



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ (LASIK) ΚΑΙ
ΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ
ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ/ΤΩΝ
ΓΕΩΡΓΑΝΤΩΝΗ ΣΟΦΙΑ
ΜΑΝΤΖΟΥ ΗΛΙΑΝΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΔΡΑΚΑΚΗ ΕΛΕΝΗ

ΑΙΓΙΟ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η μελέτη και η ανάπτυξη της πτυχιακής εργασίας με τίτλο διαθλαστική χειρουργική (LASIK) και οι εναλλακτικές λύσεις στην θεραπεία της μυωπίας μας έδωσε την ευκαιρία να προσεγγίσουμε νέα δεδομένα στην αντιμετώπιση των διαθλαστικών ανωμαλιών. Στις σύγχρονες απαιτήσεις του επαγγέλματος οπτικού-οπτομέτρη ο επαγγελματίας του κλάδου καθίσταται συμμετοχος σε αυτές τις εξελίξεις και υπεύθυνος ενημέρωσης των πελατών-ασθενών.

Ως φοιτήτριες του Τμήματος Οπτικής και Οπτομετρίας του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτρια μας κ .Δρακάκη Ελένη η οποία συνέβαλλε ουσιαστικά για την διεκπεραίωση της παρούσης πτυχιακής εργασίας. Επίσης ευχαριστούμε και όλους αυτούς που μας στήριξαν με το δικό τους ξεχωριστό τρόπο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ακτινοβολία laser έχει πολυάριθμες εφαρμογές όπως βιομηχανικές, στρατιωτικές καθώς και στην ιατρική. Στην μέθοδο LASIK γίνεται χρήση του femtosecond laser, του excimer laser σε συνδυασμό με την χρήση του μικροκερατόμου.

Στον προεγχειρητικό έλεγχο της μεθόδου χαρτογραφείται ο κερατοειδής γίνονται διαθλαστικές μετρήσεις του ασθενούς, παχυμετρία και τοπογραφία του κερατοειδούς. Κατά τον μετεγχειρητικό έλεγχο γίνεται επιβεβαίωση της σωστής τοποθέτησης του κρημνού, χρήση τεχνητών δακρύων, αντιβιοτικών και στερεοειδών κολλυρίων. Το μειωμένο πάχος του κερατοειδούς, η ακατάλληλη τοπογραφία και η ξηροφθαλμία αποτελούν αντενδείξεις της μεθόδου. Πρέπει να αναφερθούν και τυχόν επιπλοκές όπως ξηροφθαλμία, εκτασία του κερατοειδούς ακόμα και υποδιόρθωση ή υπερδιόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος.

Άλλοι τρόποι αντιμετώπισης της μυωπίας είναι η μέθοδος RK, PRK, LASEK καθώς και η EPILASIK. Σε περιπτώσεις υψηλής μυωπίας χρησιμοποιείται η χειρουργική εισαγωγή φακών PIOLS. Λιγότερο διαδεδομένες χειρουργικές μέθοδοι είναι η τοποθέτηση ενδοκερατοειδικών δακτυλίων, η διαστρωματική κερατοπλαστική καθώς και η μέθοδος Relex. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθούν και οι εναλλακτικοί τρόποι όπως η χρήση φακών επαφής και γυαλιών οράσεως. Η χρήση φακών επαφής προσαρμόζεται στις ανάγκες του χρήστη, τον χρόνο χρήσης και το υλικό κατασκευής. Βασική προϋπόθεση η σωστή επιλογή και η ενημέρωση του χρήστη. Σχετικά με την χρήση οφθαλμικών φακών και σκελετών οράσεων η επιλογές είναι πολλές όπως η ασφαιρικότητα των φακών, το μειωμένο πάχος καθώς και τα υλικά κατασκευής των σκελετών. Συμπερασματικά με την τεχνική LASIK και τις υπόλοιπες μεθόδους παρέχονται υψηλές υπηρεσίες στους ασθενείς με διαθλαστικά προβλήματα.

ABSTRACT

Laser radiation has multiple applications, namely industrial, military and medical. The Lasik method includes the use of the femtosecond laser, the examiner laser combined with the use of the mikrokeratome.

The pre-operative control process of the method consists of the mapping of the cornea, the refractive measurements of the patient, the corneal pachymetry and topography. During the post-operative control the correct position of the flap is validated along with the use of artificial tears, antibiotics and steroid eyedrops. The decreased thickness of the cornea, the inappropriate mapping and the condition of keratoconjunctivitis sicca form serious contraindications in relation to this method. Eventual complications like keratoconjunctivitis sicca, corneal ectasia or even the undercorrection or overcorrection of refractive errors should be mentioned.

Other ways to deal with myopia are the RK, PRK, Lasek and the Epi Lasik methods. In cases of severe myopia the surgical insertion of PIOLS lenses is used. Some less diffused surgical methods are the insertion of intracorneal rings, stratified corneoplasty along with the Relex method. Alternative ways of the use of contact lenses and spectacles should also be mentioned at this point. The use of contact lenses is customized to suit the user's needs, the duration of the use and its material. The essential prerequisites are the correct choice and the provision of the necessary information to the user. As far as corrective lenses and frames are concerned the choices are numerous referring mainly to the asphericity of the lenses, the decreased thickness along with the materials used in the production of frames. Consequently, the LASIK technique and the other methods ensure the provision of high quality services to patients with refractive problems.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ LASERS	7
1.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ LASERS.....	7
1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LASERS.....	9
1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΩΝ LASERS.....	11
1.5 ΤΟ LASER ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ	12
1.6 LASERS ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ LASIK	14
1.6.2	16
1.6.3	21
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	27
2.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ LASIK	27
2.2 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LASIK	32
2.3 ΑΝΤΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LASIK.....	35
2.4 ΕΠΙΠΛΟΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LASIK	39
2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	41
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	444
3.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ	444
3.2 ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ	44
3.2.1 Η μέθοδος RK.....	44
3.2.2 Η μέθοδος PRK.....	466
3.2.3 Οι μέθοδοι LASEK και EpiLASIK.....	47
3.2.4 Ενδοφακοί.....	48
3.2.5 Άλλες χειρουργικές μέθοδοι.....	50
3.3 ΜΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ.....	51
3.3.1 Αντιμετώπιση μυωπίας με γυαλιά.....	51
3.3.2 Αντιμετώπιση μυωπίας με φακούς επαφής	52
3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
4.1 ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
4.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα μελέτης της παρούσης εργασίας είναι η διαθλαστική χειρουργική με την μέθοδο LASIK καθώς και οι εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης της μυωπίας. Το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας κατατάσσεται ως επίκαιρο διότι αναλύει νέα δεδομένα στην οφθαλμολογία και στην επιστήμη της Οπτικής και Οπτομετρίας. Στην σύγχρονη εποχή το επάγγελμα του οπτικού –οπτομέτρη γίνεται όλο και πιο απαιτητικό για συνεχή ενημέρωση των εξελίξεων αφού πρόκειται να αποτελέσει σταδιακά την πρωτοβάθμια περίθαλψη των ασθενών με προβλήματα όρασης. Πιο συγκεκριμένα αναπτύσσεται η πορεία της χρήσης των Laser από τα αρχικά στάδια στην φυσική έως την ιατρική και πιο συγκεκριμένα στην οφθαλμολογία. Αναλύονται οι παράμετροι, οι επιπτώσεις και τα οφέλη από την μέθοδο LASIK, οι διαφορές με τις άλλες χειρουργικές μεθόδους καθώς και οι ενδείξεις και αντενδείξεις της μεθόδου. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά σε εναλλακτικές χειρουργικές μεθόδους όπως PRK, LASEK και EPILASEK αλλά και στην χρήση φακών επαφής και γυαλιών οράσεως και ενδοφακών. Η έρευνα και η συλλογή πληροφοριών έγινε από επίσημους επιστημονικούς φορείς γεγονός που αποδίδει εγκυρότητα και αξιοπιστία στην ανάπτυξη της συνολικής πτυχιακής εργασίας. Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν συγκεκριμένοι ορισμοί οι οποίοι θα βοηθήσουν στην μετέπειτα ανάγνωση και μελέτη της εργασίας.

LASIK: Χειρουργική μέθοδος αντιμετώπισης της μυωπίας με την χρήση μικροκερετότομου όπου δημιουργείται κρημνός στον κερατοειδή. Το laser ανακατατάσσει τον κερατοειδή και στην συνέχεια ο κερατοειδής προσκολλάται.

Excimer laser: Το ενεργό υλικό αυτού του laser είναι ένα διεγερμένο διμερές. Το διεγερμένο διμερές προκαλείται από την ένωση ενός ατόμου του ευγενούς αερίου με άτομο αλογόνου.

Femtosecond laser: Ο όρος αναφέρεται σε lasers παλμικής λειτουργίας που χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή χρονική διάρκεια παλμών και στηρίχθηκε στην ανάπτυξη των τεχνικών της εγκλειδώσεις ρυθμών.

Κεφάλαιο 1

1.1 Λίγα λόγια για τα Lasers.

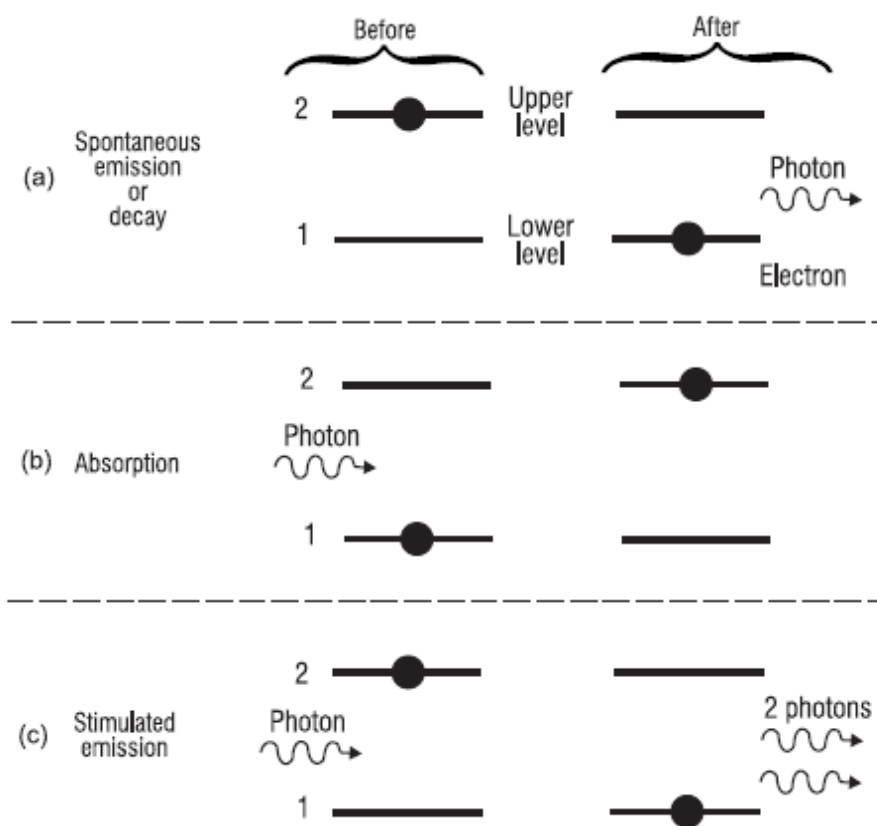
Τα αρχικά της λέξης Laser έχουν δημιουργηθεί από τις αγγλικές λέξεις «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (Silfvast, 2004) στα ελληνικά θα μπορούσε να αποδοθεί σαν «Ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας». Επομένως πρόκειται για έναν ενισχυτή φωτός.

Το 1960 έγινε ένα πολύ σημαντικό πείραμα στα εργαστήρια Hughes Aircraft Corporation στην Καλιφόρνια όπου και έγινε η κατασκευή του πρώτου laser. Σήμερα τα laser μπορούν κάλλιστα να χαρακτηριστούν σαν μία από τις πιο ενδιαφέρουσες ανακαλύψεις των τελευταίων δεκαετιών. Παρόλα αυτά τα laser δεν έλαβαν αμέσως μια ξεχωριστή θέση στον εργαστηριακό χώρο. Ο λόγος για τον οποίο συνέβη αυτό ήταν ότι οι εντυπωσιακές του ιδιότητες όπως η λεπτότητα της φασματικής γραμμής, η ένταση και η γεωμετρική συνεκτικότητα, η συμφωνία του φωτός, και άλλα, ήταν τόσο σημαντικές ώστε να χρειαστεί ένα διάστημα προσαρμογής πριν γίνει αποδεκτή η υπεροχή που έδιναν οι ιδιότητες του laser σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές φωτός (Στασινοπούλου κ.α., 2005). Το laser είναι μια συσκευή που ελέγχει τον τρόπο με το οποίο ενεργοποιημένα άτομα απελευθερώνουν φωτόνια. Η περιοχή μήκων κύματος ενός laser κυμαίνεται από την περιοχή των υπέρυθρων ως εκείνη των υπεριωδών, ενώ σύγχρονα lasers εκπέμπουν από το μακρύ υπέρυθρο ως τις συχνότητες των ακτινών X (Silfvast, 2004). Το φως ενός laser μπορεί να γίνει εξαιρετικά έντονο, ιδιαίτερα κατευθυντικό και πολύ καθαρό στο χρώμα.

1.2 Αρχές λειτουργίας των Lasers

Η αρχή λειτουργίας των lasers βασίζεται στην θεωρία του Einstein. Η βασική ιδέα ενός laser είναι η ενίσχυση φωτός μέσω της αλληλεπίδρασής του, με το μέσο μέσα στο οποίο ταξιδεύει. Σύμφωνα με την ανάλυση κατά Planck που ασχολείται με την ακτινοβολία του μέλανος σώματος διαχωρίζονται τρεις βασικοί κβαντικοί μηχανισμοί της ακτινοβολίας σε ένα απλό μοντέλο ατόμου δύο ενεργειακών σταθμών. Αυτοί είναι η απορρόφηση, η αυθόρμητη εκπομπή και η εξαναγκασμένη εκπομπή (Στασινοπούλου κ.α., 2005). Ένα μέσο αποτελείται από άτομα, καθένα από τα οποία κατέχει έναν μεγάλο αριθμό διακριτών ενεργειακών σταθμών. Ένα άτομο στη θεμελιώδη κατάσταση

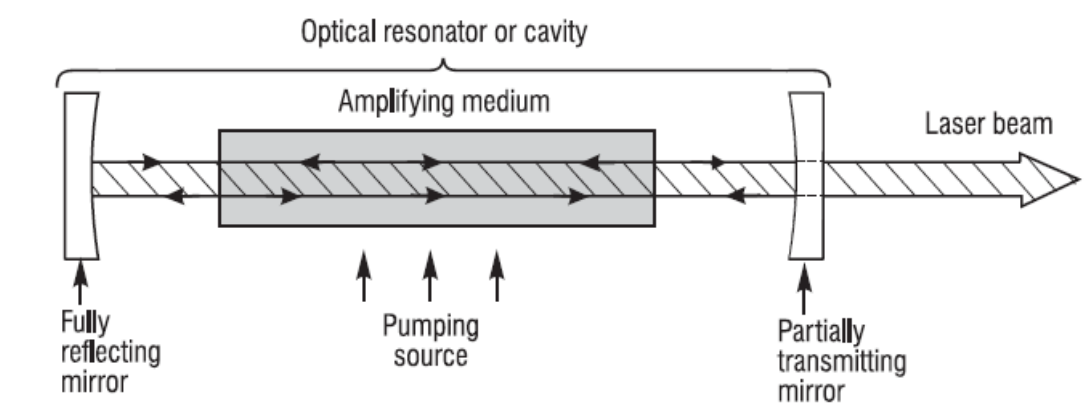
(κατάσταση ελάχιστης ενέργειας) μπορεί να απορροφήσει φωτόνιο κατάλληλης ενέργειας και να φτάσει σε μια διεγερμένη κατάσταση (Εικόνα 1b). Η απορρόφηση του φωτονίου από το άτομο συμβαίνει αν η ενέργεια του φωτονίου είναι τουλάχιστον ίση με τη διαφορά ενέργειας των δύο ενεργειακών σταθμών. Σε πολύ μικρό χρόνο (της τάξης των 10^{-10} s) το άτομο επιστρέφει στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας φωτόνιο ίδιας συχνότητας με το φωτόνιο που απορρόφησε αρχικά, διαδικασία που ονομάζεται αυτογενής ή αυθόρμητη εκπομπή (Serway, 1990). Στην εξαναγκασμένη εκπομπή (Εικόνα 1c), φωτόνιο κατάλληλης ενέργειας προσπίπτει σε διεγερμένο άτομο αναγκάζοντάς το να εκπέμψει ένα άλλο φωτόνιο με την ίδια κατεύθυνση, φάση και πόλωση με αυτή του προσπίπτοντος φωτονίου (Young, 1994).



Εικόνα 1. Μηχανισμοί ακτινοβολίας σε απλό μοντέλο ατόμου (Silfvast, 2004)

Ο αριθμός των ατόμων ή πληθυσμός που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση υπερβαίνει τον αριθμό των ατόμων στις διεγερμένες καταστάσεις αν το υλικό δεν διεγείρεται (δέχεται ενέργεια) από εξωτερικό αίτιο. Με την βοήθεια μιας εξωτερικής πηγής ενέργειας (η οποία μπορεί να είναι οπτική, ηλεκτρική, θερμική ή χημική) είναι δυνατόν να επιτευχθεί αναστροφή πληθυσμών, δηλαδή να επιτευχθεί μεγαλύτερος αριθμός ατόμων σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο, διαδικασία που ονομάζεται άντληση (Πολύζος, 2012).

Μια τυπική διάταξη laser (Εικόνα 2) αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το ενεργό υλικό, δηλαδή από μια στερεά, υγρή ή αέρια ουσία τα άτομα της οποίας συμμετέχουν στην διαδικασία εκπομπής, το οπτικό αντηχείο που αποτελείται από δύο κάτοπτρα υπό γωνία Brewster, το ένα ολικής (100%) και το άλλο μερικής (90 – 98%) ανάκλασης. Τα δύο κάτοπτρα εξαναγκάζουν την παραγόμενη ακτινοβολία να εκτελεί πολλαπλές διαδρομές μέσα στο ενεργό υλικό με αποτέλεσμα την συνεχή ενίσχυσή της (DRDO, 2009). Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μία κατάσταση συνεχούς λειτουργίας, όταν το κέρδος σε φωτόνια σε μία διέλευση λόγω της αυξανόμενης εξαναγκασμένης εκπομπής, ισοφαρίζεται από την απώλεια φωτονίων λόγω της μειωμένης αναστροφής πληθυσμών (Πολύζος, 2012). Τέλος στο εξωτερικό του σωλήνα τοποθετείται μια διάταξη διέγερσης του ενεργού υλικού (άντληση). Το μέρος της ακτινοβολίας που διαφεύγει από το δεύτερο κάτοπτρο αποτελεί την ακτινοβολία laser (Τόλης, 2009).



Εικόνα 2. Βασικά μέρη συσκευής laser (Silfvast, 2004)

1.3 Κατηγορίες Lasers

Κατατάσσοντας τα lasers σε κατηγορίες βασιζόμαστε στο είδος του ενεργού υλικού, στην περιοχή εκπομπής τους καθώς και το σύστημα άντλησης που χρησιμοποιούμε. Βασισμένοι στα συνήθως χρησιμοποιούμενα lasers τα ταξινομούμε σε 5 κατηγορίες βάση του ενεργού υλικού τους:

Laser στερεάς κατάστασης (solid state lasers)

Το στερεό ενεργό υλικό είναι συνήθως προσμίξεις ιόντων μετάλλων μετάπτωσης (π.χ. σιδήρου, τιτανίου ή κοβαλτίου), σπάνιων γαιών (π.χ. νεοδύμιου ή δημήτριου) ή ακτινίδων (π.χ. ουράνιου) σε κρυσταλλικούς υποδοχείς. Η απόδοση της διάταξης εξαρτάται τόσο από τα ενεργειακά επίπεδα των ενεργών ιόντων όσο και από τις ιδιότητες (π.χ. θερμική αγωγιμότητα) του υποδοχέα (Singh et al, 2012). Η άντληση επιτυγχάνεται

κατά κανόνα με οπτική διέγερση του στερεού ενεργού υλικού. Τυπικά lasers στερεού ενεργού υλικού είναι το laser ρουβινίου ($\text{Cr:Al}_2\text{O}_3$) και νεοδυμίου Nd:YAG.

Laser ημιαγωγών (semiconductor lasers)

Είναι ειδική κατηγορία των lasers στερεάς κατάστασης. Πολύ οικονομικά στην παραγωγή τους, τα lasers ημιαγωγών είναι διαθέσιμα στο εμπόριο σε μια πολύ μεγάλη γκάμα συχνοτήτων/μηκών κύματος (από 400 ως 3500 nm). Η άντληση του ενεργού υλικού επιτυγχάνεται συνήθως ηλεκτρικά (Κονοφάος, 2011). Οι εφαρμογές τους περιλαμβάνουν την χρήση των lasers ημιαγωγών σε εκτυπωτές laser, συσκευές ανάγνωσης CD/DVD καθώς και στην οπτική άντληση άλλων lasers.

Laser αερίων (gas lasers)

Είναι διαθέσιμα σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων (από το υπέρυθρο στο υπεριώδες) και παραγόμενης ισχύος (από milliwatts σε megawatts). Η άντληση επιτυγχάνεται συνήθως με την χρήση ηλεκτρικών εκκενώσεων αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπεριώδης ακτινοβολία ή χημικές αντιδράσεις (Στασινοπούλου κ.α., 2005). Τα lasers αερίων χωρίζονται σε ιοντικά, ατομικά ή μοριακά ανάλογα με τη φύση του αερίου ενεργού υλικού. Γνωστά παραδείγματα των παραπάνω κατηγοριών είναι τα lasers ιόντων αργού (Ar: Argon Ion), Ηλίου-Νέου (He:Ne), διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και excimer αντίστοιχα. Τα lasers Ar^+ χρησιμοποιούνται στην ψυχαγωγία, στην παραγωγή ολογραμμάτων καθώς και στην Ιατρική (π.χ. σκλήρυνση-πήξη των σφραγισμάτων των δοντιών). Το laser CO_2 έχει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (Στασινοπούλου κ.α., 2005).

Lasers υγρών

Το ενεργό υλικό είναι μια υγρή, οργανική χρωστική ουσία (dye lasers) συνήθως αναμιγμένη με κατάλληλο διαλύτη. Η πληθώρα των διαθέσιμων χρωστικών (π.χ. ροδαμίνες ή κουμαρόνη) μεταφράζεται σε μεγάλο εύρος εκπεμπόμενων συχνοτήτων. Η άντληση επιτυγχάνεται συνήθως οπτικά, με εκλάμψεις από ισχυρές πηγές φωτός ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλο laser αερίου (Κονοφάος, 2011). Τυπικές εφαρμογές τους απαντούν στην Ιατρική καθώς χρησιμοποιούνται στην δερματολογία (π.χ. στην επούλωση- κάλυψη αμυχών, στην αφαίρεση δερματοστιξιών) καθώς και στον διαχωρισμό ισωτόπων (Κόττου, 2009).

Laser ελεύθερων ηλεκτρονίων (free electron lasers)

Στην περίπτωση αυτή το ενεργό υλικό είναι δέσμη ελεύθερων ηλεκτρονίων κινούμενων με μεγάλη ταχύτητα σε κατάλληλα διαμορφωμένο μαγνητικό πεδίο (Κονοφάος, 2011). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να κυμαίνεται από την περιοχή των μικροκυμάτων ως τις υψηλές συχνότητες των

ακτίνων X. Τα free electron lasers χρησιμοποιούνται στην Βιολογία για την απεικόνιση πρωτεϊνών και στην Ιατρική (Κόττου Σοφία, 2009).

Laser ακτίνων X (X-ray lasers)

Ο όρος αναφέρεται στο μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας laser και όχι σε κάποιο συγκεκριμένο τύπο ενεργού υλικού. Από την ανακάλυψη τους, τα lasers υπήρξαν αντικείμενο συστηματικής μελέτης, που αποσκοπούσε στην παραγωγή ακτινοβολίας με όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος κύματος (ή ισοδύναμα μεγαλύτερη ενέργεια). Μία βασική δυσκολία στην παραγωγή ακτινοβολίας laser στην περιοχή των ακτίνων X είναι οι πολύ υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια ενώ η αξιόπιστη παραγωγή ακτινοβολίας σε αυτή την περιοχή υπήρξε το αντικείμενο έντονης πειραματικής δραστηριότητας (Maxon et al, 1988). Πρόσφατα lasers ελεύθερων ηλεκτρονίων έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την παραγωγή ακτινοβολίας X, ενώ τα lasers ακτίνων X αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρύτατα, μεταξύ άλλων, στη μελέτη των πρωτεϊνών, της χημικής δυναμικής και τη μελέτη του πλάσματος (Hecht, 2008).

1.4 Ιδιότητες της ακτινοβολίας των Lasers

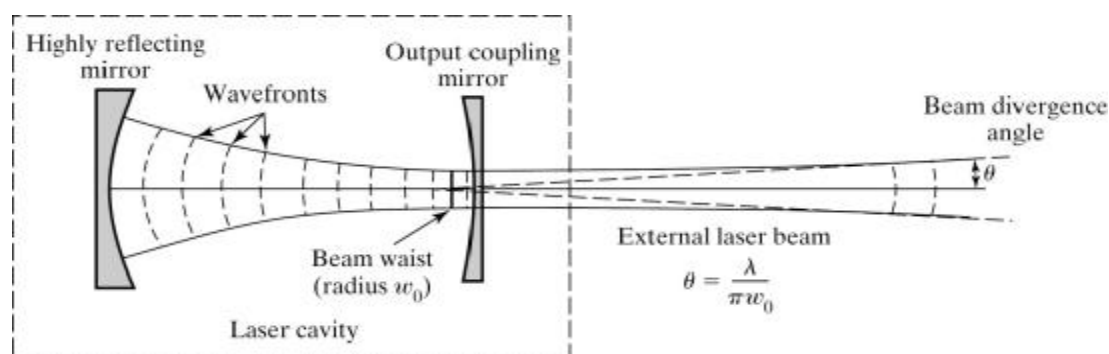
Η διάδοση της ακτινοβολίας laser οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Η ακτινοβολία laser παρουσιάζει έντονη:

Μονοχρωματικότητα

Η ακτινοβολία laser είναι η καλύτερη υπαρκτή προσέγγιση προς το ιδανικό μονοχρωματικό φως (Κονοφάος, 2011). Η ιδιότητα αυτή οφείλεται τόσο στην ενίσχυση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ορισμένης μόνο συχνότητας όσο και στην λειτουργία του οπτικού αντηχείου.

Κατευθυντικότητα

Μέτρο της κατευθυντικότητας της δέσμης είναι το άνοιγμά της το οποίο ορίζεται ως το διπλάσιο της γωνίας που σχηματίζει η κεντρική ακτίνα της δέσμης laser με την εξωτερική ακτίνα (Εικόνα 3). Το άνοιγμα μιας τυπικής διάταξης laser είναι της τάξης των milli (10^{-3}) ή ακόμη και μικρο (10^{-6}) rad (Κονοφάος, 2011).



Εικόνα 3. Το άνοιγμα (γωνία απόκλισης) μιας δέσμης laser (Πολύζος, 2012)

Η μεγάλη κατευθυντικότητα της δέσμης οφείλεται στην λειτουργία της οπτικής κοιλότητας. Στην ουσία μόνο ένα κύμα διαδιδόμενο κατά μήκος της διεύθυνσης της κοιλότητας (ή σε μία διεύθυνση πολύ κοντά σε αυτή) μπορεί να διατηρείται στην κοιλότητα (Τόλης, 2009).

Λαμπρότητα

Οι πηγές laser χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη λαμπρότητα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές φωτός. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η λαμπρότητα ενός laser He:Ne ισχύος 1mW είναι τουλάχιστον 100 φορές λαμπρότερη της ηλιακής ακτινοβολίας (Κονοφάος, 2011).

Συμφωνία

Η δέσμη laser σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές φωτός παρουσιάζει υψηλό βαθμό χωρικής και χρονικής συμφωνίας. Η συμφωνία της δέσμης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ομοιότητα των χαρακτηριστικών του εκπεμπόμενου φωτονίου με το προσπίπτον φωτόνιο στο φαινόμενο της εξαναγκασμένης εκπομπής (Τόλης, 2009).

Πόλωση της δέσμης

Πολλές διατάξεις laser παράγουν πολωμένο φως σε αντίθεση με αρκετές συμβατικές πηγές φωτός, όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης και φθορισμού ή ο ήλιος που παράγουν μη πολωμένο φως. Η ιδιότητα αυτή επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση κατάλληλου πολωτικού στοιχείου στην διάταξη laser, όπως φράγματα ανάκλασης, πολωτές ή ανακλαστικές επιφάνειες σε γωνίες Brewster (Στασινοπούλου κ.α., 2005).

1.5 Το laser στην ιατρική

Η ακτινοβολία laser έχει πολυάριθμες βιομηχανικές, επιστημονικές και στρατιωτικές εφαρμογές, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αυξανόμενη χρήση lasers σε διάφορους κλάδους της Ιατρικής. Τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας των επιμέρους διατάξεων laser καθορίζουν και την καταλληλότητά τους για έναν μεγάλο αριθμό ιατρικών εφαρμογών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το laser CO₂, ένα από τα πρώτα lasers που χρησιμοποιήθηκαν στην Ιατρική. Το laser CO₂ εκπέμπει ακτινοβολία μήκους κύματος 10,6μm (υπέρυθρο), στο οποίο το νερό των βιολογικών ιστών παρουσιάζει έντονη απορρόφηση, καθιστώντας το laser CO₂ ιδανικό για τη δημιουργία τομών ή την εξάτμιση κακοήθων ιστών (Πολύζος, 2012).

Στην οδοντιατρική laser Αργού, CO₂ και Nd:YAG χρησιμοποιούνται για πολλές περιοδοντικές θεραπείες (Lewis, 1995), ενώ σήμερα από τους

οδοντίατρους σαν οδοντιατρικά τρυπάνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν παλμικά laser Er:YAG με γρήγορη επαναληπτικότητα. Τα πλεονεκτήματα τους είναι η απουσία ταλάντωσης του δοντιού, η πολύ μικρή διάρκεια θέρμανσης του, η απουσία πόνου κατά την διάρκεια της επέμβασης και η μη χρησιμοποίηση αναισθητικού (Στασινοπούλου κ.α., 2005).

Ακόμα χρήση laser, όπως τα lasers CO₂, Nd:YAG, Αργού και Κρυπτού, γίνεται και στην δερματολογία είτε για καυτηριάσεις στην επιφάνεια του δέρματος είτε για να φτάσουμε ένα ιστό που βρίσκεται σε κάποιο βάθος αποφεύγοντας κάποιον άλλον που βρίσκεται στην επιφάνεια (Κόττου, 2009). Τα lasers CO₂, Nd:YAG και Αργού χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση καλοηθών ή κακοήθων ενδοβρογχικών όγκων του πνεύμονα, ενώ ιδιαίτερα το laser CO₂ χρησιμοποιείται στην Ωτορινολαρυγγολογία για την αντιμετώπιση της χρόνιας υπερτροφικής φαρυγγίτιδας, των πολυπόδων των φωνητικών χορδών ή την πραγματοποίηση αμυγδαλεκτομών (Κονοφάος, 2011).

LASER	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (nm)	ΙΣΧΥΣ (Watt)	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Excimer	190-350 (υπεριώδεις)	<1-20	Οφθαλμολογική χειρουργική (PRK και LASIK)
Dye	400-800	<1-5	Αφαίρεση κηλίδων και χρωστικών
Αργού (CW)	514 (πράσινο) και 488 (μπλε-πράσινο)	<1 και 20	Εγχείρηση γλαυκώματος
Ατμών χαλκού	578 (κίτρινο) και 511 (πράσινο)	≤1	Οφθαλμολογική χειρουργική
Ατμών χρυσού	630 (κόκκινο)	≤1	Φωτοδυναμική θεραπεία, οφθαλμολογική χειρουργική
Ηλίου-Νέου (CW)	632,8 (κόκκινο)	<1-25 milliwatts	Οφθαλμολογική χειρουργική
Κρυπτού (CW)	676,4 (κόκκινο)	≤5	Οφθαλμολογική χειρουργική
Ρουβιδίου (παλμικό)	694 (κόκκινο)		Αφαίρεση τατουάζ
Διόδου ή ημιαγωγού	750-1550 (κόκκινο και κοντά στο υπέρυθρο)	≤10	Φωτοπηξία στη γενική χειρουργική, αποτρίχωση
Erbium:YAG (παλμικό)	1540 (υπέρυθρο)		Αποτρίχωση, αναδόμηση δέρματος
Nd:YAG	1064 (υπέρυθρο) με διπλασιασμό συχνότητας: 532 (πράσινο)/355 (υπεριώδεις)	<1 και >100	Γενική χειρουργική, οφθαλμολογική χειρουργική, λιθοτριψία
Holmium:YAG (παλμικό)	2140 (υπέρυθρο)	≤60	Γενική χειρουργική
Διοξειδίου του άνθρακα	10600 (υπέρυθρο)	<100	Γενική χειρουργική, αναδόμηση δέρματος

(CW ή παλμικό)			
----------------	--	--	--

Πίνακας 1. Ιατρικές εφαρμογές σημαντικών τύπων laser (Κόττου, 2009)

Η χρήση των lasers στην Ιατρική έχει επεκταθεί σε τομείς όπως η Γυναικολογία, η Ορθοπαιδική, η Γαστρεντερολογία και η Γενική Χειρουργική (Κονοφάος, 2011). Μερικές από τις εφαρμογές ορισμένων διατάξεων laser παρατίθενται στον πίνακα 1.

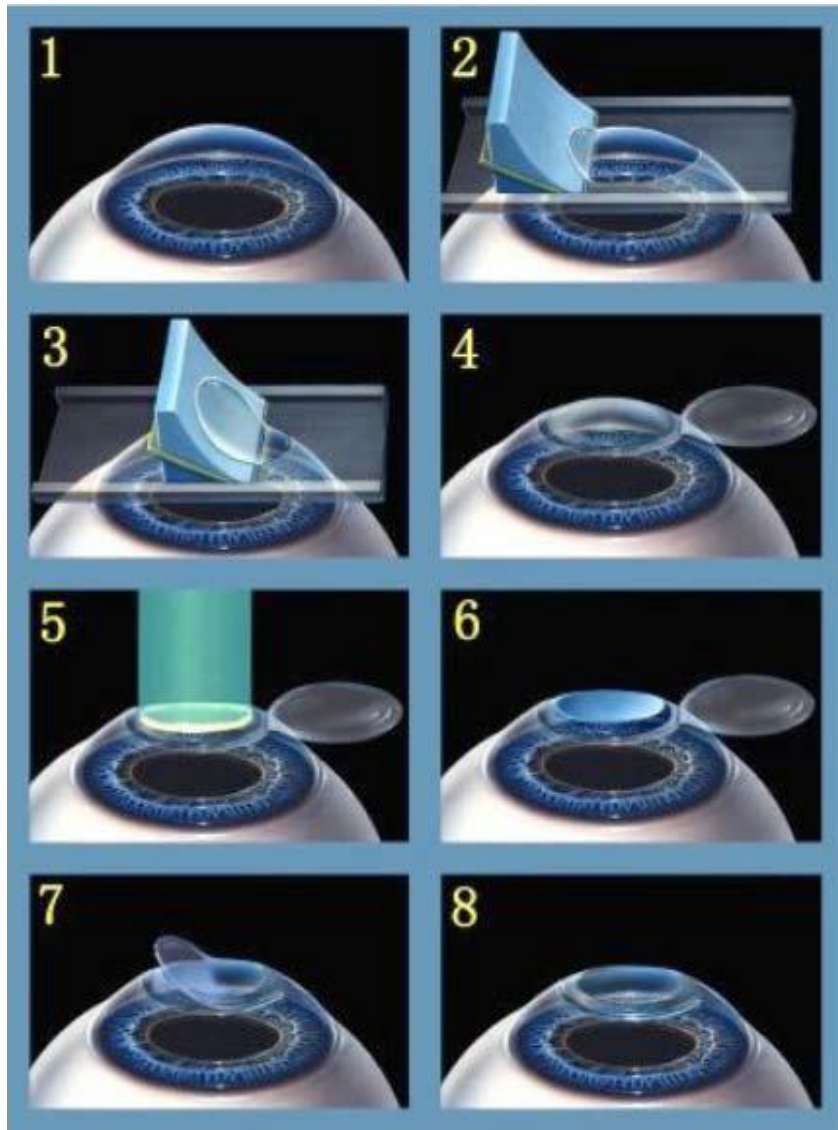
Ίσως η πιο γνωστή εφαρμογή των laser στην ιατρική είναι η χρήση τους στην οφθαλμολογική χειρουργική. Παραδείγματος χάριν στην περίπτωση της αποκόλλησης του αμφιβληστροειδούς από τον χοριοειδή χιτώνα, προκειμένου να γίνει η σύντηξη των δυο χιτώνων όπως προβλέπεται για την θεραπεία πρέπει να γίνουν μια σειρά από μικρές τοπικές συγκολλήσεις laser. Με τη χρήση των μονοχρωματικών παλμικών laser επιτυγχάνεται πολύ μικρή κηλίδα εστίασης (Στασινοπούλου κ.α., 2005). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επικράτηση της χρήσης των excimer lasers στην αντιμετώπιση της μυωπίας τόσο με την μέθοδο LASIK όσο και με την μέθοδο PRK στις οποίες θα αναφερθούμε παρακάτω.

1.6 Lasers που χρησιμοποιούμε στη διαδικασία LASIK

Τα laser που χρησιμοποιούμε στην διαδικασία LASIK είναι δύο. Το ένα είναι το femtosecond laser που χρησιμοποιείται για την σφηνοειδή εκτομή του κερατοειδούς και το άλλο είναι το excimer laser το οποίο χρησιμοποιείται για την διόρθωση της εστίασης του οφθαλμού. Στην συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά και για τα δύο αυτά laser.

1.6.1.1 Λίγα λόγια για τη LASIK

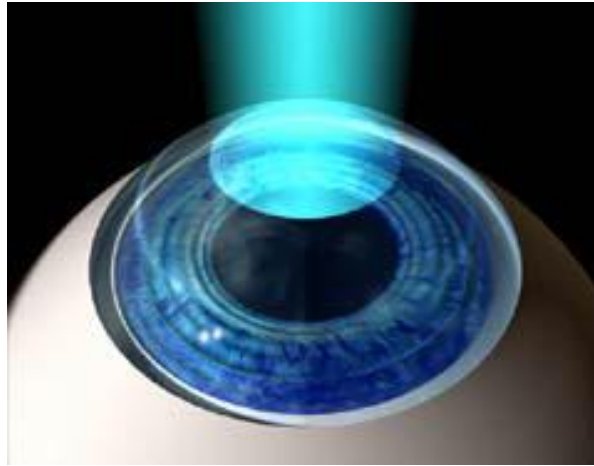
Η LASIK (laser in-situ keratosmoleusis) είναι το πιο δημοφιλές είδος χειρουργικής επέμβασης ματιών με laser. Ο χειρουργός χρησιμοποιεί ένα εργαλείο που ονομάζεται μικροκερατοτόμος με το οποίο ανασκάνει τον κερατοειδή χιτώνα (Εικόνα 4.2) δημιουργώντας έναν κρημό. Ο κρημός σηκώνεται απαλά (Εικόνα 4.3) και εκθέτει το εσωτερικό του κερατοειδούς (Εικόνα 4.4). Το laser ανακατασκευάζει, στην συνέχεια, τον κερατοειδή (Εικόνα 4.5) και ο κρημός επιστρέφει (Εικόνα 4.7) και προσκολλάται (Εικόνα 4.8) στην αρχική του θέση (Γκόγκου, 2012).



Εικόνα 4. Η μέθοδος LASIK (Μακριδάκη, 2006)

1.6.1.2 Λίγα λόγια για τη PRK

Η μέθοδος PRK (PhotoRefractive Keratectomy ή ΦωτοΔιαθλαστική Κερατεκτομή) αποτελεί μια ευρύτατα διαδεδομένη μέθοδο αντιμετώπισης των διαθλαστικών σφαλμάτων του ανθρώπινου οφθαλμού. Κατά τη μέθοδο PRK αρχικά χρησιμοποιείται τοπικό αναισθητικό στον προς επέμβαση οφθαλμό, ενώ στη συνέχεια ο οφθαλμίατρος-χειρουργός αφαιρεί το επιθήλιο. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ακτίνα excimer laser στον κερατοειδή για να διαμορφώσει την επιφάνεια του κατάλληλα διορθώνοντας το διαθλαστικό σφάλμα (Εικόνα 5). Η περιοχή που επιδρά το laser έχει συνήθως πάχος μερικών μικρομέτρων (Στράτος, 2009). Στη συνέχεια τοποθετείται προστατευτικός φακός στον κερατοειδή. Στις επόμενες ημέρες ολοκληρώνεται η αναδόμηση των κυττάρων του επιθηλίου και με την επαναφορά του κερατοειδούς στην αρχική του κατάσταση, ο προστατευτικός φακός αφαιρείται (CÉTS, 2000).



Εικόνα 5. Διαμόρφωση της επιφάνειας του κερατοειδούς στη μέθοδο PRK (Στράτος, 2009)

Η μέθοδος LASIK και η μέθοδος PRK αποτελούν τις πιο διαδεδομένες οφθαλμικές επεμβάσεις με τη βασική τους διαφορά να έγκειται στη μέθοδο απομάκρυνσης του επιθηλίου: στη μέθοδο PRK το επιθήλιο αφαιρείται μηχανικά με απόξεση και ακολουθεί η επιθυμητή διαμόρφωση του κερατοειδούς, ενώ στη μέθοδο LASIK η δημιουργία του κρημνού αποσκοπεί στην διατήρηση των επιφανειακών επιθηλιακών κυττάρων για γρηγορότερη επούλωση του τραύματος (Μακριδάκη, 2006). Και στις δύο μεθόδους τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας των excimer lasers έχουν οδηγήσει στην επικράτηση της χρήσης τους.

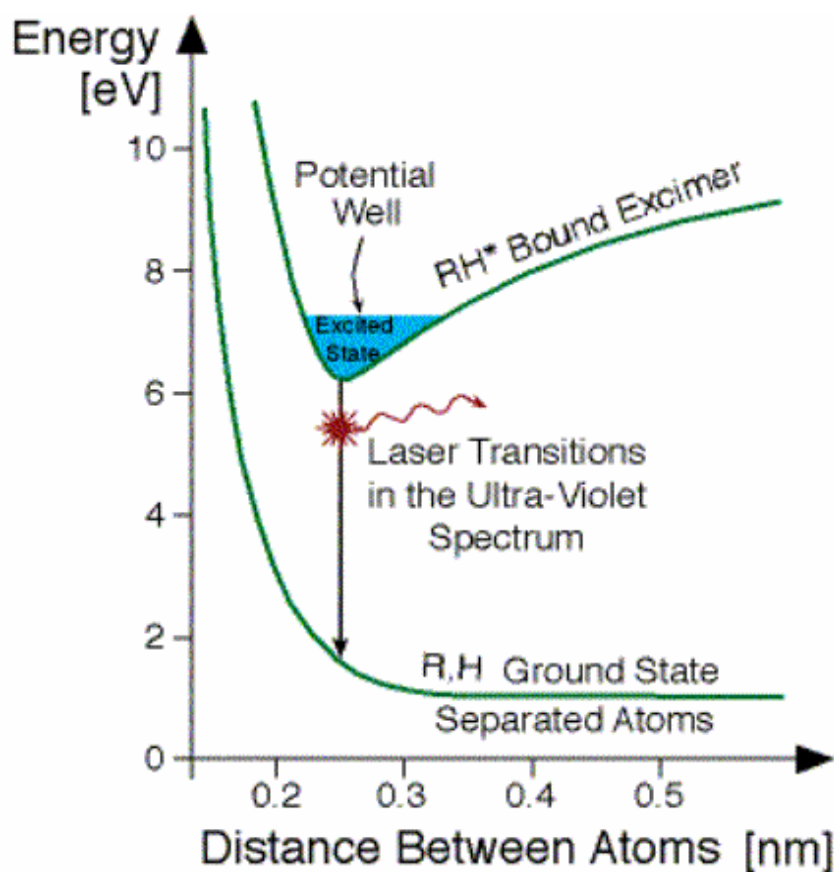
1.6.2

1.6.2.1 Αρχή λειτουργίας των excimer lasers

Ο όρος excimer laser δεν αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη διάταξη laser, αλλά σε μια κατηγορία διατάξεων lasers με κοινά χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας τους. Τα excimer lasers εκπέμπουν παλμούς διάρκειας της τάξης των nanoseconds ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$), μεγάλης ισχύος και με συχνότητες που κυμαίνονται στην ορατή και κυρίως στην υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η ονομασία excimer προέρχεται από τη σύντμηση των λέξεων excited dimer ή διεγερμένο διμερές και αναφέρεται στο ενεργό υλικό των παραπάνω lasers. Το διεγερμένο διμερές προκύπτει από την ένωση ενός ατόμου ευγενούς αερίου (π.χ. ηλίου, αργού ή ξένου) με άτομο αλογόνου (όπως π.χ. το φθόριο, το χλώριο, το βρώμιο κ.α.). Στη θεμελιώδη τους κατάσταση τα άτομα των ευγενών αερίων δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, όμως υπό κατάλληλες συνθήκες (υψηλή πίεση και προσφορά ενέργειας για την άνοδο σε διεγερμένη κατάσταση συνήθως με τη χρήση ηλεκτρικών παλμών), σχηματίζεται το διεγερμένο διμερές με χρόνο ζωής μερικών nanoseconds. Κατά την αποδιέγερσή του το διμερές διασπάται σχεδόν αμέσως στα αρχικά

άτομα εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Επομένως στην περίπτωση των excimer lasers, η απαραίτητη για τη λειτουργία τους αντιστροφή πληθυσμών επιτυγχάνεται με τη διέγερση (Κόττου, 2009), αφού το διεγερμένο ενεργειακό επίπεδο έχει κάποιο πληθυσμό διεγερμένων μορίων (τα διμερή), ενώ το κατώτερο, θεμελιώδες επίπεδο έχει μηδενικό πληθυσμό λόγω της αυτόματης διάσπασης των διμερών μετά την αποδιέγερσή τους. Σημαντικό χαρακτηριστικό των excimer lasers είναι πως η ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά την αποδιέγερση έχει σχετικά ευρύ και συνεχές φάσμα. Λόγω της άμεσης διάσπασης των μορίων κατά την μετάπτωση στην θεμελιώδη τους κατάσταση, δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη ζώνη μετάπτωσης αλλά ένα σχετικά ευρύ φάσμα μεταπτώσεων, γεγονός που επιτρέπει την επιλογή της ακτινοβολίας κατάλληλης συχνότητας από τον χρήστη. Το φασματικό εύρος της μετάπτωσης εξαρτάται από το εύρος της καμπύλης δυναμικού της διεγερμένης στάθμης (Εικόνα 6) και μπορεί να ξεπερνά το ένα νανόμετρο σε όρους μήκους κύματος (Μακριδάκη, 2006).



Εικόνα 6. Εύρος φάσματος ακτινοβολίας excimer laser (Μακριδάκη, 2006)

Η διέγερση στην διάταξη laser επιτυγχάνεται με σύντομους ηλεκτρικούς παλμούς μεγάλης ισχύος (ως μερικά MW/cm³) σε σωλήνα που περιέχει αέριο

μίγμα ευγενούς αερίου-αλογόνου. Έχει διαπιστωθεί πως για τη λειτουργία του laser ο σωλήνας πρέπει να περιέχει πολύ μικρές ποσότητες αλογόνου και ευγενούς αερίου, αναπληρώνεται κατά σχεδόν 90% από αέριο (buffer gas) που εξουδετερώνει τις συγκρούσεις μεταξύ των μορίων και μειώνει την μεταφορά ορμής και ενέργειας (Μακριδάκη, 2006, Τόλης, 2009), συνήθως ήλιο ή νέο. Λειτουργούν μόνο παλμικά με τυπικούς χρόνους παλμού 10-50 ns και εξερχόμενη ισχύ που φτάνει τα 100 Watt, ενώ είναι σχετικά ακριβά (Κόττου, 2009). Η χρήση τους απαιτεί προσεκτικό χειρισμό εξαιτίας της τοξικότητας των αερίων που περιέχει ο σωλήνας (Κόττου, 2009).

1.6.2.2 Εφαρμογές των excimer lasers στη διαθλαστική χειρουργική

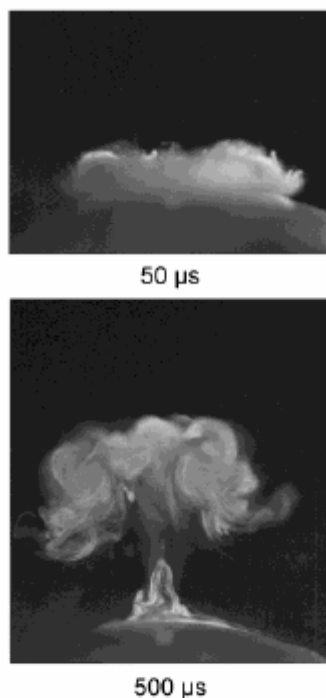
Τα Excimer lasers αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με αρχικό σκοπό την χάραξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (CÉTS, 2000) και γνώρισαν αλματώδη ανάπτυξη με αποτέλεσμα την κατασκευή αρκετών διαφορετικών διατάξεων (πίνακας 2). Έχουν πολυδιάστατες εφαρμογές που ποικίλλουν από την επεξεργασία της επιφάνειας μετάλλων, κεραμικών κ.τ.λ. ως την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ενώ χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην Ιατρική και ιδιαίτερα στην Οφθαλμολογική Χειρουργική.

Είδος excimer laser	Μήκος κύματος εκπομπής	Είδος excimer laser	Μήκος κύματος εκπομπής
Ar ₂	126 nm	XeBr	282 nm
Kr ₂	146 nm	XeCl	308 nm
Xe ₂	172 & 175 nm	XeF	351 nm
ArF	193 nm	KrCl	222 nm
KrF	248 nm		

Πίνακας 2. Είδη excimer laser (Παπαδάτου, 2011)

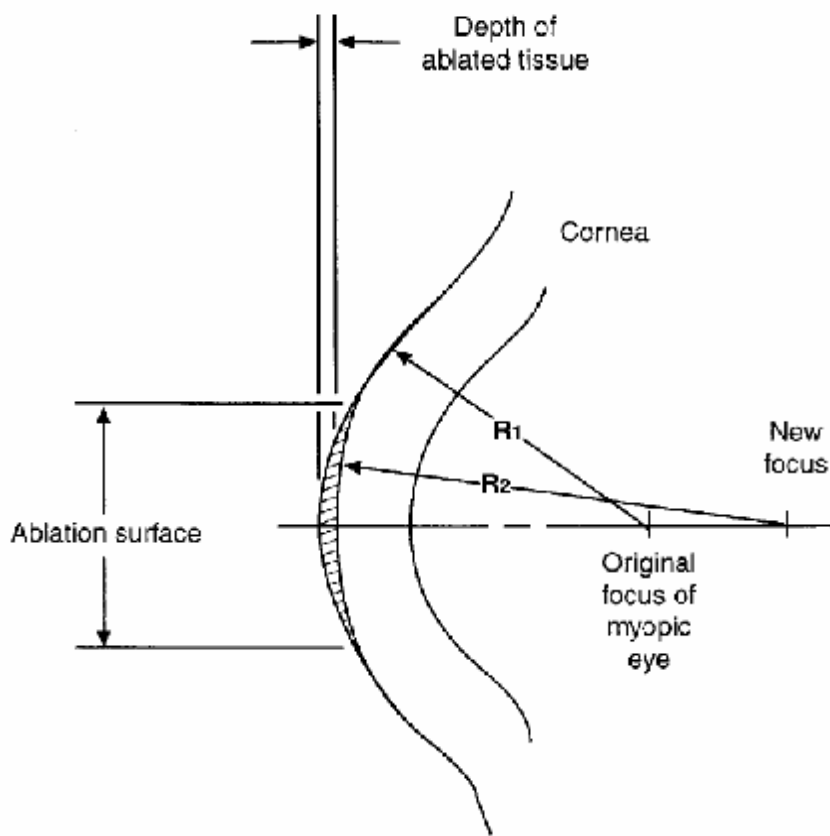
Το υπεριώδες φως από excimer Laser χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της εστίασης του οφθαλμού. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του έργου στον οφθαλμό το διεκπεραιώνει ο κερατοειδής χιτώνας. Εξαιτίας της διαφοράς του δείκτη διάθλασης του αέρα με τον αντίστοιχο του κερατοειδή χιτώνα, οι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται όταν εισέρχονται στον οφθαλμό. Ο κερατοειδής πρέπει να έχει την κατάλληλη καμπυλότητα ώστε η παράλληλη προσπίπτουσα δέσμη να εστιαστεί στον αμφιβληστροειδή χιτώνα στο πίσω μέρος του οφθαλμού. Αν ο κερατοειδής δεν έχει την κατάλληλη καμπυλότητα η όραση είναι θολή. Η καταλληλότητα των excimer lasers για την διαμόρφωση του κερατοειδούς χιτώνα οφείλεται στο γεγονός ότι οι παραγόμενοι παλμοί περιέχουν αρκετή ενέργεια ώστε να διασπάσουν χημικούς δεσμούς με περιορισμένη ή μηδενική έκλυση θερμότητας, από όπου προήλθε και ο χαρακτηρισμός τους ως cold (κρύα) lasers (CÉTS, 2000). Η διαδικασία αυτή

της ακτινοβόλησης ονομάζεται εν συντομία photoablation (φωτοεκτομή) Ειδικά στην περίπτωση του κερατοειδούς χιτώνα, η εφαρμογή ενεργειακών παλμών από excimer laser, με αντιπροσωπευτικό παράδειγμα το laser ArF (Φθοριούχου Αργού) με ακτινοβολία μήκους κύματος 193 nm, έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας από το νερό και το κολλαγόνο που είναι τα βασικά οργανικά συστατικά του κερατοειδούς. Η υψηλή ενέργεια των φωτονίων που παράγει το laser (στην περίπτωση του laser ArF περίπου 6,4 eV) σε συνδυασμό με την υψηλή απορροφητικότητα που παρουσιάζει ο κερατοειδής σε αυτό το μήκος κύματος οδηγούν στην διάσπαση των πρωτεϊνικών δεσμών που απαντώνται στον κερατοειδή (Μακριδάκη, 2006). Η υψηλή ενέργεια των φωτονίων οδηγεί σε υψηλή κινητική ενέργεια των παραγόμενων θραυσμάτων με αποτέλεσμα την απομάκρυνσή τους από τον κερατοειδή (Εικόνα 7).

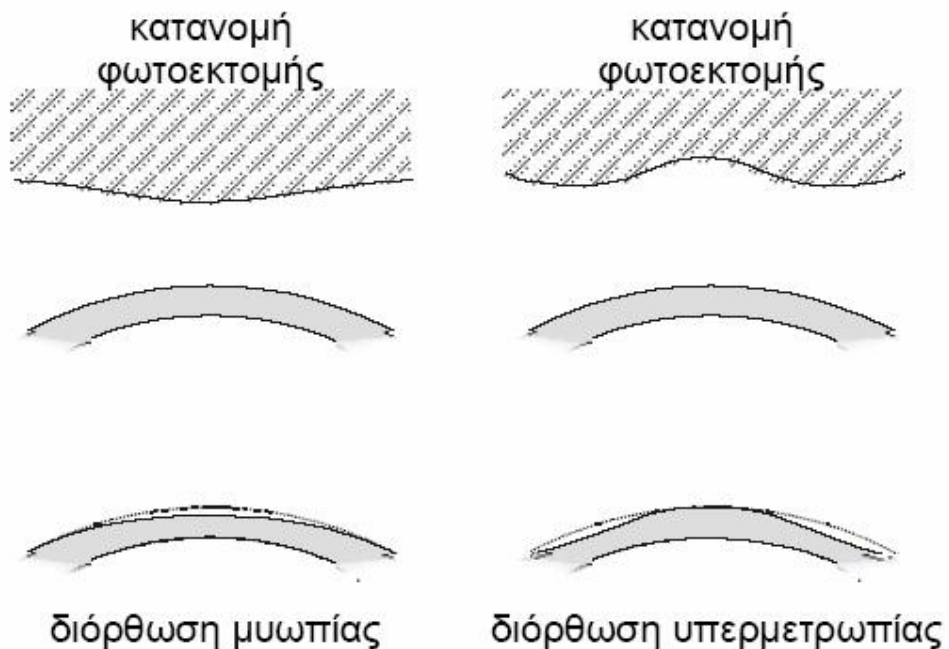


Εικόνα 7. εκτίναξη υλικού αμέσως μετά την ακτινοβόληση κερατοειδούς με laser ArF 193 nm (Μακριδάκη, 2006)

Τα excimer lasers χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην αντιμετώπιση της μυωπίας και της υπερμετρωπίας τόσο στη μέθοδο PRK (Εικόνα 8) όσο και στη μέθοδο LASIK. Η αντιμετώπιση της μυωπίας απαιτεί αύξηση της ακτίνας του κερατοειδούς χιτώνα, η οποία πραγματοποιείται με την επιπεδοποίηση του πρόσθιου, κεντρικού τμήματος του κερατοειδούς. Ομοίως η διόρθωση υπερμετρωπικού οφθαλμού απαιτεί μείωση της ακτίνας καμπυλότητας του κερατοειδούς και για αυτό ακτινοβολούνται τα περιφερειακά τμήματά του. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται ανάλογη προσαρμογή στο χειρισμό του laser (Εικόνα 9)



Εικόνα 8. Διόρθωση μυωπικού οφθαλμού με τη μέθοδο PRK (CÉTS, 2000).



Εικόνα 9. Διόρθωση μυωπίας/υπερμετρωπίας (Μακριδάκη, 2006)

1.6.3

1.6.3.1 Αρχή λειτουργίας των femtosecond lasers

Ο όρος femtosecond lasers αποδίδεται σε lasers παλμικής λειτουργίας που χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή χρονική διάρκεια παλμών, της τάξης των femtosecond ($1\text{fs} = 1 \cdot 10^{-15}\text{ s}$) από όπου προήλθε και η ονομασία τους. Η δημιουργία των femtosecond lasers στηρίχθηκε στην ανάπτυξη των τεχνικών εγκλειδωσης ρυθμών (mode locking). Η βάση της τεχνικής εγκλειδωσης ρυθμών είναι η δημιουργία σταθερής φάσης μεταξύ των συχνοτήτων εντός του οπτικού αντηχείου του laser (Παπαδάτου, 2011). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την πραγματοποίηση εγκλειδωσης ρυθμών, με πιο διαδεδομένη την χρήση ακουστοοπτικού διαμορφωτή.

Στη μέθοδο αυτή γίνεται χρήση ενός ακουστοοπτικού διακόπτη, δηλαδή ενός διάφανου (στο ορατό φως) κύβου στη πλευρά του οποίου εφάπτεται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος χαλαζία. Εφαρμόζοντας εναλλασσόμενη τάση στον κρύσταλλο ασκείται πίεση στον κύβο, η οποία διαδίδεται στο εσωτερικό του κύβου με τη μορφή στάσιμων ακουστικών κυμάτων, δημιουργώντας έτσι τοπικές εναλλαγές στο δείκτη διάθλασης του κύβου. Αν ο διακόπτης τοποθετηθεί στο εσωτερικό αντηχείου, οι μεταβολές του δείκτη διάθλασης έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων περίθλασης κατά την διέλευση της δέσμης από τον κύβο. Οι ιδιοσυχνότητες που δημιουργούνται από την περίθλαση με τη σειρά τους επαναδιέρχονται από τον κύβο εξαιτίας του αντηχείου δημιουργώντας καινούργιες συχνότητες κ.ο.κ. Θεωρώντας ως Δf το εύρος συχνοτήτων εκπομπής του ενεργού υλικού και ως δf το πλάτος των ιδιοσυχνοτήτων, προκύπτει ότι το μέγιστο πλήθος N των παραγόμενων συχνοτήτων είναι:

$$N = \frac{\Delta f}{\delta f} \quad (3.1)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση αν ισχύει $\Delta f = \delta f$, τότε ο αριθμός των συχνοτήτων ισούται με την μονάδα, κατάσταση η οποία αναφέρεται ως εγκλειδωση φάσης και πρακτικά σημαίνει παραγωγή παλμών laser πολύ περιορισμένου εύρους συχνοτήτων (Παπαδάτου, 2011).

Το πρώτο femtosecond laser κατασκευάστηκε από την αμερικανική εταιρία Intralaser Corp και κυκλοφόρησε το 2001 (Μπούσαλης, 2008). Η ανάπτυξη τους υπήρξε ραγδαία με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν διάφοροι τύποι femtosecond lasers όπως: lasers στερεάς κατάστασης, χρωστικών, ημιαγωγών και οπτικών ινών κ.α.

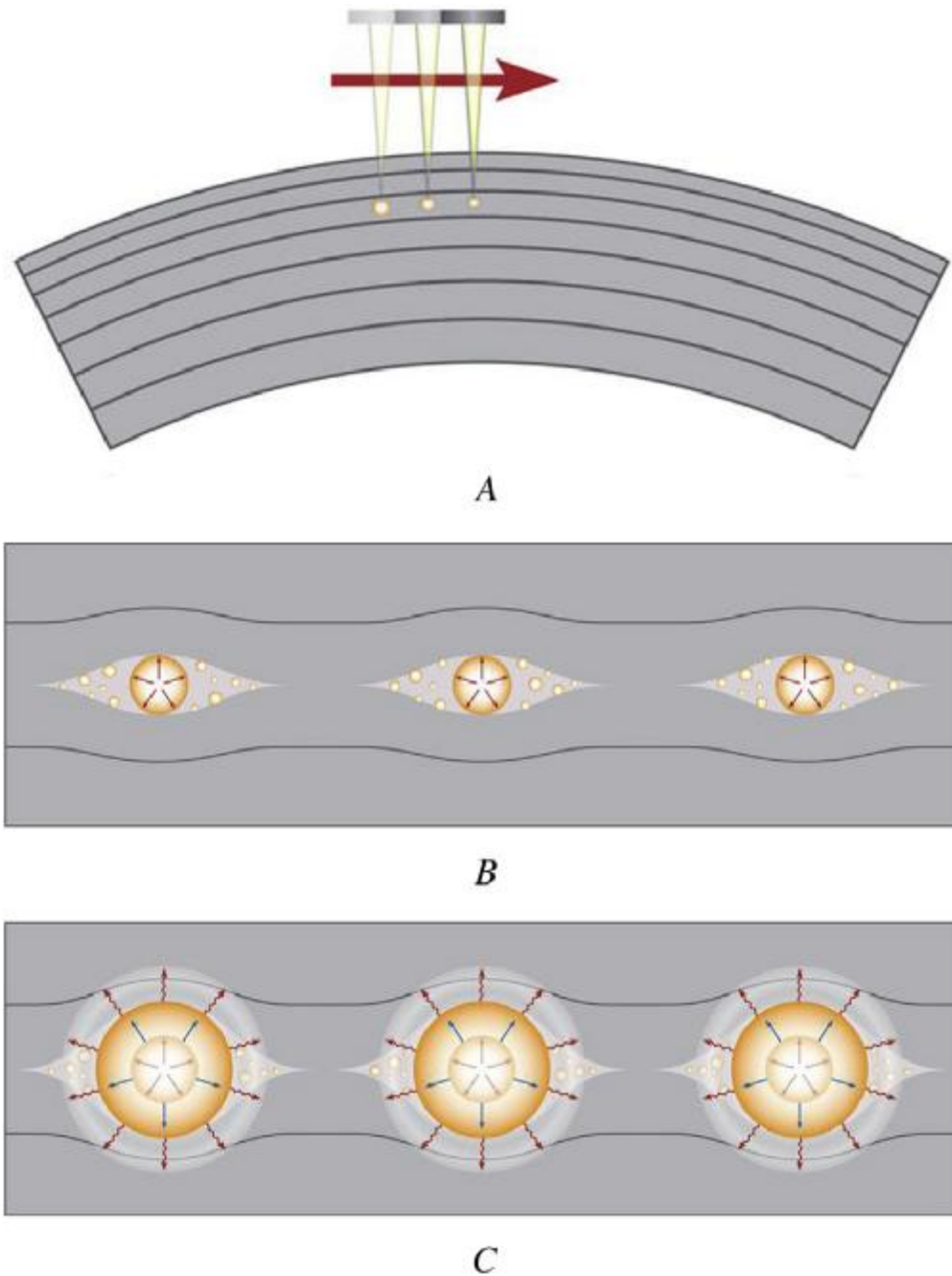
Ιδιαίτερα διαδεδομένο είναι το laser τιτανίου-σαπφείρου, διοδικό laser στερεάς κατάστασης που εκπέμπει παλμούς διάρκειας 10 ή ακόμη και 5 fs (Μπενής, 2013). Πριν την κατασκευή του στην κατηγορία κυριαρχούσαν τα

lasers χρωστικών στερεάς κατάστασης (SSDL: Solid State Dye Lasers) στα οποία το ενεργό υλικό είναι οργανικές χρωστικές ουσίες όπως οι ροδαμίνες, η κουμαρόνη κ.α. (Παπαδάτου, 2011).

1.6.3.2 Εφαρμογές των femtosecond lasers στην διαθλαστική χειρουργική

Το femtosecond laser που χρησιμοποιείται στην διαθλαστική χειρουργική είναι laser στερεάς κατάστασης και εκπέμπει 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 κρυσταλοειδή φακό. Για να ελεγχθεί με ακρίβεια η ισχύς των παλμών laser για εφαρμογή στην οφθαλμολογία, το σύστημα του laser ελέγχεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς επίσης συνδέεται και με υψηλής αντίθεσης μικροσκόπιο που να ταιριάζει στις ανάγκες του χειρουργού οφθαλμίατρου. Η δέσμη laser πρέπει να εστιάζεται σε ένα πολύ μικρό μέγεθος κηλίδας της τάξεως των μικρομέτρων για την επίτευξη μιας ακριβούς εκτομής. Με βάση τους φυσικούς νόμους των οπτικών φακών όσο μεγαλύτερο είναι το αριθμητικό άνοιγμα του φακού εστίασης τόσο το μέγεθος του σημείου εστίασης μίας δέσμης μειώνεται (Κατσικαλάκη, 2013).

Ο εξαιρετικά βραχύς χρόνος δράσης του femtosecond laser σημαίνει ότι πολύ μικρή ενέργεια χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί η φωτοδιάσπαση (photodisruption) η οποία τελικά είναι η δύναμη με την οποία τέμνει τους ιστούς το laser αυτό (Μπούσαλης, 2008). Η απορρόφηση της ενέργειας του femtosecond laser από τον ιστό οδηγεί στη δημιουργία πλάσματος. Το πλάσμα αποτελούμενο από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιονισμένα μόρια διαστέλλεται ταχύτατα δημιουργώντας φουσαλίδες (Donaldson et al, 2013). Η δημιουργία των φουσαλίδων καταλήγει στην τομή του ιστού. Στην εικόνα 10Α φαίνονται οι παλμοί femtosecond laser που εστιάζονται στην επιθυμητή περιοχή. Η δράση της ακτινοβολίας επιφέρει το σχηματισμό φουσαλίδων (Εικόνα 10B) οι οποίες διαστέλλονται και τελικά ενώνονται (Εικόνα 10C) με τελικό αποτέλεσμα το διαχωρισμό του ιστού στο επιθυμητό σημείο. Η χρήση του femtosecond laser περιορίζει τις βλάβες σε παρακείμενους ιστούς και έτσι ενδείκνυται για τη δημιουργία τομών σε ιστούς σε μικροσκοπική κλίμακα.



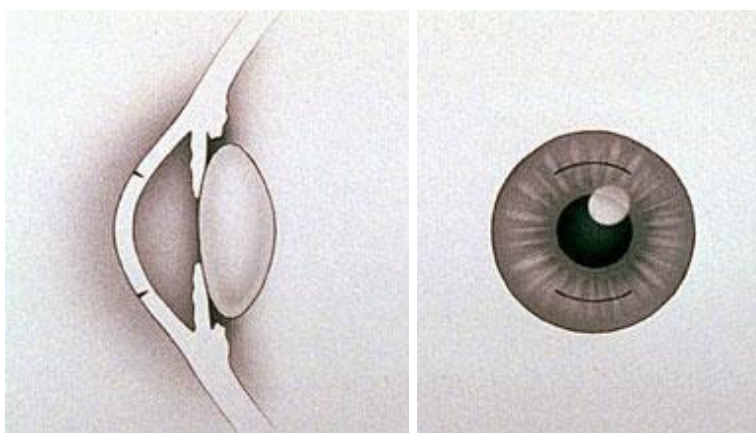
Εικόνα 10. Φωτοδιάσπαση ιστού με femtosecond laser (Donaldson et al, 2013)

Οι εφαρμογές των femtosecond lasers στην οφθαλμική χειρουργική είναι πολυδιάστατες. Ίσως η πιο δημοφιλής χρήση του femtosecond laser, ιδιαίτερα σήμερα με τα καινούργια μηχανήματα, είναι η δημιουργία κερατικού (ή κερατοειδικού) κρημνού στη μέθοδο LASIK. Ο κρημνός σχηματίζεται με την παραγωγή των φυσαλίδων από την χρήση του laser σε καθορισμένο βάθος, στη συνέχεια ο κερατοειδής ανασηκώνεται για την απαιτούμενη εφαρμογή του laser. Όμως σε εργασίες που έχουν γίνει δεν φαίνεται σημαντική διαφορά της ποιότητας του κερατικού κρημνού μεταξύ συγχρόνων κερατοτόμων και femtosecond laser (Μπούσαλης, 2008). Τα πλεονεκτήματα του είναι η

δημιουργία πιο προβλέψιμου πάχους του κρημνού καθ' όλη την επιφάνεια του καθώς και πιο λεία επιφάνεια κοπής. Τα μειονεκτήματα της δημιουργίας κερατικού κρημνού κατά την LASIK με femtosecond laser είναι: α) Φωτοφοβία. Υποχωρεί σε λίγες μέρες μετά την θεραπεία με κορτικοειδή. β) Ενδοστρωματική φλεγμονώδης αντίδραση κυρίως στα άκρα του κρημνού, συμβαίνει 2-7 ημέρες μετά την επέμβαση. γ) Παροδική θόλωση κερατοειδούς, η οποία και αυτή εξαφανίζεται μετά από λίγες μέρες (Τσουγκράνη και Παναγιωτοπούλου, 2013).

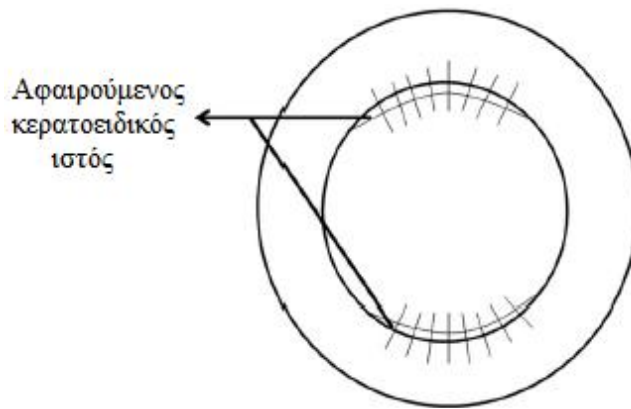
Στη διαμπερή κερατοπλαστική η χρησιμοποίηση femtosecond laser αποσκοπεί στην εξασφάλιση μεγαλύτερης στεγανότητας του τραύματος και την ταχύτερη επούλωση του τραύματος. Επιπλέον έχει ως αποτέλεσμα την μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης μετεγχειρητικού αστιγματισμού (Παπαδάτου, 2011).

Χρήση femtosecond laser γίνεται και στην αντιμετώπιση του αστιγματισμού με αστιγματικές κερατοτομές (εικόνα 11) ή σφηνοειδείς εκτομές (εικόνα 12). Οι αστιγματικές κερατοτομές (AK: Astigmatic Keratotomy) εφαρμόζεται για την διόρθωση του κατάλοιπου αστιγματισμού μετά από επεμβάσεις όπως η διαμπερής ή η επιφανειακή κερατοπλαστική. Στην AK δημιουργούμε τομές κάθετα στον κυρτό άξονα προκαλώντας επιπέδωση του κυρτότερου μεσημβρινού του κερατοειδούς (Κατσιακαλάκη, 2013).



Εικόνα 11. Αστιγματικές κερατοτομές (Κατσιακαλάκη, 2013).

Η μέθοδος των σφηνοειδών εκτομών αρχικά χρησιμοποιήθηκε το 1967 από τον R. Troutman και εφαρμόζεται για την διόρθωση αστιγματισμού άνω των 10 dpt όπως μετεγχειρητικά σε μεταμοσχεύσεις κερατοειδούς, και σε μεγάλους μετατραυματικούς αστιγματισμούς (Μπούσαλης, 2008). Στη μέθοδο αυτή αποκόπτουμε από τον επίπεδο μεσημβρινό του κερατοειδούς ένα σφηνοειδές τμήμα κερατοειδικού ιστού.



Εικόνα 12. Σφηνοειδής εκτομή (Κατσικαλάκη, 2013)

Επιπλέον τα femtosecond lasers χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενδοκερατικών τομών για την ένθεση ενδο-κερατοειδικών δακτυλίων καθώς και ενδοστρωματικών ενθεμάτων για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας και την έγχυση ριβοφλαβίνης (Κατσικαλάκη, 2013). Οι ενδο-κερατοειδικοί δακτύλιοι (ICRS: Intrastromal Corneal Ring Segments) είναι μία από τις διαθέσιμες μεθόδους αντιμετώπισης του ασύμμετρου αστιγματισμού. Σε περιπτώσεις ασύμμετρου αστιγματισμού όπου η χρήση σκληρών φακών επαφής δεν γίνεται ανεκτή από τον ασθενή ή η χρήση γυαλιών δεν επιφέρει ικανοποιητική βελτίωση της όρασης, ο αστιγματισμός μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με κερατοπλαστική επέμβαση είτε με άλλες επεμβατικές διαδικασίες όπως οι δακτύλιοι πριν επιλέξει την κερατοπλαστική (Κατσικαλάκη, 2013). Μία τεχνική για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας προβλέπει την εισαγωγή μικροσκοπικών φακών (κερατοειδικά ενθέματα: corneal inlays) στον κερατοειδή. Ο σκοπός είναι η αναμόρφωση της πρόσθιας επιφάνειας του οφθαλμού για την βελτίωση της όρασης του ασθενούς. Η εφαρμογή ριβοφλαβίνης σε καθορισμένη περιοχή του κερατοειδούς και η έκθεσή της σε υπεριώδη ακτινοβολία για την σκλήρυνση του κερατοειδούς είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του κερατόκωνου (Παπαδάτου, 2011).

Άλλες εφαρμογές των femtosecond lasers στην οφθαλμολογική χειρουργική περιλαμβάνουν την βιοψία κερατοειδούς, όπου λαμβάνονται τμήματα 3-5 mm σε περιπτώσεις αδιάγνωστης κερατίτιδας αποφεύγοντας επικινδύνους χειρισμούς και τον κίνδυνο διασποράς καθώς στην χειρουργική καταρράκτου (Μπούσαλης, 2008) όπου τα femtosecond lasers χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τομών και για πρόσθια καψουλόρηξη και ενδοφακική φωτοδιάσπαση και ρευστοποίηση του πυρήνα (Κατσικαλάκη, 2013).

Στις εφαρμογές των femtosecond lasers στην οφθαλμολογική χειρουργική περιλαμβάνεται επίσης και η χρήση τους στην διόρθωση της μυωπίας (π.χ. μέθοδος ReLEx) και της πρεσβυωπίας (π.χ. με τη μέθοδο

Intracor ή με ενδοφακική εφαρμογή του laser για την αύξηση της ελαστικότητας του φακού) καθώς και στη μεταμόσχευση κερατοειδούς (Κατσικαλάκη, 2013). Συμπερασματικά, παρατηρείται σημαντική αύξηση στη χρήση των femtosecond lasers στη χειρουργική του κερατοειδούς. Από την εποχή της επανάστασης της διαθλαστικής χειρουργικής που έφερε η εισαγωγή των excimer lasers, τα femtosecond lasers αποτελούν την επόμενη μεγάλη εξέλιξη στο χώρο αυτό (Μπούσαλης, 2008).

Κεφάλαιο 2

2.1 Η μέθοδος LASIK

Η μέθοδος LASIK γνώρισε εκτεταμένη διάδοση μετά την εισαγωγή της την δεκαετία του 1990. Ιστορικά αποτελεί εξέλιξη σημαντικών ανακαλύψεων στο χώρο της οφθαλμικής χειρουργικής και της τεχνολογίας των lasers. Σημαντικοί σταθμοί στην εξέλιξη της οφθαλμικής χειρουργικής είναι η ανακάλυψη του μικροκερατόμου τη δεκαετία του 1950 και των excimer lasers το 1968 καθώς και η εφαρμογή τους στη διαθλαστική χειρουργική τη δεκαετία του 1980 (AAO: American Academy of Ophthalmology, 2012). Εξέλιξη των ανακαλύψεων αυτών ήταν η καθιέρωση των μεθόδων της ακτινικής κερατοτομής (RK: Radial keratotomy) και της φωτοδιαθλαστικής κερατοτομής (PRK: photorefractive keratectomy) στις οποίες θα αναφερθούμε αναλυτικότερα παρακάτω. Η τεχνική LASIK ήταν μια προσπάθεια βελτίωσης των προηγούμενων αυτών τεχνικών.



Εικόνα 13. Η συσκευή excimer laser MEL-60 που χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη επέμβαση LASIK (Olsen et al, 1997)

Σημαντικά χρονικά σημεία στην εξέλιξη της ήταν, μεταξύ άλλων, η χορήγηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας στον Αμερικανό χειρουργό Gholam A. Peyman τον Ιούνιο του 1989 για μια μέθοδο τροποποίησης της καμπυλότητας του κερατοειδούς χιτώνα του οφθαλμού με τη χειρουργική δημιουργία κερατοειδικού κρημνού (Stewart, 2009), ενώ η πρώτη επέμβαση LASIK πραγματοποιήθηκε το 1990 από τον Έλληνα οφθαλμολόγο Ιωάννη Παλληκάρη. Το 1999 η χρήση των excimer lasers στη μέθοδο LASIK κέρδισε την έγκρισή της στις Η.Π.Α. από τον αρμόδιο Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων FDA (FDA:Food and Drug Administration), ενώ σήμερα είναι η πιο δημοφιλής διαθλαστική χειρουργική μέθοδος (Zdybel et al, 2012) με πάνω από 28 εκατομμύρια επεμβάσεις να έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως και 700000 επεμβάσεις ετησίως στις Η.Π.Α. (AAO, 2012). Η εξέλιξη στην τεχνολογία των excimer lasers έχει οδηγήσει στην δημιουργία μεγάλου αριθμού διατάξεων στη διάθεση του οφθαλμικού χειρουργού, στις Η.Π.Α. πάνω από 30 εμπορικά διαθέσιμες διατάξεις excimer lasers έχουν πάρει την έγκριση του αρμόδιου οργανισμού (FDA, 2014) όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Η καθιέρωση της μεθόδου μαζί με τις τεχνολογικές βελτιώσεις που σημειώθηκαν στην τεχνολογία των lasers είχαν ως αποτέλεσμα και την εμφάνιση καινοτομιών και παραλλαγών στην μέθοδο LASIK (AAO, 2012), όπως προηγμένους μικροκερατόμους ή την δημιουργία του κρημνού χωρίς την χρήση λεπίδας (all-laser LASIK), ή την χαρτογράφηση του κερατοειδούς με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών (wavefront LASIK), καθώς επίσης και στην εισαγωγή εναλλακτικών μεθόδων οφθαλμικής χειρουργικής (epi-LASIK, LASEK) που θα αναφερθούν εκτενέστερα στη συνέχεια.

Συσκευή	Εταιρεία	Αριθμός και ημερομηνία έγκρισης
Nidek EC-5000 Excimer Laser System	Nidek, Inc.	P970053/S11 September 30, 2013
Allegretto WAVE® Eye-Q Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc.	P020050/S12 September 27, 2013
MEDITEC MEL 80 Excimer Laser System	Carl Zeiss, Inc.	P060004/S1 March 28, 2011
Star S4 IR Excimer Laser System with Wavescan System	VISX, Inc.	P930016/S25 July 11, 2007
Nidek EC-5000 Excimer Laser System	Nidek, Inc.	P970053/S9 October 11, 2006
MEL 80 Excimer Laser System	Carl Zeiss, Inc.	P060004 August 11, 2006
WaveLight Allegretto Wave Excimer Laser System	Wavelight AG	P020050/S4 July 26, 2006
LADARVision 4000 Excimer Laser System And the Ladar 6000 Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc.	P970043/S22 May 2, 2006
LADARVision 4000 Excimer Laser System	Alcon Laboratories,	P970043/S20

	Inc.	May 1, 2006
WaveLight Allegretto Wave Excimer Laser System	Wavelight AG	P030008/S4 April 19, 2006
Star S4 IR Excimer Laser System with Variable Spot Scanning (Vss) and Wavescan Wavefront System	VISX, Inc.	P930016/S21 August 30, 2005
Star S4 IR Excimer Laser System with Variable Spot Scanning (Vss)	VISX, Inc.	P930016/S20 March 17, 2005
Star S4 Excimer Laser System with Variable Spot Scanning (Vss) and Wavescan Wavefront System	VISX, Inc.	P930016/S17 December 14, 2004
LADARVision 4000 Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc.	P970043/S15 June 29, 2004
Wavelight Allegretto Wave Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc.	P030008 October 10, 2003
TECHNOLAS 217Z Zyoptix System for Personalized Vision Correction	Bausch & Lomb Surgical, Inc.	P990027/S6 October 10, 2003
WaveLight Allegretto Wave Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc	P020050 October 7, 2003
Star S4 Activetrak Excimer Laser System and Wavescan Wavefront System	VISX, Inc.	P930016/S16 May 23, 2003
TECHNOLAS 217A Excimer Laser System	Bausch & Lomb Surgical, Inc.	P990027/S4 February 25, 2003
LADARVision 4000 Excimer Laser System	Alcon Laboratories, Inc.	P970043/S10 October 18, 2002
TECHNOLAS 217A Excimer Laser System	TECHNOLAS GMBH Perfect Vision	P990027/S2 May 17, 2002
VISX Star Excimer Laser System	VISX, Inc.	P930016/S14 November 6, 2001
Laserscan LSX Excimer Laser System for Laser Assisted In-situ Keratomileusis (LASIK)	Lasersight Technologies, Inc.	P980008/S5 September 28, 2001
VISX Star Excimer Laser System	VISX, Inc.	P930016/S12 April 27, 2001
LADARVision Excimer Laser System (Hyperopia)	Summit Autonomous, Inc.	P970043/S7 September 22, 2000
LADARVision Excimer Laser System	Summit Autonomous, Inc.	P970043/S5 May 9, 2000
Nidek EC-5000 Excimer Laser System	Nidek Technologies, Inc	P970053/S2 April 14, 2000
TECHNOLAS 217A Excimer Laser System	TECHNOLAS GMBH Perfect Vision	P990027 February 23, 2000
VISX Excimer Laser System Model C "Star"	AMO Manufacturing USA, LLC	P990010 November 19, 1999
SVS Apex Plus Excimer Laser Workstation	Summit Technology, Inc	P930034/S13 October 21, 1999
Kremer Excimer Laser System	Lasersight Technologies, Inc.	P970005 July 30, 1998

Πίνακας 3. Διατάξεις excimer laser με έγκριση από τον FDA (FDA, 2014)

Σε όλες τις παραλλαγές της μεθόδου LASIK είναι σημαντικός ο λεπτομερής προεγχειρητικός έλεγχος του υποψήφιου για την επέμβαση. Προεγχειρητικά ο ασθενής πρέπει να αποφύγει τη χρήση καλλυντικών για να μειώσει την παρουσία πιθανών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του οφθαλμού καθώς και τον κίνδυνο μόλυνσης. Επίσης ο ασθενής διακόπτει με υπόδειξη του χειρουργού τη χρήση οφθαλμικών σταγόνων ή φακών επαφής για το χρονικό διάστημα που του υποδεικνύεται, καθώς η χρήση των φακών επαφής μπορεί να επιφέρει αλλοίωση της επιφάνειας του κερατοειδούς και εξετάζεται το ιατρικό του ιστορικό.

Στο προεγχειρητικό στάδιο ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ηλεκτρονικό υπολογιστή για να «χαρτογραφήσει» την επιφάνεια του κερατοειδούς και να προγραμματίσει ανάλογα τη διαμόρφωση του κερατοειδούς με το excimer laser. Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται οι διαθλαστικές μετρήσεις της συνταγής του ασθενούς.

Μια σύγχρονη παραλλαγή της μεθόδου LASIK, (wavefront LASIK) χρησιμοποιεί επίπεδα κυματομέτωπα για την τρισδιάστατη απεικόνιση των ιδιαιτεροτήτων του οφθαλμού κατά τη διέλευσή τους από τους οφθαλμικούς ιστούς. Πρόκειται για νεότερη μέθοδο η οποία εγκρίθηκε από τον FDA στις Η.Π.Α. το 2001 (AAO, 2012).

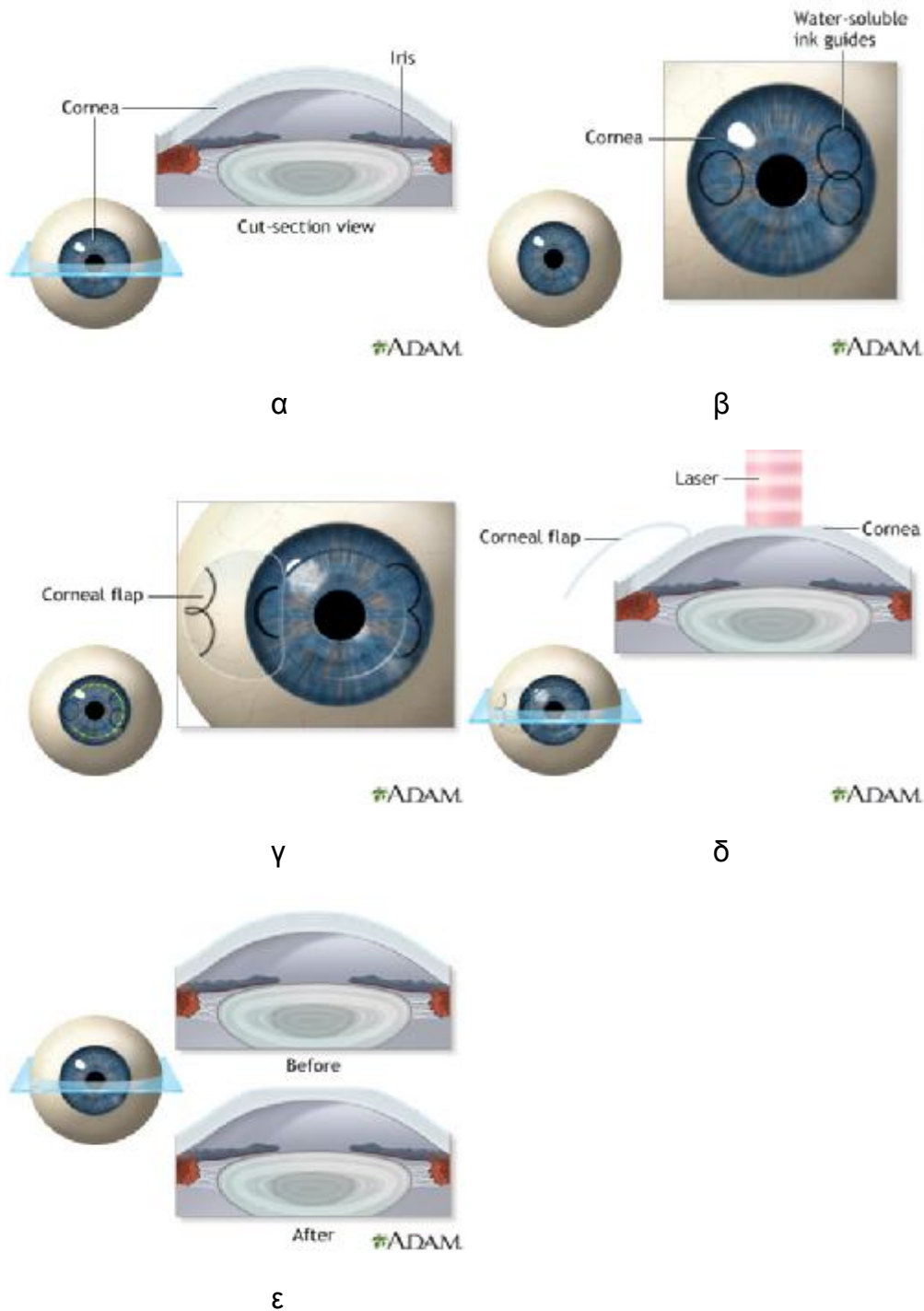
Στον προεγχειρητικό έλεγχο περιλαμβάνονται επίσης παχυμετρία και τοπογραφία του κερατοειδούς, μέτρηση της πίεσης των οφθαλμών (τονομέτρηση) καθώς και έλεγχος για τυχόν ξηροφθαλμία (π.χ. τεστ Schirmer).

Επιπλέον προεγχειρητικές μετρήσεις περιλαμβάνουν τον έλεγχο του βυθού (οπτικό νεύρο, ωχρά κηλίδα) καθώς και τη μελέτη της συμπεριφοράς της κόρης σε χαμηλό φωτισμό όταν η διάμετρος της μεγιστοποιείται (Τσουγκράνη και Παναγιωτοπούλου, 2013).

Κατά τη διαδικασία LASIK χρησιμοποιείται τοπική αναισθησία στον οφθαλμό (Manche et al, 1998). Τα βλέφαρα συγκρατούνται ανοικτά ενώ ο οφθαλμός ακινητοποιείται με τη βοήθεια ενός δακτυλιδιού (suction ring). Ο χειρουργός χρησιμοποιεί υδατοδιαλυτό μελάνι για να σημειώσει την περιοχή επανατοποθέτησης του επιθηλίου (Εικόνα 14β).

Το πρώτο στάδιο της επέμβασης (κερατοτομή) συνίσταται στην δημιουργία του κερατοειδικού κρημνού από το εξωτερικό 20% της επιφάνειας του κερατοειδούς, κάτι που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μηχανική λεπίδα, το μικροκερατόμο («κλασική» μέθοδος LASIK), είτε με τη χρήση laser (all-laser LASIK). Αν χρησιμοποιηθεί laser, οι εκπεμπόμενοι παλμοί του διαπερνούν τα επιφανειακά στρώματα του κερατοειδούς για να δημιουργήσουν φυσαλίδες σε κατάλληλο βάθος. Στη συνέχεια ο χειρουργός δημιουργεί τον κρημνό διαχωρίζοντας προσεκτικά τον ιστό στα σημεία που έχουν δημιουργηθεί οι φυσαλίδες και αναδιπλώνοντάς τον εκθέτοντας τα υποκείμενα στρώματα του κερατοειδούς. Στην περίπτωση που

χρησιμοποιείται μηχανικός μικροκερατόμος, αυτός προσαρμόζεται στο δαχτυλίδι και κινείται διασχίζοντας τον κερατοειδή μέχρι ενός προκαθορισμένου σημείου, δημιουργώντας έτσι ένα λεπτό κομμάτι ιστού. Στη συνέχεια το δαχτυλίδι και ο μικροκερατόμος απομακρύνονται και το τμήμα του ιστού αναδιπλώνεται για να εκθέσει τα εσωτερικά στρώματα του κερατοειδούς (Εικόνα 14γ).



Εικόνα 14. Η μέθοδος LASIK (Berman Kevin, 2012)

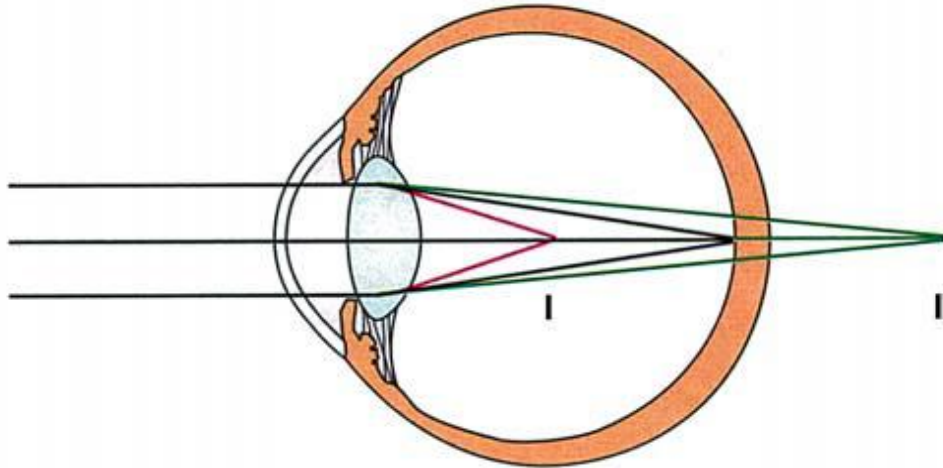
Στο δεύτερο στάδιο το excimer laser τοποθετείται πάνω από τον οφθαλμό και επαναδιαμορφώνει την επιφάνειά του σύμφωνα με την εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε κατά την προεγχειρητική εξέταση (Εικόνα 14δ). Σε έναν μυωπικό οφθαλμό το ζητούμενο είναι να γίνει πιο επίπεδη η επιφάνεια του κερατοειδούς, ενώ σε έναν υπερμετρωπικό οφθαλμό η χρήση του excimer laser αποσκοπεί στην αύξηση της καμπυλότητας του κερατοειδούς. Κατά την αντιμετώπιση του αστιγματισμού το excimer laser χρησιμοποιείται για να λειάνει την επιφάνεια του κερατοειδούς δίνοντάς της το επιθυμητό σχήμα. Η διαδικασία αυτή διαρκεί κάτω από 60 δευτερόλεπτα, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του ασθενούς. Στη συνέχεια ο χειρουργός επανατοποθετεί το επιθήλιο (Εικόνα 14ε) και παρατηρεί τον ασθενή για 3-5 λεπτά επιβεβαιώνοντας την επανασυγκόλληση του επιθηλίου, η οποία συμβαίνει χωρίς την χρήση ραμμάτων. Ο χειρουργός μπορεί να προμηθεύσει τον ασθενή με διαφανές προστατευτικό για την αποφυγή ακούσιου τραυματισμού.

Μετεγχειρητικά ο ασθενής εξετάζεται συνήθως μία ώρα μετά την επέμβαση για να βεβαιωθεί η σωστή τοποθέτηση του κρημνού. Κατόπιν επανεξετάζεται την πρώτη και την τρίτη μέρα μετά την επέμβαση (Δημητρίου, 2011). Ο ασθενής πρέπει να αποφύγει ακούσιους ερεθισμούς στον οφθαλμό λόγω της μειωμένης αντοχής του κερατοειδικού ιστού μέχρι την πλήρη επούλωσή του. Σε συνεννόηση με τον χειρουργό μπορεί να χρησιμοποιήσει οφθαλμικές σταγόνες για τον καθαρισμό και την ενυδάτωση, καθώς και να του χορηγηθεί κατάλληλη φαρμακευτική αγωγή για τον πόνο, αν αυτό κριθεί απαραίτητο. Συνήθως η φαρμακευτική αγωγή μετεγχειρητικά περιλαμβάνει κολλύριο με αντιβιοτικό και στεροειδές για δύο εβδομάδες μετά την επέμβαση (CÉTS, 2000), μαζί με συχνή χρήση τεχνητών δακρύων. Η συνήθης περίοδος μέχρι την πλήρη σταθεροποίηση της όρασης είναι περίπου τρεις μήνες.

2.2 Ενδείξεις της μεθόδου LASIK

Η μέθοδος LASIK χρησιμοποιείται για την διόρθωση της μυωπίας, της υπερμετρωπίας και του αστιγματισμού (NICE: National Institute for Health and Clinical Excellence, 2006), ενώ έχει πλέον καθιερωθεί ιδιαίτερα για την αντιμετώπιση της μυωπίας σε μικρούς ή μέτριους βαθμούς αν και τα αποδεκτά όρια διαφέρουν γεωγραφικά.

Στην περίπτωση του μυωπικού οφθαλμού το είδωλο σχηματίζεται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του οφθαλμού, ενώ στον υπερμετρωπικό οφθαλμό πιο πίσω (Εικόνα 15). Τόσο στην περίπτωση της μυωπίας όσο και στην περίπτωση της υπερμετρωπίας παρατηρείται απώλεια στην ευκρίνεια της σχηματιζόμενης εικόνας,



Εικόνα 15. Σχηματισμός ειδώλου από μυωπικό (I) και υπερωπικό (II) οφθαλμό (Kohnen et al, 2008)

Η επέμβαση LASIK χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της μυωπίας ισχύος ως -10 dpt (dpt: διοπτρίες), υπερμετρωπίας ως +4 dpt και αστιγματισμού ως 5dpt (Kohnen et al, 2008). Στις Η.Π.Α. σύμφωνα με την Αμερικανική Οφθαλμολογική εταιρεία, η μέθοδος LASIK έχει εγκριθεί από τον Αμερικανικό Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων FDA για την αντιμετώπιση μυωπίας ως 14 dpt, υπερμετρωπίας ως 6 dpt και αστιγματισμού ως 6 dpt (AAO, 2012).

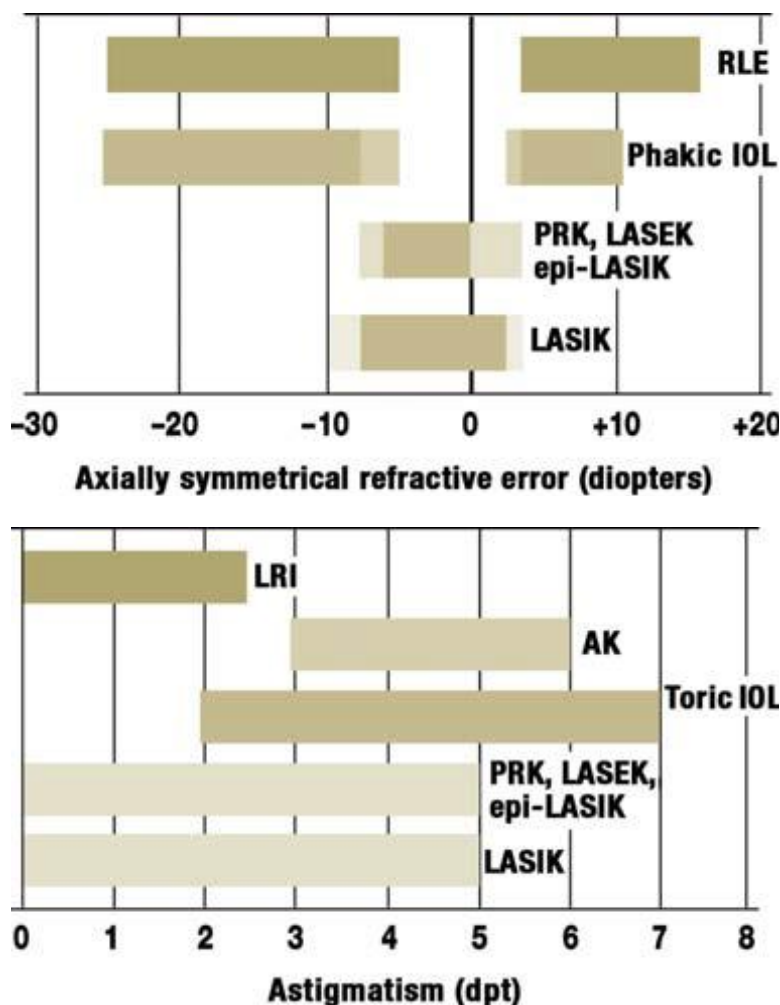
Αντίστοιχα στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με το Βασιλικό Κολλέγιο Οφθαλμολογίας η μέθοδος LASIK χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση χαμηλής (0 ως 3 dpt) και μέσης (3 ως 6 dpt) μυωπίας (The Royal College of Ophthalmologists, 2006). Στον πίνακα 2 παρατίθενται οι διάφορες χειρουργικές τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων της όρασης με τις αντίστοιχες ενδείξεις για το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ στην εικόνα 4 οι αντίστοιχες ενδείξεις σύμφωνα με τις οδηγίες της Γερμανικής Επιτροπής Διαθλαστικής Χειρουργικής (Kommission Refraktive Chirurgie, KRC). Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή της μεθόδου LASIK είναι στην αντιμετώπιση της μυωπίας, Στον πίνακα 4 παρατηρούμε πως σύμφωνα με το Βασιλικό Κολλέγιο Οφθαλμολογίας οι εγκεκριμένες μέθοδοι αντιμετώπισης των υψηλών βαθμών μυωπίας είναι η μέθοδος PRK ή η χρήση ενδοφακών, ενώ για την αντιμετώπιση του αστιγματισμού, εγκεκριμένες μέθοδοι είναι η μέθοδος PRK και η τοξοειδής κερατοτομή (Arcuate Keratotomy).

ΤΕΧΝΙΚΗ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ
Excimer laser	PRK (Photorefractive Keratectomy)	Μυωπία/Αστιγματισμός (χαμηλή, μέση, υψηλή)
	LASEK/epiLASIK	Μυωπία (χαμηλή, μέση)
	LASIK	
Excimer laser Μη διαθλαστική	PTK (PhotoTherapeutic Keratectomy)	Λείανση, επούλωση τραυμάτων
TK (Thermokeratoplasty)	CK (Conductive Keratoplasty)	Υπερωπία (χαμηλή)
Μικροχειρουργική	RK (Radial Keratotomy)	Μυωπία (χαμηλή, μέση)
	AK (Arcuate Keratotomy)	Αστιγματισμός (μέσος, υψηλός)
	ICR (IntraCorneal Rings)	Μυωπία (χαμηλή)
Μικροχειρουργική	Cataract extraction & IOL	Θόλωμα φακού καταρράκτη
	Clear lens extraction & IOL / Refractive lens exchange	Μυωπία/Υπερωπία (μέση, υψηλή)
	ICL (Intraocular Contact Lens or Phakic IOL)	

Επεξήγηση: Χαμηλή: 0-3dpt Μέση: 3-6dpt Υψηλή: 6-10dpt

Πίνακας 4: Εγκεκριμένες χειρουργικές τεχνικές και ενδείξεις τους, Ηνωμένο Βασίλειο (The Royal College of Ophthalmologists, 2006)

Σύμφωνα με την Γερμανική Επιτροπή Διαθλαστικής Χειρουργικής, μυωπία ή υπερμετρωπία χαμηλών τιμών (από -8 ως +2 dpt) αποτελούν ιδανική ένδειξη για την χρήση της μεθόδου LASIK. Πιθανή ένδειξη για την χρήση της μεθόδου αποτελεί ο αστιγματισμός μέχρι 5 dpt. Στην εικόνα 16 με σκούρο χρωματισμό παρουσιάζονται οι περιοχές των διαθλαστικών σφαλμάτων εντός των οποίων η χρήση των αντίστοιχων μεθόδων αντιμετώπισης θεωρείται κατάλληλη και με σπάνια παρουσία επιπλοκών (ιδανική ένδειξη). Με ανοιχτό χρωματισμό (πιθανή ένδειξη) σημειώνονται οι περιοχές των διαθλαστικών σφαλμάτων εντός των οποίων η χρήση της εκάστοτε μεθόδου είναι δυνατή αλλά με ενδεχομένως λιγότερο καλά αποτελέσματα και περισσότερες ενδεχόμενες επιπλοκές. Παρατηρούμε πως στην περίπτωση του αστιγματισμού αλλά και των υψηλών βαθμών μυωπίας και υπερμετρωπίας θεωρείται πιο ενδεδειγμένη η αντιμετώπισή τους με διαφορετικές μεθόδους. Στην περίπτωση της μυωπίας και υπερμετρωπίας με την χειρουργική αντικατάσταση του κρυσταλλοειδούς φακού του οφθαλμού (RLE: Refractive lens exchange), ενώ στην περίπτωση του αστιγματισμού με τη χρήση ενδοφακών ή με τη χρήση συγκεκριμένων μεθόδων αστιγματικής κερατοτομής (LRI: Limbal Relaxing Incisions).



Εικόνα 16. Ενδείξεις χειρουργικών τεχνικών διαθλαστικών σφαλμάτων και αστιγματισμού (Kohnen et al, 2008)

Η μέθοδος LASIK απευθύνεται σε ασθενείς κάθε φύλου και ηλικίας πάνω από 21 ετών, αφού η ανάπτυξη του κερατοειδούς πραγματοποιείται μέχρι αυτή την ηλικία. Επιπλέον προϋπόθεση για την καταλληλότητα της μεθόδου είναι η σταθερότητα της κατάστασης του οφθαλμού που εξετάζεται από τον χειρουργό προεγχειρητικά. Το προς διόρθωση διαθλαστικό σφάλμα θα πρέπει να παρουσιάζει περιορισμένη διακύμανση (κάτω της μισής διοπτρίας) τα τελευταία χρόνια πριν την επιλογή της επέμβασης.

2.3 Αντενδείξεις της μεθόδου LASIK

α) Η αλλοίωση της μορφολογίας του κερατοειδούς που λαμβάνει χώρα κατά την μέθοδο LASIK, καθιστά το ικανοποιητικό πάχος του κερατοειδούς χιτώνα του ασθενούς βασική προϋπόθεση για την επιλογή της μεθόδου. Προεγχειρητικό πάχος του κερατοειδούς μικρότερο των 500 μm ($1 \mu\text{m}=10^{-6} \text{m}$) συνήθως αποτελεί αντένδειξη για μη επιφανειακές χειρουργικές επεμβάσεις (Kohnen et al, 2008). Αν κατά το προεγχειρητικό στάδιο ο κερατοειδής του ασθενούς έχει ανεπαρκές πάχος ο ασθενής ενδέχεται να είναι ακόμη

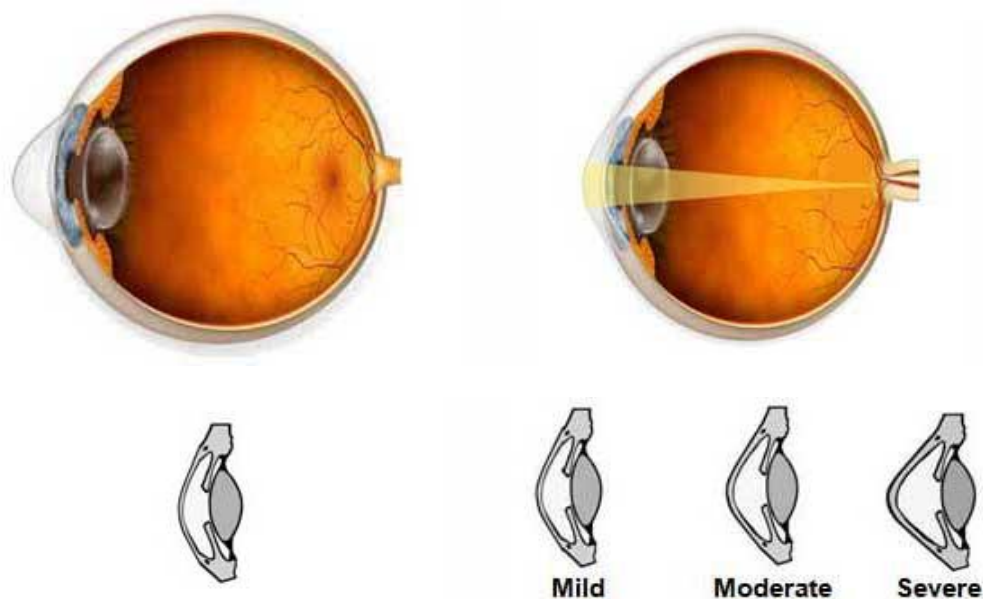
κατάλληλος για εναλλακτικές επεμβάσεις όπως η PRK , η epiLASIK και η LASEK.

β) Η ακατάλληλη τοπογραφία του κερατοειδούς μαζί με το μη ικανοποιητικό πάχος του αποτελούν τους πιο κοινούς λόγους αποκλεισμού ασθενών από διαθλαστική χειρουργική επέμβαση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα 2007-2012 στο Ινστιτούτο Cole Eye, στο Κλήβελαντ των Η.Π.Α. (Torricelli et al., 2014), η παρουσία ανωμαλιών στην τοπογραφία του κερατοειδούς και το χαμηλό ή ανεπαρκές πάχος του ευθυνόταν για το 34,3% και το 23,1% των αποκλεισμών από την επέμβαση αντιστοίχως.

γ) Σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας για την επιλογή της μεθόδου είναι και η τυχόν ξηροφθαλμία του οφθαλμού του ασθενούς. Η ξηροφθαλμία οφείλεται στην μείωση ή διακοπή της παραγωγής δακρύων και είναι περισσότερο συνηθισμένη στις γυναίκες ιδιαίτερα μετά την ηλικία της εμμηνόπαυσης (AAO, 2012). Η ξηροφθαλμία προκαλεί ενόχληση και αίσθημα «καψίματος» στον ασθενή μαζί με ενδεχόμενη θόλωση της όρασης. Η μέθοδος LASIK έχει αναφερθεί να προκαλεί ή να επιδεινώνει την ξηρότητα του οφθαλμού επομένως είναι σημαντικό να αντιμετωπιστεί πριν την επιλογή της επέμβασης.

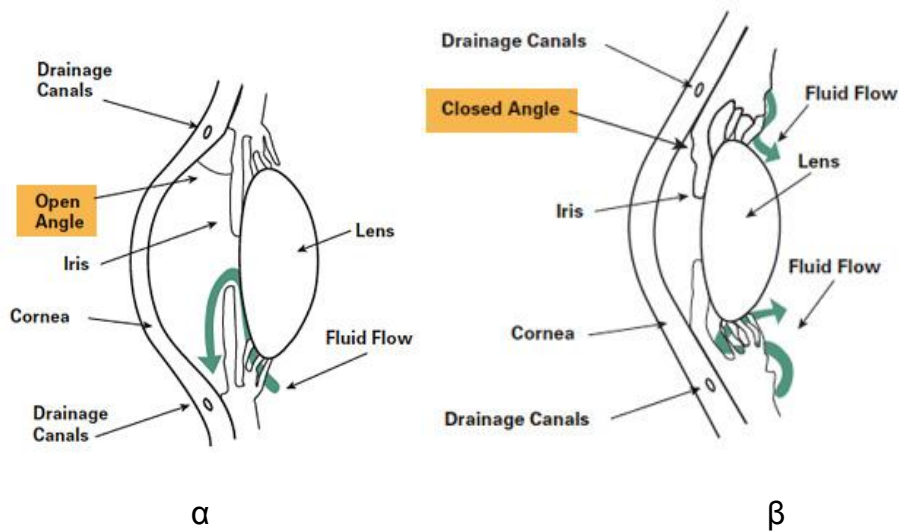
δ) Οφθαλμικές παθήσεις που αποτελούν απόλυτες αντενδείξεις για την επιλογή διαθλαστικής χειρουργικής επέμβασης όπως το σύνδρομο Stevens-Johnson συνδέονται με μειωμένη ικανότητα επούλωσης του κερατοειδικού ιστού (Manche, 1998). Τυχόν προηγούμενες αλλοιώσεις της επιφάνειας του κερατοειδούς όπως χημικά εγκαύματα επίσης αποκλείουν την επιλογή της μεθόδου. Το ίδιο ισχύει και για λοιμώξεις του κερατοειδούς, όπως η ερπητική κερατίτιδα (Τσουγκράνη και Παναγιωτοπούλου, 2013), ιδιαίτερα λόγω της αυξημένης πιθανότητας επανενεργοποίησης της κερατίτιδας που συνοδεύει την μέθοδο LASIK αλλά και την PRK.

ε) Εκτατικές δυσπλασίες του κερατοειδούς όπως ο κερατόκωνος αποτελούν επίσης αντενδείξεις της μεθόδου LASIK. Στην περίπτωση του κερατόκωνου, ο κερατοειδής του οφθαλμού (Εικόνα 17) έχει χαρακτηριστικό κωνικό σχήμα αντί για την πιο βαθμιαία μεταβολή της καμπυλότητας του φυσιολογικού κερατοειδούς και επιπλέον είναι πιο λεπτός, επιφέροντας σημαντική αλλοίωση της όρασης του ασθενούς. Σημαντικές διαφορές στα διαθλαστικά σφάλματα των οφθαλμών του ασθενούς μπορεί να σημαίνουν εξέλιξη κερατόκωνου και να αποκλείουν έτσι την εφαρμογή της LASIK (AAO, 2012).



Εικόνα 17. Φυσιολογικός οφθαλμός (αριστερά) σε σύγκριση με οφθαλμό με κερατόκωνο (Canadian Keratoconus Foundation, 2013)

στ) Σημαντική οφθαλμική πάθηση που αποτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου LASIK είναι και το γλαύκωμα. Ο όρος αναφέρεται σε ομάδα οφθαλμικών παθήσεων με διαφορετικά αίτια που όμως συνδέονται συνήθως με την αυξημένη ενδοοφθαλμική πίεση και βλάβες στο οπτικό νεύρο (Vijaya et al, 2011). Οι δύο κύριοι τύποι γλαυκώματος είναι το χρόνια γλαύκωμα ή γλαύκωμα ανοιχτής γωνίας (open angle glaucoma) και το οξύ γλαύκωμα ή γλαύκωμα κλειστής γωνίας (closed angle glaucoma). Το χρόνια γλαύκωμα χαρακτηρίζεται από ήπια, δύσκολα παρατηρήσιμα συμπτώματα και είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος γλαυκώματος στις Η.Π.Α.(Glaucoma Research Foundation, 2013). Στο χρόνια γλαύκωμα η αύξηση της ενδοοφθαλμικής πίεσης αποδίδεται στην μεγάλη γωνία που σχηματίζει η ίριδα με τον κερατοειδή (Εικόνα 18α). Στο οξύ γλαύκωμα η γωνία της ίριδας με τον κερατοειδή είναι αντίθετα μικρή (Εικόνα 18β). Το οξύ γλαύκωμα συνοδεύεται από έντονη δυσφορία και είναι λιγότερο διαδεδομένο αν και παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά στις ασιατικές χώρες.



Εικόνα 18. Χρόνιο (α) και οξύ (β) γλαύκωμα (Glaucoma Research Foundation, 2013)

Ιδιαίτερα στην περίπτωση του οξέως γλαυκώματος τυπικά συμπτώματα αποτελούν η σταδιακή απώλεια της περιφερειακής όρασης, βλάβες στο οπτικό νεύρο και νέκρωση των κυττάρων του επιθηλίου. Σε κάποιες κατηγορίες γλαυκώματος ο οφθαλμός εμφανίζεται κόκκινος και ερεθισμένος (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Οφθαλμός με γλαύκωμα (Vijaya et al. 2011)

ζ) Ασθενείς με καταρράκτη πρέπει επίσης να αποκλείονται από την επέμβαση LASIK αν σκοπεύουν να επιλέξουν την χειρουργική αφαίρεσή του. Η αφαίρεση του καταρράκτη με κατάλληλη επιλογή της ισχύος του ενδοοφθalmικού φακού που θα χρησιμοποιηθεί καθιστά περιττή την επέμβαση για την διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος (Manche, 1998).

η) Ανασταλτικοί παράγοντες στην επιλογή της LASIK είναι δε αυτοάνοσες ρευματικές παθήσεις του συνδετικού ιστού, όπως το σύνδρομο Sjogren καθώς και παθήσεις του κολλαγόνου, που αποτελεί σημαντικό συστατικό του οφθαλμικού ιστού (Τσουγκράνη και Παναγιωτοπούλου, 2013).

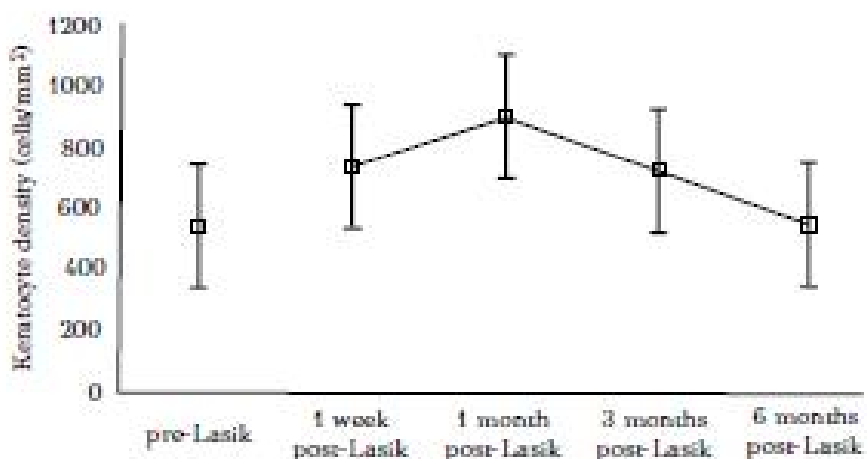
θ) Το γενικό ιατρικό ιστορικό του ασθενούς εξετάζεται με προσοχή στο προεγχειρητικό στάδιο, αφού πέρα από οφθαλμικές παθήσεις, λοιμώδη νοσήματα όπως ο ιός HIV αποτελούν λόγους αποκλεισμού από την επέμβαση. θ₁) Ενδεχόμενες αλλεργίες καθώς και η χρήση συγκεκριμένων φαρμάκων επίσης μπορεί να καταστήσουν ακατάλληλη τη μέθοδο LASIK για τη διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος. θ₂) Από την επέμβαση αποκλείονται επίσης οι γυναίκες κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης και της γαλουχίας λόγω της πιθανότητας αλλαγής του διαθλαστικού σφάλματος. καθώς και θ₃) οι ασθενείς που πάσχουν από σακχαρώδη διαβήτη λόγω της τάσης των διαθλαστικών σφαλμάτων να μεταβάλλονται με τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (Manche, 1998).

2.4 Επιπλοκές της μεθόδου LASIK

· Οι διεγχειρητικές επιπλοκές της μεθόδου LASIK συνδέονται κατά κύριο λόγο με την δημιουργία του κερατοειδικού κρημνού αν και είναι αρκετά σπάνιες. Έχει υπολογιστεί ότι τέτοιες περιπτώσεις αναφέρονται γενικά στο 0% με 4% των ασθενών που υποβλήθηκαν σε επέμβαση LASIK (The Royal College of Ophthalmologists, 2006). Έτσι μπορεί να συμβεί η δημιουργία ακανόνιστου-ανώμαλου ή και ημιτελή κρημνού. Στην τελευταία περίπτωση το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με συμπληρωματική επέμβαση. Είναι επίσης δυνατός ο πλήρης αποχωρισμός του κρημνού από τον κερατοειδή (ελεύθερος ή ολικός κρημνός), περίπτωση στην οποία θα χρειαστούν ράμματα για την συγκράτηση του κρημνού στη θέση του. Στις πολύ σπάνιες επιπλοκές περιλαμβάνονται η απώλεια ή και η παραμόρφωση του κρημνού κατά την επέμβαση καθώς και η πιθανή διάτρηση του κερατοειδούς (Τσουγκράνη και Παναγιωτοπούλου, 2013). Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να παρουσιαστεί δυσλειτουργία του μικροκερατόμου και απώλεια του οφθαλμού λόγω αιμορραγίας ή μόλυνσης που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με αντιβιοτικά (AAO, 2012).

· Μετεγχειρητικά, μπορεί να υπάρξει δυσφορία ή πόνος, ενώ η πλειοψηφία των ασθενών εμφανίζει συμπτώματα ξηροφθαλμίας, κυρίως λόγω της εκτομής των επιφανειακών νεύρων, για τα οποία απαιτείται περίοδος έξι μηνών για την ανασύστασή τους (The Royal College of Ophthalmologists, 2006). Υπολείμματα ξένων σωματιδίων ή ινών κάτω από το κρημνό μπορεί να επιφέρουν ερεθισμό ή μόλυνση ενώ το ίδιο μπορεί να συμβεί και από την ανάπτυξη του επιθηλιακού ιστού μεταξύ του κρημνού και των εσωτερικών στρωμάτων του κερατοειδούς, κάτι που επιφέρει μείωση της βέλτιστης

όρασης του ασθενούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο επιθηλιακός ιστός σταθεροποιείται σύντομα μετά την επέμβαση αν και το ποσοστό ανεπιθύμητης ανάπτυξης επιθηλιακού ιστού έχει αναφερθεί να φτάνει μέχρι και το 14,6% των επεμβάσεων LASIK (CÉTS, 2000). Στην περίπτωση αυτή απαιτείται δεύτερη παρέμβαση από τον χειρουργό για την απομάκρυνση του περιττού επιθηλιακού ιστού. Η αντίδραση (wound healing) του κερατοειδούς στο τραύμα που προκαλεί η επέμβαση είναι καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει την εμφάνιση μετεγχειρητικών επιπλοκών. Τα κύτταρα του κερατοειδούς υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι ανενεργά, παρουσιάζουν όμως δραστηριοποίηση μετεγχειρητικά για την επούλωση του τραύματος και την επανάκτηση της μηχανικής σταθερότητας του κερατοειδούς (Δημητρίου. 2011). Η πυκνότητά τους στον κερατοειδή επανέρχεται συνήθως στα φυσιολογικά επίπεδα (περίπου 500 κύτταρα ανά κυβικό χιλιοστό) μετά από έξι μήνες από την επέμβαση (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Πυκνότητα κερατοκυττάρων μετά από διαθλαστική χειρουργική επέμβαση (Δημητρίου. 2011)

· Η μέθοδος LASIK έχει συνδεθεί και 1) με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης εκτασίας του κερατοειδούς λόγω της αποδυνάμωσης του από την επέμβαση και πιο συγκεκριμένα εμφάνισης κερατόκωνου, ενώ στις πιθανές επιπλοκές της περιλαμβάνεται και 2) η αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης ή επιδείνωσης του καταρράκτη (Stewart, 2009). Στις πιθανές επιπλοκές της επέμβασης LASIK στην ποιότητα της όρασης του ασθενούς περιλαμβάνεται και 3) η πιθανότητα επιδείνωσης του αστιγματισμού (Δημητρίου. 2011). Επιπλέον είναι δυνατή η 4) υποδιόρθωση ή υπερδιόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος. Αυτό συμβαίνει συνήθως από λανθασμένες εκτιμήσεις για την επιθυμητή διόρθωση και την εισαγωγή των στοιχείων αυτών στον υπολογιστή κατά το στάδιο της χαρτογράφησης του κερατοειδούς. Κατά τα πρώτα χρόνια εφαρμογής της μεθόδου παρατηρήθηκε μια τάση προς την υπερδιόρθωση των διαθλαστικών σφαλμάτων, με οποιαδήποτε υπερδιόρθωση πάνω από μία διοπτρία να χαρακτηρίζεται ως επιπλοκή (CÉTS, 2000). Στα τελευταία χρόνια

η υποδιόρθωση είναι η πιο συνηθισμένη επιπλοκή αν και στις περισσότερες περιπτώσεις η νέα επέμβαση στον υποδιορθωμένο οφθαλμό είναι δυνατή (Manche, 1998).

· Αρκετοί ασθενείς εκφράζουν παράπονα για 5) «μυγάρια» στην όραση, 6) ελαττωμένη ικανότητα διάκρισης της αντίθεσης (contrast), επιπλοκή που έχει χαρακτηριστεί “LASIK vision” καθώς και 7) για μειωμένη νυχτερινή όραση. Η μειωμένη όραση σε συνθήκες χαμηλού φωτός είναι συχνά παροδική και υποχωρεί μετά από διάστημα από ένα μήνα ως έξι εβδομάδες αν και κάποιοι ασθενείς αντιμετωπίζουν τέτοια συμπτώματα μακροπρόθεσμα. Η επιπλοκή αυτή αποδίδεται στις ιδιαίτερες ανομοιομορφίες της τοπογραφίας του κερατοειδούς (σφάλματα υψηλότερης τάξης) κάθε ασθενή (The Royal College of Ophthalmologists, 2006).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην περίπτωση της χρήσης femtosecond laser αντί για τη λεπίδα του μηχανικού μικροκερατόμου για την δημιουργία του κρημνού στη μέθοδο LASIK (intraLASIK). Η εξέλιξη των femtosecond lasers αφήνει αρκετές υποσχέσεις για το μέλλον αν και στις επιπλοκές αυτής της παραλλαγής περιλαμβάνονται η παροδική ευαισθησία του οφθαλμού στο φως (φωτοφοβία) και η παροδική θόλωση του κερατοειδούς (Κατσικαλάκη, 2013). Η επιδείνωση των σφαλμάτων υψηλότερης τάξης που συνοδεύει την «κλασική» επέμβαση LASIK μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση κυματομετώπων για την ακριβέστερη χαρτογράφηση του κερατοειδούς (wavefront LASIK) που έχει ήδη αναφερθεί. Οι ασθενείς που χρησιμοποίησαν αυτή τη μέθοδο δείχνουν καλύτερα αποτελέσματα σε τομείς όπως η νυχτερινή όραση και η ικανότητα διάκρισης της αντίθεσης (AAO, 2012).

2.5 Αποτελέσματα

Η μέθοδος LASIK παρουσιάζει υψηλή αποτελεσματικότητα ειδικά στην αντιμετώπιση χαμηλής και μέσης μυωπίας. Σχετικές μελέτες πιστοποιούν την επίτευξη οπτικής οξύτητας 20/40 ή μεγαλύτερης για το 86% των ασθενών με χαμηλή μυωπία ή αστιγματισμό την πρώτη μέρα μετά την επέμβαση (Manche, 1998) ενώ ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας σε πιο εκτεταμένο μετεγχειρητικό διάστημα δείχνει οπτική οξύτητα 20/20 στο 30-80% των ασθενών και 20/40 ή μεγαλύτερη στο 70-90% των ασθενών. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται στους μεγάλους βαθμούς μυωπίας. Σε ασθενείς με μέτρια προς υψηλή μυωπία η εμφύτευση ενδοοφθαλμικού φακού δείχνει καλύτερα αποτελέσματα με μεγαλύτερη ασφάλεια (Sanders and Vukich, 2003). Το αποτέλεσμα της επέμβασης LASIK μπορεί να προβλεφθεί με υψηλή ακρίβεια (Stewart, 2009 - Sugar et al, 2002) ιδιαίτερα στην περίπτωση της χαμηλής και μέσης μυωπίας. Με τα πρόσφατα εξελιγμένα lasers η μέθοδος LASIK (αλλά και επιφανειακές χειρουργικές

μέθοδοι όπως η epiLASIK ή η LASEK), δίνουν διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος με απόκλιση μισής διοπτρίας από τον επιθυμητό στόχο στο 85% των περιπτώσεων και με απόκλιση μιας διοπτρίας από τον στόχο στο 99% των περιπτώσεων (Kohnen et al, 2008). Τα αποτελέσματα αυτά ισχύουν στην αντιμετώπιση τόσο της μυωπίας και της υπερμετρωπίας όσο και του αστιγματισμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια της πρόβλεψης των αποτελεσμάτων της επέμβασης LASIK μειώνεται αισθητά στην περίπτωση των υψηλότερων βαθμών μυωπίας.

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου LASIK, εκτός της προβλεψιμότητας του αποτελέσματος είναι η πολύ σύντομη περίοδος αποκατάστασης καθώς και η απουσία πόνου κατά τη διάρκεια της επέμβασης (Shortt et al, 2013). Οι μέσοι χρόνοι αποκατάστασης της όρασης παρατίθενται στον Πίνακα 5. Επιπλέον βασικός λόγος της καθιέρωσης της μεθόδου είναι η αποφυγή της χρήσης γυαλιών ή φακών επαφής (AAO, 2012).

Τεχνική Laser	PRK	LASIK	LASEK
Πόνος	Μέτριος ως σοβαρός ανάλογα με τον ασθενή	Ελάχιστος/καθόλου	Ήπιος για τις πρώτες 24 ώρες ελαφρά ευαισθησία
Ανάκτηση όρασης	2-4 εβδομάδες	1-2 ημέρες	3-6 ημέρες
Σταθεροποίηση της όρασης	Συνήθως 1-3 μήνες, σε κάποιες περιπτώσεις από 6 μήνες ως ένα χρόνο	Συνήθως 1 εβδομάδα ως 1 μήνα, σε δύσκολες περιπτώσεις 3 ως 9 μήνες	Συνήθως 1 εβδομάδα ως 1 μήνα, σε δύσκολες περιπτώσεις 3 ως 9 μήνες
Χρήση φακών επαφής	πρώτες 4-7 ημέρες	Συνήθως δεν απαιτείται η χρήση τους	πρώτες 3-4 ημέρες
Επιστροφή ασθενούς στην εργασία του	Συνήθως σε 1 εβδομάδα, μπορεί να χρειαστεί περισσότερο	2-3 ημέρες	3-6 ημέρες

Πίνακας 5: Μετεγχειρητικά δεδομένα για τις μεθόδους PRK, LASIK και LASEK (The Royal College of Ophthalmologists, 2006)

Σε σύγκριση με την μέθοδο PRK (η οποία θα περιγραφεί στη συνέχεια) η μέθοδος LASIK έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι αφήνει άθικτη τη στιβάδα του Bowman και το επιθήλιο ενώ παρουσιάζει και αυξημένη σταθερότητα της διόρθωσης του διαθλαστικού σφάλματος (CÉTS, 2000). Παρόλα αυτά η μέθοδος LASIK είναι αρκετά πιο πολύπλοκη και απαιτητική για τον χειρουργό, ενώ είναι επίσης πιο ακριβή και μπορεί να παρουσιάσει σοβαρότερες επιπλοκές.

Συμπερασματικά η επικράτηση της μεθόδου LASIK στην αντιμετώπιση ιδιαίτερα της χαμηλής και μέτριας μυωπίας μπορεί να αποδοθεί στην ταχεία

αποκατάσταση της όρασης του ασθενούς σε ικανοποιητικό βαθμό και στην απουσία του πόνου. Η επιλογή της μεθόδου ποικίλλει γεωγραφικά και φτάνει μέχρι και το 80% των επεμβάσεων διόρθωσης της μυωπίας στις Η.Π.Α. (Stewart, 2009).

Οι πιθανές επιπλοκές της μεθόδου LASIK είναι σοβαρές και επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα της όρασης του ασθενούς. Η εξέλιξη όμως της μεθόδου επιτρέπει την πρόληψη ή και την αντιμετώπισή τους.

Η εμφάνιση κερατεκτασίας μετά την επέμβαση LASIK έχει περιοριστεί σε πολύ μικρότερο ποσοστό με την βελτίωση των τεχνικών συσκευών και την αυξανόμενη εμπειρία του οφθαλμιάτρου-χειρουργού καθώς και την αυστηρή προσήλωση στα προεγχειρητικά κριτήρια επιλογής (Stewart, 2009). Η τεχνική της wavefront LASIK δείχνει ότι μπορεί να περιορίσει σημαντικά τα σφάλματα υψηλότερης τάξης αν και προς το παρόν το κόστος είναι ότι η μέθοδος είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση της μυωπίας σε μια στενότερη περιοχή βαθμών καθώς και το ότι απαιτείται μεγαλύτερη (κατά 18 ως 30%) απομάκρυνση κερατικού ιστού, πέρα από το αυξημένο οικονομικό κόστος για τον ασθενή (AAO, 2012).

Η μέθοδος LASIK έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις από τον οφθαλμικό χειρουργό αλλά και στο επίπεδο του εξοπλισμού και της απαιτούμενης συντήρησής του. Η εξέλιξη όμως του σχετικού εξοπλισμού έχει επιφέρει μείωση στον αριθμό εμφάνισης των χειρουργικών επιπλοκών που μπορεί να παρουσιαστούν στην διάρκεια της επέμβασης και σχετίζονται με την δημιουργία του κερατικού κρημνού.

Σε κάθε περίπτωση η επέμβαση LASIK και ο κλάδος της διαθλαστικής χειρουργικής γενικότερα παρουσιάζει έντονη δραστηριότητα τα τελευταία χρόνια με την εισαγωγή καινούργιων τεχνολογικών καινοτομιών με σημαντικά γρήγορο ρυθμό. Οι καινοτομίες αυτές αναμένεται να επεκτείνουν τις δυνατότητες των διαθλαστικών μεθόδων όπως η LASIK στην αντιμετώπιση υψηλότερων βαθμών μυωπίας, υπερμετρωπίας και αστιγματισμού στο προσεχές μέλλον (Manche, 1998). Με την ανάπτυξη των καινοτομιών αναμένεται και καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης των lasers με τους ιστούς ή της διαδικασίας epύλωσης του κερατοειδούς και τον ρόλο της σχετικής φαρμακευτικής αγωγής επιτρέποντας μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της επέμβασης με λιγότερες επιπλοκές.

Κεφάλαιο 3

3.1 Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης της μυωπίας

Πέραν της μεθόδου LASIK, η αντιμετώπιση της μυωπίας και των διαθλαστικών σφαλμάτων του ανθρώπινου οφθαλμού γενικότερα, μπορεί να επιτευχθεί με εναλλακτικές μεθόδους, χειρουργικές ή όχι. Ιστορικά, εκτός της χρήσης γυαλιών ή φακών επαφής, χειρουργικές μέθοδοι χωρίς την χρήση ακτινοβολίας laser, όπως η ακτινική κερατοτομή (RK: Radial Keratotomy) χρησιμοποιήθηκαν για την διόρθωση του μυωπικού οφθαλμού. Με την εισαγωγή των lasers, νέες διαθλαστικές επεμβάσεις, όπως η μέθοδος PRK και οι μέθοδοι LASEK και η EPILASIK τέθηκαν στη διάθεση του οφθαλμίατρου-χειρουργού.

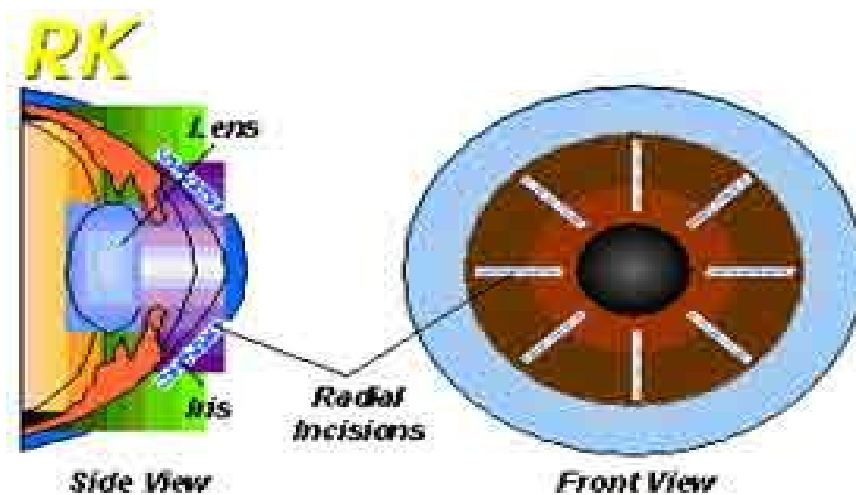
3.2 Χειρουργικοί τρόποι αντιμετώπισης της μυωπίας

3.2.1 Η μέθοδος RK

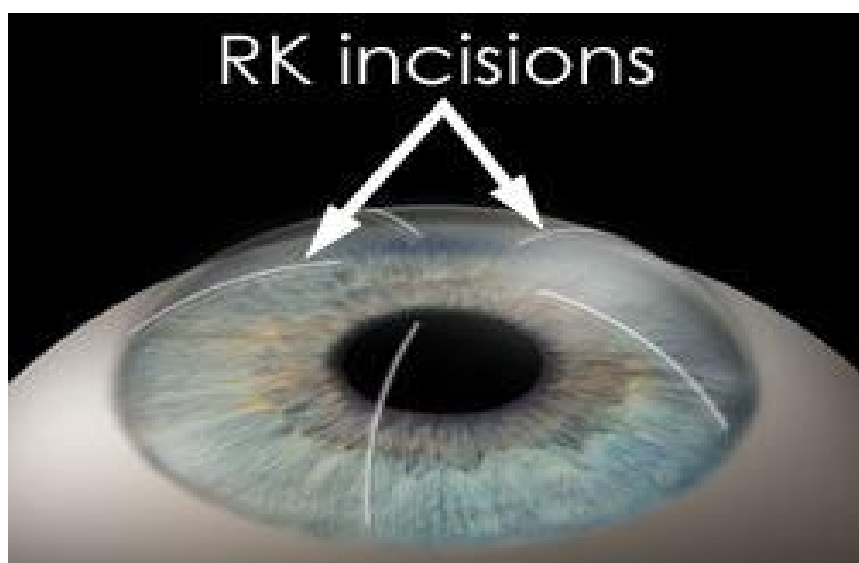
Η δημιουργία τομών στον κερατοειδή για την διόρθωση της μυωπίας μελετήθηκε αρχικά τη δεκαετία του 1940 στην Ιαπωνία εξετάζοντας την επίδραση τομών στον πρόσθιο και οπίσθιο τομέα του κερατοειδή (Ei-Baz, 2007). Ο ρώσος Svyatoslan Fyodorov προχώρησε περισσότερο τη μελέτη της επίδρασης πρόσθιων τομών στην καμπυλότητα άρα και τη διαθλαστική ισχύ του κερατοειδούς. Με την εισαγωγή της στις Η.Π.Α. η μέθοδος RK γνώρισε σημαντική βελτίωση και αύξηση της δημοτικότητας της, ενώ εφαρμόστηκε σε περισσότερους από 2.000.000 ασθενείς μόνο στις Η.Π.Α (Μακριδάκη, 2006).

Η ακτινική κερατοτομή συνίσταται στην δημιουργία τομών στα στρώματα του κερατοειδή (εικόνες 21 και 22) με σκοπό την επιπεδοποίησή του. Το πλήθος, βάθος και η γεωγραφία των τομών ποικίλλει ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του ασθενή και την τεχνική του οφθαλμίατρου, αν και οι τομές συνήθως εκτείνονται σε βάθος περίπου 500μm (Waring et al, 1983). Οι τομές γίνονται με ειδικά, συνήθως αδαμάντινα ή μεταλλικά μικρομαχαιρίδια

(Στράτος, 2009) και συνήθως πραγματοποιούνται από το κεντρικό τμήμα προς την περιφέρεια του. Η ενδοφθάλμια πίεση προκαλεί τα (αποδυναμωμένα) περιφερειακά τμήματα του κερατοειδούς να διασταλούν, επιπεδοποιώντας έτσι την επιφάνεια του (Bergmanson and Farmer, 1999).



Εικόνα 21. Σχέδιο ακτινικών τομών της μεθόδου RK (El-Baz, 2007)



Εικόνα 22. Ενδεικτικές τομές της μεθόδου RK (El-Baz, 2007)

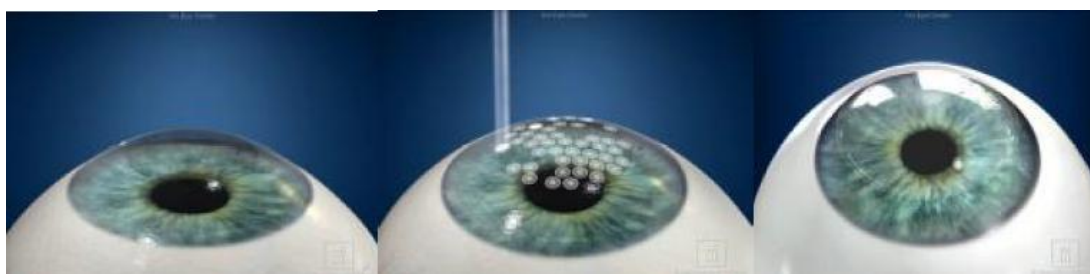
Αν και η επέμβαση καθώς και η αποκατάσταση της όρασης είναι σύντομη, η πλήρης επούλωση του οφθαλμού από τις τομές της μεθόδου RK είναι εξαιρετικά αργή και με ιδιαίτερα χαμηλή προβλεψιμότητα: σε αρκετές περιπτώσεις υπήρξε μόλυνση των πληγών χρόνια μετά την επέμβαση (Binder et al, 1987). Επιπλέον οι ασθενείς που υποβάλλονται στην επέμβαση RK παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης υπερμετρωπίας (hyperopic shift) (Waring et al, 1983). Σε γενικές γραμμές, ενώ τα αποτελέσματα της

μεθόδου RK δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με νεότερες μεθόδους (LASIK, PRK), οι μακροχρόνιες μετεγχειρητικές επιπλοκές της είναι σαφώς μεγαλύτερες, κάτι που οδήγησε στη σταδιακή μείωση της εφαρμογής της μεθόδου από τη δεκαετία του 1990 (El-Baz, 2007 και Bergmanson and Farmer, 1999).

3.2.2 Η μέθοδος PRK

Η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου PRK πραγματοποιήθηκε στη Γερμανία το 1988. Η μέθοδος PRK εγκρίθηκε για την αντιμετώπιση της μυωπίας από τον αρμόδιο αμερικανικό οργανισμό (FDA) το 1995, ενώ έχει υπολογιστεί πως από το Νοέμβριο του 1994 έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από 1.000.000 επεμβάσεις PRK παγκοσμίως (Μακριδάκη, 2006).

Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής (Manche et al, 1998): ο ασθενής ξαπλώνει στην ιατρική καρέκλα και του τοποθετείται κάλυμμα στον οφθαλμό που δεν θα δεχθεί την επέμβαση. Στον οφθαλμό που θα χειρουργηθεί χορηγείται τοπικό αναισθητικό, ενώ ο ασθενής καλείται να επικεντρωθεί σε φωτεινό σήμα ομοαξονικό με την δέσμη laser που θα χρησιμοποιηθεί. Ο χειρουργός προχωρεί στην αφαίρεση του επιθηλίου μηχανικά, είτε με ειδικά βουρτσάκια ή χρησιμοποιώντας το excimer laser που θα διαμορφώσει τον κερατοειδή στη συνέχεια. Σε κάθε περίπτωση δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή βλαβών στη στιβάδα του Bowman, καθώς και στην πλήρη αφαίρεση των κατώτερων στρωμάτων του προς αφαίρεση επιθηλιακού ιστού: επιθηλιακά υπολείμματα θα μπλοκάρουν την εισερχόμενη ακτίνα και θα έχουν ως αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη επαναδιαμόρφωση του κερατοειδούς. Στη συνέχεια ο χειρουργός προχωρά στη διαμόρφωση του κερατοειδούς με τη χρήση του laser (εικόνα 23) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχει αποθηκεύσει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή κατά το προεγχειρητικό στάδιο. Η διαδικασία αυτή διαρκεί λιγότερο από ένα λεπτό. Στο τέλος της διαδικασίας, χορηγείται συνδυασμός αντιβιοτικού και στεροειδούς σκευάσματος, ενώ ο οφθαλμός καλύπτεται για τις επόμενες 3 ημέρες για να βοηθηθεί η αναγέννηση του επιθηλιακού ιστού. Συνήθως αγωγή με κορτικοστεροειδή ακολουθείται για κάποιους μήνες μετά την επέμβαση.



Εικόνα 23. Η κερατοειδική διαμόρφωση κατά τη μέθοδο PRK (Γκόγκου, 2012)

Η μέθοδος PRK ενδείκνυται για την αντιμετώπιση χαμηλής και μέσης μυωπίας ως περίπου 6 dpt (Kohnen et al, 2008). Οι υποψήφιοι για την

επέμβαση πρέπει να είναι μεταξύ 20 με 65 ετών, με σταθεροποιημένη μυωπία για τα τελευταία δύο χρόνια πριν την επέμβαση (Γκόγκου, 2012). Ισχυρές αντενδείξεις για την επέμβαση PRK αποτελούν συστηματικές παθήσεις όπως ο διαβήτης, ιστορικό παρενεργειών από κορτικοειδή και οφθαλμικές παθήσεις όπως ο κερατόκωνος, το γλαύκωμα καθώς και η ξηροφθαλμία (Manche et al, 1998). Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται κατά την εγκυμοσύνη.

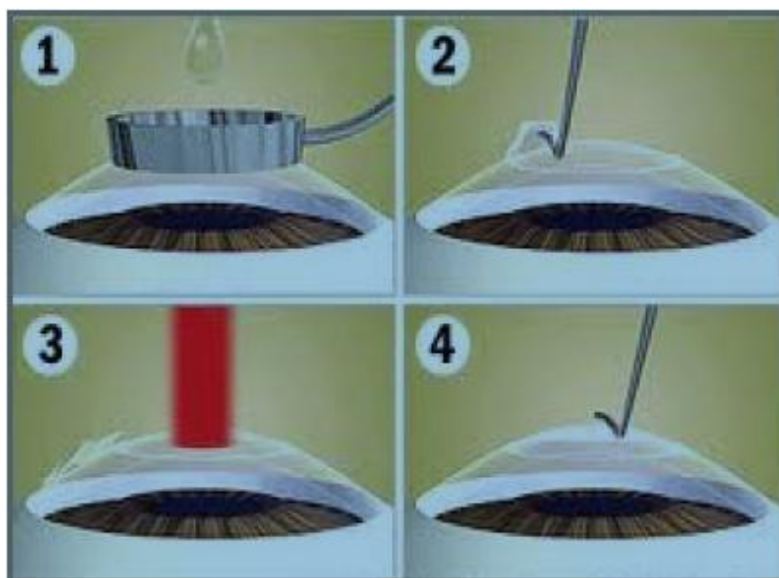
Η μέθοδος PRK παρουσιάζει υψηλή προβλεψιμότητα στην χαμηλή και μέση μυωπία: κλινικές δοκιμές από τον FDA κατέδειξαν διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος με απόκλιση 1 dpt από την επιθυμητή διόρθωση στο 80% των περιπτώσεων (El-Baz, 2007). Επιπλέον πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητά της καθώς και η περιορισμένη αλλαγή της ανατομίας του οφθαλμού: το επιθηλιακό στρώμα σε αντίθεση με τα βαθύτερα κερατοειδικά στρώματα παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αναγέννησης, για αυτό το λόγο η μέθοδος PRK (και οι παραλλαγές LASEK και epiLASIK) ονομάζονται «επιφανειακές» μέθοδοι (Taneri et al, 2004). Παρόλα αυτά η πλήρης επανάκτηση της όρασης μπορεί να χρειαστεί 3 ως 6 μήνες από την επέμβαση, ενώ μετεγχειρητικά ο ασθενής θα νιώσει πόνο για κάποιες μέρες (El-Baz, 2007). Η χρήση των κορτικοειδών μπορεί επίσης να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα, ιδιαίτερα για ασθενείς μεγάλης ηλικίας (Manche et al, 1998). Ίσως η πιο χαρακτηριστική επιπλοκή της μεθόδου είναι το θάμπωμα (haze) του κερατοειδούς το οποίο υποχωρεί κάποιους μήνες μετά την επέμβαση (Στράτος, 2009 - Manche et al, 1998).

3.2.3 Οι μέθοδοι LASEK και EpiLASIK

Η πρώτη επέμβαση LASEK (Laser-Assisted Sub-Epithelial Keratectomy) πραγματοποιήθηκε στην Μασαχουσέτη των Η.Π.Α. από τον χειρουργό Dimitri Azar (Taneri et al, 2004). Πρόκειται στην ουσία για μια παραλλαγή της μεθόδου PRK, στην οποία το επιθήλιο δεν αφαιρείται, αλλά αποδυναμώνεται με τοπική χρήση αλκοόλης (εικόνα 24-1), αναδιπλώνεται με ειδικό εργαλείο (εικόνα 24-2) για όσο χρόνο διαρκεί η εφαρμογή του laser στα υποκείμενα στρώματα του κερατοειδούς (εικόνα 24-3) και επανατοποθετείται στη θέση του (εικόνα 24-4) με την ολοκλήρωση της επέμβασης (Στράτος, 2009). Αξίζει να σημειωθεί πως αν το επιθηλιακό στρώμα δεν είναι αρκετά δυνατό ώστε να επανατοποθετηθεί μετά την διαμόρφωση με laser, αφαιρείται εντελώς οπότε η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με την PRK με την διαφορά της τοπικής χρήσης αλκοόλης. Η πλήρης αφαίρεση του επιθηλίου χρησιμοποιείται συχνότερα στις σύγχρονες επεμβάσεις, αφού σχετικές μελέτες δείχνουν ότι προκαλεί λιγότερο πόνο και ταχύτερη ανάρρωση του επιθηλίου (Liu et al, 2010).

Η μέθοδος LASEK χρησιμοποιείται συχνότερα σε υποψηφίους με κερατοειδείς πολύ λεπτούς ή πολύ επίπεδους για την χρήση της LASIK (El-

Baz, 2007). Η ανάκτηση της όρασης και το μετεγχειρητικό αίσθημα πόνου είναι παρόμοια με την μέθοδο PRK (Liu et al, 2010). Η κυριότερη επιπλοκή της, όπως και στην PRK, είναι η θόλωση του κερατοειδούς, η οποία σε κάποιες περιπτώσεις αποπειράθηκε να αντιμετωπιστεί με χορήγηση μιτομυκίνης, αν και τα αποτελέσματα σχετικών μελετών πάνω στην αποτελεσματικότητά της είναι αμφιλεγόμενα (Taneri et al, 2004).



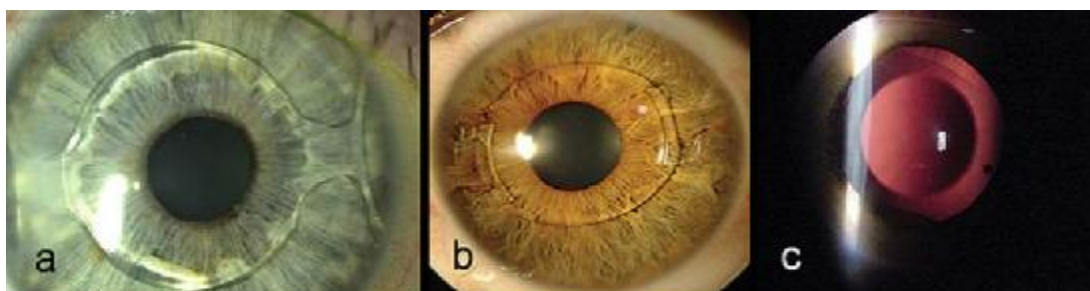
Εικόνα 24. Η μέθοδος LASEK (Γκόγκου, 2012)

Παραλλαγή της μεθόδου LASEK αποτελεί η μέθοδος epiLASIK, στην οποία αποφεύγεται η τοπική χρήση αλκοόλης, αλλά η αφαίρεση του επιθηλιακού στρώματος γίνεται με το πέρασμα πάνω από την επιφάνεια του κερατοειδούς ενός εργαλείου παρόμοιου με τον μικροκερατόμο (επι-κερατόμος) πριν τη χρήση laser (Στράτος, 2009). Η τεχνική αυτή εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακεραιότητα του επιθηλιακού στρώματος σε σχέση με την LASEK και είναι λιγότερο επίπονη, ενώ η απουσία της χρήσης αλκοόλης μηδενίζει την πιθανότητα βλάβης στα βλαστικά κύτταρα του επιθηλίου (Pallikaris et al, 2003).

3.2.4 Ενδοφακοί

Σε γενικές γραμμές οι νεότερες επιφανειακές μέθοδοι (LASEK, epiLASIK) εισήχθησαν με σκοπό να συνδυάσουν το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής της PRK, με την απουσία της κερατοειδικής θόλωσης της LASIK, που αποτελεί επιπλοκή της PRK. Όμως οι τεχνικές αυτές απαιτούν λεπτούς χειρισμούς από τον χειρουργό και δεν έχουν τύχει μεγάλης απήχησης (Στράτος, 2009). Κατά κανόνα χρησιμοποιούνται για χαμηλή ή μέτρια μυωπία όταν το πάχος του κερατοειδή δεν είναι κατάλληλο για την εφαρμογή της LASIK (El-Baz, 2007). Σε περιπτώσεις υψηλής μυωπίας (πάνω

από 8 - 10 dpt), όπου η αποτελεσματικότητα των μέχρι τώρα μεθόδων είναι αμφίβολη, χρησιμοποιείται η χειρουργική εισαγωγή φακών (PIOL: Phakic intraocular lens) στον οφθαλμό για την διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος. Οι PIOLs μπορεί να τοποθετηθούν στον οπίσθιο (εικόνα 25c) ή στον πρόσθιο οφθαλμικό θάλαμο, οπότε και χωρίζονται σε φακούς γωνιακής (angle-supported, εικόνα 25a) ή ιριδικής στήριξης (iris-fixated, εικόνα 25b) αντίστοιχα (Kohnen et al). Οι σκληροί PIOLs κατασκευάζονται από PMMA (Polymethyl methacrylate, πολυμεθακρυλικό μεθύλιο), ενώ διατίθενται και μαλακοί PIOLs με σιλικόνη, οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν με σημαντικά μικρότερη χειρουργική τομή στον οφθαλμό (Lovisololo and Reinstein, 2005).



Εικόνα 25. Ενδοοφθαλμικοί φακοί - PIOLs (Kohnen et al, 2008)

Η τοποθέτηση ενδοφακών παρουσιάζει υψηλή αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία: στο 70% των περιπτώσεων παρουσιάζεται απόκλιση 0,5 dpt από την επιθυμητή διόρθωση, ενώ στο 90% η απόκλιση υπολογίζεται σε 1 dpt, αν και η αποτελεσματικότητά της μειώνεται σε εξαιρετικά υψηλές τιμές μυωπίας, πάνω από 15 dpt (Kohnen et al, 2008). Η μέθοδος αντενδείκνυται σε υποψήφιους κάτω των 21 ετών, σε περίπτωση ανωμαλιών στην ίριδα ενώ απαιτείται ο υποψήφιος να έχει ικανοποιητική πυκνότητα ενδοθηλιακών κυττάρων (πάνω από 2.000 κύτταρα ανά τετραγωνικό χιλιοστό) και βάθος πρόσθιου οφθαλμικού θαλάμου μεγαλύτερο των 3 mm (Huang et al, 2009). Η τοποθέτηση ενδοφακών δεν πραγματοποιείται κατά την εγκυμοσύνη. Οι πιθανές επιπλοκές περιλαμβάνουν την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης καταρράκτη καθώς και οιδήματος του οπτικού δίσκου από την επέμβαση, αν και οι σύγχρονοι ενδοφακοί μειώνουν την πιθανότητα αυτή (Lovisololo and Reinstein, 2005).

Εκτός της τοποθέτησης του φακού στον οφθαλμικό θάλαμο, υπάρχει και η δυνατότητα αντικατάστασης του οφθαλμικού φακού με τεχνητό (Refractive lens exchange ή RLE). Τομή δημιουργείται στα άκρα του κερατοειδούς και ο φυσικός φακός θρυμματίζεται με τη βοήθεια υπερήχων και αφαιρείται με αναρρόφηση. Στη συνέχεια τοποθετείται στη θέση του μονοεστιακός ή πολυεστιακός τεχνητός φακός, με τους πολυεστιακούς φακούς να έχουν το πλεονέκτημα της βελτιωμένης όρασης τόσο σε κοντινά όσο και σε μακρινά αντικείμενα (Kohnen et al, 2008). Αν και η μέθοδος RLE είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική παρουσιάζοντας απόκλιση 0,5 dpt στο 80%

των περιπτώσεων μυωπίας μέχρι 15 dpt (Kohnen et al, 2008), οι πιθανές επιπλοκές της είναι σημαντικές (El-Baz, 2007) και περιλαμβάνουν την μειωμένη νυχτερινή όραση, την εμφάνιση οιδημάτων στην περιοχή της ωχράς κηλίδας καθώς και την πιθανότητα αποκόλλησης του αμφιβληστροειδούς.

3.2.5 Άλλες χειρουργικές μέθοδοι

Λιγότερο διαδεδομένη τεχνική διόρθωσης της μυωπίας είναι η χειρουργική τοποθέτηση ενδοκερατοειδικών δακτυλίων (Intracorneal ring segments ICRS). Οι δακτύλιοι τοποθετούνται στην περιφέρεια του κερατοειδούς και δρουν συμπιέζοντας τα περιφερειακά τμήματά του. Αν και η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της εύκολης αλλαγής των δακτυλίων για προσαρμογή της διαθλαστικής διόρθωσης, ενδείκνυται για χαμηλές τιμές μυωπίας, μέχρι 3 dpt (El-Baz, 2007).



Εικόνα 26. Ενδοκερατοειδικοί δακτύλιοι - ICRS (El-Baz, 2007)

Διαφορετική τεχνική αποτελεί και η διαστρωματική κερατοπλαστική (Automated Lamellar Keratoplasty ή ALK) στην οποία χρησιμοποιείται ο μικροκερατόμος τόσο για την δημιουργία του κρημνού όσο και για την διορθωτική εκτομή των υποκείμενων στρωμάτων. Η μέθοδος ALK χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση πολύ υψηλών τιμών μυωπίας, αν και το αποτέλεσμα της επέμβασης δεν μπορεί να προβλεφθεί με την ακρίβεια των μεθόδων PRK και LASIK (Binder, 1996).

Νεότερες μέθοδοι όπως η μέθοδος ReLex (και η νεότερη παραλλαγή της ReLex smile), δείχνουν ότι θα αποτελέσουν ικανές εναλλακτικές λύσεις των επεμβάσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η μέθοδος ReLex συνίσταται στην αφαίρεση ενός φακοειδούς τμήματος (lenticule) του κερατοειδικού στρώματος για την διόρθωση του διαθλαστικού σφάλματος, μέσω μικρής χειρουργικής τομής (Angunawela et al, 2012). Στην ReLex smile η αφαίρεση αυτή γίνεται μόνο με τη χρήση του femtosecond laser και σύγχρονες δοκιμές

δείχνουν το ποσοστό των οφθαλμών που απέχουν 0,5 dpt από την επιθυμητή διόρθωση να πλησιάζει το 94% (Shah, 2011).

3.3 Μη χειρουργικοί τρόποι αντιμετώπισης της μυωπίας

3.3.1 Αντιμετώπιση μυωπίας με γυαλιά

Η χρήση γυαλιών είναι μια σχετικά συνηθισμένη και η πιο οικονομική απόπειρα αντιμετώπισης της μυωπίας. Αποτελεί μια απλή και ευέλικτη, χωρίς επιπλοκές λύση που η χρήση της ανάγεται στον 13ο αιώνα (Tariq and Koay, 2013), ενώ τα περισσότερα προβλήματα που παρουσιάζει σχετίζονται με θέματα πρακτικότητας (όπως η μειωμένη περιφερειακή οπτική διόρθωση) ή αισθητικής (όπως το αυξημένο πάχος των φακών σε περιπτώσεις υψηλής μυωπίας).

Η πλειοψηφία των φακών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό υλικό (allyl diglycol carbonate ή CR-39), ενώ η χρήση γυάλινων φακών (συνήθως από ορισμένους τύπους στεφανύαλου ή crown glass) έχει περιοριστεί αρκετά λόγω του αυξημένου βάρους και της ευκολίας θραύσης τους (Smith and Atchison, 1997). Οι πλαστικοί φακοί προσφέρουν μειωμένο βάρος και αυξημένη μηχανική αντοχή, αν και είναι σχετικά εύκολη η δημιουργία χαράξεων και σημαδιών στην επιφάνειά τους. Πολυμερή όπως το πολυανθρακικό πολυμερές (polycarbonate) ή η πολυουρεθάνη (polyurethane) και προσμίξεις όπως το τιτάνιο χρησιμοποιούνται για την αύξηση του δείκτη διάθλασης και την συνεπακόλουθη μείωση του πάχους των πλαστικών και γυάλινων φακών αντίστοιχα (Davis, 1990). Επιπλέον, ειδικές επιστρώσεις της επιφάνειας του φακού βοηθούν στον περιορισμό των αντανάκλασεων, στην προστασία του οφθαλμού από την υπεριώδη ακτινοβολία καθώς και στην βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του φακού. Οι επιστρώσεις για την προστασία από την αντανάκλαση αποτελούνται συνήθως από ένα ή περισσότερα στρώματα ανόργανων οξειδίων όπως το διοξείδιο του τιτανίου ή του πυριτίου, ενώ οι ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της μηχανικής αντοχής του φακού βασίζονται στο πυρίτιο και σε οργανικά πολυμερή (Smith and Atchison, 1997). Τα υλικά κατασκευής των φακών καθώς και των επιστρώσεων τους έχουν υποστεί σημαντικές βελτιώσεις και συνεχίζουν να είναι το αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας (Jalie, 1997).

Η αντιμετώπιση της μυωπίας επιτυγχάνεται με τη χρήση μονοεστιακών φακών, οι οποίοι χωρίζονται σε δύο τύπους (Κατσούλος και Ασημέλλης, 2008): Ο πρώτος τύπος βασίστηκε σχεδιαστικά στους φακούς Punktal της εταιρείας Zeiss, και χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλο κεντρικό πάχος και καμπυλότητα της πρόσθιας επιφάνειας. Η δεύτερη κατηγορία έχει μειωμένο πάχος και μικρότερη καμπυλότητα με αντίτιμο την αύξηση της παραμόρφωσης και των περιφερειακών εκτροπών, οι οποίες, επιπλέον,

αυξάνονται με μεγαλύτερο ρυθμό όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του φακού.

Μια πιο σύγχρονη προσέγγιση αποτελούν οι ασφαιρικοί φακοί, στους οποίους η καμπυλότητα της πρόσθιας επιφάνειας είναι μειωμένη και το προφίλ της διαφοροποιείται από τους σφαιρικής ή κυλινδρικής μορφής φακούς (Δρακόπουλος και Ασημέλλης, 2011). Το βασικό πλεονέκτημα των ασφαιρικών φακών είναι η μείωση των περιφερειακών σφαλμάτων ενώ έχουν επίσης μειωμένο πάχος, αν και η μείωση του πάχους είναι μικρότερη στους μυωπικούς ασφαιρικούς φακούς σε σχέση με τους υπερμετρωπικούς φακούς (Κατσούλος και Ασημέλλης, 2008).

Σε γενικές γραμμές, η επιλογή του φακού και του σκελετού δεν παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες στις μικρές μυωπίες. Στις μεγάλες μυωπίες το αυξημένο πάχος του φακού μπορεί να έχει αντιαισθητικό αποτέλεσμα, ενώ το ίδιο συμβαίνει με την φαινόμενη σμίκρυνση των ματιών του χρήστη των φακών από εξωτερικό παρατηρητή (Κατσούλος και Ασημέλλης, 2008). Επίσης, στους μεγάλους βαθμούς μυωπίας γίνονται εντονότερες οι περιφερειακές εκτροπές, δηλαδή το σφάλμα ισχύος του φακού που προκύπτει όταν ο χρήστης κοιτά μέσα από τα γυαλιά του από περιφερειακά σημεία του φακού (Davis, 1990). Ιδιαίτερη σημασία για τον περιορισμό αυτών των σφαλμάτων έχει η απόσταση των φακών από την επιφάνεια της κόρης του οφθαλμού (Ελληνική Οφθαλμολογική Εταιρεία, 1996). Η μείωση της απόστασης αυτής με την προσέγγιση του σκελετού στους οφθαλμούς εξαρτάται όμως από τα ανατομικά χαρακτηριστικά του μύωπα καθώς και από την κατασκευή του σκελετού των γυαλιών. Η συνολική επιφάνεια του φακού επίσης επηρεάζει τα περιφερειακά σφάλματα, αφού μικρός σε μέγεθος σκελετός μειώνει την χρήση σημείων του φακού μακριά από το οπτικό του κέντρο (Κατσούλος και Ασημέλλης, 2008). Η χρήση ασφαιρικών φακών μπορεί να περιορίσει αυτό το φαινόμενο, αλλά όχι σε βαθμό που να μη γίνεται αισθητό.

3.3.2 Αντιμετώπιση μυωπίας με φακούς επαφής

Η χρήση φακών επαφής είναι μια δημοφιλής μέθοδος για την αντιμετώπιση της μυωπίας ιδιαίτερα στους νέους σε ηλικία μύωπες (Morgan, 2011). Πέρα από την απλότητά της, η χρήση φακών επαφής σε σχέση με την χρήση γυαλιών προσφέρει καλύτερη περιφερειακή όραση και αισθητική βελτίωση ιδιαίτερα στην περίπτωση μεσαίας ή υψηλής μυωπίας. Οι διαθέσιμοι εμπορικά φακοί επαφής χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: σκληρούς και μαλακούς. Οι σκληροί ή άκαμπτοι φακοί (rigid lenses) είναι λιγότερο δημοφιλείς, λόγω της αίσθησης του χρήστη της παρουσίας ενός ξένου αντικειμένου στο μάτι. Κατασκευάζονται από ακρυλικό φιλμ (PPMA: πολυμεθυλμεθακρυλικό) και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί, όμως απαιτούν συχνή

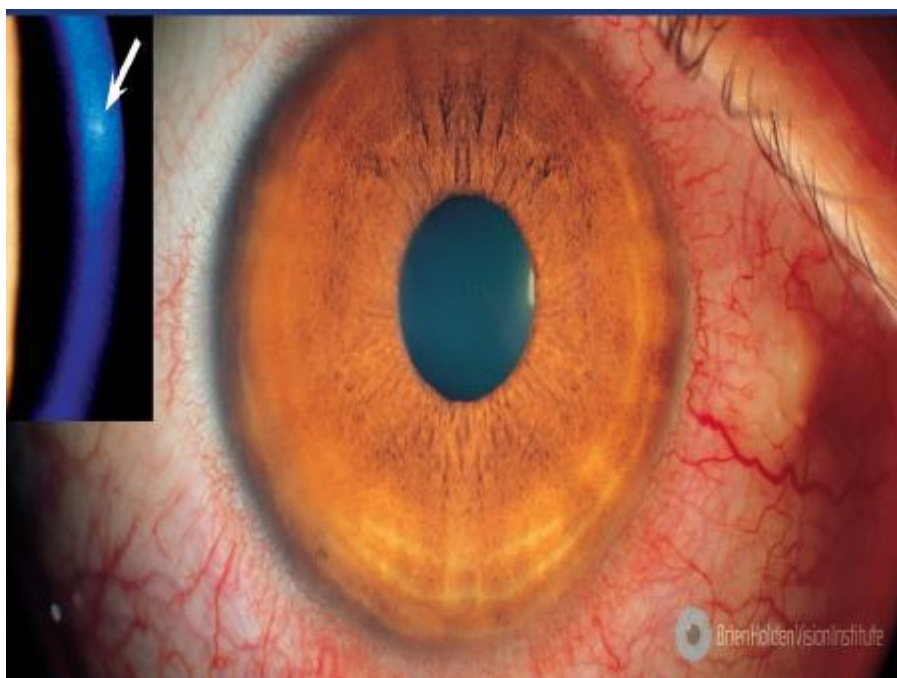
αλλαγή, λόγω του ότι δεν επιτρέπουν την επαρκή εισροή οξυγόνου στον οφθαλμό (Ελληνική Οφθαλμολογική Εταιρεία, 1996). Πιο προηγμένα πλαστικά υλικά (όπως η ακρυλική σιλικόνη ή το στυρένιο) επέτρεψαν την δημιουργία σκληρων φακών διαπερατών από το οξυγόνο (RGP: rigid gas permeable lenses) (Medical Device Control Office: MDCO, 2014). Οι φακοί RGP οι οποίοι αν και μπορούν να χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, είναι λιγότερο ανθεκτικοί από τους σκληρούς φακούς και επιπλέον έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα συγκέντρωσης αποθεμάτων (π.χ. πρωτεϊνών) στον οφθαλμό (Roach, 2012). Οι σκληροί φακοί αλλάζουν την μορφή της εξωτερικής επιφάνειας του ματιού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διόρθωση αστιγματικών σφαλμάτων (Ελληνική Οφθαλμολογική Εταιρεία, 1996). Οι μαλακοί φακοί είναι πιο δημοφιλείς λόγω της απουσίας αίσθησης ξένου αντικειμένου στο μάτι. Η εισαγωγή τους σημειώθηκε μεταγενέστερα από τους σκληρούς φακούς, με την εισαγωγή των φακών υδρογέλης (hydrogel) το 1960 και αργότερα των φακών σιλικόνης – υδρογέλης (silicone hydrogels) που, αν και λίγο σκληρότεροι, αποσκοπούσαν να συνδυάσουν την άνεση των φακών υδρογέλης με την υψηλή διαπερατότητα της σιλικόνης από το οξυγόνο (MDCO, 2014). Σε αντίθεση με τους άκαμπτους φακούς οι λεπτοί μαλακοί φακοί δεν διορθώνουν αστιγματικά σφάλματα αφού δεν διατηρούν το σχήμα τους, ενώ αν είναι πολύ λεπτοί μπορούν να μετακινηθούν εύκολα από έναν απότομο βλεφαρισμό προκαλώντας δυσφορία στον χρήστη (Roach, 2012).

Εναλλακτική μορφή χρήσης φακών επαφής αποτελεί και η ορθοκερατολογία (Ortho-K), η οποία συνίσταται στη χρήση άκαμπτων φακών αντίστροφης γεωμετρίας (δηλαδή με μειωμένη καμπυλότητα στο κέντρο σε σχέση με την περιφέρεια) για τη μηχανική επιπέδωση του κερατοειδούς (Κατσούλος και Μακρυνιώτη, 2010). Οι φακοί είναι διαπερατοί από το οξυγόνο για να τοποθετούνται κατά τη διάρκεια του ύπνου χωρίς επιπλοκές και χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση μυωπίας ως 6 dpt (Χυ and Jhanji, 2001).

Η συχνότητα αντικατάστασης των φακών επαφής εξαρτάται από το διαθλαστικό σφάλμα αλλά και τις προτιμήσεις του χρήστη. Στην περίπτωση χαμηλής μυωπίας οι περισσότεροι μύωπες επιλέγουν μαλακούς φακούς υδρογέλης λόγω της άνεσης στη χρήση τους, όμως αν παρουσιάζονται φαινόμενα υποξίας (οίδημα, υπεραϊμία επιπεφυκότα), είναι προτιμότερη η χρήση φακών σιλικόνης – υδρογέλης, ενώ αν ο χρήστης παρουσιάζει προβλήματα στη λιπώδη ή βλενώδη στιβάδα οι φακοί σιλικόνης – υδρογέλης αποφεύγονται, λόγω της τάσης της σιλικόνης να συσσωρεύει λιπίδια. Σε περιπτώσεις ξηροφθαλμίας οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε προβληματική υδάτινη στιβάδα, οι σκληροί αεροδιαπερατοί φακοί προτιμούνται από τους μαλακούς υδρόφιλους (Κατσούλος και Μακρυνιώτη, 2010). Στις υψηλές μυωπίες μια βασική παράμετρος είναι το αυξημένο πάχος του φακού, ενώ αν

η μυωπία συνοδεύεται και από αστιγματισμό μεγαλύτερο της 1 dpt, ενδείκνυται η χρήση άκαμπτων φακών για την διόρθωση του αστιγματικού σφάλματος.

Η χρήση φακών επαφής μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές επιπλοκές ιδιαίτερα αν ο χρήστης δεν εφαρμόζει προσεκτικά τις οδηγίες καθαρισμού και συντήρησης των φακών, δεν έχει καλή υγιεινή ή κάνει αλόγιστη χρήση τους. Η τοποθέτηση του φακού εμποδίζει την παροχή οξυγόνου και μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα υποξίας, όπως οιδήματα, αιμορραγίες καθώς και μεταβολές στη μορφολογία του επιθηλίου και ενδοθηλίου (Jones LW and Jones DA., 2001). Επιπλέον η εισαγωγή ενός ξένου αντικειμένου στον οφθαλμό οδηγεί στην δημιουργία ενός στρώματος μικροοργανισμών που προέρχονται από το φακό, το διάλυμα καθαρισμού και τα χέρια του χρήστη, το οποίο πέρα από εστία παθογενειών είναι υπεύθυνο και για μειωμένη αντίσταση του οργανισμού (Slusher et al,1987). Στο φαινόμενο αυτό επιδρά αθροιστικά τόσο η συγκέντρωση αποθεμάτων στην επιφάνεια του φακού όσο και η επίδραση του φακού στο δακρυϊκό μηχανισμό του οφθαλμού (Tariq and Koay, 2013). Η αυξημένη πιθανότητα εισαγωγής παθογόνων μικροοργανισμών (*Pseudomonas aeruginosa*, *Acanthamoeba* κ.α.) είναι ιδιαίτερα τονισμένη στην περίπτωση των μη σιλικονούχων μαλακών φακών υδρογέλης λόγω της επίδρασής τους στο επιθήλιο (μεταξύ άλλων μειωμένη μιτοτική δραστηριότητα) (Cavanagh et al, 2010).



Εικόνα 27. Κόκκινος οφθαλμός (Tariq and Koay, 2013)

Στην εικόνα 27 φαίνεται η φωτογραφία «κόκκινου οφθαλμού» που σχετίζεται με τη χρήση φακών επαφής. Πρόκειται για φλεγμονώδη αντίδραση του κερατοειδούς σε τοξίνες που παράγονται από τα συγκεντρωμένα

βακτήρια στην επιφάνεια του φακού, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που ο χρήστης φορά τους φακούς πέρα από την προβλεπόμενη διάρκεια ή κοιμάται με αυτούς. Συνδέεται με υπεραιμία, αίσθηση πόνου και κερατοειδική διείδυση (βέλος) χωρίς συμμετοχή του επιθηλίου (Stapleton et al, 2007).

Η εικόνα 28 δείχνει οφθαλμό με μικροβιακή κερατίτιδα. Η κερατίτιδα είναι μόλυνση του κερατοειδούς από βακτήρια ή πρωτόζωα που χαρακτηρίζεται από διείδυση στο κερατοειδικό επιθήλιο, οιδήματα, νέκρωση και νεοαγγείωση (Tariq and Koay, 2013). Συνοδεύεται από αίσθημα πόνου, αυξημένες εκκρίσεις, φωτοφοβία και μειωμένη οπτική οξύτητα (Stapleton et al, 2007).



Εικόνα 28. Μικροβιακή Κερατίτιδα (Tariq and Koay, 2013)

Η πιθανότητα κερατίτιδας είναι σημαντικά μειωμένη στους χρήστες φακών RGP σε σχέση με όσους χρησιμοποιούν μαλακούς φακούς υδρογέλης (Xu and Jhanji, 2001). Η λανθασμένη ή επιπόλαιη χρήση των φακών αναφέρεται ως ο πιο σημαντικός μεταβλητός παράγοντας επικινδυνότητας στη σχετική βιβλιογραφία (Tariq and Koay, 2013). Κακή υγιεινή και ελλιπής καθαριότητα των φακών ή χρήση τους κατά τη διάρκεια κολύμβησης ή ύπνου οδηγούν στην αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης σοβαρών επιπλοκών. Το ίδιο ισχύει και για την παρατεταμένη χρήση τους, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις υψηλής μυωπίας όπου οι περισσότεροι χρήστες τείνουν να μην χρησιμοποιούν καθόλου τα γυαλιά τους (Κατσούλος και Μακρυγιώτη, 2010).

3.4 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, οι τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν σημειωθεί στην διαθλαστική χειρουργική τα τελευταία χρόνια έχουν αυξήσει σημαντικά την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά της. Στο γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί και η αυξανόμενη επικράτηση της μεθόδου LASIK συγκεκριμένα στην χειρουργική αντιμετώπιση της μυωπίας, μαζί με την απουσία πόνου και την ταχύτερη επανάκτηση της όρασης. Η μέθοδος LASIK χαρακτηρίζεται από προβλέψιμα και σταθερά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση της χαμηλής και μέσης μυωπίας, ενώ η αυξανόμενη τεχνογνωσία αντισταθμίζει τις υψηλές απαιτήσεις της μεθόδου από τον οφθαλμίατρο χειρουργό. Η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αναμένεται να βελτιωθεί περισσότερο όσο παρουσιάζονται βελτιωμένες συσκευές excimer laser και προχωρεί η κατανόηση της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας laser με τους οφθαλμικούς ιστούς. Η εισαγωγή και βελτίωση των femtosecond lasers καθώς και των συσκευών και αντίστοιχων λογισμικών χαρτογράφησης της μορφολογίας του ανθρώπινου οφθαλμού αναμένεται να φανεί εποικοδομητική στην αντιμετώπιση σφαλμάτων υψηλότερων τάξεων.

Σημαντική πρόοδος έχει σημειωθεί και στις υπόλοιπες χειρουργικές μεθόδους αντιμετώπισης της μυωπίας, είτε πρόκειται για την βελτίωση των μικροκερατόμων που χρησιμοποιούνται στη διαθλαστική χειρουργική είτε στους βελτιωμένους πολυεστιακούς ενδοφακούς που εισάγονται στον οφθαλμό. Η σχετική βιβλιογραφία δείχνει ότι η τοποθέτηση τεχνητού ενδοφακού αλλά και η αντικατάσταση του φυσικού φακού με τεχνητό, μπορεί να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια και μειωμένη πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών. Επομένως οι ενδοφακοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα ως λύση ιδιαίτερα στην περίπτωση της υψηλής μυωπίας.

Οι μη επεμβατικές μέθοδοι, όπως η χρήση γυαλιών ή φακών επαφής, εξακολουθούν να προσφέρουν πληθώρα επιλογών στον υποψήφιο χρήστη, ενώ συνεχίζουν να παρουσιάζονται βελτιωμένα μοντέλα τόσο διορθωτικών φακών για γυαλιά όσο και φακών επαφής. Οι φακοί των γυαλιών έχουν υποστεί διαδοχικές αυξήσεις του δείκτη διάθλασης για την κατασκευή λεπτότερων φακών αν και αισθητικά οι φακοί επαφής προτιμούνται για τις περιπτώσεις υψηλής μυωπίας. Θα πρέπει όμως να τονιστεί πως η εμφάνιση επιπλοκών από τη χρήση φακών επαφής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υπευθυνότητα που θα δείξει ο μύωπας κατά την χρήση τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

4.1 ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AAO: American Academy of Ophthalmology. "Refractive Laser Surgery: An In-Depth Look at LASIK and Brief Overview of PRK, Epi-LASIK, and LASEK: A Science Writer's Guide".2012.

[http://dl4a.org/uploads/pdf/LASER Surg LASIK SWGuideNewsroom.pdf](http://dl4a.org/uploads/pdf/LASER_Surg_LASIK_SWGuideNewsroom.pdf)

Προσπελάστηκε 28 Αυγούστου, 2014.

Angunawela RI, Riau AK, Chaurasia SS, Tan DT, and Mehta JS. "Refractive Lenticule Re-Implantation after Myopic ReLEx: A Feasibility Study of Stromal Restoration after Refractive Surgery in a Rabbit Model", 2012, Investigative Ophthalmology & Visual Science, 53 (8): 4975-85.

Bergmanson JP and Farmer EJ. "A return to primitive practice? Radial keratotomy revisited". Cont Lens Anterior Eye, 1999, 22 (1): 2–10.

Berman Kevin "Lasik eye surgery - series", 2012, ιστότοπος της U.S. National Library of Medicine, NIH: National Institute of Health.

http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/presentations/100206_5.htm.

Προσπελάστηκε 10 Αυγούστου, 2014.

Binder PS "PPA: Automated Lamellar Keratoplasty", 1996, Ophthalmology, 103 (11): 1714–1715.

Binder PS, Nayak SK, Deg JK, Zavala EY and Sugar J. "An ultrastructural and histochemical study of long-term wound healing after radial keratotomy". Am. J. Ophthalmology, 1987, 103 (3 Pt 2): 432–40.

Canadian Keratoconus Foundation «What Is Keratoconus», 2013.

<http://keratoconuscanada.org/about-keratoconus/what-is-keratoconus>.

Προσπελάστηκε 10 Αυγούστου, 2014.

Cavanagh HD, Robertson DM, Petroll WM and Jester JV. "Castroviejo Lecture 2009: 40 years in search of the perfect contact lens" Cornea, 2010, 29 (10): 1075-85.

CÉTS: Conseil d'évaluation des technologies de la santé du Québec «The excimer laser in ophthalmology: A state of knowledge update», Montréal: CÉTS, 2000, xi- 103 p.

Davis J. "Prescribing for Visibility", Problems in Optometry, 1990, 2 (1): 131-155.

Donaldson Kendall E., Braga-Mele Rosa, Cabot Florence, Davidson Richard, Dhaliwal Deepinder K., Hamilton Rex, Jackson Mitchell, Patterson Larry,

Stonecipher Karl, Yoo Sonia H. "Femtosecond laser-assisted cataract surgery", J Cataract Refract Surgery Magazine, 2013, volume 39.

DRDO: Defence Research & Development Organization, Ministry of Defence, Government of India "Laser and its Applications", 2009 <http://www.drdo.gov.in/drdo/data/Laser%20and%20its%20Applications.pdf>. Προσπελάστηκε Άυγουστος 2014.

El-Baz Farouk "Development of Refractive Surgery", 2007, The Second International Conference Of Science and Development, Optometry Department, Faculty of science, The Islamic university of Gaza.

FDA: Food and Drug Administration "List of FDA-Approved Lasers for LASIK", 06/13/2014. <http://www.fda.gov>, Προσπελάστηκε 8 Αυγούστου, 2014.

Glaucoma Research Foundation «Types of Glaucoma», 2013. Διαδικτυακός ιστότοπος. <http://www.glaucoma.org/glaucoma/types-of-glaucoma.php>. Προσπελάστηκε 29 Σεπτεμβρίου, 2014.

Hecht Jeff "The History of the X-ray laser", Optics and Photonics News, 2008, 19 (5): 26-33.

Huang D, Schallhorn SC, Sugar A, Farjo AA, Majmudar PA, Trattler WB and Tanzer DJ, "Phakic Intraocular Lens Implantation for the Correction of Myopia", 2009, Ophthalmology, 116 (11): 2244–2258.

Jalie M. "Progressive Power Lenses – Part One", Optician, 1997, 214 (5619): 19-25.

Jones LW and Jones DA. "Non-inflammatory corneal complications of contact lens wear" Cont Lens Anterior Eye, 2001, 24 (2): 73-9.

Kohnen Thomas, Strenger Anja and Klaproth Oliver K. "Correction of Refractive Errors Using Modern Surgical Procedures", Deutsches Ärzteblatt International 2008, 105(9): 163–72.

Lewis, Ricki «Lasers in Dentistry», FDA Consumer, 1995, 29 (1): 15.

Liu XQ, Xu L and Yi CJ. "Flap removal or flap preservation during LASEK surgery", 2010, Cell Biochem Biophys, 57: 45-48.

Lovisol, CF and Reinstein, DZ. "Phakic intraocular lenses", 2005, Survey of ophthalmology, 50 (6): 549–87.

Manche Edward, Carr Jonathan D., Haw Weldon W. and Hersh Peter S. "Excimer Laser Refractive Surgery", West j Med, 1998, 169: 30-38.

Maxon, S., Hagelstein, P., MacGowan, B., London, R., Rosen, M., Scofield, J., Dalhed, S. and Chen, M. « Calculation and design of a Ni-like Eu soft-x-ray laser», Phys. Rev. A, 1988, 37 (6): 2227-2230.

Medical Device Control Office MDCO “Know More About Contact Lenses”, 2014. Department of Health, Hong Kong. Διαδικτυακός ιστότοπος: http://www.mdco.gov.hk/english/emp/emp_gp/files/Know%20More%20About%20Contact%20Lenses_Eng.pdf. Προσπελάστηκε 30 Αυγούστου, 2014.

Morgan PB et al. "International Contact Lens Prescribing in 2004: An analysis of more than 17,000 contact lens fits from 14 countries in 2004 reveals the diversity of contact lens practice worldwide." *Contact Lens Spectrum*. January 2005.

NICE: National Institute for Health and Clinical Excellence “Photorefractive (laser) surgery for the correction of refractive errors”, 2006, NICE interventional procedure guidance 164. www.nice.org.uk/ipg164. Προσπελάστηκε 28 Αυγούστου, 2014.

Olsen Hanne, Hjortdal Jesper O. and Ehlers Niels “Comparison of objective methods for quantifying the refractive effect of photo-astigmatic refractive keratectomy using the MEL-60 excimer laser”, *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 1997, 75(6): 629–633.

Pallikaris IG, Naoumidi II, Kalyvianaki MI and Katsanevaki VJ (August 2003). "Epi-LASIK: comparative histological evaluation of mechanical and alcohol-assisted epithelial separation". 2003, *J Cataract Refract Surg*, 29 (8): 1496–501.

Sanders DR, Vukich JA «Comparison of implantable contact lens and laser assisted in situ keratomileusis for moderate to high myopia», *Cornea*. 2003, 22(4): 324-31.

Serway Raymond A. “Physics for Scientists and Engineers”, 3rd edition, Saunders College Publishing, 1990.

Shah R. “Results of ReLEx® femtosecond Laser Refractive Surgery”, 2011, 69th AIOC Proceedings, Ahmedabad.

Shortt AJ, Allan BD, Evans JR. « Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) versus photorefractive keratectomy (PRK) for myopia», *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2013, Issue 1. Art. No.: CD005135.

Smith G. and Atchison D. “The Eye and Visual Optical Instruments”, Cambridge: University Press, 1997.

Silfvast William T., “Laser Fundamentals”, 2nd edition, Cambridge University Press, 2004.

Singh, S. C., Zeng, H., Guo, C. and Cai, W. “Lasers: Fundamentals, Types, and Operations, in *Nanomaterials: Processing and Characterization with Lasers*” (eds S. C. Singh, H. Zeng, C. Guo and W. Cai), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2012.

Slusher MM, Myrvik QN, Lewis JC and Gristina AG. "Extended-wear lenses, biofilm, and bacterial adhesion" Arch Ophthalmol, 1987, 105 (1):110-5.

Stapleton F, Keay L, Jalbert I and Cole N. "The epidemiology of contact lens related infiltrates", Optom Vis Sci, 2007, 84 (4): 257-72.

Stewart Annie "A Look at LASIK Past, Present and Future". EyeNet Magazine, 2009, (06): 39-44.

Sugar A, Rapuano C.J., Culbertson W. W., Huang D., Varley G. A., Agapitos P.J, de Luise V.P., Koch D.D. "Laser In Situ Keratomileusis for Myopia and Astigmatism: Safety and Efficacy. A Report by the American Academy of Ophthalmology". Ophthalmology 2002, (109): 175–187.

Taneri S, Zieske J.D. and Azar, D.T. "Evolution, techniques, clinical outcomes, and pathophysiology of LASEK: Review of the literature". 2004, Survey of Ophthalmology, 49 (6): 576–602.

Tariq F. and Koay P. "The Risk of Contact Lens Wear and the Avoidance of Complications", 2013, International Journal of Medical Students, 1 (2): 80-85.

The Royal College of Ophthalmologists "A Patients' Guide to Excimer Laser Refractive Surgery", 2006. <http://www.rcophth.ac.uk>. Προσπελάστηκε 1 Σεπτεμβρίου 2014.

Toricelli AA, Bechara SJ, Wilson SE «Screening of Refractive Surgery Candidates for LASIK and PRK», Cornea. 2014, 33(10): 1051-5.

Vijaya L, Manish P, Ronnie G, Shantha B. «Management of complications in glaucoma surgery». Indian Journal of Ophthalmology. 2011; 59 Suppl:S131–40.

Waring GO, Moffitt SD, Gelender H, et al. "Rationale for and design of the National Eye Institute Prospective Evaluation of Radial Keratotomy (PERK) Study". Ophthalmology, 1983, 90 (1): 40–58.

Xu K. and Jhanji V. "Refractive surgery or contact lenses – how and when to decide?", 2001, Clinical Optometry, 3 63–72.

Young Hugh "University Physics, Extended Version with Modern Physics", 8th edition, εκδόσεις Παπαζήση, 1994.

Zdybel Magdalena, Pilawa Barbara and Krzeszewska-Zaręba Anna «Lasers in Ophthalmology, Advances in Ophthalmology», 2012. Dr Shimon Rumelt (Ed.), ISBN: 978-953-51-0248-9, InTech, DOI:10.5772/29433. <http://www.intechopen.com/books/advances-in-ophthalmology/lasers-in-ophthalmology>. Προσπελάστηκε 28 Αυγούστου, 2014.

4.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γκόγκου Αγγελική «Ενδείξεις και Αποτελέσματα Διαθλαστικών Επεμβάσεων», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας, Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας και Ιονίων Νήσων - Διονύσιος Σολωμός, 2012.

Δημητρίου Αρχοντία «Πολυώνυμα Zernike και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα στη μελέτη του σφάλματος στη διαθλαστική χειρουργική». Διπλωματική Εργασία, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Ε.Μ.Π, 2011.

Δρακόπουλος Π. και Ασημέλλης Γ. «Οπτικά όργανα απεικόνισης», εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση, 2011.

Ελληνική Οφθαλμολογική Εταιρεία «Οπτική, διάθλαση και φακοί επαφής», τόμος 3, ιατρικές εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδης, 1996.

Κατσικαλάκη Αικατερίνη «Βιβλιογραφική Ανασκόπηση: femtosecond laser εφαρμογές στη διαθλαστική χειρουργική», Μεταπτυχιακή Εργασία, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οπτική και Όραση», Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2013.

Κατσούλος Κ. και Ασημέλλης Γ. «Η σύγχρονη διαθλαστική εξέταση», εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση, 2008.

Κατσούλος Κ. και Μακρυνιώτη Δ. «Φακοί επαφής. Α΄ Επιστήμη και βασικές αρχές», εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση, 2010.

Κονοφάος Νίκος «Σημειώσεις Οπτοηλεκτρονικής», σημειώσεις του μαθήματος «Εισαγωγή στην Οπτοηλεκτρονική», Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2011.

Κόττου Σοφία «Τα Laser και οι εφαρμογές τους», Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2009.

Μακριδάκη Μαρία «Χρήση φασματοσκοπικών τεχνικών για την εκτίμηση της ενυδάτωσης του κερατοειδούς κατά τη διάρκεια διαθλαστικής χειρουργικής», μεταπτυχιακή εργασία, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Οπτική και Όραση», Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2006.

Μπενής Εμμανουήλ «Φυσική των laser», σημειώσεις του μαθήματος «Φυσική των laser», Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2013.

Μπούσαλης Παναγιώτης Ν. «Χρήση του femtosecond laser στη διαθλαστική χειρουργική του κερατοειδούς και του καταρράκτου», Εισήγηση στο 23ο συνέδριο της Ελληνικής εταιρείας Ενδοφακών Και Διαθλαστικής Χειρουργικής, Αθήνα, 2008.

Παπαδάτου Ελένη «Laser στην Οπτική και Οπτομετρία», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας, Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας και Ιονίων Νήσων - Διονύσιος Σολωμός, 2011.

Πασιδου Πετρούλα «Εφαρμογές των Laser στην Ιατρική», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πληροφορικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2006.

Πολύζος Ιωάννης, «Σύγχρονες Οπτικές Εφαρμογές», σημειώσεις του μαθήματος «Σύγχρονες Οπτικές Εφαρμογές», Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας, Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, 2012.

Στασινοπούλου Βενετία, Ταμπαθάνη Νικολέτα, Χριστογιάννη Μαριάννα «Το Laser και οι εφαρμογές του», εργασία στο μάθημα Ειδικά Θέματα Γεωμετρικών Απεικονίσεων, Σχολή Αρχιτεκτονικής, Ε.Μ.Π., 2005.

Στράτος Αιμιλιανός Α. «Πολυπαραγοντική ανάλυση αποτελεσμάτων διαθλαστικής χειρουργικής», μεταπτυχιακή εργασία, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Οπτική και Όραση», Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2009.

Τόλης Γεώργιος «Μηχανισμοί Παραγωγής και Εκπομπής Φωτός σε Excimer Laser», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πάτρας, 2009.

Τσουγκράνη Δέσποινα και Παναγιωτοπούλου Σοφία «Το λέιζερ στην Ιατρική: Διόρθωση οφθαλμικών διαθλαστικών ανωμαλιών της όρασης», πτυχιακή εργασία, Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας, Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Κοινωνικής Πρόνοιας, Τ.Ε.Ι. Αθηνών, 2103.