυσικός φακός του ματιού (κρυσταλλοειδής) είναι διαυγής και βρίσκεται πίσω από την ίριδα. Μέσα από αυτόν περνάει το φως για να φτάσει στη συνέχεια στον αμφιβληστροειδή χιτώνα στην οπίσθια επιφάνεια του ματιού. Με την πάροδο της ηλικίας, ο φακός αυτός χάνει την αρχική του σύσταση και θολώνει (γεροντικός καταρράκτης). Σε μελέτες που έχουν γίνει, η συχνότητα του καταρράκτη είναι 50% σε ανθρώπους ηλικίας μεταξύ 65 - 74 ετών και αυξάνεται σε 70% σε ηλικίες άνω των 75 ετών. Η συνηθισμένη αυτή ασθένεια δεν είναι προνόμιο μόνο των ηλικιωμένων. Νεαρά άτομα, ακόμα και βρέφη, μπορεί να παρουσιάσουν καταρράκτη. Είναι δυνατό να προκληθεί, δηλαδή, και από άλλες αιτίες (τραυματισμοί, φάρμακα, ασθένειες, ακτινοβολίες) ή ακόμα και να υπάρχει από τη γέννηση (συγγενής καταρράκτης).

Ποια είναι τα κύρια συμπτώματα του καταρράκτη ματιών;

- Μειωμένη μακρινή ή κοντινή όραση
- Εξασθένηση στην αντίληψη των χρωμάτων
- Θάμβος & μείωση της ευαισθησίας των αντιθέσεων σε φωτεινό περιβάλλον.
- Εμφάνιση ή επιδείνωση μυωπίας.
- Λάμπεις και αντανάκλασεις γύρω από ορισμένα αντικείμενα (όπως ακτίνες γύρω από τα φώτα των αυτοκινήτων κατά την βραδινή οδήγηση).

Όλα τα παραπάνω συμπτώματα μπορούν να επηρεάσουν τις καθημερινές δραστηριότητες:

Οδήγηση (ειδικά το βράδυ).

Διάβασμα ή παρακολούθηση τηλεόρασης.

Γράψιμο ή άλλες ασχολίες που απαιτούν λεπτομερή παρατήρηση των αντικειμένων.



6.4.7.1 Δευτερογενής Καταρράκτης – Θόλωση Οπισθίου Περιφακίου

Το περιφάκιο είναι ένας λεπτός ελαστικός σάκος που κρατάει τον συνθετικό ενδοφακό που τοποθετείται μέσα στο μάτι μετά την εγχείρηση του καταρράκτη. Το πρόσθιο μέρος του περιφακίου αφαιρείται προσεκτικά για να διευκολυνθεί η αφαίρεση του καταρράκτη. Ο συνθετικός ενδοφακός τοποθετείται μέσα στο υπόλοιπο μέρος του περιφακίου. Αυτό το υπόλοιπο μέρος του περιφακίου θολώνει περίπου στο 20 – 25% των ασθενών που υποβάλλονται σε επέμβαση καταρράκτη. Όταν αυτό παρουσιαστεί, οι ασθενείς παραπονιούνται για συμπτώματα παρόμοια με αυτά του αρχικού καταρράκτη. Για αυτό τον λόγο και η κατάσταση αυτή ονομάζεται δευτερογενής καταρράκτης.

Συμπτώματα:

Προοδευτική ελάττωση της όρασης
Θάμβος όρασης
Επιδείνωση του θάμβους όρασης στον ήλιο και σε φώτα από απέναντι

Διάγνωση:

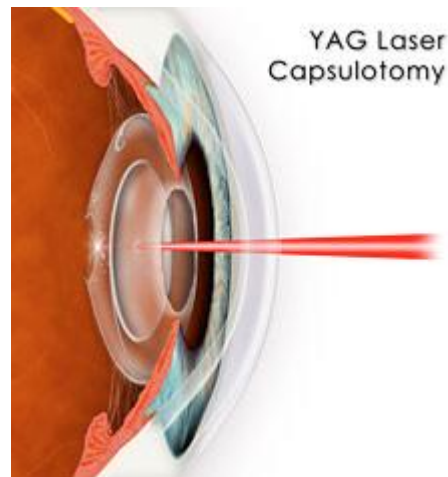
Ο δευτερογενής καταρράκτης μπορεί να διαγνωσθεί κατά την απλή οφθαλμολογική εξέταση. Είναι πιο εύκολο να διαγνωσθεί εάν έχουν χορηγηθεί σταγόνες που ανοίγουν την κόρη του ματιού (μυδρίαση).

6.4.7.2 Θεραπεία με χρήση laser

Μια από τις τελευταίες εξελίξεις στην οφθαλμολογία είναι η διάνοιξη του οπισθίου περιφακίου με YAG LASER. Το οπίσθιο περιφάκιο είναι μια λεπτή προστατευτική μεμβράνη που παραμένει στο μάτι μετά την χειρουργική αφαίρεση του καταρράκτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μεμβράνη αυτή μπορεί να θολώσει ή να δημιουργηθούν πτυχές ή παχύνσεις, οπότε παρατηρείται θάμπωμα στην όραση. Το yag laser κατορθώνει γρήγορα και με ασφάλεια να λύσει αυτό το πρόβλημα.

Η τομή του οπισθίου περιφακίου (που ιατρικά ονομάζεται καψουλοτομή) είναι μια απλή και γρήγορη διαδικασία. Μία δέσμη ακτίνων λέιζερ κατευθύνεται προς το κέντρο του οπισθίου περιφακίου και το σχίζει επιτυχάνοντας έτσι τη διάνοιξή του. Ο ασθενής δεν αισθάνεται πόνο και η πιθανότητα επιπλοκής ή μόλυνσης είναι σπάνια εφόσον δεν γίνεται τομή στο μάτι.

Η θόλωση του οπισθίου περιφακίου από τη στιγμή που εμφανισθεί, σταδιακά επιδεινώνεται γιατί το περιφάκιο παχύνεται. Είναι λοιπόν καλό το yag laser να εφαρμόζεται το συντομότερο δυνατόν γιατί έτσι η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι λιγότερη, μια και το θολωμένο περιφάκιο είναι ακόμη λεπτό, και ως εκ τούτου, οι ελάχιστοι κίνδυνοι που υπάρχουν στη μέθοδο γίνονται ακόμα πιο σπάνιοι.



Εικόνα 51 Η ακτίνα YAG laser δημιουργεί τομή στο οπίσθιο μέρος του κρυσταλλοειδούς φακού

6.4.8 Laser στην αντιμετώπιση του κερατόκωνου

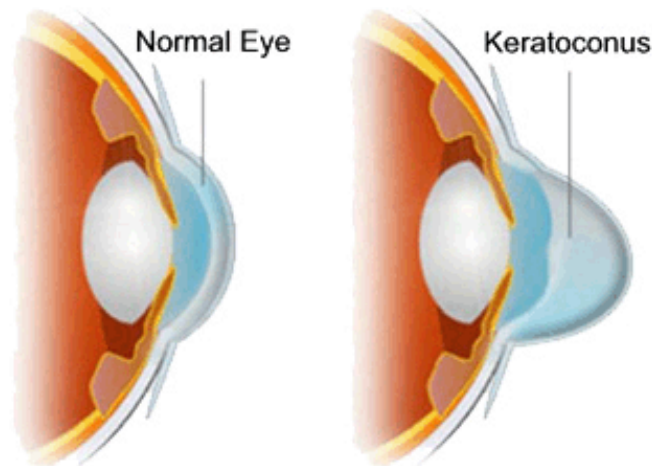
Ο κερατόκωνος είναι μία οφθαλμική νόσος που αφορά και περιγράφει το σχήμα ή καλύτερα την καμπυλότητα του κερατοειδούς χιτώνα, του διάφανου δηλαδή τμήματος της οφθαλμικής επιφάνειας που συναντούν οι ακτίνες του φωτός μπαίνοντας στο μάτι. Η επιφάνεια του κερατοειδή, λοιπόν, λαμβάνει "κωνική" μορφή, προκαλώντας έτσι "παραμόρφωση" του οπτικού ειδώλου που δεν μπορεί να εστιαστεί πάνω στους φωτούποδοχείς του ματιού που βρίσκονται μέσα στο μάτι. Παράλληλα αρχικά παρατηρείται λέπτυνση του κερατοειδούς και αργότερα και θολερότητα στην περιοχή της βλάβης

Συχνά λοιπόν, ο κερατοειδής παρά το ότι ο κερατόκωνος είναι αρκετά προχωρημένος δεν έχει αδιαφάνεια η θολερότητα και είναι ορατός μόνο με εξειδικευμένες οφθαλμολογικές εξετάσεις. Με την πάροδο του χρόνου η περιοχή με την μεγαλύτερη παραμόρφωση παρουσιάζει και θολερότητα.

Κερατόκωνος: Αιτιολογία, συμπτώματα

Ο κερατόκωνος (ή κερατοειδόκωνος) δεν είναι τόσο σπάνια οφθαλμολογική πάθηση όσο παλιότερα νομίζαμε. Στον ελληνικό χώρο οι κερατοκωνικοί ασθενείς υπολογίζονται άνω των 20.000. (συχνότητα ~2/1000 κατοίκους). Η αιτιολογία του κερατόκωνου δεν είναι γνωστή. Ενοχοποιούνται δομικές η μεταβολικές ανωμαλίες στο επίπεδο του κερατοειδούς (επιθήλιο και στρώμα) που ενδεχομένως είναι γενετικά προκαθορισμένες. Ωστόσο η κληρονομικότητα παίζει πρακτικά ένα σχετικά μικρό ρόλο, (περίπου 6-8% των ασθενών έχουν συγγενείς με κερατόκωνο) και συμπεραίνουμε ότι η ασθένεια φαίνεται ότι είναι πολυπαραγοντική, δηλαδή ότι πρέπει να συντρέχουν πολλοί παράγοντες μαζί για να εμφανιστεί κλινικός κερατόκωνος.

Τα συμπτώματα του κερατόκωνου είναι η θόλωση της όρασης, η προοδευτική αύξηση του αστιγματισμού και της μυωπίας που αρχικά μας εξαναγκάζει σε συχνή αλλαγή της συνταγής των γυαλιών, όμως αργότερα ακόμα και με "χοντρά γυαλιά" ο ασθενής δεν έχει πλέον ικανοποιητική όραση. Η νόσος συνήθως αφορά σε διαφορετικό βαθμό τα δύο μάτια ενώ σπανιότερα ο κερατόκωνος είναι πραγματικά ετερόπλευρος.



Εικόνα 52 Φυσιολογικός Οφθαλμός και δεξιά οφθαλμός με κερατόκωνο

Η οπτική διαταραχή σε ήπιες περιπτώσεις κερατοκωνου μπορεί να διορθωθεί με γυαλιά ή ειδικούς φακούς επαφής που αντισταθμίζουν το κωνικό σχήμα που απέκτησε ο κερατοειδής.

Σε σοβαρές περιπτώσεις ή όταν η εφαρμογή φακών επαφής είναι αδύνατη, υπάρχει ένδειξη χειρουργικής επέμβασης μεταμόσχευσης του κερατοειδούς.

6.4.8.1 Διασύνδεση κολλαγόνου (UV-CXL)

Τα τελευταία χρόνια μια καινούρια μέθοδος ήρθε στο προσκήνιο μετά τις απαραίτητες κλινικές δοκιμές. Η αντιμετώπιση με υπεριώδη ακτινοβολία (UVA). Η διεθνής ονομασία της μεθόδου είναι UV-collagen cross linking που σημαίνει αναδιάταξη των κολλαγόνων ινών με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Ουσιαστικά πρόκειται για πολυμερισμό του κολλαγόνου του κερατοειδή.

Η διαδικασία έχει ως εξής: αφού αφαιρεθεί το επιφανειακό στρώμα του κερατοειδή (επιθήλιο), γίνεται ενστάλαξη σταγόνων μιας ουσίας που λέγεται Ριβοφλαβίνη (διάλυμα βιταμίνης B2) για 30 λεπτά. Η ουσία αυτή εμποτίζει το στρώμα του Κερατοειδή. Ακολουθεί ακτινοβολία του ματιού για άλλα 30 λεπτά με UVA. Ο συνολικός χρόνος θεραπείας για τον κάθε οφθαλμό ανέρχεται περίπου στη 1 ώρα. Στο τέλος τοποθετείται θεραπευτικός φακός επαφής και ο ασθενής επιστρέφει στο σπίτι του.

Υποψήφιοι για την παραπάνω θεραπεία είναι άτομα που έχουν διαγνωσμένο κερατόκωνο μετά την κλινική εξέταση και την Τοπογραφία Κερατοειδούς αλλά και άτομα με συναφείς εκφυλιστικές παθήσεις (π.χ. περιφερική κερατολέπτυνση) ή άτομα που παρουσίασαν εκτασία μετά από διαθλαστική χειρουργική.

Η επιδείνωση και εξέλιξη της βλάβης γίνεται αντιληπτή από τον ασθενή κυρίως από την ανάγκη συχνής αλλαγής των γυαλιών ή των φακών επαφής λόγω αύξησης της προκαλούμενης από τον κερατόκωνο διαθλαστικής ανωμαλίας. Η τεκμηρίωση της διάγνωσης

γίνεται από τον οφθαλμίατρο με ειδικές εξετάσεις όπως η τοπογραφία και η παχυμετρία του κερατοειδούς.

Μη ιδανικοί υποψήφιοι για τη θεραπεία αυτή είναι: άτομα μεγαλύτερα των 35 ετών, γυναίκες έγκυες ή που θηλάζουν, άτομα με ιστορικό απλού έρπητα στο μάτι, ιστορικό χημικών εγκαυμάτων κερατοειδούς, άτομα αλλεργικά στη Ριβοφλαβίνη κ.α.

Η σωστή επιλογή των ασθενών και η καλή εφαρμογή της μεθόδου καθιστούν τη θεραπεία ασφαλή και αποτελεσματική αφού ήδη με τα πρώτα στοιχεία φαίνεται να μειώνεται η ανάγκη για διενέργεια μεταμοσχεύσεων κερατοειδούς σε ποσοστό άνω του 50%.

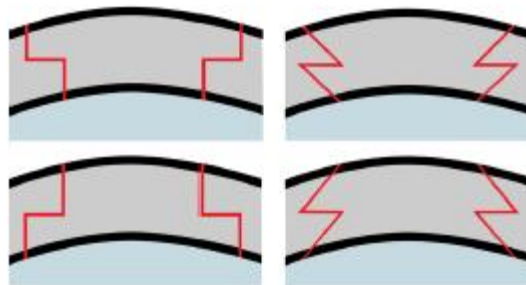
6.4.8.2 PRK + UV-CXL

Ασθενείς που έχουν κερατόκωνο σε αρχόμενα στάδια μπορούν να συνδυάσουν την επέμβαση σταθεροποίησης του κερατόκωνου με Laser. Αρχικά το laser αποδομεί το επιθήλιο σε περίπου μισό λεπτό και στη συνέχεια εφαρμόζει μια εξατομικευμένη, επιλεκτική φωτοαποδομή του στρώματος, τοπογραφικά καθοδηγούμενη (δηλαδή με βάση τις μετρήσεις τοπογραφίας και τοπομετρίας) με σκοπό την ομαλοποίηση της πρόσθιας κερατοειδικής επιφάνειας. Ακολουθεί μια δράση συγκεκριμένων ουσιών για τη διατήρηση της διαύγειας του κερατοειδή και κατόπιν μια τροποποιημένη διασύνδεση κολλαγόνου που διαρκεί περίπου δέκα λεπτά.

6.4.8.3 Σύγχρονη κερατοπλαστική

Μια επαναστατική τεχνολογία στην οφθαλμολογική χειρουργική είναι το femtosecond laser, όπου ουσιαστικά καταργείται το νυστέρι. Με την ακρίβεια και την δυνατότητα ενδοστρωματικής εξ' αποστάσεως καθοδήγησης των παλμών του laser μπορεί να σχεδιαστεί στον υπολογιστή και να εφαρμοστεί μια εξατομικευμένη τομή, τόσο στο μόσχευμα, όσο και στο δέκτη, οποιουδήποτε ανεπιθύμητου σχήματος.

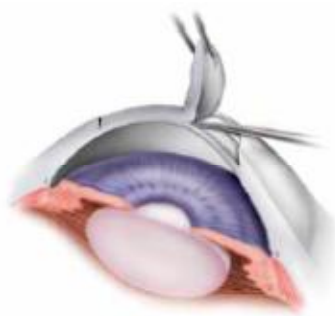
Στα πλεονεκτήματα της χρήσης femtosecond laser στην κερατοπλαστική συμπεριλαμβάνονται τόσο η εξαιρετική γεωμετρική ακρίβεια ιστοσυμβατότητας (μοσχεύματος) δότη και δέκτη κερατοειδή, όσο και η σημαντική μείωση των αναγκαίων ραμμάτων, άρα και η ταχύτερη επούλωση, εξασφάλιση βιωσιμότητας του μοσχεύματος και η δραστική μείωση του ιατρογενούς αστιγματισμού.



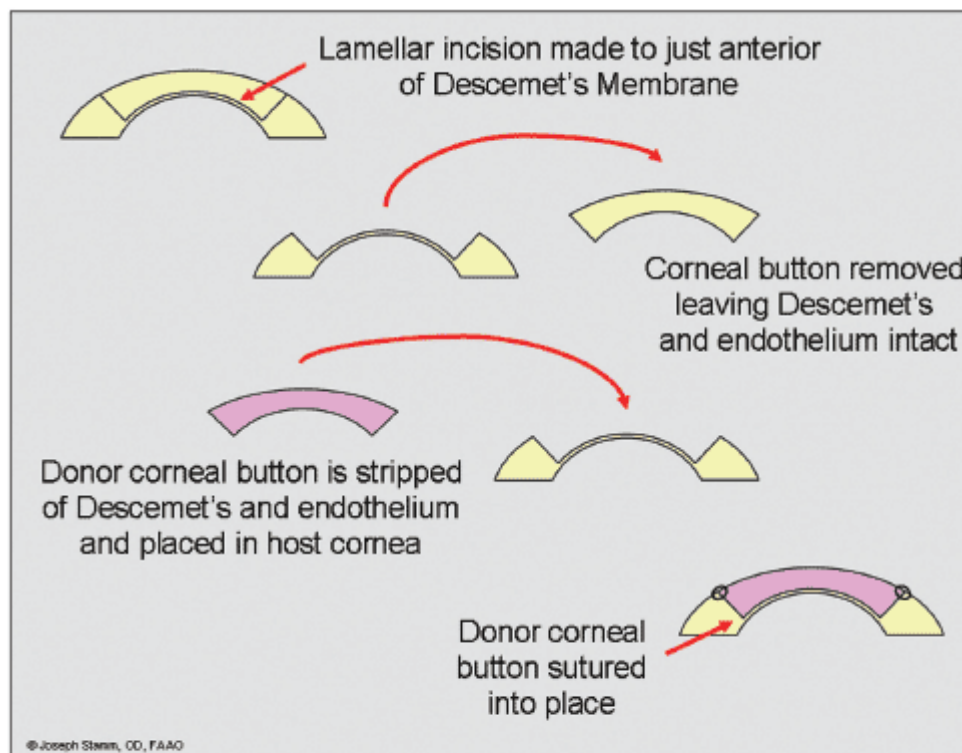
Εικόνα 53 Δυνατές ενδοστρωματικές τομές για τοποθέτηση μοσχεύματος, που εφαρμόζονται με το femtosecondlaser

6.4.8.4 Στρωματική μεταμόσχευση κερατοειδή (Lamellar keratoplasty)

Μια ακόμα εφαρμογή του femtosecond laser βρίσκεται στη μερική στρωματική μεταμόσχευση κερατοειδή, ίσως την πιο σύγχρονη εκδοχή της κερατοπλαστικής, που συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία ως partial-thickness keratoplasty. Οι παραλλαγές της είναι γνωστές ως Descemet's Stripping Endothelial Keratoplasty (DSEK), Deep Lamellar Endothelial Keratoplasty (DLEK) και Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty (DMEK). Στη μέθοδο αυτή το femtosecond laser χρησιμοποιείται, αντικαθιστώντας και πάλι το χειρουργικό νυστέρι (Εικόνα 54), για να διαχωρίσει με εξαιρετική ακρίβεια το ανώτερο στρώμα του κερατοειδή-δότη. Στη συνέχεια το μόσχευμα τοποθετείται πάνω στον κερατοειδή του ασθενή, στον οποίο πρώτα έχουμε εφαρμόσει laser καθοδηγούμενο από τοπογραφία, έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν διόρθωση στον κερατοειδή ασύμμετρων ανωμαλιών, σε συνδυασμό με διασύνδεση κολλαγόνου, το οποίο εφαρμόζεται και στους δύο κερατοειδείς, με στόχο τη μέγιστη σταθεροποίησή τους.



Εικόνα 54 Αφαίρεση κερατοειδή με νυστέρι



DALK surgical sequence: The inherent preservation of the integrity of the endothelium is important with this technique.

Την ημέρα της επέμβασης

- Ο ασθενής δεν θα πρέπει να χρησιμοποιήσει άρωμα, ζελέ μαλλιών, λακ, καλλυντικά, καθώς η εξάτμισή τους μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του Laser.
- Είναι απαραίτητο να έχει μαζί του ένα ζευγάρι γυαλιών ηλίου με σκουρόχρωμους φακούς, λόγω της αυξημένης φωτοευαισθησίας.
- Καλό είναι ο ασθενής να συνοδεύεται, ώστε να μην αναγκαστεί να οδηγήσει μετά την επέμβαση.

Μετά την επέμβαση

- Μετά την επέμβαση, χορηγείται φαρμακευτική αγωγή με κολλύρια που θα περιορίσουν τη μετεγχειρητική φλεγμονή και θα προστατεύσουν τα μάτια από πιθανή μόλυνση
- Η επιστροφή στην εργασία είναι για τους περισσότερους εφικτή από την επόμενη κιόλας ημέρα
- Λούσιμο: Για 7 ημέρες θα λούζεται με σχετική προσοχή (κλειστά μάτια ή χρήση γυαλιών κολυμβητηρίου).
- Οδήγηση: Μόλις νοιώσει ο ασθενής άνετα.
- Να αποφεύγεται η βαριά σωματική άσκηση (π.χ. σκάψιμο, μεταφορά βαρέων αντικειμένων) για τις πρώτες 1-2 εβδομάδες
- Κολύμβηση: Μετά από 2 εβδομάδες με μάσκα, ή μετά από 6 εβδομάδες, χωρίς προστασία.
- Να αποφεύγεται η χρήση καλλυντικών στην περιοχή των ματιών για τουλάχιστον 10 ημέρες μετά την επέμβαση.
- Ο ιδρώτας μπορεί να προκαλέσει τσούξιμο, αλλά δεν είναι βλαβερός.
- Να αποφεύγεται για μικρό χρονικό διάστημα ουσίες που μπορεί να ερεθίσουν τα μάτια (καπνός, σκόνη, κλπ).
- Ο ασθενής δεν πρέπει να τρίβει τα μάτια του, διότι προκαλείται ερεθισμός και μηχανική επιπέδωση του κερατοειδή
- Θα πρέπει να χρησιμοποιεί αποστειρωμένες γάζες για τον καθαρισμό της οφθαλμικής περιοχής
- Δεν πρέπει να αφαιρέσει μόνος του τους θεραπευτικούς φακούς επαφής (σε περίπτωση που έχει κάνει PRK). Θα τους αφαιρέσει ο οφθαλμίατρος-χειρουργός την κατάλληλη στιγμή

Είναι πιθανό μετά την επέμβαση ο ασθενής να έχει ερυθρότητα, ευαισθησία στο φως, ξηροφθαλμία και ενδεχομένως κούραση μετά από πολύωρο διάβασμα. Όλα αυτά τα συμπτώματα συνήθως υποχωρούν μετά από 48 ώρες ή το αργότερο μετά από 15 ημέρες.

6.5 Επιπλοκές

Η μεγάλη πλειονότητα των ασθενών δεν αντιμετωπίζει κανένα απολύτως πρόβλημα. Παρόλα αυτά όλες οι ιατρικές πράξεις μπορούν να έχουν επιπλοκές λιγότερο ή περισσότερο σοβαρές. Ευτυχώς, στη διαθλαστική χειρουργική με laser, οι επιπλοκές αυτές είναι σπάνιες και τις περισσότερες φορές αντιμετωπίσιμες.

- Η συχνότερη "επιπλοκή" είναι η πιθανότητα επανεπέμβασης για περαιτέρω βελτίωση της όρασης χωρίς βοηθήματα (γυαλιά, φακούς επαφής), όταν ο ασθενής το επιθυμεί. Ανάλογα με το πόσο υψηλή ήταν προεγχειρητικά η διαθλαστική ανωμαλία, η πιθανότητα αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1-10%. Αυτό οφείλεται στην ιδιαιτερότητα του κάθε οφθαλμού και αφορά το βαθμό και το ρυθμό της επούλωσης που παρατηρείται

μετά την εφαρμογή του laser. Σε κάθε περίπτωση η βελτίωση της χωρίς βοηθήματα οπτικής οξύτητας είναι τόσο θεαματική που οι ασθενείς είναι τις περισσότερες φορές ικανοποιημένοι. Ενδεχομένως ο ασθενής αυτός να επιλέξει να κάνει περιστασιακή χρήση βοηθητικών γυαλιών για βραδινή οδήγηση. Εάν όμως επιθυμεί ακόμα καλύτερη οπτική απόδοση χωρίς βοηθήματα, με την προϋπόθεση ότι ο συγκεκριμένος οφθαλμός έχει ακόμα τις συνθήκες ασφαλείας για νέα εφαρμογή του laser, αυτό γίνεται χωρίς οικονομική επιβάρυνση τους πρώτους 12 μήνες μετά την επέμβαση.

- Μικρού βαθμού μείωση της όρασης με διακύμανση της ποιότητας όρασης και περιστασιακές ενοχλήσεις (αίσθηση ξένου σώματος, φωτοευαισθησία και θάμπωμα σε σημειακές εστίες φωτός το βράδυ) έχουν περιγραφεί από λίγους ασθενείς. Τέτοια ενοχλήματα είναι τις περισσότερες φορές παροδικά και επιτρέπουν την φυσιολογική ζωή των ασθενών (οδήγηση, computer, τηλεόραση) χωρίς τη χρήση βοηθημάτων όρασης.
- Παροδική ξηροφθαλμία που απαιτεί τη συχνή χρήση υποκατάστατων δακρύων. Είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται τεχνητά δάκρυα για 1-2 μήνες μετά από επέμβαση Excimer Laser.
- Η πιο σημαντική επιπλοκή μπορεί να είναι μια μόλυνση η οποία όμως είναι εξαιρετικά σπάνια και περιορίζεται στην επιφάνεια και όχι μέσα στο μάτι (κερατίτιδα). Παρόμοιες μολύνσεις παρατηρούνται καθημερινά και σε στατιστικά μεγαλύτερο ποσοστό από κατάχρηση αλλά και από απλή χρήση φακών επαφής. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται άμεση φαρμακευτική αγωγή και στενή παρακολούθηση από τον οφθαλμίατρο.
- Προβλήματα στην κατασκευή του κρημονού ή flap κατά τη διάρκεια της επέμβασης είναι ιδιαίτερα σπάνια με την νέα γενιά μικροκερατόμων. Αν παρόλα αυτά η κατασκευή του flap δεν είναι τέλεια, τότε η επέμβαση αναβάλλεται συνήθως για μερικές εβδομάδες χωρίς δυσάρεστες συνέπειες για τον ασθενή. Τυχόν πτυχώσεις που παρατηρούνται σπάνια πάνω στην επιφάνεια του flap ανατάσσονται άμεσα με μεγάλη επιτυχία.

Η πιθανότητα κερατεκτασίας, δηλαδή της αύξησης της καμπυλότητας του κερατοειδούς λόγω αλλαγής της τεκτονικής του είναι εξαιρετικά σπάνια όταν ο προεγχειρητικός έλεγχος είναι πλήρης. Στην περίπτωση αυτή ο ασθενής για πλήρη αποκατάσταση της όρασης του θα πρέπει να φορέσει εξειδικευμένο αεροδιαπερατό φακό επαφής ή να υποβληθεί σε άλλες θεραπείες. Γι αυτό το λόγο όλοι οι ασθενείς ελέγχονται προεγχειρητικά εκτός των άλλων και για την ελαστικότητα του κερατοειδούς για να ελαχιστοποιηθεί ακόμα περισσότερο ο κίνδυνος κερατεκτασίας

Οι συχνότερες επιπλοκές σε οργανικό επίπεδο που παρατηρούνται μετά από μια θεραπεία με λέιζερ είναι :

- Ø Η ξηροφθαλμία
- Ø Προβλήματα της νυκτερινής όρασης (νυκταλωπία). Τα προβλήματα της νυκτερινής όρασης μπορούν να επηρεάσουν ορισμένους στο επάγγελμα τους εάν πρέπει να εργάζονται τη νύχτα ή κάτω από συνθήκες χαμηλού φωτισμού.
- Ø Αύξηση της ενδοφθάλμιας πίεσης. Η επιπλοκή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε γλαύκωμα.
- Ø πρόκληση βλάβης στον κερατοειδή χιτώνα του ματιού. Στη σπανία αυτή επιπλοκή, πιθανόν να χρειαστεί μεταμόσχευση κερατοειδούς χιτώνα για να διορθωθεί το πρόβλημα .
- Ø ανεπαρκής διόρθωση του προβλήματος της όρασης για το οποίο έγινε η επέμβαση.

7.1 Αλληλεπίδραση laser – βιολογικού ιστού

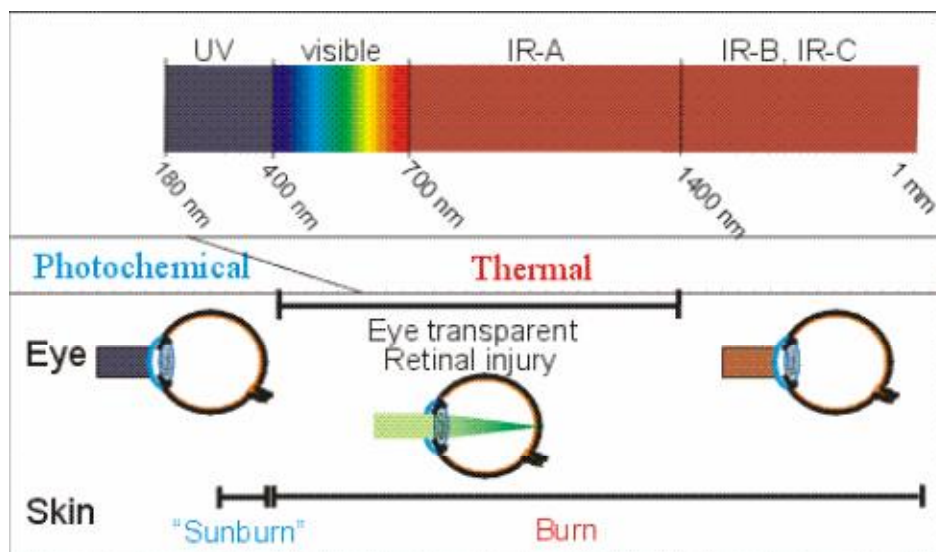
Η επίδραση της ακτινοβολίας laser στους ιστούς εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της δέσμης (μήκος κύματος, ισχύς, θερμότητα κ.τ.λ.), όσο και από τα χαρακτηριστικά του ιστού (οπτικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες). Οι οπτικές ιδιότητες περιλαμβάνουν φαινόμενα όπως η απορρόφηση, η διάχυση και η ανάκλαση, ενώ οι μηχανικές και θερμικές ιδιότητες έχουν χαρακτηριστικά όπως την αγωγιμότητα και τον συντελεστή απορρόφησης (από το νερό).

Όταν μια δέσμη laser έρχεται σε επαφή με έναν ιστό, ένα μέρος της μπορεί να απορροφηθεί, να ανακλαστεί ή να σκεδαστεί. Γενικά, τα αποτελέσματα που προκαλούνται από την επίδραση της ακτινοβολίας laser στους ιστούς μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα θερμικά φαινόμενα (όπως η τήξη και η ατμοποίηση) και τα μη θερμικά φαινόμενα (όπως το φωτομηχανικό και το φωτοχημικό φαινόμενο).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ανάλογα με την περίπτωση επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος laser.

7.2 Εφαρμογές των laser στην οφθαλμολογία

Όπως γίνεται αντιληπτό, λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών που εμφανίζουν τα διάφορα συστήματα laser, βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές σε ένα πλήθος διαφορετικών ιατρικών. Ιδιαίτερες εφαρμογές βρίσκουν τα laser στην οφθαλμολογία όπου αρκετές παθήσεις των οφθαλμών αντιμετωπίζονται επιτυχώς με τη χρήση των laser. Η ακτινοβολία των laser επιδρά με διάφορους τρόπους πάνω στους ιστούς ανάλογα με το μήκος κύματος της. Οι κυριότερες επιδράσεις είναι η θερμική, η ιονίζουσα και η φωτοχημική. Η θερμική επίδραση μπορεί να προκαλέσει είτε πήξη του ιστού (φωτοπηξία), κατά την οποία δημιουργείται έγκαυμα του ιστού που ακτινοβολείται και στη συνέχεια ουλοποιείται, είτε εξάτμιση του ιστού (φωτοεξάτμιση), κατά την οποία δημιουργούνται αναίμακτες τομές ακριβείας στους ιστούς. Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται σχηματικά, η επίπτωση των διαφόρων μηκών κύματος στον οφθαλμό:



Εικόνα 55 Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στον οφθαλμό

Ειδικότερα στην οφθαλμολογία χρησιμοποιούνται ευρέως 2 τύποι laser: το Argon laser και το laser Nd: YAG, ενώ για τις επεμβάσεις διαθλαστικής χειρουργικής χρησιμοποιούνται τα excimer laser.

Η δράση του Argon laser είναι θερμική και απορροφάται κυρίως από την μελανίνη των ιστών (μελάγχρουν επιθήλιο), την ξανθοφύλλη (χρωστική εντός του αμφιβληστροειδή, κυρίως στην περιοχή της ωχράς κηλίδας) και την αιμοσφαιρίνη. Λόγω της θερμικής του δράσης το Argon laser χρησιμοποιείται ευρέως για την αντιμετώπιση παθήσεων του βυθού (περιφερικές αλλοιώσεις του αμφιβληστροειδή, αγγειακές παθήσεις του αμφιβληστροειδή, παθήσεις της ωχράς).

Η θεραπεία των περιφερικών αλλοιώσεων του αμφιβληστροειδή γίνεται μέσω της φωτοπηξίας με τη χρήση του Argon laser η οποία δημιουργεί χοριοαμφιβληστροειδική ουλή στον αμφιβληστροειδή αντιμετωπίζοντας έτσι προβλήματα της συνέχειας του αμφιβληστροειδή (ρωγμές, οπές) οι οποίες εξελίσσονται σε αποκόλληση του αμφιβληστροειδή.

Η συχνότερη αγγειακή πάθηση του αμφιβληστροειδή για την οποία χρησιμοποιείται η φωτοπηξία με τη χρήση του Argon laser είναι η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια. Με την φωτοπηξία επιτυγχάνεται η επιβράδυνση της εξέλιξης της νόσου ή ακόμα και η βελτίωση της όρασης του ασθενούς με την απορρόφηση του οιδήματος της ωχράς και την υποστρόφη της νεοαγγείωσης.

Το Argon laser χρησιμοποιείται ευρύτατα και για την θεραπεία του γλαυκώματος ανοιχτής γωνίας,. Για την θεραπεία του γλαυκώματος εφαρμόζονται σε ολόκληρη την περιφέρεια της γωνίας 60-100 βολές διαμέτρου 50 μ και ανάλογης έντασης, στην εσωτερική επιφάνεια του σκληροκερατοειδικού ηθμού (μέθοδος τραμπεκουλοπλαστικής).

Με την θερμική δράση του Argon laser προκαλούνται μετρίου βαθμού εγκαύματα και μικροουλές του trabeculum με αποτέλεσμα την συνολική ελάττωση της διαμέτρου του ηθμού και την διάνοιξη των μεσοδιαστημάτων του υπόλοιπου δικτυωτού με αποτέλεσμα την ευκολότερη αποχέτευση του υδατοειδούς υγρού από τον πρόσθιο θάλαμο

Το laser Nd: YAG λειτουργεί ως νυστέρι αφού προκαλεί λεπτή ψαλίδιση των ιστών με την δημιουργία κυμάτων μικρής διάρκειας με κάθε εκπεμπόμενο παλμό. Η παραπάνω μέθοδος της τραμπεκουλοεκτομής γίνεται και με το laser Nd: YAG εξίσου καλά αποτελέσματα. Ιδιαίτερη είναι η εφαρμογή του A: YAG για την αντιμετώπιση του δευτερογενή καταρράκτη. Κατά την εξωπεριφακική αφαίρεση του καταρράκτη και την τοποθέτηση ενδοφακού οπίσθιου θαλάμου το οπίσθιο περιφάκιο θολώνει (δευτερογενής καταρράκτης) στο 5-50% των περιπτώσεων και προκαλεί σημαντική ελάττωση της όρασης .Με τη βοήθεια του Nd: YAG προκαλείται σχάση του δευτερογενή καταρράκτη με τη φωτοδιασπαστική δράση του.

Γενικότερα το Nd: YAG παρουσιάζει δραστικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση τραυματικών υπολοίπων του ματιού και του φακού του ματιού. Εξαιρετικής σημασίας για την οφθαλμολογία αποτελούν τα excimer laser, τα οποία αποτελούν και σημαντικό τμήμα της παρούσας μελέτης, και για τα οποία θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στην συνέχεια.

7.3 Excimer Laser

Με τον όρο excimer laser δεν περιγράφεται απλά μία συσκευή laser, αλλά μια ολόκληρη κατηγορία laser με παρόμοια χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Όλα τα laser αυτής της κατηγορίας εκπέμπουν παλμούς μεγάλης ισχύος που η διάρκεια τους είναι της τάξης των nanoseconds σε μήκη κύματος στις περιοχές του ορατού και του υπεριώδους.

Η λέξη excimer προέρχεται από την συντόμευση των λέξεων excited dimer, δηλαδή διεγερμένα διμερή και περιγράφει μία κατηγορία μορίων που αποτελούνται από ένα άτομο ευγενούς αερίου (Ar, Xe ή Kr) και από ένα άτομο αλογόνου (F, Cl ,Br ,I). Το χαρακτηριστικό αυτών των μορίων είναι ότι όταν ενωθούν τα 2 άτομα που τα απαρτίζουν στις θεμελιώδεις ηλεκτρονικές τους καταστάσεις σχηματίζουν το αντίστοιχο διμερές μόριο στην θεμελιώδη του κατάσταση το οποίο όμως είναι εξαιρετικά ασταθές έχοντας πρακτικά μηδενικό χρόνο ζωής (10^{-13} s). Όταν όμως τα δύο άτομα ενωθούν κάτω από ειδικές συνθήκες και σχηματίσουν το διεγερμένο διμερές μόριο , αυτό είναι σταθερό με ικανοποιητικό χρόνο ζωής. Κατά αυτό τον τρόπο είναι εύκολο να δημιουργηθούν αναστροφές πληθυσμών μεταξύ της διεγερμένης και της βασικής κατάστασης αυτών των μορίων, στον βαθμό που τα διεγερόμενα στην βασική κατάσταση μόρια να διασπώνται αυτόματα, δημιουργώντας μόνιμα έλλειμμα πληθυσμού σε αυτή και επομένως κατάλληλες συνθήκες πληθυσμιακής αναστροφής ώστε να εκπεμφθεί ακτινοβολία laser. Τα πιο σημαντικά μόρια διεγερμένων διμερών και τα αντίστοιχα μήκη κύματος στα οποία εκπέμπουν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Διεγερμένα διμερή	Μήκος κύματος εκπομπής (nm)
KrF	248
KrCl	222
XeCl	308
XeF	351, 353
XeBr	282
XeI	253
ArF	193
ArCl	175
F ₂	157

Πίνακας 1 Μήκος κύματος εκπομπής διεγερμένων διμερών

7.3.1 Excimer Laser στην οφθαλμολογία - μηχανισμός φωτοαποδόμησης

Στις αρχές του 1980 άρχισαν να πραγματοποιούνται έρευνες για την μελέτη χάραξης οργανικών πολυετών με παλμούς laser μεγάλης έντασης, με θεαματικά αποτελέσματα. Παρατηρήθηκε ότι μπορούσε να απομακρυνθεί υλικό με μμεγάλη ακρίβεια χωρίς την καταστροφή της γύρων περιοχής. Λόγω της απουσίας ή σημαντικού περιορισμού των θερμικών φαινομένων η διαδικασία αυτή ονομάστηκε “cold laser ablation” ή “ablative photodecomposition” (εκρηκτική φωτοαποδόμηση) ή για συντομία “photoablation” (φωτοεκτομή). Εν συντομία, ο μηχανισμός που λαμβάνει χώρα κατά την ακτινοβόληση του κερατοειδή με excimer laser ArF στα 193 nm είναι ο παρακάτω:

Ο κερατοειδής έχει εξαιρετικά υψηλό συντελεστή απορρόφησης στα 193nm, ενώ τα φωτόνια στα 193nm είναι πολύ ενεργητικά ($E_{193nm}=6.4 \text{ eV}$) με αποτέλεσμα να εναποθέτουν περισσότερη ενέργεια από την μέση ενέργεια των πρωτεϊνικών δεσμών που απαντώνται στον κερατοειδή. Όταν η συγκέντρωση των φωτονίων ή η πυκνότητα ενέργειας υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή (ablation threshold), οι δεσμοί διασπώνται χωρίς να ανασυντίθενται και το υλικό αποσυντίθεται. Η πλεονάζουσα ενέργεια των φωτονίων προσδίδει την απαραίτητη κινητική ενέργεια στα θραύσματα για την απομάκρυνση τους από την επιφάνεια (Albagli, 1994, Pettit, 1993, Vogel, 2003, Ren et al.1995).

Για πολλά χρόνια πριν από αυτές τις μελέτες οι οφθαλμίατροι είχαν παρατηρήσει ότι λόγω της μεγάλης διοπτρικής ισχύος του κερατοειδή, θα μπορούσαν να επέμβουν πάνω του για να αλλάξουν την καμπυλότητα και κατ' επέκταση την διοπτρική του δύναμη με απώτερο στόχο την διόρθωση των διαθλαστικών σφαλμάτων. Περιοριστικός παράγοντας ήταν η μη ύπαρξη κάποιου εργαλείου για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας επέμβασης η οποία απαιτούσε εξαιρετική ακρίβεια και ευαισθησία.

Σχεδόν αμέσως μετά τις αρχικές έρευνες για την επίδραση των laser σε συνθετικά πολυμερή πραγματοποιήθηκαν έρευνες για την εκτομή του κερατοειδή με παλμικό laser στο υπεριώδες, οι οποίες επικεντρώθηκαν κατά κύριο λόγο στο excimer laser ArF στα 193 nm, το οποίο παράγει παλμούς χρονοδιάρκειας 15 ns. Το ArF μπορούσε να αποδομεί και αφαιρεί τον κερατοειδή με μμεγάλη ακρίβεια και λιγότερη ζημιά στις γειτονικές περιοχές. Αυτό οφειλόταν εν μέρει στον μεγάλο συντελεστή απορρόφησης των μικρών μηκών κύματος από τον κερατοειδή (2700 cm^{-1}).

Κατά την μελέτη της σχέσης μεταξύ του βάθους εκτομής του κερατοειδή και την ένταση της ενέργειας ανά παλμό, παρατηρήθηκε ότι η ελάχιστη ένταση για την έναρξη της εκτομής (ablation threshold) ήταν τα 40 mJ/cm^2 . Για τιμές πυκνότητας ενέργειας πάνω από 1 J/cm^2 , το βάθος εκτομής διατηρείται περίπου σταθερό στο $1\mu\text{m}$ περίπου. Η πιο αποτελεσματική εκτομή (μάζα ανά παλμό) πραγματοποιείται μεταξύ $100\text{-}300 \text{ mJ/cm}^2$ (Pettit, 1995).

Ο μηχανισμός αλληλεπίδρασης του laser με τον κερατοειδή βασίζεται στις αρχές που περιγράφονται αναλυτικότερα στην συνέχεια. Η ενέργεια της δέσμης του ArF που εναποτίθεται στον κερατοειδή αρχικά απορροφάται από τα οργανικά συστατικά. Το νερό που καταλαμβάνει το 75% της συνολικής μάζας του ιστού έχει μέτρια απορροφητικότητα στα 193nm ($\sim 10 \text{ cm}^{-1}$) ενώ το υπόλοιπο 25% της μάζας καταλαμβάνει κυρίως το κολλαγόνο που αποτελεί την πρωταρχική δομική πρωτεΐνη του ιστού. Όπως και οι υπόλοιπες πρωτεΐνες, το κολλαγόνο περιέχει αμινοξέα τα οποία συνδέονται σε μια μακριά μοριακή αλυσίδα με πεπτιδικούς δεσμούς. Η πεπτιδική αλυσίδα είναι μια ισχυρή χρωμοφόρα στο μακρινό υπεριώδες με γραμμομοριακό συντελεστή απορρόφησης (molar extinction coefficient) $5.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ στα 193 nm. Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του δεσμού στον ιστό ($\sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) θεωρείται ο πιο σημαντικός απορροφητής κατά την αλληλεπίδραση του ιστού με το laser (Vogel et al., 2003). Έτσι κατά την ακτινοβολία του ιστού απορροφάται η ενέργεια της ακτινοβολίας από τα δομικά στοιχεία του ιστού με αποτέλεσμα τη διάσπαση των μοριακών τους δεσμών μέσω φωτοχημικής διαδικασίας.

7.4 Femtosecond Laser

Ο όρος Femto - (σύμβολο f) είναι ένα πρόθεμα στο μετρικό σύστημα που δηλώνει έναν παράγοντα των 10-15 ή 0,000000000000001. Προέρχεται από τη δανική λέξη femten, που σημαίνει 'δεκαπέντε'.

Το femtosecond είναι ένα λέιζερ υπερβραχέων παλμών. Με τον όρο «υπερβραχείς» εννοούμε παλμούς φωτός με χρονοδιάρκεια της τάξης των femtosecond (fs) ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$). Η χρονική

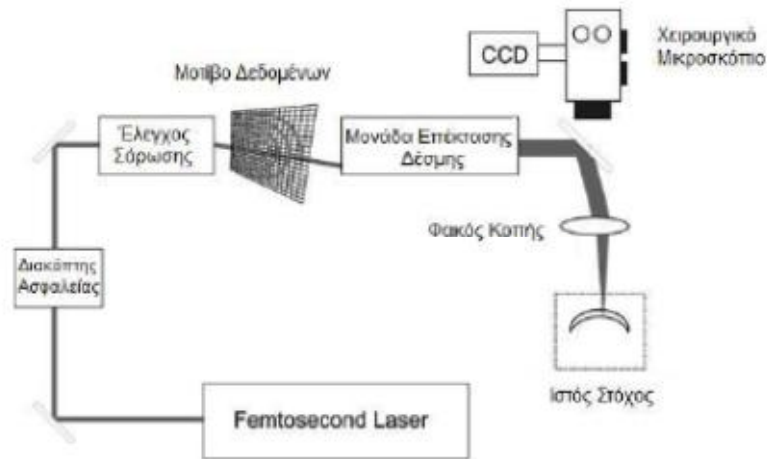
αυτή κλίμακα έγινε προσβάσιμη με τη βοήθεια της εξέλιξης στην παραγωγή, ενίσχυση και μέτρηση των παλμών αυτών. Η ανάπτυξη τους συνδέεται κυρίως με την ανακάλυψη της τεχνικής εγκλειδωσής τρόπων ταλάντωσης (mode-locking). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, η ταυτόχρονη ταλάντωση ενός μεγάλου αριθμού σύμφωνων, κλειδωμένων σε φάση, διαμηκών ρυθμών σε μία κοιλότητα laser, οδηγεί τελικά στη δημιουργία ενός τρένου παλμών fs στην έξοδο ενός mode-locked laser.

Τα femtosecond lasers που χρησιμοποιούνται στη διαθλαστική χειρουργική είναι laser στερεάς κατάστασης και εκπέμπουν παλμούς φωτός με μήκος κύματος που ανήκει στο εγγύς υπέρυθρο, δηλαδή στα 1053 nm για εφαρμογές στον κερατοειδή και στα 1030 nm για εφαρμογές στον κρυσταλλοειδή φακό.

7.4.1 Αρχή λειτουργίας του Femtosecond Laser

Για να ελεγχθεί με ακρίβεια η ισχύς των υπερβραχέων παλμών laser για εφαρμογές στην οφθαλμολογία, το σύστημα του λέιζερ πρέπει να συνδυαστεί με ένα σύστημα που παρέχει ακρίβεια, γρήγορη εκτροπή και εστίαση, καθώς και ένα υψηλή αντίθεσης μικροσκόπιο που να ταιριάζει στις ανάγκες του χειρουργού οφθαλμιάτρου. Μετά την έξοδο από το λέιζερ, η ακτίνα εισέρχεται στο βραχίονα εφαρμογής. Ένας μηχανικός διακόπτης μπλοκάρει τη δέσμη και ανοίγει μόνο κατά τη διάρκεια της επέμβασης με το λέιζερ. Κάθε επέμβαση ορίζεται εκ των προτέρων από μία τρισδιάστατη παράταξη δεδομένων των στοιχείων-όγκου (voxels) που θα αποκοπούν και ένα αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα που ορίζει την αλληλουχία εκτομής. Συνεπώς, η εστίαση του λέιζερ πρέπει να γίνεται με ακρίβεια και στις τρεις διαστάσεις. Για το σκοπό αυτό, ένα πλήρως ελεγχόμενο από υπολογιστή μονάδα κάτοπτρο σαρώσεως χρησιμοποιείται. Βελτιστοποιημένης σάρωσης πρότυπα δημιουργούνται από ένα σύνολο παραμέτρων που ορίζονται από το χρήστη (π.χ. πάχος και διάμετρος κρημνού, γωνία μίσχου σε προ-LASIK κοπή ενός κρημνού) και εκτελούνται με έλεγχο του υλικού του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Μετά από τη μονάδα του σαρωτή, η δέσμη περνά από μια μονάδα επέκτασης, αυξάνοντας τη διάμετρο της δέσμης λέιζερ για την επίτευξη εστίασης μετά το φακό κοπής. Καθώς η πυκνότητα ροής του λέιζερ πρέπει να είναι πάνω από το αντίστοιχο κατώφλι για την εκτομή, η δέσμη λέιζερ πρέπει να εστιάζεται σε ένα πολύ μικρό μέγεθος κηλίδας της τάξεως των μικρομέτρων (μm) για την επίτευξη μιας ακριβούς εκτομής. Σύμφωνα με τους φυσικούς νόμους των οπτικών φακών, το μέγεθος του σημείου εστίασης μιας δέσμης μειώνεται όσο μεγαλύτερο είναι το αριθμητικό άνοιγμα (NA) του φακού εστίασης.

Ένα επίπεδο γυαλί στο τέλος του συστήματος μεταφοράς της δέσμης τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του κερατοειδούς, για τη δημιουργία ενός επιπέδου αναφοράς για αναπαραγωγίμη ενδοστρωματική φωτοδιάσπαση. Η θέση του οφθαλμού στο γυαλί επαφής καθορίζεται με τη δημιουργία ελαφρού κενού με ένα δακτύλιο αναρρόφησης (Εικόνα 56). Ένα χειρουργικό μικροσκόπιο με μια φωτεινή πηγή (σχισμοειδής λυχνία) και μία κάμερα CCD είναι συνδεδεμένα στο σύστημα για άμεση παρατήρηση της χειρουργικής διαδικασίας.



Εικόνα 56 Μονάδα εφαρμογής για εκτέλεση οφθαλμικής χειρουργικής με παλμούς femtosecond laser

7.4.2 Αλληλεπίδραση Femtosecond laser - ιστού

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της δέσμης laser, όταν αλληλεπιδρά με το ζωντανό ιστό μετατρέπεται σε ενέργεια χημικών δεσμών, θερμότητα, μηχανική ενέργεια, ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου ή και σε φωτεινή ενέργεια. Με βάση το μηχανισμό που μετατρέπεται η ενέργεια, τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ακτινοβολίας laser και ιστού χωρίζονται σε: φωτοχημικά, φωτοθερμικά και φωτομηχανικά.

Το βιολογικό αποτέλεσμα της δράσης των laser στους ιστούς εξαρτάται από:

- A. τις φυσικές παραμέτρους του laser (μήκος κύματος, ενέργεια ή πυκνότητα ενέργειας, ισχύς ή πυκνότητα ισχύος, χρόνος έκθεσης στην ακτινοβολία),
- B. τις βιοφυσικές ιδιότητες του ιστού – στόχου (οπτικές, θερμικές, μηχανικές ιδιότητες).

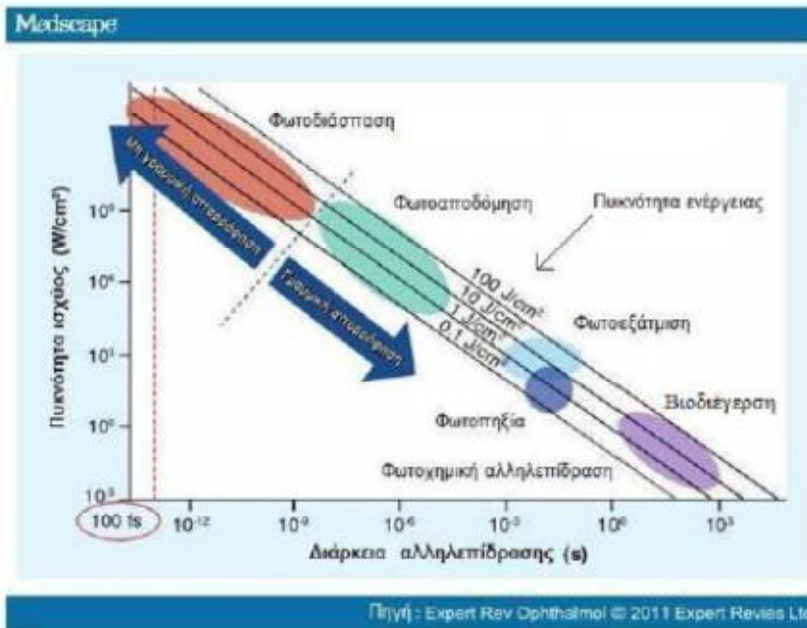
Οι βιοφυσικές ιδιότητες του ιστού – στόχου διακρίνονται σε οπτικές ιδιότητες (ανάκλαση, διάδοση, σκέδαση, φθορισμός- κβαντική απόδοση), σε θερμικές ιδιότητες (θερμική αγωγιμότητα, συντελεστής θερμικής διάχυσης, χρόνος θερμικής αποκατάστασης) και μηχανικές ιδιότητες (συντελεστής ελαστικότητας, σύσταση/φάση της έμβιας ύλης).

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια πηγή laser προσπέσει σε μια βιολογική δομή, τότε είτε θα απορροφηθεί, είτε θα ανακλαστεί (κατοπτρικά ή σε τυχαίες διευθύνσεις), ή θα συμβεί ένας συνδυασμός των παραπάνω. Αν εισχωρήσει στον όγκο του ιστού, το βάθος διείσδυσης αυτής της ακτινοβολίας δεν μπορεί να είναι μεγάλο, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο των ιονίζουσών ακτινοβολιών που διαπερνούν όλο το ανθρώπινο σώμα (π.χ. στην ακτινογραφία ή την ακτινοσκόπηση).

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας, οδηγεί σε θεραπευτικές εφαρμογές (χειρουργικές τομές, λιθοτριψία, φωτοδυναμική θεραπεία, θεραπεία αιμαγγειωμάτων, φωτοπηξία, βιοδιέγερση κ.λπ.). Η ανάκλαση/σκέδαση της ακτινοβολίας, οδηγεί κύρια σε διαγνωστικές εφαρμογές (οπτική τομογραφία, κυτταρομετρία ροής, μικροσκοπία ατομικής δύναμης, ολογραφία), αλλά πολύ πρόσφατα και σε ειδικές «θεραπείες» (π.χ. τεχνητή γονιμοποίηση ωαρίου και «σύντηξη» κυττάρων).

Τα είδη των αλληλεπιδράσεων καθώς και τα αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας Laser στους ιστούς, παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 57). Ο οριζόντιος άξονας παριστάνει το χρόνο έκθεσης σε δευτερόλεπτα, ενώ ο κατακόρυφος την εφαρμοζόμενη πυκνότητα ισχύος σε W/cm². Οι διαγώνιες, αφορούν τη «σταθερή» ροή

ενέργειας. Σύμφωνα με την Εικόνα 57 τα είδη των αλληλεπιδράσεων Laser – ιστού είναι τα εξής: βιοδιέγερση, φωτοπηξία, φωτοεξάτμιση, φωτοαποδόμηση, φωτοδιάσπαση.



Εικόνα 57Επιδράσεις της σχέσης μεταξύ του χρόνου αλληλεπίδρασης laser και της έντασης της ενέργειας

Τα οπτικά διαφανή διαθλαστικά στρώματα του οφθαλμού, όπως ο κερατοειδής και ο φακός, δεν απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ορατό ή στο εγγύς-υπέρυθρο φάσμα σε χαμηλές πυκνότητες ισχύος, επιτρέποντας στο φως να περάσει διαμέσου χωρίς αλλοίωση των ιστών αυτών. Ωστόσο, σε υψηλότερες πυκνότητες ισχύος, όπως αυτές που παράγονται από ένα femtosecond laser, αυτές οι δομές απορροφούν την φωτεινή ενέργεια, με αποτέλεσμα την παραγωγή πλάσματος και τη φωτοδιάσπαση (photodisruption) του ιστού.

Η εφαρμογή πολλών φωτονίων της ενέργειας του λέιζερ σε πολύ μικρό χώρο και χρόνο οδηγεί σε μη γραμμική απορρόφηση της ενέργειας του femtosecond laser. Λόγω του πολυφωτονικού φαινομένου, καθώς και του φαινομένου χιονοστιβάδας ηλεκτρονίων, η απορρόφηση ενέργειας από τον ιστό υπερβαίνει τελικά το κατώφλι για οπτική διάσπαση. Έτσι, στο σημείο εστίασης της δέσμης λέιζερ στο εσωτερικό του ιστού δημιουργείται ένα νέφος από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιονισμένα μόρια σχηματίζοντας μία παροδική κατάσταση πλάσματος, με διάμετρο 0,5 - 5 μm. Το πλάσμα που δημιουργείται απορροφά περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τον περιβάλλοντα ιστό, οδηγώντας το σε εκτόνωση με υπερηχητική ταχύτητα. Με την επέκταση του πλάσματος προκύπτουν δευτερογενείς επιδράσεις, όπως κρουστικό κύμα, το οποίο ωθεί το περιβάλλον μέσο μακριά από το κέντρο του, δημιουργώντας μία φυσαλίδα σπηλαίωσης, με διάμετρο 10 έως 100 μm και διάρκεια ζωής μερικά msec. Μετά την κατάρρευση της φυσαλίδας σπηλαίωσης, απομένει μια φυσαλίδα αερίου που περιέχει διοξείδιο του άνθρακα, νερό, άζωτο και άλλα στοιχεία, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό του ιστού.

Υπάρχει μία αντίστροφη σχέση μεταξύ της διάρκειας του παλμού laser και της ενέργειας που απαιτείται σε κάθε παλμό για να δημιουργήσει την οπτική διάσπαση (LIOB). Όσο μικρότερη είναι η διάρκεια του παλμού και όσο μικρότερη είναι η διάμετρος (και όγκος) της κηλίδας, τόσο χαμηλότερη είναι η ενέργεια που απαιτείται για φωτοδιάσπαση. Ένας φακός με ένα μεγαλύτερο αριθμητικό άνοιγμα θα δημιουργήσει μια πολύ εστιασμένη κηλίδα λέιζερ, όσον αφορά τη διάμετρο και τον όγκο, η οποία ενισχύει την ακρίβεια βάθους και τη συνολική ακρίβεια της κοπής μίας στοιβάδας.

Οι παλμοί υψηλότερης ενέργειας επιτρέπουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των κηλίδων, επειδή η επέκταση των κενών φυσαλίδων αερίου καθοδηγεί την διαδικασία κοπής. Επειδή η υπερβολικά μεγάλη απόσταση μπορεί να οδηγήσει σε άκοπες περιοχές ή γέφυρες ιστού, οι χειρουργοί πρέπει να συνυπολογίζουν τον παράγοντα τόσο της ενέργειας όσο και της απόστασης στο σχέδιο θεραπείας. Μικρότερης ενέργειας παλμοί και μικρότερα μεγέθη κηλίδας και όγκου απαιτούν την χρήση ουσιαστικά περισσότερων κηλίδων που τοποθετούνται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους και έχουν μεγαλύτερη επικάλυψη, επειδή το ίδιο το πλάσμα είναι ο πρωταρχικός οδηγός της διαδικασίας κοπής. Για την υλοποίηση αυτών των πολλών σημείων σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα απαιτείται μια πολύ-υψηλής συχνότητας μηχανή.

Οι πρώτες συσκευές λειτουργούσαν με χαμηλό ρυθμό επανάληψης και χρειαζόταν μεγαλύτερη ενέργεια για να επιτύχουν τη διαδικασία της φωτοδιάσπασης. Οι νεότερες συσκευές σκοπεύουν να αυξήσουν το ρυθμό επανάληψης, γεγονός που ελαττώνει τη διάρκεια της διαδικασίας και χρησιμοποιεί χαμηλότερη ενέργεια με σκοπό τη μείωση της φλεγμονής. Επιπλέον, το μέγεθος της κηλίδας και ο διαχωρισμός μπορεί να μειωθεί σε υψηλότερους ρυθμούς επανάληψης ώστε να παράγονται ομαλότερες τομές της επιφάνειας, χωρίς να αυξάνεται ο χρόνος της διαδικασίας.

Περίληπτικά, η ιδανική διάταξη θα πρέπει χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό επανάληψης, μικρό μέγεθος κηλίδας και χαμηλή ενέργεια ανά παλμό.

7.4.3 Εφαρμογές στη διαθλαστική χειρουργική

Η ειδικότητα της Οφθαλμολογίας χαρακτηρίζεται από την άμεση ενσωμάτωση κάθε μορφής σύγχρονης τεχνολογίας στην καθημερινή της πρακτική. Ο τομέας της Διαθλαστικής Χειρουργικής ειδικότερα πρωτοστατεί στο πλαίσιο αυτό, με το femtosecond laser να αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνολογικής εξέλιξης που εισήλθε δυναμικά στη χειρουργική αίθουσα.

Με τον όρο διαθλαστική χειρουργική αναφερόμαστε στην διορθωτική χειρουργική επέμβαση στον οφθαλμό κατά την οποία αφαιρείται-φωτοαποδομείται ιστός από τον κερατοειδή χιτώνα του οφθαλμού με την χρήση κατάλληλης δέσμης λέιζερ. Δέκα χρόνια εφαρμογής και χρήσης πλέον σε περισσότερες από τις μισές επεμβάσεις που διενεργούνται παγκοσμίως αποδεικνύουν την αποδοχή και την ευρύτητα της εφαρμογής του.

Συνοπτικά οι εφαρμογές του femtosecond laser στη διαθλαστική χειρουργική είναι οι εξής:

- i) Δημιουργία κερατικού κρημνού στην LASIK.
- ii) Διόρθωση αστιγματισμού με αστιγματικές κερατοτομές και σφηνοειδείς εκτομές.
- iii) Δημιουργία ενδοκερατικών τομών για την ένθεση ενδο-κερατοειδικών δακτυλίων, ενδοστρωματικών ενθεμάτων και την έγχυση ριβοφλαβίνης.
- iv) Διόρθωση μυωπίας με τη μέθοδο ReLEx.
- v) Διόρθωση της πρεσβυωπίας με τη μέθοδο INTRACOR.
- vi) Βιοψία κερατοειδούς.
- vii) Στη μεταμόσχευση κερατοειδούς.
- viii) Στην εγχείρηση καταρράκτη που λαμβάνει χώρα πρόσθια καψουλόρηξη και ενδοφακική φωτοδιάσπαση και ρευστοποίηση του πυρήνα.
- ix) Στην αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας, όπου γίνεται ενδοφακικά εφαρμογή του laser με σκοπό την αύξηση της ελαστικότητας του φακού που ως γνωστό η σκλήρυνσή του οδηγεί σε πρεσβυωπία.

8.1 Ασφαλής χρήση των Laser

Στις μέρες μας υπάρχουν δύο ομοσπονδιακοί κανονισμοί σχετικά με την ασφαλή χρήση των Laser στις ΗΠΑ. Πρόκειται για το Εθνικό Πρότυπο για την ασφαλή Χρήση των Laser (ANSI Z 136.1), το οποίο διέπει τη βιομηχανία Laser και το Ασφαλής Χρήση των Laser σε Εγκαταστάσεις Υγείας (ANSI Z 136.3), που καθορίζει την εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των Laser σε μονάδες υγείας (Πίνακας 1). Υπάρχει άλλο ένα πρότυπο, η Ασφαλής Χρήση των Laser σε Εκπαιδευτικά Ιδρύματα, το οποίο διέπει την ασφαλή χρήση κατά τη διάρκεια εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων (ANSI Z 136.5).

Τα πρότυπα ασφαλείας κατανέμουν τις συσκευές Laser σε κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητες της ακτινοβολίας τους (δηλαδή τον κίνδυνο που εμπεριέχουν κατά τη χρήση τους):

- μήκος κύματος
- ισχύς εξόδου
- διάρκεια παλμών κλπ.

Αυτά τα πρότυπα αναπροσαρμόζονται κάθε λίγα χρόνια, καθώς οι γνώσεις, οι εμπειρίες και οι νέες εφαρμογές πολλαπλασιάζονται. Για τα Laser μικρής ισχύος η κύρια βλάβη, που υπάρχει κίνδυνος να συμβεί, είναι στον οφθαλμό.

8.2 Κατηγοριοποίηση των Laser σε ομάδες, για λόγους ασφαλείας

Το Εθνικό Ίδρυμα Προτύπων της Αμερικής (ANSI) κατατάσσει τα Laser σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τον κίνδυνο που εμπεριέχουν κατά τη χρήση τους.

Για κάθε επόμενη κατηγορία (από την I στην IV) απαιτούνται πρόσθετα μέτρα ελέγχου και προστασίας του χρήστη και των παρόντων. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία (από τη συσκευή Laser) που μπορεί να προκαλέσει ζημιά-βλάβη καθορίζεται από δύο παραμέτρους:

- το άνοιγμα-παράθυρο εξόδου της δέσμης
- την απόσταση από τη συσκευή στην οποία πραγματοποιείται η μέτρηση

Κλάση	Περιγραφή
I	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα.
IM	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα, όταν δεν παρεμβάλλεται συγκεντρωτικός φακός ή άλλα οπτικά είδη.
II	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα, όταν η έκθεση δεν ξεπερνάει τα 0,25 sec. Η ακτίνα είναι ορατή στο γυμνό μάτι από τα 400 nm μέχρι τα 700 nm.
IIIM	Όπως η Σειρά 2, όταν δεν παρεμβάλλεται συγκεντρωτικός φακός ή άλλα οπτικά είδη.
IIIR	Η ακτίνα βλάπτει τα μάτια.
IIIB	Η ακτίνα βλάπτει τα μάτια και μπορεί να βλάψει και το δέρμα.
IV	Η ακτίνα είναι πολύ επικίνδυνη για τα μάτια και για το δέρμα, ακόμη και έπειτα από διάχυση σε επιφάνειες.

Πίνακας 2 Κατανομή laser σύμφωνα με τα πρότυπα EN 60825-1 και ANSI Z136.1

Κατηγορία I

Περιέχει όλα τα Laser, τα οποία κάτω από φυσιολογικές συνθήκες εργασίας, δεν μπορούν να εκπέμψουν ακτινοβολία ικανή να προκαλέσει βλάβη. Στην πράξη αυτά τα Laser καλούνται «Laser ασφαλή για τον οφθαλμό» και δε βλάπτουν κάποιον, ακόμη και αν κοιτάξει απευθείας τη δέσμη για 8 ώρες και ανεξάρτητα από το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, η μέγιστη ισχύς Laser He – Ne που ανήκει στην κατηγορία I είναι 0.4 μW. Τα Laser αυτής της κατηγορίας δεν μπορούν να εκπέμψουν ακτινοβολία που να ξεπερνά το όριο της MEE

Κατηγορία II

Περιέχει όλα τα «ορατά» Laser χαμηλής ισχύος που διεγείρουν το ανακλαστικό της ίριδας να κλείνει για να προστατέψει τον οφθαλμό. Ο χρόνος της ανακλαστικής αντίδρασης είναι 0.25 του δευτερολέπτου. Τα Laser της κατηγορίας II εκπέμπουν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά το ποσό της ενέργειας που εισέρχεται στον οφθαλμό περιορίζεται από το κλείσιμο της ίριδας.

Η μέγιστη ισχύς συνεχούς ορατού Laser της κατηγορίας II είναι 1mW. Αυτά τα Laser είναι κατάλληλα για πειράματα Φυσικής σε μαθητές. Αν το μήκος κύματος ανήκει στο μη ορατό και η HMA Laser ξεπερνά τα όρια της κατηγορίας I, τότε κατατάσσεται απευθείας στην κατηγορία III

Κατηγορίες IIIα και IIIβ

Στην κατηγορία IIIα ανήκουν όλα τα ορατά Laser που εκπέμπουν ακτινοβολία σε επίπεδο που δεν βλάπτει τον άνθρωπο με φυσιολογική λειτουργία οφθαλμού (ανακλαστική αντίδραση της ίριδας).

Η κατηγορία IIIα περιέχει όλα τα Laser μέσης ισχύος με έξοδο μεταξύ 1 και 5 φορές ισχυρότερη της κατηγορίας I, ανάλογα με τη διάρκεια της έκθεσης. Αν χρησιμοποιούνται οπτικά συστήματα (όπως κιάλια), για την παρατήρηση της δέσμης Laser, μπορεί να προκληθεί βλάβη στον οφθαλμό. Για Laser He – Ne και Laser διόδων στο ορατό, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς είναι 5 mWatts.

Η κατηγορία IIIβ περιέχει όλα τα Laser που δεν ανήκουν στις κατηγορίες I ή II και έχουν μήκος κύματος (ορατό ή μη) ικανό να προκαλέσει βλάβη στον οφθαλμό του παρατηρητή, ακόμη και χωρίς τη χρήση οπτικών βοηθητικών εξαρτημάτων.

Η μέγιστη ισχύς των Laser της κατηγορίας IIIβ είναι 0.5 Watt και αδυνατούν να δώσουν περισσότερα από 125 mJ σε 0.25 δευτερόλεπτα.

Κατηγορία IV

Περιέχει όλα τα Laser που δεν ανήκουν στις προηγούμενες κατηγορίες. Θεωρούνται Laser μεγάλης ισχύος. Η ακτινοβολία τους μπορεί να προκαλέσει:

- βλάβη στον οφθαλμό ακόμη και από σκεδασμένη δέσμη
- βλάβη στο δέρμα
- πυρκαγιά

Οποιοδήποτε Laser με ισχύ εξόδου μεγαλύτερη του 0.5 Watt ανήκει στην κατηγορία IV.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- i. Κανδαράκης Α., Πίτσας, Σούμπλης Β. Σύγχρονες απόψεις ελέγχου της ενδοφθάλμιας πίεσεως, Α' Οφθαλμολογική Κλινική Οφθαλμιατρείου Αθηνών. 40^ο Πανελλήνιο Οφθαλμολογικό Συνέδριο
- ii. Πασχαλίδης Π.Χ. (1996). Οπτική διάθλαση και φακοί επαφής. Αθήνα. American academy of ophthalmology, τόμος 3
- iii. Kanski J. J (2004). Κλινική Οφθαλμολογία. Αθήνα. Εκδόσεις Παρισσιανού Α.Ε
- iv. Πασχαλίδης Π.Χ.. Κλινική ανατομία του οφθαλμού. Αθήνα. Snell and Lemp
- v. Δαμανάκης, Α. (1999). Διάθλαση: βασικές αρχές και τεχνική. Αθήνα. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας, 2η εκ
- vi. Μιχαήλ Ν. Μόσχος. Εισαγωγή στην Οφθαλμολογία. Ιατρικές εκδόσεις «Ζήτα»
- vii. Ιωάννης Μ. Κολιόπουλος, (2004). Επιτομή Οφθαλμολογία: Διάγνωση- Θεραπεία. Αθήνα. Ιατρικές Εκδόσεις
- viii. Ζευγώλης Δημήτριος (2007). Εφαρμοσμένη Οπτική: Με θέματα Οπτικοηλεκτρονικής & Laser. Β' έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Β'
- ix. Δρ. Αναστάσιος-Ιωάννης Κανελλόπουλος. Κερατόκωνος και Θεραπεία. (Απρίλιος 2012) www.Laservision.gr
- x. Γ. Τσούλιας. Πρεσβυωπία και αντιμετώπισή της Οφθαλμολογικά Χρονικά. Ιούλιος- Σεπτέμβριος 2012. Τόμος 22, 3: 223-233
- xi. Μαρία Λυρά Γεωργοπούλου (1998). Οδηγίες για την ασφάλεια και τον ποιοτικό έλεγχο των laser. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Παγκόσμιος ιστός

1. <http://www.optics-vision.gr/>
2. <http://www.medimaging.gr/>
3. <http://light.physics.auth.gr/>
4. <http://www.bell-labs.com/>
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>
6. <http://members.aol.com/>
7. <http://howstuffworks.com/>
8. <http://inventors.about.com/>
9. <http://technology.niagarac.on.ca/>
10. <http://panacea.med.uoa.gr/>
11. <http://www.ofthalmiatrosthes.gr/>
12. <http://www.glaucoma.com.gr/>
13. <http://www.kovacheye.com/>
14. <http://www.belmonteyecenter.com/>
15. <http://www.athenseyehospital.gr/>
16. <http://www.ivo.gr/>
17. <http://www.epirusvisioncenter.gr/>
18. <http://www.eyecenter.gr/>
19. <http://www.opthalmica.gr/>
20. <http://myopia-laser-tsioulias.gr/>
21. <http://www.athensvision.eu/>
22. <http://www.eyecenter.gr>
23. <http://www.laser-eye.gr/>
24. <http://www.emmetropia.gr/>
25. <http://www.laservision.gr/>
26. <http://www.drneos.gr>
27. <http://www.jerrytaneyesurgery.com/>
28. <http://www.attiko.eu/>
29. <http://www.draristeidou.com/>
30. <http://www.eyeresearch.co.uk/>
31. <http://www.beautyview.gr/>
32. <http://www.eyeclinic.com.gr/>
33. <http://www.poulakis-urology.com/>