



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ**

**ΟΝΟΜΑΤΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:**

**ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΚΑΚΟΥΡΗ ΔΙΑΜΑΝΤΩ**

**ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΠΟΛΥΖΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**Αίγιο, Ιούνιος 2014**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία, με θέμα «Σύγχρονα Οπτικά Όργανα: Τεχνολογία και εφαρμογές τους» που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας του τμήματος Οπτικής και Οπτομετρίας του ανώτατου τεχνολογικού εκπαιδευτικού ιδρύματος Πατρών.

Στο σημείο αυτό αισθανόμαστε μεγάλη ανάγκη να εκφράσουμε της θερμές μας ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Πολύζο Ιωάννη για τις συμβουλές του πάνω στο θέμα της εργασίας μας.

Επίσης, ευχαριστούμε όλους όσους συνέβαλαν με της πληροφορίες και τις γνώσεις τους για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας και να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που μας βοήθησαν να καταφέρουμε το σκοπό μας και να φτάσουμε εδώ που βρισκόμαστε αυτή την τόσο σημαντική ημέρα για εμάς: ειλικρινής ευχαριστίες προς τις οικογένειες μας στους φίλους και συναδέλφους μας που μας βοήθησαν να εκπληρώσουμε το στόχο μας. Εξαιρετικά αφιερωμένη η εργασία μας σε αυτούς τους ανθρώπους για την υπομονή και τη βοήθεια που μας πρόσφεραν όλον αυτόν τον καιρό.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η όραση είναι μία από τις 5 αισθήσεις του ανθρώπου και κατά πολλούς και η σημαντικότερη προκειμένου να μπορεί κάποιος να απολαύσει τη ζωή. Δυστυχώς, οι περισσότεροι άνθρωποι ασχολούνται με την όρασή τους μόνο όταν αρχίσει αυτή να παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα και συχνά η προσφυγή στον οφθαλμίατρο και στον οπτομέτρη-οπτικό γίνεται αρκετά αργά. Ειδικά στη σύγχρονη εποχή, την εποχή της οικονομικής κρίσης, τα μάτια παραμελούνται με καταστροφικά πολλές φορές αποτελέσματα για την ανθρώπινη υγεία.

Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούμε γενικά στην ανατομία του ματιού και έπειτα στα σύγχρονα οπτικά όργανα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έναν οφθαλμίατρο και έναν οπτικό οπτομέτρη σήμερα, για την εξέταση των οφθαλμών.

Αρχικά, θα αναφερθούμε στην σχισμοειδή λυχνία και τις αρχές λειτουργίας της, τα όργανα τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτή, τις βελτιώσεις που έχουν γίνει στην τεχνολογία της σχισμοειδούς λυχνίας σε σχέση με παλαιότερα χρόνια, καθώς και τις παθήσεις τις οποίες μπορούν να διαγνωσθούν με το όργανο αυτό.

Έπειτα, αναφερόμαστε στο κερατόμετρο, την κερατομετρία και τις αρχές λειτουργίας, τα πιο διαδεδομένα είδη κερατόμετρων που χρησιμοποιούνται και που υπάρχουν σήμερα στην αγορά και τις βελτιώσεις που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, καθώς και τις εφαρμογές του κερατόμετρου.

Τέλος, αναφερόμαστε στον τοπογράφο, τις αρχές λειτουργίας του, τις παθήσεις που μπορούν να διαγνωσθούν με τον τοπογράφο, οι βελτιώσεις που έχουν γίνει έως σήμερα στους τοπογράφους και συγκεκριμένες συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξέταση και στον επίλογο θα ανακεφαλαιωθούν τα σημαντικότερα σημεία της εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι «Σύγχρονα Οπτικά Όργανα: Τεχνολογία και Εφαρμογές τους». Σκοπός της είναι να αναφέρει μερικά από τα πιο σημαντικά σύγχρονα οπτικά όργανα που χρησιμοποιούνται από έναν Οφθαλμίατρο και έναν Οπτικό – Οπτομέτρη.

Τα οπτικά όργανα για τα οποία γίνεται λόγος είναι: η σχισμοειδής λυχνία, το κερατόμετρο και ο τοπογράφος. Αναφέρονται οι αρχές λειτουργίας του κάθε οργάνου, οι παθήσεις που μπορούν να διαγνωσθούν από τα συγκεκριμένα οπτικά όργανα και οι βελτιώσεις που έχουν γίνει σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια.

Από την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα οπτικά όργανα τη σημερινή εποχή είναι πιο εξελιγμένα τεχνολογικά και πιο εύκολα στη χρήση τους από έναν Οφθαλμίατρο ή και έναν Οπτικό – Οπτομέτρη για την καλύτερη εξέταση των οφθαλμών.

## ABSTRACT

The subject of this thesis is the << Modern Optical Instrumentation: Technology and Applications >>. Its purpose is to indicate some of the most important modern optical instruments used by an ophthalmologist and a vision - optometrist.

The optics for the question is: the slit lamp, keratometer and the topographer. Describe the principles of operation of each institution, as diseases can be diagnosed by the specific optical instruments and improvements that have been made in relation to the older years.

From this thesis, we conclude that optical instruments present day are more technologically sophisticated and easier to use than an ophthalmologist or a vision - optometry for the best eye examination.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Όραση.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	8
ΟΦΘΑΛΜΟΣ.....	8
2.1. Ανατομία Οφθαλμού.....	8
2.2. Μέρη που αποτελούν το ανθρώπινο μάτι.....	8
2.2.1. Ινώδης χιτώνας:.....	9
2.2.2. Αγγειώδης χιτώνας:.....	9
2.2.3. Αμφιβληστροειδής χιτώνας:.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	11
ΣΧΙΣΜΟΕΙΔΗΣ ΛΥΧΝΙΑ.....	11
3.1. Ιστορικά στοιχεία.....	11
3.2. Σχισμοειδής Λυχνία- Αρχές λειτουργίας.....	12
3.3. Προσαρμογές μηχανημάτων στην σχισμοειδή λυχνία.....	16
3.3.1. Τονόμετρα.....	16
3.3.2. Παχύμετρα.....	16
3.3.3. Μονοκατοπτρικός φακός Goldmann (Γωνιοσκοπία).....	16
3.3.4. Εξέταση του βυθού με φακό Hruby και τρικατοπτρικό φακό Goldmann.....	17
3.3.5. Φωτοπηξία με Laser.....	18
3.3.6. Laser για μέτρηση της Οπτικής Οξύτητας σε ασθενείς με θολά διαθλαστικά μέσα.....	18
3.4. Αναβαθμίσεις σχισμοειδούς λυχνίας.....	18
3.5. Εφαρμογή σχισμοειδούς λυχνίας.....	20
3.6. Τεχνικές φωτισμού και παρατήρησης.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....	22
ΚΕΡΑΤΟΜΕΤΡΟ.....	22
4.1. Ιστορικά στοιχεία.....	22
4.2. Κερατομετρία- Κερατόμετρο.....	23

4.3. Κερατομετρία- Κερατόμετρο - Αρχές λειτουργίας.....	24
4.4. Κερατόμετρα μιας και δύο θέσεων.....	26
4.5. Κερατόμετρα.....	27
4.5.1. Κερατόμετρο Javal-Schiotz.....	27
4.5.2. Κερατόμετρο της Baush and Lomb.....	30
4.5.3.Αυτόματο κερατόμετρο Humphrey.....	32
4.5.4. Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Κερατόμετρων .....	34
4.6. Εξέλιξη Κερατόμετρου .....	34
4.7. Εφαρμογή κερατόμετρου .....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....	36
ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ .....	36
5.1. Ιστορικά στοιχεία .....	36
5.2. Τοπογραφία κερατοειδή .....	37
5.3. Τοπογραφία Κερατοειδή - Αρχές Λειτουργίας .....	40
5.4. Η τεχνολογία της τοπογραφίας.....	43
5.5. Μειονεκτήματα Τοπογραφίας Placido Disk .....	43
5.6 Συστήματα τοπογράφου .....	45
5.6.1 Orbscan σύστημα .....	46
5.6.1.1. Η τεχνολογία Scanning slit.....	46
5.6.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Orbscan.....	47
5.6.2. Scheimpflug imaging σύστημα.....	48
5.6.2.1. Η τεχνολογία της περιστρεφόμενης Scheimpflug camera.....	50
5.7. Λειτουργία τοπογραφικού μηχανήματος.....	52
5.8. Τοπογραφικοί χάρτες .....	52
5.9. Οι κλινικές εφαρμογές της τοπογραφίας του κερατοειδούς: .....	55
5.9.1 Παθολογικές καταστάσεις κερατοειδούς.....	56
5.9.2. Προεγχειρητικός έλεγχος (pre op screening).....	56
5.9.3. Ανώμαλος αστιγματισμός .....	56
5.9.4. Αποτελέσματα της διαθλαστικής χειρουργικής.....	57
5.9.5. Εφαρμογή των φακών επαφής.....	57
5.10. Η ακρίβεια της μέτρησης των τοπογραφικών συσκευών.....	57
5.11. Οι συσκευές.....	59
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	63
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Όραση

Η όραση είναι η κυρίαρχη αίσθηση στον άνθρωπο, περιλαμβάνει την αντίληψη και επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας από το περιβάλλον, σε μήκη κύματος (φάσμα ορατού φωτός), στα οποία είναι ευαίσθητο το αισθητήριο όργανο της όρασης, ο οφθαλμός.

Αν και στην Ελληνική γλώσσα χρησιμοποιείται μόνο η λέξη όραση, η αγγλική γλώσσα χρησιμοποιεί τις λέξεις vision και sight. Η λέξη vision ξεπερνά σε περιεχόμενο τη λέξη sight, μιας και σχετίζεται κάπως περισσότερο με τη συνολική διαδικασία αντίληψης και ερμηνείας αυτών που μπορεί να δει ένας άνθρωπος, ενώ η λέξη sight σχετίζεται με τη μηχανιστική της αντίληψης και όχι της ερμηνείας αυτών που βλέπει ένας άνθρωπος.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι το vision είναι ανθρώπινο, ενώ το sight μηχανικό. Αρκετές φορές η ίδια η λέξη vision αναφέρεται στην ικανότητα του ανθρώπου όχι απλώς να δει κάποια πράγματα, αλλά να διαπιστώσει, πέρα από αυτά, το νόημά τους. Ο μηχανικός 'άνθρωπος' είναι πιθανό να αποκτήσει τέλεια μηχανιστική όραση. Ο άνθρωπος όμως βλέπει κάτι παραπάνω, ακόμα και με την μη τέλεια όραση του.

Το απλούστερο πρότυπο του ανθρώπινου οφθαλμού είναι ένας συγκλίνων φακός με αυτορυθμιζόμενη εστιακή απόσταση, ο οποίος δημιουργεί ένα είδωλο στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδή χιτώνα, όπου βρίσκονται τα φωτοευαίσθητα στοιχεία του οφθαλμού.

Ο οφθαλμός είναι ένα βιολογικό σύστημα, που υπόκειται σε εξέλιξη με το χρόνο και τη φθορά (γήρανση), η οποία επηρεάζει σημαντικά την οπτική απόδοση. Επιπλέον, το πόσο καλά βλέπουμε είναι ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα των οπτικών ικανοτήτων και των δύο οφθαλμών, που περιλαμβάνουν σημαντικά στοιχεία νευροφυσιολογικής λειτουργίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΟΦΘΑΛΜΟΣ

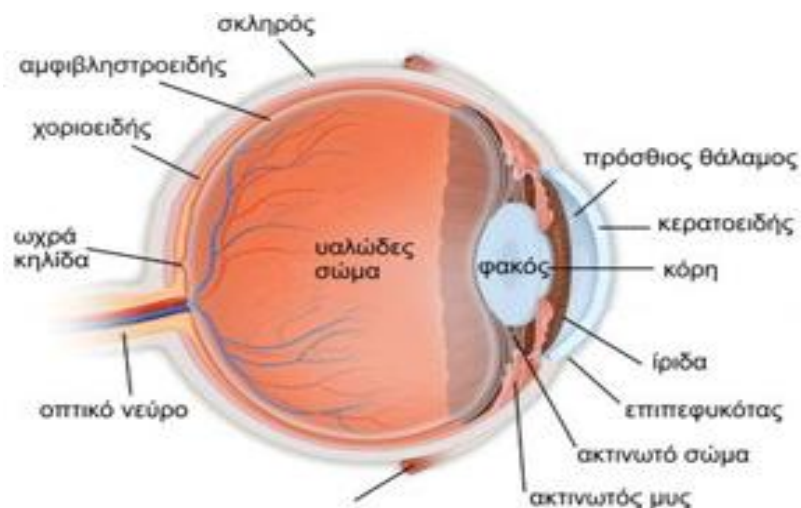
#### 2.1. Ανατομία Οφθαλμού

Τα μάτια είναι τα όργανα της οράσεως που αντιλαμβάνονται το φως και αναγνωρίζουν εάν τα γύρω τους αντικείμενα είναι σκοτεινά ή φωτεινά, καθώς και τα σχήματα και χρώματα που έχουν τα εν λόγω αντικείμενα. Είναι, λοιπόν, αναγκαίο πριν επεκταθεί κάποιος στις παθήσεις του ματιού και τα προβλήματα όρασης να γίνει μία μελέτη της ανατομίας του ματιού ώστε να εντοπιστούν τα τυχόν αίτια των προβλημάτων αυτών και να καταστεί πιο εύκολη η αντιμετώπισή τους.

#### 2.2. Μέρη που αποτελούν το ανθρώπινο μάτι

Εξωτερικά ο οφθαλμός περιβάλλεται από τρεις χιτώνες, από έξω προς τα μέσα

- τον ινώδη
- τον αγγειώδη
- τον αμφιβληστροειδή χιτώνα



*Εικόνα 2.1.: Ανατομία του οφθαλμού*



### **2.2.1. Ινώδης χιτώνας:**

Ο εξωτερικός ινώδης χιτώνας αποτελείται από τον αδιαφανή σκληρό χιτώνα (sclera, το ασπράδι του ματιού) που προστατεύει μηχανικά τον οφθαλμό και συμβάλλει στη σταθερότητα του σχήματός του και το διαφανή κερατοειδή χιτώνα (cornea), που είναι ο φακός σε σχήμα μηνίσκου και αναλαμβάνει σημαντικό μέρος της διαθλαστικής δράσης του οφθαλμού. Στον σκληρό χιτώνα προσφύονται οι μύες που κινούν τον οφθαλμό, ενώ λόγω της σκληρότητάς του στηρίζει και προστατεύει τους υπόλοιπους χιτώνες. Ο κερατοειδής είναι διαυγής, διάφανος, άχρωμος, χωρίς αγγεία με σχήμα σφαιρικό, επιτρέπει τη σύγκλιση του φωτός προς τον κρυσταλλοειδή φακό.

### **2.2.2. Αγγειώδης χιτώνας:**

Ο μεσαίος αγγειώδης χιτώνας αποτελείται από την ίριδα, το ακτινωτό σώμα και το χοριοειδή χιτώνα.

Η ίριδα είναι το έγχρωμο μέρος του οφθαλμού και εμφανίζει στο κέντρο της μια οπή, την κόρη. Περιέχει δύο μύες που ρυθμίζουν το μέγεθος της κόρης και συνεπώς την ένταση του φωτός που πέφτει στον φακό. Οι μύες αυτοί, ο σφιγκτήρας της κόρης και ο διαστολέας της κόρης, είναι λείοι μύες και νευρώνονται από το παρασυμπαθητικό και το συμπαθητικό σύστημα αντίστοιχα. Η λειτουργία τους είναι συνεπώς ανεξάρτητη της βούλησης. Τα χαρακτηριστικά της ίριδας είναι απόλυτα προσωπικά, και αποτελούν βιομετρικό δεδομένο.

Το ακτινωτό σώμα διαθέτει τις ακτινοειδείς προβολές και τον ακτινωτό μυ, που συντελεί στη λειτουργία της προσαρμογής. Πίσω από την ίριδα βρίσκεται ο κρυσταλλοειδής φακός σε σχήμα αμφίκυρτου φακού και αναλαμβάνει κι αυτός μέρος της διαθλαστικής δράσης, αλλά κυρίως, τη λειτουργία της προσαρμογής. Ο φακός συγκρατείται στο ακτινωτό σώμα μέσω των ινών του Zinn και διαχωρίζει τον ενδοφθάλμιο χώρο στον πρόσθιο και τον οπίσθιο πόλο. Ο πρόσθιος πόλος διαχωρίζεται στον πρόσθιο και τον οπίσθιο θάλαμο. Ο πρόσθιος θάλαμος ορίζεται από την εξωτερική επιφάνεια της ίριδας και τον κερατοειδή, ενώ ο οπίσθιος θάλαμος ορίζεται από την εσωτερική επιφάνεια της ίριδας, το ακτινωτό σώμα, τις ίνες του Zinn και την πρόσθια επιφάνεια του κρυσταλλοειδή φακού.

Ο πρόσθιος πόλος είναι γεμάτος με το υδατοειδές υγρό. Η σύστασή του είναι παρόμοια με αυτή του πλάσματος του αίματος, με λίγη διαφορετική αναλογία συστατικών. Το υδατοειδές υγρό βρίσκεται σε συνεχή κυκλοφορία, εκκρίνεται από τις ακτινοειδείς προβολές, διοχετεύεται μέσω της κόρης στον πρόσθιο θάλαμο και είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της ενδοφθάλμιας πίεσης.

Η ενδοφθάλμια πίεση καθορίζεται από την ισορροπία παραγωγής και αποχέτευσης του υδατοειδούς υγρού. Το ρόλο της βαλβίδας ρύθμισης της πίεσης παίζουν οι διάυλοι του Schlemm που βρίσκονται στη γωνία που σχηματίζει ο κερατοειδής με το σκληρό χιτώνα και την ίριδα. Αυξημένη ενδοφθάλμια πίεση μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο οπτικό νεύρο, και επειδή συνήθως δεν προηγούνται συμπτώματα, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη.

Ο οπίσθιος πόλος ορίζεται από την εσωτερική επιφάνεια του κρυσταλλοειδή φακού, το ακτινωτό σώμα, τις ίνες του Zinn και τον αμφιβληστροειδή και είναι

γεμάτος με το υαλοειδές ή το υαλώδες σώμα, ένα παχύρρευστο υγρό με ελάχιστες ιδιότητες.

Ο χοριοειδής χιτώνας περιέχει τα κυριότερα αιμοφόρα αγγεία του οφθαλμού και προσφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά στον αμφιβληστροειδή.

### 2.2.3. Αμφιβληστροειδής χιτώνας:

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας είναι κατά βάση διαφανής πλην των αιμοφόρων αγγείων στην εσωτερική επιφάνεια. Αποτελεί τον αισθητήριο χιτώνα του οφθαλμού.

Η αντίληψη του φωτός γίνεται από τους φωτοϋποδοχείς (photoreceptors), νευρικές απολήξεις που βρίσκονται στο εσωτερικό του αμφιβληστροειδή, στο πίσω μέρος του βολβού και συγκεκριμένα στην ωχρά κηλίδα. Συνδέονται με το οπτικό νεύρο, την οδό μετάδοσης του οπτικού σήματος προς τον εγκέφαλο. Τα φωτοευαίσθητα κύτταρα είναι δύο ειδών, τα κωνία και τα ραβδία. Τα ονόματα αυτά προέρχονται από το σχήμα τους.

Τα κωνία ευαίσθητοποιούνται στο φως της ημέρας, χρησιμοποιούνται δηλαδή για την όραση σε φωτοπικές και μεσοπικές συνθήκες φωτός. Είναι περίπου 5 εκατομμύρια και είναι συγκεντρωμένα στο κεντρικό τμήμα της ωχράς κηλίδας, το βοθρίο. Τα ραβδία 'λειτουργούν' με χαμηλό φωτισμό (σκοτοπικές συνθήκες φωτός), είναι πολύ περισσότερα, περίπου 120 εκατομμύρια και βρίσκονται συγκεντρωμένα κυρίως στην περιφέρεια της ωχράς κηλίδας.



**Εικόνα 2.2.:** Σχήμα ραβδίων και κωνίων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΣΧΙΣΜΟΕΙΔΗΣ ΛΥΧΝΙΑ

#### 3.1. Ιστορικά στοιχεία

Ο πρώτος που δοκίμασε να φτιάξει ένα οπτικό όργανο για την μικροσκοπική παρατήρηση του κερατοειδή χιτώνα ήταν ο Purkyne όπου το 1823 πήρε έναν ισχυρό θετικό φακό για να παρατηρήσει τον κερατοειδή και έναν άλλον για να εστιάσει πλάγιο φωτισμό πάνω στον κερατοειδή. Όπως είναι λογικό το σύστημα αυτό είχε αρκετά προβλήματα στην τεχνική απόδοση και την ευχρηστία, με αποτέλεσμα να χρειαστούν ογδόντα χρόνια περίπου για να προχωρήσει η τεχνολογία ένα βήμα παραπέρα. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα ο Aubert θα κατασκευάσει το πρώτο διόφθαλμο μικροσκόπιο για την παρατήρηση του κερατοειδή. Ο Siegfried Czapski θα σχεδιάσει το πρώτο μικροσκόπιο με περιστροφικά κινούμενη βάση Henker, όπου θα κατασκευαστεί από την Zeiss.

Την λύση θα έρθει να δώσει ο Allvar Gullstrand, ο οποίος χρησιμοποίησε ένα μικροσκόπιο με μεγάλη απόσταση εργασίας και για φωτισμό χρησιμοποίησε την πρόσφατα ανακαλυφθείσα λάμπα Nerst. Το σπουδαίο όμως είναι ότι ενσωμάτωσε το σύστημα φωτισμού μιας σχισμής για τη διαμόρφωση του φωτός και ένα σύστημα φακών, το σύστημα φωτισμού Köhler, για την εστίαση του φωτός στον κερατοειδή. Ο Allvar Gullstrand ονομάστηκε «πατέρας» της σχισμοειδούς λυχνίας και το 1911 πήρε βραβείο νόμπελ στον τομέα Φυσιολογία της Ιατρικής για την ερευνά του «Το μάτι ως διαθλαστική συσκευή».

Το σύστημα φωτισμού ενώθηκε με το μικροσκόπιο, με αποτέλεσμα το φως από τη λάμπα να εστιάζει στο ίδιο σημείο που εστιάζει ο χειριστής το μικροσκόπιο. Ο εστιακός φωτισμός μεγάλης έντασης έδινε στον εξεταστή τη δυνατότητα καλής παρατήρησης και η σχισμή έγινε σταδιακά περιστρεφόμενη και μεταβλητού εύρους, δίνοντας νέες δυνατότητες διάγνωσης. Με αυτό τον τρόπο ο Gullstrand κατάφερε να δημιουργήσει την πρώτη σύγχρονη σχισμοειδή λυχνία, την οποία παρουσίασε στην Χαϊδελβέργη το 1911.

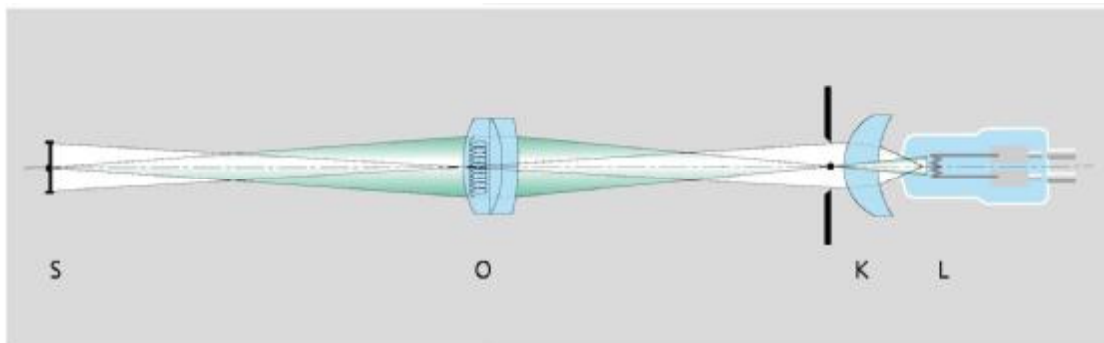
Μέχρι το 1919 δεν έγιναν αρκετές βελτιώσεις. Κατά τον Δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η σχισμοειδή λυχνία βελτιώθηκε πάλι. Σε αυτή τη βελτίωση η σχισμή μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς σε όλη την πρόσοψη. Το 1950 μια εταιρεία η Littmann επανασχέδιασε την σχισμοειδή λυχνία. Ενέκριναν τον έλεγχο με χειριστήριο από το μέσο Goldmann και τη διαδρομή φωτισμού που υπήρχε στο μέσο Comberg. Επιπλέον ο Littmann πρόσθεσε το σύστημα στερεοφωνικού τηλεσκοπίου με ένα κοινό στόχο μεγέθυνσης. Η τελευταία σημαντική εξέλιξη ήταν το 1996 στην οποία περιλαμβάνονται τα πλεονεκτήματα των νέων οπτικά σχισμοειδών λυχνιών.



**Εικόνα 3.1.:** Παλιά σχισμοειδή λυχνία τύπου Littmann

### 3.2. Σχισμοειδής Λυχνία- Αρχές λειτουργίας

Το σύστημα φωτισμού του οργάνου έχει στόχο να δημιουργεί μια σχισμή φωτός με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη φωτεινότητα, σε μια συγκεκριμένη απόσταση από το όργανο, με δυνατότητα να μεταβάλλεται στο μήκος, το εύρος, την θέση και την φωτεινότητα. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση ενός οπτικού συστήματος που λέγεται σύστημα φωτισμού Köhler, όπου αναπτύχθηκε από τον August Köhler κατά την περίοδο που εργαζόταν στην Zeiss. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα στα μικροσκόπια και στους προβολείς διαφανειών 35mm.

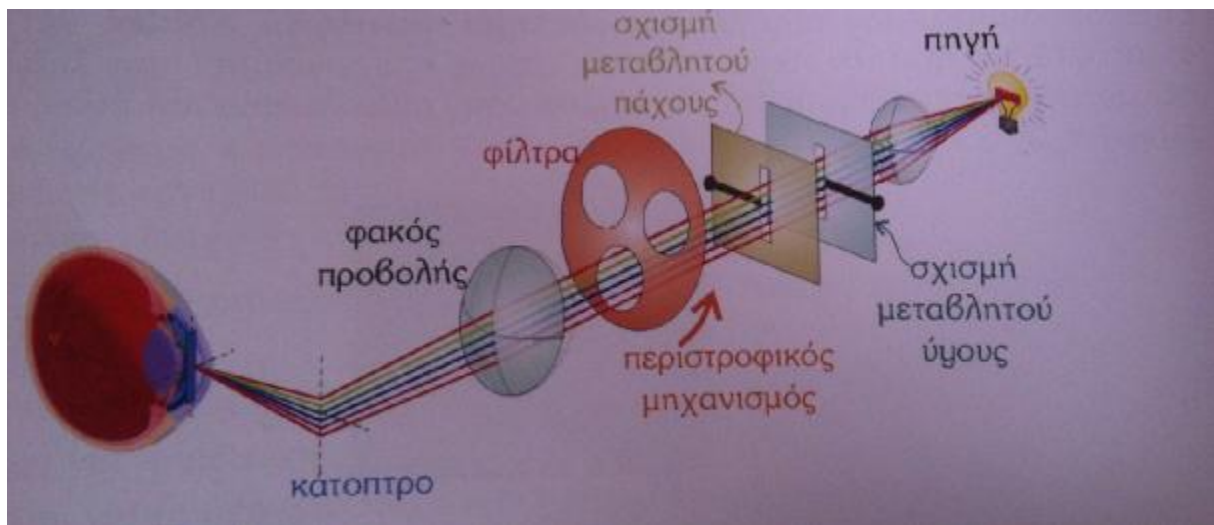


**Εικόνα 3.2.:** Σύστημα φωτισμού Köhler. Όπου, L: Φωτεινή πηγή (π.χ. λαμπτήρας), K: Φακός συλλογής, O: Φακός προβολής και S: Σχισμοειδής απεικόνιση της πηγής

Το πλεονέκτημα του οπτικού αυτού συστήματος είναι να παράγει μια εξαιρετικά ομογενή σχισμή φωτός, ακόμα και από μια πηγή πολύπλοκης μορφολογίας. Χρησιμοποιούνται ακόμα κοίλα κάτοπτρα πίσω από τη λάμπα για να αυξήσουν το ποσοστό του φωτός που διέρχεται από τον ή τους συγκεντρωτικούς φακούς. Τα κέντρα καμπυλότητας των κατόπτρων είναι τέτοια, όπου το είδωλό τους ταυτίζεται με το αντικείμενο. Με αυτή τη διάταξη εξασφαλίζεται η απουσία ανεπιθύμητων ειδώλων από την πηγή.

Στο σύστημα Köhler το είδωλο της πηγής προβάλλεται από τους συγκεντρωτικούς φακούς πάνω ή κοντά στο φακό προβολής. Ο φακός προβολής με τη σειρά του σχηματίζει ένα είδωλο της σχισμής στον οφθαλμό. Ο φακός αυτός έχει μικρή διάμετρο προκειμένου να ελαττωθούν τα οπτικά σφάλματα, ενώ βοηθά και στην αύξηση του βάθους εστίασης, ώστε να παρατηρήσουμε μια καλύτερη οπτική τομή του οφθαλμού. Για την μείωση του χρωματικού σφάλματος χρησιμοποιούνται συστήματα φακών( προβολής και συγκεντρωτικών).

Το εύρος και το μήκος της σχισμής μπορούν να μεταβάλλονται από μια πολύ λεπτή δέσμη σχισμή έως και κυκλική οπή όπου η διάμετρος της είναι όση και το μήκος της σχισμής. Διάφορα φίλτρα μπορούν να εφαρμοστούν μπροστά από τη φωτεινή δέσμη, είτε για να μειωθεί η φωτεινότητά της, είτε για καλύτερη παρατήρηση διαφόρων δομών και φαινομένων.



**Εικόνα 3.3.:** Σύστημα φωτισμού σύγχρονης σχισμοειδής λυχνίας

Σήμερα οι περισσότερες σχισμοειδείς λυχνίες έχουν ενσωματωμένο μόνιμα στην πορεία της φωτεινής δέσμης ένα φίλτρο που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία(φίλτρο UV). Επίσης έχουν και άλλα φίλτρα όπως το μπλε του κοβαλτίου, το πράσινο, το φίλτρο ουδέτερης πυκνότητας και το πολωτικό. Τα παραπάνω φίλτρα εναλλάσσονται με την βοήθεια ενός περιστροφικού μηχανισμού.

Το σύστημα φωτισμού έχει έναν ειδικό σχεδιασμό, με μηχανική σύνδεση λυχνίας-μικροσκοπίου, με αποτέλεσμα το είδωλο της σχισμής να προβάλλεται στο σημείο εστίασης του μικροσκοπίου. Τα δύο συστήματα, λυχνία- μικροσκόπιο, έχουν κοινό κέντρο περιστροφής που ταυτίζεται με το κοινό εστιακό επίπεδο τους. Κατά συνέπεια

και η λυχνία και το μικροσκόπιο μπορούν να περιστρέφονται γύρω από το κέντρο περιστροφής χωρίς να μεταβάλλεται η εστίαση. Σε μερικές όμως τεχνικές εξέτασης χρειάζεται αυτή η μηχανική αποδέσμευση του συστήματος, ώστε η λυχνία και το μικροσκόπιο να εστιάζουν σε διαφορετικά σημεία.

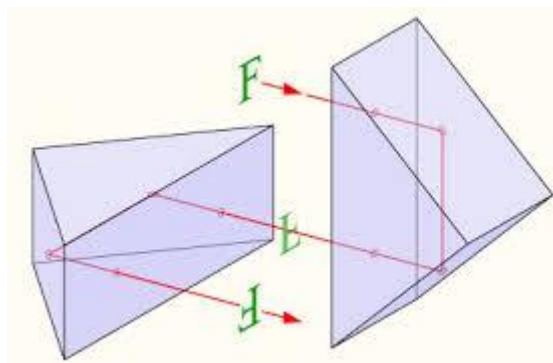
Στις σημερινές σχισμοειδείς λυχνίες η φωτεινή πηγή που χρησιμοποιείται είναι η λάμπα αλογόνου η οποία αντικατέστησε τις λάμπες πυράκτωσης. Αυτή η αντικατάσταση έγινε γιατί οι λάμπες αλογόνου έχουν μικρότερη σκέδαση του φωτός άρα και μικρότερος φθορισμός στα διάφανα υλικά, το φως τους είναι πιο λαμπερό, παράγουν λιγότερη θερμότητα και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Τα μικροσκόπια είναι σχεδιασμένα να παρέχουν μεγάλες αποστάσεις εργασίας, ώστε να διευκολύνεται ο εξεταστής στον χειρισμό του οφθαλμού. Αυτό όχι μόνο δίνει περισσότερο χώρο εργασίας αλλά αφήνει χώρο και για προσαρμογή άλλων οργάνων όπως το τονόμετρο.

Το οπτικό τους σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε ο αντικειμενικός φακός να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τον οφθαλμό(συνήθως 90 με 120mm). Οι μεγεθύνσεις κυμαίνονται μεταξύ 5x και 55x. Οι μικρές μεγεθύνσεις χρησιμοποιούνται για γενική παρατήρηση του οφθαλμού, ενώ οι μεγάλες για πιο λεπτομερή εξέταση.

Τα σύνθετα μικροσκόπια αποτελούνται από ένα αντικειμενικό φακό και ένα προσοφθάλμιο σύστημα φακών με κοινή κύρια εστία. Το τελικό είδωλο είναι ανεστραμμένο και για την ανόρθωσή του χρησιμοποιείται ένα σύστημα πρισμάτων.

Οι προσοφθάλμιοι φακοί και τα πρίσματα μπορούν να περιστρέφονται γύρω από τον οπτικό άξονα του μικροσκοπίου ώστε να προσαρμόζονται σε χειριστές με διαφορετικές κορικές αποστάσεις και με αυτό τον τρόπο να εξασφαλίζεται η διόφθαλμη όραση που είναι απαραίτητη για μια σωστή εξέταση. Επίσης τα προσοφθάλμια μπορούν να ρυθμίζονται, ώστε να διορθώνουν κατά ένα μέρος την σφαιρική αμετρωπία του χειριστή, όταν δεν φοράει φυσικά τα γυαλιά ή τους φακούς επαφής του, με δακτύλιο προσαρμογής διοπτρίας από -5 dpt μυωπία έως +5 dpt υπερμετρωπία.



**Εικόνα 3.4.:** Αναστροφή ειδώλου με σύστημα πρισμάτων

Τα μικροσκόπια των σχισμοειδών λυχνιών ακολουθούν σήμερα δύο κυρίως τύπους σχεδιασμών:

1. Τη σχεδίαση Greenough, όπου περιέχονται δύο τελείως ξεχωριστά συστήματα τα οποία σχηματίζουν γωνία σύγκλισης μεταξύ τους  $14^{\circ}$ - $16^{\circ}$ . Η γωνία αυτή είναι ίση με τη γωνία σύγκλισης που σχηματίζουν οι οπτικοί άξονες των δύο εμμετρικών οφθαλμών, καθώς αυτοί προσηλώνουν σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται στα 25cm. Σήμερα σπάνια εφαρμόζεται, καθώς έχει το σοβαρό μειονέκτημα ότι η μεγέθυνσή μπορεί να μεταβληθεί μόνο με αλλαγή των αντικειμενικών φακών.
2. Το τηλεσκοπικό σύστημα του Galileo, στο οποίο και οι δύο οπτικές διαδρομές αξιοποιούν τον ίδιο αντικειμενικό φακό. Οι μεγεθύνσεις που έχουν τα περισσότερα μοντέλα τηλεσκοπικής σχεδίασης είναι 10x, 16x και 25x. Η σχεδίαση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει πολλούς διαφορετικούς τρόπους μεταβολής της μεγέθυνσης και γι' αυτό εφαρμόζεται στη πλειοψηφία των σύγχρονων σχισμοειδών λυχνιών.

Οι διαφορετικές μεγεθύνσεις σε μια σχισμοειδή λυχνία μπορούν να επιτευχθούν με έναν από τους παρακάτω τρόπους ή με συνδυασμό τους:

- με χρήση διαφορετικών αντικειμενικών φακών,
- με χρήση διαφορετικών προσοφθάλμιων φακών,
- με το τηλεσκοπικό σύστημα Littmann- Galileo και
- με σύστημα φακών μεταβλητής εστιακής απόστασης(zoom).

Είναι μία από τις παλαιότερες τεχνικές. Η χρήση διαφορετικών αντικειμενικών φακών είναι σήμερα η πιο συνηθισμένη. Οι λυχνίες συνήθως έχουν τρεις διαφορετικούς αντικειμενικούς φακούς, οι οποίοι μπορούν να εναλλαχθούν πολύ γρήγορα και προσφέρουν έτσι τρεις διαφορετικές μεγεθύνσεις. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι αντικειμενικοί φακοί λόγω περιορισμένου χώρου.

Η χρήση διαφορετικών προσοφθάλμιων φακών εφαρμόζεται βοηθητικά για να αυξήσει το εύρος των μεγεθύνσεων που προσφέρουν οι άλλες τεχνικές. Είναι όμως μια χρονοβόρα τεχνική επειδή ο εξεταστής πρέπει να αποσυνδέει τα υπάρχοντα προσοφθάλμια και να τα αντικαταστεί με ένα άλλο ζευγάρι.

Στο σύστημα Littmann- Galileo έχουμε ένα ξεχωριστό τηλεσκοπικό σύστημα, που προσαρμόζεται μεταξύ των προσοφθάλμιων και των αντικειμενικών φακών. Συνήθως υπάρχουν τρία τέτοια συστήματα ενσωματωμένα μέσα στο μικροσκόπιο τα οποία καθώς περιστρέφονται εγκάρσια γύρω από τον οπτικό άξονα, προσφέρουν έξι μεγεθύνσεις( οι τρεις είναι ουσιαστικά σμικρύνσεις).

Η χρήση συστημάτων zoom στα μικροσκόπια των λυχνιών γίνεται σταδιακά όλο και πιο δημοφιλής. Παλαιότερα υπήρχαν επιφυλάξεις για την χρήση τους, λόγω μειωμένης οπτικής απόδοσης, μέτριας ευκρίνειας και σημαντικών εκτροπών. Με σύγχρονα σχεδιασμένα συστήματα zoom υπάρχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση και για αυτό προτιμώνται. Το σύστημα zoom ενσωματώνεται στο αντικειμενικό σύστημα φακών.

### 3.3. Προσαρμογές μηχανημάτων στην σχισμοειδή λυχνία

Σε μια σχισμοειδή λυχνία λόγω της μεγάλης απόστασης εργασίας μπορούν να προσαρμοστούν όργανα για διάφορες εξετάσεις.

#### 3.3.1. Τονόμετρα

Η τονομέτρηση είναι η τεχνική μέτρησης της ενδοφθάλμιας πίεσης. Συνήθως εφαρμόζεται το τονόμετρο Goldmann. Το τονόμετρο αυτό χρησιμοποιεί μια σχισμοειδή λυχνία για να φωτίζει το μάτι και για να κάνει αόρατη την χωρίς σφάλμα σφαιρική περιοχή του κερατοειδούς.



*Εικόνα 3.5.: Τονόμετρο Goldmann τοποθετημένο στην σχισμοειδή λυχνία*

#### 3.3.2. Παχύμετρα

Παχομέτρηση είναι η διαδικασία μέτρησης του πάχους του κερατοειδή χιτώνα. Είναι μια πολύ χρήσιμη μέθοδος ειδικά για τα άτομα που φορούν φακούς επαφής, ώστε να γίνεται παρακολούθηση του πάχους του κερατοειδούς καθώς και του προσθίου θαλάμου.

#### 3.3.3. Μονοκατοπτρικός φακός Goldmann (Γωνιοσκοπία)

Η γωνιοσκοπία χρησιμοποιείται για την εξέταση της γωνίας του προσθίου θαλάμου και χρησιμεύει στη διάγνωση του γλαυκώματος κλειστής γωνίας και στην εξακρίβωση μερικών παθολογικών καταστάσεων της ίριδας. Ο μονοκατοπτρικός φακός Goldmann είναι ένας φακός σε επαφή με το μάτι, ο οποίος ενσωματώνει έναν καθρέφτη.





*Εικόνα 3.6.: Μέτρηση της γωνίας του προσθίου θαλάμου*

### **3.3.4. Εξέταση του βυθού με φακό Hruby και τρικατοπτρικό φακό Goldmann**

Με την τοποθέτηση ενός φακού μεταξύ μικροσκοπίου και ματιού μπορεί να γίνει η εξέταση στον βυθό του οφθαλμού. Είναι πολύ χρήσιμη τεχνική καθώς οι σχισμοειδείς λυχνίες δεν μπορούν να εστιάσουν στο μάτι πέρα από το μπροστινό τμήμα του υδατοειδούς υγρού. Αυτό οφείλεται στην διαφορά διοπτρικής ισχύος μεταξύ φακού και κερατοειδούς. Αυτό μπορεί όμως να λυθεί με δύο τεχνικές:

1. χρησιμοποίηση ενός μεγάλης ισχύος αρνητικού φακού (φακός Hruby και τρικατοπτρικός Goldmann)
2. χρησιμοποίηση ενός υψηλής ισχύος θετικού φακού

Χρησιμοποιούνται κυρίως οι αρνητικού φακοί, καθώς οι θετικοί έχουν αρκετά μειονεκτήματα όπως ότι δίνουν μεγάλη καμπυλότητα του πεδίου όρασης. Αυτή η εξέταση μπορεί να γίνει είτε με τον φακό σε απόσταση από το μάτι είτε με τον φακό σε επαφή με το μάτι.



*Εικόνα 3.7.: Εξέταση του βυθού με τρικατοπτρικό φακό Goldmann*

### **3.3.5. Φωτοπηξία με Laser**

Η φωτοπηξία με laser σχετίζεται αρκετά συχνά με τη χρήση σχισμοειδούς λυχνίας. Το προϊόν παραγωγής του laser συνδυάζεται με την φωτεινή πηγή της λυχνίας μέσω του οπτικού νήματος. Ο εξεταστής βλέπει τον βυθό και ρίχνει τη δέσμη φωτός που παράγει το laser στην περιοχή του αμφιβληστροειδή που έχει αλλοίωση, δηλαδή έχει προσβληθεί από κάποια πάθηση.

### **3.3.6. Laser για μέτρηση της Οπτικής Οξύτητας σε ασθενείς με θολά διαθλαστικά μέσα**

Με τη χρήση ενός laser μπορεί να επιτιμηθεί η οπτική οξύτητα ενός ασθενή με διαθλαστικά μέσα (παράδειγμα έναν ασθενή με καταρράκτη). Χρησιμοποιείται ένα laser για να παράγει δύο συνδεδεμένες δέσμες φωτός οι οποίες περνώντας μέσα από το μάτι σχηματίζουν ένα αναμεμιγμένο είδωλο στον αμφιβληστροειδή. Η πιο ευδιάκριτη εικόνα μας δίνει το μέτρο της οπτικής οξύτητας του εξεταζόμενου, μέσω ειδικής διαβάθμισης της συσκευής.

## **3.4. Αναβαθμίσεις σχισμοειδούς λυχνίας**

Οι αναβαθμίσεις που υπάρχουν σήμερα σε μια σχισμοειδή λυχνία είναι:

- ενσωματωμένο ψηφιακό σύστημα απεικόνισης
- επιλεγμένα οπτικά τμήματα και νέος εκτροπέας
- υψηλής ανάλυσης digital κάμερα
- έχουν ενσωματωμένο το κίτρινο φίλτρο για το τεστ φλουροσκεΐνης και για άριστη απεικόνιση των αγγείων του βυθού
- αιχμηρή εικόνα με Led σύστημα φωτισμού
- εύρος σχισμής 14 χιλιοστά
- ειδικές επιστρώσεις στους φακούς του οπτικού συστήματος, των προσοφθάλμιων, του καθρέφτη και του διαχυτή
- ενσωματωμένο φωτισμό βάθους
- συγχρονισμός ευκρίνειας στη σχισμοειδή και στην οθόνη του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή ακόμα και στην απεικόνιση του βυθού
- εύκολο και γρήγορο λογισμικό για την αυτόματη αποθήκευση και διαχείριση της εικόνας



**Εικόνα 3.8.:** Σχισμοειδή λυχνίας νέας γενιάς

Επίσης υπάρχουν και σχισμοειδείς λυχνίες χειρός. Η εξέταση με αυτές τις λυχνίες μπορεί να γίνει οπουδήποτε. Είναι ιδανικές για χρήση σε παιδιά, σε ηλικιωμένους, σε ασθενείς με ειδικές ανάγκες καθώς και για απομακρυσμένες κλινικές. Τα χαρακτηριστικά μιας σχισμοειδής λυχνίας χειρός είναι:

- διαθέτει 2 μεγεθύνσεις 10x και 16x ή μια μεγέθυνση 10X (πιο οικονομική έκδοση)
- ο φωτισμός της είναι αλογόνου με πάνω από 2000 ώρες λειτουργίας
- είναι εύχρηστη και η δέσμη της διαθέτει το μέγιστο μήκος και πλάτος έως 12mm
- έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και πλατιά βάση για εύκολο χειρισμό και τοποθέτηση



*Εικόνα 3.9.: Σχισμοειδή λυχνία χειρός Keeler*

### **3.5. Εφαρμογή σχισμοειδούς λυχνίας**

Η σχισμοειδής λυχνία είναι ένα από τα πιο χρήσιμα διαγνωστικά εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιήσει όχι μόνο ο οφθαλμίατρος αλλά και ένας οπτικός-οπτομέτρης. Επιτρέπει λεπτομερή εξέταση των βλεφάρων, του σκληρού χιτώνα, του κερατοειδή, του προσθίου θαλάμου, του επιπεφυκότα, της δακρυϊκής στοιβάδας και του μηνίσκου δακρύων, της ίριδας, του κρυσταλλοειδούς φακού και του βυθού του οφθαλμού. Είναι ιδιαίτερα πολύτιμη στην εφαρμογή φακών επαφής και στη συνέχεια για την παρακολούθηση των ατόμων που χρησιμοποιούν φακούς επαφής. Ο εφαρμοστής μπορεί να εξετάσει τον οφθαλμό και να αποφασίσει για την καταλληλότητα ή όχι της εφαρμογής των φακών επαφής. Ακόμα μπορεί να αποκαλύψει παθολογία στον πρόσθιο θάλαμο, τα βλέφαρα και τον κερατοειδή η όποια ίσως να αποτελεί αντένδειξη για χρήση φακών επαφής, να ελέγξει την εφαρμογή των μαλακών φακών επαφής παρατηρώντας την κίνηση τους κάτω από την επίδραση των βλεφάρων και να μετρήσει τη διάμετρο του κερατοειδή. Επιπλέον βοηθά τον οπτικό-οπτομέτρη να διαγνώσει παθολογίες του προσθίου θαλάμου ή ακόμα και του οπισθίου με τη βυθοσκόπηση, ώστε να παραπέμψει τον ασθενή άμεσα στον οφθαλμίατρο.

Η εξέταση στην σχισμοειδή λυχνία γίνεται για να διαγνωστούν τυχόν προβλήματα στους οφθαλμούς σε πρώιμο στάδιο και να αντιμετωπιστούν άμεσα. Κάποιες παθήσεις που μπορούν να διαγνωστούν είναι καταρράκτης, επιπεφυκίτιδα, ιρίτιδα, βλεφαρίτιδα, έλκος κερατοειδή, αλλεργική επιπεφυκίτιδα, νεοαγγείωση, κερατόκωνος, αποκόλληση αμφιβληστροειδούς και πολλές άλλες. Επίσης βοηθάει στην παρακολούθηση του γλαυκώματος, της εκφύλισης της ωχράς κηλίδας και στην παρακολούθηση ασθενών με διαβήτη ή ρευματοειδής αρθρίτιδα.

### 3.6. Τεχνικές φωτισμού και παρατήρησης

Για την παρατήρηση των παραπάνω παθήσεων με την σχισμοειδή λυχνία υπάρχουν κάποιες τεχνικές φωτισμού και παρατήρησης, ανάλογα με το μέρος του οφθαλμού που εξετάζεται. Οι τεχνικές αυτές φωτισμού μπορούν να διαχωριστούν σε άμεσες και έμμεσες.

Άμεσες τεχνικές φωτισμού είναι αυτές στις οποίες διατηρείται η μηχανική σύνδεση λυχνίας –μικροσκοπίου και υπάρχει κοινή περιοχή εστίασης. Χρησιμοποιείται για να αναδειχθούν μικρές ανατομικές δομές και οι παθολογικές τους καταστάσεις. Τα είδη της άμεσης τεχνικής φωτισμού είναι:

- Η τεχνική διάχυσης (diffuse), όπου χρησιμοποιείται για γενική παρατήρηση του προσθίου τμήματος του οφθαλμού όπως ο επιπεφυκότας, ο κερατοειδής, η ίριδα, η κόρη καθώς τα βλέφαρα και τις βλεφαρίδες.
- Ο παραλληλεπίπεδος/ φαρδιά δέσμη (parallelepiped- broad beam), όπου η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για παρατήρηση των βλεφάρων, των κανθών, την ίριδα, του σκληρού και του κερατοειδή.
- Η οπτική τομή (optic section), όπου χρησιμοποιείται για λήψη διατομής του κερατοειδούς προκειμένου να παρατηρηθεί οποιαδήποτε αδιαφάνεια καθώς και το βάθος αυτής, όπως και αποπτώσεις επιθηλίου.
- Η τεχνική κατοπτρικής ανάκλασης (spectular reflection), η χρήση της τεχνικής αυτής είναι για παρατήρηση μικρών αδιαφανειών στα πρόσθια στρώματα του κερατοειδή όπως και παρατήρηση του δακρυϊκού φιλμ, του ενδοθηλίου και της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας του κρυσταλλοειδή φακού.

Έμμεσες τεχνικές φωτισμού είναι αυτές στις οποίες διακόπτεται η σύνδεση λυχνίας–μικροσκοπίου και η φωτεινή δέσμη δεν εστιάζει στην ίδια περιοχή με το μικροσκόπιο. Χρησιμοποιείται για να αναδειχθούν μικρές ανατομικές δομές και οι παθολογικές καταστάσεις τους. Τα είδη της έμμεσης τεχνικής φωτισμού είναι:

- Η σκληρική σκέδαση (sclerotic scatter), όπου μπορεί να παρατηρηθεί οίδημα στον κερατοειδή καθώς και αδιαφάνειες ή ανωμαλίες του.
- Ο αντίστροφος φωτισμός (retro-illumination), χρησιμοποιείται για παρατήρηση μικροκυστών και κερατοειδικών διηθήσεων.
- Η τεχνική Transillumination, όπου παρατηρούνται αδιαφάνειες και ανωμαλίες κερατοειδή.
- Η κωνική δέσμη φωτός (conical illumination), όπου χρησιμοποιείται για εξέταση του υδατοειδούς στον πρόσθιο θάλαμο και για ανίχνευση αλλοιώσεων.

Αν η περιοχή παρατήρησης είναι αδιαφανής, κρυσταλλική ή ιριδίζουσα ο άμεσος τρόπος φωτισμού είναι πιο αποτελεσματικός, ενώ αν είναι διαφανής και σχεδόν ορατή ο έμμεσος φωτισμός θα αποκαλύψει καλύτερα τις λεπτές δομές που πιθανότατα θα υπερκάλυπτε ο άμεσος φωτισμός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΚΕΡΑΤΟΜΕΤΡΟ

#### 4.1. Ιστορικά στοιχεία

Στα τέλη της δεκαετίας του 1700 οι επιστήμονες επιχείρησαν να αναπτύξουν τεχνικές μέτρησης της καμπυλότητας του κερατοειδή, εξαιτίας του ενδιαφέροντος να προσδιορίσουν το μηχανισμό της προσαρμογής της όρασης. Ο Jesse Ramsden ήταν ο πρώτος άγγλος οπτικός που κατασκεύασε ένα κερατόμετρο. Αποκλειστικός σκοπός του ήταν να αποδείξει τη θεωρία του Kepler, σύμφωνα με την οποία η προσαρμογή του οφθαλμού οφείλετε σε αλλαγή της καμπυλότητας του κερατοειδούς. Όταν ο Ramsden ανακάλυψε την “θλιβερή αλήθεια” ότι ο κερατοειδής δεν αλλάζει σχήμα, απογοητεύτηκε και πέταξε το κερατόμετρό του. Η συσκευή του ήταν βασισμένη στο ηλιοτρόπιο του Ole Romer (μια συσκευή για τη μέτρηση του ηλίου). Το πρώτο κερατόμετρο κατασκευάστηκε στο Παρίσι το 1728 και μετρούσε διάφορα στοιχεία του οφθαλμού, όπως τον πρόσθιο θάλαμο, οπότε σωστά ονομάστηκε οφθαλμόμετρο από τον Abbi Bignot. Οι συσκευές που ακολούθησαν, διατήρησαν τον όρο οφθαλμόμετρο παρόλο που ήταν μόνο κερατόμετρα.

Το όνομα οφθαλμόμετρο χρησιμοποίησαν ο Abbi Bignot (1728) και ανεξάρτητα από αυτόν, ο H. v. Helmholtz (1855). Η αρχή του διπλασιασμού (doubling) εισήχθηκε από τον S. Savery (1753) στο ηλιόμετρο του και υιοθετήθηκε από τον E. Home, τον J. Ramsden (1796) και αργότερα από τον Helmholtz (1855). Ο Kohlrausch προσδιόρισε για πρώτη φορά την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς. Ο W. Whewell (1849) όρισε την ασφαιρική επιφάνεια του κερατοειδούς ως αστιγματισμό.

Η δεύτερη περίοδος της οφθαλμομετρίας ξεκινά με τη μεγάλη ανακάλυψη του οφθαλμόμετρου του Helmholtz. Όμως οι δυσκολίες χειρισμού της συσκευής ήταν οι αιτίες για συνεχείς βελτιωτικές αλλαγές της από τους E.A. Coccious (1866), Mandelstamm και Scholer (1872), Landolt (1878, διπλό πρίσμα), Blix (1880) , Javal-Schiotz (1881, πρίσμα του Wollaston) και άλλους.

Το οφθαλμόμετρο των Javal- Schiotz σηματοδοτεί την αρχή της τρίτης περιόδου της οφθαλμομετρίας. Οι Javal- Schiotz συνδύασαν τις αρχές των Coccious και Landolt χωρίς να τους αναφέρουν. Οι H. Knapp (1859), C. Donders (1860) και H. Middelburg (1864) διατύπωσαν τη θεωρία του αστιγματισμού με τη βοήθεια του οφθαλμόμετρου του Helmholtz.

Ο δίσκος του Placido (1880) βελτιώθηκε από τον Javal που πρόσθεσε ένα συγκλίνοντα φακό παρατήρησης στο κέντρο του. Η παρατήρηση των ανακλάσεων του placido disc από τον κερατοειδή ονομάζεται κερατοσκοπία και η φωτογράφιση των ειδώλων του placido disc φωτοκερατοσκοπία. Ο placido disc χρησιμοποιείται

ακόμη σε πολλά μοντέρνα κερατόμετρα, αλλά κυρίως αξιοποιείται από τις τοπογραφικές συσκευές.

Η τέταρτη και τελευταία περίοδος της κερατομετρίας άρχισε πρόσφατα (1980). Χαρακτηρίζεται από τα αυτόματα κερατόμετρα που αξιοποιούν τις νεότερες τεχνολογικές βελτιώσεις, όπως οι υπέρυθρες και οι ακτίνες laser. Έτσι έχουν οι τέσσερις περίοδοι κερατομετρίας που περιλαμβάνουν σχεδόν 400 χρόνια ιστορίας και ανάπτυξης.



*Εικόνα 4.1.: Παλιό κερατόμετρο*

## **4.2. Κερατομετρία- Κερατόμετρο**

Η κερατομέτρηση, και τα τελευταία χρόνια και η τοπογραφία του κερατοειδή, είναι η πρώτη μέθοδος με την οποία ξενικά η εξέταση της όρασης. Ο λόγος είναι ότι ο κερατοειδής είναι η κύρια διαθλαστική επιφάνεια του οφθαλμού, συνεπώς το σχήμα του μας δίνει αρκετές πληροφορίες για την ποιότητα της όρασης. Μελετώντας τα αποτελέσματα της εξέτασης αυτής, μπορεί να γίνει η αρχική εκτίμηση αν και πόσο αστιγματισμό έχει ο εξεταζόμενος. Επίσης είναι αρχικό σημείο εκκίνησης για τις αντικειμενικές και υποκειμενικές εξετάσεις.

Η πρώτη εφαρμογή της κερατομετρίας ήταν η αντικειμενική μέτρηση του αστιγματισμού, όμως αργότερα με την εμφάνιση των φακών επαφής βρήκε εφαρμογή στον καθορισμό των καμπυλοτήτων του κερατοειδή ώστε να γίνεται εφαρμογή φακών επαφής, ενώ χρησιμοποιείται και για την συνεχή παρακολούθηση των κερατοειδικών αλλαγών που μπορεί να υπάρξουν στα άτομα αυτά.

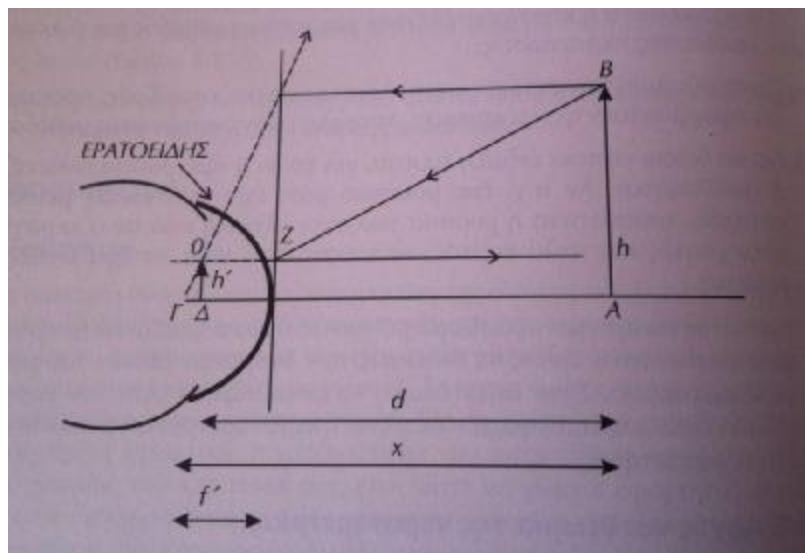
Αν και η κερατομετρία είναι μια ιδιαίτερα ακριβής και χρήσιμη μέθοδος για την μέτρηση των καμπυλοτήτων του κερατοειδούς, είναι ανακριβής μέχρι και παραπλανητική όταν χρησιμοποιείται για την μέτρηση του αστιγματισμού. Ωστόσο, για αρκετούς ακόμα αποτελεί τον μοναδικό σχεδόν τρόπο για τον προσδιορισμό μιας

αστιγματικής ανωμαλίας. Οι λόγοι όπου η ακρίβεια της κερατομετρίας στην μέτρηση του αστιγματισμού υστερούν είναι οι εξής:

- 1) Το κερατόμετρο μετρά την καμπυλότητα και όχι την διαθλαστική δύναμη της πρόσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς. Η δύναμη υπολογίζεται έμμεσα με την αποδοχή ενός συμβατικού δείκτη διάθλασης του κερατοειδούς.
- 2) Η διαθλαστική δύναμη της πρόσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς αγνοείται, όμως η επιφάνεια αυτή μπορεί να έχει αστιγματισμό μέχρι και 0,50D συνήθως παρά τον κανόνα.
- 3) Δεν συνυπολογίζεται ο φακικός αστιγματισμός που μπορεί να είναι 0,25D ή και παραπάνω.
- 4) Δίνει την τιμή του κυλίνδρου που θα διόρθωνε τον αστιγματισμό της πρόσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς αν ο κύλινδρος τοποθετείται σε επαφή με τον κερατοειδή. Όμως ο διορθωτικός κύλινδρος τοποθετείται στα γυαλιά σε μια έστω μικρή απόσταση από τον κερατοειδή, άρα χρειάζεται μεταβολή της δύναμής του αλλιώς θα υπάρχει σφάλμα στο οποίο στις μικρές αμετρωπίες είναι μικρό, ενώ στις μεγάλες είναι πολύ σημαντικό.

### 4.3. Κερατομετρία- Κερατόμετρο - Αρχές λειτουργίας

Το κερατόμετρο χρησιμοποιεί τις ανακλαστικές ιδιότητες του κερατοειδούς χιτώνα, ώστε να μετρήσει την ακτίνα καμπυλότητας. Η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς υπολογίζεται με την μέτρηση του μεγέθους του ειδώλου, που σχηματίζεται από την ανάκλαση πάνω στον κερατοειδή ενός αντικειμένου γνωστού μεγέθους και θέσης. Η θεωρία της κερατομετρίας φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2.: Αρχή λειτουργίας κερατομετρίας



Η μεγέθυνση της εικόνας δίνεται από τον τύπο:

$$M = \frac{h'}{h}$$

Όπου το  $h'$  είναι το μέγεθος του ειδώλου και το  $h$  είναι το μέγεθος του αντικειμένου. Από τα όμοια τρίγωνα  $AB\Gamma$  και  $\Delta OZ$  φαίνεται ότι:

$$\frac{h'}{h} = \frac{f'}{x} = \frac{r}{2x} \quad (\text{Σχέση 1})$$

Όπου το  $f$  είναι η εστιακή απόσταση του κερατοειδούς, το  $x$  είναι η απόσταση αντικειμένου- κύριας εστίας κερατοειδούς και  $r$  είναι η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς. Λύνοντας την σχέση 1 βρίσκουμε ότι η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδή ισούται με:

$$r = 2Mx \quad (\text{Σχέση 2})$$

Όπου το  $M$  ισούται με τη μεγέθυνση της εικόνας. Ουσιαστικά υπάρχει σμίκρυνση της εικόνας αφού το είδωλο είναι μικρότερο από το αρχικό, άρα το είδωλο είναι ορθό. Η σμίκρυνση κάνει το είδωλο του φωτεινού στόχου που έχει το κερατόμετρο τόσο μικρό, που ένα σύνθετο μικροσκόπιο πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να μετρηθεί ακριβώς το μέγεθος του.

Εφόσον το αντικείμενο του γνωστού μεγέθους είναι αμετάβλητα προσαρμοσμένο στον αντικειμενικό φακό αυτού του μικροσκοπίου, το είδωλο του θα μπορεί ο εξεταστής να το δει εστιασμένο μέσω του μικροσκοπίου, μόνο όταν ο στόχος αυτός βρίσκεται σε δεδομένη απόσταση  $d$  από το είδωλο του. Αν αυτή η απόσταση είναι μεγάλη, τότε το είδωλο του στόχου του κερατόμετρου βρίσκεται πολύ κοντά στο εστιακό επίπεδο του κερατοειδούς, δηλαδή το  $d$  κατά προσέγγιση είναι ίσο με το  $x$  και η σχέση 2 θα γραφτεί:

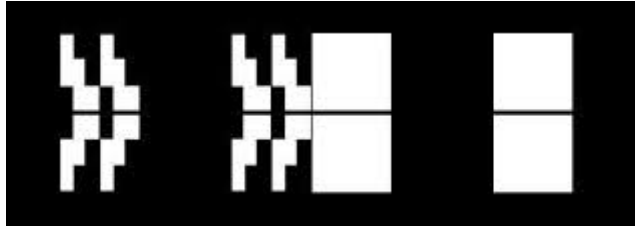
$$r = 2Md \quad (\text{Σχέση 3})$$

Ως “κατά προσέγγιση κερατομετρική εξίσωση” είναι γνωστή η σχέση 3, ενώ η σχέση 2 ως “ακριβής κερατομετρική εξίσωση”. Επειδή το  $d$  είναι σταθερό για κάθε κερατόμετρο, η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς είναι ανάλογη της μεγέθυνσης της εικόνας του στόχου του κερατόμετρου. Θεωρητικά με την τοποθέτηση ενός τετραγωνιδίου μέτρησης μέσα στο μικροσκόπιο μπορεί να μετρηθεί το μέγεθος του φωτεινού ειδώλου του στόχου του κερατόμετρου. Ωστόσο στην πράξη, εξετάζεται ένας ζωντανός κερατοειδής και τα πράγματα είναι λίγο δύσκολα, λόγω των συνεχών κινήσεων του οφθαλμού. Αυτό καθιστά δύσκολη την ακριβή μέτρηση του ειδώλου, γιατί κάθε φορά που κινείται ο οφθαλμός το είδωλο του φωτεινού στόχου μετακινείται. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε με την χρήση του συστήματος διπλασιασμού. Οι αρχές ενός από τα συστήματα διπλασιασμού ονομάζεται δίπρισμα, δηλαδή δύο αντικριστά πρίσματα, για να πετύχει διπλασιασμό ειδώλου. Το ποσό του διπλασιασμού που προκαλεί το δίπρισμα, εξαρτάται από τη θέση του διπρίσματος σε σχέση με τον αντικειμενικό φακό. Όταν μετακινείται το πρίσμα προς τα πίσω, τα δύο είδωλα πλησιάζουν ή απομακρύνονται. Η μετατόπιση του πρίσματος συνεχίζει μέχρι τα δύο είδωλα να αρχίσουν να εφάπτονται. Το ποσό της μετατόπισης εξαρτάται από το μέγεθος των ειδώλων, άρα από την ακτίνα καμπυλότητας. Το πρίσμα μετακινείται πάνω σε βαθμονομημένη κλίμακα σε μονάδες ακτίνας καμπυλότητας. Η ρύθμιση είναι εύκολη επειδή τα δύο είδωλα κινούνται ταυτόχρονα όταν κινείται ο οφθαλμός του εξεταζόμενου. Τα κερατόμετρα που ενσωματώνουν την αρχή που περιγράψαμε ονομάζονται “κερατόμετρα μεταβλητού διπλασιασμού”. Όμως η ευθυγράμμιση μπορεί να γίνει και με τη μεταβολή του μεγέθους του ειδώλου, ενώ διατηρείται σταθερό το ποσό του διπλασιασμού. Τα κερατόμετρα αυτά λέγονται “κερατόμετρα μεταβλητού στόχου”. Άρα τα κερατόμετρα χωρίζονται με βάση το πώς γίνεται η ευθυγράμμιση των ειδώλων, σε δύο κατηγορίες:

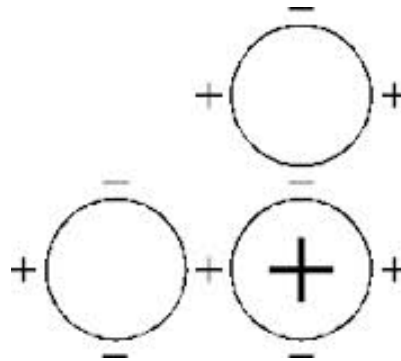
- α) Κερατόμετρα μεταβλητού διπλασιασμού και σταθερού στόχου και
- β) Κερατόμετρα μεταβλητού στόχου και σταθερού διπλασιασμού.

#### **4.4. Κερατόμετρα μιας και δύο θέσεων**

Κερατόμετρα μιας θέσης ονομάζονται αυτά όπου αν βρεθεί ο ένας από τους δύο κύριους μεσημβρινούς, δεν χρειάζεται άλλη περιστροφή του οργάνου προκειμένου να μετρηθεί η ακτίνα καμπυλότητας και του δεύτερου κύριου μεσημβρινού. Ενώ, κερατόμετρα δύο θέσεων είναι αυτά στα οποία χρειάζεται η περιστροφή του οργάνου κατά  $90^\circ$  για να μετρηθεί ο δεύτερος κύριος μεσημβρινός. Ο σχεδιασμός του φωτεινού στόχου του κερατόμετρου αλλάζει από όργανο σε όργανο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται δυο διαφορετικοί σχεδιασμοί στόχων από τα δύο πιο γνωστά κερατόμετρα.



*Εικόνα 4.3.: Στόχοι κερατόμετρου Javal- Schiotz*



*Εικόνα 4.4.: Στόχοι κερατόμετρου Bausch and Lomb*

## 4.5. Κερατόμετρα

Τα κερατόμετρα μπορούν να κατατάχθούν σε 2 κατηγορίες:

- 1) Κερατόμετρα σταθερού διπλασιασμού, μεταβλητού στόχου
- 2) Κερατόμετρα μεταβλητού διπλασιασμού, σταθερού στόχου

Παρακάτω γίνεται περιγραφή των δύο πιο γνωστών κερατόμετρων, ένα για κάθε κατηγορία και μια σύντομη περιγραφή ενός αυτόματου κερατόμετρου.

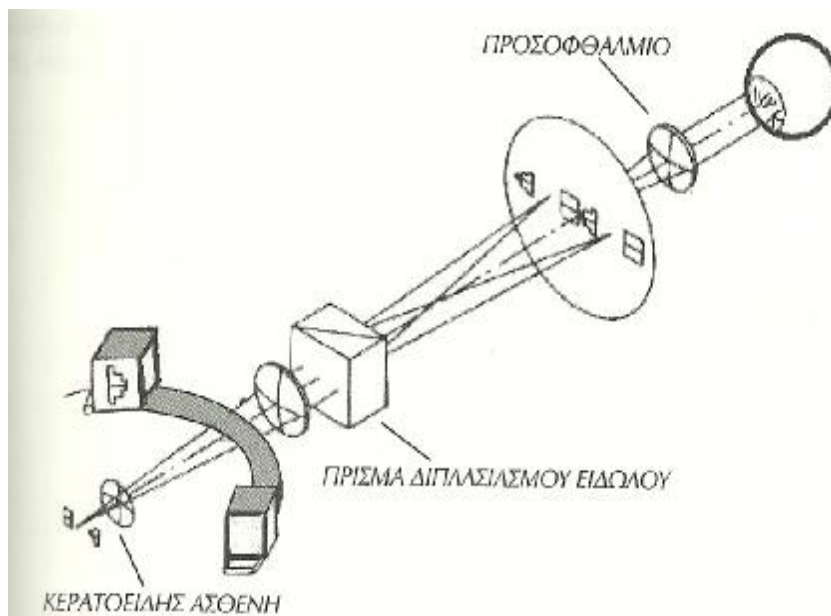
### 4.5.1. Κερατόμετρο Javal-Schiotz

Το κερατόμετρο Javal-Schiotz είναι κερατόμετρο δύο θέσεων, σταθερού διπλασιασμού και μεταβλητού στόχου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους: 1)για την απ' ευθείας μέτρηση του κερατοειδικού αστιγματισμού και 2)για τη μέτρηση των ακτίνων καμπυλότητας του κερατοειδούς.



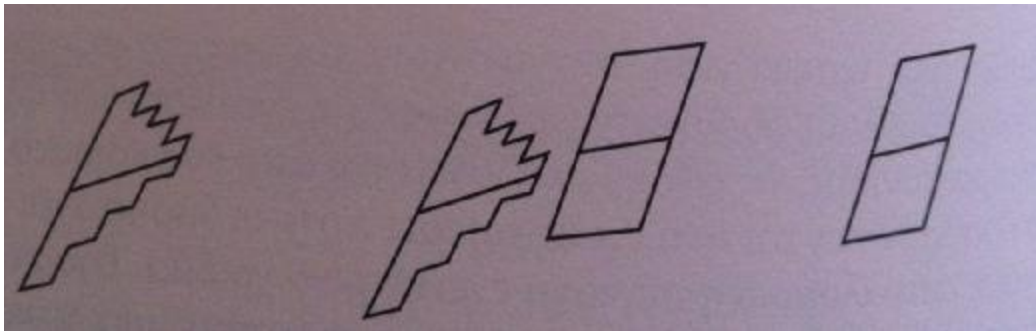
**Εικόνα 4.5.:** Κερατόμετρο Javal- Schiötz

Οι στόχοι του κερατόμετρου αυτού είναι προσαρμοσμένοι στο μπροστινό μέρος μικρών φωτιζόμενων κουτιών τα οποία, με έναν ειδικό μηχανισμό, μπορούν να κινούνται το ίδιο σε αντίθετες κατευθύνσεις κατά μήκος του κυκλικού τόξου, το κέντρο του οποίου αντιστοιχεί στο μάτι του εξεταζόμενου. Ο διπλασιασμός γίνεται με το δίπρισμα Wollaston που είναι τοποθετημένο πίσω από τον αντικειμενικό φακό. Όλο το όργανο μπορεί να πραγματοποιήσει περιστροφή γύρω από τον οπτικό του άξονα ώστε να γίνει η μέτρηση σε οποιοδήποτε μεσημβρινό. Το κερατόμετρο αυτό μπορεί να μας δώσει πολύ ακριβή αποτελέσματα αν το προσοφθάλμιο έχει εστιαστεί καλά.

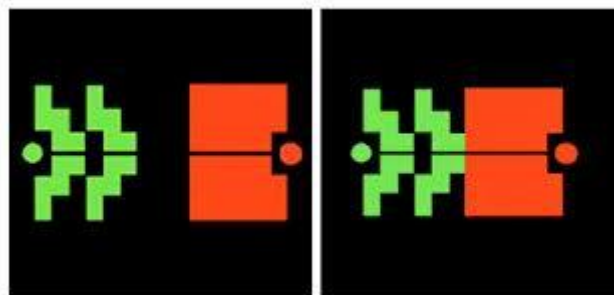


**Εικόνα 4.6.:** Σχεδιασμός των οπτικών μερών του κερατόμετρου Javal- Schiötz

Το τηλεσκόπιο του κερατόμετρου έχει στα πλάγια του δύο καμπύλα σκέλη που επεκτείνονται κατά μήκος μιας περιμέτρου και έχουν πάνω τους στόχους που σχηματίζουν τα είδωλα. Κάθε σκέλος έχει ένα φωτιζόμενο αντικείμενο με διαφορετικά φωτεινά σχήματα, ένα ορθογώνιο που καλύπτεται από κόκκινο φίλτρο και ένα με μορφή σκαλωτού βάθρου (σκάλα) που έχει πράσινο φίλτρο. Και τα δύο φωτεινά σχήματα έχουν στο μέσο τους μια μαύρη ευθεία γραμμή. Για να συμπίπτουν οι άξονες κερατοειδούς-κερατόμετρου οι δύο γραμμές πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ευθεία, αλλιώς στρίβουμε το όργανο μέχρι να ευθυγραμμιστούν. Η προσέγγιση ή απομάκρυνση των δύο στόχων γίνεται μέσω ενός βιδωτού κοχλία που είναι τοποθετημένος κάτω από το κυκλικό τόξο κατά μήκος του οποίου κινούνται οι δύο στόχοι. Μέσω ενός μοχλού ελέγχου γίνεται η προς τα εμπρός-πίσω-αριστερά-δεξιά, μετατόπιση του οργάνου, για την σωστή εστίαση των ειδώλων των στόχων στον κερατοειδή του ασθενή.



**Εικόνα 4.7.:** Τα είδωλα των στόχων όπως φαίνονται όταν υπάρχει αστιγματισμός



**Εικόνα 4.8.:** Είδωλα σωστά εστιασμένα

#### 4.5.2. Κερατόμετρο της Baush and Lomb

Το κερατόμετρο αυτό είναι μιας θέσης, μεταβλητού διπλασιασμού και σταθερού στόχου. Χρησιμοποιεί ένα δίσκο Scheiner με τέσσερις οπές σε διάταξη ισόπλευρου ρόμβου. Οι δύο οπές χρησιμεύουν στην εστίαση του οργάνου, ενώ πίσω από την τρίτη υπάρχει ένα κάθετο πρίσμα και πίσω από την τέταρτη ένα οριζόντιο πρίσμα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται διπλασιασμός του ειδώλου σε δύο άξονες ταυτόχρονα, άρα και η μέτρηση στους δύο αυτούς άξονες γίνεται ταυτόχρονα και όχι διαδοχικά όπως στο κερατόμετρο Javal- Schiotz.



*Εικόνα 4.9.: Κερατόμετρο Bausch and Lomb*

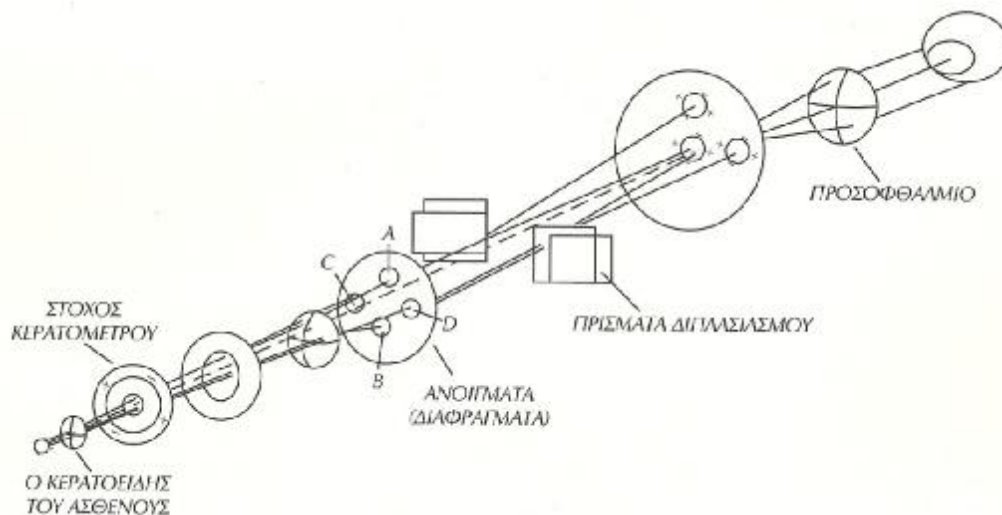
Τα ανακλώμενα από τον κερατοειδή είδωλα του κερατόμετρου αποτελούνται από τρεις κύκλους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στις κορυφές ενός ορθογώνιου τριγώνου. Κάθε κύκλος αριστερά και δεξιά έχει το σύμβολο (+) ενώ πάνω και κάτω από τον κύκλο έχει το σύμβολο (-). Όταν τοποθετηθεί το σταυρόνημα του οργάνου στο κέντρο του κύκλου που αντιστοιχεί σε ορθή γωνία, τότε τα είδωλα στον κερατοειδή είναι σωστά εστιασμένα. Αν το όργανο είναι εκτός εστίας ο κεντρικός κύκλος και τα σύμβολα του φαίνονται διπλά. Όταν τα είδωλα εστιαστούν καλά, ο κεντρικός κύκλος γίνεται μονός και ευκρινής.



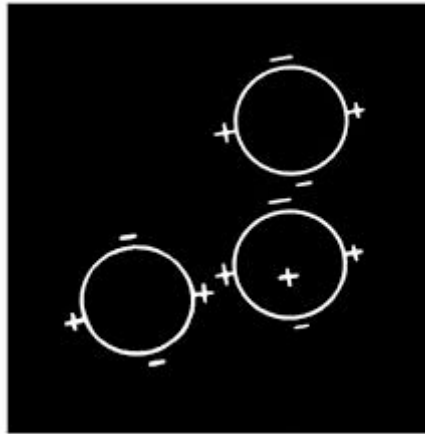
*Εικόνα 4.10.: Τα είδωλα του κερατόμετρου στην αριστερή εικόνα όταν είναι εκτός εστίας και στην δεξιά όταν η εστίαση είναι καλή*

Όταν οι οριζόντιες γραμμές των συμβόλων (+) των δύο κάτω κύκλων δεν είναι ευθυγραμμισμένες, τότε υπάρχει αστιγματισμός. Με την περιστροφή του οργάνου, όταν ευθυγραμμιστούν τα (+) των δύο κύκλων θα έχουν βρεθεί οι κύριους άξονες του αστιγματισμού. Στη θέση αυτή οι μοίρες όπου αντιστοιχούν οι δύο κύριοι άξονες μπορούν να διαβαστούν από την αντίστοιχη κλίμακα του οργάνου.

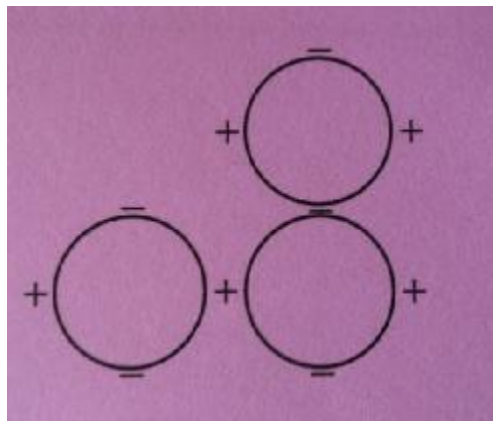
Η μέτρηση της καμπυλότητας των δύο κύριων μεσημβρινών γίνεται με σωστή ρύθμιση των δύο τυμπάνων που βρίσκονται στα πλάγια του οργάνου. Περιστρέφοντας τα τύμπανα οι δύο κύκλοι μετακινούνται σε σχέση με τον κεντρικό, προσπαθώντας να γίνει η ταύτιση των συμβόλων (+) και (-) που βρίσκονται μεταξύ των κύκλων. Με την επιτυχή ταύτιση των συμβόλων, έχει βρεθεί η ακτίνα καμπυλότητας και των δύο αξόνων και με την αντίστοιχη κλίμακα που υπάρχει πάνω στο όργανο μπορεί να διαβαστεί η διαθλαστική δύναμη (σε D) ή η ακτίνα καμπυλότητας.



**Εικόνα 4.11.:** Σχεδιασμός των οπτικών μερών του κερατόμετρου Bausch and Lomb



*Εικόνα 4.12.: Είδωλα στόχων όταν υπάρχει αστιγματισμός*



*Εικόνα 4.13.: Τα είδωλα των στόχων είναι σωστά εστιασμένα*

#### **4.5.3.Αυτόματο κερατόμετρο Humphrey**

Το αυτόματο κερατόμετρο του Humphrey μετράει την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδή σε τρία σημεία κατά μήκος του οριζώντιου μεσημβρινού. Για να γίνει η λήψη της κεντρικής μέτρησης ο ασθενής πρέπει να κοιτάει ευθεία στο όργανο, ενώ για τις δύο περιφερειακές μετρήσεις Ο ασθενής πρέπει να κοιτάει 13,5 χιλιοστά ρινικά και 13,5 χιλιοστά κροταφικά. Με τη βοήθεια ενός ενσωματωμένου υπολογιστή που διαθέτει το όργανο αυτό, μετατρέπει τις περιμετρικές μετρήσεις σε μια μέτρηση του παράγοντα “σχήμα κερατοειδούς”, καθώς εκτιμάει και το ύψος της καμάρας του κερατοειδούς. Επίσης υπολογίζει την θέση κορυφής του κερατοειδή και δίνει ένα παράγοντα προσαρμογής ο οποίος λέει στον οπτομέτρη αν ο κερατοειδής που μετράει ταιριάζει με τον θεωρητικό κερατοειδή, όπου τα στοιχεία είναι ενσωματωμένα στο όργανο. Όταν δεν ταιριάζει ο κερατοειδής του εξεταζόμενου με τον θεωρητικό κερατοειδή σημαίνει ότι υπάρχει ανωμαλία στον εξεταζόμενο κερατοειδή. Με αυτό το κερατόμετρο δεν χρειάζεται να ευθυγραμμίσει ο οπτικός τα είδωλα των στόχων του.



Από την στιγμή που η τοποθέτηση θα γίνει σωστά, το όργανο μετράει μόνο του τον κερατοειδή.

Ο στόχος αυτού του κερατόμετρου αποτελείται από τρία υπέρυθρα εκπεμπόμενα σημάδια που η θέση τους είναι τέτοια ώστε να σχηματίζουν τρίγωνο. Στην θέση του παρατηρητή υπάρχει ένας ανιχνευτής ακριβούς θέσης, που καταγράφει την θέση ακριβώς του κάθε σημαδιού μετά την ανάκλαση από τον κερατοειδή του ασθενή. Ο υπολογιστής χρησιμοποιεί όλες αυτές τις πληροφορίες για να δώσει την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδή σε πολύ λίγο χρόνο έτσι ώστε να μην εμποδίζουν τις μετρήσεις οι κινήσεις του οφθαλμού. Άρα το κερατόμετρο αυτό δεν έχει σύστημα διπλασιασμού. Πλέον, στο κερατόμετρο αυτό έχει ενσωματωθεί ένα νέο πρόγραμμα που δίνει πληροφορίες, για να βοηθήσει τον εφαρμοστή φακών επαφής.



**Εικόνα 4.14.:** Αυτόματο κερατόμετρο Humphrey

#### 4.5.4. Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Κερατόμετρων

Τα πλεονεκτήματα των κερατόμετρων είναι:

- η ακρίβεια της μέτρησης των φυσιολογικών κερατοειδών
- η απλουστευμένη και φιλική στο χρήστη διαδικασία μέτρησης
- οι μικρές διαστάσεις των κερατόμετρων
- η άμεση ενημέρωση για τα αποτελέσματα της μέτρησης
- η απουσία πολύπλοκων ερμηνευτικών διαδικασιών για τις μετρήσεις
- δίνει καμπυλομετρικές ενδείξεις από τα κεντρικά 3mm του κερατοειδή
- δείχνει την τορικότητα του κερατοειδή, αν δηλαδή είναι σφαιρικός ή τορικός (και σε ποιους κύριους μεσημβρινούς)
- δείχνει την διαθλαστική ισχύ του κερατοειδή
- δείχνει ενδείξεις για την κατάσταση των δακρύων του εξεταζόμενου και
- βοηθά στην εφαρμογή φακών επαφής

Τα μειονεκτήματα των κερατόμετρων είναι:

- μόνο μια μικρή περιοχή του κερατοειδή μπορεί να μετρηθεί, με διάμετρο 3 mm, που αντιστοιχεί στο 8% της κερατοειδικής επιφάνειας
- η κορυφή του κερατοειδή δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα
- η περιοχή του κερατοειδή που μετράει θεωρείται σφαιρική, όμως ο κερατοειδής είναι ασφαιρικός και μάλιστα αυτό επηρεάζει το μέγεθος της διαθλαστικής ανωμαλίας
- το λάθος του εξεταστή είναι πολύ πιθανό και
- οι κερατομετρικές αλλαγές δεν οφείλονται απαραίτητα σε διαθλαστικές μεταβολές

#### 4.6. Εξέλιξη Κερατόμετρου

Οι αλλαγές που έχουν γίνει στα κερατόμετρα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια δεν είναι σημαντικές. Τα κερατόμετρα όπως το Javal- Shiotz ή της Baush and Lomb δεν έχουν πολλές αλλαγές. Οι βελτιώσεις που μπορεί να παρατηρηθούν είναι ότι ο οριζόντιος και κατακόρυφο άξονα της κλίμακας μέτρησης φωτίζεται διευκολύνοντας έτσι την μέτρηση ακόμη και σε ένα σκοτεινό δωμάτιο, άμεσης ανάγνωσης τόσο στην ακτίνα όσο και στις διοπτρίες στην ίδια κλίμακα, εργονομικό μηχανικό σχεδιασμό με ρυθμιζόμενα κουμπιά και στις δύο πλευρές, λαβή για ευκολία περιστροφής, αυξημένο ύψος βάσης, ενσωματωμένο ηλεκτρικό σύστημα που επιτρέπει την πλήρη περιστροφή 360°.

Πλέον χρησιμοποιούνται περισσότερο τα αυτόματα κερατόμετρα. Τα αυτόματα κερατόμετρα συνήθως τα συναντά κανείς ενσωματωμένα με διαθλασίμετρα. Αυτό είναι πρακτικό γιατί με ένα μόνο μηχάνημα μπορεί να μετρηθεί και το διαθλαστικό πρόβλημα του κάθε ασθενή, η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδή και πολλές φορές και η πίεση του οφθαλμού καθώς πολλά καινούρια μοντέλα έχουν ενσωματωμένο και τονόμετρο. Τα αυτόματα κερατόμετρα δίνουν καλύτερα και

γρηγορότερα αποτελέσματα, μετρούν τον κερατοειδή περιφερικά και μετρούν σε 2,3 χιλιοστά διάμετρο κόρης. Επίσης έχουν αυτόματη ανίχνευση 3D, αυτόματη σκόπευση και αυτόματη μέτρηση, έγχρωμο και επικλινές μόνιτορ αφής, αξιόπιστη κερατομέτρηση με δακτύλιο MIRE και LED, ηλεκτρικό υποσιάγωνο, αθόρυβος και υψηλής ταχύτητας εκτυπωτής αυτόματης κοπής χαρτιού και δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικό μόνιτορ μέσω HDMI.

#### **4.7. Εφαρμογή κερατόμετρου**

Το κερατόμετρο χρησιμοποιείται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Βοηθά να εκτιμηθεί η ακτίνα καμπυλότητας της πρόσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς, γι 'αυτό είναι αρκετά χρήσιμο στην τοποθέτηση των φακών επαφής.
- Βοηθά στη μέτρηση του κερατοειδικού αστιγματισμού.
- Μπορεί να δώσει έμμεσα αποτελέσματα για το αν η αμετρωπία είναι αξονική ή διαθλαστική. Για παράδειγμα σε ένα μυωπικό μάτι ο κερατοειδής μπορεί να είναι μεγάλος και επίπεδος, οπότε η μυωπία είναι πιθανό να οφείλεται σε αξονική μυωπία, ενώ αν είναι μικρός και πολύ κυρτός ο κερατοειδής το πιθανότερο είναι να έχει διαθλαστική μυωπία.
- Όταν δεν μπορεί να γίνει σκιασκοπία λόγω θολώσεων των διάφανων μέσων του ματιού ή σε κερατόκωνο, μπορεί να προσδιοριστεί αντικειμενικά ο αστιγματισμός με το κερατόμετρο. Στον κερατόκωνο τα είδωλα που ανακλώνται από τον κερατοειδή είναι παραμορφωμένα, οπότε η κερατομετρία αποκτά και διαγνωστικό χαρακτήρα.
- Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση πριν και μετά του χειρουργείου του αστιγματισμού, καθώς μετρά και τη δύναμη του ενδοφακού σε εγχείρηση καταρράκτη.
- Βοηθά στην εκτίμηση της κατάστασης της δακρυϊκής στοιβάδας.
- Μπορεί να δώσει ενδείξεις για δυστροφία του κερατοειδή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ

#### 5.1. Ιστορικά στοιχεία

Το 1880 ο Antonio Placido παρατήρησε για πρώτη φορά τις κερατοειδικές αντανάκλασεις από τους ομόκεντρους δακτυλίους του δίσκου που κατασκεύασε (τα λεγόμενα κερατοειδικά mires του placido disc). Το 1896 ο Allvar Gullstrand βελτίωσε τη μέθοδο αυτή ενσωματώνοντας το δίσκο του Placido στο οφθαλμοσκόπιό του, έτσι κατάφερε να πάρει φωτογραφίες, από τις οποίες υπολόγισε την καμπυλότητα του κερατοειδή. Στα μέσα του επόμενου αιώνα η εταιρεία φακών επαφής Wessley-Jessen μετέτρεψε το δίσκο του Placido, και από επίπεδο τον έκανε κοίλο, για μεγαλύτερη ακρίβεια στα όρια του κερατοειδή. Διέθεσε ακόμα φωτογραφίες δακτυλίων για διαφορετικές καμπυλότητες και τορικότητες του κερατοειδή, με τις οποίες ο εξεταστής μπορούσε να συγκρίνει τις δικές του φωτογραφίες ή παρατηρήσεις.

Ο υπολογιστής όμως θα φέρει την επανάσταση στη μέθοδο αυτή, καθώς τη δεκαετία του 1980, με την αύξηση της ισχύος των υπολογιστών έγινε δυνατή η ψηφιοποίηση των φωτογραφιών και η ανάλυσή τους από ειδικό λογισμικό, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το σχήμα του κερατοειδή σε όλη την έκτασή του.

Η κερατοειδική καμπυλομετρική τοπογραφία, παρουσιάστηκε το 1984 από τον Stephen Klyce , μετά από κατάλληλο συνδυασμό της υπολογιστικής ανάλυσης και του ψηφιακού video. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται υπολογιστική βιντεοκερατοσκοπία (videokeratoscope είναι η συσκευή ). Ο Stephen D. Klyce ήταν αυτός που ανέπτυξε τις μαθηματικές μεθόδους της σύγχρονης τοπογραφίας κερατοειδή (corneal topography) με βασικό ότι πρόβλεψε ότι το κέντρο καμπυλότητας κάθε περιοχής μπορεί να βρίσκεται ακόμα και εκτός του οπτικού άξονα.

Στη συνέχεια, μαζί με τον Leo J. Maguire, πρότεινε την απεικόνιση των καμπυλοτήτων του κερατοειδή με διαγράμματα ισοϋψών και έγχρωμους χάρτες, με τρόπο ανάλογο της τοπογραφίας εδάφους. Το 1986 παρουσιάστηκε στην αγορά η πρώτη τοπογραφική συσκευή για κλινική εφαρμογή από την Computed Anatomy ( τη σημερινή Tomey).

Από τις πρώτες συσκευές τοπογραφίας κερατοειδούς που παρουσιάστηκαν στην κλινική πρακτική ήταν και η CMS, η EyeSys και η EH270, ενώ σήμερα υπάρχουν στο εμπόριο περίπου 30 διαφορετικά μοντέλα τοπογραφικών συσκευών που κατασκευάζονται από 13 εταιρίες.

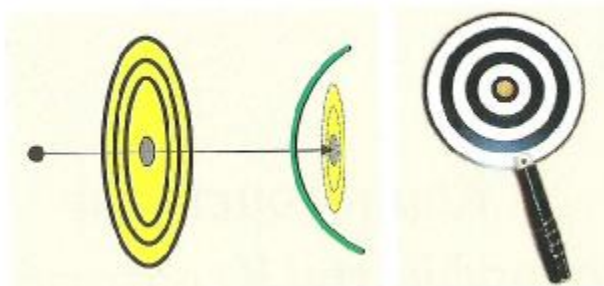
Τα σύγχρονα συστήματα τοπογραφίας κερατοειδή μπορούν να υπολογίσουν όχι μόνο τις καμπυλότητες, αλλά και τον αστιγματισμό σε διάφορες ζώνες, την ασφαιρικότητα ανά μεσημβρινό, και τη συμμετρία (ή την ασυμμετρία του). Με

εφαρμογή των τεχνικών σάρωσης σχισμής (slit- scanning) και Scheimpflug imaging μπορούμε να έχουμε παχυμετρικά, υψομετρικά και καμπυλομετρικά στοιχεία όλου του κερατοειδή, ακόμα και της οπίσθιας επιφάνειάς του.

Είναι φανερό ότι η τοπογραφία του κερατοειδούς είναι το αποτέλεσμα των προοδευτικών τεχνολογικών βημάτων που έγιναν τα τελευταία 150 χρόνια. Οι σταδιακές αναβαθμίσεις της τεχνολογίας κατέστησαν την τοπογραφία του κερατοειδούς αναπόσπαστο κομμάτι της διαθλαστικής χειρουργικής.

## 5.2. Τοπογραφία κερατοειδή

Όπου σταματά η κερατομέτρηση, μπορεί να συνεχίσει η σύγχρονη τοπογραφία του κερατοειδή. Η τεχνική αυτή, που αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980, συνδύασε την ισχύ των αναπτυσσόμενων τότε υπολογιστών και την εξέταση με τους δακτυλίους του Placido, για να δώσει μια πιο λεπτομερή και πλήρη εικόνα της κερατοειδικής επιφάνειας.



*Εικόνα 5.1.: Placido disc*

Ο φορητός Placido disc είναι η απλούστερη και πρακτικότερη κατασκευή για το έλεγχο της τοπογραφίας του κερατοειδούς. Είναι ένας δίσκος που περιέχει εναλλασσόμενους άσπρους και μαύρους ομόκεντρους κυκλικούς δακτυλίους και στο κέντρο του έχει ένα φακό για την παρατήρηση της ανάκλασης των δακτυλίων του από τον κερατοειδή. Κατά την εξέταση ο κερατοειδής παρατηρείται διαμέσου του κεντρικού φακού και οι δακτύλιοι του δίσκου είναι στραμμένοι προς την πλευρά του εξεταζόμενου κερατοειδούς. Οι δακτύλιοι του δίσκου φωτίζονται από μια φωτεινή πηγή πλάγια και κοντά στο κεφάλι του ασθενούς. Τα φωτεινά είδωλα των ομόκεντρων δακτυλίων που ανακλώνται από τον κερατοειδή, ελέγχονται οπτικά στην κεντρική περιοχή του κερατοειδούς που αντιστοιχεί σε διάμετρο 4- 6 mm.

Ο τοπογράφος κερατοειδή (corneal topographer) είναι στην ουσία ένα κατά πολύ βελτιστοποιημένο κερατόμετρο. Όπως και στα κερατόμετρα, ο τοπογράφος χρησιμοποιεί τις ανακλάσεις από τον κερατοειδή για να υπολογίσει την ακτίνα καμπυλότητας και, στη συνέχεια, τη διαθλαστική ισχύ. Ο τοπογράφος λαμβάνει μια

ψηφιακή φωτογραφία των ανακλάσεων, και το λογισμικό εντοπίζει τα όρια των ανακλάσεων των δακτυλίων. Ευνόητο είναι, ότι όσο πιο σκοτεινή είναι η αίθουσα εξέτασης, τόσο πιο ευκρινείς είναι οι ανακλάσεις, και τόσο πιο εύκολο το έργο για το λογισμικό του τοπογράφου.

Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι λαμβάνει μετρήσεις από μια κατά πολύ μεγαλύτερη κερατοειδική επιφάνεια, σε σχέση με το κερατόμετρο, αυτόματα μέσω του υπολογιστή. Έτσι έχουμε έναν τοπογραφικό χάρτη του κερατοειδή, με κατά πολύ πιο πλήρεις και ακριβείς πληροφορίες. Σε παθήσεις όπως στον κερατόκωνο, είναι ο μόνος τρόπος να λάβουμε ενδείξεις καμπυλότητας του κερατοειδή, ώστε να ξέρουμε με ποιο φακό θα ξεκινήσουμε την εφαρμογή. Επιπρόσθετα, στην εφαρμογή των σκληρών αεροδιαπερατών φακών, ο τοπογράφος μας δίνει κρίσιμες πληροφορίες για την καμπυλότητα της κερατοειδικής περιφέρειας, και, συνεπώς, μας διευκολύνει αφάνταστα στο σχεδιασμό της περιφέρειας του φακού.

Οι σύγχρονοι τοπογράφοι κερατοειδή μπορούν να διαχωριστούν στους επιτραπέζιους και στους χειρός. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας είναι:

Επιτραπέζιοι:

- 1) Γενικά πιο προσιτοί οικονομικά
- 2) Η σταθερή βάση πάνω στην οποία βρίσκονται, και η σχετικά σταθερή θέση της κεφαλής στο υποσιάγωνο, κάνει πιο εύκολη τη λήψη της τοπογραφίας.
- 3) Τα ανατομικά στοιχεία της κεφαλής (μύτη, υπερόφρυα, τόξα, βλεφαρίδες) είναι δυνατό να ρίχνουν σκιές στον κερατοειδή, και να εμποδίζεται η λήψη μεγάλου ποσοστού επιφάνειας.

Χειρός:

- 1) Πιο ακριβοί ανάλογα με το μοντέλο και την εταιρία
- 2) Μπορούν να προσαρμοστούν σε σχισμοειδή λυχνία ή να μεταφερθούν, ώστε να εξεταστούν και κατάκοιτοι ασθενείς. Οι λήψεις όμως είναι πιο ασταθείς και απαιτείται περισσότερη εξάσκηση για την αποτελεσματική χρήση τους.
- 3) Συνήθως είναι μικρού κώνου, και συνεπώς μπορούν να έρθουν πολύ κοντά στον κερατοειδή, και να κάνουν λήψη πολύ μεγαλύτερης επιφάνειας από τους επιτραπέζιους.

Κάθε τοπογράφος χρησιμοποιεί τους δικούς του αλγόριθμους για την ανακατασκευή της κερατοειδικής επιφάνειας, ωστόσο καλό είναι να θυμόμαστε ότι κανένας δεν είναι τέλειος. Αν ο κερατοειδής είναι φυσιολογικός ή σχεδόν φυσιολογικός, η ανακατασκευή θα έχει μεγάλη ακρίβεια. Αν όμως ο κερατοειδής παρουσιάζει ιδιαίτερη ασυμμετρία (κερατόκωνος, έλκη, κερατοπλαστική), το λογισμικό πιθανώς να μην αποδώσει με πιστότητα το σχήμα του κερατοειδή. Αυτό βέβαια δεν μας εμποδίζει στη διάγνωση, και πολύ περισσότερο δεν μας οδηγεί σε λάθος συμπεράσματα. Σε ότι αφορά όμως στην εφαρμογή φακών επαφής σε τέτοια ειδικευμένα περιστατικά, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η πραγματικότητα (εφαρμογή σκληρού αεροδιαπερατού φακού επαφής με ενστάλαξη φλουορεσκεΐνης), και η εξομοίωση

(λογισμικό εικονικής εφαρμογής του τοπογράφου), είναι δυνατό να διαφέρουν σημαντικά.

Οι σύγχρονοι τοπογράφοι διαθέτουν μια πλειάδα από δυνατότητες. Συγκεκριμένα, ένας τοπογράφος μπορεί να μας δώσει τις εξής πληροφορίες:

- Κερατοειδικό αστιγματισμό σε διάφορες ζώνες του κερατοειδή (π.χ. 3,5 και 7 mm διάμετρο).
- Ασφαιρικότητα ή εκκεντρότητα στις παραπάνω ζώνες.
- Χάρτη ανύψωσης (elevation map), δηλαδή του πόσο απέχει η υπολογισμένη κερατοειδική επιφάνεια από μια ιδανικά σφαιρική (ή και ασφαιρική).
- Κερατοειδικό μέτωπο κύματος (wavefront), όπως και των εκτροπών χαμηλής και υψηλής τάξης, σε διαφορετικές διαμέτρους κόρης, και προσομοίωση της όρασης. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με την τεχνική της ιχνηλάτησης ακτίνων σε ένα πρότυπο οφθαλμού, στο οποίο έχει εφαρμοστεί η τοπογραφία στην πρόσθια κερατοειδική επιφάνεια του μοντέλου.
- Προσομοίωση με λογισμικό εφαρμογής σκληρών αεροδιαπερατών φακών. Αφού 'εφαρμοστεί' ο φακός, το λογισμικό 'γεμίζει' το χώρο ανάμεσα στην πίσω επιφάνεια του φακού και την κερατοειδική με φλουορεσκεϊνη. Το λογισμικό αυτό μπορεί να είναι ενσωματωμένο στο βασικό, ή να προστεθεί ως αναβάθμιση. Η βάση δεδομένων φακών είναι συνήθως αρκετά πλήρης, με μεγάλη γκάμα από αρκετές εταιρίες, ενώ μπορούμε να προσθέσουμε φακούς αν γνωρίζουμε τη σχεδιάσή τους. Συνήθως μπορούμε να μεταβάλλουμε όλες τις παραμέτρους (καμπυλότητες, διαμέτρους, ασφαιρικότητες φακών), μέχρι να επιτύχουμε τη σωστή προσομοιωμένη εφαρμογή. Στο τέλος, μια επιβεβαίωση σε πραγματικές συνθήκες στη σχισμοειδή λυχνία με φλουορεσκεϊνη είναι πάντα απαραίτητη, καθώς το λογισμικό του τοπογράφου δεν μπορεί να υπολογίσει παράγοντες όπως το βάρος του φακού και την αλληλεπίδρασή του με τα βλέφαρα και τα δάκρυα.
- Αποδίδουν καμπυλομετρικούς και υψομετρικούς χάρτες της εμπρόσθιας και της οπίσθιας κερατοειδικής επιφάνειας. Ο εξεταστής, συνεπώς μπορεί να έχει πλήρη εικόνα της οπτικής λειτουργίας του κερατοειδή, και να εντοπίσει παθήσεις όπως τον υποκλινικό κερατόκωνο, οι οποίες μπορεί να ξεφύγουν από τους απλούς τοπογράφους.
- Παράγουν παχυμετρικούς χάρτες του κερατοειδή, συνεπώς οιδήματα (παχύνσεις) και λεπτόνσεις γίνονται εύκολα αντιληπτές. Ακόμα, ο ειδικός στη διαθλαστική χειρουργική μπορεί αν αποφασίσει με μεγαλύτερη ασφάλεια για την καμπυλότητα κάποιου υποψήφιου για διαθλαστική επέμβαση.

- Μπορούν να αποδώσουν δυσδιάστατες και τρισδιάστατες εικόνες του προσθίου θαλάμου και να εντοπίσουν κλειστές ιριδοκερατοειδικές γωνίες, οι οποίες προϊδεάζουν για γλαύκωμα, όπως και να υπολογίσουν τη χωρητικότητα του προσθίου θαλάμου. Επιπρόσθετα, μετρούν την απόσταση ίριδας- κερατοειδή, η οποία είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στην τοποθέτηση ενδοφακού προσθίου θαλάμου.
- Απεικονίζουν τομές του κερατοειδή, οι οποίες μπορούν να καταδείξουν με ιδιαίτερη σαφήνεια αδιαφάνειες, την ακρίβεια τοποθέτησης ιριδοκερατοειδικών δακτυλίων και ενδοκερατοειδικών ενθεμάτων, το σημείο επαφής μοσχεύματος- κερατοειδή σε περιστατικά μεταμόσχευσης, κ.α.

### 5.3. Τοπογραφία Κερατοειδή - Αρχές Λειτουργίας

Η μεγάλη πλειοψηφία των τοπογραφικών συσκευών βασίζεται στην τοπογραφία Placido disk. Στηρίζονται στην ίδια οπτική αρχή με αυτή του κερατόμετρου, δηλαδή από τη μεγέθυνση της κερατοειδικής ανάκλασης υπολογίζεται η καμπυλότητα του κερατοειδή, με τη διαφορά ότι η τοπογραφία μπορεί να καλύψει μεγαλύτερη έκταση.



**Εικόνα 5.2.:** Από αριστερά προς τα δεξιά: δακτύλιοι Placido disc σε μια πρωτόγονη μορφή, επιτραπέζιος τοπογράφος και τοπογράφος χειρός.

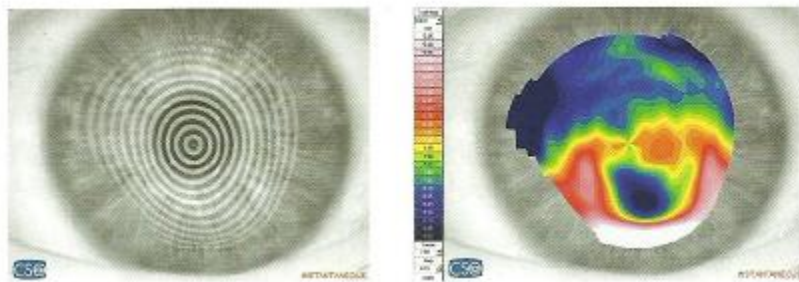
Οι σύγχρονες Placido disc τοπογραφικές συσκευές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις μεγάλου και μικρού κώνου. Οι μεγάλοι κώνου έχουν το πλεονέκτημα ότι διαθέτουν περισσότερους δακτυλίους, και έτσι η μέτρηση του κερατοειδή γίνεται σε περισσότερα σημεία και θεωρητικά με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όμως, η μεγάλη απόσταση του οργάνου από τον κερατοειδή έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές να σχηματίζονται σκιές πάνω του από τη μύτη, τα υπερόφρυα τόξα και τις βλεφαρίδες. Η τοπογράφιση της κερατοειδικής επιφάνειας σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι πλήρης και το λογισμικό καλύπτει τα κενά από τα δεδομένα που λείπουν με ειδικούς αλγόριθμους (extrapolation). Αντίθετα, τα συστήματα μικρού κώνου, παρά ότι διαθέτουν λιγότερους δακτυλίους, παίρνουν την μέτρηση πολύ κοντά στην κερατοειδική επιφάνεια και έτσι τα 'νεκρά σημεία' είναι ελάχιστα.

Και οι δύο κατηγορίες στηρίζονται στην ίδια οπτική αρχή, στο ότι λαμβάνουν σημεία μέτρησης από το όριο της ανάκλασης του δακτυλίου, δηλαδή βασίζονται στην



εναλλαγή της αντίθεσης μεταξύ της 'φωτεινής ανάκλασης' στον 'σκοτεινό' υπόλοιπο κερατοειδή. Για καλές τοπογραφίες λοιπόν, καλό θα ήταν να τις κάνουμε σε όσο πιο σκοτεινό περιβάλλον γίνεται.

Τα πρωτογενή δεδομένα δεν είναι άλλα από μια φωτογραφία/ψηφιακή καταγραφή των ανακλάσεων/ειδώλων των ομόκεντρων δακτυλίων Placido. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η κατανομή της τιμής της ακτίνας καμπυλότητας της κερατοειδικής επιφάνειας, ο τοπογραφικός χάρτης (topography map), με εποπτικό τρόπο με μορφή π.χ. περιγραμμάτων χρωματικών ζωνών.



**Εικόνα 5.3.:** (α) πρωτογενή δεδομένα και (β) τοπογραφικός χάρτης με υπολογισμένες τιμές ακτίνας καμπυλότητας.

Η ακτίνα καμπυλότητας R υπολογίζεται από τη μεγέθυνση M, πρόκειται για ένα αριθμό θετικό μικρότερο της μονάδας, και την απόσταση του αντικειμένου s από την κορυφή του κερατοειδή σύμφωνα με τη σχέση:

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{f}{s+f}$$

$$f = \frac{Ms}{1} - M = \frac{R}{2}$$

$$R = \frac{2M}{1-M} S = 2Ms$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε και την οπτική ισχύ P του 'διόπτρου' της εξωτερικής επιφάνειας του κερατοειδή με τον αέρα – στην πραγματικότητα, της δακρυϊκής στοιβάδας – με τη σχέση  $P = \frac{n' - n}{R}$ , όπου για τη δακρυϊκή στοιβάδα  $n' = 1,3375$  και για τον αέρα  $n = 1$

Κερατομετρική εξίσωση:  $P = \frac{n' - n}{R} = \frac{1,3375 - 1}{R(m)} = \frac{337,5}{R(mm)}$  (μονάδες dpt)



**Εικόνα 5.4.:** Σχηματισμός ανακλάσεων δακτυλίων Placido και ενδεικτικοί υπολογισμοί καμπυλοτήτων και οπτικής ισχύος.

Σε ένα σχηματισμό δακτυλίων ανάκλασης είναι πολύ πιθανό κατά μήκος ενός ολόκληρου δακτυλίου, που διατρέχει μια μεγάλη έκταση στον κερατοειδή, να είναι διαφορετική η μεγέθυνση. Για μια απόσταση κερατοειδή από το αντικείμενο – δηλαδή το δακτύλιο της συσκευής – 20 cm, μπορεί να έχουμε μεγεθύνσεις από 0.01 έως και 0.025. Με αυτές τις τιμές υπολογίζουμε, αντίστοιχα, την ακτίνα καμπυλότητας από 4 mm έως και 10 mm, και την οπτική ισχύ από 84 dpt έως 33 dpt. Ένας απλός κανόνας είναι όταν οι δακτύλιοι πυκνώνουν, η μεγέθυνσή τους είναι μικρότερη, και εκεί αντιστοιχεί μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας και μεγαλύτερη οπτική ισχύ. Για παράδειγμα, με ακτίνα καμπυλότητας 7.8 mm, η οπτική ισχύς της δακρυϊκής στοιβάδας είναι 43.27 dpt.

Οι σημερινοί Placido disc τοπογράφοι μπορούν να υπολογίσουν και τον υψομετρικό χάρτη ( altimetric map) του κερατοειδή. Με βάση τις καμπυλομετρικές ενδείξεις, επιλέγεται μια σφαιρική επιφάνεια βέλτιστης εφαρμογής (best fit), μια σφαίρα όσο το δυνατόν πιο κιντά στην πραγματική κερατοειδική επιφάνεια. Με τη βοήθεια της επιφάνειας αυτής, καθώς και των καμπυλομετρικών ενδείξεων, υπολογίζεται το πόσο απέχει κάθε σημείο του κερατοειδή από την υποθετική αυτή επιφάνεια και σχηματίζεται ο υψομετρικός χάρτης.

## 5.4. Η τεχνολογία της τοπογραφίας

Στην τρέχουσα κλινική πρακτική αξιοποιούνται τρεις διαφορετικές τεχνολογικές μέθοδοι για τη χαρτογραφική απεικόνιση της τοπογραφίας του κερατοειδούς:

- a. Η Placido disc τεχνολογία
- b. Η υψομετρική τεχνολογία
- c. Η αμπερρομετρική τεχνολογία

Η υψομετρική τεχνολογία περιλαμβάνει διάφορες ενδιαφέρουσες τεχνολογίες για την υψομετρική τοπογραφία κερατοειδούς. Σ' αυτήν την κατηγορία υπάγονται οι λεγόμενες τεχνολογίες προβολής. Στην υψομετρική τοπογραφία, η καμπυλότητα δεν προσδιορίζεται απευθείας. Οι συσκευές απαιτούν κάποια ανάκλαση εικόνας του κερατοειδή. Μία από τις πιο γνωστές μεθόδους της υψομετρικής τεχνολογίας είναι η slit scanning.

Η αμπερρομετρική τεχνολογία αναφέρεται στην μέτρηση των εκτροπών υψηλής τάξης του οφθαλμού.

## 5.5. Μειονεκτήματα Τοπογραφίας Placido Disk

Παρά ότι η Placido disk τοπογραφία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, έχει και κάποια μειονεκτήματα:

Το πρώτο βασικό μειονέκτημα είναι ότι το λογισμικό της συσκευής υποθέτει ότι τα είδωλα των ανακλάσεων του Placido disk βρίσκονται όλα σε ένα επίπεδο, αυτό του αισθητήρα της συσκευής. Από τη στιγμή όμως που ο κερατοειδής δεν είναι επίπεδος αλλά έχει καμπυλότητες, οι διάφορες περιοχές που δημιουργούν τα είδωλα αντιστοιχούν σε διάφορες αξονικές θέσεις, και έτσι τα αντίστοιχα είδωλα σχηματίζονται σε διαφορετικές αποστάσεις, και δεν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Άρα, κάποια από τα είδωλα των ανακλάσεων σχηματίζονται στον αισθητήρα του τοπογράφου ελαφρώς αφεστιασμένα και το λογισμικό δεν μπορεί να τα συλλάβει με ακρίβεια για να τα επεξεργαστεί.

Το λογισμικό κάνει και μια άλλη υπόθεση κατά το ανασχεδιασμό της κερατοειδικής επιφάνειας: το ότι η κορυφή του κερατοειδή και το μετωπικό σημείο του ταυτίζονται με τον οπτικό άξονα του οργάνου (που ευθυγραμμίζεται με τον άξονα προσήλωσης). Και αν αυτή η υπόθεση είναι σωστή στους φυσιολογικούς κερατοειδείς, παύει να ισχύει σε κερατοειδείς με ιδιαίτερα ασύμμετρο σχήμα, όπως σε αυτούς με κερατόκωνο.

Γνωρίζουμε πλέον ότι η πρώτη διαθλαστική επιφάνεια είναι στην πραγματικότητα αυτή μεταξύ αέρα- δακρυϊκής στιβάδας, και αυτήν ακριβώς μετρά ο τοπογράφος. Στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων, το σχήμα της στιβάδας δακρύων είναι πανομοιότυπο με αυτό του υποκείμενου κερατοειδή.

Σε ορισμένες όμως, συνήθως παθολογικές περιπτώσεις, ο κερατοειδής δεν επικαλύπτεται γρήγορα από τα δάκρυα ή τα δάκρυα εξατμίζονται πιο σύντομα από το κανονικό. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η τοπογραφία θα καταλήξει σε μετρήσεις που δεν απεικονίζουν με ακρίβεια το σχήμα της στιβάδας δακρύων, και συνεπώς τον κερατοειδή, και έτσι τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται στην πραγματική γεωμετρία του κερατοειδή. Ο εξεταστής πρέπει λοιπόν να ελέγχει τη φωτογραφία της ανάκλασης των δακτυλίων από την οποία προήλθε ο τοπογραφικός χάρτης και να αναζητά σημεία όπου 'διασπώνται' οι ανακλάσεις, σημάδι ανωμαλίας της δακρυϊκής στιβάδας. Αν υπάρχουν τέτοια σημεία η εξέταση πρέπει να επαναληφθεί, ακόμα και με χρήση τεχνητών δακρύων.

Για τον ίδιο λόγο η τοπογραφία κερατοειδή πρέπει να προηγείται πριν από εξετάσεις όπως π.χ. η τονομετρία, οι οποίες ή διαταράσσουν τη δακρυϊκή στιβάδα ή αλλοιώνουν παροδικά το σχήμα του κερατοειδή.

Ένα άλλο μειονέκτημα της Placido disc τοπογραφίας είναι το εξής: ο τοπογράφος δεν μπορεί να υπολογίσει άμεσα το σχήμα του κερατοειδή, αλλά υπολογίζει μόνο τις καμπυλότητες του, βασιζόμενος στο σχήμα των ανακλώμενων δακτυλίων και τη σύγκριση της παραγόμενης ανάκλασης με την ανάκλαση από ένα γνωστό σχήμα (συνήθως οι τοπογράφοι βαθμονομούνται με μια σφαίρα ακτίνας καμπυλότητας 7,8 mm- όσο η μέση ακτίνα καμπυλότητας του εμμετρωπικού κερατοειδή). Στη συνέχεια υπολογίζεται το σχήμα του κερατοειδή από σύγκριση των καμπυλοτήτων που μετρήθηκαν με μια επιφάνεια βέλτιστης εφαρμογής.

Αυτός ο τρόπος υπολογισμού έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι ανεπαρκής σε ασύμμετρους κερατοειδείς (π.χ. κερατόκωνος), και επειδή βασίζεται σε μια σειρά από υποθέσεις, πολλές φορές δεν μπορεί να διαχωρίσει αν ένα, π.χ. σημείο με ιδιαίτερα μεγάλες καμπυλότητες στον κερατοειδή είναι ανύψωση ή εμβάθυνση. Έτσι το λογισμικό είναι πολύ πιθανό να αστοχήσει στον ακριβή ανασχεδιασμό της επιφάνειας.

Το τελευταίο μειονέκτημα της Placido disc τοπογραφίας είναι ότι, καθώς βασίζεται στην ανάκλαση ομόκεντρων δακτυλίων για να μετρήσει την καμπυλότητα του κερατοειδή, η μέτρηση του κέντρου δεν είναι πραγματική αλλά υπολογισμένη από τα υπόλοιπα δεδομένα. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι μετρήσεις γίνονται στα όρια των δακτυλίων, και στο γεωμετρικό κέντρο του κερατοειδή που δεν υπάρχει δακτύλιος, δεν υπάρχει και μέτρηση.

Το λογισμικό του τοπογράφου ανακατασκευάζει την καμπυλότητα εκείνου του σημείου, αλλά η ανακατασκευή αυτή δεν είναι πάντα σωστή. Καθώς όμως τα πρότυπα του οφθαλμού που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ισχύος των ενδοφακών ενσωματώνουν την παραξονική ισχύ του κερατοειδή, και η τελευταία υπολογίζεται με βάση την καμπυλότητα του κέντρου του, καταλαβαίνουμε ότι σε ορισμένους οφθαλμούς με ασύμμετρους κερατοειδείς μπορεί να προκληθούν αστοχίες στην επιλογή της ισχύος του ενδοφακού.

## 5.6 Συστήματα τοπογράφου

Η εταιρεία Laserlight εφάρμοσε μια κάπως διαφορετική τακτική στον Astramax τοπογράφο της. Είναι ένας διαφορετικός δίσκος Placido, όπου παρέχει στο λογισμικό το οποίο ερμηνεύει τις ανακλάσεις, στοιχεία για τη σχετική ομόκεντρη απόσταση των ανακλάσεων μεταξύ τους, αλλά και για την απόστασή τους στον κερατοειδή. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιεί τρεις κάμερες για να πάρει φωτογραφίες των ανακλάσεων από τρεις διαφορετικές γωνίες, έτσι θεωρητικά προκύπτουν πιο ακριβή φωτογραφικά δεδομένα. Επίσης, παρέχει χάρτες παχυμετρίας του κερατοειδή και τοπογραφία της οπίσθιας επιφάνειας.



*Εικόνα 5.5.: Τοπογραφική συσκευή Astramax*



*Εικόνα 5.6.: Τροποποιημένος δίσκος Placido*

### 5.6.1 Orbscan σύστημα

Αν και ο Astramax δεν είχε μεγάλη αποδοχή, το σύστημα Orbscan της Orbtek και τώρα της Baush and Lomb, είχε μεγάλη επιτυχία και αποδοχή. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί την τοπογραφία Placido disc μαζί με την τεχνική σάρωσης σχισμής (slit scanning). Με απλά λόγια προβάλλει ταυτόχρονα στον κερατοειδή ρινικά και κροταφικά δύο πού λεπτές κάθετες δέσμες φωτός, οι οποίες εστιάζονται πάνω στην κερατοειδική επιφάνεια ταυτόχρονα με την ανάκλαση του Placido disk. Οι σχισμές αυτές σαρώνουν το ρινικό και κροταφικό κερατοειδή και από την ανάκλαση τους υπολογίζεται ο παχυμετρικός χάρτης του κερατοειδή και ο καμπυλομετρικός χάρτης της πίσω επιφάνειας.

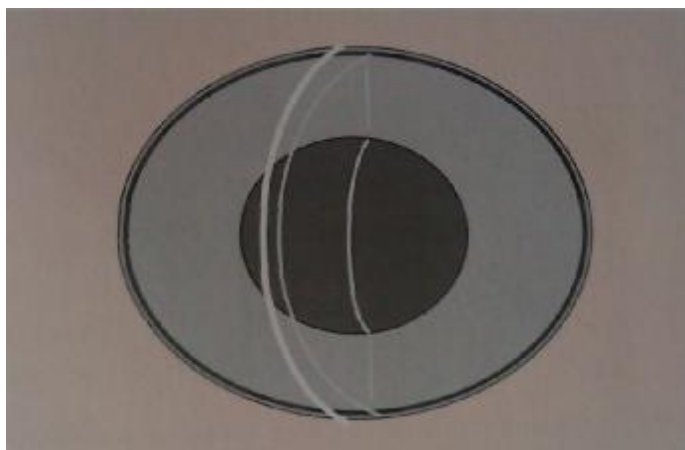


*Εικόνα 5.7.: Συσκευή Orbscan*

Η συσκευή Orbscan βοήθησε στον διαχωρισμό του αρχόμενου κερατόκωνου με την βοήθεια του καμπυλομετρικού και υψομετρικού χάρτη της πίσω επιφάνειας. Ωστόσο το σύστημα καθώς βασίζεται στις κερατοειδικές ανακλάσεις, είναι πιθανό να παράγει ανακριβείς χάρτες αν υπάρχει αδιαφάνεια κερατοειδή. Ακόμα, δεν είναι τόσο ακριβές στην μέτρηση του σημείου και της καμπυλότητας της κορυφής του κερατοειδή, γιατί τα δεδομένα του slit scanning είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους χωρίς κοινό σημείο αναφοράς.

#### 5.6.1.1. Η τεχνολογία Scanning slit

Μέχρι σήμερα μόνο η εταιρία Bausch & Lomb Surgical διαθέτει συσκευή με τεχνολογία σχισμοειδούς σάρωσης. Η συσκευή Orbscan προβάλλει οπτικές τομές στον κερατοειδή, παρόμοιες με τις οπτικές τομές της σχισμοειδούς λυχνίας, κατά τη λήψη των δεδομένων.



**Εικόνα 5.8.:** Μία οπτική τομή της slit scanning τεχνολογίας.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μετρά τις καμπυλότητες και τις υψομετρικές διαφορές της πρόσθιας και της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς. Η μέτρηση της οπίσθιας επιφάνειας είναι σημαντική για τον προσδιορισμό του οπίσθιου κερατόκωνου. Παρά το γεγονός ότι η οπτική ισχύς της οπίσθιας επιφάνειας είναι πολύ μικρότερη (-6 D) από αυτή της πρόσθιας (48 D), η συμβολή της είναι σημαντική στην οπτική επίδοση.

Η αξιοποίηση μιας περιστρεφόμενης Scheimpflug camera είναι μία άλλη μέθοδος υψομετρικής εκτίμησης που χρησιμοποιεί η συσκευή Pentacam της Oculus.

Η Orbscan τοπογραφία του κερατοειδούς αξιοποιεί την οπτική ανάλυση της σάρωσης του κερατοειδούς από οπτικές τομές. Η τεχνολογία είναι εξαιρετικά χρήσιμη γιατί καταγράφει και τις δύο επιφάνειες του κερατοειδούς.

#### **5.6.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Orbscan**

Το Orbscan είναι σήμερα η συχνότερα χρησιμοποιημένη τοπογραφική συσκευή στη διαθλαστική χειρουργική. Επιτρέπει τη μέτρηση του κερατοειδικού πάχους και της σχετικής ανύψωσης του κερατοειδούς.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του Orbscan είναι:

- Καλύτερα δεδομένα καταγραφής για την ανύψωση και την καμπυλότητα του κερατοειδούς με το συνδυασμό του slit scan και του placido disc
- Μεγάλες οπτικές ζώνες καταγραφής (μέχρι 11mm)
- Μικρότερη ευαισθησία της συσκευής στην εστίαση και στην επικέντρωση και μικρότερη εξάρτηση από το δακρυϊκό φιλμ.

Υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα. Έτσι το Orbscan έχει:

- Υψηλό κόστος
- Μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων
- Η χρήση του απαιτεί εξειδικευμένη γνώση.

Γενικά, η μελέτη των χαρτών και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της συσκευής είναι σχετικά πολύπλοκη διαδικασία.

Η παρουσίαση των ανωμαλιών της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς είναι σημαντικό κλινικό στοιχείο. Αν και η οπίσθια επιφάνεια έχει κατά 7 φορές μικρότερη οπτική ισχύ σε σύγκριση με την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς, η επίδραση των ανωμαλιών της οπίσθιας κερατοειδικής επιφάνειας στην οπτική επίδοση φαίνεται πως είναι σημαντική.

Η ακρίβεια και η αξιοπιστία της συσκευής είναι μικρότερη των 10 $\mu$ m. Υπό ιδανικές συνθήκες μέτρησης η ακρίβεια περιορίζεται στο εύρος των 4 $\mu$ m στην κεντρική περιοχή του κερατοειδούς και στα 7 $\mu$ m στον περιφερικό κερατοειδή. Στην κλινική πράξη η ακρίβεια της μέτρησης είναι περισσότερο εξαρτώμενη από ότι στην κλασική τοπογραφία του κερατοειδούς. Επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η κίνηση των οφθαλμών, ο μεγαλύτερος χρόνος εξέτασης και η αδυναμία των ασθενών να κρατούν πολύ ανοιχτά τα μάτια τους για αρκετό χρόνο.

Η τεχνολογία του Orbscan βασίζεται σε οπτικές τομές και επομένως προϋποτίθεται η οπτική διαύγεια του κερατοειδούς για την ορθή μέτρηση.

Αρχικά, η εταιρία Orbtek Inc, η οποία τώρα είναι θυγατρική της Bausch & Lomb Surgical παρουσιάζει το Orbscan I, με το οποίο εισάγεται στην κλινική πράξη η υπομετρική τοπογραφία του κερατοειδούς. Η μέτρηση του βασίζεται στις αρχές της γεωγραφικής τοπογραφίας και σε τριγωνομετρικούς υπολογισμούς της προβολής μιας οπτικής σχισμής πάνω στις κερατοειδικές επιφάνειες.

Το Orbscan I αξιοποιούσε μόνο την τεχνολογία slit scanning. Σύντομα διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις του δεν ήταν ιδιαίτερα ακριβείς και έτσι η συσκευή αναβαθμίστηκε. Το Orbscan II έχει επιπλέον ένα σύστημα placido disc. Το Orbscan II είναι ουσιαστικά μια υβριδική συσκευή που συνδυάζει τις τεχνολογίες ανάκλασης και προβολής, δηλαδή τις τεχνολογίες του placido disc για την καμπυλομετρική τοπογραφία και του slit scanning για την υπομετρική τοπογραφία.

Σήμερα, η αναβαθμισμένη συσκευή του Orbscan IIz αποτελεί τμήμα του Zyoptix Diagnostic Workstation της Bausch & Lomb μαζί με το Zywave και το Treatment Planner.

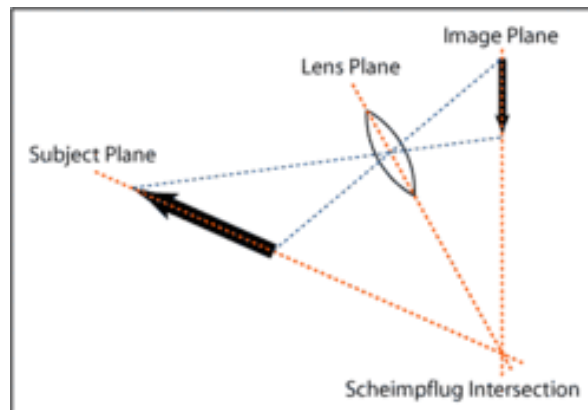
### **5.6.2. Scheimpflug imaging σύστημα**

Μία από τις τελευταίες τεχνολογίες που τραβάει την προσοχή και το ενδιαφέρον των ερευνητών και των κλινικών επιστημόνων, είναι η Scheimpflug imaging, η οποία πήρε το όνομα της από τον Αυστριακό λοχαγό Theodore Scheimpflug, που την ανέπτυξε καθώς ερευνούσε τρόπους βελτίωσης της ποιότητας των αεροφωτογραφιών. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται στην συσκευή Pentacam Comprehensive Eye Scanner της Oculus και στην συσκευή Galilei της Ziemer Ophthalmic System.

Η αρχή του Scheimpflug βασίζεται στον γεωμετρικό κανόνα που περιγράφει τον προσανατολισμό επιπέδου εστίασης του συστήματος όταν το επίπεδο κάμερας δεν είναι παράλληλο στο επίπεδο εικόνας. Στις απλές κάμερες τα επίπεδα εικόνας-ειδώλου πρέπει να είναι παράλληλα μεταξύ τους για να υπάρχει ευκρινής εικόνα.



Στην περίπτωση όμως, που χρησιμοποιούνται κάμερες Scheimpflug τότε δε χρειάζεται τα δύο επίπεδα να είναι παράλληλα. Αυτές οι μη παράλληλες ευθείες αν προεκταθούν θα τέμνονταν σε ένα σημείο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Πλεονέκτημα είναι το μεγάλο βάθος πεδίου.



*Εικόνα 5.9.: Η αρχή λειτουργίας Scheimpflug*

Από τις παραπάνω συσκευές, η Pentacam χρησιμοποιεί μια περιστρεφόμενη κάμερα Scheimpflug, ενώ η Galilei δύο περιστρεφόμενες κάμερες και έναν δίσκο Placido. Οι δυνατότητες των μηχανημάτων αυτών είναι εντυπωσιακές. Η Pentacam μπορεί να παράγει καμπυλομετρικούς και υψομετρικούς χάρτες από την πρόσθια και την οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή, καθώς και παχυμετρικούς χάρτες του κερατοειδή και του πρόσθιου θαλάμου. Ακόμα υπολογίζει τη χωρητικότητα του πρόσθιου θαλάμου και μπορεί να φωτογραφίσει σε τομή τον κρυσταλλοειδή φακό αποκαλύπτοντας τυχόν διαφάνειες. Από την άλλη η συσκευή Galilei μπορεί να κάνει όλα τα παραπάνω, ενώ με μυδρίαση του οφθαλμού υποστηρίζει ότι μπορεί να παράγει χάρτες του κρυσταλλοειδή φακού.

Οι συσκευές Scheimpflug δεν επηρεάζονται από μικρές αδιαφάνειες του κερατοειδή όπως η Orbscan, ενώ έχουν την δυνατότητα να υπολογίσουν με ακρίβεια το σημείο και την καμπυλότητα της κορυφής του κερατοειδή (από συνυπολογισμό όλων των δεδομένων κατά την περιστροφή της κάμερας), και σε συνδυασμό με τους υψομετρικούς χάρτες μπορούν να υπολογίσουν ακριβέστατα τη διαθλαστική ισχύ σε όλη την έκταση του κερατοειδή.



**Εικόνα 5.10.:** Συσσκευή Pentacam



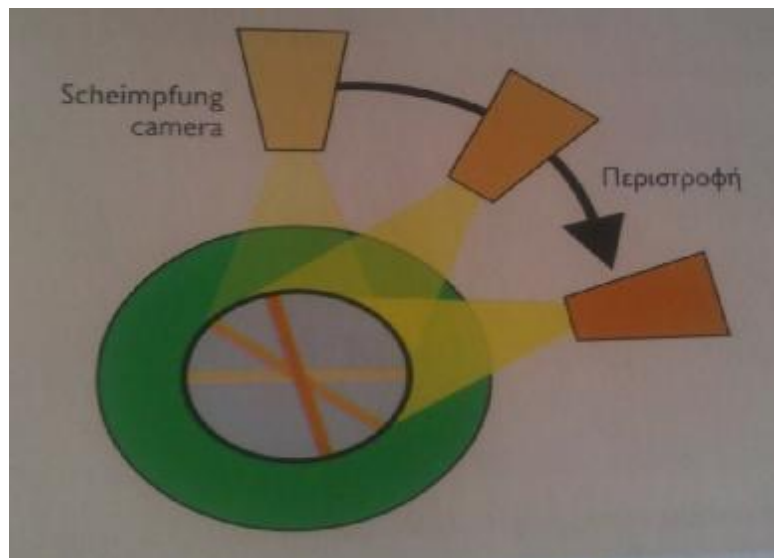
**Εικόνα 5.11.:** Συσσκευή Galilei

#### **5.6.2.1. Η τεχνολογία της περιστρεφόμενης Scheimpflug camera**

Η συσκευή Pentacam της Oculus είναι μιας νεότερης γενιάς τοπογραφική συσκευή που καταγράφει υψομετρικά το πρόσθιο ημιμόριο του οφθαλμού και αποδίδει μεταξύ άλλων τοπογραφικούς χάρτες ανύψωσης, παχυμετρίας, καμπυλομετρίας και πυκνομετρίας. Η μέτρηση βασίζεται στη λήψη στερεοσκοπικών εικόνων του προσθίου ημιμορίου του οφθαλμού, η οποία γίνεται από μια κυκλικά περιστρεφόμενη Scheimpflug camera και την επεξεργασία αυτών των εικόνων από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Από αυτές αξιοποιούνται 50 σχισμοειδείς εικόνες και παρέχονται τρισδιάστατες εικόνες από την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς μέχρι την οπίσθια επιφάνεια του κρυσταλλοειδούς φακού. Η εξέταση είναι γρήγορη και ακριβής. Γίνεται χωρίς την επαφή με τον οφθαλμό και συμπληρώνεται σε 2 sec. Κατά τη

διάρκεια της σάρωσης η σταθερότητα της προσήλωσης εξασφαλίζεται από μία δεύτερη camera που εστιάζει στο επίπεδο της κόρης. Οι κινήσεις του οφθαλμού διορθώνονται αυτόματα.

Η ομόκεντρη προς το κέντρο του κερατοειδούς περιστροφική κίνηση της camera γίνεται σε ένα τόξο  $180^\circ$  στην κροταφική περιοχή του οφθαλμού (από τις  $130 - 310^\circ$  για το δεξιό οφθαλμό). Με την περιστρεφόμενη αρχή τα κεντρικά σημεία καταγράφονται επακριβώς. Ο υπολογιστής της συσκευής παρέχει πολλαπλές απεικονίσεις και απόλυτες τιμές των μετρήσεων του προσθίου ημιμορίου. Μετρώνται 25.000 αληθή σημεία ανύψωσης με ακρίβεια και η ανάλυση των δεδομένων είναι αξιόπιστη.



**Εικόνα 5.12.:** Η αρχή της μέτρησης με την περιστρεφόμενη Scheimpflug camera.

Η αρχή Scheimpflug βασίζεται στους κανόνες της γεωμετρικής οπτικής και περιγράφει την επίδραση της εστίασης μιας φωτογραφικής μηχανής από τη μεταβολή της κλίσης. Υπάρχουν τρία επίπεδα που επιδρούν πάνω στην εστίαση μιας φωτογραφικής μηχανής. Το επίπεδο του ειδώλου (του film ή του ψηφιακού αισθητήρα), το επίπεδο του φακού και το επίπεδο του φωτογραφιζόμενου αντικειμένου. Αν και τα τρία επίπεδα είναι απολύτως παράλληλα μεταξύ τους, η εστίαση είναι οξεία και ακριβής σε όλο το εύρος του ειδώλου αλλά με περιορισμένο βάθος πεδίου. Η κλίση οποιουδήποτε από τα τρία αυτά επίπεδα, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της εστίασης. Η περιοχή του ειδώλου που είναι σε εστία, είναι μόνο στο σημείο όπου τα τρία επίπεδα τέμνονται. Η αρχή πήρε το όνομά της από τον αυστριακό αξιωματικό Theodor Scheimpflug (1865- 1911) που την περιέγραψε.

Αναλυτικά οι δυνατότητες της συσκευής Pentacam περιλαμβάνουν:

- Scheimpflug εικόνα: Η εικόνα μπορεί να παρατηρηθεί αρχικά κατά την εστίαση ή να επισκοπηθούν και οι 3 D φωτογραφικές σαρώσεις του προσθίου ημιμορίου. Η θέση της camera μπορεί να αλλάξει. Απεικονίζεται όλο το πρόσθιο ημιμόριο, από τον κερατοειδή μέχρι και το οπίσθιο περιφάκιο,

συμπεριλαμβανομένης της γωνίας του πρόσθιου θαλάμου σε απόσταση μέχρι 100- 150 $\mu$ m.

- Τοπογραφία κερατοειδούς: Η τοπογραφική ανάλυση της πρόσθιας και της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς βασίζεται σε μετρήσεις της ανύψωσης σε όλη την έκταση του κερατοειδούς (μέχρι το σκληροκερατοειδικό όριο). Και οι δύο επιφάνειες του κερατοειδούς μπορεί να αποδοθούν με αξονική, μεσημβρινή, ή υψομετρική χαρτογραφική απεικόνιση.
- Παχυμετρία: Η μεθοδολογία της μέτρησης της παχυμετρίας του κερατοειδούς είναι οπτική και υπολογίζεται από τη διαφορά της υψομετρικής μέτρησης της πρόσθιας και της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδούς. Η ακρίβεια της παχυμετρικής μέτρησης είναι +/- 5 $\mu$ m.
- Πρόσθιος θάλαμος: Μετράται η γωνία, ο όγκος και το ύψος του πρόσθιου θαλάμου στερεοσκοπικά.
- Πυκνομετρία του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού: Η θόλωση του φακού και οι μεταβολές στην υποπεριφακιακή περιοχή μπορεί να μετρηθούν, όπως και να γίνει συγκριτική μελέτη, π.χ. η εκτίμηση της απόστασης μεταξύ κρυσταλλοειδούς φακού και φακικού ενδοφακού.

## 5.7. Λειτουργία τοπογραφικού μηχανήματος

Η λειτουργία ενός τοπογραφικού μηχανήματος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

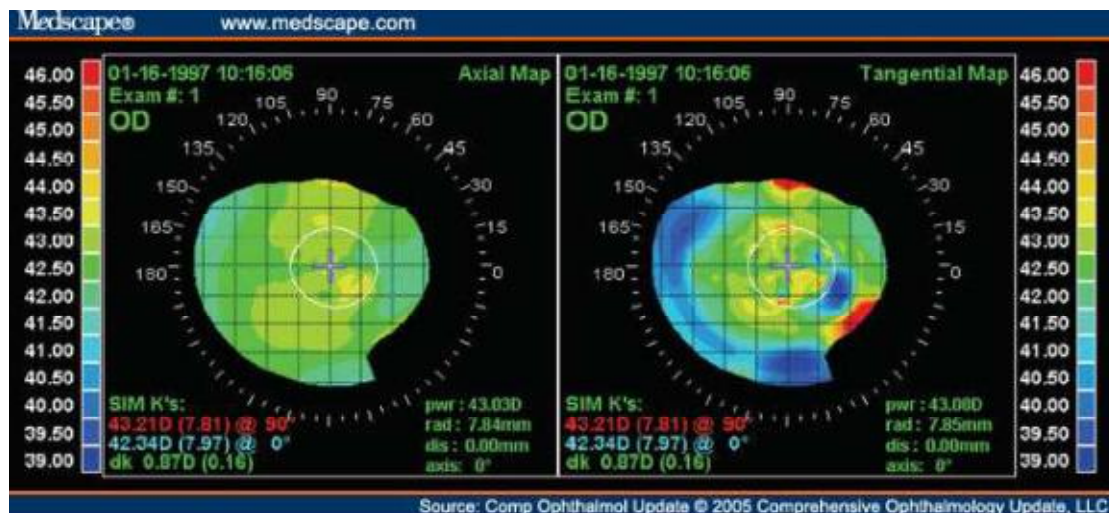
- Την αρχή της ανάκλασης (κερατόμετρα, βιντεοκερατοσκοπία). Μετρούν την κερατοειδική κλίση και τη μετατρέπουν σε ακτίνα καμπυλότητας και διοπτρική ισχύ, μέσω ανακλώμενης ακτίνας από τον κερατοειδή. Το σύνολο αυτών των ακτινών καταγράφεται από ψηφιακή κάμερα. Ειδικότερα, με το Placido disc, η τοπογραφία βασίζεται στην απεικόνιση ομόκεντρων εναλλασσόμενων φωτεινών και σκοτεινών δακτυλίων που προβάλλονται στην πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς. Η τελική παραμορφωμένη ανακλώμενη εικόνα επεξεργάζεται για να δώσει την τελική μορφή του χάρτη καθώς και άλλες παραμέτρους όπως η ασφαιρικότητα και η εκκεντρότητα.
- Την αρχή της προβολής. Μετρείται απευθείας το πραγματικό σχήμα του κερατοειδή σε όρους «υψομέτρου», από το οποίο εξαγονται η κλίση, η καμπυλότητα και η διοπτρική ισχύς.

## 5.8. Τοπογραφικοί χάρτες

Η τοπογραφία του κερατοειδούς είναι μια μέθοδος λεπτομερούς απεικόνισης της επιφάνειας του κερατοειδούς και συγχρόνως μια διαγνωστική διαδικασία για διάφορες ασθένειες που προέρχονται εξαιτίας ανωμαλιών που υπάρχουν σε αυτήν την διαθλαστική επιφάνεια του οφθαλμού. Από αυτήν λαμβάνουμε πληροφορίες για την καμπυλότητα και το σχήμα της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας, τη διοπτρική δύναμη και το πάχος του κερατοειδούς. Με την τοπογραφία μπορούμε να δούμε και εικονικά σε μορφή χαρτών (και τρισδιάστατα) τη μορφή του κερατοειδή σημείο προς

σημείο. Κάθε χάρτης έχει μια χρωματική κλίμακα που αντιστοιχεί σε κερατομετρικές διοπτρίες. Ο κάθε τοπογραφικός χάρτης μας δίνει διαφορετικές πληροφορίες για τον κερατοειδή. Κάθε σημείο ορίζεται με πολικές συντεταγμένες που δίνουν την απόσταση από το κέντρο και τον αντίστοιχο άξονα, σε μοίρες. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Axial Power Maps (Αξονικής Ισχύος): είναι οι πιο απλοί απεικονιστικοί χάρτες. Οι πληροφορίες που αντλούμε είναι σχετικά με την καμπυλότητα του κερατοειδούς. Στη χρωματική κλίμακα, τα ζεστά χρώματα όπως το κόκκινο αντιπροσωπεύουν τις πιο κυρτές περιοχές σε αντίθεση με τα ψυχρά όπως το μπλε που μας δείχνουν τις πιο επίπεδες περιοχές. Η απεικόνιση αυτή παρέχει μια σφαιρική προβολή της καμπυλότητας του κερατοειδή στο σύνολό της. Μειονεκτεί στην απεικόνιση μικρών παραλλαγών καμπυλότητας γενικώς, καθώς και στην ακριβή απεικόνιση της καμπυλότητας στην περιφέρεια του κερατοειδή. Παρόλα αυτά παραμένει ο πιο συνήθης χρησιμοποιούμενος χάρτης καθώς είναι αρκετά εύκολος στην ανάγνωση του.
- Tangential Power Maps (Μεσημβρινής Ισχύος): είναι οι πιο ευαίσθητοι χάρτες που προσφέρουν την καλύτερη απεικόνιση για τον εντοπισμό της κερατοειδικής βλάβης, με μεγάλη ακρίβεια. Χρησιμεύει και στην μετεγχειρητική παρακολούθηση. Υπολογίζουν την κερατοειδική καμπυλότητα με μια εφαπτομενική σχέση με την καμπυλότητα του φυσιολογικού κερατοειδή. Επιπλέον, δίνουν πιο ακριβείς λεπτομέρειες όσο αφορά τις παθήσεις.



**Εικόνα 5.13.:** Αριστερά Axial Map και δεξιά Tangential Map

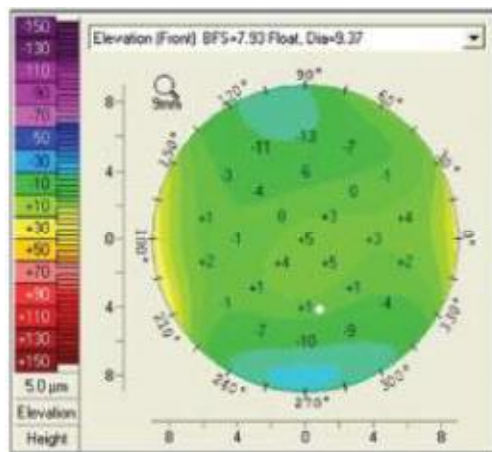
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι χάρτες αυτοί υπολογίζουν την καμπυλότητα του κερατοειδή και όχι τη διοπτρική ισχύ του.

- Elevation Maps (Χάρτης Ανύψωσης): Δείχνουν το μετρούμενο ύψος ή βάθος (υψομετρική διαφορά) από το οποίο η κερατοειδική καμπυλότητα αποκλίνει σε

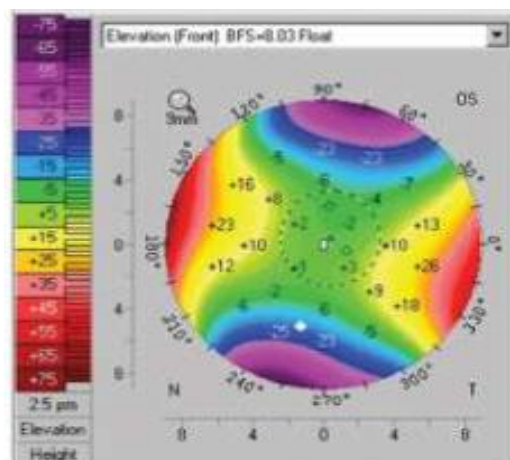
σύγκριση με μια σφαιρική επιφάνεια αναφοράς, χρησιμοποιώντας έναν διαφορετικό αλγόριθμο.



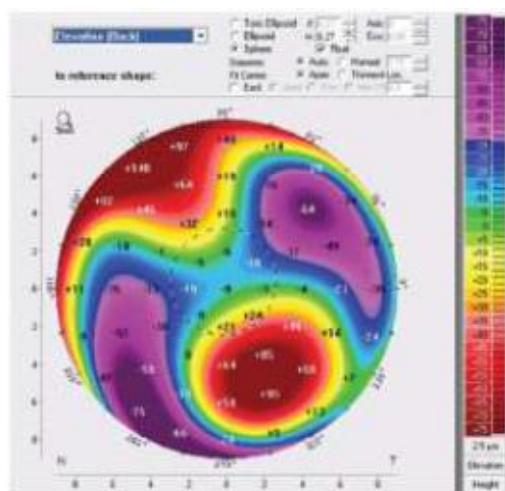
Οι καμπυλότητες A-B είναι ίδιες με τη C-D ενώ το επίπεδο του ύψους είναι διαφορετικό.



Εικόνα 5.14.: Elevation Map φυσιολογικού οφθαλμού



Εικόνα 5.15.: Elevation Map αστιγματικού οφθαλμού



**Εικόνα 5.16.:** Elevation Map κερατοκωνικού οφθαλμού

Παρατηρούμε ότι στην παραπάνω τοπογραφία υπάρχει ανύψωση περιφερικά και κάτω του κεντρικού τμήματος της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή. Υπάρχουν διαφορές με το φυσιολογικό οφθαλμό, ο οποίος δεν έχει μεγάλες διαβαθμίσεις και ο αστιγματικός που έχει περιφερικά. Οι αριθμοί που βρίσκονται σε κάθε τέτοιο χάρτη είναι προσέγγιση ανύψωσης του εξεταζόμενου κερατοειδή σε σχέση με μια επιφάνεια αναφοράς.

Θεωρητικά, η οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή οπτικά, δεν είναι τόσο σημαντική όσο η πρόσθια, όμως υποδεικνύει καλύτερα αλλοιώσεις και ανωμαλίες του κερατοειδή. Αυτό συμβαίνει γιατί η πρόσθια επιφάνεια μπορεί να κρατήσει σταθερή τη δομή της, ενώ η οπίσθια όχι. Έτσι, ενώ στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν ενδείξεις για έναν φυσιολογικό κερατοειδή, στην δεύτερη υπάρχουν αλλοιώσεις – ένδειξη για κάποια πάθηση.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες χαρτών (axial και tangential maps) είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι από τα μηχανήματα τοπογραφίας, χωρίς όμως να έχουν τη δυνατότητα αναγνώρισης κερατόκωνου. Ο λόγος έγκειται στο ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη μορφή αναγνώρισής του. Εν ολίγοις, θα μπορούσαμε να πούμε πως ένας οφθαλμός μπορεί να έχει ανερχόμενο κερατόκωνο, κάτι το οποίο μπορούμε να το εντοπίσουμε μόνο με ένα elevation map της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή. Χαρακτηρίζεται από αλλοιώσεις και μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Συνέπεια αυτών, είναι η ένδειξη λέπτυνσης του κερατοειδή στα συγκεκριμένα σημεία.

## 5.9. Οι κλινικές εφαρμογές της τοπογραφίας του κερατοειδούς:

Οι συνήθεις κλινικές ενδείξεις για την τοπογραφία του κερατοειδούς περιλαμβάνουν τις ακόλουθες νόσους και καταστάσεις:

### **5.9.1 Παθολογικές καταστάσεις κερατοειδούς**

Συχνά η τοπογραφία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της σοβαρότητας ή για την παρακολούθηση της προόδου της κερατοειδικής εκτασίας οφείλεται σε διάφορες νόσους. Η συμβολή της τοπογραφίας είναι καθοριστική στην ανίχνευση κερατόκωνου και της pellucid περιφερικής εκφύλισης του κερατοειδούς. Μόνο η τοπογραφία αποκαλύπτει τον υποκλινικό κερατόκωνο. Όμως η τοπογραφική διάγνωση δεν είναι πάντοτε δυνατή, γιατί και άλλες μη εκτατικές καταστάσεις, όπως το κερατοειδικό warpage , μπορεί να μιμηθούν τοπογραφικά τον κερατόκωνο. Η διαφορική διάγνωση πρέπει να βασίζεται συμπληρωματικά στο ιστορικό και στην οφθαλμολογική εξέταση.

Έχουν προταθεί διάφοροι εμπειρικοί ποσοτικοί δείκτες (ενδεικτικοί και όχι απόλυτοι) για τη διάγνωση του κερατόκωνου. Για παράδειγμα η κεντρική καμπυλότητα να είναι  $>47,2$  D, ο δείκτης διαφοράς συμμετρίας της κάτω προς την άνω περιοχή του χάρτη του κερατοειδούς να είναι  $>1,2$  D, ο υψηλός δείκτης του ανώμαλου αστιγματισμού, κ.τ.λ. Επιπλέον, η αυτόματη αναγνώριση του κερατόκωνου από το λογισμικό του υπολογιστή της συσκευής, έχει αρκετά βελτιωθεί με τη χρήση αλγόριθμων (τα λεγόμενα neural networks). Όμως, όλοι οι τοπογραφικοί δείκτες και η στατιστική ανάλυση για την ανίχνευση του υποκλινικού κερατόκωνου συνάγουν θετικά ή αρνητικά διαγνωστικά σφάλματα.

Τέλος, η τοπογραφία βοηθά και στη μελέτη άλλων διαθλαστικών παθολογικών καταστάσεων του κερατοειδούς που προκαλούν ανωμαλία της μορφολογίας του, όπως δυστροφικές , τραυματικές , φλεγμονώδεις ή μετεγχειρητικές αλλοιώσεις της αρχιτεκτονικής του κερατοειδούς.

### **5.9.2. Προεγχειρητικός έλεγχος (pre op screening)**

Η ανίχνευση του κερατόκωνου και των άλλων παθολογικών καταστάσεων του κερατοειδούς είναι καθοριστική για την καταλληλότητα των υποψήφιων για διαθλαστική χειρουργική. Επιπλέον, η τοπογραφία βοηθά στον κατάλληλο προγραμματισμό της επεμβατικής προσέγγισης σε μη παθολογικούς οφθαλμούς, π.χ. στην αστιγματική κερατοτομία ή στη διαθλαστική εγχείρηση του καταρράκτη.

### **5.9.3. Ανώμαλος αστιγματισμός**

Η τοπογραφία βοηθά στην ανίχνευση και την εκτίμηση του ανώμαλου αστιγματισμού, ειδικά μετά από διαμπερή κερατοπλαστική ή λανθασμένη excimer laser αφαίρεση. Επιπλέον, η τοπογραφία στον μετεγχειρητικό αστιγματισμό καθοδηγεί στη ρύθμιση ή στην αφαίρεση των ραμμάτων, στο σχεδιασμό αστιγματικών τομών, στη μετεγχειρητική εφαρμογή των φακών επαφής, κ.λπ.



#### **5.9.4. Αποτελέσματα της διαθλαστικής χειρουργικής**

Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της διαθλαστικής χειρουργικής γίνεται πληρέστερα με την τοπογραφία. Η τοπογραφία αποκαλύπτει τα προβλήματα της ανακριβούς φωτοαφαίρεσης και την αποτελεσματικότητα όλων των διαθλαστικών επεμβάσεων.

#### **5.9.5. Εφαρμογή των φακών επαφής**

Η τοπογραφία του κερατοειδούς είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εφαρμογή φακών επαφής σε φυσιολογικούς και σε ανώμαλους κερατοειδείς, π.χ. στον κερατόκωνο, μετά από κερατοπλαστική, κ.λπ.

### **5.10. Η ακρίβεια της μέτρησης των τοπογραφικών συσκευών**

Οι διάφορες τεχνολογίες των συσκευών της τοπογραφίας του κερατοειδούς χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους μέτρησης και βέβαια διαφορετικούς αλγόριθμους. Έτσι, τα εξερχόμενα δεδομένα δεν είναι συγκρίσιμα μολονότι είναι παραπλήσια. Επιπλέον, οι τεχνολογίες συνεχώς βελτιώνονται και συνεπώς οι συσκευές υφίστανται αναβαθμίσεις. Τα αποτελέσματα των συγκριτικών μελετών μεταξύ των διάφορων συσκευών τοπογραφίας γίνονται σύντομα παρωχημένα και είναι δύσκολο να ερμηνευθούν με πρακτικά κλινικά κριτήρια.

Τα βήματα της λήψης και της ανάλυσης της βιντεοκερατοσκοπικής πληροφορίας είναι:

- Ø Ο ασθενής τοποθετείται στην κατάλληλη θέση. Πρέπει να κάθεται άνετα. Ελέγχεται η θέση του, ώστε το κεφάλι του να ακουμπά σωστά πάνω στη συσκευή. Ευθυγραμμίζονται οι οφθαλμοί, δηλαδή τα κέντρα της κόρης των οφθαλμών ώστε να είναι στην ίδια οριζόντια ευθεία. Η ανισοϋψής θέση των οφθαλμών προκαλεί κυκλοστροφή, ο εντοπισμός του αστιγματικού άξονα γίνεται σε λάθος μοίρες και οι τοπικές ανωμαλίες του κερατοειδούς καταγράφονται σε λάθος θέση
- Ø Ο ασθενής προσηλώνει στο στόχο της συσκευής δίχως να προκαλεί προσαρμογή. Η προσαρμογή προκαλεί σύγκλιση και κυκλοστροφή των οφθαλμών.
- Ø Ο placido disc φωτίζεται και τα mires ανακλώνται από την κερατοειδική επιφάνεια.
- Ø Ο χειριστής της συσκευής εστιάζει και ευθυγραμμίζει τα mires σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ορισμένες συσκευές είναι αυτοματοποιημένες και βοηθούν στη διαδικασία της εστίασης και της ευθυγράμμισης, οπότε ο έλεγχος των mires γίνεται μετά τη λήψη, αλλά πριν την επεξεργασία της εικόνας.

- Ø Ελέγχεται, κατά το δυνατόν, η ποιότητα των δακρύων και ο ασθενής ανοιγοκλείνει τα βλέφαρα αμέσως πριν τη λήψη, ώστε η προκερατοειδική δακρυϊκή στιβάδα να έχει την καλύτερη δυνατή διασπορά.
- Ø Αμέσως μετά, ο χειριστής ενεργοποιεί το διακόπτη της λήψης.
- Ø Η CCD video camera καταγράφει την εικόνα.
- Ø Γίνεται η ψηφιοποίηση της εικόνας από τον υπολογιστή.
- Ø Προσδιορίζεται η θέση των mires.
- Ø Η συσκευή ορίζει το σημείο αναφοράς της μέτρησης, δηλαδή προσδιορίζει το κέντρο του τοπογραφικού χάρτη.
- Ø Εντοπίζονται τα σημεία μέτρησης των δεδομένων.
- Ø Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος.
- Ø Τέλος, αποδίδεται η εικόνα με τα αποτελέσματα της καταγραφής σε διάφορες μορφές.

Ο βαθμός ευκολίας στη χρήση (λιγότερο ή περισσότερο φιλική στο χρήστη) της συσκευής επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της εξέτασης και την ορθότητα της καταγραφής.

Υπάρχουν κατασκευαστικοί περιορισμοί στην ακρίβεια καταγραφής της τοπογραφίας του κερατοειδούς. Το σφάλμα στη μέτρηση της τοπογραφίας, με ιδανικές συνθήκες μέτρησης, έχει εύρος +/- 0,25 ή +/- 2-3  $\mu\text{m}$ . Στους ανώμαλους κερατοειδείς το σφάλμα είναι συχνά κατά την πρακτική κλινική εφαρμογή +/- 0,5- 1,00 D και οφείλεται σε διάφορους παράγοντες.

Μολονότι η τεχνολογία placido disc είναι πολύ ακριβής, η ποιότητα της μέτρησης ποικίλλει από συσκευή σε συσκευή. Οι συσκευές έχουν διαφορετική ευαισθησία και διαφορετική διακριτική ανάλυση. Επιπλέον, δεν έχουν ταυτόσημη εγκυρότητα και απαναληπτικότητα. Οι διαφορές τους είναι σημαντικές, έστω κι αν ανήκουν στην ίδια τεχνολογική κλάση. Μερικές συσκευές placido disc έχουν π.χ. λιγότερους ή παχύτερους δακτυλίους ή δεν αναγνωρίζουν πολλά σημεία σε ακτινωτή διάταξη επί των ημιμεσημβρινών. Συνήθως ο υπολογιστής της συσκευής μετρά και αναλύει τη θέση από 15- 38 δακτυλίους (mires) κατά μήκος 256- 360 ημιμεσημβρινών. Θεωρητικά τα καταγραφόμενα δεδομένα είναι από 6.000- 11.000 σημεία.

Δεν υπάρχουν αναγνωρισμένα διεθνή τεχνικά κριτήρια για τις συσκευές της τοπογραφίας και ο ειδικός επαφίεται στη βιβλιογραφία και την εμπειρία του, για την αξιολόγηση της κάθε συσκευής.

Η εγκυρότητα της εξέτασης και η αξιοπιστία μιας τοπογραφικής συσκευής κρίνεται από την επαναληπτικότητά της, δηλαδή από το βαθμό της ταύτισης των διαδοχικών καταγραφών, από τουλάχιστον τρεις μετρήσεις, του ίδιου κερατοειδούς.

Η μέτρηση της τοπογραφίας με τις συσκευές τεχνολογίας placido disc προϋποθέτει ακέραιο επιθήλιο κερατοειδούς και φυσιολογική προκερατοειδική δακρυϊκή στιβάδα. Μερικά από τα συνήθως εμφανιζόμενα λάθη κατά την τοπογραφική εξέταση είναι:

- Ø Λάθη εστίασης που προκαλούν ανακρίβεια της μέτρησης.
- Ø Λάθη ευθυγράμμισης και προσήλωσης που προκαλούν ψευδοαστιγματισμό, ψευδοκερατόκωνο, ασύμμετρο αστιγματισμό ή λάθος στην καταγραφή του ορθού αστιγματικού άξονα.

- Ø Δυσκολία υπολογισμού της θέσης του κέντρου από τους μικρούς δακτυλίους που προκαλεί ανακρίβεια προσδιορισμού του σημείου αναφοράς.
- Ø Αυξημένη ανακρίβεια μέτρησης στην περιφέρεια από μεταφορά της λανθασμένης μέτρησης των κεντρικών σημείων.

Μερικές διαφορές της μέτρησης από συσκευή σε συσκευή της ίδιας τεχνολογίας και για τον ίδιο ασθενή, δεν είναι σημαντικές για τη λήψη μιας απόφασης στη διαχείριση του ασθενούς. Όμως, μερικές φορές, οι διαφορές αυτές είναι κρίσιμες, όπως για π.χ. μια ανωμαλία στη δακρυϊκή στιβάδα μπορεί να ερμηνευθεί κατά λάθος ως κερατόκωνος.

Η συνδυαστική χρήση των τεχνολογιών περιορίζει τα λάθη και επιτρέπει την ορθή διάγνωση στις περιπτώσεις που, είτε γίνεται λάθος στην καταγραφή, είτε εμφανίζονται αντικείμενα.

### 5.11. Οι συσκευές

Οι τοπογραφικές συσκευές αποτελούνται από δύο επιμέρους τμήματα. Το ένα περιλαμβάνει τη μονάδα της μέτρησης και καταγραφής (η λεγόμενη κεφαλή της συσκευής) και το άλλο τη μονάδα ανάλυσης, επεξεργασίας και απεικόνισης της μέτρησης (ο υπολογιστής της συσκευής).

Αναλυτικά η τοπογραφική συσκευή αποτελείται από τα ακόλουθα:

- 1) Το σύστημα της μονάδας μέτρησης (το placid disc, οι οπτικές σχισμές, κ.λπ.)
- 2) Το στόχο προσήλωσης του ασθενούς και τους αυτοματοποιημένους μηχανισμούς ευθυγράμμισης και επικέντρωσης της εξέτασης
- 3) Τη συσκευή καταγραφής (ψηφιακή βιντεοκάμερα ή CCD camera)
- 4) Τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (hardware και επεξεργαστικό software, αλγόριθμοι, κ.λπ.)
- 5) Τα περιφερειακά στοιχεία (εκτυπωτής, monitor, κ.λπ.)

Κάθε συσκευή διαθέτει τα δικά της τεχνικά στοιχεία και λειτουργικά χαρακτηριστικά, έστω και αν ανήκει στην ίδια τεχνολογική κατηγορία. Υπάρχει διαφορετική γνώμη μεταξύ των οφθαλμιάτρων και των οπτικών για το ποια είναι η καλύτερη τοπογραφική συσκευή που διατίθεται στην αγορά. Κάθε τοπογραφική συσκευή έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η καλύτερη συσκευή είναι αυτή με την οποία ο οφθαλμίατρος και ο οπτικός μπορούν να καταγράψουν και να αξιολογήσουν τις παραμέτρους που τους ενδιαφέρουν.

Μερικές τοπογραφικές συσκευές είναι καλύτερες για την εφαρμογή φακών επαφής, άλλες παρέχουν καλύτερη διαθλαστική ανάλυση, ενώ άλλες είναι κατάλληλες για ερευνητική χρήση. Οι τοπογραφικές συσκευές συνήθως διαθέτουν μέρος και όχι όλες τις δυνατές εξειδικευμένες λειτουργίες.

Η τεχνολογική πρόοδος στην οφθαλμολογία και ο συναγωνισμός μεταξύ των διαφόρων κατασκευαστών έχουν επιβάλλει τη συνεχή βελτιωτική αναβάθμιση των τοπογραφικών συσκευών. Βελτιωμένοι αλγόριθμοι, εξειδικευμένοι δείκτες, νέες μορφές παρουσίασης και ανάλυσης των χαρτογραφικών καταγραφών, αυτοματοποιημένη επικέντρωση, αυτόματη ευθυγράμμιση της συσκευής, οπτικά συστήματα για την καλύτερη εστίαση, μικρότερο μέγεθος, δυνατότητα για φορητή συσκευή, μεγαλύτερα αρχεία δεδομένων, συμβατότητα με τις νεότερες εκδόσεις του υπολογιστικού περιβάλλοντος, απλοποιημένη υπολογιστική επιφάνειας εργασίας, φιλικότητα στο χρήστη και αυτοματοποιημένος χειρισμός της συσκευής είναι τα κυριότερα σημεία της συνεχούς πορείας αναβάθμισης των τοπογραφικών συσκευών.

Τα τελευταία 20 χρόνια, η τοπογραφία κερατοειδούς εξελίχθηκε πολύ, και οι πολύπλοκες και ακριβές συσκευές που υπήρχαν μόνο στα μεγάλα ερευνητικά κέντρα αντικαταστάθηκαν από μικρότερες εύχρηστες μονάδες που χρησιμοποιούνται καθημερινά από πολλούς οπτομέτρους. Παράλληλα, η εξέλιξη των υπολογιστών και του λογισμικού οδήγησε σε τοπογράφους μικρότερων διαστάσεων, χαμηλότερου κόστους και μεγαλύτερης ακρίβειας.

Οι γνωστότερες εταιρίες που σήμερα κατασκευάζουν συσκευές τοπογραφίας με τεχνολογία placido disc είναι η Alcon Labs, η EyeSys Premier Laser Systems, η Alliance Medical, η Dicon , η EyeTec, η Humphrey Instruments, η Medmont, η Oculus, η Construzione Strumenti Oftalmici S.r.l., η Opticon 2000, η Technomed Tech, η Weco UK, η Western Opht. Corp., η Tomey, η Nidek και η Topcon.

<b>Δημοφιλέστερες Τοπογραφικές Συσκευές</b>	<b>Κατασκευάστρια εταιρία και μοντέλο</b>
EyeSys Premier Laser Systems	Corneal analysis system 2000 EyeSys Vista
Zeiss Humphrey Ins.	ATLAS
Dicon	CT200
Opticon 2000	Keratron
Alliance Medical	Scout Keratron
Oculus και Haag Streit	Keratograph CTK 922 Easygraph
Costruzione Strumenti Oftalmici	Magellan Topograph Focus portable
Alcon Labs	EH290 Eye Map
Tomey	TMS Corneal Topographer
Technomed Tech.	Color Ellipsoid Keratometer
Nidek Co Ltd	Magellan Mapper AR10000
Euclid System Corp.	ET-800
Bausch & Lomb Surgical	OrbscanII

*Πίνακας: Με Δημοφιλέστερες Τοπογραφικές Συσκευές και τις Κατασκευάστριες εταιρίες και μοντέλα τους*

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα προβλήματα των οφθαλμών μπορεί να εμφανιστούν από την παιδική ηλικία, στην ενηλικίωση, ακόμα και στην μετέπειτα πορεία της ζωής του ανθρώπου. Ωστόσο, μπορούν να εξελιχθούν και σε πολύ επικίνδυνες καταστάσεις για την υγεία. Για αυτό είναι απαραίτητη η τακτική επίσκεψη στον ειδικό για να ελέγχει τα μάτια και να προλαμβάνει την όποια επιδείνωση.

Ο Οπτικός- Οπτομέτρης είναι ο ειδικός που έχει εκπαιδευτεί στη διάγνωση και αντιμετώπιση των διαθλαστικών ανωμαλιών των οφθαλμών. Γενικά, οι Οπτομέτρες εκτελούν πλήρη εξέταση των ματιών εξετάζοντας την όραση κάποιου ατόμου, τη λειτουργία του οπτικού συστήματος, την ποιότητα της διόφθαλμης όρασης και την υγεία των ματιών.

Μέσα από τα σύγχρονα οπτικά όργανα αλλά και τις θεωρητικές γνώσεις ο κάθε οφθαλμίατρος και οπτικός- οπτομέτρης μπορεί να κάνει έγκαιρα τη διάγνωση διαθλαστικών ανωμαλιών και παθολογικών καταστάσεων ώστε να προτείνει την κατάλληλη θεραπεία.

Για την εξέταση των οφθαλμών χρησιμοποιούνται σύγχρονα οπτικά όργανα, τα οποία ο οπτομέτρης γνωρίζει να χειρίζεται. Είναι απαραίτητα για την έγκαιρη και γρήγορη διάγνωση διαφόρων διαθλαστικών ανωμαλιών και παθήσεων.

Σήμερα, τα οπτικά όργανα έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό κάτι που βοηθάει αρκετά τον Οπτικό- Οπτομέτρη να τα χειριστεί σωστά, καθώς επίσης είναι υπεύθυνα για τα άρτια αποτελέσματα των οπτομετρικών εξετάσεων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ασημέλης, Γ., Κατσούλος, Κ., Καραγεωργιάδης, Λ., Μακρυνιώτη, Δ., Βασιλείου, Ν., Μουσαφειρόπουλος, Θ., Μπαχάρης, Κ., (2007) Οπτική και Υπερόραση. Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση. σελ. 5.1, 5.13-5.15, 8.1-8.26, 10.1-10.12.
- Δαμανάκης, Α., Αθανασιάδης, Ι. Π., Αρβανίτης, Γ. Π., Κοκολάκης, Ν. Στ., Τσιούλιας, Η. Γ., (1999) ΔΙΑΘΛΑΣΗ: Βασικές αρχές και τεχνική. 2<sup>η</sup> εκδ. Αθήνα: ιατρικές εκδόσεις Λίτσας. σελ. 89-93
- Δρακόπουλος, Π., Ασημέλης, Γ., (2011) Εφαρμοσμένη Οπτική: Οπτικά Όργανα Απεικόνισης. Εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση. σελ. 256-262.
- Κατσούλος, Κ., Ασημέλης Γ., (2008) Η σύγχρονη διαθλαστική εξέταση. Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση. σελ. 3.21-4.18.
- Κατσούλος, Κ., Μακρυνιώτη, Δ., Ασημέλλης, Γ., Καραγεωργιάδης, Λ., Κωνσταντακόπουλος, Σ., Σαπουνάκης, Η., Φωτεινάκης, Β., (2010) ΦΑΚΟΙ ΕΠΑΦΗΣ: Α' ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ. Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση. σελ. 4.2-4.17.
- Κατσούλος, Κ., Μακρυνιώτη, Δ., Ασημέλλης, Γ., Καραγεωργιάδης, Λ., Κωνσταντακόπουλος, Σ., Σαπουνάκης, Η., Φωτεινάκης, Β., (2010) ΦΑΚΟΙ ΕΠΑΦΗΣ: Β' ΚΛΙΝΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ. Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση. σελ. 10.11-10.13.
- Μαγουλάς, Π. Μ., (2005) Τοπογραφία & Wavefront. Βήτα Ιατρικές Εκδόσεις. σελ. 13-44, 120-137.
- Φωτεινάκης, Β., Πατέρας, Ε., Χανδρινός, Α., (2000) Κλινική Διάθλαση. Εκδοτικός όμιλος "ΙΩΝ". Εκδόσεις "ΕΛΛΗΝ". σελ. 213-273.
- Berson, F. G., (2001) Βασική Οφθαλμολογία. ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ. σελ. 22-25.
- Leitman, W. M., (2005) Εγχειρίδιο Οφθαλμολογικής Εξέτασης & Διάγνωσης. 5<sup>th</sup> ed. Αθήνα: ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ. σελ. 59, 91.
- Snell, S. R., Lemp, A. M., (2006) Κλινική Ανατομία του Οφθαλμού. Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης. σελ 2-14.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Τσουρέκα, Γ. Ε., (2011) *Μελέτη Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγικότητας του τοπογραφικού μηχανήματος Galilei Scheimpflug σε φυσιολογικούς και κερατοκωνικούς οφθαλμούς.* σελ. 5-10. [http://www.optics-vision.gr/files/items/5/54/tsoureka\\_2011.pdf](http://www.optics-vision.gr/files/items/5/54/tsoureka_2011.pdf)
- Khurana, AK., *Theory And Practice Of Optics And Refraction.* 2<sup>nd</sup> Ed. ELSEVIER. σελ. 157-168. <http://books.google.gr>
- Rosenfield, M., Logan, N., (2009) *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management.* 2<sup>nd</sup> Ed. BUTTERWORTH HEINEMANN ELSEVIER. σελ. 257-260. <http://books.google.gr>
- Gutmark, R., Guiton D L., (2010) *HISTORY OF OPHTHALMOLOGY: Origins of the Keratometer and its evolving role in Ophthalmology.* ELSEVIER. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- THE COLLEGE OF OPTOMETRIST. Slit Lamp. [http://www.college-optometrists.org/en/college/museyeum/online\\_exhibitions/optical\\_instruments/slit\\_lamps.cfm](http://www.college-optometrists.org/en/college/museyeum/online_exhibitions/optical_instruments/slit_lamps.cfm)
- THE COLLEGE OF OPTOMETRIST. Keratometers. [http://www.college-optometrists.org/en/college/museyeum/online\\_exhibitions/optical\\_instruments/keratometers.cfm](http://www.college-optometrists.org/en/college/museyeum/online_exhibitions/optical_instruments/keratometers.cfm)
- Gilman, P G., *Slit Lamp Biomicrography.* Salt Lake City, Utah. <http://www.opsweb.org>
- Eye Health Center. Slit Lamp Examination. <http://www.webmd.com/eye-health/slit-lamp-examination>
- History of the Slit Lamp. August 4, 2013 <http://vseyeobserver.patternless.com>
- <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Slit+lamp+microscope>
- <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003880.htm>
- <http://www.minopta.gr>
- <http://www.opthalmic-instruments-india.com>
- <http://www.aitindustries.com>
- <http://halmapr.com>
- <http://www.ommalite.gr>
- <http://jaggibrothers.tradeindia.com>
- <http://en.wikipedia.org>