



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΧΡΗΣΗΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ  
ΣΥΝΟΧΗΣ (OCT) ΓΙΑ  
ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ**

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΑΝΙΤΣΑΣ**

**Αριθμός Μητρώου: 18388083**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Παναγιώτης Λιαπαρίνος, Αναπληρωτής καθηγητής**

**Αθήνα 16/10/2023**

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΟΣΤ

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Λιαπαρίνος Παναγιώτης

Σκουρολιάκου Αικατερίνη

Γκλώτσος Δημήτριος

Αναπληρωτής καθηγητής

Καθηγήτρια

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο υπογράφων **Βασίλειος Μανίτσας** του Ευθυμίου, με αριθμό μητρώου 18388083 φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

Ο Δηλών

16/10/2023



Βασίλης Μανίτσας

## Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός εγχειριδίου χρήσης του συστήματος HOCT-1/1F για κάθε επίδοξο μηχανικό βιοιατρικής με ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο μηχάνημα. Μέσα από αυτήν την εργασία φαίνεται πως η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει σημαντικά στην καλύτερη διάγνωση και θεραπεία της όρασης μέσα από εντελώς αναίμακτες και ανώδυνες μεθόδους με τη χρήση αυτού του εξοπλισμού. Παράλληλα η εργασία αυτή παρέχει σημαντικές πληροφορίες στον αναγνώστη παρουσιάζοντας του ένα κομμάτι της οπτικής που δεν είναι ευρέως διαδομένο και συνδέεται άρρηκτα με την οφθαλμολογία.

Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετιζόμενη με την οφθαλμολογία και την οστεομετρία αλλά και από προσωπικές γνώσεις που αποκομήθηκαν με το πέρας της πρακτικής άσκησης μου σε εταιρεία προμήθειας οφθαλμολογικού εξοπλισμού όπου δόθηκε η δυνατότητα ενασχόλησης τόσο με οφθαλμολογικό εξοπλισμό όσο και με αυτού του είδους της πρωτοποριακής τεχνολογίας.

Η συγκεκριμένη εργασία έχει και πειραματικό χαρακτήρα το οποίο δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης εργαστηριακών δοκιμών σε πανεπιστημιακό περιβάλλον και την μέτρηση και τον υπολογισμό τυπικού σφάλματος. Το σύστημα τομογραφίας οπτικής συνοχής που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Βιοιατρικής ελέγχθηκε επιπλέον σε δοκιμές επαναληψιμότητας προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν αποκλίσεις που μπορεί να υπάρχουν.

***Λέξεις Κλειδιά: Διπλωματική εργασία, οφθαλμολογία, Οπτική τομογραφία συνοχής, όραση, τομογραφία, παθήσεις, Time Domain OCT, Fourier Domain OCT, OCT Αγγειογραφία (OCTA), 3D Απεικόνιση, Τεχνικές προδιαγραφές***

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to create a user manual of HOCT-1/1F system for any future biomedical engineer with an interest to work on this particular system. Within the framework of this thesis, it has been found that the technological evolution of such systems has contributed significantly to better diagnosis and treatment of vision through completely bloodless and painless methods. At the same time, the thesis provides important information regarding the fundamental principles of the optics domain embedded in the system and linked to ophthalmology treatment.

The information was derived from the international literature related to ophthalmology and optometry, but also from the personal knowledge gained by the author during internship at an ophthalmological equipment supply company.

The specific thesis has also an experimental aspect that gives the opportunity for laboratory tests in a university environment so as to measure and calculate the medical system's standard deviation. The optical coherence tomography system hold by the Biomedical Engineering department was subjected to additional testing in order to identify any discrepancies that may exist.

***Keywords: Thesis, ophthalmology, Optical Coherence Tomography (OCT), vision, tomography, ailments, Time Domain OCT, Fourier Domain OCT, OCT Angiography (OCTA), 3D Display, Technical Specifications***

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τους καθηγητές μου για την πολύ σημαντική τους βοήθεια, την ενστάλαξη των πολύτιμων γνώσεων τους και την άμεση ανταπόκριση σε κάθε μου απορία ή δυσκολία προκειμένου να εκπονηθεί και να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διπλωματική μου εργασία. Επίσης ευχαριστώ το προσωπικό και τον πρόεδρο της εταιρείας που αγκάλιασαν την προσπάθεια μου και έγιναν αρωγοί σε αυτήν με την τεχνογνωσία τους το πραγματικό τους ενδιαφέρον και την βοήθεια τους σε οτιδήποτε χρειάστηκα οποιαδήποτε στιγμή.

Τέλος, αφιερώνω την εργασία μου στην οικογένεια μου όπου με στήριξαν και με στηρίζουν σε όλες μου τις προσπάθειες.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολείται με την οπτική τομογραφία συνοχής (OCT – Optical Coherence Tomography), καθώς και με τις δυνατότητες που είχαν και έχουν πλέον τα σύγχρονα συστήματα. Αναλυτικότερα, αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται οι απλές εξετάσεις διάγνωσης και πρόληψης οφθαλμολογικών παθήσεων. Ύστερα από μια ενδελεχή μελέτη και αναζήτηση πληροφοριών η εργασία αυτή πήρε την τελική της μορφή και αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή σχετικά με την ανατομία οφθαλμού και δίνονται βασικά περιγραφικά και λειτουργικά στοιχεία των μερών του οφθαλμού για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία της όρασης και πως αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή εικόνα. Επίσης παρουσιάζεται ο μηχανισμός λειτουργίας της όρασης από το αντικείμενο παρατήρησης έως την παραγωγή της εικόνας στον εγκέφαλο. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι συχνότερες παθήσεις των οφθαλμών που μπορούν να παρουσιαστούν είτε σε νεαρή είτε σε μεγαλύτερη ηλικία καθώς επίσης και των συνηθέστερων τρόπων αντιμετώπισης τους. Αυτό έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα καθώς βάσει αυτών των παθήσεων θα μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή η σημαντικότητα ύπαρξης μηχανημάτων OCT για την έγκαιρη διάγνωση τους. Το θεωρητικό μέρος ολοκληρώνεται με την αναφορά των σύγχρονων τεχνικών απεικόνισης της 3D απεικόνισης και της αγγειογραφίας.

Το πειραματικό μέρος ξεκινάει με το πρωτόκολλο χρήσης ενός συστήματος OCT καθώς επίσης τις διαγνωστικές δυνατότητες που έχει ένα τέτοιο μηχάνημα αλλά και τα αποτελούμενα μέρη του συστήματος που διαθέτει το τμήμα μηχανικών Βιοϊατρικής του πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν από το χειριστή για διεξαγωγή αποτελεσμάτων, οι βλάβες που μπορεί να εμφανίσει το σύστημα (λειτουργικά κυρίως) και τους διάφορους τύπους OCT που υπάρχουν μέχρι στιγμής. Φυσικά, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο σύστημα HOCT-1/1F προκειμένου να διαπιστωθούν οι αποκλίσεις που μπορεί να παρουσιάσει το μηχάνημα κατά τη χρήση του. Η παρούσα διπλωματική εργασία υποδεικνύει τη σημαντική συνεισφορά των συστημάτων OCT στην πρόληψη, διάγνωση, παρακολούθηση αλλά και θεραπεία των οφθαλμικών παθήσεων.

## Περιεχόμενα

### 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1. Ο οφθαλμός.....	10
1.1.1. Ανατομία οφθαλμού.....	10
1.1.2. Λειτουργία Όρασης και σχηματισμός εικόνας.....	14
1.1.3. Βασικότερες οφθαλμολογικές παθήσεις.....	15
1.2. Εισαγωγή στα συστήματα OCT.....	19
1.2.1. Τεχνολογία - Δομή συστήματος OCT.....	20
1.2.2. Απεικόνιση παθήσεων με συστήματα OCT.....	22
1.2.3. OCT αγγειογραφία.....	25
1.2.4. 3D απεικόνιση.....	26

### 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Πρωτόκολλο χρήσης OCT.....	29
2.2. Νομολογία-Σήμανση ιατρικών μηχανήματων.....	29
2.3. Μέρη συσκευασίας-εκκίνηση εφαρμογής.....	30
2.4. Διαδικασία διεξαγωγής εξέτασης.....	32
2.5. Εκτύπωση-Μεταφορά δεδομένων.....	35
2.6. Μέτρηση-Υπολογισμός αποκλίσεων.....	39
2.7. Συντήρηση και βαθμονόμηση.....	41
2.8. Κίνδυνοι χρήσης- Συνήθεις βλάβες.....	43
2.9. Σημερινά συστήματα OCT.....	44
2.10. Τύποι OCT.....	45

3. Συμπεράσματα.....	47
----------------------	----

4. Αναφορές .....	48
-------------------	----



# **1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## 1.1. Ο οφθαλμός

Η όραση αποτελεί το σημαντικότερο αισθητήριο όργανο του ανθρώπινου σώματος καθώς συντονίζει με το υπόλοιπο σώμα τις ενέργειες και την αντίληψη του φωτός. Χάρη σε αυτή τη δυνατότητα ερχόμαστε σε επαφή με το περιβάλλον και συνειδητοποιούμε την ύπαρξη και την κίνηση μας στο χώρο. Λόγω της μεγάλης χρησιμότητας των ματιών για τη ζωή μας απαιτείται και ανάλογη προσοχή και προσπάθεια προφύλαξης από διάφορους κινδύνους που τα απειλούν ή κακές συνήθειες που αφορούν την όραση (όπως η πολύωρη χρήση οθονών κατά τη διάρκεια της ημέρας). Αξίζει να δοθεί μια λεπτομερής περιγραφή του οργάνου αυτού προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η λειτουργία της όρασης, τους τρόπους παρατήρησης των φυσιολογικών λειτουργιών της αλλά και των παθολογιών της. Η όραση είναι η κυρίαρχη αίσθηση, υπεύθυνη για την υποδοχή των πληροφοριών που λαμβάνουμε σε ποσοστό 80-85%.

### 1.1.1. Ανατομία οφθαλμού

Τα κυριότερα μέρη του οφθαλμού αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

**Χοριοειδής χιτώνας (Choroid):** πρόκειται για μια μεμβράνη η οποία αποτελεί εσωτερική επένδυση που εξασφαλίζει τη διατροφή μεταξύ του σκληρού και του αμφιβληστροειδή χιτώνα ο οποίος μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικές ουσίες στον αμφιβληστροειδή. Η πίσω πλευρά του χοριοειδούς χιτώνα συνδέεται στα άκρα του οπτικού νεύρου και του ακτινωτού σώματος. Το χοριοειδές είναι ευρέως εμποτισμένο με χρωστική ουσία που απορροφά τις περιττές ακτίνες του φωτός και εμποδίζει την περαιτέρω διασπορά μέσα στο μάτι [1].

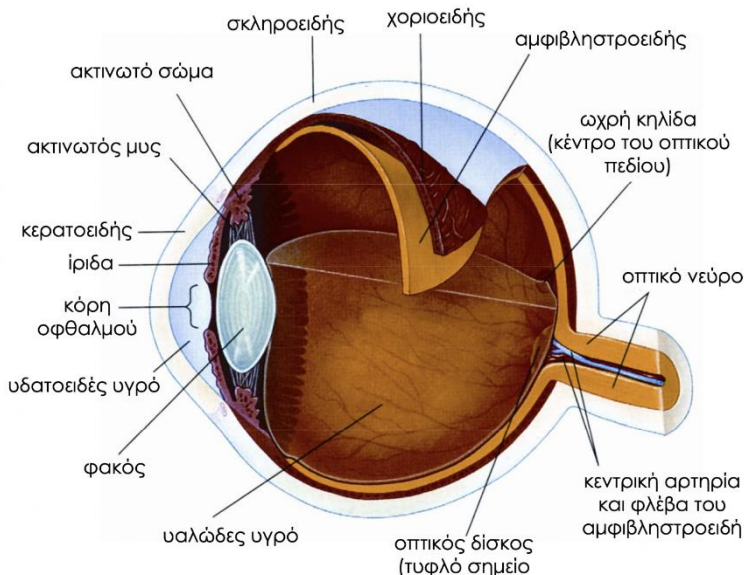
**Υαλώδες Σώμα:** Διαυγές υγρό με ημίσκληρη υφή στο πίσω μέρος του ματιού. Είναι προσκολλημένο στον αμφιβληστροειδή. Διατηρεί το σχήμα του ματιού –και αποτελείται κυρίως από νερό, μαζί με ένα μικρό ποσοστό κολλαγόνου, σάκχαρα), ηλεκτρολύτες (άλατα) και πρωτεΐνες. Το μέγεθος του θα διασφαλίσει ότι θα παραμείνει προσκολλημένο στον αμφιβληστροειδή χιτώνα προκειμένου να μην έχουμε αποκόλληση αμφιβληστροειδούς η οποία αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παθήσεις. Ένα επίσης αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι το υαλώδες σώμα μπορεί να αποτρέψει κάποια επιμόλυνση στο μάτι (όπως αιμάτωμα) απορροφώντας στη συγκεκριμένη περίπτωση και απομακρύνοντας το αίμα από το σημείο.

**Σκληρός Χιτώνας:** Το άσπρο, σκληρό τοίχωμα του ματιού. Λίγες παθήσεις επηρεάζουν αυτή τη στιβάδα. Καλύπτεται από τον επισκλήριο και τον επιπεφυκότα. Οι οφθαλμοκινητικοί μύες συνδέονται με αυτόν που θα αναλυθούν παρακάτω.

**Αμφιβληστροειδής:** Η λεπτή μεμβράνη που βρίσκεται στο πίσω μέρος του βολβού και περιέχει τους φωτοϋποδοχείς και μετατρέπει το φωτεινό ερέθισμα σε νευρικό σήμα, το οποίο προσλαμβάνει ο εγκέφαλος μέσω του οπτικού νεύρου και το αντιλαμβάνεται σαν εικόνα. Ο αμφιβληστροειδής αποτελείται από τα λεγόμενα ραβδία και κωνία, ονομασίες που προέρχονται λόγω του σχήματος των κυττάρων αυτών (ραβδοειδές ή κωνοειδές σχήμα), τα οποία είναι αριθμητικά ανάλογα σε αριθμό με αναλογία 1:20.

Οι λειτουργίες που επιτελούν τα δυο διαφορετικά είδη κυττάρων είναι ότι τα πρώτα αναλαμβάνουν τη λεγόμενη περιφερειακή όραση και την όραση σε χαμηλό φωτισμό. Τα

δεύτερα αναλαμβάνουν τον διαχωρισμό χρωμάτων, μια διαδικασία ιδιαίτερα δύσκολη σε συνθήκες ανεπαρκούς όρασης [2]. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1, τα κωνία βρίσκονται στο κέντρο του αμφιβληστροειδούς ενώ τα ραβδία καλύπτουν τον μεγαλύτερο μέρος του αμφιβληστροειδή. Λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία της όρασης θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 1:Απεικόνιση οφθαλμού [2]

**Οπτικό Νεύρο:** Το νεύρο μέσω του οποίου μεταφέρεται στον εγκέφαλο η εικόνα με μορφή νευρικού σήματος. Το οπτικό νεύρο αποτελείται από μία δέσμη ενός εκατομμυρίου νευρικών ινών, οι οποίες αποτελούν τη βασική δομή του οπτικού νεύρου.

**Οπτικός Δίσκος:** Βρίσκεται στο πίσω μέρος του οφθαλμού, όπου τα νεύρα, οι αρτηρίες και οι φλέβες, εισέρχονται στο μάτι. Αυτό το σημείο εισόδου αντιστοιχεί στο «τυφλό σημείο», καθώς είναι το μοναδικό σημείο το οποίο δεν διαθέτει φωτουποδοχείς σε αυτή την περιοχή. Κανονικά, ένα άτομο δεν αντιλαμβάνεται αυτό το τυφλό σημείο, καθώς οι γρήγορες κινήσεις του ματιού βοηθούν στο να λαμβάνει ο εγκέφαλος ερεθίσματα από άλλα σημεία του αμφιβληστροειδούς γύρω από την τυφλή κηλίδα, τα οποία καλύπτουν το «κενό» [3]. Ο οπτικός δίσκος είναι η περιοχή που ελέγχει ο οφθαλμίατρος στους ασθενείς με γλαύκωμα, παθογένεια του ανθρώπινου οφθαλμού που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

**Ωχρά κηλίδα (macula):** Είναι η μόνη κιτρινωπή περιοχή εξαιτίας της ύπαρξης μια καροτινοειδούς χρωστικής του αμφιβληστροειδούς όπου μπορεί να επιτευχθεί ακριβής όραση και όπου μπορεί να διακριθεί το χρώμα και η λεπτομέρεια. Συνορεύει με το οπτικό νεύρο όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα 1. Έχει διάμετρο 5,5 mm με το κέντρο της να βρίσκεται σε απόσταση περίπου 3 mm κροταφικά του οπτικού δίσκου και 1 mm κάτω από το κέντρο του. Η κίτρινη απόχρωση υπάρχει σε όλη την έκταση του αμφιβληστροειδούς, εμφανίζοντας όμως μέγιστη συγκέντρωση στην ωχρά κηλίδα.

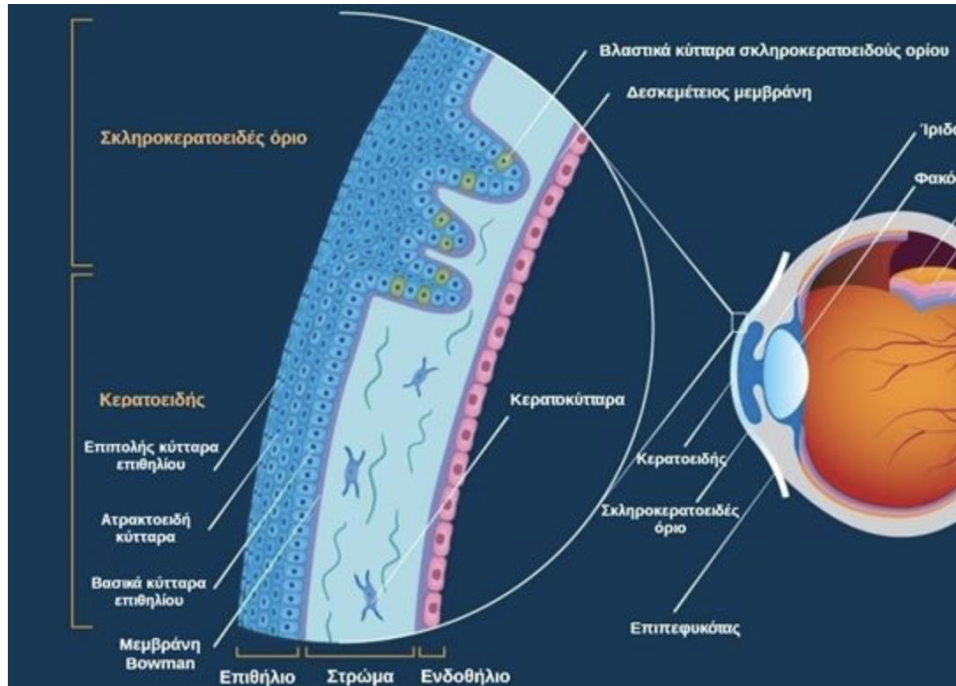
**Φακός:** Το κομμάτι του ματιού (που γειτονεύει ακριβώς πίσω από την ίριδα και τον πρόσθιο θάλαμο) αποτελείται από διαφανή ιστό που διαθλά τις φωτεινές ακτίνες και πάνω στον αμφιβληστροειδή. Ένας μυς κυκλικού σχήματος προφυλάσσει το φακό. Χαλαρώνοντας ή συσφίγγοντας αυτός ο μυς αλλάζει η καμπυλότητα του φακού, για να οξύνει την εστίαση του αντικειμένου παρατήρησης. Σε άτομα ηλικίας κάτω των 40 ετών, ο φακός είναι μαλακός και εύκαμπτος, επιτρέποντας μια καλή εστίαση σε διαφορετικές αποστάσεις. Στα άτομα άνω των 40 ετών, ο φακός αρχίζει να γίνεται λιγότερο εύκαμπτος, κάνοντας πιο δύσκολη την εστίαση των παρατηρούμενων αντικειμένων κοντά στο μάτι, παθολογική κατάσταση που θα αναλυθεί παρακάτω.

**Κόρη:** Η κόρη βρίσκεται πίσω από τον κερατοειδή χιτώνα. Η κόρη είναι η μαύρη βούλα στο κέντρο του ματιού. Μέσα από την κόρη περνάει το φως στο μάτι. Η λειτουργία που επιτελεί είναι η συστολή και η διαστολή. Κατά αυτό τον τρόπο ενώ σε συνθήκες συστολής η κόρη του ματιού μπορεί να έχει διαστάσεις περίπου 3mm σε συνθήκες διαστολής η κόρη ενός ματιού μπορεί να φτάσει τα 8mm. Παρόλο που για τη συστολή της κόρης απαιτούνται ελάχιστα δευτερόλεπτα, η διαστολή της μπορεί να διαρκέσει ίσως και μερικά λεπτά. Σε συνθήκες απόλυτου σκότους η κόρη διαστέλλεται στο μέγιστο βαθμό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εισαγωγή έστω και του πιο αμυδρού φωτός στο μάτι. Σε καταστάσεις αυξημένου πόνου ή φόβου η κόρη διαστέλλεται - ερέθισμα που ελέγχουν από τα πρώτα σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή τροχαίων οι διασώστες και οι νοσοκόμοι σε επείγοντα περιστατικά.[4]

**Ίριδα(iris):** Αφορά το χρώμα των ματιών που έχει κάθε άνθρωπος, το οποίο αν και παρουσιάζει ομοιότητα μεταξύ των ανθρώπων μικροσκοπικά είναι μοναδικό για τον κάθε άνθρωπο. Ρυθμίζει το φως που θα εισαχθεί στην κόρη.

**Κερατοειδής (cornea):** Πρόκειται για το εξωτερικό περίβλημα στο μπροστινό μέρος του ματιού που προστατεύει όπως μπορεί να διαπιστωθεί από την εικόνα 2 [7] την ίριδα, την κόρη και τον πρόσθιο θάλαμο. Ο κερατοειδής αποτελεί τον πρόσθιο χιτώνα του οφθαλμού, αφού επιτρέπει στο φως να περάσει μέσα στον οφθαλμό. Αποτελείται από το επιθήλιο, την στιβάδα του Bowman, το στρώμα, την δεσκεμετείο μεμβράνη και το ενδοθήλιο. Το επιθήλιο και το ενδοθήλιο είναι 2 βιολογικές δομές οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Σε μοριακό επίπεδο το επιθήλιο αποτελείται από κύτταρα επικάλυψης του αμφιβληστροειδούς παρέχοντας μέσω των δακρύων παράλληλα θρεπτικά συστατικά (οξυγόνο, αμινοξέα) στον κερατοειδή [5].

Το **ενδοθήλιο** συνίσταται από μία μόνο στιβάδα από πολυγωνικά κύτταρα με διάμετρο περίπου 20 μm και 250 μm<sup>2</sup> έκταση. Ο πληθυσμός τους είναι ομοιόμορφα κατανομημένος και υπάρχει συμμετρία και στα δύο μάτια ενός ατόμου.[6]



Εικόνα 2: Αναπαράσταση στοιβάδων κερατοειδούς [7]

**Η στιβάδα (μεμβράνη) του Bowman:** πρόκειται για έναν χώρο στον οποίο δεν υπάρχουν κύτταρα. Ένα χαρακτηριστικό το οποίο έχει αυτή η στιβάδα είναι ότι δεν αναγεννάται όπως οι υπόλοιποι ιστοί του σώματος.

Η **δεσμετεϊός μεμβράνη** ή αλλιώς μεμβράνη Descemet παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε τραυματισμούς, στη δράση πρωτεολυτικών ενζύμων και άλλες παθολογικές καταστάσεις καθώς αποτελεί το τελευταίο “φυσικό” εμπόδιο πριν το ενδοθήλιο και το εσωτερικό του οφθαλμικού βολβού.

Το **στρώμα** καταλαμβάνει περίπου το 90% του πάχους του κερατοειδούς και είναι αποτελούμενο από ίνες κολλαγόνου με κερατοκύτταρα διασπαρμένα ανάμεσά τους που αποτελούν τους ινοβλάστες του χιτώνα. Η περιεκτικότητα του στρώματος σε κολλαγόνο είναι 71%.

**Επιπεφυκότας:** Μία λεπτή ημιδιαφανής βλεννογόνος μεμβράνη που βρίσκεται επάνω στο σκληρό χιτώνα του οφθαλμού. Ο επιπεφυκότας επικαλύπτει και το εσωτερικό των βλεφάρων. Ο ρόλος του επιπεφυκότα είναι διττός καθώς συνεισφέρει στη φυσική και χημική ανοσία του ματιού εμποδίζοντας μικρόβια να εισέλθουν στο μάτι διάφοροι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο περιβάλλον και παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή δακρύων.

**Ακτινωτό Σώμα:** η δομή που βρίσκεται πίσω από την ίριδα και αναλαμβάνει την παραγωγή υδατοειδούς υγρού που γεμίζει το πρόσθιο μέρος του ματιού και έτσι διατηρείται η ενδοφθάλμια πίεση σταθερή και όσο γίνεται αμετάβλητη. Επιπλέον, επιτρέπει την εστίαση του φακού και συμβάλει στη συντήρηση του συνδετικού ιστού που συγκρατεί τον φακό.

**Πρόσθιος Θάλαμος:** Ο πρόσθιος θάλαμος του οφθαλμού είναι μια κοιλότητα στο εσωτερικό του ματιού, που βρίσκεται μπροστά από τον κρυστάλλινο φακό και πίσω από την κόρη του οφθαλμού. Είναι γεμάτος υγρό (υγρός χαμηλής πίεσης), το οποίο βοηθά στη

διατήρηση της μορφής του ματιού και στην απορρόφηση κραδασμών κατά την κίνηση του κεφαλιού. Πολλές παθήσεις μπορούν να επηρεάσουν τον πρόσθιο θάλαμο, όπως το γλαύκωμα, ο καταρράκτης και η υπερτροφία του οφθαλμού. Οι παθήσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της πίεσης μέσα στον πρόσθιο θάλαμο, που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη του οπτικού νεύρου και απώλεια όρασης.

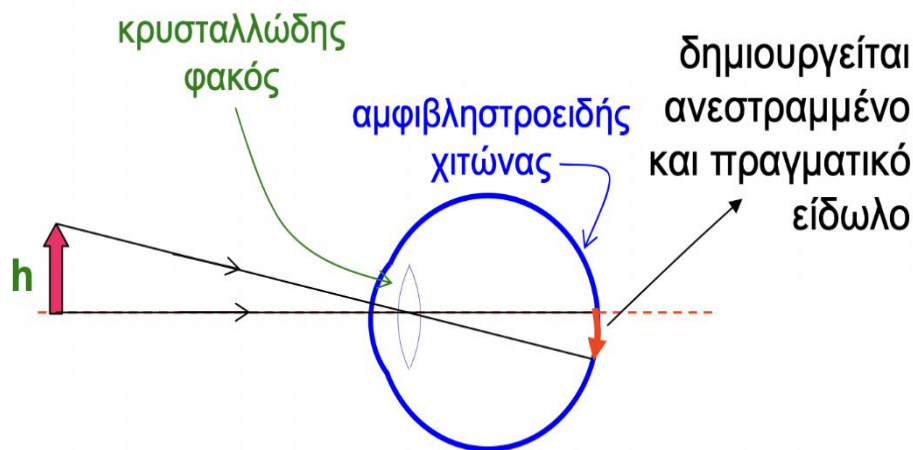
### 1.1.2. Λειτουργία Όρασης και σχηματισμός εικόνας

Για τη λειτουργία της όρασης, χρησιμοποιείται μια ομάδα μυών προκειμένου να πραγματοποιεί την κίνηση των ματιών σε συνδυασμό με την επικοινωνία μυών και εγκεφάλου. Η κίνηση των ματιών επιτυγχάνεται με την βοήθεια 6 συνολικά μυών οι οποίοι χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες: 4 ορθούς μύες (άνω, κάτω, έσω και έξω) και 2 λοξούς (άνω και κάτω) μύες.

Η ανθρώπινη όραση είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, όπως η φωτεινότητα, τα χρώματα, η αντίθεση και η κίνηση. Η ικανότητα της ανθρώπινης όρασης επίσης διαφέρει ανάμεσα στους ανθρώπους και μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η ηλικία, η υγεία και οι γενετικοί παράγοντες. Τα φυσιολογικά υγιή μάτια τα οποία δεν παρουσιάζουν κάποιου είδους παθολογία καλούνται εμμετρωπικά. Για να δημιουργηθεί εικόνα στον εγκέφαλο θεωρείται ότι πρέπει να υπάρχει κάποιο είδους φωτός, είτε αυτό θα είναι φυσικό (ακτίνες ηλίου) είτε θα είναι τεχνητό (λαμπτήρες φωτός κ.α.)

Για την παρουσίαση του πειραματικού μέρους και του συστήματος OCT θα ληφθεί υπόψη ότι η πηγή φωτός είναι ένα αντικείμενο και ο παρατηρητής διαθέτει “φυσιολογικά” υγιή μάτια. Κατά αυτό τον τρόπο, οι ακτίνες ηλίου από το φωτιζόμενο αντικείμενο εισέρχονται, περνούν από τον κερατοειδή, τον φακό και το υαλώδες υγρό με αποτέλεσμα να εστιάζονται “είδωλα” στο πίσω μέρος του ματιού όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3, στην ωχρά κηλίδα που αφορά την κύρια όραση. Εκεί θα αντιδράσουν με εκατομμύρια φωτουποδοχείς (ραβδία και κωνία). Τα είδωλα θα πρέπει να μετατραπούν αρχικά σε νευρικά ερεθίσματα έτσι ώστε μέσω του οπτικού νεύρου να μεταφερθούν στον εγκέφαλο και στον οπτικό φλοιό και να παραχθεί η τελική εικόνα [8]. Η τελευταία διεργασία καλύπτεται από τα λεγόμενα γαγγλιακά κύτταρα τα οποία συλλέγονται δημιουργώντας το οπτικό νεύρο.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να διευκρινιστούν οι μέγιστες και ελάχιστες αποστάσεις όπου ο φακός μπορεί να προσαρμοστεί εστιάζοντας το φως στον αμφιβληστροειδή. Το εγγύτατο σημείο είναι το κοντινότερο στο μάτι σημείο στο οποίο ένα αντικείμενο φαίνεται καθαρά και αυξάνεται ανάλογα με την ηλικία αρχίζοντας από τα 18 εκατοστά σε ηλικία 10 ετών. Το απώτατο σημείο του ματιού αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη απόσταση στην οποία ο φακός του ξεκούραστου ματιού μπορεί να εστιάσει το φως στον αμφιβληστροειδή το οποίο τείνει στο άπειρο [9].



Εικόνα 3: Σχέδιο απεικόνισης της όρασης [10]

### 1.1.3. Βασικότερες οφθαλμικές παθήσεις

Ο μηχανισμός της όρασης παρουσιάστηκε αφενός για να κατανοηθεί πως όλα αυτά τα μέρη του οφθαλμού λειτουργούν ομαλά για την τελική παραγωγή της εικόνας και αφετέρου για να παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο οι συχνότερες παθήσεις των ματιών και τα αίτια τους αλλά και ποιες μπορεί ο οφθαλμίατρος να διαγνώσει με τη χρήση OCT. Τα μάτια αποτελούν ένα υπερευαίσθητο όργανο το οποίο πρέπει να προστατεύεται από πολυάριθμους κινδύνους. Οι συχνότερες παθήσεις που θα παρουσιαστούν αφορούν τις κυριότερες παθολογίες που παρουσιάζονται σε οφθαλμολογικές εξετάσεις.

Η **μυωπία** είναι μια κατάσταση στην οποία ο ασθενής μπορεί να δει σε κοντινή απόσταση αλλά όχι καλά σε μακρινή, προσπαθώντας με πίεση μέσω των οφθαλμικών μυών να διακρίνουν λεπτομέρειες σε μακρινές αποστάσεις. Η μυωπία μπορεί να οφείλεται σε γενετικούς παράγοντες, αλλά μπορεί να επηρεαστεί και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και της ζωής, όπως η συχνή χρήση ηλεκτρονικών συσκευών και η έλλειψη φυσικού φωτός. Αυτή η κατάσταση οφείλεται στο γεγονός ότι είτε ο βολβός είναι μεγάλου μήκους είτε ο κερατοειδής παρουσιάζει καμπυλότητα. Η μυωπία θεωρείται “μικρή” από 3 βαθμούς περίπου και κάτω ενώ από 8 βαθμούς θεωρείται “μεγάλη” και μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές βλάβες στο μάτι [11]. Συνήθως οι ασθενείς εμφανίζουν την παθολογική κατάσταση στα πρώτα χρόνια της ζωής τους ακόμα και σε παιδική ή εφηβική ηλικία η οποία μπορεί να αυξάνεται σε βαθμούς με μικρό ή μεγάλο βαθμό ανά έτος και μετά από τη δεύτερη περίπου δεκαετία της ζωής τείνει να σταματήσει να αυξάνεται.

Οι τρόποι αντιμετώπισης ποικίλλουν ανάλογα με το βαθμό μυωπίας του ασθενούς αλλά και από το αν η μυωπία έχει σταθεροποιηθεί η συνεχίζει να αυξάνεται κλιμακωτά. Έτσι, ειδικά σε μικρές ηλικίες τα γυαλιά μυωπίας είναι μια γρήγορη λύση, ενώ σε συνθήκες σταθεροποίησης οι φακοί επαφής είναι μια πιο βολική επιλογή. Σε επεμβατικό επίπεδο υπάρχει η διαθλαστική επέμβαση με excimer laser με την προϋπόθεση ότι ο ασθενής δεν έχει επιπλέον πάθηση, τη χειρουργική ένθεση φακικού ενδοφακού για διόρθωση υψηλής μυωπίας και τη χειρουργική αφαίρεση κρυσταλλοειδούς φακού.

Η **πρεσβυωπία** αποτελεί ένα συχνό πρόβλημα για άτομα μέσης ηλικίας (40 ετών και άνω) ενώ τείνει να εμφανίζεται νωρίτερα ηλικιακά σε άτομα που έχουν εμφανίσει μυωπία σε νεαρή ηλικία. Οι πιθανότερες εκδοχές δημιουργίας είναι η απώλεια ελαστικότητας του κρυσταλλοειδούς φακού αλλά και η σταδιακή αύξηση στη διάμετρο του που θεωρείται ότι μειώνει την ικανότητα εστίασης ειδικά σε κοντινές αποστάσεις. Οι τρόποι αντιμετώπισης είναι και εδώ οι φακοί επαφής, τα γυαλιά πρεσβυωπίας (απλά, διπλεστικά και πολυεστιακά) και η χειρουργική επέμβαση.

Η **υπερμετρωπία** αποτελεί μια οφθαλμολογική πάθηση κατά την οποία ο ασθενής δεν μπορεί εύκολα να διακρίνει αντικείμενα σε κοντινή απόσταση αλλά όσο πιο μακριά παρατηρεί η όραση γίνεται πιο διαυγής. Αυτή η αδυναμία οφείλεται στο γεγονός ότι οι φωτεινές ακτίνες δεν εστιάζονται σωστά πάνω στον αμφιβληστροειδή αλλά πίσω από αυτόν λόγω του συνολικού όγκου του βολβού του ματιού. Η πάθηση αυτή έχει κληρονομικό χαρακτήρα ενώ διακρίνεται σε αξονική και διαθλαστική υπερμετρωπία. Από θεραπευτική άποψη η πάθηση αυτή μπορεί να διορθωθεί με ειδικά γυαλιά οράσεως, φακούς επαφής, διαθλαστική χειρουργική επέμβαση με excimer laser και κλασική χειρουργική επέμβαση[12].

Ο **αστιγματισμός** αποτελεί μια από τις πιο συχνές παθήσεις του οφθαλμού εμφανιζόμενη συνήθως παράλληλα με την μυωπία ή την υπερμετρωπία. Μπορεί να διακριθεί σε συμμετρικό και ασύμμετρο αναλόγως την κατάσταση του κερατοειδούς. Έτσι στην πρώτη περίπτωση ο κερατοειδής παρουσιάζει μια ασυνήθιστη καμπυλότητα με μια παρεμβολή του κρυσταλλοειδή φακού ενώ στη δεύτερη περίπτωση υπάρχουν σοβαρά τραύματα στον κερατοειδή και στον φακό του ματιού. Οι τρόποι αντιμετώπισης ποικίλλουν και σε αυτήν την περίπτωση και μπορεί να είναι τα συνήθη γυαλιά ή φακοί επαφής, η πλέον εξελιγμένη διαθλαστική επέμβαση με τη χρήση λέιζερ και ένας τρόπος που παρουσιάζει σημαντική άνθιση είναι η ένθεση ενδοφακού, επέμβαση η οποία προϋποθέτει ο αστιγματισμός να οφείλεται καθαρά και μόνο στον κερατοειδή. Τα άτομα με αστιγματισμό έχουν την ίδια δυσκολία είτε σε κοντινές είτε σε μακρινές αποστάσεις να διακρίνουν λεπτομέρειες των αντικειμένων, δηλαδή βλέπουν θαμπά.

Η **επιπεφυκίτιδα** (*pink eye*) αποτελεί μια εξωφθαλμική λοίμωξη η οποία μπορεί να επηρεάσει την όραση αλλά μπορεί να αντιμετωπιστεί ευκολότερα σε σχέση με τις προηγούμενες παθήσεις. Η επιπεφυκίτιδα εμφανίζεται όταν τα αιμοφόρα αγγεία του επιπεφυκότα προσβληθούν είτε από εξωτερικούς μικροοργανισμούς είτε εμφανίσουν κάποια αλλεργία σε φάρμακο ή ενόχληση από φακούς επαφής. Ανάλογα τον αριθμό των ματιών που προσβάλλονται και των αριθμό των συμπτωμάτων και εκκρίσεων διακρίνεται σε ιογενή, βακτηριακή, αλλεργική ή γιγαντοκορική. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιπεφυκίτιδα σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά μεταδοτική από άνθρωπο σε άνθρωπο για αυτό τον λόγο θα πρέπει να ακολουθείται ένας αυστηρός τρόπος υγιεινής των ματιών προκειμένου να αποφεύγεται η συσσώρευση βακτηρίων στο εξωτερικό του ματιού. Από θεραπευτική άποψη, μια πληθώρα κολλυρίων μπορεί να βελτιώσει και να αντιμετωπίσει την φλεγμονή ενώ τα λεγόμενα “τεχνητά δάκρυα” μπορούν να ενυδατώσουν και να απομακρύνουν βλαπτικούς παράγοντες [13].

**Αποκόλληση αμφιβληστροειδούς:** καλείται μια επείγουσα οφθαλμολογική κατάσταση στην οποία ο αμφιβληστροειδής αποκολλάται από την φυσιολογική του θέση και χρήζει άμεσης αντιμετώπισης από τον αρμόδιο ιατρό. Σε αυτή την περίπτωση αν δεν γίνει γρήγορα



αντιληπτό το μέγεθος του προβλήματος υπάρχει πιθανότητα ακόμα και για μόνιμη απώλεια της όρασης. Το πρόβλημα αυτό παρατηρείται κατά κόρο σε άτομα τρίτης ηλικίας χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Τα συμπτώματα ποικίλλουν ανάμεσα σε θολή όραση, απώλεια περιφερειακής όρασης, -λάμπεις κατά την όραση ή ακόμα και μυωπίες (μικρές εναποθέσεις με διάφορα σχήματα και μεγέθη που κανονικά δεν υφίστανται στα εμμετροπικά μάτια). Η θεραπεία σε τέτοια περιστατικά είναι η βιτρεκτομή, χειρουργική επέμβαση αφαίρεση του υαλώδους σώματος, η τοποθέτηση σκληρικού μοσχεύματος με τοποθέτηση σιλικόνης στη λευκή περιοχή του ματιού και η πνευματική ρετινοπηξία όπου εγχέεται αέριο στο εσωτερικό του ματιού και με την απορρόφηση του υγρού που έχει δημιουργήσει την αποκόλληση του αμφιβληστροειδούς μπορεί να επανακολληθεί το σημείο που είχε αποσπαστεί.

**Στραβισμός** καλείται η κατάσταση κατά την οποία οι άξονες των δύο ματιών δεν είναι παράλληλοι με αποτέλεσμα τα δυο μάτια να μην μπορούν να εστιάσουν την ίδια χρονική στιγμή στο ίδιο αντικείμενο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απουσιάζει η οφθαλμική ευθυγράμμιση και τα δυο μάτια να στρέφονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η πάθηση αυτή παρόλο που εμφανίζεται κατά κόρο από την παιδική ηλικία μπορεί να εμφανιστεί και στην ενήλικη ζωή. Ο στραβισμός αποτελεί μια νευρομυική δυσλειτουργία η οποία στις περισσότερες καταστάσεις καταλήγει στην αμβλυωπία, μια κατάσταση στην οποία ο εγκέφαλος απορρίπτει την μια εικόνα από το μάτι που αποτυγχάνει να εστιάσει σωστά και κρατά την εικόνα μόνο από το μάτι που εστιάζει σωστά.

Ο στραβισμός είναι ποικιλόμορφος, δηλαδή μπορεί να διαχωριστεί ανάλογα τη φορά που παρεκκλίνει ο οφθαλμός, αν είναι μόνιμος η προσωρινός, αν οφείλεται σε λανθασμένα φαινόμενα διάθλασης ή ανικανότητα μυών, ή αν εμφανίζουν αυτή την πάθηση το ένα ή και τα δυο μάτια. Αυτή η αντιμετωπίσιμη πάθηση μπορεί να διορθωθεί είτε με ειδικά γυαλιά, είτε με χειρουργική επέμβαση διόρθωσης των μυών που αποσκοπούν στην ευθυγράμμιση της όρασης. Εδώ έρχεται να προστεθεί και η λύση του botox η οποία έρχεται να δώσει τη λύση παραλύοντας μερικώς τον μυ ή τους μυς που παρεμποδίζουν την ευθύγραμμη όραση [14].

Ο **κερατόκωνος** είναι μια δυναμική πάθηση του κερατοειδούς κατά την οποία ο κερατοειδής λεπταίνει και αρχίζει να αποκτά μια επικίνδυνη καμπυλότητα. Επίσης έχει την ιδιότητα να αυξάνει τους βαθμούς του αστιγματισμού ή της μυωπίας. Παρόλο που τα ακριβή αίτια δημιουργίας του δεν είναι σαφώς προσδιορισμένα, η κληρονομικότητα, η γεωγραφική κατανομή και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι κάποια από τα στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν κερατόκωνο. Συνήθως στις περιπτώσεις του κερατόκωνου σε πρώιμο στάδιο συνίσταται η επέμβαση crosslinking ή αλλιώς διασύνδεσης κολλαγόνου μέχρι 400μm καθώς σε λεπτότερες περιπτώσεις υπάρχει κίνδυνος καταστροφής ενδοθηλίου. Η επέμβαση αυτή έχει στόχο την απώλεια περαιτέρω όρασης και όχι την βελτίωση της. Ακόμη, με την συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία έχουν αναπτυχθεί ειδικοί κερατοκωνικοί φακοί οι οποίοι μπορούν να προσφέρουν σημαντικά κλινικά αποτελέσματα στον αναπτυσσόμενο κερατόκωνο.

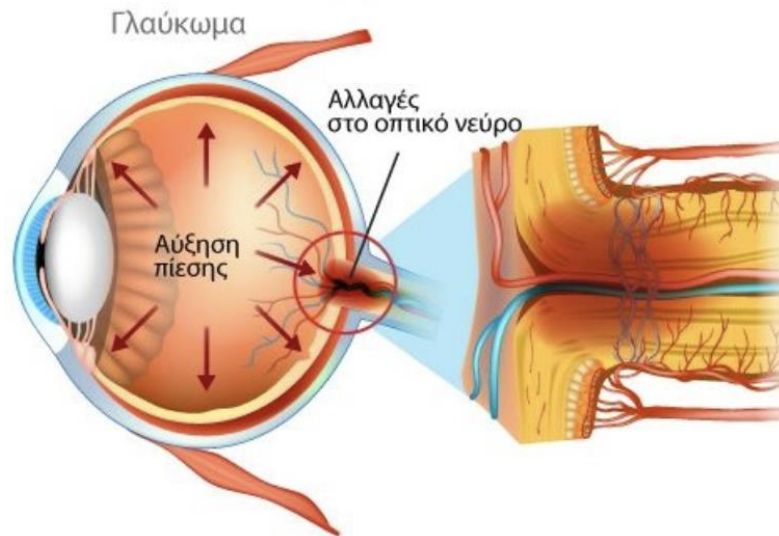
Η **ηλιακή εκφύλιση ωχράς κηλίδας** δημιουργεί βλάβη είτε ολοκληρωτική είτε μερική στην ωχρά κηλίδα. Η μαύρη περιοχή που σχηματίζεται και έχει την τάση να παραμορφώνει το τελικό αποτέλεσμα που είναι η εικόνα μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Έχει μεγάλο συσχετισμό με την ηλικία ενώ το ποσοστό των ατόμων που καταλήγει σε ολική τύφλωση είναι πάρα πολύ μικρό. Διαχωρίζεται σε στάδια

(πρώιμο, ενδιάμεσο και προχωρημένο) αναλόγως το μέγεθος της βλάβης που έχει ήδη προκληθεί και σε ξηρού τύπου, υγρού τύπου και ειδικές κλινικές περιπτώσεις όπως η πολυποειδική χοριοειδική αγγειοπάθεια. Αυτή η περίπτωση μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με φαρμακευτική αγωγή, είτε με φωτοδυναμική θεραπεία, είτε με φωτοπηξία για περιορισμό του οιδήματος [15]. Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε τη χρησιμότητα των συστημάτων OCT για την έγκαιρη διάγνωση της νόσου αυτής.

Ο **καταρράκτης** σχετίζεται κατά κύριο λόγο με την ηλικία συνήθως άνω των 65 ετών. Σε αυτή την κατάσταση ο ασθενής βλέπει θολή την εικόνα που παρατηρεί εξαιτίας του θολωμένου κρυσταλλοειδή φακού αυξάνοντας περιοδικά την θολότητα του φακού με την πάροδο των ετών. Συνίσταται ο περιοδικός και συχνός έλεγχος και με τη χρήση συστημάτων οπτικής συνοχής προκειμένου να ελέγχεται το μέγεθος της ζημιάς που προκαλείται. Ενώ τα κοινά γυαλιά οράσεως μπορούν να σταματήσουν μερικώς την εξέλιξη της νόσου, η λύση αυτή είναι προσωρινή και συνίσταται η χειρουργική διέξοδος για πιο σημαντικά αποτελέσματα. Η πιο γνωστή μέθοδος και πιο διαδεδομένη αποτελεί η φακοθρυψία, κατά την οποία μέσω αναισθητικού παράγοντα αφαιρείται ο καταρράκτης και εισέρχεται ένας ενδοφακός αφού πρώτα θρυμματιστεί και αναρροφηθεί ο καταρρακτικός φακός.

Το **γλαύκωμα** αποτελεί μια νόσο που δεν εμφανίζεται σε κάποια ορισμένη ηλικία. Αντιθέτως, μπορεί να εμφανιστεί σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και στην ηλικία των 25-30 ετών. Η διαφορά με τις προαναφερθείσες παθήσεις είναι ότι η συγκεκριμένη περίπτωση μη έγκαιρης διάγνωσης μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε ολική τύφλωση. Για αυτό το λόγο για τέτοιου είδους παθολογικές καταστάσεις είναι σημαντικός ο συστηματικός προληπτικός έλεγχος από τον οφθαλμίατρο. Ο βασικός παράγοντας δημιουργίας του γλαυκώματος αποτελεί η πίεση, και ειδικότερα η ενδοφθάλμια πίεση. Όπως διακρίνεται και από την εικόνα 4, η ενδοφθάλμια πίεση είναι η πίεση που ασκείται από το υγρό του οφθαλμού στα τοιχώματα του βολβού. Όταν αυτή η πίεση μεταβληθεί για οποιαδήποτε αιτία τότε δημιουργείται πρόβλημα στην όραση. Η φυσιολογική τιμή πίεσης στην συγκεκριμένη περιοχή λαμβάνει τιμές ανάμεσα σε 10 έως 21 mm Hg.

Οι αιτίες δημιουργίας αυτής της νόσου ποικίλλουν ανάμεσα σε ηλικία, τραυματισμούς, διαβήτη, αναιμία κ.α.



Εικόνα 4: Παρουσιάζεται η περιοχή δημιουργίας του γλαυκώματος [16]

Κύρια αίτια δημιουργίας είναι η απόφραξη και η σταδιακή συσσώρευση του συνεχώς παραγόμενου υδατώδους υγρού στο μάτι με αποτέλεσμα την σταδιακή καταστροφή του οπτικού νεύρου από την αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του ματιού. Η ασθένεια χαρακτηρίζεται από σταδιακή απώλεια περιφερειακής όρασης η οποία σιγά σιγά επεκτείνεται προς το κέντρο του οφθαλμού. Ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης χαρακτηρίζεται από στάδια ενώ οι τύποι γλαυκώματος διαφοροποιούνται αρχικά αν η γωνία μεταξύ περιφερειακού κερατοειδούς και της ίριδας είναι κλειστή ή ανοιχτή σε συγγενές γλαύκωμα (σε νεαρή ηλικία) και γλαύκωμα φυσιολογικής πίεσης για άτομα με υπερευαίσθητο οπτικό νεύρο [17]. Οι τρόποι που μπορεί να αντιμετωπιστεί εγκαίρως αυτό το πρόβλημα αρχικά είναι η φαρμακευτική αγωγή (όπως ειδικές σταγόνες), η εφαρμογή laser ή ακόμα και η χειρουργική οδός προκειμένου να δημιουργηθεί μία οπή για αποχέτευση του περιττού υγρού.

Η τεχνολογία OCT μέσω της σύγχρονης τεχνολογίας που διαθέτει έχει συνεισφέρει στην αναγνώριση κάποιων από τις παραπάνω ασθένειες αλλά και στην παρακολούθηση της εξέλιξης μετά από χειρουργικές επεμβάσεις, όπως σε αυτή του κερατόκωνου. Στην περίπτωση του γλαυκώματος το OCT έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει την ύπαρξη προβλήματος στην περιοχή του οπτικού νεύρου και να προϋδεάσει τον ιατρό για κάποια παθολογεία.

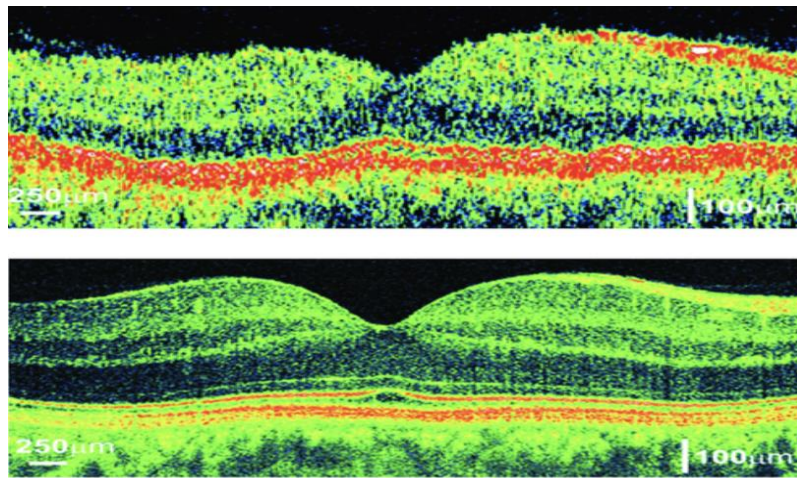
Στην περίπτωση των εκφυλίσεων της ωχράς κηλίδας το σύστημα έχει την ικανότητα είτε μέσω αγγειογραφίας είτε με εξέταση στην περιοχή της ωχράς κηλίδας να απεικονίσει πλήρως είτε ολοκληρωτικά είτε τμηματικά την περιοχή της ωχράς κηλίδας. Επίσης, μετά την χειρουργική επέμβαση για κερατοκωνο, ο ιατρός πραγματοποιώντας εξέταση του πρόσθιου τμήματος του οφθαλμού μπορεί να παρατηρήσει επαρκώς αν η εξέταση ήταν επιτυχής και αν ο ασθενής αναρρώνει.

## 1.2. Εισαγωγή στα συστήματα OCT

Η ιστορία της οπτικής τομογραφίας συνοχής (OCT) ξεκινά στις αρχές έως τα μέσα της δεκαετίας του 1970 στα εργαστήρια Bell όπου δημιουργήθηκαν τα θεμέλια για μια ιδέα που

ονομάζεται οπτική ανακλαστικότητα, θεωρία που υποστηρίζει ότι η παρεμβολή του φωτός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μιας μη επεμβατικής οπτικής «βιοψίας».

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 ο Dr.Fujimoto με επιτελείο οφθαλμιάτρων πραγματοποίησαν αυτή τη θεωρία σε κλινική πράξη χρησιμοποιώντας συμβολομετρία χαμηλής συνοχής για τη μέτρηση του πάχους του κερατοειδούς με χαμηλά ποσοστά επιτυχίας. Σήμερα, η εικόνα έχει εμφανώς αναβαθμιστεί, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5, ενώ ταυτόχρονα τα συστήματα που κατασκευάζονται γίνονται ολοένα και ακριβέστερα όσον αναφορά τις μετρήσεις, την απεικόνιση των στοιβάδων του οφθαλμού και την απεικόνιση του οφθαλμού σε περισσότερες των δύο διαστάσεων.



Εικόνα 5: Σύγκριση διατομής του οφθαλμού από OCT παλαιότερης γενιάς (πάνω) και νεότερης γενιάς (κάτω) [18]

Η τεχνολογία δημιουργίας των OCT στηρίζεται στην αλληλεπίδραση του φωτός με τον βιολογικό ιστό, αλλά και στις κατευθύνσεις που μπορεί να έχουν οι ακτίνες φωτός όταν προσπέσουν σε άλλες επιφάνειες. Η αλληλεπίδραση του φωτός με κάποιο μέσο μπορεί να έχει τα παρακάτω αποτελέσματα όπως ανάκλαση, διάθλαση, απορρόφηση ή σκέδαση. Για την παραγωγή της εικόνας όπως είναι λογικό είναι θεμιτές οι ακτίνες που απορροφούνται και οι ακτίνες που σκεδάζονται.

Κατά το φαινόμενο της ανάκλασης, το φως (ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) χτυπά πάνω σε μια επιφάνεια η οποία δεν μπορεί να το απορροφήσει, με αποτέλεσμα να επιστρέφει με την ίδια ένταση την οποία είχε προτού προσθέσει σε αυτήν. Ανάκλαση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε πλήρως είτε μερικώς.

Κατά την διάθλαση το φως εκτρέπεται από την ευθύγραμμη τροχιά του όταν διέρχονται από ένα μέσο σε ένα άλλο. Η διαχωριστική επιφάνεια καλείται δίοπτρο, ενώ για να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο διάθλασης θα πρέπει η γωνία πρόσπτωσης του φωτός να είναι μη μηδενική. Το φαινόμενο της διάθλασης έρχεται να πλαισιώσει ο νόμος του Snell, ο οποίος συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης με τη γωνία διάθλασης. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία όσο

αυξάνεται η γωνία όπου προσπίπτει το φως στην επιφάνεια τόσο αυξάνεται και η γωνία με την οποία θα ανακλαστεί το φως (Εξίσωση 1). Αναλυτικότερα, το ημίτιο του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτιο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό, ή

$$\eta\mu(\pi)/\eta\mu(\alpha) = \text{σταθερό} \quad (1)$$

Κάθε υλικό, όπως επίσης ο αέρας και το νερό έχουν ένα ειδικό δείκτη διάθλασης (συμβολίζεται με  $n$ ). Ο δείκτης διάθλασης ορίζεται ως το ημίτιο της ταχύτητας του φωτός  $c$ , μέσα σε κάποιο υλικό προς την ταχύτητα του στο κενό  $u$ , όπως φαίνεται και στην εξίσωση 2. [19]

$$n = c/u \quad (2)$$

Το φαινόμενο της απορρόφησης αφορά στη μετατροπή της ενέργειας μιας φωτεινής ακτίνας σε θερμότητα ή σε δονήσεις των μορίων του βιολογικού ιστού πάνω στον οποίο προσπίπτει. Η απορρόφηση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, την χημική σύσταση του ιστού ή των επι μέρους συστατικών του καθώς και τη θερμοκρασία του. Σε αυτό το φαινόμενο ιδιαίτερα κατατοπιστική αποδείχτηκε η θεωρία του Lambert-Beer (Εξίσωση 3) [20] η οποία συσχετίζει την απορρόφηση με τη συγκέντρωση του υλικού:

$$I = I_0 e^{-\mu_a b} \quad (3)$$

Όπου  $I_0$  η ένταση του φωτός που προσπίπτει,

$I$  η ένταση του εξερχόμενου φωτός

$\mu_a$  ένας ειδικός συντελεστής απορρόφησης και

$b$  η διαδρομή που εκτελεί το φως μέσα στον βιολογικό ιστό.

Εκτός από αυτό μπορεί να οριστεί και ένας συντελεστής διαπερατότητας ιστού (Εξίσωση 4) ο οποίος προκύπτει από το ημίτιο:

$$T = I/I_0 \quad (4)$$

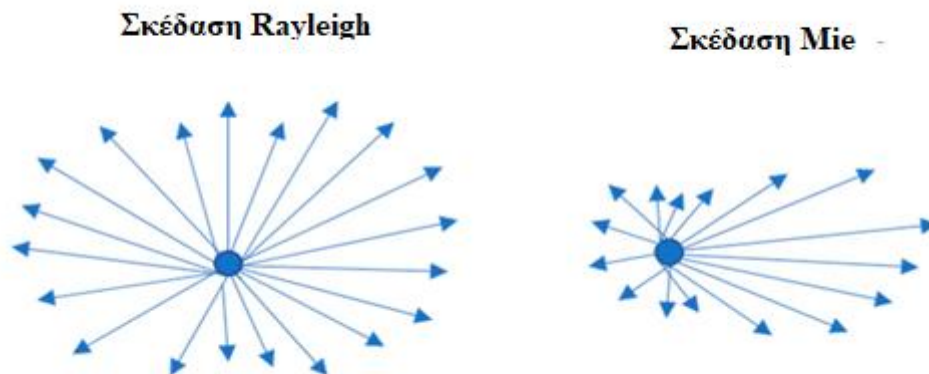
Και ένας δείκτης εξασθένησης  $A$  (Εξίσωση 5), ή οπτική πυκνότητα ο οποίος προκύπτει ως εξής:

$$A = -\log(T) = \log(I/I_0) \quad (5)$$

Για το φαινόμενο της απορρόφησης στο βιολογικό ιστό και κατά επέκταση στον ανθρώπινο οφθαλμό οφείλεται η αιμοσφαιρίνη που βρίσκεται στο αίμα, καθώς επίσης το DNA και RNA σε μικρότερα ποσοστά, οι οποίες αναλόγως του ποσοστού φωτός που θα απορροφήσουν θα συντελέσουν ενεργό ρόλο στη δημιουργία της τελικής εικόνας.

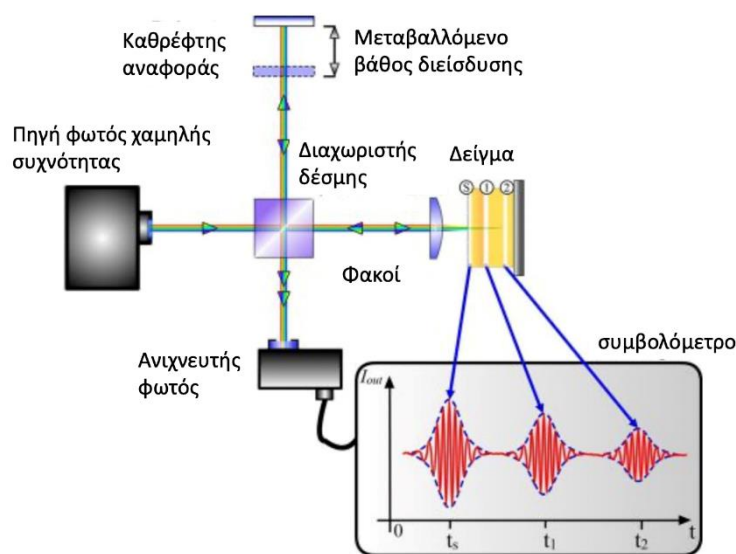
Στην περίπτωση της σκέδασης, προκύπτουν διάφορες περιπτώσεις, είτε ελαστική είτε ανελαστική. Στην περίπτωση της ελαστικής σκέδασης, η σκέδαση που μπορεί να δημιουργηθεί μπορεί να είναι τύπου Rayleigh ή Mie. Στην περίπτωση της σκέδασης Rayleigh η διάμετρος

των υλικών είναι πολύ μικρότερη ( $<0.1$ ) του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Κατά την σκέδαση αυτή, η οποία είναι και η συχνότερα εμφανιζόμενη στους βιολογικούς ιστούς, το φως σκεδάζεται συμμετρικά και ισοτροπικά (το φως εκτρέπεται προς όλες τις κατευθύνσεις κατά το ίδιο ποσοστό). Στην σκέδαση Mie υπάρχει σύγκρουση (εικόνα 6) από μεγαλύτερα σωματίδια της ατμόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένων της σκόνης, τον καπνού, της αιθαλομίχλης και των σταγονιδίων νερού. Τέτοια, σωματίδια μπορεί να θεωρούνται πολύ μικρά στην καθημερινή εμπειρία, αλλά είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από εκείνα που προκαλούν τη σκέδαση Rayleigh (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Τύποι σκεδάσεων φωτεινής ακτινοβολίας [21]

Οι αλληλεπιδράσεις αυτές θα πραγματοποιηθούν τόσο μεταξύ των καθρεφτών που διαθέτει το σύστημα εσωτερικά, όσο και κατά την πρόσπτωση του φωτός στους ευαίσθητους φωτουποδοχείς του αμφιβληστροειδή. Στο παρακάτω block διάγραμμα θα προσδιοριστεί η πορεία του φωτός για να γίνει κατανοητή η πορεία που ακολουθεί το φως μέχρι την άφιξη του στον φωτουποδοχέα.



Εικόνα 7: Σχήμα απεικόνισης συστήματος OCT [22]

Από την παραγωγή του φωτός από την φωτοδίοδο το φως ακολουθεί την πορεία που υποδεικνύουν τα βέλη της εικόνας 7. Όταν έρθει σε επαφή με τον καθρέφτη αναφοράς θεωρούμε ότι θα ανακλαστεί πλήρως παρόλο που ένα μικρό ποσοστό απορροφάται στην πραγματικότητα από τον καθρέφτη αναφοράς. Οι ειδικοί φακοί που υπάρχουν πριν το δείγμα ή τον οφθαλμό θα συγκλίνουν ή θα αποκλίνουν προκειμένου να εστιαστεί σωστά το φως προτού προσπέσει επάνω στο δείγμα. Αφού αλληλοεπιδράσουν με όλους του πιθανούς τρόπους που έχουν προαναφερθεί, το συμβολόμετρο θα “ομαδοποιήσει” τις ανακλώμενες ακτίνες φωτός προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κύμα.

Τα φαινόμενα συμβολής είναι γνωστά εδώ και πολλά χρόνια και ουσιαστικά σχετίζονται με κάθε φύσης κυματικά φαινόμενα. Τα συμβολόμετρα χωρίζονται σε αυτά που θα διαχωρίσουν πλάτη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και συμβολόμετρα που επιδρούν στη φάση τους. Στην πρώτη κατηγορία, ένα πρότυπο κύμα χρησιμοποιείται ως πηγή για δευτερεύοντα κύματα, ενώ στην δεύτερη το πρότυπο κύμα χωρίζεται ισάξια σε δυο μικρότερα τα οποία θα δημιουργούν φαινόμενο συμβολής συνεχώς.

Τα οπισθοσκεδαζόμενα κύματα φωτός στην πραγματικότητα δεν θα επιστρέψουν όλα κατά την ίδια κατεύθυνση αλλά θα απομακρυνθούν σε διαφορετικές πορείες από αυτή της ακτινοβολήσης. Προκειμένου να εστιαστεί σωστά η δέσμη φωτός και να μην χαθεί χρήσιμη πληροφορία απεικόνισης χρησιμοποιούνται ειδικοί φακοί εστίασης που βρίσκονται εντός του συστήματος. Αφού συναντήσει το επιστρεφόμενο κύμα το κύμα αναφοράς θα απορροφηθούν σχεδόν πλήρως από τον ανιχνευτή φωτός για να μετατραπούν σε ηλεκτρικό σήμα.

Όσο αναφορά το τμήμα των σκεδάσεων, αλληλεπιδράσεις του φωτός θα συμβούν και στο τμήμα του οφθαλμού. Αναλυτικότερα, το πρώτο κομμάτι του οφθαλμού που συναντά το κύμα φωτός είναι το υδατώδες υγρό και το υαλώδες σώμα τα οποία έχουν ομογενή δείκτη διάθλασης με αποτέλεσμα το φως να μην σκεδάζεται. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό του σκεδαζόμενου φωτός συμβαίνει στον κερατοειδή, το φακό και τον αμφιβληστροειδή.

Τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης και εστίασης του φωτός καλούνται να διορθώσουν και οι διαθλαστικοί φακοί. Έτσι, η διόρθωση της μυωπίας επιτυγχάνεται με αποκλίνοντες φακούς, ενώ η διόρθωση της υπερμετροπίας επιτυγχάνεται με συγκλίνοντες φακούς.

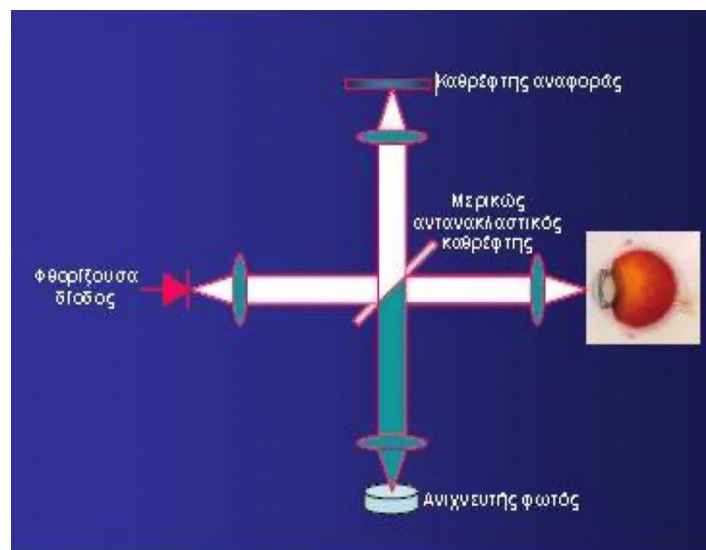
### 1.2.1. Τεχνολογία και Δομή συστημάτων OCT

Η Οπτική Τομογραφία Συνοχής ή αλλιώς optical coherence tomography (OCT) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία διεξαγωγής οφθαλμολογικών εξετάσεων και διάγνωσης οφθαλμολογικών παθήσεων. Είναι τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια με πολλές δυνατότητες εξέλιξης τα επόμενα χρόνια. Η αρχή λειτουργίας στηρίζεται σε βασικές αρχές μηχανικής, οπτικής και υπερσύγχρονης τεχνολογίας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατό περισσότερο κάθε πιθανότητα σφάλματος. Η τεχνική αυτή ξεκίνησε να χρησιμοποιείται το 1991 από τον Huang όταν αποτυπώθηκε βιολογικός ιστός σε δισδιάστατη απεικόνιση και στηρίζεται στην αρχή της συμβολομετρίας.

Παρόλο που στη Β-υπερηχογραφία χρησιμοποιούνται ηχητικά κύματα, στην οπτική τομογραφία χρησιμοποιούνται κύματα φωτός (με μήκος κύματος  $\lambda=800\text{nm}$ ) τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα με βασικότερα την ταχύτητα μετάδοσης τους η οποία είναι ταχύτερη από αυτή των ηχητικών μετά την αύξηση σε μήκος κύματος  $\lambda=1300\text{nm}$ .

Το γεγονός αυτό καθιστά την παραγόμενη εικόνα ευκρινέστερη βοηθώντας έτσι και τον ιατρό κατά την παρατήρηση του πρόσθιου ή του οπίσθιου τμήματος του οφθαλμού. Το επιθυμητό αποτέλεσμα σε αυτή την εξέταση είναι η εγκάρσια τομή του φακού, της ίριδας και του κερατοειδούς φακού τα οποία θα μας υποδείξουν κάποια διαφορά στο πάχος και στη μορφολογία τους υποδεικνύοντας κάποια παθολογία.

Εκτός από το γεγονός ότι έχουν δημιουργηθεί πλέον αρκετοί τύποι OCT, η βασική δομή λειτουργίας αυτών των συστημάτων δεν διαφέρει και πολύ. Ένα σύστημα OCT περιέχει μια ευρυζωνική πηγή φωτός χαμηλής συνοχής. Το εκπεμπόμενο φως συνδέεται σε ένα συμβολόμετρο. Επειτα, το φως χωρίζεται σε δύο καθετους βραχίονες: ένα βραχίονα αναφοράς και ένα βραχίονα δείγματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8. Ο βραχίονας αναφοράς μεταδίδει το φως προς έναν καθρέφτη αναφοράς, ενώ ο βραχίονας δείγματος στέλνει το φως προς τον ιστό που μας ενδιαφέρει (σε αυτή την περίπτωση επάνω στον οφθαλμό). Ο βραχίονας δείγματος περιέχει επίσης έναν αντικειμενικό φακό που εστιάζει το φως στον ιστό του δείγματος (πρόσθιο τμήμα οφθαλμού). Το φως που διαχέεται πίσω από τις δομές του ιστού ανασυνδυάζεται με το φως αναφοράς που ανακλάται από έναν σχεδόν πλήρως ανακλαστικό κινούμενο καθρέφτη αναφοράς, παράγοντας ένα φωτεινό κύμα παρεμβολής που ανιχνεύεται από έναν ανιχνευτή φωτός στην επιστροφή του.



Εικόνα 8: Απεικόνιση μηχανικών στοιχείων OCT [23]

Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνεται ταχύτατα προκειμένου να επεξεργαστεί και να συνδυαστεί υπολογιστικά ώστε να υπάρχει ορθό απεικονιστικό αποτελέσματα. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν εκπληκτική ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων και ανασυνδυασμού εικόνας για να μπορούν να σαρώσουν, επεξεργαστούν και απεικονίσουν ένα μεγάλο τμήμα του αμφιβληστροειδή ή της ωχρας κηλίδας του οφθαλμού.

Η λειτουργία της τομογραφίας οπτικής συνοχής στηρίζεται στη διαφορά της έντασης του φωτός που μπορεί να έχει το προσπίπτον φως με το ανακλώμενο όταν προσπέσει πάνω στον αμφιβληστροειδή. Τελικώς, η σχετική ένταση του φωτός μετράται σαν ηλεκτρικό σήμα με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού συστήματος. Για να προκύψει ένα A-scan ή βάθος σάρωσης μετακινούμε το κάτοπτρο από την πορεία του κατόπτρου αναφοράς για να



αναλύσουμε όλα τα στρώματα του αμφιβληστροειδούς. Επειδή αυτή η διαδικασία απαιτεί αρκετό χρόνο, στα σύγχρονα συστήματα OCT, όπως αυτό της εικόνας 9, χρησιμοποιείται η εξίσωση Fourier προκειμένου να μετράται ταυτόχρονα το εισερχόμενο από τον αμφιβληστροειδή φως από όλα τα στρώματα [24]. Για την ανακατασκευή των δισδιάστατων (2D) ή τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων διατομής, η δέσμη σαρώνεται σε όλη την επιφάνεια του δείγματος.



Εικόνα 9: Σύστημα οπτικής τομογραφίας συνοχής (OCT) του οίκου Optopol [25]

Τα βασικά μηχανικά τμήματα που απαρτίζεται ένα τέτοιο σύστημα OCT θα είναι τα εξής:

1. Δίοδος εκπομπής φωτός, ένας ημιαγωγός ο οποίος θα μετατρέψει το φως σε ηλεκτρική τάση.
2. Φωτοανιχνευτής, ο οποίος παράγει τάση ανάλογα το πόσο φως πέφτει πάνω του
3. Συμβολόμετρο, το οποίο θα δημιουργεί ενισχυτική ή καταστροφική συμβολή μεταξύ των 2 κυμάτων που θα επιστρέφουν πίσω στη διάταξη
4. Κάτοπτρο, το οποίο θα προσφέρει την ανάκλαση των φωτεινών ακτινών
5. Διαχωριστής δέσμης, όπου θα διαχωρίζει τις οπτικές δέσμες σε 2 μικρότερες
6. Φασματομέτρο, το οποίο θα μετρά τις διακυμάνσεις του φωτός παράγοντας χρήσιμα αποτελέσματα.

Μαζί με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύσσονται και τα συστήματα αυτά ενώ βελτιώνεται η ακρίβεια και η ταχύτητα αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων. Η τεχνική OCT αφορά παθήσεις γύρω από το οπτικό νεύρο, την ωχρά κηλίδα και τον αμφιβληστροειδή.

Προτού αναλυθεί η συμβολή των συστημάτων σε διάφορες παθήσεις σημαντική είναι η αναφορά στα πλεονεκτήματά τους. Το βασικό πλεονέκτημα στις εξετάσεις με τα συστήματα αυτά είναι η ταχύτητα εκτέλεσης της εξέτασης όπου σε ελάχιστα δευτερόλεπτα πλέον, μπορεί να γίνει ολοκληρωμένη σάρωση συγκεκριμένης περιοχής του οφθαλμού και ταυτόχρονη παραγωγή αποτελεσμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα ενώ μέσω των ειδικών ψηφιακών μετρήσεων μπορούν πλέον να γίνονται αυτόματα αναλύσεις και μετρήσεις παχών και κλίσεων

που θα προσδιορίσουν την ύπαρξη κάποιας παθολογίας ή ακόμα και μόλυνσης. Οι σύγχρονες τεχνικές της αγγειογραφίας έχουν την ικανότητα άμεσης απεικόνισης της αιμάτωσης του οφθαλμού, ενός οργάνου του σώματος που απαιτεί συνεχή τροφοδότηση οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών.

Πέρα από τη διάγνωση που χρειάζεται να πραγματοποιήσει ο εξειδικευμένος ιατρός τα συστήματα OCT τελευταίας γενιάς έχουν την ικανότητα να πραγματοποιούν εξετάσεις και μετρήσεις με το πάτημα ενός κουμπιού. Αυτό σημαίνει ότι με τον κατάλληλο εξοπλισμό που διαθέτει το ιατρείο, ακόμα και ο εντοπισμός της κόρης του οφθαλμού γίνεται από κατάλληλο ανιχνευτή και δεν απαιτείται χειροκίνητος εντοπισμός του από τον χρήστη κάνοντας την εξέταση ακόμα πιο εύκολη. Το μόνο που καλείται ο εξεταζόμενος να κάνει είναι να τοποθετήσει το κεφάλι του στο κατάλληλο σύστημα στήριξης μετώπου και σαγονιού προκειμένου να υπάρχει σταθερότητα κατά τη διάρκεια της εξέτασης.

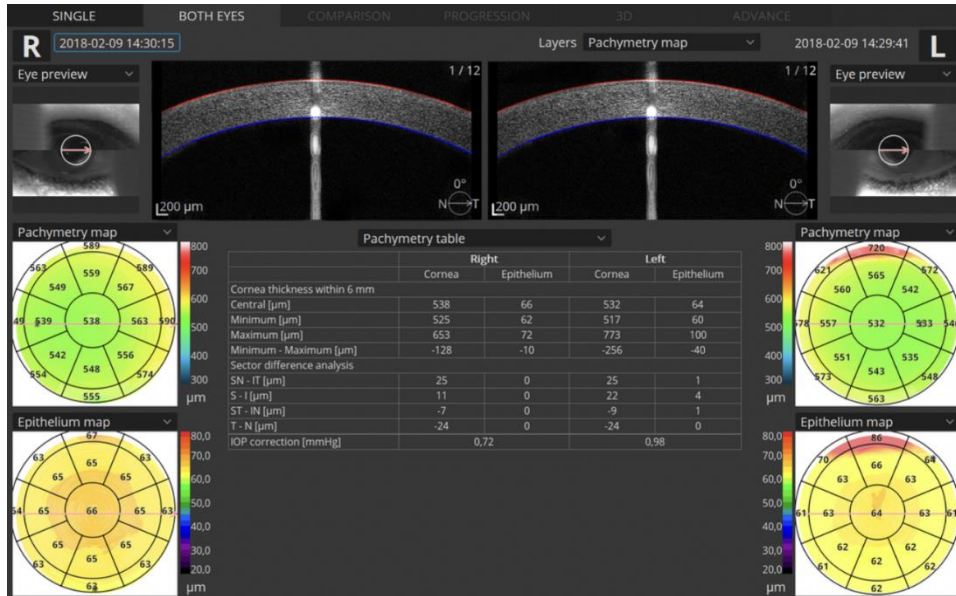
Το πρωτόκολλο εξέτασης θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο ενώ αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι τα αποτελέσματα της εξέτασης. Το σύστημα τομογραφίας οπτικής συνοχής συνδυάζεται με κατάλληλο υπολογιστή και εφαρμογή από τον εκάστοτε κατασκευαστικό οίκο ενώ παράλληλα επιθυμητός είναι και ένας εκτυπωτής ο οποίος θα μπορεί να αποτυπώσει οποιαδήποτε εικόνα του οφθαλμού με τα στοιχεία του ασθενούς.

### **1.2.2. Απεικόνιση παθήσεων με συστήματα OCT**

Η παραγόμενη εικόνα συνήθως απεικονίζεται με ειδικούς χάρτες με συμβατικό χάρτη στους τόνους του γκρι αλλά και με ειδικούς χρωματικούς χάρτες οι οποίοι βοηθούν αρκετά στην καλύτερη διαπίστωση της παθολογίας από τον ασθενή. Οι τέσσερις βασικές λειτουργίες που επιτελούν τα OCT συστήματα αφορούν την απεικόνιση του πρόσθιου τμήματος του οφθαλμού, την εξέταση του οπτικού νεύρου, την απεικόνιση του αμφιβληστροειδή και την απεικόνιση της ωχράς κηλίδας.

- Απεικόνιση πρόσθιου τμήματος οφθαλμού

Σε αυτή την περίπτωση το κατάλληλο λογισμικό διαθέτει χάρτη παχυμετρίας, μέτρηση πάχους επιθηλίου και μέτρηση εμπρόσθιου φακού. Από την εικόνα 10 γίνεται κατανοητή τόσο η σημασία των πινάκων που προκύπτουν με μετρήσιμα στοιχεία του οφθαλμού αλλά παράλληλα και η σημαντικότητα των χρωμάτων που θα υποδείξουν από αυτή την απλή μέτρηση την ύπαρξη ενός εισερχομένου σώματος αλλά και την μέτρηση των διαστάσεων του με κατάλληλα λογισμικά και εργαλεία.



Εικόνα 10: Απεικόνιση πρόσθιου τμήματος φυσιολογικού οφθαλμού με εξέταση συστήματος Revo FC από Panel με παχυμετρικούς χάρτες [26]

Με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο οφθαλμών, καθώς επίσης αντίστοιχα των παχυμετρικών χαρτών και των αντίστοιχων επιθηλίων τόσο προεγχειρητικά όσο και μετεγχειρητικά για την καταγραφή της περιόδου επούλωσης όπως στις περιπτώσεις του κερατόκωνου που έχει αναφερθεί. Φυσικά τα συστήματα OCT τελευταίας γενιάς δίνουν τη δυνατότητα καταγραφής και αποθήκευσης μέσα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή τέτοιων εικόνων και ενσωμάτωσης των αρχείων του κάθε ασθενή.

- Απεικόνιση οπτικού νεύρου

Η σπουδαιότητα της OCT διαπιστώνεται και στη μελέτη και παρακολούθηση των γλαυκωματικών ασθενών. Η δυνατότητα που προσφέρεται μέσω της OCT σχετίζεται με την ποσοστιαία καταγραφή του πάχους της στιβάδας των νευρικών ινών ενώ επιτρέπει την αντικειμενική εκτίμηση των μορφολογικών μεταβολών που συμβαίνουν στη γλαυκωματική νευροπάθεια. Επιπλέον, η περιγραφή της ανατομικής βλάβης του οπτικού νεύρου στο γλαύκωμα, όπως αποδίδεται με την OCT, είναι ένα πολύ σπουδαίο εργαλείο για την πρόωμη διάγνωση της νόσου, τη βαθμονόμηση και εξέλιξή της.

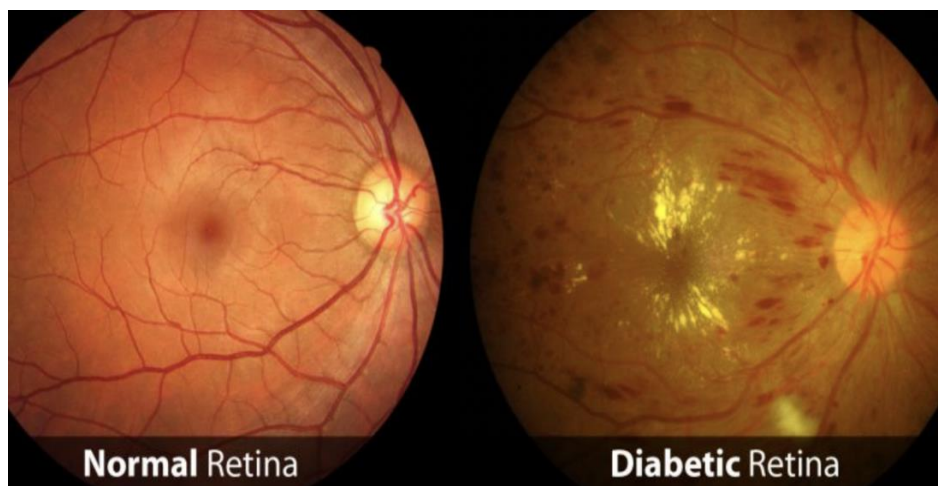
Η εικόνα που λαμβάνουμε, όπως φαίνεται στην εικόνα 11, θα υποδείξει λεπτομερώς την εικόνα που παρουσιάζει το οπτικό νεύρο δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα στον ιατρό να έχει πλήρη καταμέτρηση των βασικών χαρακτηριστικών του οπτικού νεύρου αλλά και να πραγματοποιήσει και ο ίδιος επιπλέον μετρήσεις.



Εικόνα 11: Εξέταση βυθού με μετρήσεις μέσω λογισμικού και γραφήματα φυσιολογικών ορίων από Panel εξέτασης [27]

- Απεικόνιση αμφιβληστροειδή

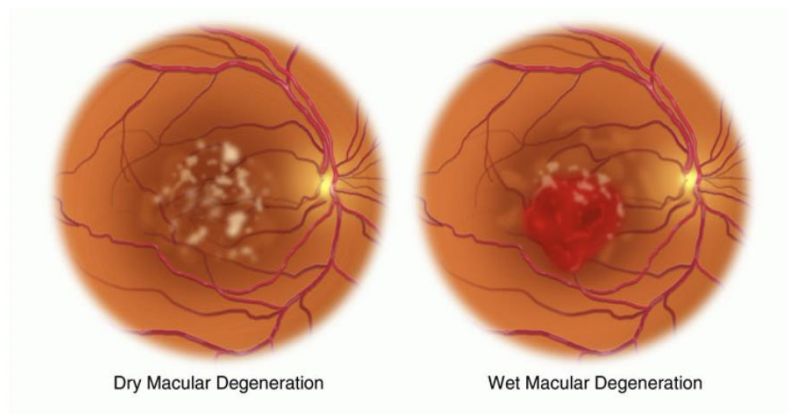
Η απεικόνιση του αμφιβληστροειδή για την εκτίμηση του πάχους του αμφιβληστροειδούς καθιστούν την εξέταση αρκετά χρήσιμη στην παρακολούθηση του διαβητικού οιδήματος της ωχράς κηλίδας καθώς είναι σύνηθες στην εξέταση της φλουοραγγειογραφίας (ειδική τεχνική απεικόνισης) η κατανομή του οιδήματος να καθορίζεται από τα σημεία διαρροής. Περιπτώσεις όπως αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 12 υποδεικνύουν την σημαντικότητα της πρόληψης καθώς συγκρίνοντας τις εικόνες ενός υγιούς αμφιβληστροειδούς και ενός αμφιβληστροειδή με διαβήτη μπορούν να εντοπιστούν μικροαευνύσματα, αιμορραγίες, εξιδρώματα ακόμα οίδημα στον αμφιβληστροειδή. Οι αιμορραγίες εντοπίζονται στις περιοχές με πιο έντονο κόκκινο χρώμα λόγω εγκλωβισμού του αίματος.



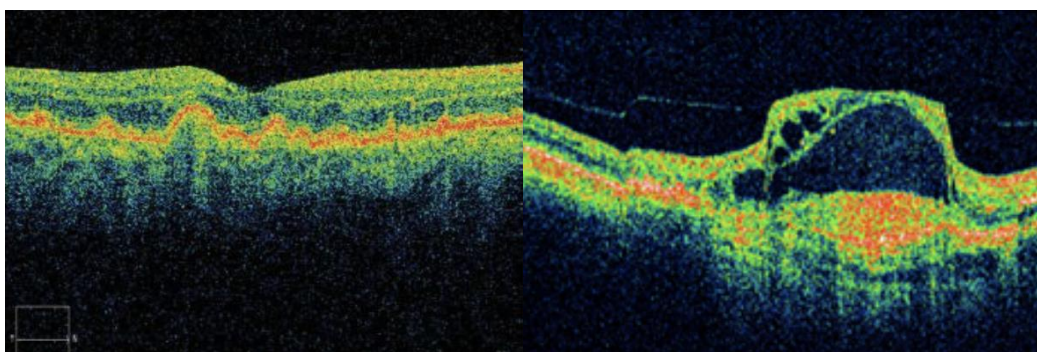
Εικόνα 12: Σύγκριση αμφιβληστροειδών υγιούς ατόμου και ατόμου με διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια με εξέταση μέσω κάμερας βυθού [28]

- Απεικόνιση ωχράς κηλίδας

Η απεικόνιση αυτού του μέρους του οφθαλμού μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες προκειμένου να γίνει λεπτομερής διάγνωση αυτής της περιοχής. Όσον αφορά την ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας μπορούμε να δούμε την ωχρά κηλίδα εκτός από την πρόσθια επιφάνεια, τι γίνεται στο μέσο ή και πίσω από αυτήν με τη βοήθεια της οπτικής τομογραφίας συνοχής. Στην εικόνα 13 παρουσιάζονται 2 από τις πιο κοινές παθολογίες που αφορούν την εκφύλιση της ωχράς κηλίδας. Στην ξηρού τύπου (dry macula degeneration) αυτό που αναζητείται είναι οι κίτρινες εναποθέσεις από τη συσσώρευση πρωτεϊνών και λιπιδίων κάτω από ένα στρώμα (μελάχρων επιθήλιο) που διαχωρίζει τον χοριοειδή και τον αμφιβληστροειδή. Στην υγρού τύπου αναζητούνται οι χωριοειδικές νεοαγγειώσεις που καταστρέφουν τα φωτοευαίσθητα κύτταρα που βρίσκονται στην ωχρά κηλίδα και προκαλούν τη διαρροή αίματος και υγρού. Αυτές οι 2 περιπτώσεις γίνονται ευκολότερα κατανοητές από την εικόνα 14 όπου έχουν πραγματοποιηθεί εξετάσεις OCT σε άτομα με τις 2 αυτές εκφυλίσεις.



Εικόνα 13: Απεικόνιση ξηρής (αριστερά) και υγρής (δεξιά) εκφύλισης ωχράς κηλίδας με τη βοήθεια σχεδιαστικού μοντέλου [29]



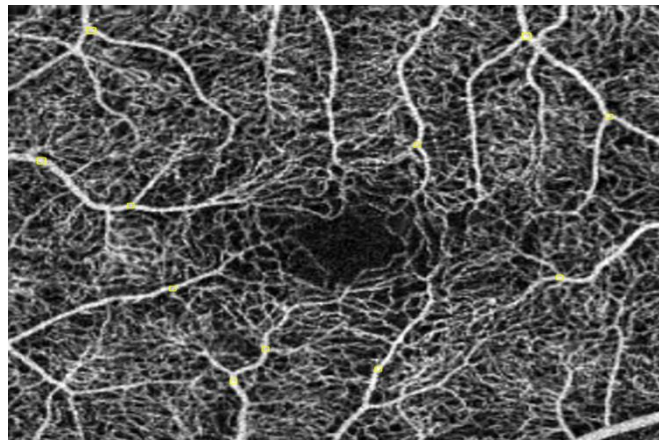
Εικόνα 14: Απεικόνιση μέσω OCT της ηλικιακής εκφύλισης ξηρού (αριστερά) και υγρού (δεξιά) τύπου [30]

### 1.2.3. OCT αγγειογραφία

Η OCT αγγειογραφία και η 3D απεικόνιση του αμφιβληστροειδούς αποτελούν δύο από τις πιο πρόσφατες αναβαθμίσεις των συστημάτων τομογραφίας οπτικής συνοχής. Η

αγγειογραφία, καλούμενη και ως OCT- angiο, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο Λονδίνο το 2015 και αντικατέστησε τις τεχνικές αγγειογραφίας που προϋπήρχαν με σημαντικές ωστόσο διαφορές. Οι εικόνες που λαμβάνουμε μετά από μια εξέταση αγγειογραφίας είναι σαν αυτή της εικόνας 15. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της είναι η απουσία χρήσης σκιαγραφικού παράγοντα, ουσιών δηλαδή, οι οποίες εγχέονταν στον οφθαλμό και στη συνέχεια κατά την απεικόνιση, προκαλούσαν τον λεγόμενο φθορισμό, υποδεικνύοντας τις αγγειώσεις του αμφιβληστροειδή. Με την απουσία των σκιαγραφικών παραγόντων βελτιώθηκε η ταχύτητα της εξέτασης, καθώς ο ασθενής δεν χρειάζεται να περιμένει να εγχυθεί η ουσία, δεν απαιτούνταν η παρουσία αναισθησιολόγου και τα προβλήματα ύπαρξης αλλεργιών στις σκιαγραφικές ουσίες εξανεμίστηκαν. Εκτός από τα πρακτικά προβλήματα υπάρχουν και το αισθητικό κομμάτι, το οποίο είναι το κίτρινισμα του οφθαλμού για 24 ώρες το οποίο αποτελεί παρελθόν.

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνταν στις περιπτώσεις εγχύσεις σκιαγραφικών μέσω ήταν η φλουορεσκεϊνη και ιδροκυανίνη [31]. Η αγγειογραφία με φλουοροσκεϊνη αναδεικνύει κατά τον καλύτερο τρόπο τη κατάσταση των αγγείων του αμφιβληστροειδούς, αλλά δεν αναδεικνύει τα αγγεία του χοριοειδούς χιτώνα. Για τη καλύτερη απεικόνιση των αγγείων του χοριοειδούς απαιτείται η εφαρμογή της αγγειογραφίας με το πράσινο της ινδοκυανίνης. Με την παρακάτω απεικόνιση ο κύριος σκοπός είναι η διάγνωση διάφορων παθήσεων που στηρίζονται στις αγγειώσεις όπως η ηλικιακή εκφύλιση ωχράς κηλίδας, η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, παθήσεις του οπτικού νεύρου, η υπέρταση και άλλα.

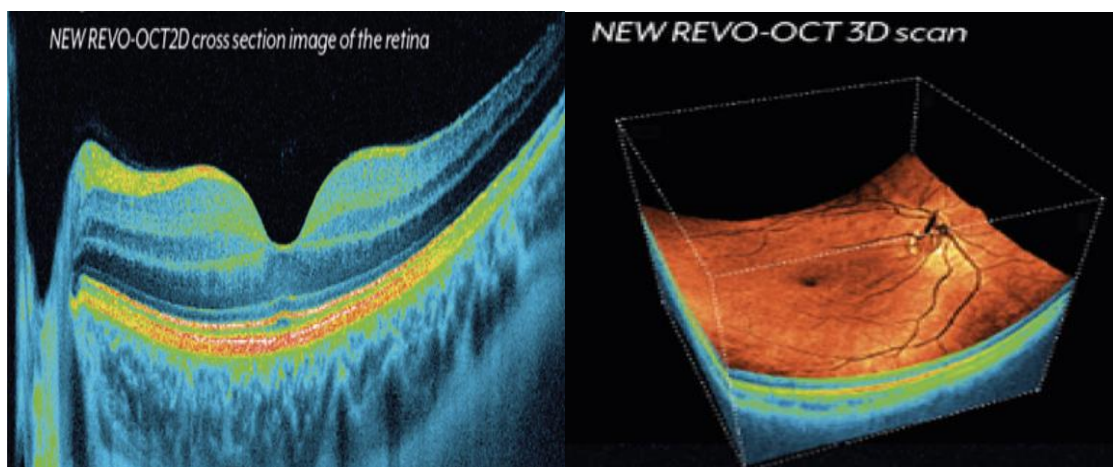


Εικόνα 15: Αναλυτική απεικόνιση αγγειογραφίας αμφιβληστροειδούς [32]

#### 1.2.4. 3D απεικόνιση

Η 3D απεικόνιση περιλαμβάνει κυρίως την απεικόνιση του οφθαλμού σε επιμέρους στρώματα. Κατά τον τρόπο αυτό, τα νέα συστήματα OCT με τη βοήθεια λογισμικού μπορούν να απεικονίσουν τον αμφιβληστροειδή, τον χοριοειδή και το υαλώδες σώμα σε ξεχωριστές, διακριτές στρώσεις. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η 3D απεικόνιση δεν αποτελεί μια περαιτέρω λειτουργία μηδαμινής σημασίας. Αντιθέτως, είναι ένα ακόμα χρήσιμο εργαλείο το οποίο βοηθά τον ιατρό να παρατηρήσει λεπτομερώς όλες τις πτυχές και τις επιφάνειες των ανωτέρω που μπορούν να υποδηλώσουν εγκαίρως την ύπαρξη παθολογικών καταστάσεων όπως εκφύλιση της ωχράς κηλίδας, διαβήτη, γλαύκωμα, αποκολλήσεις αμφιβληστροειδούς και υαλοειδούς μεταξύ άλλων οφθαλμικών διαταραχών. Η τεχνική, όπως παρουσιάζεται στην

εικόνα 16, περικλείεται γύρω από έναν νοητό κύβο ο οποίος βοηθά τον εξεταστή να εντοπίσει τα όρια της περιοχής αλλά ταυτόχρονα να προσδιορίσει μέσω αξόνων και την γωνία θέασης του προς απεικόνιση εκάστοτε φλοιού.



Εικόνα 16: Απεικόνιση δύο διαστάσεων (αριστερά) με τη βοήθεια κάμερας βυθού και τριών διαστάσεων (δεξιά) με τη χρήση συστήματος REVO OCT [33]

## **2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**



## 2.1. Πρωτόκολλο χρήσης OCT

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα γίνει η μελέτη και η παρουσίαση του συστήματος OCT που είναι εγκατεστημένο στο τμήμα Βιοϊατρικής Μηχανικής του πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Η πλειονότητα των εικόνων που θα ακολουθήσουν αφορούν το συγκεκριμένο σύστημα OCT οι οποίες περιλαμβάνονται στη δημιουργία ενός πρωτοκόλλου χρήσης του συστήματος καθώς επίσης και στη συγγραφή βασικών οδηγιών προστασίας και χρήσης του συστήματος. Το σύστημα είναι του κατασκευαστικού οίκου Huvitz, κορεάτικης καταγωγής η οποία είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής και διάθεσης οφθαλμολογικών προϊόντων παγκοσμίως [34].

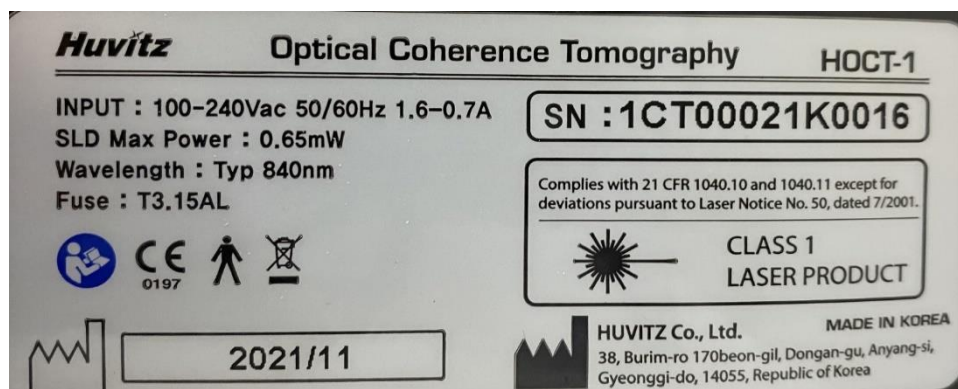
## 2.2. Νομολογία- Σήμανση ιατρικών μηχανημάτων

Τα συστήματα OCT φέρουν πέρα από τις απαραίτητες πιστοποιήσεις γνησιότητας από τον κατασκευαστικό οίκο, και τις πιστοποιήσεις που προβλέπονται σύμφωνα από τη νομολογία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πιστοποίηση CE θα πρέπει να αναφέρεται στο προϊόν που φέρει τη σήμανση, βρίσκεται σε συμμόρφωση με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και ταυτόχρονα πληρεί όλες τις ισχύουσες νομικές απαιτήσεις για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας, ασφάλειας και προστασίας των καταναλωτών και του περιβάλλοντος.

Εκτός από τις νομικές προδιαγραφές κυκλοφορίας του προϊόντος θα πρέπει να διακρίνεται το έτος κατασκευής, ο κατασκευαστής καθώς επίσης και η ειδική σήμανση που θα πρέπει να φέρουν τα μηχανήματα οπτικής συνοχής η οποία καθορίζει ότι το μηχάνημα λειτουργεί με τη χρήση laser. Παράλληλα πρέπει να υπάρχει η βασική σήμανση για υψηλή τάση και σήμανση απόσυρσης μετά τη χρήση. Στις εικόνες 17 και 18 απεικονίζονται με τη σειρά η ημερομηνία κατασκευής, ο κατασκευαστής, η πιστοποίηση CE, ο σειριακός αριθμός ή αλλιώς SN(Serial Number), οι οδηγίες απόσυρσης, οι βασικές απαιτήσεις τροφοδοσίας (Τάση, Ένταση και συχνότητα ρεύματος) το μοντέλο και η σήμανση για τη χρήση laser.



Εικόνα 17: Απεικόνιση βασικών κατασκευαστικών στοιχείων



Εικόνα 18: Περιγραφή αναλυτικών χαρακτηριστικών του συστήματος

### 2.3. Μέρη συσκευασίας - εκκίνηση εφαρμογής

Τα βασικά στοιχεία που διαθέτει ένα σύστημα τομογραφίας οπτικής συνοχής είναι: ο βασικός κορμός του συστήματος, ένα βοήθημα για τη σαγονιέρα (για ειδικές τεχνικές απεικόνισης), τα καλυπτικά καπάκια για τους φακούς, ένα “τεχνητό μάτι”, το σύστημα βαθμονόμησης συσκευής, μια κουκούλα προστασίας της συσκευής, η βασική καλωδίωση (καλώδιο τροφοδοσίας και καλώδιο σύνδεσης με το δίκτυο), το πενάκι για την οθόνη αφής, ένα στικάκι με την εφαρμογή που πρέπει να εγκατασταθεί στον υπολογιστή του ιατρού που θα το χειρίζεται και ο οδηγός χρήσης της συσκευής.

Το βασικό σύστημα OCT παρουσιάζεται στην εικόνα 19 και συνδύαζεται με έναν υπολογιστή, είτε σταθερό είτε φορητό (σε αυτή την περίπτωση φορητό), ενώ εκτυπωτής στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάζεται καθώς οι φωτογραφίες μπορούν να αποθηκευτούν εύκολα με ένα στικάκι. Φυσικά, το τροχήλατο τραπέζι με δυνατότητα ανύψωσης βοηθάει αρκετά στην εξέταση για μεγαλύτερη ευκολία των ασθενών καθώς ο εξεταζόμενος πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένο ύψος και κλίση από το σύστημα OCT. Η εικόνα 19 (δεξιά) απεικονίζει το κύριο κουμπί λειτουργίας από το οποίο ο ιατρός ενεργοποιεί και απενεργοποιεί το μηχάνημα στην αρχή και στο τέλος των εξετάσεων αντίστοιχα.



Εικόνα 19: Σύστημα OCT με φορητό υπολογιστή και ειδικό τραπέζι εξέτασης (αριστερά). Κουμπί βασικής εκκίνησης συστήματος (δεξιά)



Εικόνα 20: Βασικό τμήμα χειρισμού (αριστερά). Χώρος τοποθέτησης προσώπου ασθενούς (δεξιά)

Στην εικόνα 20 παρατηρούμε πέντε βασικά στοιχεία που χρησιμοποιεί ο εξειδικευμένος ιατρός πριν την πραγματοποίηση της εξέτασης και βοηθούν στην καλύτερη ποιότητα εικόνας.

1. Τα δυο αυτά κουμπιά ρυθμίζουν το ύψος της σαγονιέρας, που βρίσκεται στην εικόνα με το νούμερο 5. Ο ασθενής θα πρέπει να τοποθετεί το μέτωπό του στο γκρι πλαίσιο και το πηγούνι του κατάλληλα έτσι ώστε να βρίσκεται στο ιδανικό ύψος παρατήρησης από τον φακό του συστήματος.
2. Αποτελεί ένα ρυθμιστή που αποκλίνει ή συγκλίνει τους φακούς έτσι ώστε να μειώνει ή να αυξάνει το βάθος παρατήρησης.
3. Ο μοχλός αυτός βοηθάει στην σταθεροποίηση του μηχανήματος σε μια συγκεκριμένη θέση παρατήρησης. Εξαιτίας της ευαισθησίας της μέτρησης θα πρέπει τόσο ο ασθενής όσο και το σύστημα να παραμείνουν σταθεροί και ακίνητοι κυρίως στο σύντομο χρονικό διάστημα που διαρκεί η εξέταση.
4. Το σύστημα με τη σήμανση OPT αφορά τη λειτουργία Optimize και σχετίζεται με την εξομάλυνση της εικόνας κατά την εξέταση.
5. Η σαγονιέρα στην οποία ο ασθενής ακουμπά για να εξεταστεί προστατεύεται για λόγους υγιεινής και χρήσης από ειδικές ταινίες οι οποίες είναι αναλώσιμες.

Αφού ο ιατρός ανοίξει τον υπολογιστή που διαθέτει, ανοίγει και την συσκευή από το κουμπί λειτουργίας που παρουσιάστηκε παραπάνω. Για την ευκολότερη και γρηγορότερη σύνδεση του μηχανήματος και της αναγνώρισης του από την εφαρμογή του υπολογιστή ενδείκνυται να ενεργοποιείται πρώτα ο υπολογιστής, έπειτα το σύστημα OCT και μετέπειτα η εφαρμογή της Hunitz στον υπολογιστή. Η σύνδεση του μηχανήματος και του υπολογιστή επιτυγχάνεται με μια απλή καλωδίωση. Μόλις ανοίξει το σύστημα, εμφανίζεται ένα παράθυρο στο panel του OCT το οποίο έχει δύο πλαίσια στα οποία ο ιατρός πρέπει να συμπληρώσει το

όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης που ο ίδιος έχει επιλέξει, όπως φαίνεται στην εικόνα 21.



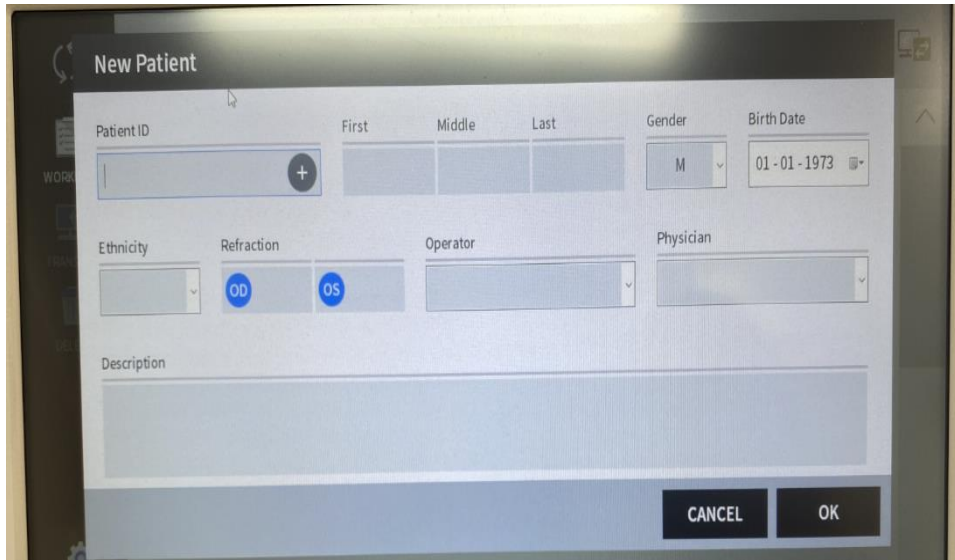
Εικόνα 21: Εισαγωγή ονόματος χρήστη και κωδικού (αριστερά). Οθόνη μετά το ξεκλείδωμα εφαρμογής (δεξιά)

Μόλις αυτά τα στοιχεία εισαχθούν το OCT ανοίγει και μπορεί πλέον μετά την επιλογή της εφαρμογής από το panel να χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις. Αρχικά θα περιγραφεί το πρωτόκολλο που θα ακολουθηθεί σε μια απλή εξέταση. Έπειτα, θα παρουσιαστούν κάποιες μετρήσεις που έγιναν με το συγκεκριμένο μηχάνημα ενώ στη συνέχεια θα επισημανθούν οι κίνδυνοι που εγκυμονούν τα συστήματα αυτά καθώς επίσης και οι προφυλάξεις που θα πρέπει να λαμβάνονται για την εύρυθμη λειτουργία τους.

## 2.4. Διαδικασία διεξαγωγής εξέτασης

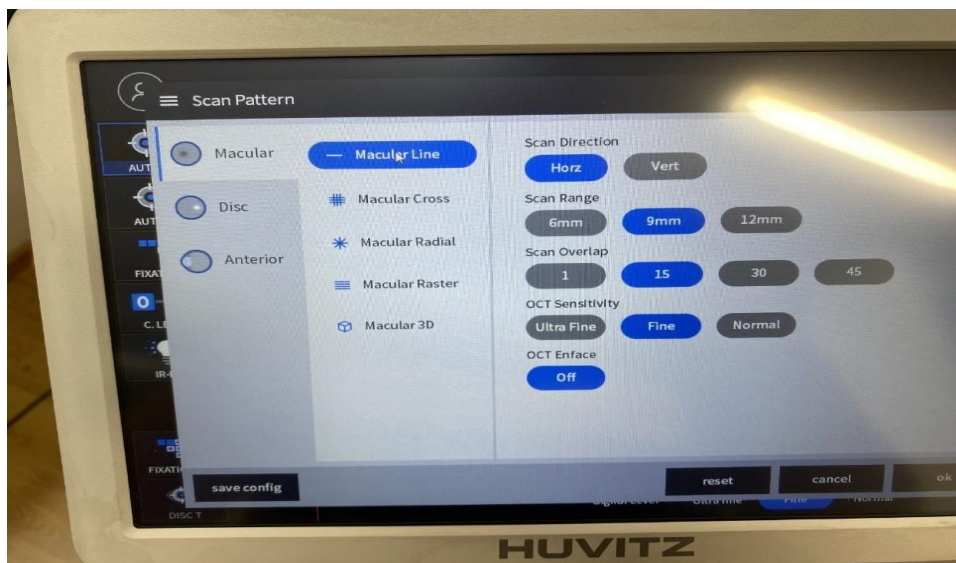
Μόλις η εφαρμογή ανοίξει, ο χρήστης καλείται να διαλέξει είτε κάποια από τις εξετάσεις που έχει ήδη πραγματοποιήσει είτε να εισάγει κάποιον καινούργιο ασθενή που έχει έρθει στο ιατρείο του. Αρχικά θα πρέπει να εισάγει κάποια από τα στοιχεία του ασθενούς (εικόνα 22) όπως: ID ασθενούς, ονοματεπώνυμο, φύλλο, ημερομηνία γέννησης, εθνικότητα και ειδικότητες άλλων γιατρών που μπορεί να παρακολουθούν παράλληλα τον ίδιο ασθενή. Φυσικά, το σύστημα αυτό προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής διαθλαστικών βαθμών σε αριστερό και δεξί οφθαλμό για την καλύτερη προσαρμογή του μηχανήματος. Η μόνη επιλογή που συστήνεται να παραμένει σταθερή σε όλες τις εξετάσεις είναι η επιλογή 'Ethnicity' όπου πρέπει να επιλέγεται η επιλογή 'caucasian' που αντιστοιχεί στην Ελληνική χώρα.

Στην επιλογή 'Description' ο ιατρός έχει τη δυνατότητα να εισάγει κάποιες περαιτέρω πληροφορίες ή και σημειώσεις για τον συγκεκριμένο ασθενή. Επιπλέον για να αποφεύγονται οι επιπλέον πληροφορίες οι οποίες συνήθως είναι τροχοπέδη για την αναζήτηση της εξέτασης στο πεδίο 'Patient ID' συνήθως επιλέγεται ο ΑΜΚΑ των ασθενών, ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε ασθενή και είναι ένας πιο εύκολος αριθμός να θυμάται ο ασθενής κατά την άφιξη του στο ιατρείο.



Εικόνα 22: Εικόνα εισαγωγής νέου ασθενή στο σύστημα

Μετά από αυτό το σημείο ο ιατρός εισέρχεται στο κύριο μενού επιλογών εξετάσεων του συστήματος.



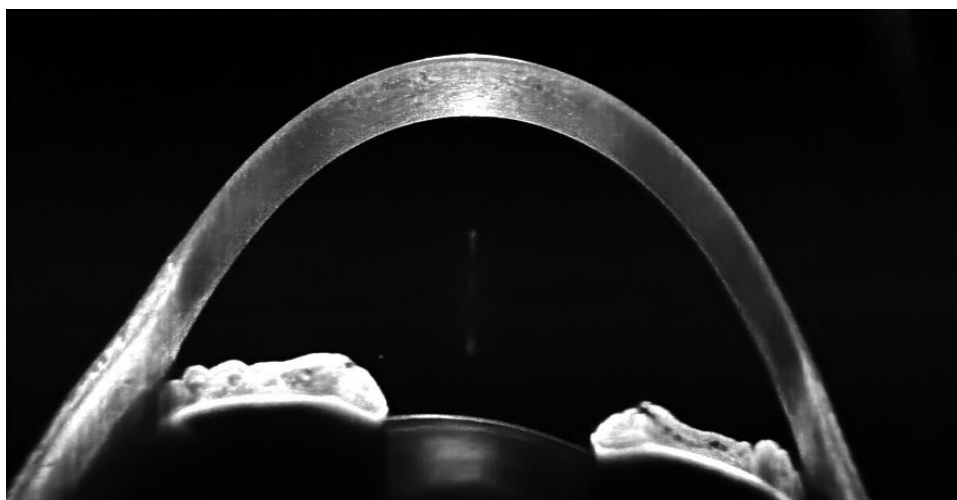
Εικόνα 23: Εικόνα επιλογών εξέτασης και παραμέτρων (preset) που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης

Όπως παρατηρούμε αναλόγως την περιοχή που θέλει ο ιατρός να εξετάσει (macular-disc-anterior) δηλαδή ωχρά κηλίδα, οπτικό δίσκο ή πρόσθιο τμήμα οφθαλμού μπορεί να επιλέξει εξ' αρχής την κατάλληλη σάρωση που θα πραγματοποιήσει το μηχάνημα για να του προσφέρει την καλύτερη δυνατή απεικόνιση (εικόνα 23). Έτσι μπορεί να επιλέξει για παράδειγμα στην ωχρά κηλίδα οριζόντιες, κάθετες, αξονικές ή ακόμα και 3D απεικόνιση. Περαιτέρω επιλογές όπως φαίνεται παραπάνω θα δημιουργήσουν μια πιο λεπτομερή εικόνα, μια εικόνα με λιγότερο 'θόρυβο' ή μια μεγαλύτερη απεικόνιση αναλόγως της περιοχής ενδιαφέροντος. Όσο πιο λεπτομερής θέλει να είναι η απεικόνιση τόσο περισσότερο χρόνο θα πάρει και η προβλεπόμενη εξέταση.

Μια εξαιρετικά εύκολη επιλογή είναι η ενεργοποίηση του κουμπιού ‘Auto T’ ή αλλιώς Auto Tracking το οποίο όταν ενεργοποιείται εντοπίζει την περιοχή ενδιαφέροντος και εστιάζει αυτόματα σε αυτήν, όπως για παράδειγμα στην κόρη του οφθαλμού. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι το Auto Shooting το οποίο όταν ενεργοποιείται, εστιάζει και εκτελεί μόνο του το σύστημα λήψη της εικόνας.

Σε περίπτωση που δεν επιλεγθούν αυτές οι επιλογές ο ιατρός μπορεί να εστιάσει με το joystick κάτω από το panel και στρίβοντας το δεξιόστροφα να εστιάσει στο μάτι του ασθενή. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια της εξέτασης και για όσο αυτή διαρκέσει θα πρέπει ο ασθενής να έχει όσο γίνεται πιο ανοιχτό το μάτι ή και τα δυο του μάτια καθώς επίσης για τα λίγα δευτερόλεπτα της λήψης να κρατήσει την αναπνοή του καθώς η απεικόνιση γίνεται στην κλίμακα των νανομέτρων οπότε η οποιαδήποτε απόκλιση από τον εστιασμένο φακό του συστήματος θα φανεί απευθείας μετέπειτα στην εικόνα. Ένας νοητός κύκλος υποδεικνύει αν το σύστημα έχει επικεντρωθεί σωστά στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σε περίπτωση απόκλισης το ίδιο το σύστημα θα υποδείξει προς τα που πρέπει να κινήσει ο ιατρός τον φακό για να υπάρχει ακριβέστερη απεικόνιση.

Με το που πατήσει το κουμπί που βρίσκεται επάνω στο joystick το σύστημα ξεκινάει τη μέτρηση και μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα εμφανίζει την παραγόμενη εικόνα. Δείκτης ποιότητας της εικόνας αυτής αποτελεί το SSI (Scan Signal Index) το οποίο σε βαθμολογημένη κλίμακα από το 1 έως το 10 υποδηλώνει την ποιότητα της εικόνας με καλύτερη ποιότητα αυτή με τον αριθμό 10. Σε αυτό το σημείο ο ιατρός έχει τη δυνατότητα να απορρίψει, αποθηκεύσει ή να διεξάγει περαιτέρω ανάλυση στην εικόνα που έχει μέχρι στιγμής. Υπενθυμίζεται ότι SSI μεγαλύτερο του 8 θεωρείται μια καλή απεικόνιση και δεν χρειάζεται επαναληπτική λήψη εικόνας. Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στις μετρήσεις γωνίας πρόσθιου θαλάμου είναι απαραίτητη η προσαρμογή ενός πρόσθετου φακού που διαθέτει το σύστημα αλλά και μιας πρόσθετης σαγονιέρας στο ύψος του μετώπου προκειμένου να μειωθεί όσο περισσότερο γίνεται η απόσταση μεταξύ του οφθαλμού και του φακού του συστήματος (περίπου 15mm). Σε αυτή την περίπτωση η εικόνα που θα λάβουμε είναι η παρακάτω (εικόνα 24) με δυνατότητα μέτρησης γωνίας, μέτρησης πάχους και επεξεργασίας βασικών χαρακτηριστικών εικόνας (τόνοι του γκρι, ευκρίνεια, φωτεινότητα).



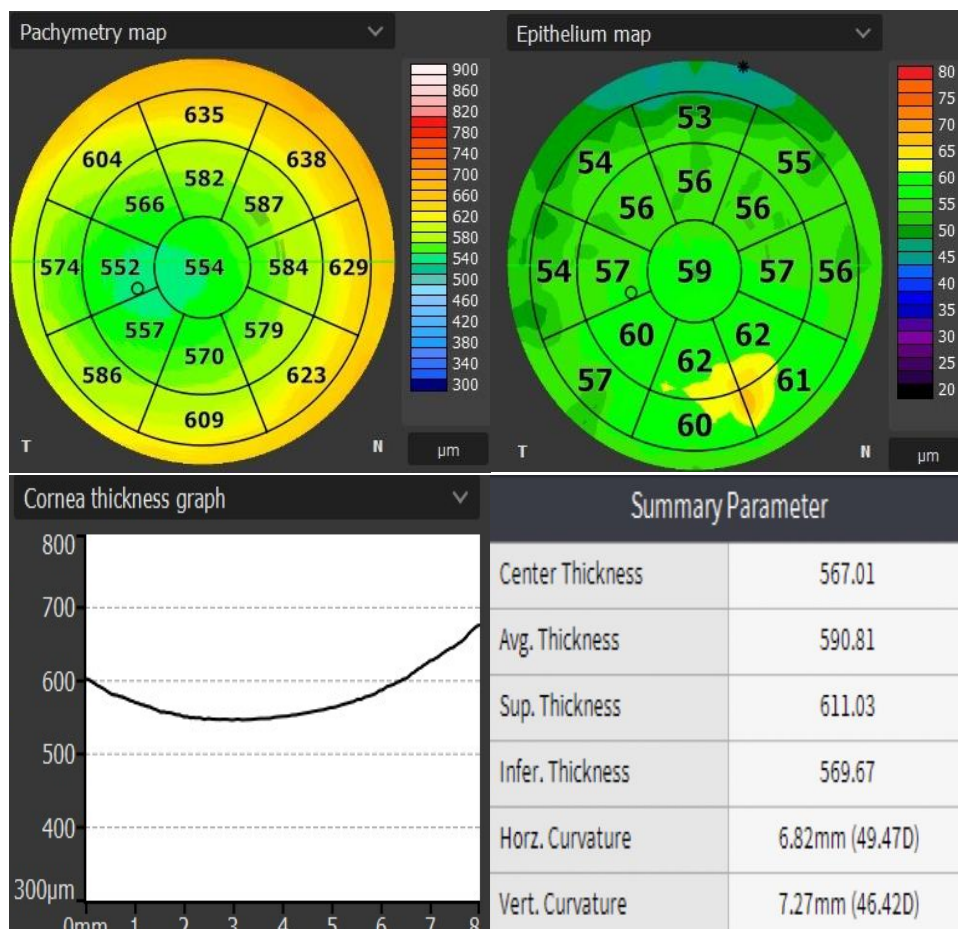
Εικόνα 24: Απεικόνιση αριστερού ματιού του πρόσθιου τμήματος του συστήματος

Σε περιπτώσεις αγγειογραφίας και απεικόνισης 3D απαιτείται στο συγκεκριμένο σύστημα η εγκατάσταση ενός επιπλέον λογισμικού και η χορήγηση άδειας από την εταιρεία παραγωγής η οποία έχει επιπλέον κόστος καθώς προσφέρει μια επιπλέον λεπτομερή απεικόνιση για τον ιατρό.

Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι με τις επιλογές ‘OD-OU-OS’ που βρίσκονται ως επιλογές στην αρχή των επιλογών, ο ιατρός μπορεί να εξετάσει ένα ή και τα δυο μάτια χωρίς να απαιτείται να ολοκληρώσει τη μια εξέταση για το ένα μάτι και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία και για το άλλο κερδίζοντας έτσι χρόνο κατά την εξέταση.

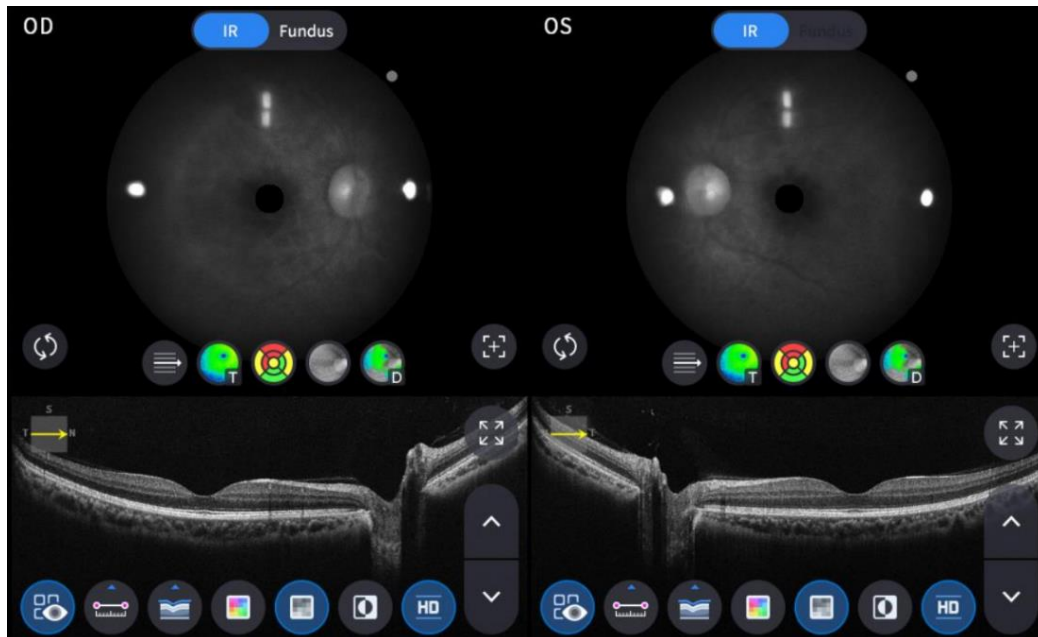
## 2.5. Εκτύπωση-Μεταφορά δεδομένων

Μόλις ο ιατρός αποθηκεύσει τις εικόνες που έχει λάβει ακολουθεί η επεξεργασία τους. Μια από τις εξετάσεις που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τις επιλογές που προσφέρει κατά την ανάλυση είναι η εξέταση πρόσθιου τμήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 20. Εκτός από τη βασική απεικόνιση υπάρχουν οι παχυμετρικοί χάρτες, οι χάρτες επιθηλίου, γράφημα πάχους ολόκληρου του επιθηλίου και πίνακες με μέσες και ακραίες τιμές μεγεθών, όπως απεικονίζονται στην εικόνα 25.



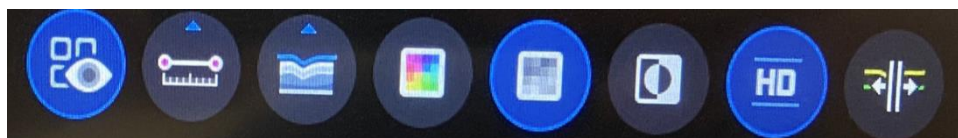
Εικόνα 25: Εικόνες χαρτών και πινάκων από εξέταση πρόσθιου τμήματος.

Η απεικόνιση της ωχράς κηλίδας (εικόνα 26) και του οπτικού νεύρου όπως έχει αναφερθεί μπορεί να προσφέρει σημαντικούς δείκτες για την πρόληψη και έγκαιρη διάγνωση ασθενειών. Έτσι στις εξετάσεις αυτές ο ιατρός μπορεί να επιλέξει να εμφανίσει αναλυτικούς παχυμετρικούς χάρτες, γραφήματα και πίνακες μέσων τιμών, ελάχιστων και μέγιστων τιμών που μετρήθηκαν αλλά και να υπολογίσει χειροκίνητα ή αυτόματα όγκους συγκεκριμένων περιοχών, όπως για παράδειγμα τον υπολογισμό όγκου οπτικής θηλής.



Εικόνα 26: Εικόνα σύγκρισης εικόνων δεξιάς και αριστερής ωχράς κηλίδας

Εκτός από τα στοιχεία που παρουσιάζουν την εικόνα ο χειριστής μπορεί μέσω της παρακάτω απεικονιζόμενης γραμμής εργαλείων να επιλέξει και να μορφοποιήσει ή μετρήσει κάποια στοιχεία της εικόνας.



Εικόνα 27: Γραμμή εργαλείων μορφοποίησης εικόνας

Ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά (εικόνα 27) και πατώντας πάνω σε αυτά ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει ή απενεργοποιήσει τις παρακάτω επιλογές:

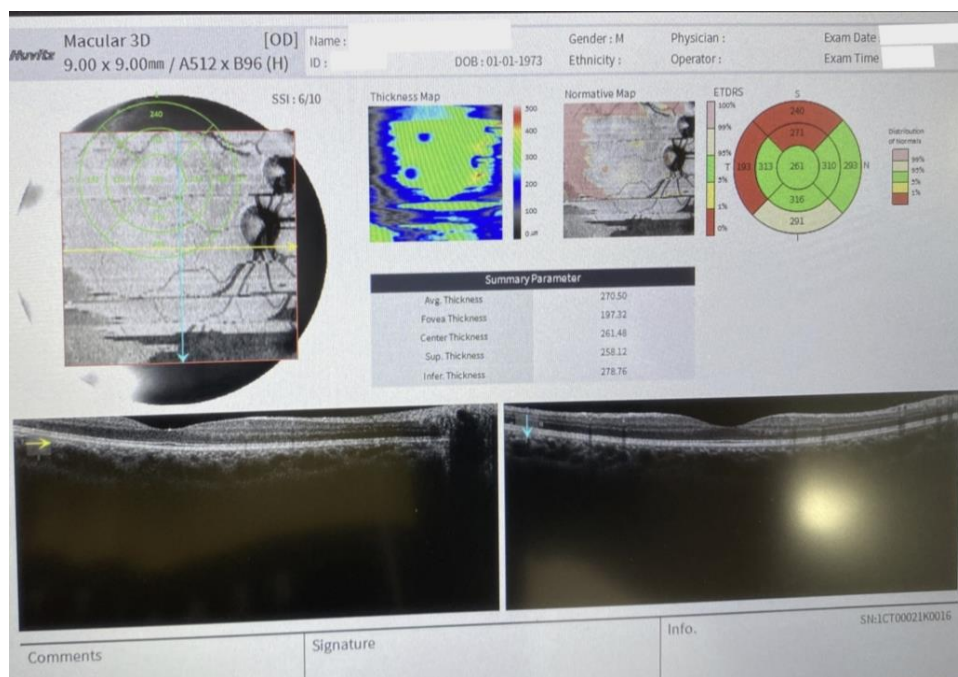
- Εμφάνιση/απόκρυψη μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στην εικόνα
- Εμφάνιση/απόκρυψη 'ψηφιακού' χάρακα, ο οποίος με την επιλογή δύο σημείων να υπολογίσει την πραγματική τους απόσταση



## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΧΡΗΣΗΣ OCT

- Εμφάνιση/απόκρυψη στρωμάτων, χρησιμοποιώντας μοντέλα που διαθέτει το σύστημα OCT
- Εμφάνιση/απόκρυψη ψευδοχρωμάτων, μετατρέποντας έτσι την ασπρόμαυρη σε μια πιο έγχρωμη εικόνα
- Εμφάνιση/απόκρυψη εικόνας σε κλίμακα χρωμάτων σε τόνους του γκρι
- Αντιστροφή της κλίμακας τόνων του γκρι (σε περίπτωση 256 διαθέσιμων τόνων του γκρι το φωτεινότερο pixel μετατρέπεται στο σκοτεινότερο και το σκοτεινότερο pixel μετατρέπεται στο φωτεινότερο και αντίστοιχα για όλους τους υπόλοιπους τόνους)
- Εμφάνιση/απόκρυψη των πιο έντονων στοιχείων της εικόνας
- Εμφάνιση/απόκρυψη των γραμμών που περικλείουν μια ορισμένη περιοχή

Το τελευταίο πράγμα πριν τις επιλογές που έχει ο χρήστης να εξάγει τις εικόνες και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία χρειαστεί είναι να σχηματίσει μια περίληψη των στοιχείων του ασθενούς. Για να γίνει αυτό, ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο 'Report' πάνω αριστερά στις επιλογές που υπάρχουν και εμφανίζεται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28: Report με παχυμετρικούς χάρτες, πίνακες μετρήσεων και εικόνα απεικόνισης ωχράς κηλίδας.

Η παραπάνω καρτέλα απεικονίζει ότι χρειάζεται ο ιατρός όταν χρειαστεί να επανεξετάσει την κλινική εικόνα του ασθενούς. Όπως παρατηρείται, τα βασικά στοιχεία όπως η ημερομηνία εξέτασης, ο τύπος εξέτασης, και όλα τα στοιχεία του ασθενούς μαζί με τις εικόνες που έχουν ληφθεί αποτελούν ένα σημαντικό ψηφιακό βοηθό για τον ιατρό. Τα σχόλια και οι πληροφορίες που μπορεί να χρειαστεί ο ιατρός σε διαδικασίες επανεξέτασης βρίσκονται αποθηκευμένα μαζί με ένα σύνολο παρατηρήσεων που έχει κάνει κατά την εξέταση.

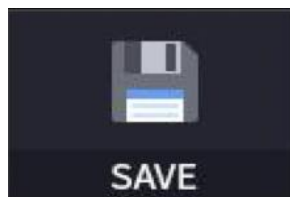
Μόλις ο ιατρός επιλέξει ποιους πίνακες μετρήσεων θέλει να εμφανίσει έχει τρεις επιλογές αποθήκευσης και μεταφοράς:

- Εκτύπωση (εικόνα 29): σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να εκτυπώσει είτε σε έγχρωμη είτε σε ασπρόμαυρη μορφή την εικόνα ή η πλήρης αναφορά (Report) μετρήσεων και στοιχείων του ασθενή με τις αντίστοιχες απεικονίσεις. Φυσικά για να υπάρχει αυτή η δυνατότητα θα πρέπει να υπάρχει συνδεδεμένος εκτυπωτής με το σύστημα.



Εικόνα 29:Επιλογή εκτύπωσης

- Αποθήκευση (εικόνα 30): με αυτήν την επιλογή όλη η ανάλυση και οι λήψεις που έχουν πραγματοποιηθεί αποθηκεύονται στον εσωτερικό σκληρό δίσκο SSD του συστήματος και είναι άμεσα διαθέσιμα προς προβολή και απεικόνιση με τις προτιμήσεις που έχει επιλέξει ο ιατρός.



Εικόνα 30:Επιλογή Αποθήκευσης

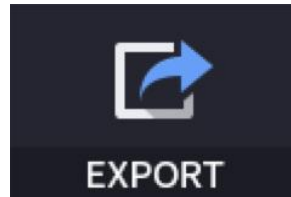
- Μεταφορά (εικόνα 31): κατά την οποία τα δεδομένα και οι εξετάσεις των ασθενών μεταφέρονται σε κοινή βάση δεδομένων συγχρονισμένων με το σύστημα απεικόνισης. Ισχύει κυρίως για τα πολυιατρεία ή σε οφθαλμολογικά ιατρεία όπου υπάρχουν πολλά συστήματα OCT και άλλα ιατρικά μηχανήματα. Σε ιδιώτες ιατρούς ο υπολογιστής (φορητός ή σταθερός) μπορεί να αποθηκεύσει το ιστορικό των ασθενών. Στο συγκεκριμένο σύστημα απεικόνισης απαιτείται η σύνδεση ενσύρματα με καλώδιο usb καθώς και απαραίτητο λογισμικό για την επικοινωνία τους.



Εικόνα 31:Επιλογή Μεταφοράς δεδομένων

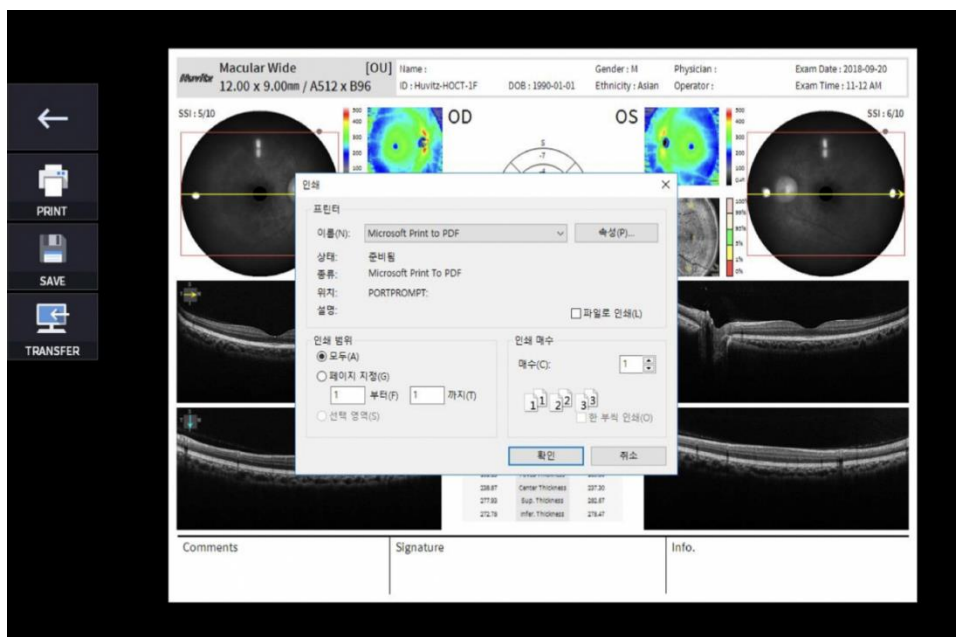
- Εξαγωγή (εικόνα 32): η επιλογή αυτή αφορά κυρίως για εξωτερικές μονάδες αποθήκευσης (εξωτερικοί σκληροί δίσκοι, usb). Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει εξωτερική μονάδα η οποία συνδέεται εξωτερικά και αναγνωρίζεται από το σύστημα

οπτικής συνοχής. Έπειτα, τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν και να γίνει απεικόνιση ξανά σε άλλη συσκευή χωρίς να απαιτείται η ενεργοποίηση του συστήματος.



Εικόνα 32:Επιλογή εξαγωγής δεδομένων

Τις παραπάνω επιλογές τις έχει συγκεντρωμένες όλες μαζί σε ένα ενιαίο κατακόρυφο πλαίσιο, το οποίο βρίσκεται αριστερά της οθόνης επεξεργασίας των εικόνων που έχουν ληφθεί(εικόνα 33). Μόλις επιλέξει τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων, ο χειριστής μπορεί να αποφασίσει τον τρόπο και το χρώμα εκτύπωσης των σελίδων, τη μορφή που θα έχει το αρχείο αποθήκευσης (συνήθως .pdf) την ταυτόχρονη μεταφορά και εκτύπωση των αποτελεσμάτων, αναλόγως την επιλογή που θα έχει κάνει ο ίδιος προηγουμένως.



Εικόνα 33:απεικόνιση των επιλογών που διαθέτει ο χρήστης

## 2.6. Μέτρηση - Υπολογισμός αποκλίσεων

Σε αυτό το σκέλος της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο ένα τέτοιο σύστημα όπως το HOCT-1/1F της Optrol μπορεί να έχει ένα τυπικό σφάλμα μετρήσεων και πόσο ακριβή αποτελέσματα μπορεί να προσδιορίσει. Φυσικά, σε πραγματικό κλινικό περιβάλλον, όταν το μηχάνημα αποκλίνει των

μετρήσεων θα πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένες διαδικασίες που θα αναλυθούν παρακάτω. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έγιναν με  $SSI > 8$  (SSI: Scan Signal Index ή αλλιώς ένας δείκτης ποιότητας εικόνας με κλίμακα 1 έως 10 με 10 την μέγιστη δυνατή απεικόνιση) το οποίο θα προσδώσει και καλύτερα και μετρήσιμα αποτελέσματα, αλλά θα υποδείξουν και κατά πόσο επηρεάζει αυτός ο δείκτης τη μέτρηση.

Ο πρώτος πίνακας (πίνακας 1) που εμφανίζεται στη συνέχεια αφορά την μέτρηση της οπτικής θηλής, μια μέτρηση που εκτελεί ο οφθαλμίατρος και μπορεί να προδιαθέτει ακόμα και την ύπαρξη παθολογιών όπως το γλαύκωμα σε περίπτωση που οι μετρήσεις δεν είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων. Έγιναν 10 διαδοχικές μετρήσεις του ίδιου ασθενούς και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Οι συνήθεις τιμές για την μέτρηση του εμβαδού και του όγκου της οπτικής θηλής σημειώνονται δίπλα από κάθε στήλη.

Πίνακας 1: Πίνακας πραγματικών μετρήσεων εμβαδού και όγκου οπτικής θηλής του δεξιού οφθαλμού

A/A	Rim(mm <sup>2</sup> ) Norm.(0.99-1.98)	Rim(mm <sup>3</sup> ) Norm.(0.14-0.54)	SSI
1	1,83	0,19	9
2	1,67	0,18	10
3	1,88	0,18	8
4	1,76	0,19	10
5	1,78	0,19	10
6	1,84	0,19	8
7	1,88	0,20	10
8	1,78	0,19	10
9	1,91	0,20	9
10	1,72	0,21	8

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στο δεξί οφθαλμό προκειμένου τα αποτελέσματα να αφορούν ένα συγκεκριμένο μάτι. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της μεταβολής ή της διασποράς ενός συνόλου τιμών δεδομένων. Έτσι για το Rim (mm<sup>3</sup>) ισχύει τυπική απόκλιση ίση με  $\sigma_1 = 1.581$  ενώ για Rim(mm<sup>2</sup>)  $\sigma_2 = 0.076$ . Παρατηρείται ότι στην περίπτωση του όγκου έχουμε μεγαλύτερο τυπικό σφάλμα, το οποίο είναι λογικό καθώς μιλάμε για τρεις διαστάσεις και σαφώς μεγαλύτερα ποσοστά σφαλμάτων από την πραγματική τιμή. Άλλη μια παρατήρηση αφορά τον δείκτη SSI, ο οποίος όσο πιο χαμηλός είναι, τόσο πιο αλλοιωμένη είναι και η εικόνα που λαμβάνεται δίνοντας υπολογιστικά λάθος αποτέλεσμα.

Η επόμενη μέτρηση που διεξάχθηκε είναι η μέτρηση πρόσθιου ημιμορίου του δεξιού οφθαλμού του ίδιου ασθενή. Αυτή η μέτρηση αφορά και τη γωνία πρόσθιου θαλάμου αλλά και το πάχος του κερατοειδούς το οποίο είναι και αυτό που εστιάστηκε περισσότερο στην μελέτη αυτή. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα αποτελέσματα του πάχους του κερατοειδούς απεικονίζονται τόσο με παχυμετρικούς χάρτες όσο και με πίνακες μέσω των οποίων και ελάχιστων-μέγιστων τιμών. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν 10 εξετάσεις από τις οποίες προέκυψαν 10 διαγνώσεις οι οποίες

αφορούν τόσο το κεντρικό τμήμα του κερατοειδούς όσο και το μέσο πάχος των περιοχών του κερατοειδούς. Παράλληλα σημειώνεται και το αντίστοιχο SSI προκειμένου να τονιστεί πόσο μπορεί να επηρεάσει αυτό την ακεραιότητα των μετρήσεων.

Πίνακας 2: Πίνακας πραγματικών μετρήσεων παχυμετρικών χαρτών του δεξιού οφθαλμού

A/A	Center thickness(μm)	Average thickness (μm)	SSI
1	530	570	9
2	522	561	8
3	533	564	9
4	539	559	10
5	544	568	10
6	531	552	9
7	528	565	8
8	533	559	8
9	529	553	10
10	545	570	9

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον πίνακα 2 αφορούν αρχικά τη μέση τιμή μετρήσεων η οποία για το κέντρο του κερατοειδή είναι :

$\mu_1 = (530+522+533+539+544+531+528+533+529+545)/10 = 533,4 \mu\text{m}$  ενώ αντίστοιχα για το μέσο πάχος κερατοειδούς θα είναι  $\mu_2 = 562,1 \mu\text{m}$ . Οι τιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν με δεξί οφθαλμό το οποίο είχε μυωπία και αστιγματισμό και ηλικία ασθενούς τα 22 έτη. Συνεπώς προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι τιμές στο κέντρο του κερατοειδούς είναι αποδεκτές καθώς σε φυσιολογικό υγί οφθαλμό και σε αντίστοιχη ηλικία θα έπρεπε να υπάρχουν μετρήσεις στο κέντρο του οφθαλμού κάτω από την τιμή των 525  $\mu\text{m}$ ,
- Επιβεβαιώνονται τα αρχικά στοιχεία για τον ασθενή καθώς υπάρχει αυξημένη η τιμή του πάχους του κερατοειδούς σε σχέση με κάποιον υγί ενήλικα που θα πρέπει να κυμαίνεται από 530  $\mu\text{m}$  έως και 560  $\mu\text{m}$  το πολύ.

## 2.7. Συντήρηση και βαθμονόμηση

Όπως κάθε σύστημα του κλάδου της υγείας, της μηχανικής, της ρομποτικής και άλλων εφαρμογών έτσι και το συγκεκριμένο σύστημα απαιτεί κάποιου είδους συντήρηση σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προκειμένου να αποφευχθεί κάποια περαιτέρω βλάβη και να αποδώσει τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται η συντήρηση

του μηχανήματος είναι οι ενέργειες που προτείνεται να κάνει ο ιατρός (και συνήθως είναι απαλότερες και πιο συχνές) και αυτές που πραγματοποιεί το εξειδικευμένο τεχνικό τμήμα της εταιρείας που έχει ορίσει ο κατασκευαστής ή ο νομικά αρμόδιος από τον κατασκευαστή προμηθευτής που έχει αναλάβει και την συντήρηση του μηχανήματος.

Στις ενέργειες που οφείλει να πραγματοποιεί ο οφθαλμίατρος περιλαμβάνονται ο τακτικός και σχολαστικός καθαρισμός εξωτερικά του μηχανήματος. Σε αυτό το σημείο να ξεκαθαριστεί ότι αυτό δεν σημαίνει ότι ο ιατρός χρησιμοποιεί οποιοδήποτε χημικό σκεύασμα (όπως χλωρίνη ή κάποιου είδους απολυμαντικό) που μπορεί να αλλοιώσει το χρώμα του μηχανήματος, να δημιουργήσει κηλίδες ή ακόμα και να καταστρέψει την οθόνη αφής του μηχανήματος. Προκειμένου να γίνει σωστός καθαρισμός ο ιατρός έχει τη δυνατότητα να καθαρίσει τα πλαστικά μέρη του μηχανήματος OCT με πανί μικροϊνών εμποτισμένο ελάχιστα με νερό ή με ήπιο αντιστατικό διαλυμένο σε νερό σε περίπτωση που υπάρχουν έντονοι λεκέδες και χωρίς να ασκεί τριβή σε ένα σημείο για πολύ ώρα. Για τον καθαρισμό της οθόνης υπάρχουν ειδικά πανιά μικροϊνών και ειδικά υγρά καθαρισμού τέτοιων οθονών που μπορούν να καθαρίσουν πλήρως την οθόνη. Το μηχάνημα θα πρέπει την ώρα του καθαρισμού να βρίσκεται εκτός λειτουργίας και εκτός πρίζας. Στις εργασίες συντήρησης που μπορεί να κάνει ο ιατρός προστίθεται και ο καθαρισμός των καλωδίων και φυσικά του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με το μηχάνημα OCT, το οποίο μπορεί να το συντηρήσει ο αντίστοιχος προμηθευτής. Σε καμία περίπτωση ο ιατρός δεν επιτρέπεται να παρέμβει με οποιοδήποτε εργαλείο λογισμικά ή μηχανικά στο OCT καθώς ακυρώνεται οποιαδήποτε εγγύηση κατέχει το μηχάνημα για το υπόλοιπο της εγγύησης και η εταιρεία προμήθειας δεν φέρει καμία ευθύνη για οποιαδήποτε δυσλειτουργία φέρει το μηχάνημα μετά την παρέμβαση του ίδιου. Όπως είναι κατανοητό αυτοί οι όροι περιλαμβάνονται στο συμφωνητικό που συνυπογράφεται από τον ιατρό ή το ιατρικό κέντρο και την εταιρεία με την παράδοση του μηχανήματος. Ένα τέτοιο συμφωνητικό έχει υπογράψει όπως είναι λογικό και το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής με τον προμηθευτή του H-OCT /1F.

Πέρα από τις ενέργειες του ιατρού, ο εκάστοτε προμηθευτής οφείλει εντός ορισμένων χρονικών πλαισίων να πραγματοποιήσει συντήρηση του μηχανήματος. Έπειτα από επικοινωνία με τον ιατρό, το εξειδικευμένο συνεργείο έρχεται στο χώρο του ιατρείου και πραγματοποιεί ορισμένες εργασίες συντήρησης με κατάλληλο εξοπλισμό που διαθέτει. Αρχικά ανοίγει περιμετρικά το εξωτερικό περίβλημα και πραγματοποιεί απόσυρση της σκόνης που έχει συσσωρευτεί εντός του μηχανήματος. Με ιδιαίτερη προσοχή στα ευαίσθητα μέρη του συστήματος πραγματοποιεί μετρήσεις τάσης και έντασης της φωτεινής δέσμης προκειμένου να εξακριβώσει αν είναι εντός ορίων ή θα πρέπει να προχωρήσει σε διαδικασίες βαθμονόμησης. Η διαδικασία της βαθμονόμησης αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες οι οποίες αφορούν την εγκυρότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων του μηχανήματος. Η βαθμονόμηση πρέπει να πραγματοποιείται σε προγραμματισμένο διάστημα μέσα στην πάροδο λειτουργίας και ζωής του μηχανήματος (περίπου μια φορά το χρόνο, ίσως και συχνότερα) από εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο πραγματοποιεί μετρήσεις με probes τα οποία έχουν γνωστές τιμές μέτρησης.

Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιείται το 'ιδανικό μάτι' ή αλλιώς "model eye" το οποίο προσαρμόζεται στη σαγονιέρα και στη συνέχεια, αφού πρώτα πραγματοποιηθεί η κατάλληλη εστίαση, μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις εστίασης, φωτεινότητας LED,

συμμετρικότητας και οτιδήποτε άλλο θα υποδείξει ότι το σύστημα προδίδει αποκλίνουσες μετρήσεις ή υποδεικνύει ότι κάποιο μέλος του συστήματος έχει παρεκκλίνει της σωστής λειτουργίας του. Ο κατασκευαστικός οίκος Huvitz προτείνει η βαθμονόμηση του συγκεκριμένου συστήματος να πραγματοποιείται μια φορά το χρόνο.

## 2.8. Κίνδυνοι χρήσης - Συνήθεις βλάβες

Όπως είναι λογικό, τέτοιου είδους συστήματα έχουν ορισμένες απαιτήσεις προκειμένου να δίνουν τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα αλλά εγκυμονούν και ορισμένους κινδύνους κατά τη χρήση. Η παροχή του ρεύματος παίζει βασικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία του μηχανήματος. Το καλώδιο ρεύματος δεν πρέπει να βγαίνει ποτέ από την πρίζα όσο το μηχάνημα είναι ακόμα σε λειτουργία ή είναι σε διαδικασία αποσύνδεσης. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το σύστημα αυτό δεν πρέπει να υποβάλλεται σε εναλλαγές του ρεύματος και βίαιη αποσύνδεση από το ρεύμα. Γι' αυτό τον λόγο, κατά την εγκατάσταση, το συνεργείο παροτρύνει τον κάθε πελάτη στην εγκατάσταση και ενός UPS (Uninterruptible Power Supply) ή αλλιώς μια συσκευή τροφοδοσίας ρεύματος που συνεχίζει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Επίσης, ο χώρος ο οποίος περιέχει εγκοπές στο πλαστικό μέρος του μηχανήματος, τόσο στο πάνω όσο και στο πλάγιο μέρος του δεν πρέπει να καλύπτεται κατά τη χρήση καθώς από εκείνα τα σημεία το σύστημα αερίζεται. Σε περίπτωση παρεμπόδισης αυτής της εξόδου υπάρχει κίνδυνος για απότομη άνοδο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του μηχανήματος, ακόμα και κίνδυνος πυρκαγιάς. Αυτό σημειώνεται και για την περίπτωση που το μηχάνημα θα καλυφθεί από την ειδική κουκούλα προστασίας όπου έχει γίνει κάθε έλεγχος ότι το μηχάνημα δεν λειτουργεί.

Ο χειριστής του συστήματος μπορεί να χρειαστεί να αντιμετωπίσει ορισμένα λειτουργικά προβλήματα κατά την χρήση του συστήματος τα οποία ποικίλλουν και αφορούν τρόπους αντιμετώπισης χωρίς να χρειαστεί κλήση του τεχνικού τμήματος που θα ζημιώσει οικονομικά τον επαγγελματία και χρονικά το τεχνικό τμήμα της εταιρείας. Τέτοιου είδους προβλήματα με τους αντίστοιχους τρόπους επίλυσης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Σε περίπτωση που το σύστημα δεν εκκινεί, ο χειριστής πρέπει να ελέγξει τη σύνδεση του καλωδίου στην πρίζα και το βασικό διακόπτη λειτουργίας του συστήματος.
- Σε περίπτωση που έχουν ελεγχθεί αυτά τα δυο σημεία και δεν επιλύεται το πρόβλημα, το σύστημα υπάρχει περίπτωση να είναι σε κατάσταση εξοικονόμησης λειτουργίας (sleep mode).
- Σε περίπτωση που δεν λαμβάνεται η επιθυμητή εικόνα υπάρχει περίπτωση είτε ο ασθενής να μην κοιτάζει το στόχο που προβάλλεται από το σύστημα τη στιγμή της λήψης είτε να βρίσκεται εκτός πεδίου λήψης, οπότε ο χειριστής μπορεί να βοηθήσει τον ασθενή στη διαδικασία λήψης είτε να εισάγει ειδικούς φακούς αντιστάθμισης όρασης.
- Σε περίπτωση που η ποιότητα της εικόνας δεν είναι η επιθυμητή τότε αυτό μπορεί να οφείλεται στη καθαρότητα των φακών και αυτό επιλύεται με καθαρισμό των φακών εστίασης αλλά μπορεί να οφείλεται και σε άνοιγμα - κλείσιμο των βλεφάρων του

ασθενή κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας όπου απαιτείται από τον ασθενή να έχει τελείως ανοιχτά τα μάτια του κατά τη διάρκεια λήψης.

- Σε περίπτωση που η εικόνα είναι τελείως μαύρη (κλειστό παράθυρο) όπου υπάρχει πρόβλημα στην εστίαση είτε -το επιθυμητό σημείο λήψης έχει φύγει εντελώς από το πλαίσιο βολής είτε το φως δεν επαρκεί για την λήψη του οφθαλμού. Ο χειριστής πρέπει να μετακινήσει το πεδίο βολής έτσι ώστε να είναι εντός της οριοθετημένης περιοχής ή να αυξήσει την ένταση του φωτός αντίστοιχα.
- Σε περίπτωση θόλωσης του εσωτερικού πεδίου λήψης μπορεί να χρειαστεί να αφαιρεθούν οι πρόσθετοι φακοί εστίασης για να γίνει σωστότερη εστίαση στον οφθαλμό του ασθενούς.

Εάν ο χειριστής πραγματοποιήσει τις αντίστοιχες ενέργειες για να επιλύσει τα προβλήματα που θα του παρουσιαστούν και δεν δει κάποια βελτίωση στην απεικόνιση που επιθυμεί τότε είναι καλό να προβεί σε επικοινωνία με τον προμηθευτή ώστε να αναλύσει το πρόβλημα που του έχει παρουσιαστεί. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας ιατρός μπορεί να βρίσκεται πλέον στο ιατρείο του και το τεχνικό τμήμα στον χώρο της εταιρείας και μέσω προγραμμάτων screen mirroring να επιλύει προβλήματα που αφορούν το λογισμικό σύστημα. Αυτή η ενέργεια εξοικονομεί τόσο χρόνο από τον ιατρό αλλά και από την εταιρεία η οποία καλείται να αντιμετωπίσει πληθώρα βλαβών. Επίσης στην πλειονότητα των εταιρικών πολιτικών η συγκεκριμένη επίλυση είναι φθηνότερη οικονομικά σε σχέση με τη διαζώση επίσκεψη του τεχνικού τμήματος. Σε περιπτώσεις τεχνικών ζητημάτων που απαιτούν την παρουσία του τεχνικού τμήματος τέτοιες τεχνικές δεν μπορούν να εφαρμοστούν.

## 2.9. Σημερινά συστήματα OCT

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το σύστημα OCT αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον επαγγελματία και τον οφθαλμίατρο. Το σύστημα του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής έχει ορισμένες προδιαγραφές οι οποίες το καθιστούν ανταγωνιστικό στη συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογικά ιατρική κοινότητα. Θα παρουσιαστεί αναλυτικός πίνακας σύγκρισης του κατασκευαστικού οίκου της Huvitz με αντίστοιχης κατηγορίας όπως της Optopol και της Zeiss. Τα χαρακτηριστικά που θα παρουσιαστούν αφορούν την ταχύτητα σάρωσης, την κάμερα, την πηγή φωτός και το φως από το φωτισμό βυθού. Όσον αναφορά τα προϊόντα των άλλων εταιρειών που θα συγκριθούν επιλέχθηκαν τα μοντέλα Revo-Fc της Optopol και το CIRRUS 6000 της Zeiss. Από τον πίνακα 3 προκύπτει το συμπέρασμα ότι το σύστημα που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής είναι αρκετά αξιόλογο μπροστά σε παρόμοια μοντέλα άλλων εταιρειών καθώς μπορεί να διεισδύσει αρκετά στον βιολογικό ιστό κατά την διαδικασία της απεικόνισης ενώ ταυτόχρονα διαθέτει αρκετά μεγάλη ικανότητα σάρωσης, ανταγωνίσιμη με αυτή των άλλων εταιρειών. Όπως είναι κατανοητό, η βελτίωση των χαρακτηριστικών τέτοιων συστημάτων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τιμή αυτών των προϊόντων. Η πηγή φωτός και η οπτική πηγή απεικόνισης είναι σε πολύ κοντινές τιμές μεταξύ τους και αφορούν την τεχνική που θέλει να εφαρμόσει κάθε κατασκευαστικός οίκος στην παραγωγή του φωτός που θα προσπέσει στο μάτι.



Πίνακας 3: Πίνακας απεικόνισης τεχνικών χαρακτηριστικών συστημάτων OCT

	Huvtz (HOCT-1F) [35]	Revo-Fc (Optopol) [36]	CIRRUS 6000 (Zeiss) [37]
Ταχύτητα Σάρωσης (A-scan/sec)	68.000	100.000	80.000
Πηγή φωτός (nm)	840	840	850
Βάθος ακτινών A-scan (mm)	2,3	2,9	2,8
Οπτική πηγή απεικόνισης βυθού (nm)	760	750	780

## 2.10 Τύποι OCT

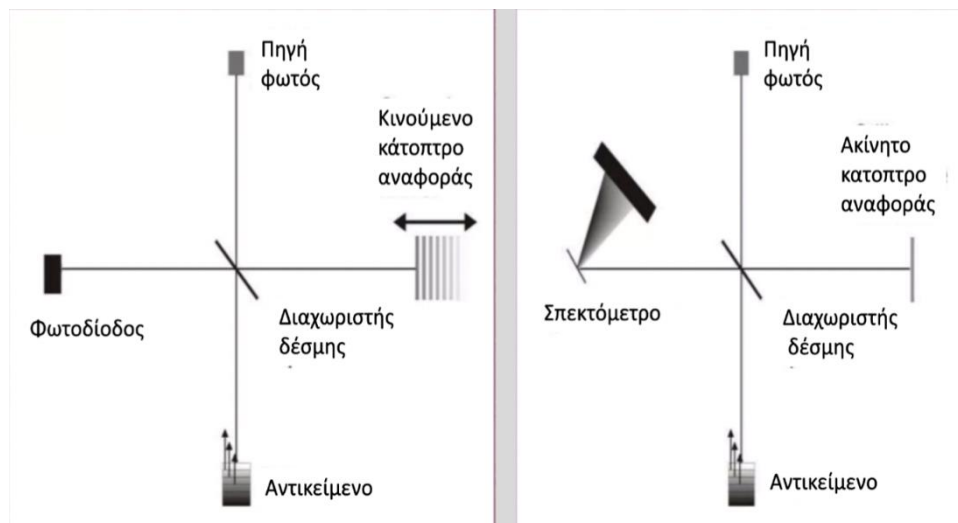
Τα συστήματα OCT δεν είχαν πάντα την ίδια τεχνική απεικόνισης. Από το 2002 που ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε οφθαλμολογικές εξετάσεις και χειρουργικές επεμβάσεις έχουν βελτιωθεί σημαντικά τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά. Η πρώτη τεχνική που ξεκίνησε να εφαρμόζεται είναι αυτή της time-domain OCT ή αλλιώς TD-OCT. Βάσει αυτής της θεωρίας χρησιμοποιείται ένας κινούμενος καθρέφτης αναφοράς ο οποίος μετρά τον χρόνο ανάκλασης του φωτός.

Όπως είναι γνωστό όσο το βάθος διείσδυσης αυξάνεται τόσο η ένταση του φωτός μειώνεται, όπως συμβαίνει και στις απεικονίσεις των υπερήχων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί μια οπτική πηγή χαμηλής συνοχής αναφορικά με την καθυστέρηση σάρωσης. Το φως από το ένα μέρος λοιπόν ανακλάται απ' το κάτοπτρο το οποίο κινείται ελεγχόμενα επιτρέποντας στο φως να διανύσει μια συγκεκριμένη διαδρομή με γνωστό μήκος και ουσιαστικά γίνεται καταμέτρηση της χρονικής καθυστέρησης. Το φως από τη δεύτερη διαδρομή κατευθύνεται στο δείγμα και ανακλάται από την εσωτερική του δομή παράγοντας συστήματα παρεμβολής μαζί με το φως αναφοράς παρέχοντας έτσι σήμα πληροφορίας για το βάθος και τις θέσεις διαφόρων δομών του οφθαλμού. Η συγκεκριμένη διαδικασία οποία απαιτεί αρκετό χρόνο να συλλεχθεί το σήμα πληροφορίας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τόσο στην μείωση της ποιότητας της εικόνας λόγω κίνησης του ασθενούς όσο και στον περιορισμό του όγκου των συλλεγόμενων δεδομένων

Η τεχνική που ήρθε να αντικαταστήσει την προαναφερθείσα είναι η FD-OCT ή αλλιώς Fourier Domain-OCT. Σε αυτή την περίπτωση, το ανακλώμενο φως από τον ιστό αντί να ανιχνευτεί από την ολοκληρωμένη κίνηση ενός κατόπτρου αναφοράς όλου του μήκους του το φως ανιχνεύεται από όλα τα αξονικά βάρη του ιστού. Το βασικό στοιχείο αποτελεί το στατικό κάτοπτρο το οποίο δίνει τη δυνατότητα για γρηγορότερη λήψη πληροφοριακού σήματος. Λόγω

του ονόματος της τεχνικής αυτής, πραγματοποιείται μετασχηματισμός Fourier στο σήμα, το οποίο μετατρέπεται σε A-scans. Έτσι επιτυγχάνονται ταχύτητες που μπορούν να φτάσουν έως και τα 40.000 A-scans/sec. Χάρη στη συμβολομετρία, ο ανιχνευτής που είναι ένα φασματοφωτόμετρο έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης συλλογής δεδομένων προσθέτοντας ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι της τεχνικής TD-OCT.

Οι διαφορές που έχουν τα δυο συστήματα αφορούν το SNR ή αλλιώς του λόγου σήματος προς θόρυβο. Έτσι, το TD-OCT διαθέτει υψηλό SNR λόγω της ανίχνευσης του φωτός που ανακλάται από ένα μόνο σημείο του δείγματος, όπως φαίται στην εικόνα 34.[38]



Εικόνα 34:block διαγραμμάτων των TD-OCT και FD-OCT αντίστοιχα [39]

Οι κατηγορίες Swept Source OCT (SS-OCT) και Spectral Domain OCT (SD-OCT) είναι δυο υποκατηγορίες που στηρίζονται στη τεχνική FD-OCT. Η τεχνολογία SS-OCT όπως θα αναφέρεται από εδώ και πέρα έχει να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην απεικόνιση του αμφιβληστροειδούς και του χοριοειδούς. Η αύξηση του μήκους κύματος στα 1050 nm σε συνδυασμό με την εγκατάσταση των φωτοανιχνευτών οδήγησαν σε βελτίωση της ανάλυσης σε κλίμακα ακόμα και του 1  $\mu\text{m}$ . Η ταχύτητα σάρωσης πλέον είναι διπλάσια από τις συσκευές SD-OCT αγγίζοντας τα 100.000 A-scans/sec δημιουργώντας μια εξαιρετική τρισδιάστατη απεικόνιση του υαλοειδούς, του αμφιβληστροειδούς και του χοριοειδούς κατά την εξέταση και κατά συνέπεια μείωση των ψευδενδείξεων που δημιουργούνται σε μια εικόνα.[40]

Η τεχνική Spectral Domain OCT (SD-OCT) αφορά απεικονίσεις που γίνονται στα 840 nm περίπου και απεικονίζουν περιοχές με ταχύτητες σαρώσεων τα 20.000-40.000 A-scans/sec. Ενώ τα περισσότερα TD-OCT είναι ακριβή στα 10-15  $\mu\text{m}$ , οι νεότερες συσκευές SD-OCT μπορεί να προσεγγίζουν ανάλυση ακόμα και τα 3  $\mu\text{m}$ . [41] Μέσω της μεθόδου αυτής επιτρέπεται η απεικόνιση με μεγαλύτερες ταχύτητες ολόκληρου του οφθαλμού ενώ λόγω του στατικού κατόπτρου αναφοράς ολόκληρο το βάθος της επιθυμητής περιοχής απεικονίζεται με

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΧΡΗΣΗΣ OCT

τη βοήθεια ενός μόνο φάσματος χωρίς να πρέπει να πραγματοποιηθεί μηχανική σάρωση της διαδρομής αναφοράς και δημιουργία φαινομένου παρεμβολής.

Το OCT (HOCT-1) που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής ανήκει στην κατηγορία Spectral Domain OCT το οποίο σε συνδυασμό με το έτος κατασκευής του (2021) υποδεικνύει ότι πρόκειται για ένα αρκετά αξιόπιστο εργαλείο για ερευνητικούς σκοπούς πάνω στην μελέτη του οφθαλμού και των εσωτερικών στρωμάτων του.

### 3 Συμπέρασμα

Η οπτική τομογραφία συνοχής (OCT) έχει αποτελέσει μια από τις πιο έγκυρες τεχνικές διάγνωσης σημαντικών οφθαλμολογικών παθήσεων. Πέρα από την πραγματοποίηση διαγνωστικών εξετάσεων, τα συστήματα αυτά συντελούν και στην παρακολούθηση της ανάρρωσης του οφθαλμού έπειτα από χειρουργικές επεμβάσεις. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη σύμπραξη των τομέων της μηχανικής, της οπτικής και της φυσικής δίνοντας έτσι τη δυνατότητα πλήρους καταγραφής ολόκληρης της μορφολογίας του οφθαλμού.

Το HOCT-1/1F του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής σε μετρήσεις επαναληψιμότητας που πραγματοποιήθηκαν αποδείχτηκε ότι μπορεί να προσδιορίσει με μεγάλη ακρίβεια σημαντικά στοιχεία που αφορούν μια οφθαλμολογική εξέταση. Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου συστήματος σε σύγκριση με αυτά άλλων κατασκευαστικών οίκων το καθιστούν ένα σημαντικό ανταγωνιστή στο χώρο των οφθαλμολογικών συστημάτων.

Ο χρήστης μπορεί εύκολα να εισάγει έναν νέο ασθενή ή μια νέα εξέταση εύκολα και γρήγορα και μέσα σε ελάχιστα λεπτά να διαθέτει μια ψηφιακή ή έντυπη αποτύπωση κάποιου από τα σημεία του οφθαλμού που τον ενδιαφέρει. Ένα τέτοιο σύστημα, πέρα από τις κλασικές οφθαλμολογικές εξετάσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει έχει τη δυνατότητα πλέον με την εξέλιξη της τεχνολογίας να αποτύπωση εικόνες αγγειώσεων του οφθαλμικού βολβού ή 3D απεικόνιση των στρωμάτων του αμφιβληστροειδούς.

## 4 Αναφορές

1. Colin E Willoughby MD, PhD, Diego Ponzin MD, Stefano Ferrari PhD, Aires Lobo MD, Klara Landau MD, PhD, Yadollah Omidi PhD, “Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function – a review”,(2010)
2. “Οραση(Εικόνα)<http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEYC127/7.%20Οραση.pdf>
3. Mr R.J.Smith, J.Gloster “The optic disc in glaucoma”(1976),σσ.777
4. Ibraheem Rehman1; Bitu Hazhirkarzar2; Bhupendra C. Patel,” Anatomy, Head and Neck, Eye”.(2023)
5. Sujiv Vurgese ,Songhomitra Panda-Jonas ,Jost B. Jonas ,“Scleral Thickness in Human Eyes”, (2012)
6. Αναστασια Μπαστεα , “Η επίδραση του excimer laser στο ενδοθηλιο του κερατοειδους σε ασθενεις για τη διορθωση Διαθλαστικων ανωμαλιων” (2010)<http://ikee.lib.auth.gr/record/122551/files/BASTE.A.pdf>
7. Παυλοπουλος Γεωργιος, “ΚΕΡΑΤΟΚΩΝΟΣ”, (Εικόνα)<https://ophthalmiatros-ranloroulos.gr/κερατόκωνος/>
8. Nicholas R. Galloway , Winfried M. K. Amoaku , Peter H. Galloway , Andrew C. Browning, “Common Eye Diseases and their Management”,(2006),σσ.10-12
9. George Asimellis, “GEOMETRIC OPTICS” (2017), σσ.1-1,1-4
10. Μαρία Κατσικίνη, “Γεωμετρική οπτική - οπτικά όργανα”, (Εικόνα)[http://users.auth.gr/~katsiki/kefalaio%2011C%20%20optikh\\_of8almos\\_mikroskopio.pdf](http://users.auth.gr/~katsiki/kefalaio%2011C%20%20optikh_of8almos_mikroskopio.pdf)
11. Kirandeep Kaur, Bharat Gurnani, Veena Kaanusamy, “Myopia: Current Concepts and Review of Literature”, (2020),σσ.280-283
12. M.Optom, “Precise Information of Hypermetropia, (2018)
13. Amir A. Azari, MD, Amir Arabi, MD, MPH” Conjunctivitis: A Systematic Review” (2020)
14. Eugene M Helveston, “Understanding, detecting, and managing strabismus”(2010)
15. Andres Wu, Renhao Lu Esak Lee “Tissue engineering in age-related macular degeneration: a mini-review” (2022)
16. Οφθαλμολογικο Αθηνων, “Γλαύκωμα”(Εικόνα)<https://eyecenter.gr/tmimata/glaucoma-matiou/>
17. Shahida, “Glaucoma: Etiology, Pathophysiology and Management”(2020),σσ .23695
18. “Optical Coherence Tomography for Three-Dimensional Imaging in the Biomedical Field: A Review”(2021)  
(Εικόνα)[https://www.researchgate.net/publication/354892609\\_Optical\\_Coherence\\_Tomography\\_for\\_Three-Dimensional\\_Imaging\\_in\\_the\\_Biomedical\\_Field\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/354892609_Optical_Coherence_Tomography_for_Three-Dimensional_Imaging_in_the_Biomedical_Field_A_Review)
19. June-Haak Ee, Jungil Lee, “Mechanical Snell's Law”(2020)
20. Ilze Oshina ,Janis Spigulis “Beer–Lambert law for optical tissue diagnostics: current state of the art and the main limitations” (2021)
21. (Εικόνα) <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/7/918>
22. (Εικόνα) <https://www.recendt.at/en/OCT.html>

23. (Εικόνα)[https://www.iagrp.com/trial\\_solutions/imaging-considerations-ophtalmology/](https://www.iagrp.com/trial_solutions/imaging-considerations-ophtalmology/)
24. Abdullah Al-Mujaini, Upender K. Wali, and Sitara Azeem, “Optical Coherence Tomography: Clinical Applications in Medical Practice”, (2013)
25. (Εικόνα)<https://optopol.com/products/sd-oct-fundus-camera-combo/revo-fc>
26. “RevoFC”, System Vision (Εικόνα)<https://www.systemvision.gr/revo-fc.html>
27. <https://www.ntouzgos-ofthalmiatros.gr/eksoplismos/optiki-tomografia-kai-aggeiografia-octa>
28. (Εικόνα)[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ioanniname.d.gr%2Ftopics%2Fcommon-disease%2Fdiabetes-mellitus%2Fdiabetic-retinopathy&psig=AOvVaw0BheFQU8nyGz2KRYLrhp9b&ust=1683363997901000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCOjs19vp3f4CFQAAAAAdAAA\\_AABB-](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ioanniname.d.gr%2Ftopics%2Fcommon-disease%2Fdiabetes-mellitus%2Fdiabetic-retinopathy&psig=AOvVaw0BheFQU8nyGz2KRYLrhp9b&ust=1683363997901000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCOjs19vp3f4CFQAAAAAdAAA_AABB-)
29. Αναστασιλακης Κωνσταντινος "Ηλικιακή Εκφύλιση της ωχράς κηλίδας", <https://ofthalmiastrosthess.gr/index.php/amfiblistroeidis/ekfulisi-tis-oxras-logo-ilikias>
30. Garcia-Layana, Alfredo, Ciuffo, Gianfranco, Javier Zarranz-Ventura, Alvarez-Vidal, Aurora, “Optical Coherence Tomography in Age-related Macular Degeneration” (2017)(Picture)<https://amdbook.org/content/optical-coherence-tomography-age-related-macular-degeneration>
31. Eugenia Custo Greig, Jay S. Duker, Nadia K. Waheed, “A practical guide to optical coherence tomography angiography interpretation”, (2020)
32. (Picture 20)<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4712934/>
33. Belson and Sons “OCULAR COHERENCE TOMOGRAPHY” (OCT) (Picture)<https://belsopticians.co.uk/ocular-coherence-tomography>
34. Huvitz [http://www.huvitz.com/sub\\_en/sub1-1.php](http://www.huvitz.com/sub_en/sub1-1.php)
35. Huvitz manual <https://usophthalmic.com/products/hoct-1f>
36. Optopol Technical Specifications <https://optopol.com/products/sd-oct-fundus-camera-combo/revo-fc/>
37. Zeiss (Technical Specifications) σ.11 [https://www.zeiss.com/content/dam/z/med/reference-master/product-portfolio/oct-systems/cirrus-6000/downloads/cirrus\\_6000\\_en\\_31\\_010\\_0047i.pdf](https://www.zeiss.com/content/dam/z/med/reference-master/product-portfolio/oct-systems/cirrus-6000/downloads/cirrus_6000_en_31_010_0047i.pdf)
38. Fabio Lavinsky Daniel Lavinsky “Novel perspectives on swept-source optical coherence tomography” (2016)
39. (Slide 16/22)<https://www.slideshare.net/JagdishDukre/principles-of-optical-coherence-tomography>
40. Fang Zheng, Xiaofeng Deng, Qi Zhang, Jingliang He, Panpan Ye, Shan Liu, Peng Li, Jian Zhou, Xiaoyun Fang, “Advances in swept-source optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography”, (2023) pp.68-70
41. Vinay A. Shah M.D. “Optical Coherence Tomography”, (2015)