

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Α' ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ

Γ.Ν.Α. «ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΕΝΝΗΜΑΤΑΣ»



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Τέστ γλαυκώματος - οπτικού πεδίου
με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας μέσω διαδικτύου.
Σύγκριση με το περίμετρο Humphrey»**

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Γ.ΤΣΑΠΑΚΗΣ

ΧΕΙΡΟΥΡΓΟΣ ΟΦΘΑΛΜΙΑΤΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2020



ΙΠΠΟΚΡΑΤΟΥΣ

ΟΡΚΟΣ

HIPPOCRATIS

IUSIVRANDVM.



O ΜΝΥΜΙ Ἀπόλλωνα ἰατρὸν καὶ Ἀσκληπιόν· καὶ Ὑγίαν καὶ Πανάκειαν, καὶ τοὺς παῖδας καὶ πάσας ἰσορῆας ποιούμενος, ὅτι τελέα ποιήσῃ καὶ δυνάμην καὶ κρίσιν ἐμὴν, ὅρκου τοῦδε καὶ ὑποχρῶμαι πῶδε. ἢ ἡσάδα μὲν τὸ διδάξαι με τὸ τέχνην ταύτην, ἢ ἴσα ἡμέτεροι ἐμοῖον, καὶ βίου χρηνάσασθαι καὶ χρῆσθαι χρῆσιν μετὰ δόσιν ποιήσασθαι. καὶ ἡγός εἰς ἐωυτέον, ἀδελφοί, ἵσιν ὅτι κρίνῃ ἀρεῖσι. καὶ διδάξῃ τὴν τέχνην ταύτην, ἢ χρῆσθαι μαθητὴν, ἢ αἰδομένο καὶ ὑποχρῶμαι. ὅρκου τοῦδε καὶ ἀκρόσους, καὶ τῆς λυσιπῆς ἀπάσης μαθητοῦς, μετὰ δόσιν ποιήσασθαι ὑποῖσι τε ἐμοῖσι, καὶ τοῖσι τῷ ἐμῷ διδάξαντος. καὶ μαθητῶσι συγχεράμενοις τε, καὶ ἁριστέοις νόμον ἰπτικῶν. ἄλλα δὲ σοφείῃ, διατήμασι τε χρῆσθαι, ἐπὶ ὠφελείῃ καμνόντων καὶ δυνάμην καὶ κρίσιν ἐμὴν. ὅτι δὴ λήσῃ δὲ καὶ ἀδικίῃ εἰρήξῃ. οὐ δώσω δὲ σοφὴ φάρμακον σοφὴν αἰτητῆς, θαλάσσιον. σοφὴ ὑψηλὸς καὶ ὑμνοῦ λίαν τοιῶνδε. ὁμοίως δὲ σοφὴ γυναικὶ πικρὸν φθόρον δώσω. ἀγνοῶ δὲ καὶ ὁμοίως ὡς φθνήσῃ βίον τοῖ ἐμὸν καὶ τέχνην τὴν ἐμὴν. οὐ τι μέω δὲ σοφὴ μὲν λιγυρῆς. ὡς γὰρ ἴσῃ δὲ ἐργάτησι αἰδράσι φησὶς τῆςδε. εἰς οἰκίαν δὲ ὁκῶσας αἰεσίω, ἐσθλὸς καὶ ἐπὶ ὠφελείῃ καμνόντων, ὡς τὸς ἑὸν πάσης ἀδικίης ἐκείνης καὶ φθορῆς τῆς τε ἄλλης καὶ ἀφροσύνης ἔργων, ὅτι τε γυναικείων σωματικῶν καὶ ἀδράων, ἐλδύρων τε καὶ δούλων. ἀλλ' αὖ ἐπεὶ ἡρεπείῃ ἢ ἰδῶ, ἢ ἀχρῶσω, ἢ καὶ αἰδομένο καὶ βίου αἰσχροπῶν, ἀμὴν χρὴ ποιεῖν ἐκκαλέσασθαι ἕξω, σιγήσῃ, ἀρρήτα ἡγούμενος (εἰ) τὰ βιωῦτα. ὅρκου μὲν οὖν μοι τοῦδε ὅτι τελέα ποιέοντι, καὶ μὴ ὑποχρῶνται, εἴη ἐπαύρασθαι, καὶ βίου καὶ τέχνης, δόξα μὲν ὅτι πᾶσιν αἰσχροποις, εἰς τοὺς αἰετῶν. ὡς γὰρ αἰονοῖσι δὲ καὶ ὑποχρῶνται, τὰ πάντα τῷ τε.



Ex Apollinem Medicum, & Aesculapium, Hygiamque & Panaceam iureiurando affirmo, & Deos Deasque omnes testor, me quantum viribus & iudicio valuerō, quod nunc iuro, & ex scripto spondeo planè observaturū. Præceptorem quidem qui me hanc artem edocuit, parentum loco habiturum, eique cum ad victum, tum etiam ad vsum necessaria, grato animo communicaturum & suppeditaturum. Eiusque posteros apud me eodem loco quo germanos fratres fore, eosque si hanc artem addiscere volent, absque mercede & syngrapha edociturum. Præceptionum quoque & auditionum, totiusque reliquæ disciplinæ, cum meos & eius qui me edocuit liberos, tum discipulos qui Medico iureiurando nomen fidemque dederint, participes facturum, aliorum præterea neminem. Victus quoque rationem, quantum facultate & iudicio consequi poterō, ægris vtilem me præscripturum, eosque ab omni noxia & iniuria vindicaturum. Neque cuiusquam precibus adductus, alicui medicamentum lethale propinabo, neque huius rei author ero. Neque simili ratione mulieri pessum subdititium ad fœtum corruptendum exhibebo: sed castam & ab omni scelere puram, tum vitam, tum ætatem meam perpetuò præstabo. Neque verò calculo laborantes fecabo, sed magistris eius artis peritis id muneris concedam. In quancunque autem domum ingressus fuero, ad agrotantium salutem ingrediar, omnem iniuriæ inferendæ & corruptelæ suspicionem procul fugiens, tum vel maxime rerum venerearum cupiditatem, erga mulieres iuxta ac viros, tum ingenuos, tum servos. Quæ verò inter curandum, aut etiam Medicinam minimè faciens, in communi hominum vita, vel videro, vel audiero, quæ minimè in vulgus efferri oporteat, ea arcana esse ratus, silebo. Hoc igitur iusiurandum si religiosè observaro, ac minimè irritum fecero, mihi liceat cum summa apud omnes exultatione perpetuò vitam facilem degere, & artis vberimum fructum percipere. Quod si illud violauero & peccauero, contraria mihi contingant.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: 21.03.2017

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ: 09.06.2017

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής ΜΠΡΟΥΖΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (επιβλέπων)

Καθηγητής ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Αν. Καθηγητής ΓΕΩΡΓΑΛΑΣ ΗΛΙΑΣ

Ενα μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή κ. Δ. Μπούζα για την ουσιαστική καθοδήγησή του και στα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Δ. Παπακωνσταντίνου και τον Αν. Καθηγητή κ. Η. Γεωργάλα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
2. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
2.1. Εισαγωγή	11
2.2. Το οπτικό πεδίο	11
2.2.1. Η εξέλιξη της περιμετρίας	11
2.2.2. Αυτοματοποιημένη περιμετρία	15
2.2.3. Αλγόριθμοι-Στρατηγική	18
2.2.3.1. Ο αλγόριθμος 4-2-1	20
2.2.3.2. Ο αλγόριθμος 4-2	21
2.2.3.3. Ο αλγόριθμος TOP (Tendency Oriented Perimetry)	22
2.2.3.4. Ο αλγόριθμος FASTPAC	22
2.2.3.5. Ο αλγόριθμος SITA	23
2.2.3.6. Οι υπερουδικοί αλγόριθμοι (Supra-Threshold)	23
3. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	25
3.1. Εισαγωγή	25
3.2. Υλικό Μέθοδοι	26
3.2.1. Γυαλιά εικονικής πραγματικότητας	26
3.2.2. Ρύθμιση Φωτεινότητας	29
3.2.3. Χαρακτηριστικά του λογισμικού	33
3.2.4. Διαδικασία εξέτασης	35
3.2.4.1. VR	35
3.2.4.2. Οθόνη	38
3.3. Αποτελέσματα	43
3.3.1. Αλγόριθμος FASTPAC	43
3.3.2. Υπερουδικός αλγόριθμος	52
3.3.2.1. Συνδυάζοντας αποτελέσματα σε σειρά ή παράλληλα	76
3.5. Συμπεράσματα	82

4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	84
5. ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ (SUMMARY)	87

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα σύγχρονα περίμετρα είναι πολύ εξελιγμένα όργανα για τη καταγραφή του οπτικού πεδίου. Παρουσιάζουν ωστόσο ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι αρκετά ογκώδη και σχετικά βαριά μηχανήματα. Δεν είναι φορητά και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κλινήρης ασθενείς ή κατ' οίκον. Είναι κατασκευασμένα για χρήση στο ιατρείο ή στο νοσοκομείο. Πολλές φορές ηλικιωμένοι, ή άρρωστοι άνθρωποι, ή ασθενείς με προβλήματα στη μέση ή στον αυχένα, κουράζονται κατά την εξέταση, και δυσκολεύονται να παραμείνουν ακίνητοι, για αρκετή ώρα, με αποτέλεσμα υψηλή μεταβλητότητα μεταξύ των εξετάσεων και ως συνέπεια χαμηλή αξιοπιστία.

Αντίθετα τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, είναι πολύ ελαφρά και χωρίς αμφιβολία έχουν μερικά πλεονεκτήματα. Είναι φορητά, άνετα, οι ασθενείς δεν χρειάζεται να παραμείνουν ακίνητοι κατά τη διάρκεια της εξέτασης και δεν χρειάζεται κάλυμμα για τον οφθαλμό.

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η δυνατότητα καταγραφής του οπτικού πεδίου, με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας μέσω τηλεϊατρικής και συγκρίνονται τα αποτελέσματα με το περίμετρο Humphrey.

2. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Εισαγωγή

Το γλαύκωμα είναι ένας όρος που περιλαμβάνει ένα σύνολο οφθαλμολογικών διαταραχών, που καταλήγουν σε μη αναστρέψιμη απώλεια όρασης. Η επίπτωσή του αυξάνεται με την ηλικία και είναι από τις κυριότερες αιτίες τύφλωσης. Σύμφωνα με τη στατιστική, μόνο περίπου οι μισοί από τους πάσχοντες, γνωρίζουν το πρόβλημά τους.^{1,2} Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η πρώιμη διάγνωση πριν η βλάβη στην όραση εξελιχθεί.

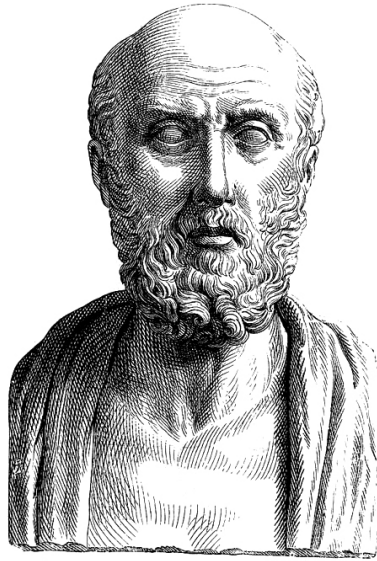
Η καταγραφή των οπτικών πεδίων είναι μία από τις χρησιμότερες εξετάσεις για τη διάγνωση και τη παρακολούθηση του γλαυκώματος αλλά και πολλών άλλων οφθαλμολογικών και νευρολογικών παθήσεων. Η αύξηση της συχνότητας εξέτασης του οπτικού πεδίου οδηγεί σε πρωιμότερη διάγνωση του γλαυκώματος.³

2.2. Το οπτικό πεδίο

Το οπτικό πεδίο του οφθαλμού περιλαμβάνει το χώρο που γίνεται ταυτόχρονα αντιληπτός όταν ο οφθαλμός προσηλώνει σε ένα σημείο. Το φυσιολογικό οπτικό πεδίο εκτείνεται 90-100° κροταφικά, 60-65° ρινικά, 60° άνω και 70-80° κάτω ενώ η τυφλή κηλίδα βρίσκεται 15,5° περίπου από το σημείο προσήλωσης και 1,5° κάτω από την οριζόντια γραμμή και περιλαμβάνει 6-8° απόλυτου σκοτώματος και 1° σχετικής αμβλυωπίας. Η εξέταση του οπτικού πεδίου γίνεται με τη περιμετρία.

2.2.1. Η εξέλιξη της περιμετρίας

Η πρώτη αναφορά σε βλάβη του οπτικού πεδίου βρίσκεται σε μία περιγραφή του Ιπποκράτη από το τέλος του 5^{ου} αιώνα π.Χ. που πρώτος παρατήρησε και περιέγραψε την ημιανοψία.⁴⁻⁶ Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Ο Ιπποκράτης

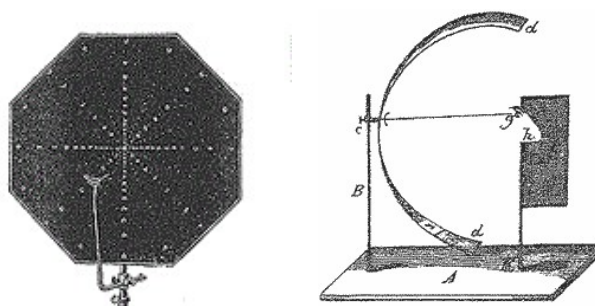
Ο Πτολεμαίος γύρω στο 150 π.Χ. προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει τη βλάβη του οπτικού πεδίου και παρατήρησε ότι το σχήμα του είναι περίπου κυκλικό. Ισως η πρώτη αναφορά για την καταγραφή του περιφερικού οπτικού πεδίου έγινε από το Γαληνό γύρω στο 175 μ.Χ.

Στις αρχές του 16^{ου} αιώνα ο Leonardo da Vinci αναγνώρισε ότι κροταφικά το οπτικό πεδίο φθάνει περίπου 90° από το σημείο προσήλωσης. Εγγραψε (Χειρόγραφο Δ. Φύλλο 8) «τα μάτια βλέπουν τα αντικείμενα που βρίσκονται σε κροταφικές περιοχές». Υπέθεσε ότι: «ο κερατοειδής και το υδατοειδές υγρό χρησιμεύουν για να κάμπτουν τις φωτεινές ακτίνες μέσα στο μάτι».⁷

Η πρώτη καταγραφή του οπτικού πεδίου δημοσιεύτηκε το 1602 από τον Ulmus.⁴⁻⁶ Λίγο αργότερα το 1668 ο Mariotte αναγνώρισε τη τυφλή κηλίδα και τη σχέση της με τον οπτικό δίσκο. Ο Thomas Young έκανε τη πρώτη ακριβή καταγραφή του οπτικού πεδίου το 1801, «όταν το μάτι προσηλώνει σε μία κατεύθυνση, μπορώ ταυτόχρονα να δώ ένα φωτεινό αντικείμενο τοποθετημένο σε μία σημαντική απόσταση αλλά σε διαφορετικές κατευθύνσεις η γωνία είναι πολύ διαφορετική. Προς τα πάνω εκτείνεται στις 50° προς τα μέσα στις 60°, προς τα κάτω στις 70° και προς τα έξω στις 90°».

Ο Purkinje το 1825 βελτίωσε την εργασία του Young και παρατήρησε ότι το κροταφικό όριο εκτείνεται στις 100° , το κάτω όριο στις 80° , το πάνω στις 60° και το κάτω στις 80° . Ο Boerhaave θεωρείται ότι περιέγραψε τα σκοτώματα του οπτικού πεδίου το 1708. Ο Joseph Georg Beer από τη Βιέννη το 1817 χρησιμοποίησε τους όρους «κεντρικό σκότωμα» και «παρακεντρικό σκότωμα». Το 1847 ο Desmarres στο Παρίσι περιέγραψε τη χαρακτηριστική απώλεια του οπτικού πεδίου σε αποκόλληση του αμφιβληστροειδούς.

Η περιμετρία ουσιαστικά ξεκινάει από το 1856 με το περίμετρο του Von Graefe. Εικόνα 1,2



Εικόνα 1.2 Περίμετρο Graefe.

Ο Graefe θεωρείται ότι καθιέρωσε τη περιμετρία και την εξέταση του οπτικού πεδίου στη κλινική οφθαλμολογία. Δημοσίευσε ένα άρθρο «Examination of the visual functions in amblyopic Affections» το οποίο παρουσίαζε παραδείγματα απώλειας οπτικού πεδίου που είναι χαρακτηριστικά για το γλαύκωμα, αλλά αναφερόταν σε αμβλυωπία γιατί εκείνη την εποχή η σχέση ανάμεσα στην αυξημένη ενδοφθάλμια πίεση τη κοίλωση του οπτικού δίσκου και την απώλεια του οπτικού πεδίου με το γλαύκωμα δεν ήταν πλήρως κατανοητή.⁸

Ο Bjerrum (1851-1920) χρησιμοποίησε περιμετρία επαπτομένης οθόνης και κατασκεύασε μία οθόνη 2m, ώστε οι λεπτομέρειες των κεντρικών 30° να μπορούν να χαρτογραφηθούν με ακρίβεια.

Η πλέον σημαντική συνεισφορά στη περιμετρία έγινε το 1945, όταν εμφανίζεται το περίμετρο του Goldmann. Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Περίμετρο Goldman

Ο Goldman κατασκεύασε ένα θολωτό περίμετρο που είχε φωτισμό στο υπόβαθρο και ένα κινούμενο σύστημα προβολής. Η συσκευή μπορούσε να χρησιμοποιήσει μία ποικιλία φωτεινών ερεθισμάτων διαφόρων μεγεθών, εντάσεων, και χρωματικών χαρακτηριστικών. Επίσης καθόρισε τη σχέση ανάμεσα στο μέγεθος, τη φωτεινότητα και περιέγραψε τα αποτελέσματα της έρευνάς του σε φυσιολογικούς και γλαυκωματικούς ασθενείς και σε άλλους νόσους που προσβάλλουν τα οπτικά πεδία.

Στα τέλη του 1960 και αρχές του 1970 έγιναν προσπάθειες να κατασκευαστεί ένα αυτοματοποιημένο περίμετρο από τους Drs. John R. Lynn, George W. Tate, και Franz Fankhauser.⁹⁻¹³

Η χρήση των αυτοματοποιημένων περιμέτρων ξεκινάει γύρω στο 1980 όταν το κόστος των μικροεπεξεργαστών άρχισε να μειώνεται.

Ωστόσο, αν και ο συνηθέστερος τρόπος καταγραφής του οπτικού πεδίου δεν έχει αλλάξει και αποτελείται από τη προβολή φωτεινών ερεθισμάτων σε διάφορες θέσεις πάνω σε ένα υπόβαθρο εντός του πεδίου της όρασης, εντούτοις έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις τόσο στη μέθοδο εξέτασης όσο και στους αλγορίθμους και στις στρατηγικές εξέτασης, στη στατιστική αξιολόγηση, στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στη πρόγνωση. Η περιμετρία συνεχίζει να εξελίσσεται με τη πρόοδο της τεχνολογίας για να αναπτυχθούν νεώτερες μέθοδοι (Flicker Perimetry, Frequency Doubling Perimetry, Motion Perimetry, High-Pass Resolution Perimetry, Pupil Perimetry, Rarebit Perimetry) και να βελτιωθεί η ακρίβεια, η αποτελεσματικότητα των κλινικών μεθόδων για την ανίχνευση, τη διαφορική διάγνωση και τη παρακολούθηση των ασθενών.

2.2.2. Αυτοματοποιημένη περιμετρία

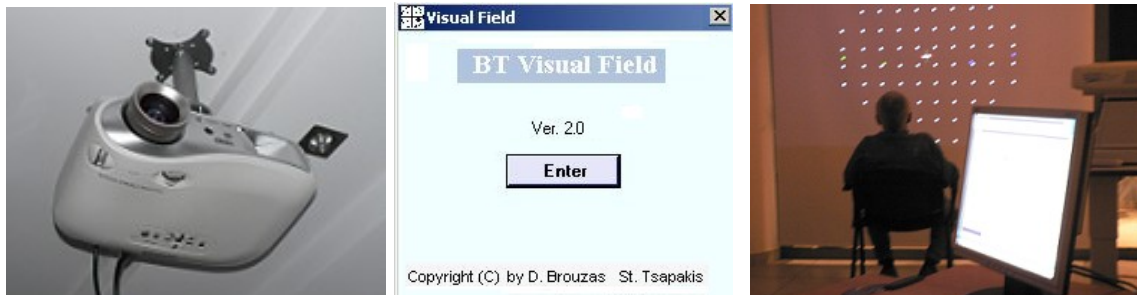
Σήμερα η εξέταση του οπτικού πεδίου γίνεται κατά κανόνα με τη βοήθεια του αυτοματοποιημένου περιμέτρου.

Το αυτοματοποιημένο περίμετρο αποτελείται από ένα θόλο προβολής, ένα μικροεπεξεργαστή, μία οθόνη για το γιατρό, και ένα μπουτόν για τον ασθενή. Εικόνα 4.



Εικόνα 4. Το περίμετρο Humphrey.

Τέστ οπτικού πεδίου με βιντεοπροβολέα. Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Τέστ οπτικού πεδίου με βιντεοπροβολέα.

Συνηθέστερα χρησιμοποιείται η στατική περιμετρία σε σχέση με τη κινητική περιμετρία. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης ο υπολογιστής προβάλλει φωτεινά ερεθίσματα στο θόλο προβολής και ο εξεταζόμενος πιέζει το μπουτόν όποτε βλέπει ένα φωτεινό ερέθισμα.

Τα φωτεινά ερεθίσματα προβάλλονται συνήθως σε ένα λευκό φόντο (white on white) αλλά υπάρχουν και παραλλαγές όπως μπλέ ερεθίσματα σε κίτρινο φόντο (blue on yellow).¹⁴⁻¹⁹ Η blue on yellow (B-Y) περιμετρία θεωρείται ότι μπορεί να ανιχνεύσει γλαυκωματικές βλάβες πρωιμότερα, ωστόσο παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα.²⁰⁻²³ Ο σκοπός της εξέτασης οπτικού πεδίου, είναι να καταγραφεί ο ουδός, το μικρότερο φωτεινό ερέθισμα που γίνεται αντιληπτό, στο 50% των περιπτώσεων, από τον ασθενή σε κάθε σημείο που ελέγχεται. Η εξέταση του οπτικού πεδίου είναι μία χρονοβόρα εξέταση και η κόπωση του ασθενούς μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα.²⁴⁻³¹ Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές – αλγόριθμοι – με στόχο τη μείωση της διάρκειας της εξέτασης.

Η εξέταση του οπτικού πεδίου χαρακτηρίζεται από: 1) τον αριθμό των σημείων που εξετάζονται, 2) τη κατανομή τους, 3) το χρώμα, το μέγεθος και τη διάρκεια του φωτεινού ερεθίσματος, 4) το χρώμα και το φωτισμό του φόντου και 5) τη στρατηγική που χρησιμοποιείται για την εύρεση του ουδού. Συνήθως εξετάζονται 54 σημεία (πρόγραμμα 24-2) ή 76 σημεία (πρόγραμμα 30-2). Υπάρχουν όμως και άλλα προγράμματα, όπως το νευρολογικό, μικροπεριμετρίας (10-2), το διόφθαλμο τέστ Esterman και προγράμματα ανάλογα με το κατασκευαστή.

Στα προγράμματα 10-2, 24-2 και 30-2 το πρώτο συνθετικό (το “10”, “24”, “30”) αναφέρεται στις κεντρικές μοίρες που εξετάζονται προς κάθε κατεύθυνση. Έτσι όταν χρησιμοποιείται το πρόγραμμα 30-2 εξετάζονται συνολικά 60° κεντρικές μοίρες οπτικού πεδίου. Παρομοίως το πρόγραμμα 24-2 εξετάζει συνολικά 48° κεντρικές μοίρες οπτικού πεδίου ενώ το 10-2 εξετάζει 20° κεντρικές μοίρες οπτικού πεδίου. Το δεύτερο συνθετικό “2” αναφέρεται στο ότι πρόκειται για τη δεύτερη κατανομή σημείων που αναπτύχθηκε. Η πρώτη κατανομή ήταν η 30-1, 24-1, κλπ. και διαφέρει στη θέση στην οποία προβάλλονται τα φωτεινά ερεθίσματα. Η πρώτη κατανομή είχε προβολή φωτεινών ερεθισμάτων πάνω στον άξονα Χ και Υ και κάθε 6° εν συνεχεία. Η δεύτερη κατανομή σημείων που αναπτύχθηκε διαφέρει από τη πρώτη γιατί τα σημεία είναι μετατοπισμένα κατά 3° από τους άξονες Χ και Υ και κάθε 6° εν συνεχεία.

Ετσι αν συνδυαστούν ένα οπτικό πεδίο από την πρώτη κατανομή σημείων με ένα οπτικό πεδίο από τη δεύτερη κατανομή τότε προκύπτει ένα οπτικό πεδίο με ανάλυση 3°. Στο HFA-1 μπορούσαν να συνδυαστούν τα αποτελέσματα από ένα οπτικό πεδίο 30-1 με ένα οπτικό πεδίο 30-2. Με τη πρώτη κατανομή μία βλάβη μπορούσε να παρουσιαστεί μεγαλύτερη από ότι ήταν πραγματικά και η καταγραφή να μην ήταν ξεκάθαρη. Με τη δεύτερη κατανομή, τα σημεία μετακινήθηκαν ελαφρώς από τη μέση γραμμή ώστε να μπορεί να γίνει διάκριση εάν ο ασθενής απαντά ή δεν απαντά στο ένα ημισφαίριο ή στο άλλο και πλεονεκτεί έναντι της πρώτης, γιατί έτσι μπορεί να γίνει διάκριση ανάμεσα στα ημισφαίρια. Για το λόγο αυτό στα νεώτερα HFA II-i και HFA3 δεν υπάρχει η επιλογή «1» και η επιλογή «2» έγινε το στάνταρτ.

Μετά το πέρας της εξέτασης το περίμετρο εκτυπώνει τα αποτελέσματα σε grayscale και αριθμητική τιμή καθώς και τους στατιστικούς δείκτες FL (fixation losses), FP (false positive), FN (false negative), TD (total deviation), PD (pattern deviation), MD (mean deviation), PSD (pattern standard deviation), SF (short fluctuation), CPSD (corrected pattern standard deviation), GHT (glaucoma hemifield test).

Στη κλίμακα του γκρί όσο πιο μαύρο είναι το χρώμα τόσο μικρότερη είναι η φωτεινή ευαισθησία στο αντίστοιχο σημείο. Η κλίμακα από 0 έως 40 dB, χωρίζεται σε οκτώ ομάδες εύρους 5 dB καθεμία. Το μαύρο χρώμα αντιστοιχεί σε απόλυτο σκότωμα 0 dB. Η μέγιστη φωτεινότητα ερεθίσματος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το κατασκευαστή. Στο Octopus είναι 1000 asb ενώ στο Humphrey είναι 10000 asb. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα ανάμεσα σε διαφορετικά μηχανήματα, είναι παρόμοια αλλά όχι ακριβώς ίδια. Σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο ανάμεσα σε τέστ οπτικού πεδίου που έχουν γίνει στις ίδιες συνθήκες με το ίδιο μηχανήμα. Η κλίμακα του γκρί χρησιμεύει για την αδρή εκτίμηση του οπτικού πεδίου. Η αριθμητική κλίμακα παρουσιάζει τον ουδό ευαισθησίας, σε κάθε σημείο που εξετάσθηκε, σε dB. Αντιστοιχεί στη φωτεινή ένταση ερεθίσματος, στην οποία των 50% των απαντήσεων είναι θετικές. Οι απώλειες εστίασης είναι η αναλογία θετικών απαντήσεων, στο σύνολο των φωτεινών ερεθισμάτων που προβλήθηκαν στη τυφλή κηλίδα, τα οποία κανονικά δεν γίνονται αντιληπτά. Τα ψευδώς θετικά είναι η αναλογία των απαντήσεων, όταν δεν υπήρχε φωτεινό ερέθισμα. Τα ψευδώς αρνητικά είναι η αναλογία των περιπτώσεων στις οποίες ο εξεταζόμενος

δεν απάντησε, ενώ υπήρχε φωτεινό ερέθισμα το οποίο μπορούσε να δει, με βάση τον ουδό που είχε ήδη προσδιοριστεί. Ο δείκτης Total deviation εκφράζει την απόκλιση του κάθε σημείου από τη φυσιολογικά αναμενόμενη τιμή για την ηλικία και παρουσιάζεται τόσο σε αριθμητικές τιμές όσο και σε πιθανότητες, να ευρίσκεται η αντίστοιχη τιμή σε εκατοστιαία αναλογία φυσιολογικών οπτικών πεδίων. Ο δείκτης μέση απόκλιση (MD) είναι η μέση τιμή των τιμών της συνολικής απόκλισης. Ο δείκτης Pattern deviation υπολογίζεται σε κάθε σημείο από τα αντίστοιχα δεδομένα της συνολικής απόκλισης και τη μέση απόκλιση του οπτικού πεδίου. Ο δείκτης Pattern standard deviation εκφράζει την απόκλιση του κάθε σημείου από το αναμενόμενο για την ηλικία, λόγω της όρασης (hill of vision). Ο δείκτης της βραχείας διακύμανσης SF (short fluctuation) εκφράζει τη μεταβλητότητα ανάμεσα σε συγκεκριμένα σημεία στα οποία έγινε διπλός καθορισμός του ουδού. Ο δείκτης Διορθωμένης σταθερής απόκλιση δομής (Corrected Pattern Standard Deviation - CPSD) αφαιρεί το δείκτη SF από το δείκτη PSD και εκφράζει καλύτερα εντοπισμένες βλάβες του οπτικού πεδίου. Ο δείκτης των ημιπεδίων για γλαύκωμα (Glaucoma hemifield test) συγκρίνει πέντε περιοχών του άνω ημιπεδίου με τις αντίστοιχες περιοχές του κάτω ημιπεδίου.

2.2.3. Αλγόριθμοι-Στρατηγική

Οι πρώτοι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν χαρακτηρίζονταν από μεγάλη διάρκεια εξέτασης. Ο αλγόριθμος 4-2-1 χρειαζόταν ως 20-25 λεπτά ανά μάτι (στο περίμετρο Octurus) και ο έλεγχος των δύο οφθαλμών απαιτούσε ως 45 λεπτά. Ο αλγόριθμος 4-2 χρειαζόταν 15-20 λεπτά ανά μάτι. Αν και θεωρητικά οι αλγόριθμοι αυτοί είχαν μεγάλη ακρίβεια (1-2 dB) τα αποτελέσματα επηρεάζονταν από την κούραση του ασθενούς από τη μεγάλη διάρκεια εξέτασης. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι με μικρότερη διάρκεια εξέτασης όπως ο TOP (Tendency oriented perimetry), FASTPAC, SITA, SITA-FAST, υπερουδικοί (supra-threshold), κλπ. Οι αλγόριθμοι διακρίνονται σε: 1) ποσοτικούς και 2) ποιοτικούς. Οι πρώτοι έχουν σκοπό να ποσοτικοποιήσουν, να μετρήσουν δηλαδή το μέγεθος μίας βλάβης ενώ οι δεύτεροι να διακρίνουν εάν ένα συγκεκριμένης έντασης φωτεινό ερέθισμα γίνεται αντιληπτό ή όχι. Για τη διάγνωση και τη παρακολούθηση του γλαυκώματος χρειάζεται ένας ακριβής ποσοτικός

αλγόριθμος. Σε άλλες περιπτώσεις όπως σε ένα screening test οπτικού πεδίου ή σε ένα τέστ οπτικού πεδίου για οδήγηση ένας ποιοτικός αλγόριθμος είναι κατάλληλος και χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να ολοκληρωθεί. Πίνακας 1.

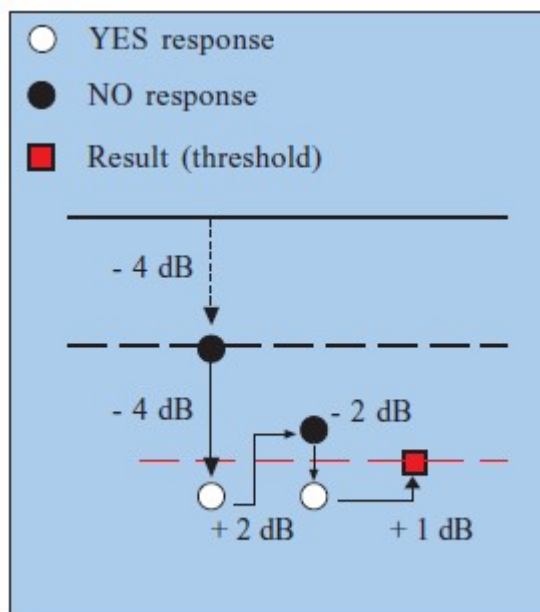
Χαρακτηριστικά αλγορίθμων καταγραφής οπτικού πεδίου		
	Ποσοτικοί αλγόριθμοι (Thresholding)	Ποιοτικοί αλγόριθμοι (Screening)
Πλεονεκτήματα	Ποσοτικοποίηση του ουδού της ευαισθησίας σε φωτεινά ερεθίσματα και της βλάβης. Υψηλή ακρίβεια.	Μικρότερος χρόνος εξέτασης από ότι οι ποσοτικοί αλγόριθμοι.
Τι ανιχνεύει καλύτερα	Μικρές μεταβολές του ουδού. Οφθαλμολογικές και νευρολογικές παθήσεις.	Απόλυτα σκοτώματα, φυσιολογική σε σχέση με μη φυσιολογική όραση, Συμμόρφωση με νομικές απαιτήσεις οπτικού πεδίου (δίπλωμα οδήγησης).
Συνήθης χρήση	Κάθε πάθηση (γλαύκωμα, ηλικιακή εκφύλιση ωχράς, κλπ)	Screening test, έλεγχος οπτικού πεδίου (οδήγηση, νομική τύφλωση), καταστάσεις με απόλυτα σκοτώματα (διεύρυνση τυφλής κηλίδας, νευρο-οφθαλμολογικές και αμφιβληστροειδικές παθήσεις)

Πίνακας 1. Σύγκριση ανάμεσα σε ποιοτικούς και ποσοτικούς αλγορίθμους

Τα τέστ οπτικού πεδίου περιλαμβάνουν είτε ουδικούς είτε υπερουδικούς αλγορίθμους. Στα υπερουδικά τέστ χρησιμοποιείται σε κάθε σημείο μία προκαθορισμένη ένταση φωτεινού ερεθίσματος. Έτσι η ακριβής τιμή της ευαισθησίας σε κάθε σημείο που εξετάζεται δεν είναι γνωστή. Σε ουδικά τέστ γίνεται προσπάθεια να βρεθεί ο ουδός, η δηλαδή ένταση του μικρότερου φωτεινού ερεθίσματος που γίνεται αντιληπτή σε κάθε σημείο στο 50% των περιπτώσεων.

2.2.3.1. Ο αλγόριθμος 4-2-1

Κατά τη στρατηγική αυτή παρουσιάζεται ένα υπερουδικό ερέθισμα σε κάθε σημείο που εξετάζεται με βάση δεδομένα από προηγούμενα σημεία.³² Έπειτα η ένταση μειώνεται με βήματα των 4dB έως ότου το φωτεινό ερέθισμα δε γίνεται αντιληπτό. Μετά αυξάνεται με βήματα 2dB έως ότου το φωτεινό ερέθισμα να γίνει και πάλι αντιληπτό και έπειτα μειώνεται με βήματα 1dB έως ότου το φωτεινό ερέθισμα δεν είναι αντιληπτό. Εικόνα 6.



Πηγή: Octopus Manual

Εικόνα 6. Ο αλγόριθμος 4-2-1

Η τιμή του ουδού θεωρείται ίση με την ένταση του τελευταίου φωτεινού ερεθίσματος που ήταν αντιληπτή στο συγκεκριμένο σημείο. Είναι φανερό ότι η

στρατηγική αυτή χρειάζεται αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί γιατί απαιτούνται 3 διελεύσεις από τον ουδό. Στη στρατηγική αυτή ο ουδός ευρίσκεται με ακρίβεια 1dB.^{33,34} Η μεγάλη διάρκεια εξέτασης, μπορεί όμως να προκαλέσει κόπωση στον εξεταζόμενο και τελικά μείωση της αξιοπιστίας, παρά την μεγαλύτερη ακρίβεια αυτής της στρατηγικής. Λόγω της σχετικά μεγάλης διάρκειας του τέστ και την ύπαρξης άλλων στρατηγικών με μικρότερη διάρκεια, η στρατηγική αυτή δεν συνιστάται πλέον σαν στάνταρτ εξέταση. Ωστόσο, παραμένη διαθέσιμη και μπορεί να είναι χρήσιμη για ερευνητικούς σκοπούς ή να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση πρωιμότερων βλαβών σε νεότερους ασθενείς που έχουν τη φυσική αντοχή να κάνουν με αξιοπιστία τέστ που απαιτούν περισσότερο χρόνο. Ο χρόνος εξέτασης είναι δυνατόν να ελαττωθεί αν χρησιμοποιηθούν δεδομένα από προηγούμενες εξετάσεις.³⁵ Ο αλγόριθμος 4-2-1 όσο και ο αλγόριθμος 4-2 αποτελούν το στάνταρντ «αναφοράς» με το οποίο συγκρίνονται όλοι οι υπόλοιποι αλγόριθμοι.³⁶ Αν και έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι για τη εξέταση του οπτικού νεύρου, η περιμετρία παραμένει από τις σημαντικότερες εξετάσεις για τη διάγνωση και τη παρακολούθηση του γλαυκώματος και εξελίσσεται με βελτιώσεις τόσο στο τεχνικό εξοπλισμό όσο και στους αλγορίθμους, τη στατιστική ανάλυση και τη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.³⁷⁻⁴²

2.2.3.2. Ο αλγόριθμος 4-2

Ο αλγόριθμος 4-2 είναι παρόμοιος με τον 4-2-1 με τη διαφορά ότι κάνει 2 διελεύσεις από τον ουδό και όχι 3 διελεύσεις όπως ο 4-2-1. Προχωράει αρχικά με βήματα 4dB και έπειτα αντίθετα με βήματα 2dB. Ολοκληρώνεται σε λιγότερο χρόνο. Ο ουδός είναι η μέση τιμή της φωτεινής έντασης ανάμεσα στο τελευταίο ορατό ερέθισμα και στο τελευταίο μη ορατό ερέθισμα. Έχει μικρότερη ακρίβεια (2dB) και είναι κατάλληλος για ασθενείς με χαμηλή όραση όπου η μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη.⁴³ Τόσο στον αλγόριθμο 4-2-1 όσο και στον 4-2 η εξέταση ξεκινάει με το προσδιορισμό του ουδού για ένα «αρχικό» σημείο σε κάθε τεταρτημόριο, ξεκινώντας με βάση μία τιμή που βρίσκεται κοντά στη φυσιολογικά αναμενόμενη για την ηλικία, χρησιμοποιώντας την 4-2-1 στρατηγική. Ο προσδιορισθείς ουδός χρησιμοποιείται εν συνεχεία σαν τιμή εκκίνησης για γειτονικά σημεία. Εκτός από τα «αρχικά» σημεία η εξέταση σε κάθε άλλο σημείο ξεκινάει με βάση αποτελέσματα από τα γειτονικά σημεία ώστε να ελαττωθεί η διάρκεια του τέστ. Σε κάθε σημείο όμως που εξετάζεται εφαρμόζεται πλήρως η

διαδικασία εύρεσης του ουδού ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η αρχική τιμή καθορίστηκε με βάση γειτονικά σημεία. Συνήθως απαιτούνται 4-5 βήματα για να βρεθεί ο ουδός σε κάθε σημείο.

2.2.3.3. Ο αλγόριθμος TOP (Tendency Oriented Perimetry)

Ο αλγόριθμος TOP αναπτύχθηκε με σκοπό την ελάττωση της διάρκειας της εξέτασης και παρέχει καλύτερη επαναληψιμότητα, μικρότερο χρόνο εξέτασης και μικρότερη MD (Mean defect) διακύμανση.⁴⁴

Ο αλγόριθμος βασίζεται στο γεγονός ότι οι γειτονικές περιοχές του οπτικού πεδίου σχετίζονται ανατομικά λόγω της δομής του αμφιβληστροειδούς και του οπτικού νεύρου και ότι οι διάφορες παθολογικές καταστάσεις τείνουν να καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλες περιοχές του οπτικού πεδίου.⁴⁵⁻⁴⁹ Κατά το προσδιορισμό του ουδού λαμβάνονται υπόψιν οι απαντήσεις του ασθενούς σε γειτονικά σημεία χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή. Τα σημεία που πρόκειται να εξεταστούν χωρίζονται σε 4 υποσύνολα και κάθε σημείο εξετάζεται μία φορά.⁵⁰⁻⁵⁴ Το τεστ ξεκινάει με φωτεινά ερεθίσματα που έχουν ένταση στο 50% της φυσιολογικά αναμενόμενης για την ηλικία. Εάν ο ασθενής δει ένα φωτεινό ερέθισμα τότε οι αρχικές τιμές για τα γειτονικά σημεία αυξάνονται (πιό αμυδρά ερεθίσματα) ενώ αν ο ασθενής δεν δει ένα φωτεινό ερέθισμα οι αρχικές τιμές για τα γειτονικά σημεία ελαττώνονται (φωτεινότερα ερεθίσματα). Ο αλγόριθμος είναι κατάλληλος για μεγάλα σχετικά σκοτώματα όπως παρατηρούνται στο γλαύκωμα αλλά τείνει να είναι λιγότερο ευαίσθητος σε μικρά σκοτώματα λόγω εξομάλυνσης.⁵⁵⁻⁵⁷

2.2.3.4. Ο αλγόριθμος FASTPAC

Ο αλγόριθμος FASTPAC είναι παρόμοιος με τον 4-2-1 αλλά προχωράει με βήματα 3dB και κάνει ένα πέρασμα από τον ουδό.⁵⁸ Σε σύγκριση με τον 30-2 και τον 24-2 παρέχει ακριβή αποτελέσματα και ελαττώνει το χρόνο εξέτασης κατά 36%.⁵⁹ Είναι διαθέσιμος τόσο στον αναλυτή οπτικών πεδίων Humphrey όσο και στον Octopus.^{60,67,69}

Ο FASTPAC κάνει 36-40% λιγότερο χρόνο χωρίς σημαντική διαφορά στην ανίχνευση μίας βλάβης.^{61-65,68} Όπως και σε άλλους αλγόριθμους, η βραχεία διακύμανση αυξάνεται με την ηλικία και όσο πιο έντονο είναι ένα σκότωμα.⁶⁷ Ο αλγόριθμος τείνει να υποεκτιμά ορισμένους δείκτες όπως τον MD και τον PSD, λόγω όμως της μικρότερης διάρκειας της εξέτασης, ο FASTPAC έχει καλύτερη αποδοχή από τους ασθενείς και είναι πιο πρακτικός.⁶⁶

2.2.3.5. Ο αλγόριθμος SITA

Ο αλγόριθμος SITA αναπτύχθηκε με το στόχο να δημιουργηθεί ένα γρήγορο πρόγραμμα με ποιότητα του τεστ ανάλογη με το FASTPAC.⁷⁰⁻⁷⁵ Ο SITA χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο για την εκτίμηση του ουδού που βασίζεται τόσο στις απαντήσεις του ασθενούς στο συγκεκριμένο σημείο όσο και πληροφορίες από γειτονικά σημεία. Πλήρης εύρεση του ουδού γίνεται όμως για 4 αρχικά σημεία (από ένα σε κάθε τεταρτημόριο) και τουλάχιστον ένα πέρασμα από τον ουδό γίνεται από κάτω προς τα πάνω για κάθε σημείο. Ο χρόνος εξέτασης είναι μικρότερος από το πλήρες πρόγραμμα και έχει καλή επαναληψιμότητα.⁷⁶⁻⁹³

2.2.3.6. Οι υπερουδικοί αλγόριθμοι (Supra-Threshold)

Οι υπερουδικοί αλγόριθμοι είναι χρήσιμοι σε περιπτώσεις απόλυτων σκοτωμάτων όπως ημιανοπία, βλεφαρόπτωση, για νομικούς λόγους, ή σαν screening tests.⁹⁴⁻¹⁰⁵ Οι απαντήσεις είναι ποιοτικές, όπως φυσιολογικό - μη φυσιολογικό ή ορατό - μη ορατό φωτεινό ερέθισμα. Ανάλογα με τον αριθμό των ερεθισμάτων διακρίνονται σε στρατηγικές: α) ενός επιπέδου (δύο ζωνών) ή β) δύο επιπέδων (τριών ζωνών). Στη στρατηγική ενός επιπέδου προβάλλεται ένα συγκεκριμένο φωτεινό ερέθισμα (-6dB) και τα σημεία διακρίνονται σε φυσιολογικά ή μη. Στη στρατηγική δύο επιπέδων προβάλλεται ένα φωτεινό ερέθισμα (-4dB) και εάν δε γίνει ορατό τότε προβάλλεται ένα φωτεινό ερέθισμα 0dB (το πιο φωτεινό ερέθισμα που μπορεί να προβάλλει το περίμετρο). Εάν το μέγιστο ερέθισμα γίνει ορατό τότε το σημείο χαρακτηρίζεται σαν σχετικό σκότωμα διαφορετικά χαρακτηρίζεται σαν

απόλυτο σκότωμα. Έτσι ένα σημείο διακρίνεται σε φυσιολογικό, σχετικό σκότωμα ή απόλυτο σκότωμα. Οι υπερουδικοί αλγόριθμοι μπορεί να είναι χρήσιμοι σαν screening test, για την πρώιμη ανίχνευση του γλαυκώματος και έχουν καλή επαναληψιμότητα, μικρό χρόνο εξέτασης 1-2 λεπτά ανά οφθαλμό και χαμηλό κόστος αλλά δεν είναι κατάλληλοι για ποσοτική εκτίμηση μιάς βλάβης.^{106,107}

Ωστόσο ένα υπερουδικό τέστ μπορεί να είναι σχεδόν το ίδιο αποτελεσματικό με ένα πλήρες τεστ, για την ανίχνευση αλλοιώσεων του οπτικού πεδίου που οφείλονται σε νευρο/οφθαλμολογικές παθήσεις. Μία ποσοτική πλήρης περιμετρική στρατηγική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αμφίβολες περιπτώσεις καθώς και για τη παρακολούθηση της προόδου διαγνωσμένων περιπτώσεων.¹⁰⁸

3. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1. Εισαγωγή

Τα σύγχρονα περίμετρα είναι πολύ εξελιγμένα όργανα για τη καταγραφή του οπτικού πεδίου. Παρουσιάζουν ωστόσο ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι κατασκευασμένα για χρήση στο ιατρείο ή στο νοσοκομείο. Είναι αρκετά ογκώδη και σχετικά βαριά μηχανήματα. Συχνά βρίσκονται σε ξεχωριστό χώρο. Πολλές φορές ηλικιωμένοι, ή άρρωστοι άνθρωποι, ή ασθενείς με προβλήματα στη μέση ή στον αυχένα κουράζονται κατά την εξέταση, και δυσκολεύονται να παραμείνουν ακίνητοι, για αρκετή ώρα, με το κεφάλι τους στο θόλο του περιμέτρου, με αποτέλεσμα υψηλή μεταβλητότητα μεταξύ των εξετάσεων και ως συνέπεια χαμηλή αξιοπιστία. Υπάρχουν και ασθενείς με κάποιου βαθμού κλειστοφοβία, οι οποίοι αποφεύγουν την εξέταση, ενώ ακόμη και το κάλυμμα του οφθαλμού ενοχλεί μερικούς ανθρώπους. Επιπλέον, τα κλασσικά περίμετρα δεν είναι φορητά και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κλινήρης ασθενείς ή κατ'οίκον. Αντίθετα τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, είναι πολύ ελαφρά και αναμφισβήτητα έχουν μερικά πλεονεκτήματα. Είναι φορητά, άνετα και δεν χρειάζεται κάλυμμα για τον οφθαλμό. Επίσης τα smartphone είναι πολύ εξελιγμένα, έχουν υψηλής ανάλυσης οθόνες τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων (LCD – Liquid Crystal Display), είναι ελαφρά, εύχρηστα, έχουν σύνδεση στο διαδίκτυο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές εφαρμογές. Στη παρούσα μελέτη εξετάστηκε η δυνατότητα χρήσης smartphone και γυαλιών εικονικής πραγματικότητας, όσο και LCD οθόνης για τη καταγραφή του οπτικού πεδίου μέσω τηλεϊατρικής. Η τηλεϊατρική, ορίζεται σύμφωνα με την American Telemedicine Association (ATA), σαν η χρήση ιατρικής πληροφορίας που ανταλλάσσεται από ένα σημείο σε ένα άλλο, μέσω ηλεκτρονικής επικοινωνίας-διαδικτύου, για τη βελτίωση της υγείας του ασθενούς.¹⁰⁹ Η τηλε-οφθαλμολογία είναι ένας κλάδος της τηλεϊατρικής.

Δοκιμάστηκε τόσο ο αλγόριθμος FASTPAC όσο και ο υπερουδικός αλγόριθμος καταγραφής της οπτικού πεδίου. Ο FASTPAC απαιτεί χρόνο εξέτασης περίπου 8-10 λεπτά ανά οφθαλμό, όσο περίπου και ο SITA ενώ ο υπερουδικός αλγόριθμος απαιτεί χρόνο εξέτασης περίπου 1-2 λεπτά ανά οφθαλμό,.

Η εξέταση του οπτικού πεδίου μέσω υπολογιστή έχει δοκιμαστεί στο παρελθόν, αλλά κυρίως λόγω της έλλειψης δυνατότητας ελέγχου και προτυποποίησης των συνθηκών φωτεινότητας της εξέτασης αλλά και λαθών εκ μέρους του χρήστη, η ευρεία χρήση της μεθόδου ήταν περιορισμένη.¹¹⁰⁻¹¹³

Το τέστ οπτικού πεδίου είναι μία υποκειμενική εξέταση, απαιτεί τη πλήρη συνεργασία του εξεταζόμενου και παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα.¹¹⁴⁻¹¹⁶ Πρέπει να πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φωτεινότητας ώστε να επιτευχθεί προτυποποίηση των συνθηκών εξέτασης, ωστόσο οι προσωπικοί υπολογιστές ή τα smartphones δεν διαθέτουν φωτόμετρα. Γιά να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, στην εργασία αυτή δοκιμάστηκε ειδικό λογισμικό γιά την καταγραφή του οπτικού πεδίου, το οποίο: α) έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τη web camera του υπολογιστή σαν εικονικό «φωτόμετρο» γιά να ανιχνεύσει τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος, β) περιλαμβάνει ένα expert system το οποίο αναλύει εάν η εξέταση πραγματοποιήθηκε σωστά και γ) επιτρέπει την αποστολή της εξέτασης μέσω διαδικτύου/email δ) δίνει τη δυνατότητα στο γιατρό να συνενώσει τα αποτελέσματα πολλών εξετάσεων σε μία ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη στατιστική αξιοπιστία.¹¹⁷

3.2. Υλικό Μέθοδοι

3.2.1. Γυαλιά εικονικής πραγματικότητας

Γιά την λήψη των οπτικών πεδίων χρησιμοποιήθηκαν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας *Trust EXOS 3D* (Εικόνα 2) και το smartphone *Alcatel One Touch Pixi 4 8050D* με οθόνη 6". Εικόνα 7.



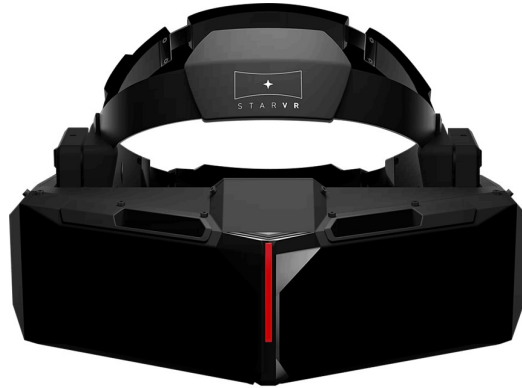
Εικόνα 7. Γυαλιά εικονικής πραγματικότητας (VR - virtual reality glasses)

Κατά την εξέταση, ο ασθενής μπορεί να φοράει τα γυαλιά του αν χρειάζεται και δεν χρειάζεται να παραμείνει ακίνητος. (Εικόνα 8)



Εικόνα 8. Γυαλιά εικονικής πραγματικότητας με γυαλιά ασθενούς

Το μοντέλο γυαλιών εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιήθηκε επιτρέπει τον έλεγχο ως και 48° κεντρικών μοιρών του οπτικού πεδίου. Υπάρχουν όμως και VR μοντέλα διαθέσιμα που επιτρέπουν περισσότερες μοίρες, όπως το StarVR που επιτρέπει 210°. Εικόνα 9.



Εικόνα 9. Το μοντέλο StarVR 210.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης ειδικό λογισμικό που υλοποιεί τον αλγόριθμο: α) fastpac με βήματα 3 db, και β) υπερουδικό στις κεντρικές 24°, (56 σημεία). Εικόνα 10,11.



Εικόνα 10. Υπολογιστής και γυαλιά εικονικής πραγματικότητας

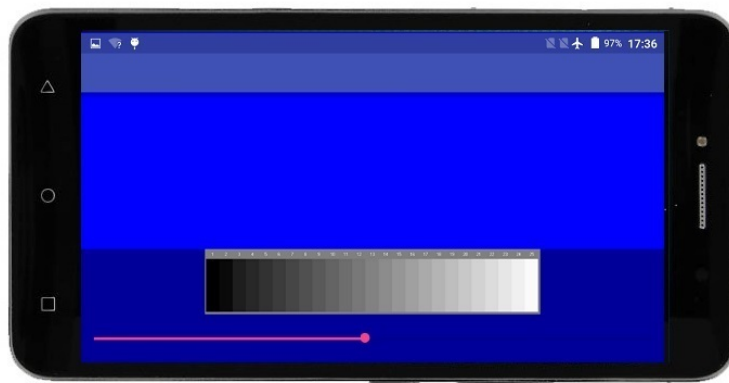


Εικόνα 11. Τα σημεία που θα εξεταστούν

3.2.2. Ρύθμιση Φωτεινότητας

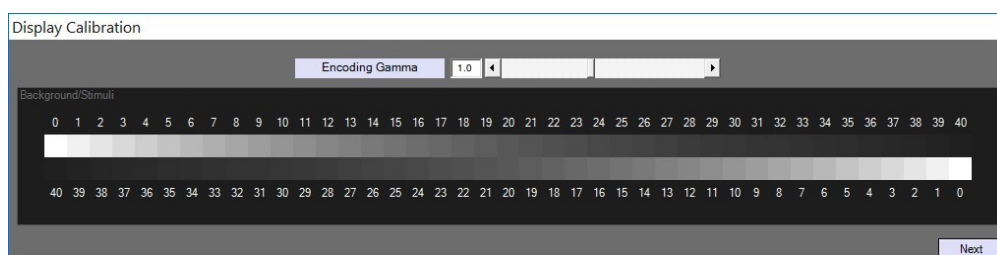
Η φωτεινότητα καθορίζει την ένταση του φωτός που εκπέμπει η οθόνη. Το αποτέλεσμα της εξέτασης του οπτικού πεδίου, εξαρτάται από την φωτεινότητα της οθόνης εξέτασης. Η εξέταση οπτικού πεδίου απαιτεί συγκεκριμένες συνθήκες. Η φωτεινότητα πρέπει να είναι καθορισμένη και σταθερή ανάμεσα σε διαδοχικές εξετάσεις, ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να συγκριθούν και να αναλυθούν χρονικά. Αυτό, διευκολύνει επίσης και τη συγκρισιμότητα ανάμεσα σε διαφορετικές εγκαταστάσεις.

Είναι πολύ σημαντικό, τα ερεθίσματα, να είναι ευδιάκριτα. Μία τυπική οθόνη, παρέχει συνήθως μέγιστη φωτεινότητα 250 cd/m² περίπου. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές φορητές συσκευές και οι χρήστες είναι πιθανό να μην διαθέτουν φωτομέτρο. Για λόγους συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων το λογισμικό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να ρυθμίσει τη φωτεινότητα της οθόνης εξέτασης, μέσω μίας κλιμακωτής διαβάθμισης του γκρί. Η φωτεινότητα πρέπει να τεθεί στο σημείο που είναι ξεχωριστά και καθαρά ορατές, όλες οι διαβαθμίσεις του γκρί, και όχι πέρα από αυτό. Συνήθως, το σημείο αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 50% της μέγιστης διαθέσιμης φωτεινότητας για τυπικές LCD οθόνες. (Εικόνα 12).

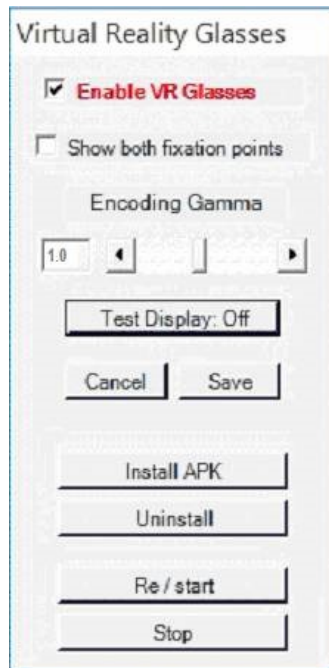


Εικόνα 12. Διαβαθμισμένη κλίκακα του γκρί για τη ρύθμιση της φωτεινότητας στο smartphone.

Η εξέταση του οπτικού πεδίου απαιτεί καθορισμένες συνθήκες φωτεινότητας. Σε μία οθόνη, η φωτεινότητα καθορίζει την ένταση του φωτός που εκπέμπει. Στις οθόνες LCD η σχέση ανάμεσα στο δυναμικό και τη φωτεινότητα που εκπέμπουν, είναι μία καμπύλη που μοιάζει με αποπλατυσμένο S, η οποία είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της γραμμική.¹¹⁸ Για το λόγο αυτό οι οθόνες LCD είναι κατά προσέγγιση γραμμικές συσκευές. Ο μέγιστος λόγος αντίθεσης είναι η σχέση ανάμεσα στο φωτεινότερο λευκό και το πιό σκούρο μαύρο που μπορεί να παράγει η οθόνη. Η φωτεινότητα θέτει το μαύρο σημείο και καθορίζει τη μικρότερη ένταση φωτός που μπορεί να παράξει η οθόνη. Ο συντελεστής γάμμα περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στη τιμή του pixel και την ένταση του φωτός που παράγει η οθόνη. Οι οθόνες τύπου LCD όπως αυτές που υπάρχουν στα smartphones είναι σχεδόν γραμμικές κατά το μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης συσχέτισης. Ο συντελεστής γάμμα χρησιμοποιείται για να διορθώσει τη μη γραμμικότητα κυρίως των CRT (Cathode Ray Tubes) οθονών. Το λογισμικό επιτρέπει τη ρύθμιση του παράγοντα γάμμα για βέλτιστη απόδοση τόσο στην οθόνη του PC όσο και στην οθόνη των γυαλιών εικονικής πραγματικότητας. Εικόνα 13, 14



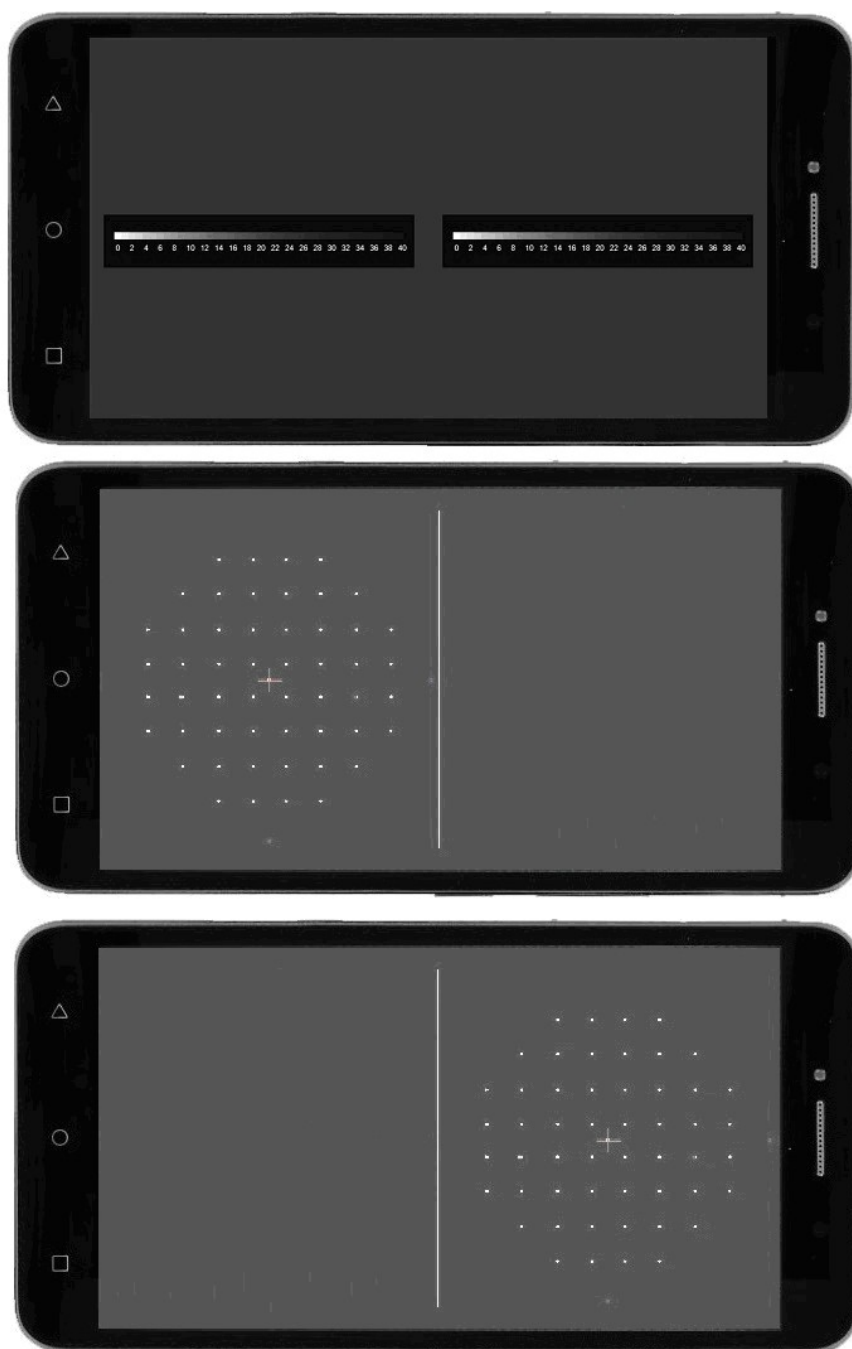
Εικόνα 13. Ρύθμιση του παράγοντα γάμμα.



Εικόνα 14. Ρύθμιση του παράγοντα γάμμα.

Η ρύθμιση του παράγοντα γάμμα της φωτεινότητας και της αντίθεσης μπορεί να γίνει οπτικά.¹¹⁸ Η οπτική ρύθμιση είναι αρκούντως ικανοποιητική και αξιόπιστη για να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτική αντί για ένα ακριβό φωτόμετρο.^{119,120} Το λογισμικό χρησιμοποιεί μία διαβαθμισμένη κλίμακα του γκρί και οι ρυθμίσεις πρέπει να τεθούν στο σημείο όπου όλες οι διαβαθμίσεις του γκρί είναι ορατές ξεκάθαρα και διακριτά.

Στην προκειμένη περίπτωση για καλύτερη ακρίβεια και συγκρισιμότητα χρησιμοποιήθηκε ένα φωτόμετρο και η φωτεινότητα του λευκού χρώματος τέθηκε στα 130 Lux (περίπου 410 asb). Αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 50% της μέγιστης διαθέσιμης φωτεινότητας για το smartphone που χρησιμοποιήθηκε (Alcatel Pixi 4(6) 8050D). Εικόνα 15.

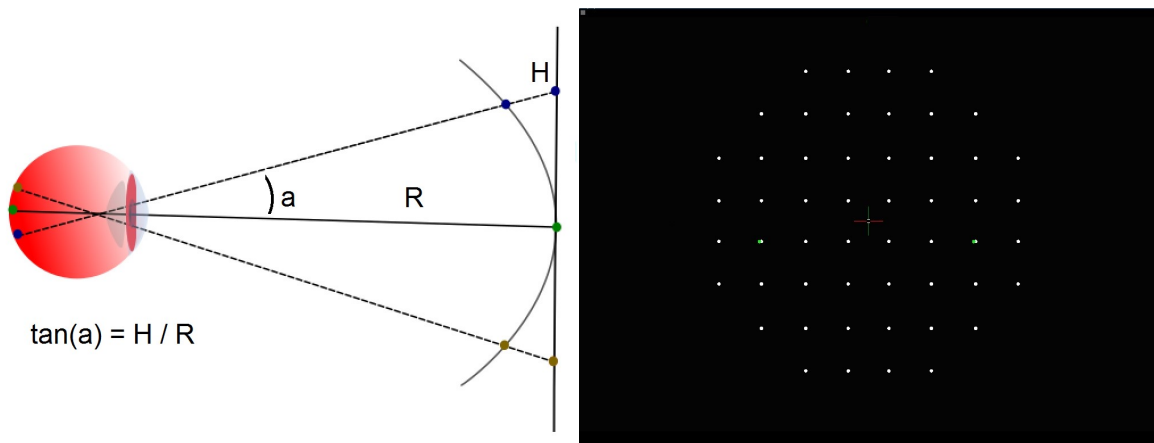


Εικόνα 15. Οι διαβαθμίσεις του γκρί και τα σημεία που θα εξεταστούν

Η φωτεινότητα τέθηκε στο κατώτερο σημείο, στο οποίο διακρίνονται καθαρά και οι 25 ξεχωριστές διαβαθμίσεις του γκρί. Εάν κάποιος χρησιμοποιεί πάντα τον ίδιο τύπο smartphone, για διαδοχικές εξετάσεις, τότε τα αποτελέσματα των εξετάσεων αναμένεται να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους γιατί γίνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Ωστόσο, εάν η φωτεινότητα δεν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα, τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι απολύτως συγκρίσιμα, ανάμεσα σε

διαφορετικούς τύπους smartphone, ή σε διαφορετικές εγκαταστάσεις. Συνιστάται η ρύθμιση να γίνεται με βοήθεια φωτομέτρου, γιά λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας και συγκρισιμότητας των μετρήσεων, ανάμεσα σε διαφορετικές συσκευές.

Οι εντάσεις των φωτεινών σημείων που εξετάστηκαν έχουν λογαριθμική κατανομή.¹²¹ Τα σημεία που θα εξεταστούν προβάλλονται με κατάλληλη τριγωνομετρική διόρθωση, έτσι ώστε τα να εμφανίζονται στον αμφιβληστροειδή στις ίδιες θέσεις σαν να προβάλλονται από ένα κλασσικό περίμετρο. Εικόνα 16.



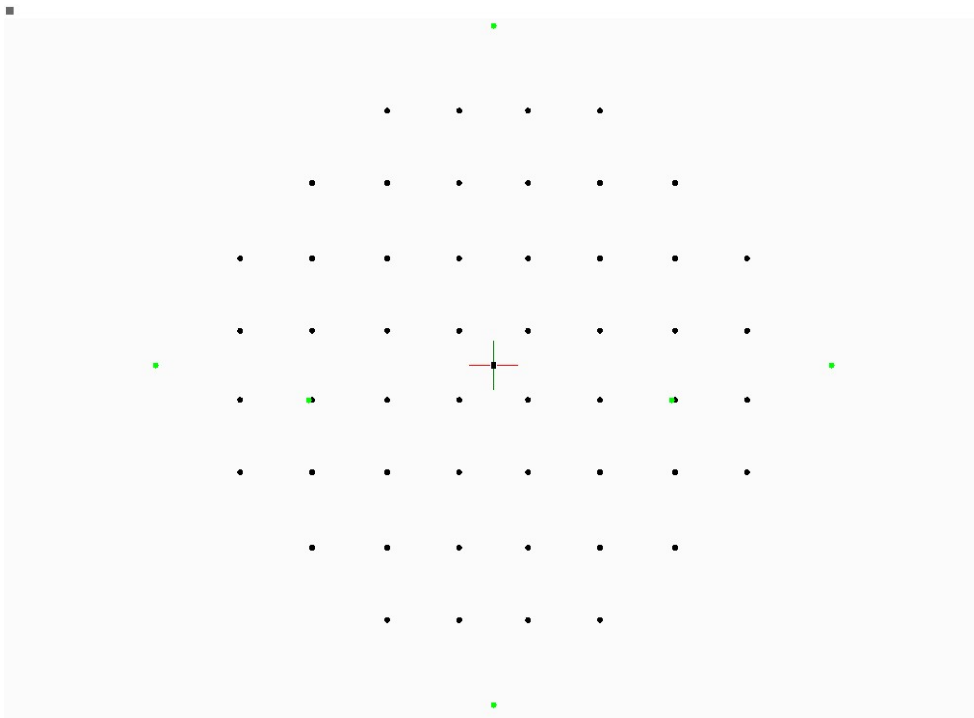
Εικόνα 16. Τριγωνομετρική σχέση ανάμεσα στην οθόνη του smartphone και στο θόλο ενός κλασσικού περιμέτρου

3.2.3. Χαρακτηριστικά του λογισμικού

1. Στρατηγικές: α) 4-2-1, β) 4-2, γ) FASTPAC στρατηγική με βήματα 3 dB γιά 52 σημεία σε 24° κεντρικές μοίρες και δ) υπερουδική στρατηγική, ενός επιπέδου γιά 52 σημεία σε 24° κεντρικές μοίρες του οπτικού πεδίου, με τρείς διαθέσιμες επιλογές επιπέδου - κατωφλίου α) -4db (υψηλό επίπεδο), β) -8db (μεσαίο επίπεδο), γ) -12db (χαμηλό επίπεδο) αντίστοιχα, από την αναμενόμενη γιά την ηλικία ευαισθησία.^{122,123}
2. Αυτόματη ανίχνευση τυφλής κηλίδας και ανάλογη τοποθέτηση των σημείων που θα εξεταστούν καθώς και του μεγέθους τους.

3. Ανίχνευση του οφθαλμού (eye tracking) μέσω κάμερας και αυτόματη τοποθέτηση του σημείου προσήλωσης μπροστά από τον εξεταζόμενο οφθαλμό.
4. Ελέγχος της προσήλωσης του ασθενούς με τη μέθοδο (Heijl–Krakau), μέσω προβολής ερεθισμάτων στη τυφλή κηλίδα, και παύση της εξέτασης σε περίπτωση απώλειας της προσήλωσης.¹²⁴
5. Υπερουδικά ερεθίσματα για το έλεγχο ψευδώς αρνητικών απαντήσεων, και ερεθίσματα στη τυφλή κηλίδα για τον υπολογισμό των απωλειών προσήλωσης.
6. Μεταβλητός ρυθμός παρουσίασης των ερεθισμάτων. Αρχικός χρόνος αναμονής για απάντηση 500-1500 msec, προσαρμοζόμενος στο χρόνο απάντησης του εξεταζόμενου.
7. Διάρκεια ερεθίσματος 250 msec.
8. Χρήση της web-camera σαν ένα εικονικό «φωτόμετρο».
9. Ερεθίσματα/φόντο: α) Λευκά/γκρί σε μαύρο φόντο ή β) Μαύρα/γκρί σε λευκό φόντο. Εικόνα 16,17.
10. Το λογισμικό ελέγχει με ένα expert system τα αποτελέσματα, εάν η εξέταση είναι έγκυρη.
11. Εκτύπωση grayscale, αριθμητικές τιμές, στατιστικά: ψευδώς θετικά, ψευδώς αρνητικά, απώλειες προσήλωσης, MS, TD, PD, SF, VFI.
12. Δυνατότητα συνένωσης των αποτελεσμάτων πολλών εξετάσεων σε μία για να αυξηθεί η στατιστική αξιοπιστία.

Το λογισμικό περιλαμβάνει τη δυνατότητα eye tracking (χρησιμοποιώντας την GPL βιβλιοθήκη για όραση υπολογιστή και τεχνητή νοημοσύνη AForge.NET).



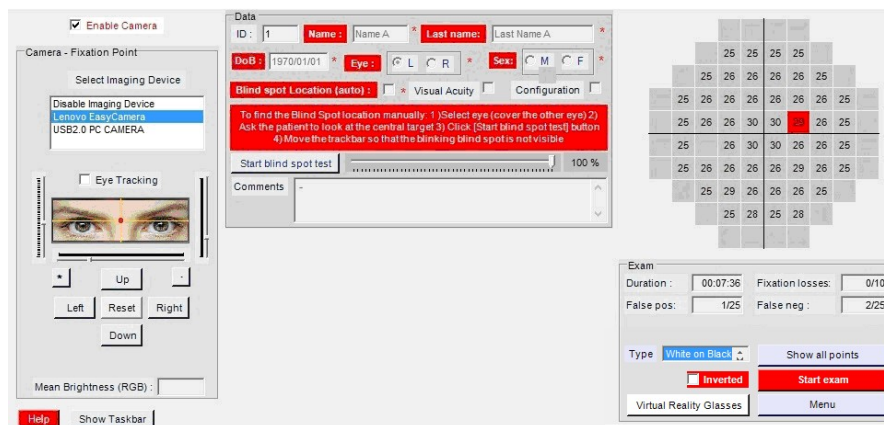
Εικόνα 17. Black on white ερεθίσματα.

3.2.4. Διαδικασία εξέτασης

3.2.4.1. VR

Κατά την εξέταση, με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας ο εξεταζόμενος κάθεται αναπαυτικά και φοράει το σέτ. Τα γυαλιά πρέπει να είναι τοποθετημένα σωστά, δεν πρέπει να είναι εκτός κέντρου, ή πολύ ψηλά ή πολύ χαμηλά. Η διακορική απόσταση ρυθμίζεται από το περιστρεφόμενο κομβίο στο πάνω μέρος, έτσι ώστε ο εξεταζόμενος να μη βλέπει δύο επικαλυπτόμενες εικόνες αλλά να βλέπει μία εικόνα. Η εστίαση ρυθμίζεται από το πλαινό περιστρεφόμενο κομβίο έτσι ώστε η εικόνα να είναι καθαρή.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα γυαλιά ταιριάζουν κατάλληλα, χωρίς να χρειάζεται καμμία ρύθμιση. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο γιατρό να προβάλλει όλα τα ερεθίσματα που θα εξεταστούν (σε μέγιστη ένταση ώστε να είναι ορατά, εκτός και αν υπάρχει κάποιο σκότωμα), ώστε να κάνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις. Αυτό είναι αρκετό στις περισσότερες περιπτώσεις. Εικόνα 18.



Εικόνα 18. Φόρμα εξέτασης οπτικού πεδίου με FASTPAC στρατηγική

Όταν υπάρχουν απόλυτα σκοτώματα, τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας πρέπει να ρυθμιστούν έτσι ώστε ο εξεταζόμενος να μπορεί να δει το σημείο προσήλωσης, τοποθετημένο κεντρικά στο οπτικό του πεδίο, η - τουλάχιστον – να βλέπει όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία, όταν κοιτάζει κατευθείαν μπροστά.

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης οπτικού πεδίου ο ασθενής κάθεται αναπαυτικά, και είναι ελεύθερος να αλλάξει θέση όπως θέλει, όπως επίσης και να κουνάει το κεφάλι του. Τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας είναι ελαφρά (περίπου 385 γραμμάρια) και το smartphone είναι περίπου 180 γραμμάρια. Ο εξεταζόμενος μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το χέρι του για να κρατάει τα γυαλιά κάνοντας έτσι την εξέταση πιο άνετη. Εικόνα 19.



Εικόνα 19. Ασθενής κατά τη διάρκεια του τέστ. Ο ασθενής κρατάει το γυαλιά εικονικής πραγματικότητας με το ένα χέρι τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και με το άλλο χέρι το ποντίκι. Μπορεί να κινεί το κεφάλι του ελεύθερα.

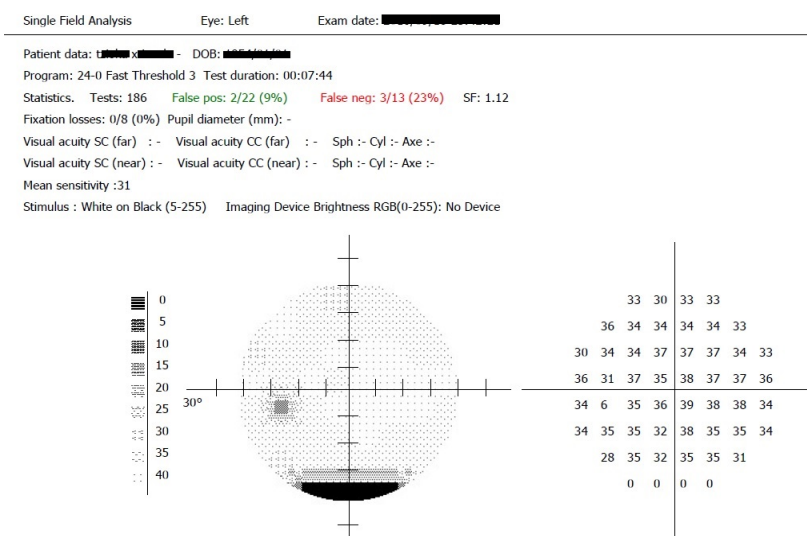
Η εξέταση κρατάει λίγο αλλά ο εξεταζόμενος μπορεί αν θέλει να τη διακόψει για να κάνει ένα διάλειμμα, και μετά να συνεχίσει. Μπορεί επίσης να είναι ξαπλωμένος.

Καθ' όλη τη διάρκεια του τέστ, ο ασθενής πρέπει να κοιτάζει στο κεντρικό στόχο και να κάνει κλίκ στο ποντίκι, όποτε βλέπει ένα φωτεινό ερέθισμα, στην οθόνη.

Κάθε μάτι εξετάζεται χωριστά, αν και είναι δυνατόν να εξεταστούν και ταυτόχρονα. Δεν χρειάζεται κάλυμμα για το μάτι που δεν εξετάζεται. Το λογισμικό μπορεί να εντοπίσει τη τυφλή κηλίδα και να ρυθμίσει τη θέση των σημείων που θα εξεταστούν αυτόματα. Αυτό μπορεί να γίνει και από το χειριστή.

Εάν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, δεν τοποθετηθούν κατάλληλα, μπορεί να προκύψουν artifact, λόγω του χείλους του φακού. Τέτοια artifact, δεν δημιουργούν πάντα ένα δακτύλιο γύρω από την εξωτερική περίμετρο του οπτικού πεδίου, αλλά μπορεί να είναι τμηματικά και να μιμηθούν το ρινικό βήμα. Σύμφωνα με μία μελέτη, σε οπτικά πεδία στατικής περιμετρίας με το πρόγραμμα Humphrey 30-2, που έγιναν με χρήση διορθωτικού φακού, artifact λόγω φακού παρατηρήθηκε σε 10.4% από 704 οπτικά πεδία που εξετάσθηκαν αναδρομικά και σε 6.2% από 276 οπτικά πεδία που εξετάσθηκαν προοπτικά.¹²⁵

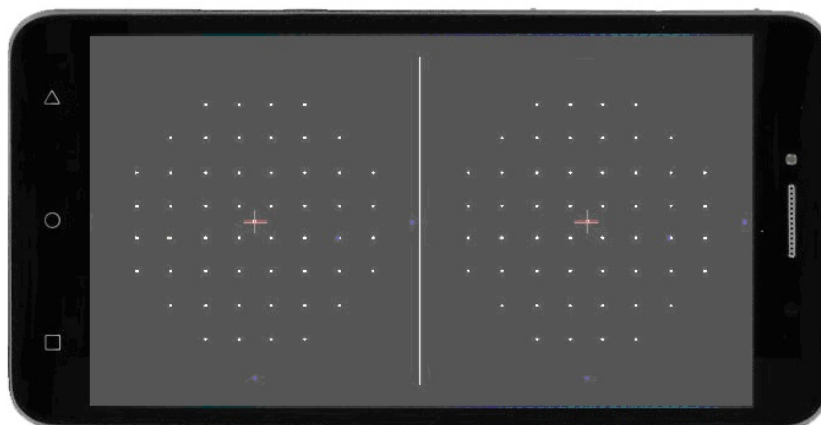
Artifact λόγω φακού, παρατηρήθηκε σε μία ασθενή, κατά τη διάρκεια των τέστ, με τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας. Εάν παρατηρηθεί artifact, το τέστ πρέπει να επαναληφθεί. Εικόνα 20.



Εικόνα 20. Artifact οπτικού πεδίου λόγω του χείλους του φακού

Το λογισμικό ελέγχει την προσήλωση του ασθενούς, στο κεντρικό στόχο στην οθόνη, προβάλλοντας ερεθίσματα στη τυφλή κηλίδα.

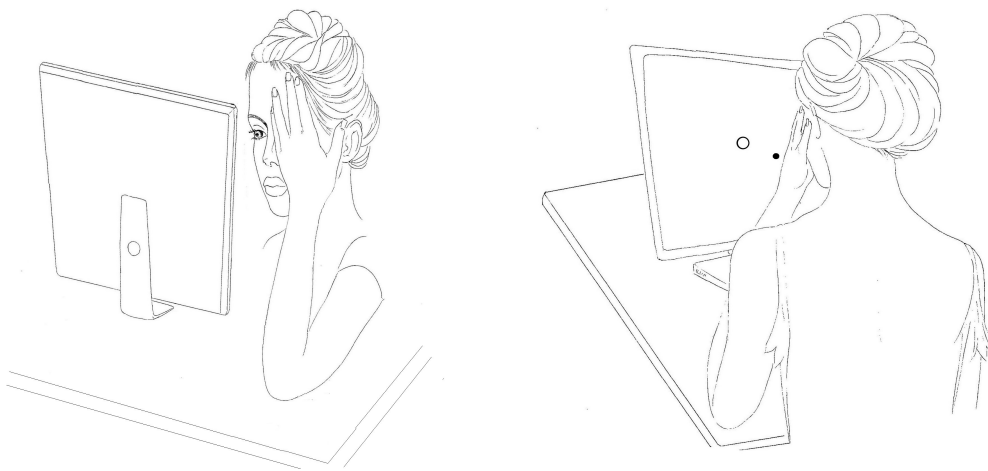
Τα (52) σημεία που θα εξεταστούν σε κάθε μάτι. Εικόνα 21.



Εικόνα 21. Τα σημεία που θα εξεταστούν

3.2.4.2. Οθόνη

Εναλλακτικά εάν δεν είναι διαθέσιμα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας η εξέταση μπορεί να γίνει σε μία LCD οθόνη. Κατά τη διάρκεια του τέστ, ο εξεταζόμενος κάθετα άνετα μπροστά από την οθόνη του υπολογιστή του και κοιτάζει στο σημείο προσήλωσης ενώ φοράει τα κοντινά του γυαλιά αν χρειάζεται. Κάθε μάτι ελέγχεται ξεχωριστά. Το μάτι που δεν εξετάζεται καλύπτεται με τη παλάμη, ενώ το πρόσωπο του ασθενούς στηρίζεται από το χέρι του, το οποίο ακουμπάει στο τραπέζι, μπροστά από τον υπολογιστή. (Εικόνα 22).



Εικόνα 22. Ασθενής κατά τη διάρκεια της εξέτασης.

Γιά να βρεθεί η κατάλληλη απόσταση από τη οθόνη για την εξέταση ακολουθείται η εξής διαδικασία: 1) ο υπολογιστής προβάλλει στην οθόνη το σημείο προσήλωσης στο κέντρο και το σημείο που αντιστοιχεί στη τυφλή κηλίδα δεξιά ή αριστερά, 2) ο εξεταζόμενος καλύπτει τον οφθαλμό που δεν θα εξεταστεί και καθώς κοιτάζει με το άλλο μάτι κάθετα στην οθόνη στο σημείο προσήλωσης, μετακινεί το πρόσωπό του αργά προς την οθόνη. Σε κάποια απόσταση από τη οθόνη, τη σημείο που προβάλλεται στη θέση της τυφλής κηλίδας θα χαθεί από το οπτικό του πεδίου. Σε αυτή την απόσταση από την οθόνη γίνεται το τεστ. Το λογισμικό έχει επίσης τη δυνατότητα να ανιχνεύσει αυτόματα τη θέση της τυφλής κηλίδας ώστε να υπολογίσει τριγωνομετρικά την απόσταση ανάμεσα στον εξεταζόμενο και την οθόνη και να προσαρμόσει κατάλληλα τις θέσεις των σημείων εξέτασης και το μέγεθός τους.

Ο χρήστης εισάγει τα στοιχεία του και επιλέγει το επίπεδο ευαισθησίας που θα εξεταστεί και το τύπο φόντου / ερεθισμάτων: α) λευκά-γκρί ερεθίσματα σε μαύρο φόντο (απαιτείται σκοτεινός χώρος) ή β) μαύρα-γκρί ερεθίσματα σε λευκό φόντο (δεν απαιτείται σκοτεινός χώρος). Εικόνα 23.

Patient Data

Enter your details

Name : Surname:

Date of birth : Sex: ☐ Male ☐ Female

Sensitivity

☒ Low ☐ Medium ☐ High

Select Eye

☒ Left Eye ☐ Right Eye

Locate Blind Spot

☐ Auto

Fixation Point

Up

Left

Right

Down

Reset

Virtual Reality Glasses

Start exam

Exit

Εικόνα 23. Φόρμα εξέτασης οπτικού πεδίου με υπερουδικό αλγόριθμο

Η οθόνη είναι κατάλληλη για τον υπερουδικό αλγόριθμο. Υπάρχουν τρία επίπεδα ουδού-ευαισθησίας. Υψηλό επίπεδο ευαισθησίας μπορεί να αποκαλύψει πιό πρώιμες αποκλίσεις αλλά ταυτόχρονα έχει και περισσότερα ψευδώς θετικά ευρήματα. Το χαμηλό επίπεδο ευαισθησίας μπορεί να αποκαλύψει πιό προχωρημένες αποκλίσεις αλλά ταυτόχρονα έχει λιγότερα ψευδώς θετικά ευρήματα. Σε μέσο επίπεδο ευαισθησίας αντιστοιχούν ενδιάμεσες τιμές.

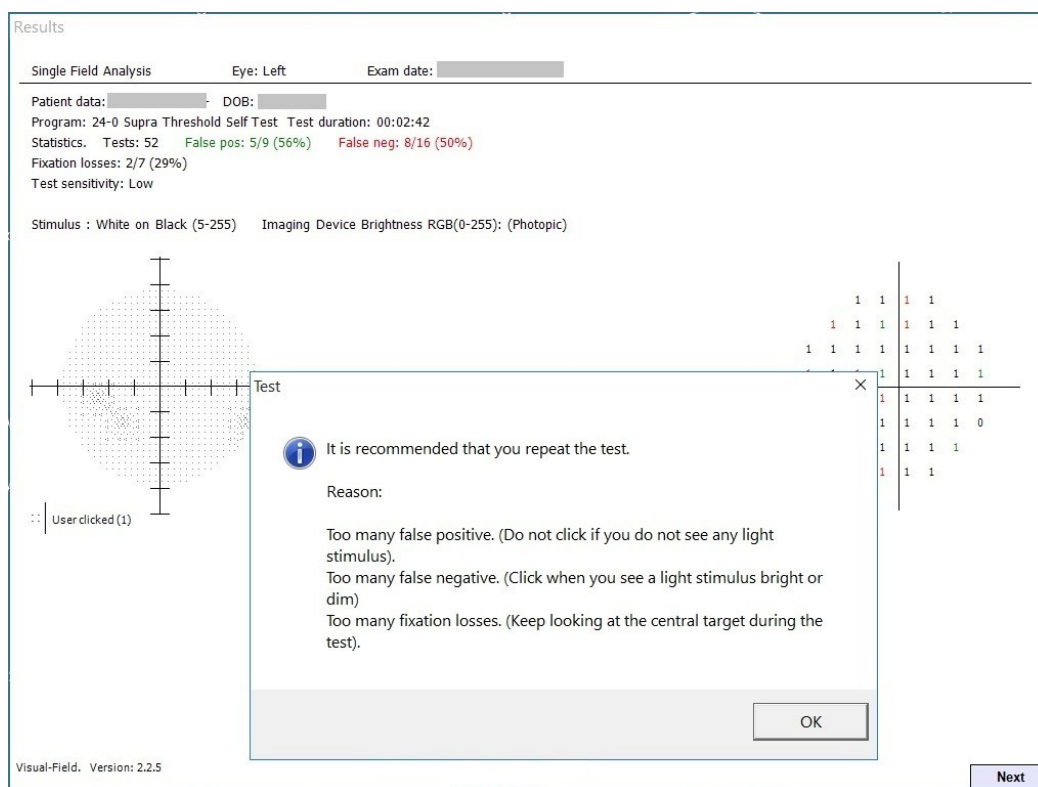
Ο εξεταζόμενος μπορεί να διακόψει εάν θέλει για λίγο την εξέταση για να ξεκουραστεί κάνοντας δεξί κλικ και να κάνει αριστερό κλικ για να συνεχίσει. Τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας γιατί και τα smartphone χρησιμοποιούν οθόνες ίδιου τύπου (LCD).

Κατά τη διάρκεια του τέστ το λογισμικό προβάλλει φωτεινά ερεθίσματα στο επίπεδο ευαισθησίας που έχει επιλεγεί, σε κάθε σημείο που ελέγχεται. Ο εξεταζόμενος κάνει αριστερό κλικ όποτε βλέπει ένα φωτεινό ερέθισμα στην οθόνη. Κάθε κλικ καταγράφεται σαν θετική απάντηση (1) ενώ εάν ο εξεταζόμενος δεν απαντήσει καταγράφεται σαν μηδενική απάντηση (0). Η εξέταση σταματά όταν καταγραφεί μία απάντηση είτε θετική είτε όχι σε κάθε σημείο που εξετάζεται. Ο στόχος του τέστ είναι να ελέγξει εάν ο ασθενής βλέπει τον ουδό σε κάθε σημείο

που εξετάζεται. Το τεστ κρατάει λίγο, περίπου 2-3 λεπτά ανά μάτι και είναι καλά ανεκτό.

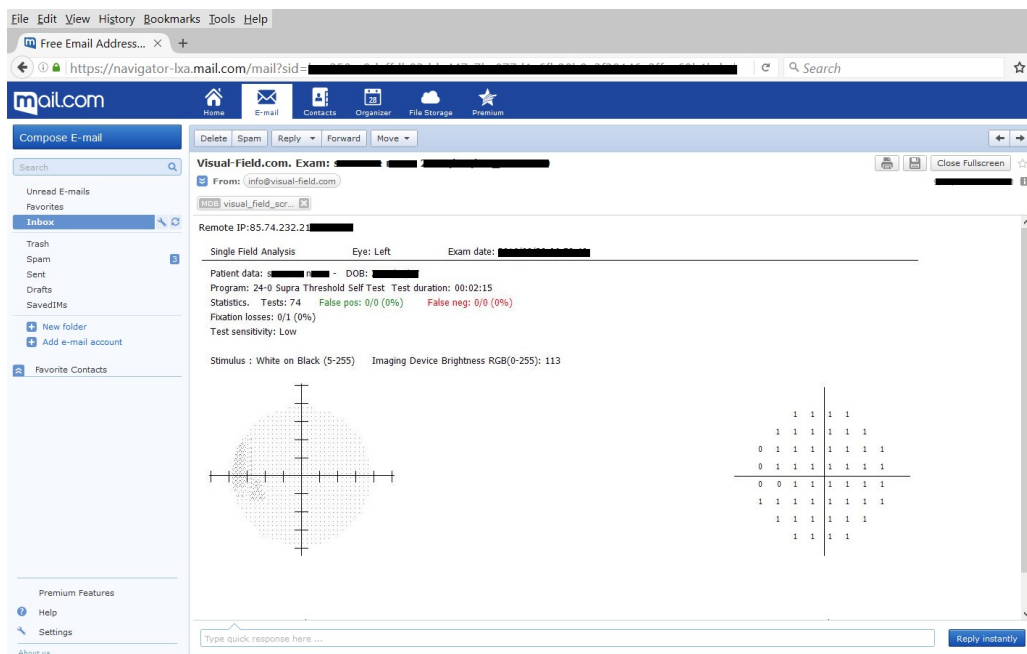
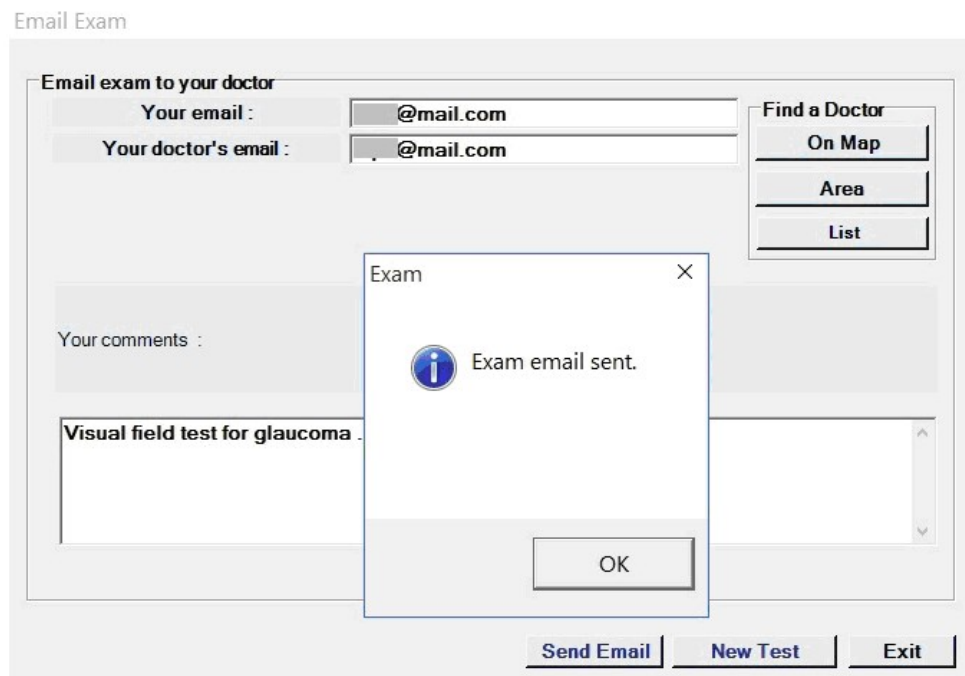
Κατά τη διάρκεια του τεστ το λογισμικό ελέγχει για απώλειες εστίασης προβάλλοντας ερεθίσματα στη τυφλή κηλίδα. Επίσης ελέγχει για ψευδώς θετικές απαντήσεις και ψευδώς αρνητικές προβάλλοντας υπερουδικά ερεθίσματα σε σημεία όπου έχει βρεθεί ότι τα ουδικά ερεθίσματα είναι ορατά. Ο ρυθμός παρουσίασης των φωτεινών ερεθισμάτων είναι μεταβλητός και προσαρμόζεται στη ταχύτητα απόκρισης του εξεταζόμενου (με μέγιστο χρόνο αναμονής 2 seconds).

Στα αποτελέσματα, τα σημεία όπου έγιναν ψευδώς αρνητικά λάθη σημειώνονται με κόκκινο χρώμα, τα σημεία όπου έγιναν ψευδώς θετικά λάθη σημειώνονται με πράσινο χρώμα ενώ τα σημεία στα οποία έγιναν τόσο ψευδώς θετικά όσο και ψευδώς αρνητικά λάθη σημειώνονται με κίτρινο χρώμα. Στο τέλος το λογισμικό ελέγχει εάν η εξέταση είναι έγκυρη. Έγκυρη θεωρείται μία εξέταση εάν η τυφλή κηλίδα έχει εντοπιστεί στην αναμενόμενη θέση και οι δείκτες ψευδώς θετικών, ψευδώς αρνητικών και απωλειών εστίασης είναι κάτω από 25%. Εικόνα 24.



Εικόνα 24. Αποτελέσματα υπερουδικού αλγορίθμου.

Εφόσον η εξέταση έχει γίνει σωστά τα αποτελέσματα μπορούν να αποσταλλούν μέσω email. Αυτή η δυνατότητα είναι χρήσιμη για σκοπούς τηλε-οφθαλμολογίας. (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Αποστολή εξέτασης μέσω email.

3.3. Αποτελέσματα

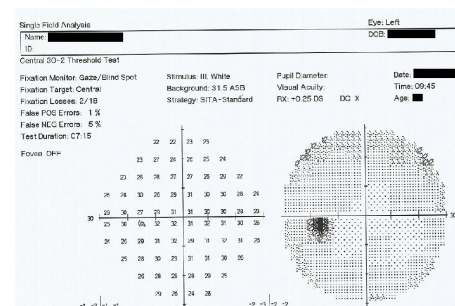
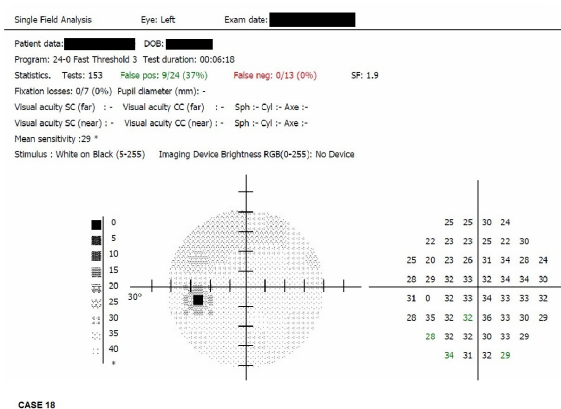
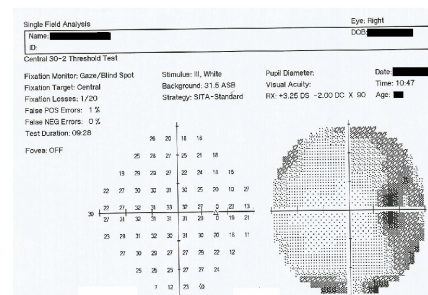
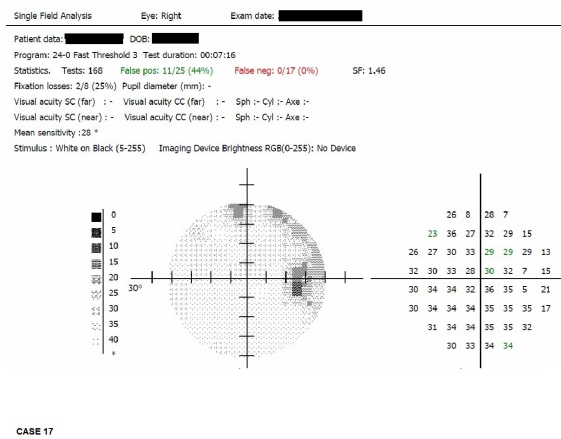
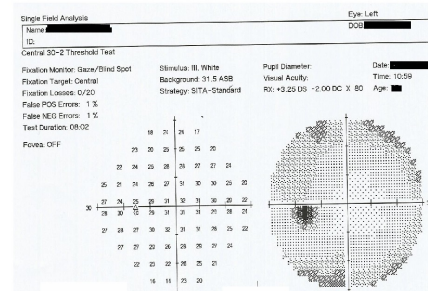
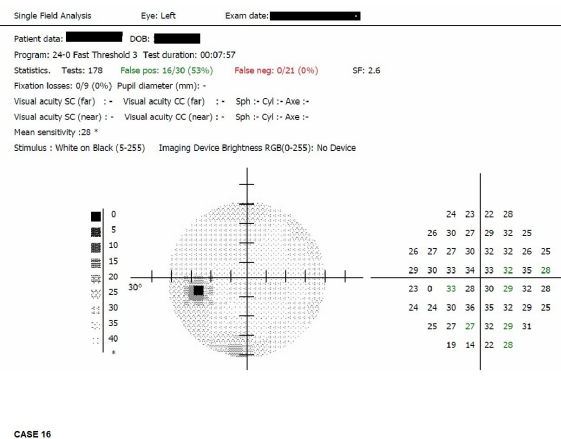
3.3.1. Αλγόριθμος FASTPAC

Χρησιμοποιήθηκαν γυαλιά VR (Trust Exos) και android smartphone με οθόνη 6'' και εξετάσθηκαν 20 μάτια 10 ασθενών, τυχαία, με τη σειρά που παρουσιάστηκαν, σε διάφορα στάδια γλαυκωματικής βλάβης, πρώτα με το περίμετρο Humphrey και έπειτα με τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας. Τα αποτελέσματα από το VR περίμετρο στέλνονταν μέσω email. Οι ασθενείς, ανέχθηκαν το τέστ με τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας πολύ καλά. Σχεδόν όλοι (9 από τους 10), ανέφεραν ότι η εξέταση ήταν πολύ πιο άνετη και ξεκούραστη, σε σύγκριση με τον ακίνητο θόλο του κλασσικού περιμέτρου.

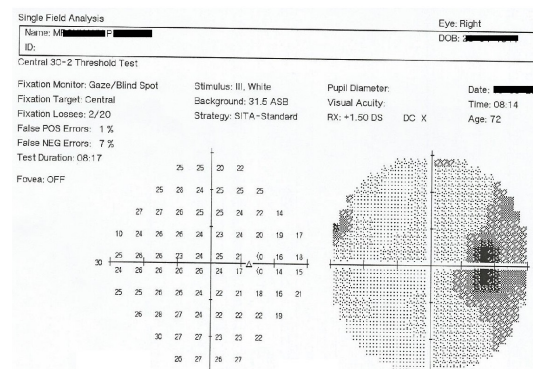
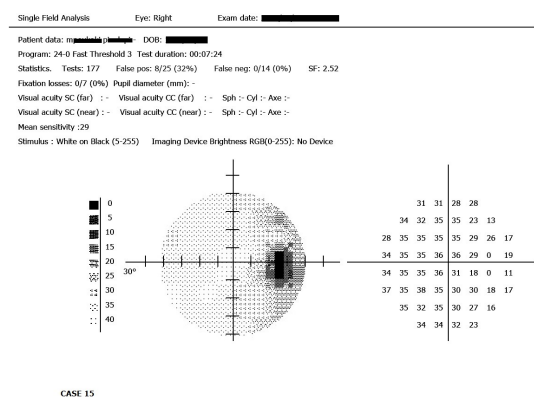
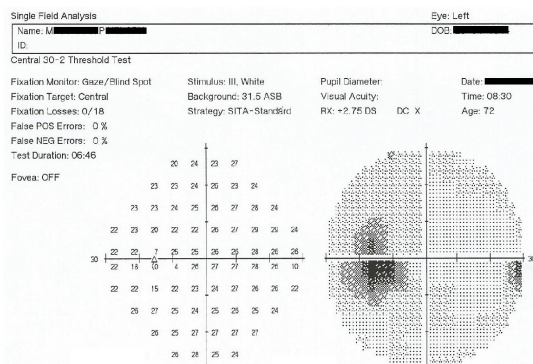
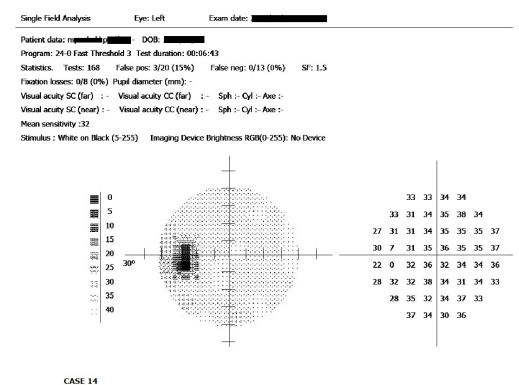
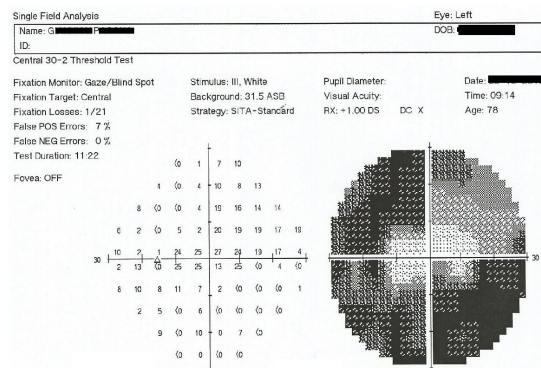
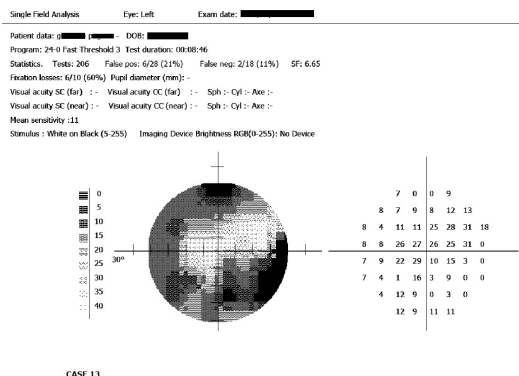
Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και συγκρίθηκαν, σημείο προς σημείο.¹²⁶ Υπολογίσθηκε ο συντελεστής συσχέτισης r (Spearman) ανάμεσα στο οπτικό πεδίο που ελήφθηκε με τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και στο αντίστοιχο που ελήφθηκε με το περίμετρο Humphrey. Ο υπολογισμός έγινε τόσο για κάθε μάτι χωριστά όσο και συνολικά. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Instat version 3.05 της GraphPad Software.

Το οπτικά πεδία που ελήφθησαν με το Humphrey ήταν με το πρόγραμμα 30-2 (30° - 76 σημεία). Μόνο τα κοινά (52 σημεία) ανάμεσα στα δύο προγράμματα ελήφθησαν υπόψιν στην στατιστική ανάλυση.

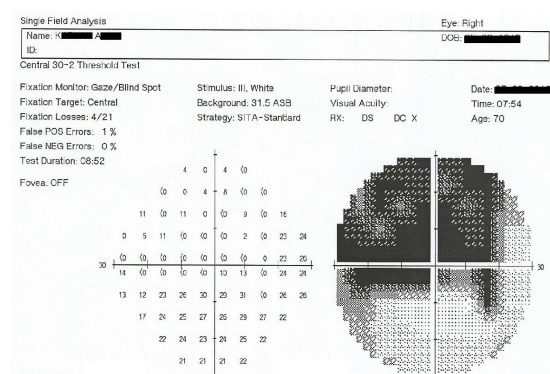
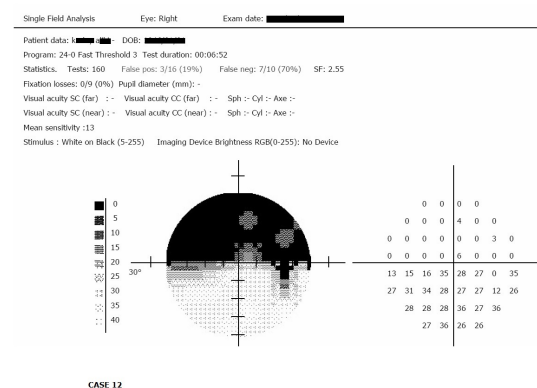
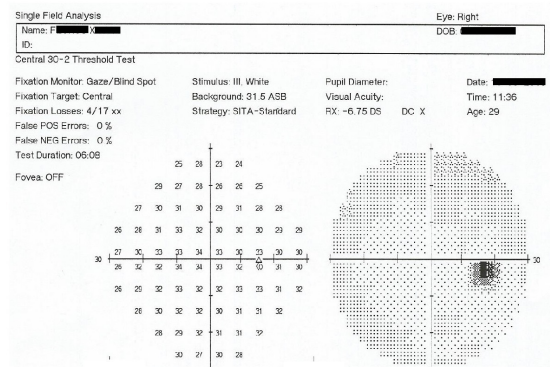
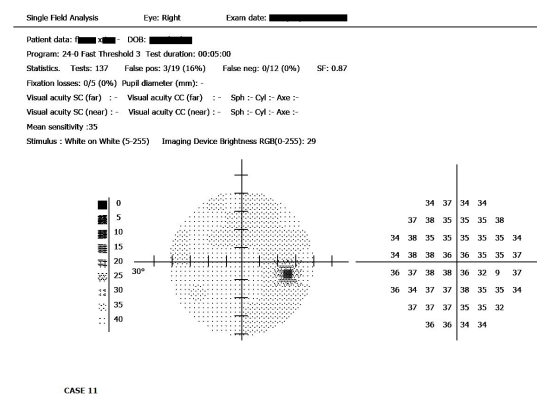
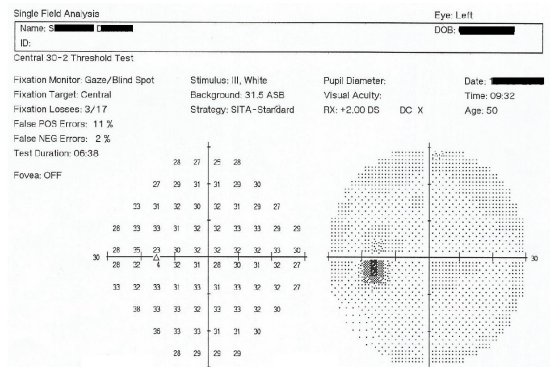
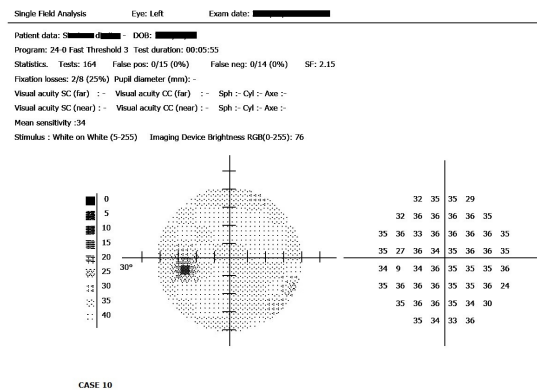
(Εικόνα 26,27,28,29,30,31,32)



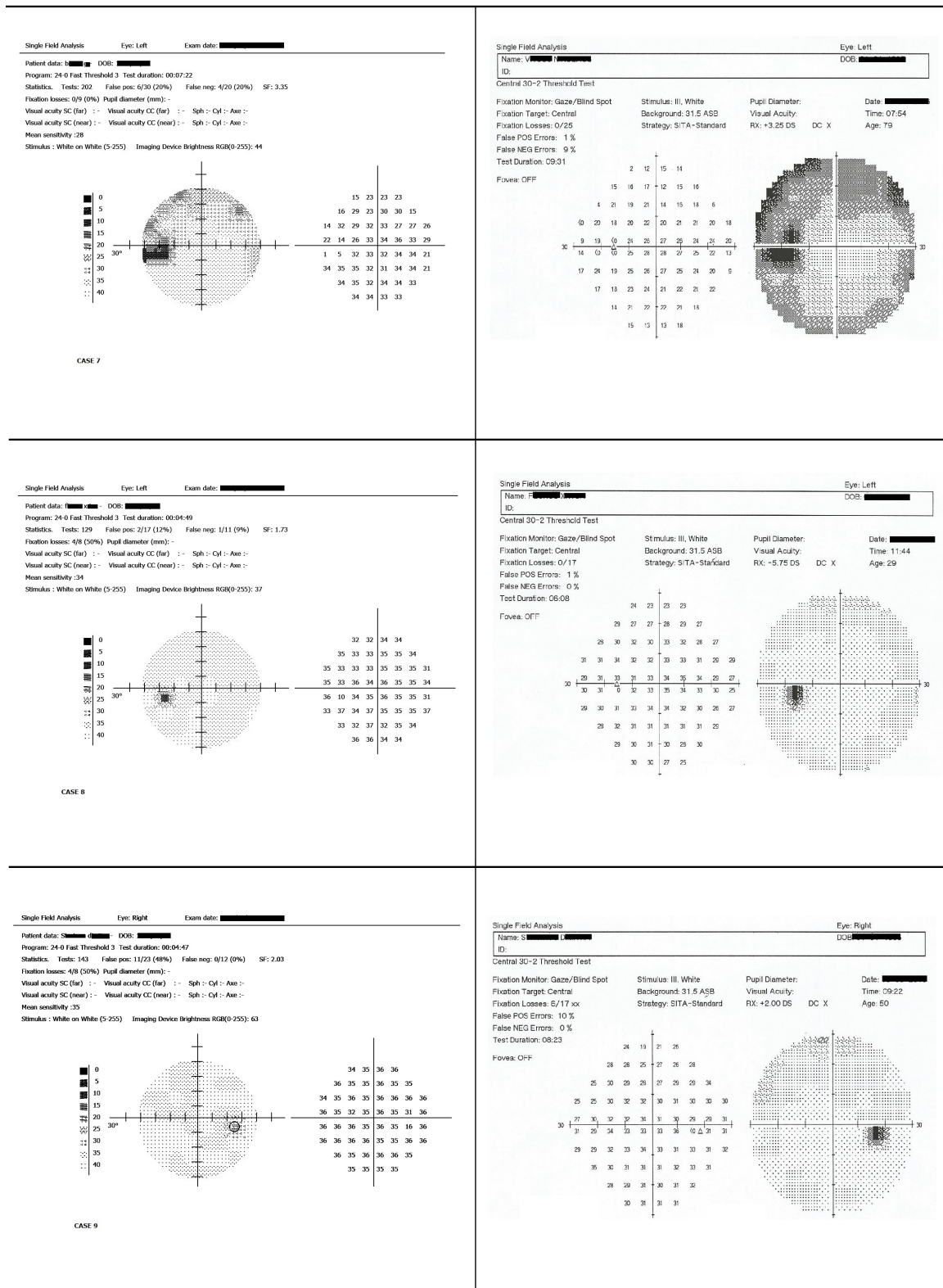
Εικόνα 26. Αποτελέσματα, eye 1, 2, 3



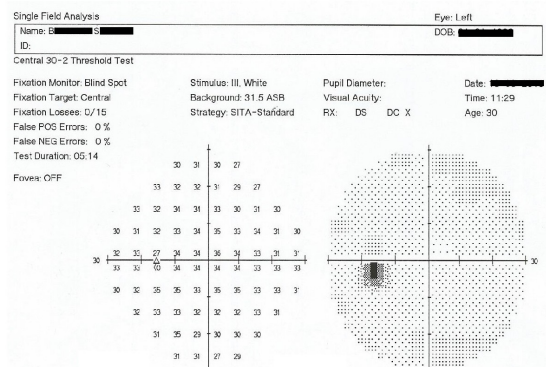
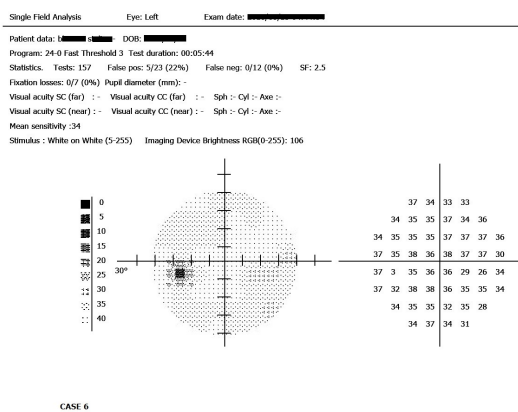
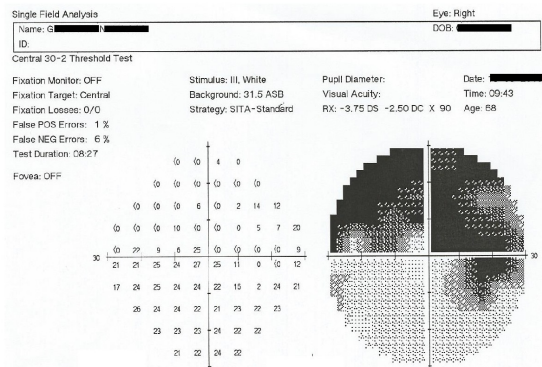
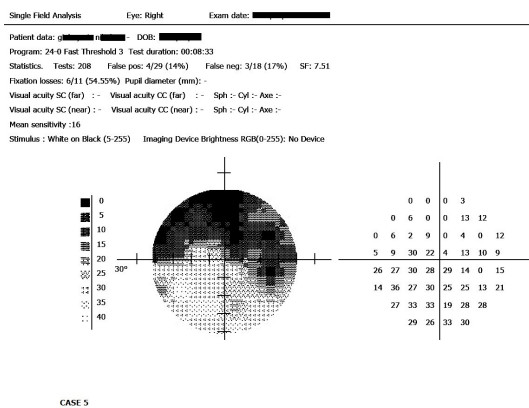
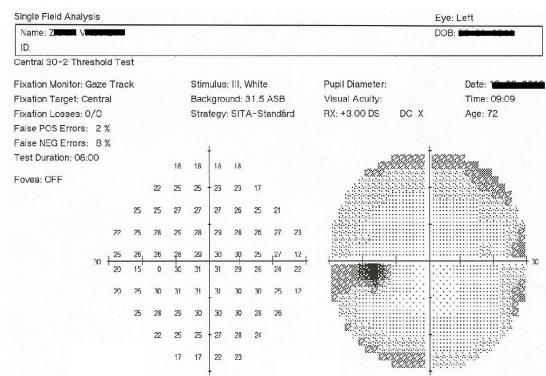
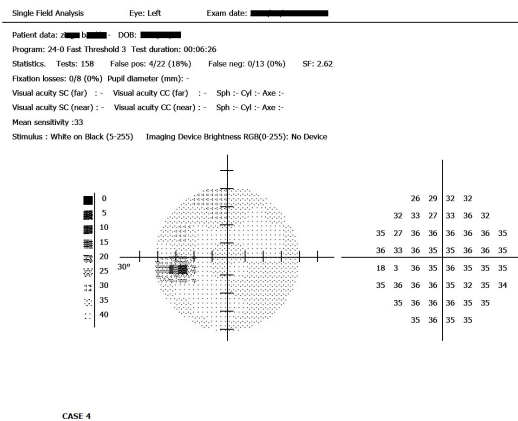
Εικόνα 27. Αποτελέσματα, eye 4, 5, 6



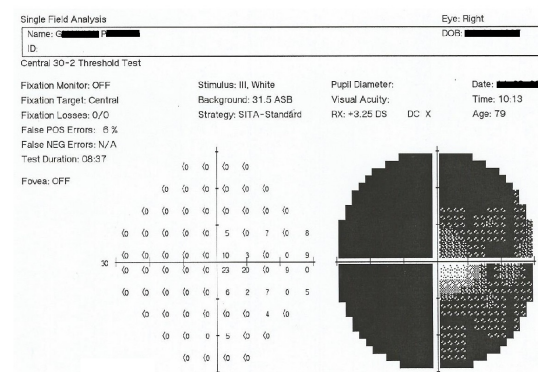
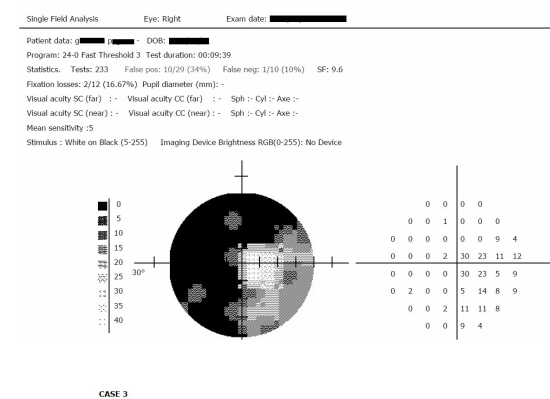
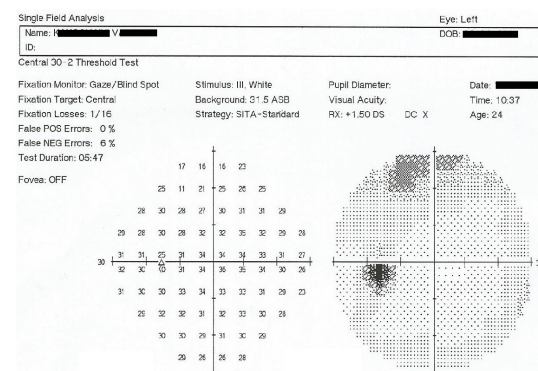
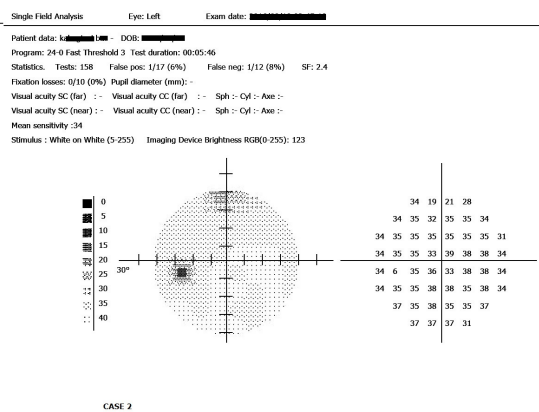
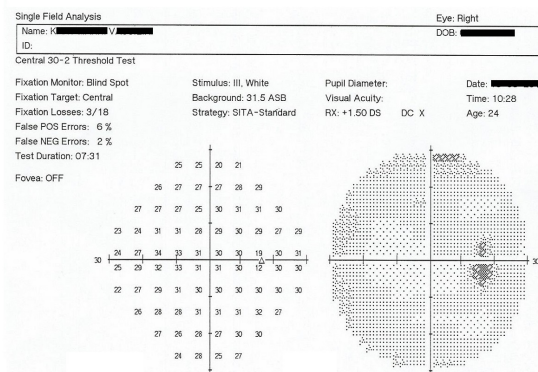
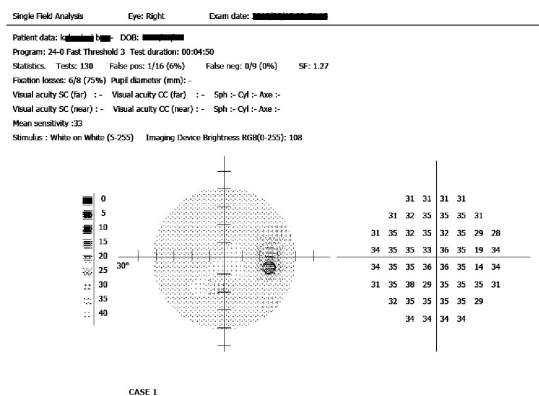
Εικόνα 28. Αποτελέσματα, eye 7, 8, 9



Εικόνα 29. Αποτελέσματα, eye 10, 11, 12



Εικόνα 30. Αποτελέσματα, eye 13, 14, 15



Εικόνα 31. Αποτελέσματα, eye 16, 17, 18

Single Field Analysis Eye: Right Exam date: [REDACTED]

Patient data: [REDACTED] DOB: [REDACTED]

Program: 24-0 Fast Threshold 3 Test duration: 00:08:37

Statistics: Tests: 220 False pos: 11/28 (39%) False neg: 1/18 (6%) SF: 2.52

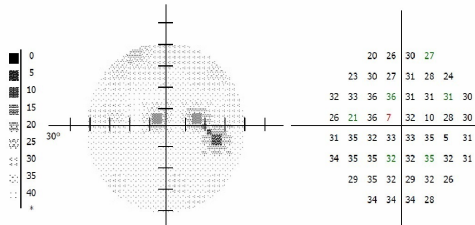
Fixation losses: 2/11 (18.18%) Pupil diameter (mm): -

Visual acuity SC (far) :- Visual acuity CC (far) :- Sph :- Cyl :- Axis :-

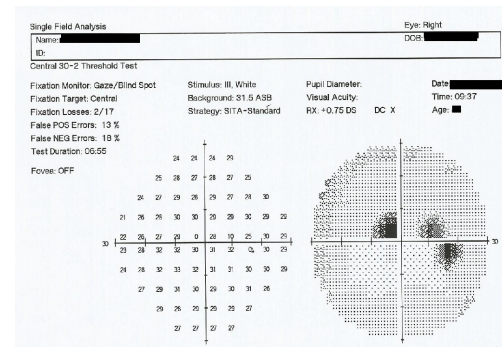
Visual acuity SC (near) :- Visual acuity CC (near) :- Sph :- Cyl :- Axis :-

Mean sensitivity :29 *

Stimulus : White on Black (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): No Device



CASE 19



Single Field Analysis Eye: Right Exam date: [REDACTED]

Patient data: [REDACTED] DOB: [REDACTED]

Program: 24-0 Fast Threshold 3 Test duration: 00:06:50

Statistics: Tests: 164 False pos: 1/20 (5%) False neg: 0/17 (0%) SF: 1.77

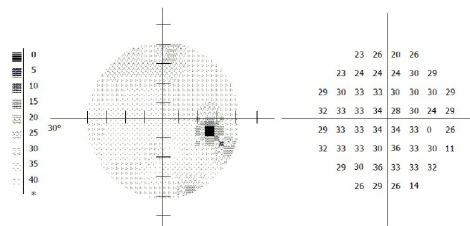
Fixation losses: 0/8 (0%) Pupil diameter (mm): -

Visual acuity SC (far) :- Visual acuity CC (far) :- Sph :- Cyl :- Axis :-

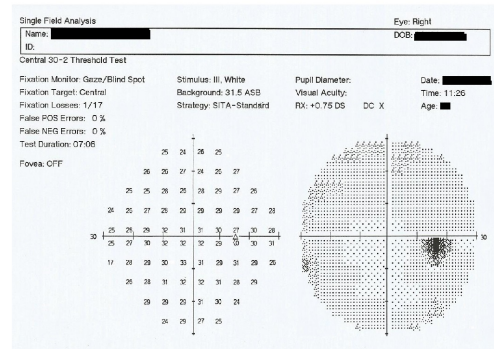
Visual acuity SC (near) :- Visual acuity CC (near) :- Sph :- Cyl :- Axis :-

Mean sensitivity :29 *

Stimulus : White on Black (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): No Device



CASE 20



Εικόνα 32. Αποτελέσματα, eye 19, 20

Αποτελέσματα Πίνακας 2,3

EYE	Correlation coefficient (r)	SD	P (one-tailed)
1	0.736955	6.594795	P<0.0001
2	0.765154	4.90298	P<0.0001
3	0.875855	5.1637	P<0.0001
4	0.792082	2.449182	P<0.0001
5	0.773847	3.754133	P<0.0001
6	0.75502	5.163674	P<0.0001
7	0.865649	2.717742	P<0.0001
8	0.833976	6.698726	P<0.0001
9	0.838132	2.870508	P<0.0001
10	0.766863	5.146533	P<0.0001
11	0.870688	2.422245	P<0.0001
12	0.848471	2.828427	P<0.0001
13	0.850762	2.313561	P<0.0001
14	0.889794	2.154654	P<0.0001
15	0.745111	9.614359	P<0.0001
16	0.829142	3.223862	P<0.0001
17	0.725046	5.796804	P<0.0001
18	0.806027	3.376511	P<0.0001
19	0.879466	3.225733	P<0.0001
20	0.722703	4.385763	P<0.0001

Πίνακας 2. Αποτελέσματα

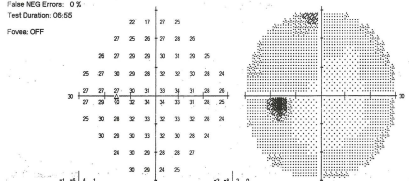
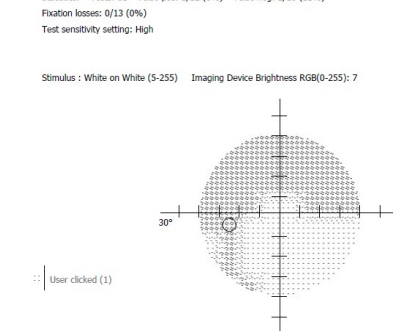
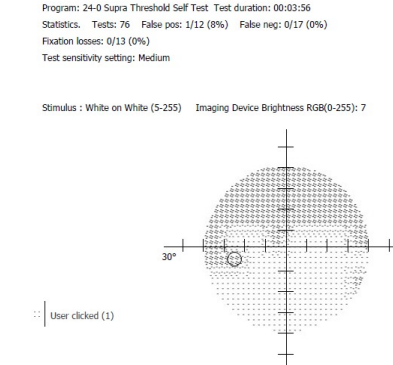
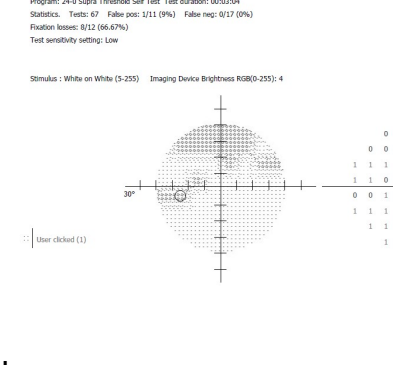
Total Results		
Correlation coefficient (r)	MEAN SD	P(one-tailed)
0.808537	4.19494	P<0.0001

Πίνακας 3. Αποτελέσματα

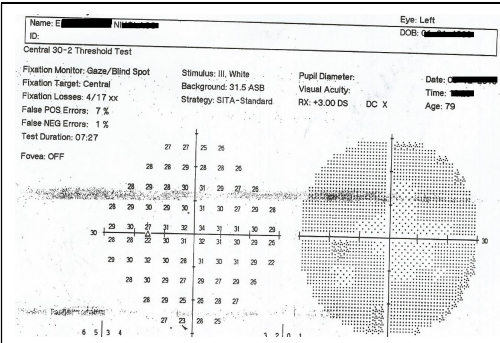
Σε κάθε οφθαλμό και σε όλους τους οφθαλμούς ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μεθόδους ήταν στατιστικά σημαντικός στο $P < 0.0001$.

3.3.2. Υπερουδικός αλγόριθμος

Το λογισμικό που δοκιμάστηκε υλοποιεί ένα υπερουδικό αλγόριθμο κατάγραφής του οπτικού πεδίου, για τις 24° κεντρικές μοίρες, σε τρία επίπεδα ουδού - εξέτασης α) -4db, β) -8b, γ) -12db, από την αναμενόμενη ευαισθησία για την ηλικία. Εξετάσθηκαν 20 μάτια 10 ασθενών, συνολικά 20 μάτια x 52 (σημεία ανά τέστ) = 1040 σημεία οπτικών πεδίων, τα οποία συγκρίθηκαν σημείο προς σημείο με τα αντίστοιχα που ελήφθησαν για τους ίδιους ασθενείς με το περίμετρο Humphrey.¹²⁷ Οι ασθενείς εξετάσθηκαν τυχαία, με τη σειρά που παρουσιάστηκαν. Τα τέστ που έγιναν με το σύστημα τον υπερουδικό αλγόριθμο ήταν για τις 24° κεντρικές μοίρες (52 σημεία) ενώ τα τεστ με περίμετρο Humphrey ήταν για τις 30° κεντρικές μοίρες (76 σημεία) γιατί οι ασθενείς εξετάζονταν με το Humphrey κατά τη προγραμματισμένη τους εξέταση. Μόνο τα κοινά (52) σημεία ελήφθησαν υπόψιν για τη σύγκριση. Εικόνα 33-52.

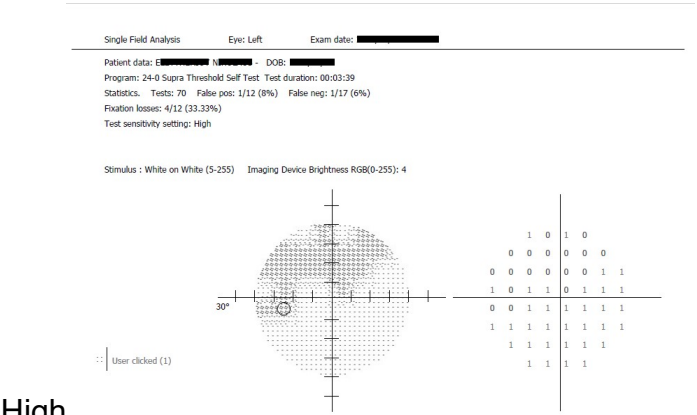
Single Field Analysis Eye: Left Exam date: [REDACTED] Patient data: [REDACTED] - DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:03:37 Statistics: Tests: 81 False pos: 1/12 (8%) False neg: 2/18 (11%) Fixation losses: 0/13 (0%) Test sensitivity setting: High Stimulus : White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): 7  Humphrey	Single Field Analysis Eye: Left Exam date: [REDACTED] Patient data: [REDACTED] - DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:03:56 Statistics: Tests: 76 False pos: 1/12 (8%) False neg: 0/17 (0%) Fixation losses: 0/13 (0%) Test sensitivity setting: Medium Stimulus : White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): 7  High
Eye 1/20 Τέστ Humphrey (αριστερά) συγκρινόμενο με τα αντίστοιχα υπερουδικά τέστ οπτικού πεδίου σε α) υψηλή, β) μέση και γ) χαμηλή ευαισθησία (-12 dB το πιό φωτεινό ερέθισμα). Οσο το πιό φωτεινό γίνεται το ερέθισμα τόσο ο αριθμός των θετικών απαντήσεων αυξάνεται.	Single Field Analysis Eye: Left Exam date: [REDACTED] Patient data: [REDACTED] - DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:03:54 Statistics: Tests: 67 False pos: 1/11 (9%) False neg: 0/17 (0%) Fixation losses: 8/12 (66.67%) Test sensitivity setting: Low Stimulus : White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): 4  Medium
	Single Field Analysis Eye: Left Exam date: [REDACTED] Patient data: [REDACTED] - DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:03:54 Statistics: Tests: 67 False pos: 1/11 (9%) False neg: 0/17 (0%) Fixation losses: 8/12 (66.67%) Test sensitivity setting: Low Stimulus : White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255): 4  Low

Εικόνα 33. Eye 1/20

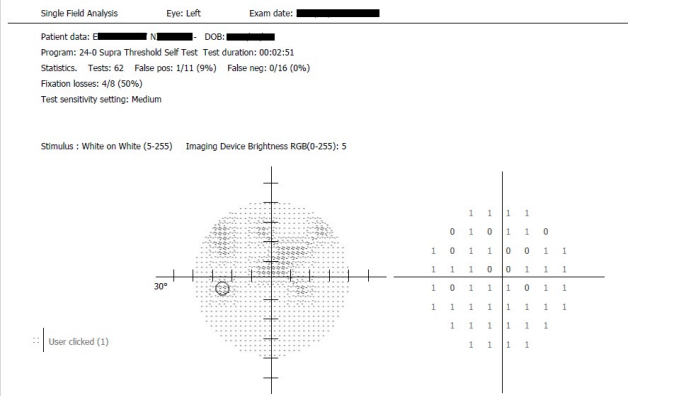


Humphrey

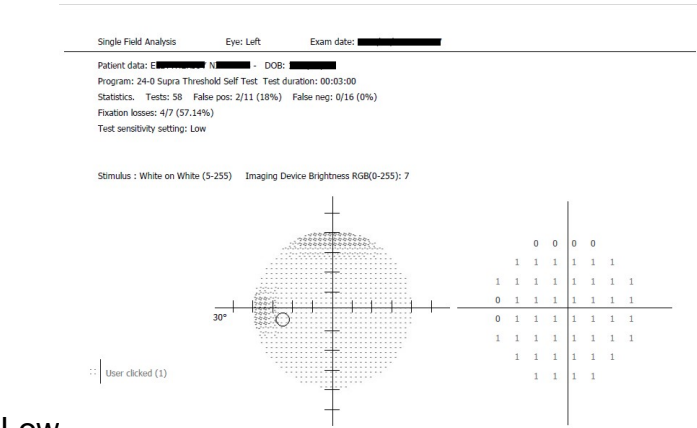
Eye 2/20



High

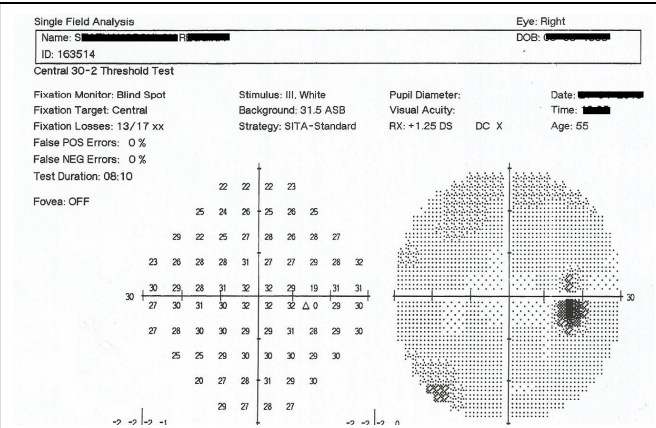


Medium

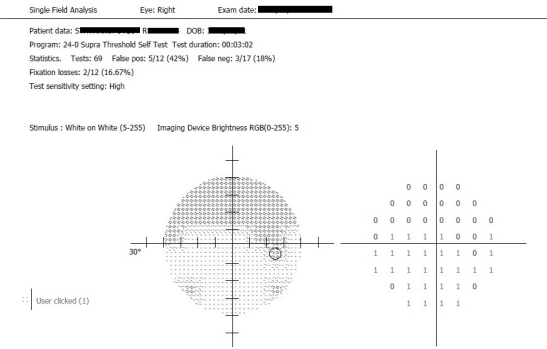


Low

Εικόνα 34. Eye 2/20

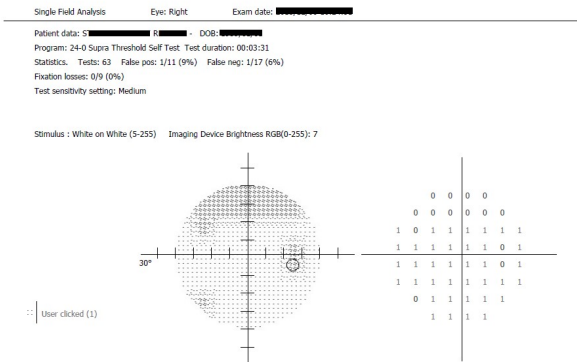


Humphrey

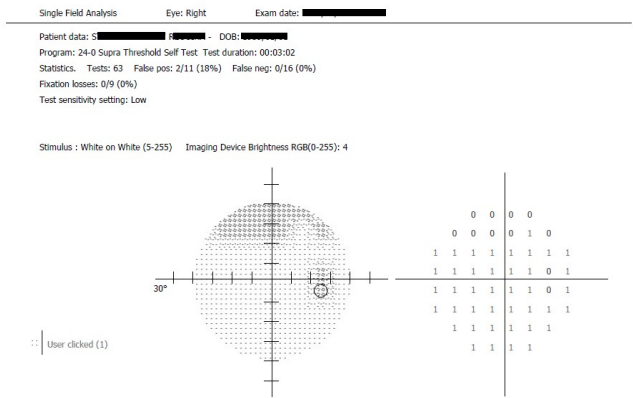


High

Eye 3/20

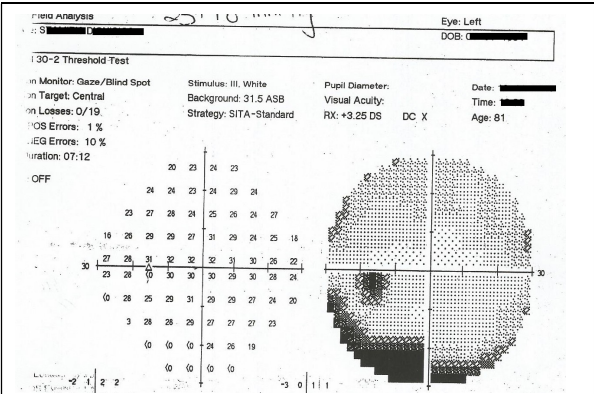


Medium

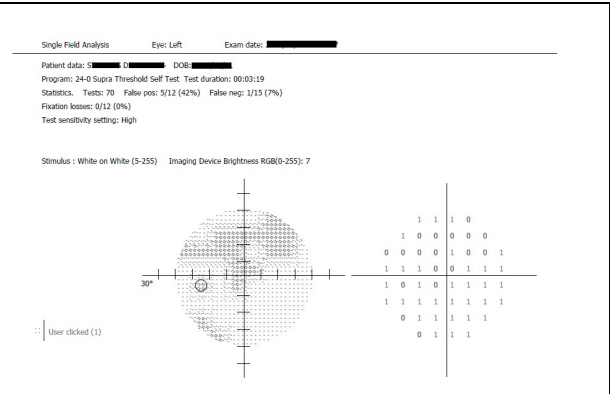


Low

Εικόνα 35. Eye 3/20

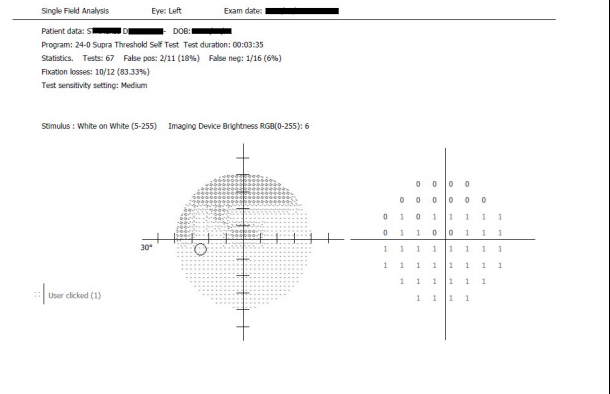


Humphrey

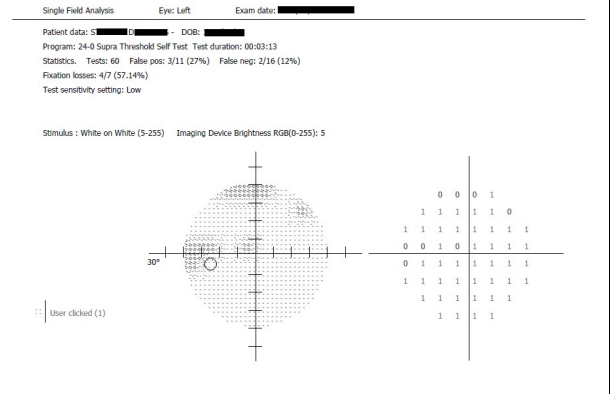


High

Eye 4/20

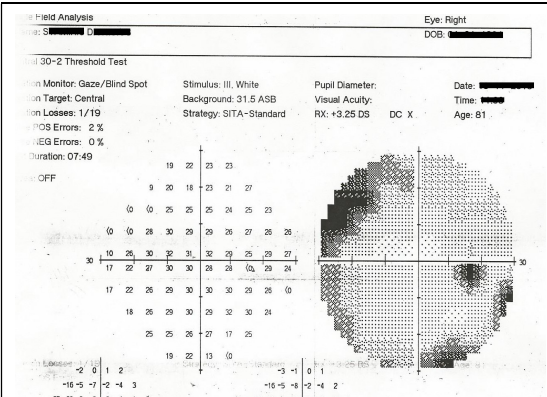


Medium

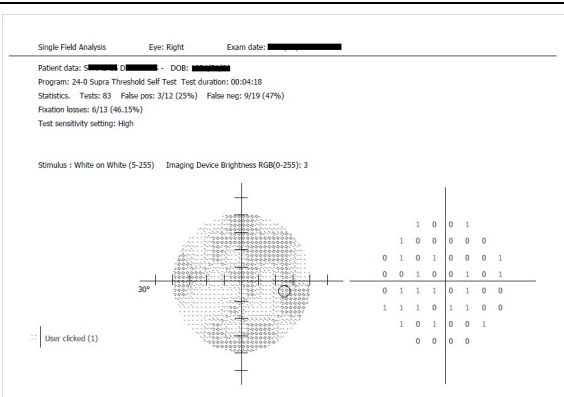


Low

Εικόνα 36. Eye 4/20

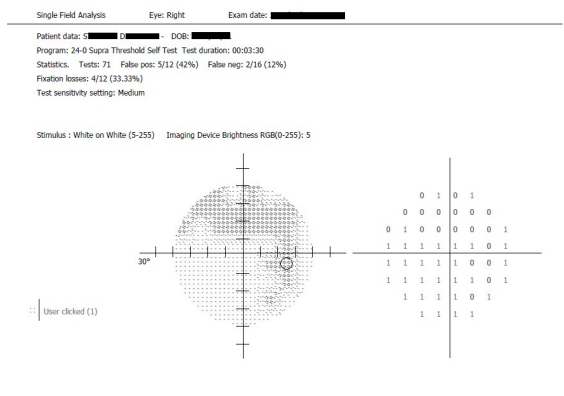


Humphrey

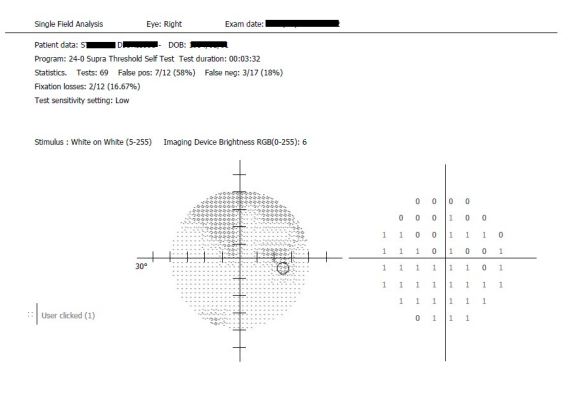


High

Eye 5/20

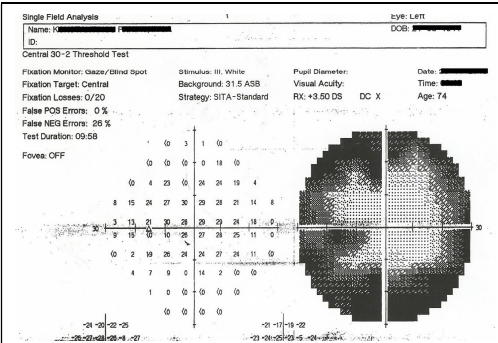


Medium

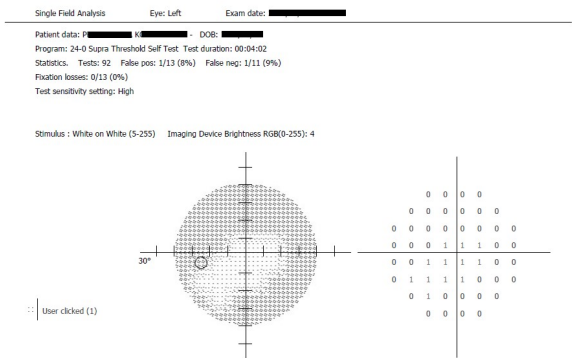


Low

Εικόνα 37. Eye 5/20

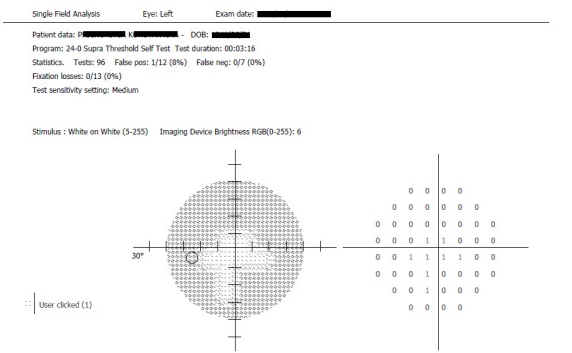


Humphrey

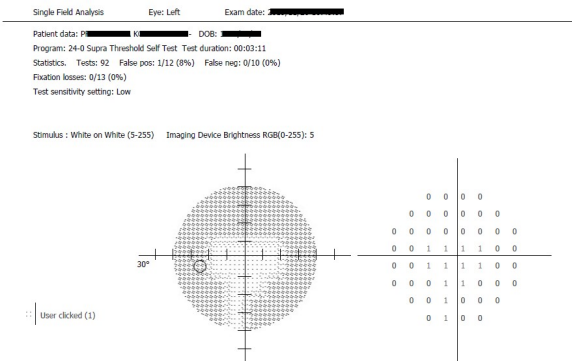


High

Eye 6/20

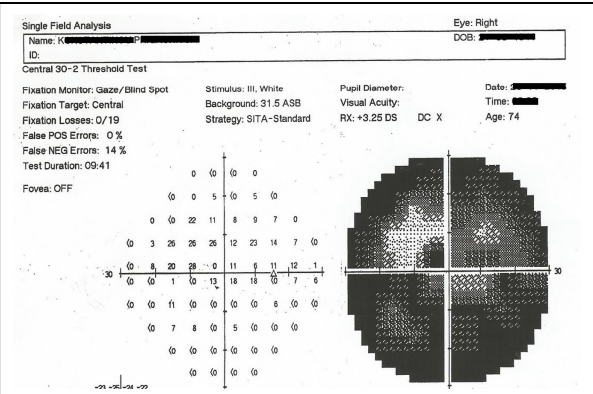


Medium

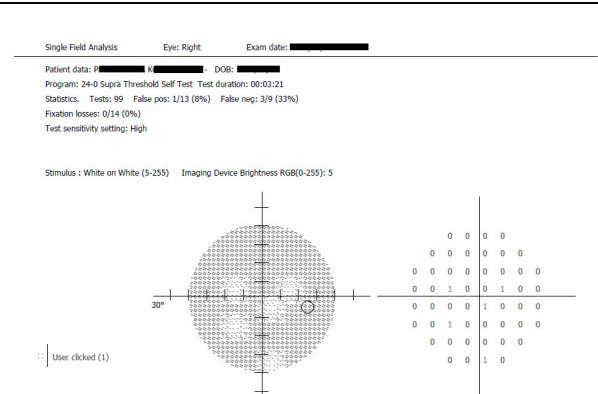


Low

Εικόνα 38. Eye 6/20

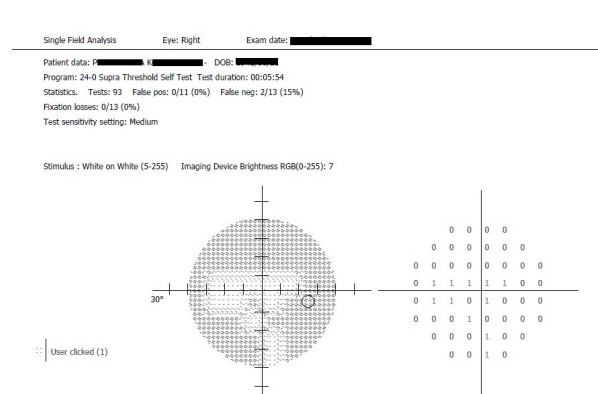


Humphrey

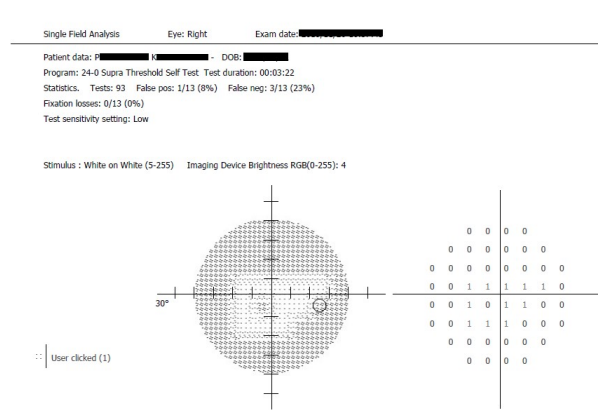


High

Eye 7/20

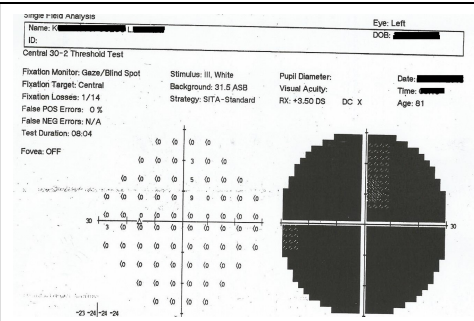


Medium

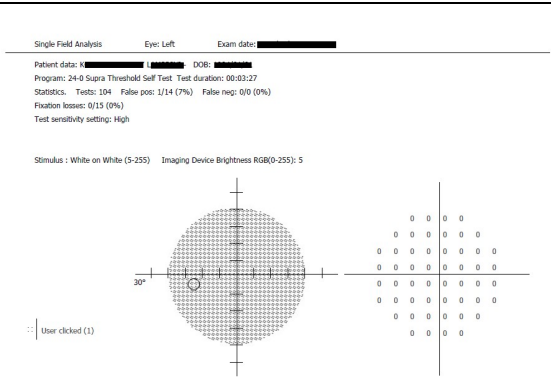


Low

Εικόνα 39. Eye 7/20

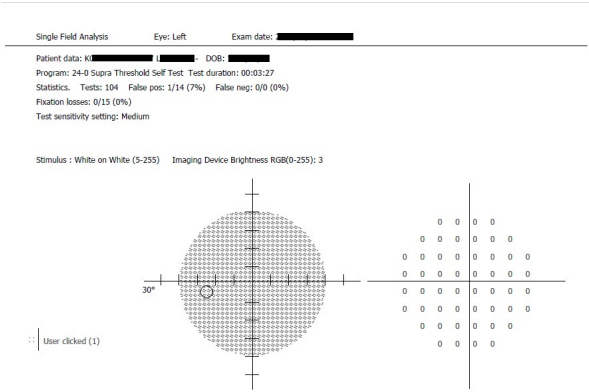


Humphrey

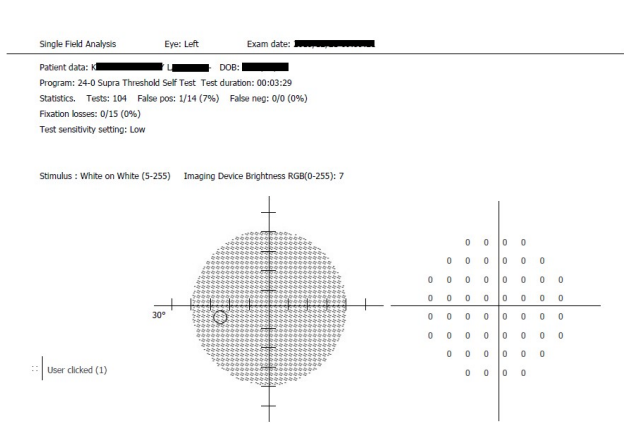


High

Eye 8/20

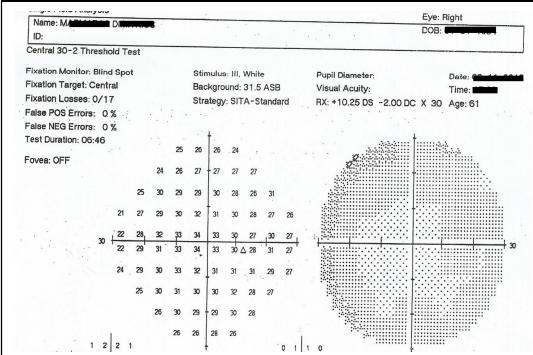


Medium

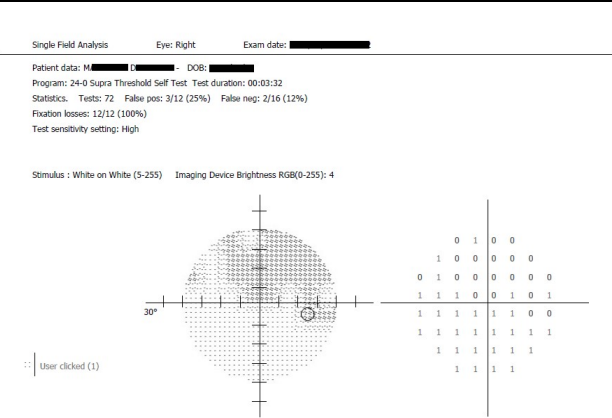


Low

Εικόνα 40. Eye 8/20

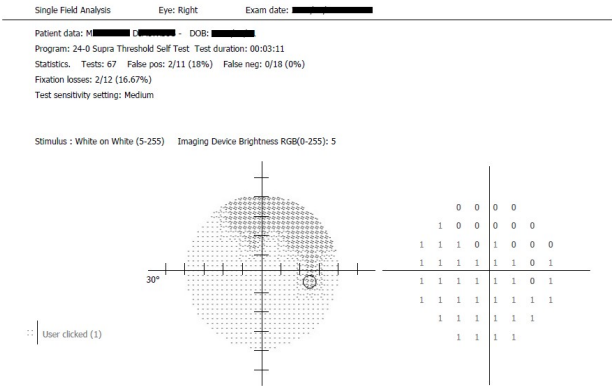


Humphrey

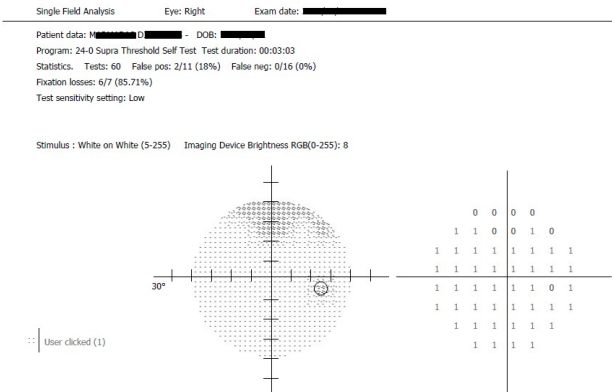


High

Eye 9/20

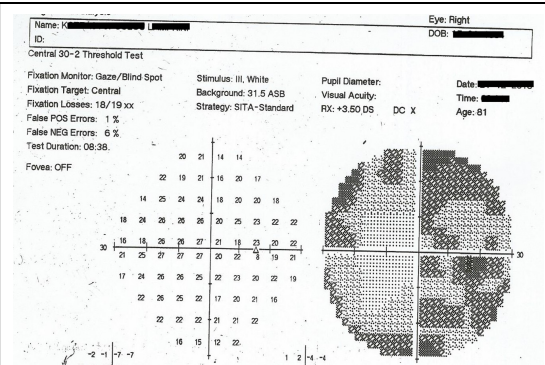


Medium

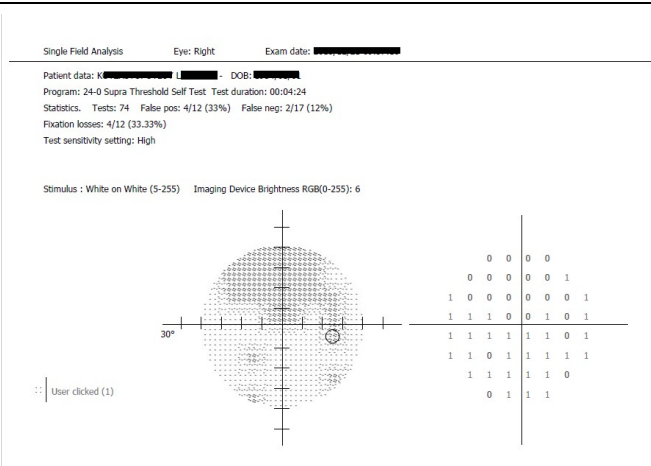


Low

Εικόνα 41. Eye 9/20

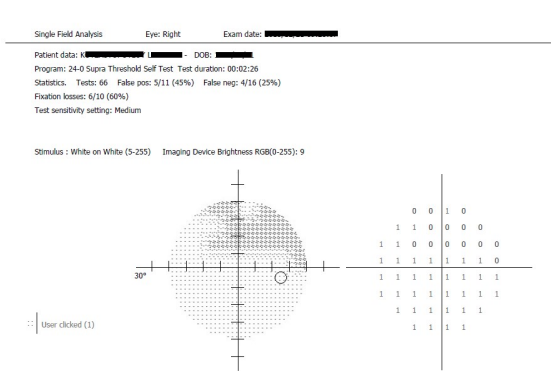


Humphrey

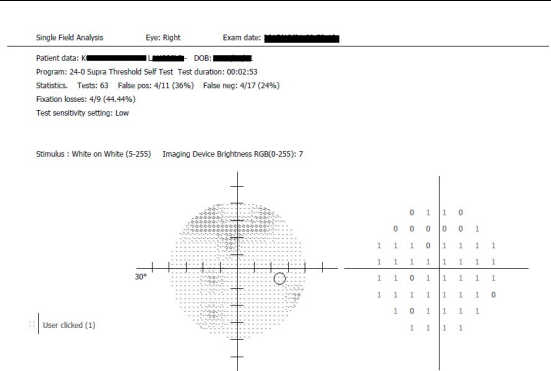


High

Eye 10/20

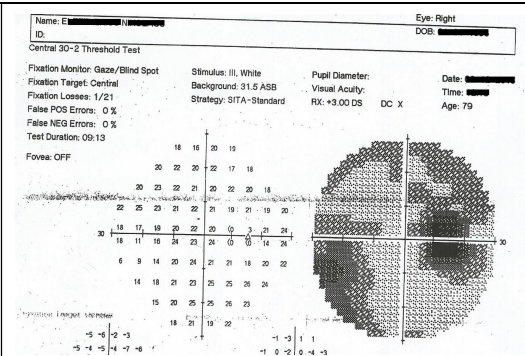


Medium

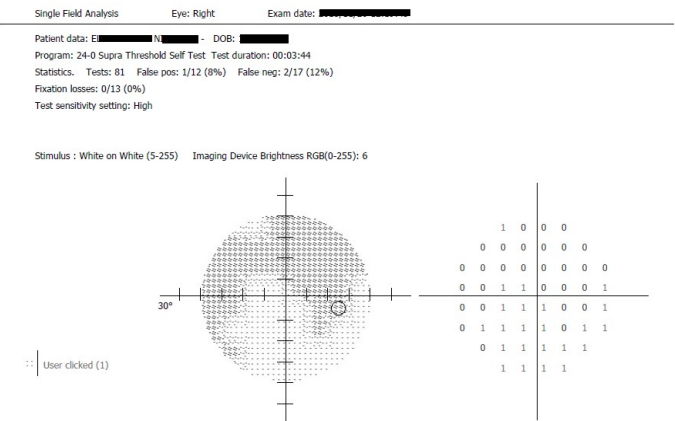


Low

Εικόνα 42. Eye 10/20

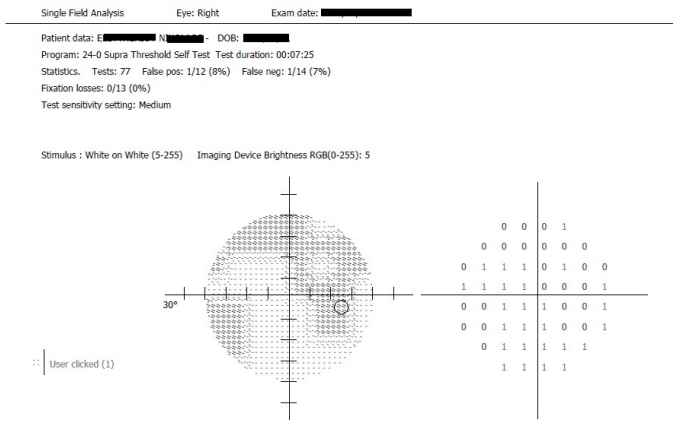


Humphrey

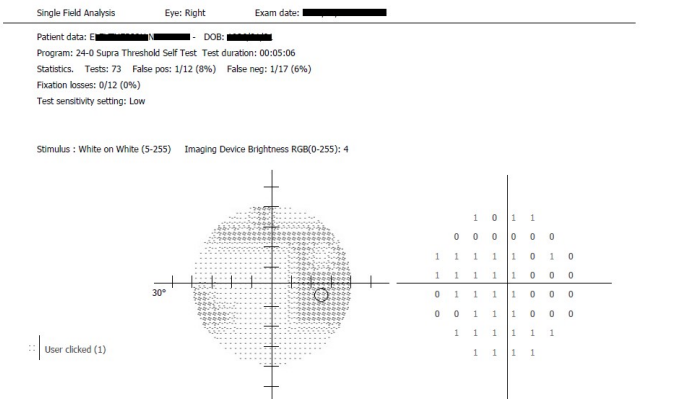


High

Eye 11/20

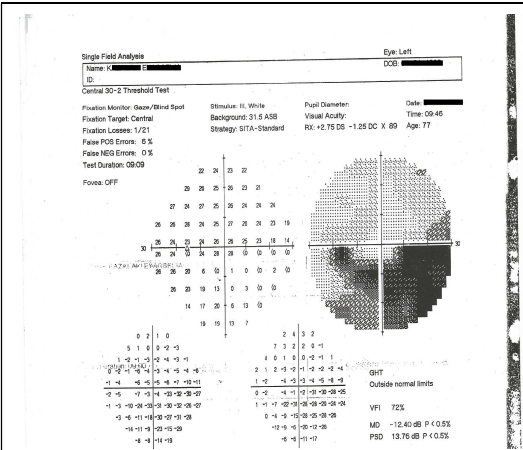


Medium

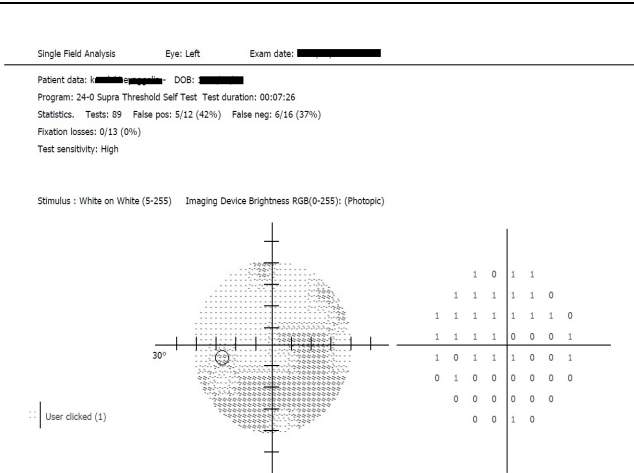


Low

Εικόνα 43. Eye 11/20

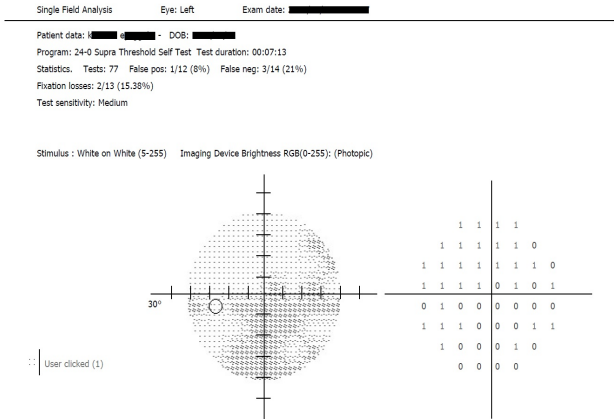


Humphrey

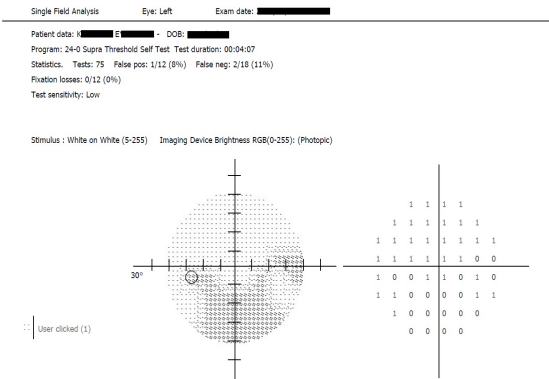


High

Eye 12/20

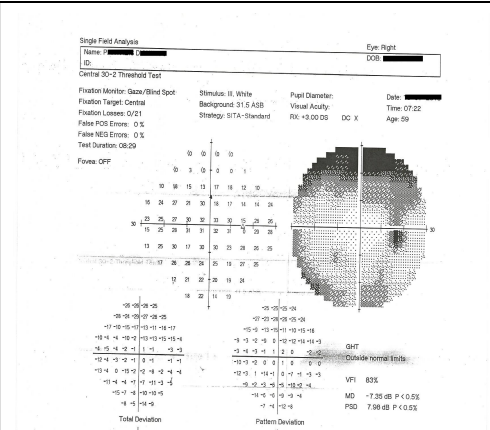


Medium

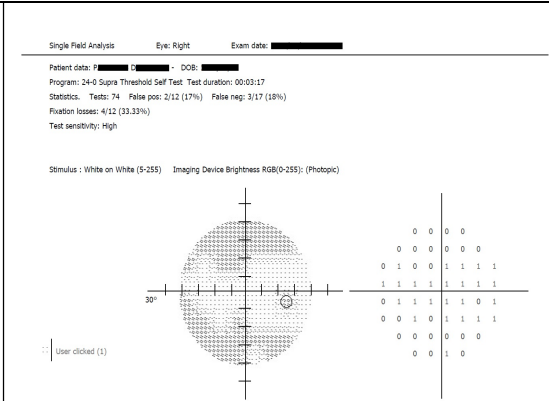


Low

Εικόνα 44. Eye 12/20

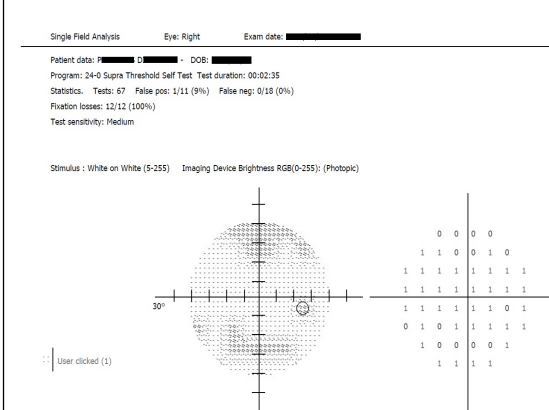


Humphrey

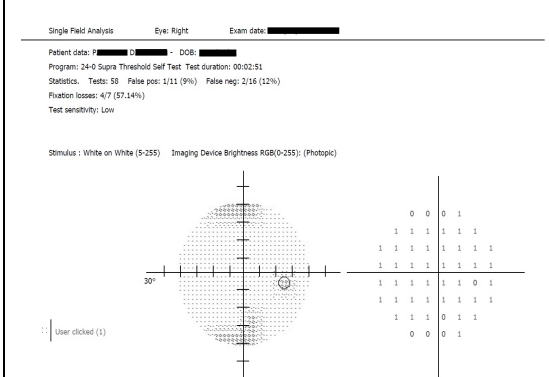


High

Eye 13/20

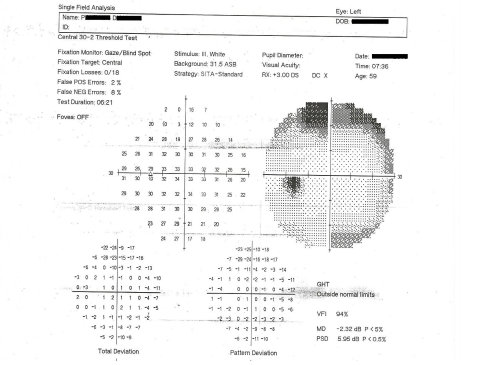
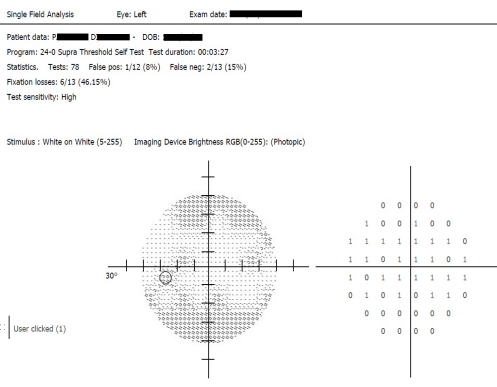
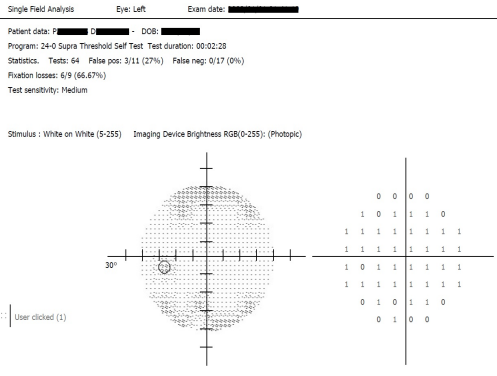
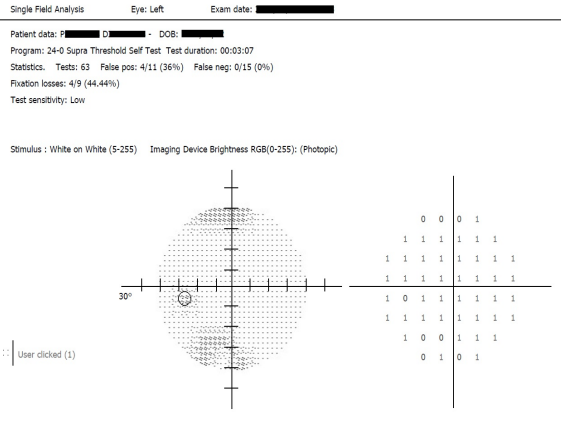


Medium

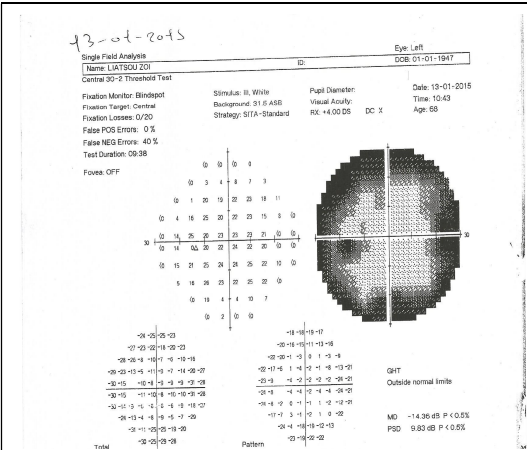


Low

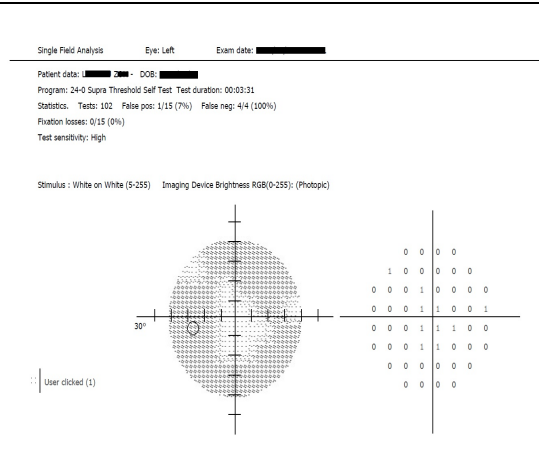
Εικόνα 45. Eye 13/20

 Humphrey	 High
Eye 14/20	 Medium
	 Low

Εικόνα 46. Eye 14/20

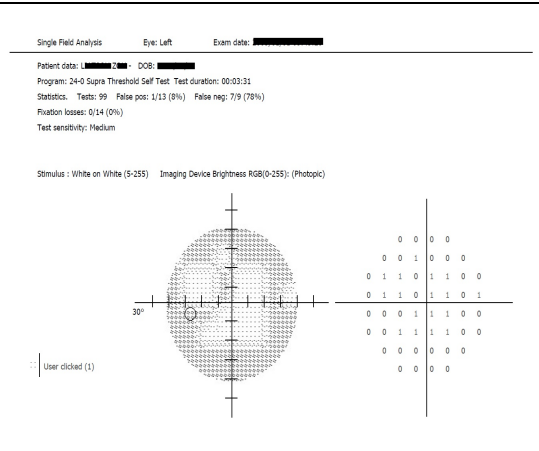


Humphrey

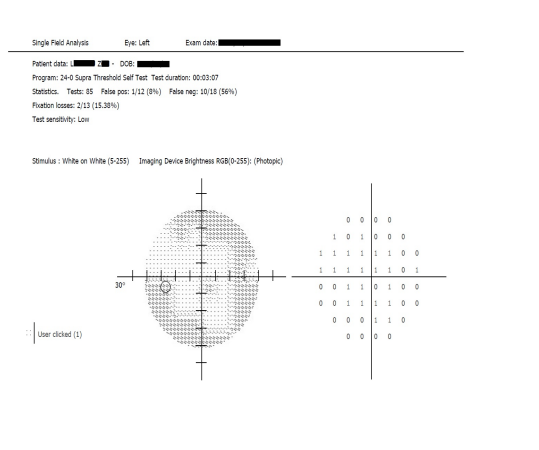


High

Eye 15/20

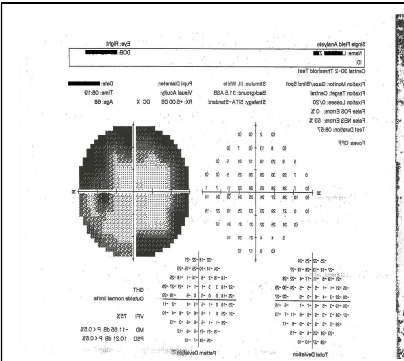


Medium

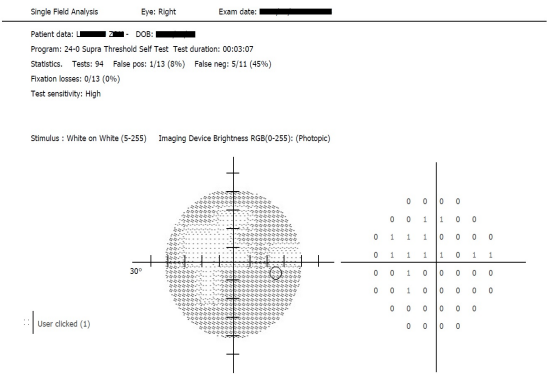


Low

Εικόνα 47. Eye 15/20

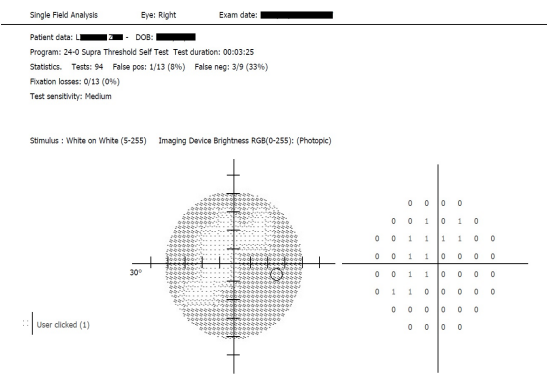


Humphrey

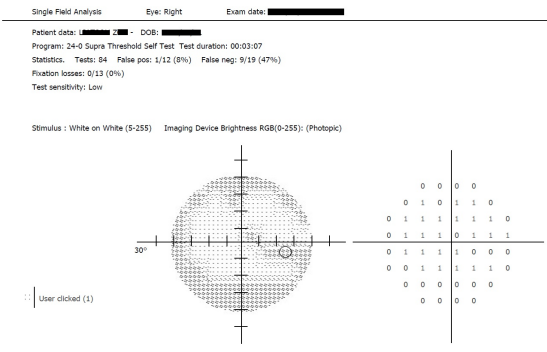


High

Eye 16/20

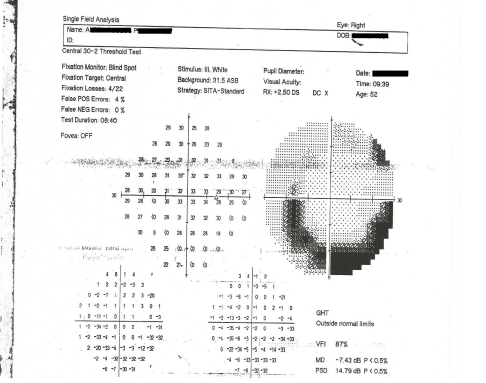
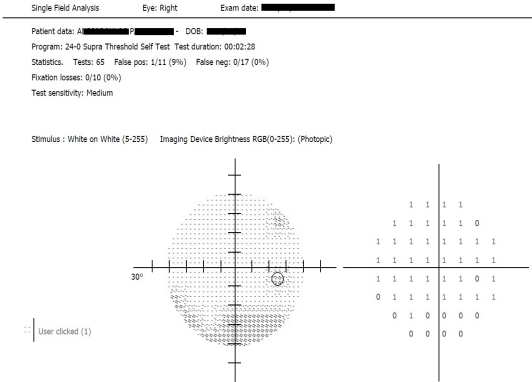
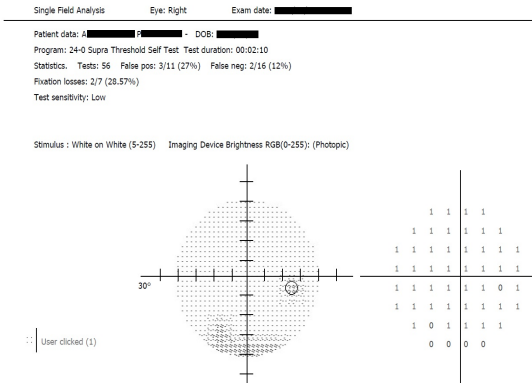


Medium

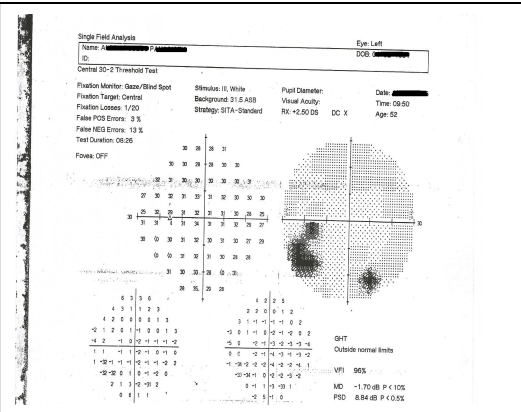


Low

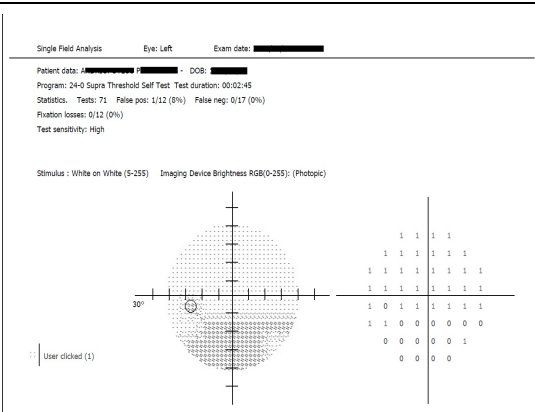
Εικόνα 48. Eye 16/20

 Single Field Analysis Eye: Right Exam date: [REDACTED] Patient data: A [REDACTED] P [REDACTED] DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:02:27 Statistics: Tests: 66 False pos: 2/11 (3%) False neg: 1/17 (6%) Fixation losses: 0/10 (0%) Test sensitivity: High Stimulus: White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255); (Photopic)	Humphrey
Eye 17/20	 Single Field Analysis Eye: Right Exam date: [REDACTED] Patient data: A [REDACTED] P [REDACTED] DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:02:28 Statistics: Tests: 65 False pos: 1/11 (9%) False neg: 0/17 (0%) Fixation losses: 0/10 (0%) Test sensitivity: Medium Stimulus: White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255); (Photopic)
	Medium  Single Field Analysis Eye: Right Exam date: [REDACTED] Patient data: A [REDACTED] P [REDACTED] DOB: [REDACTED] Program: 24-0 Supra Threshold Self Test Test duration: 00:02:10 Statistics: Tests: 56 False pos: 3/11 (27%) False neg: 2/16 (12%) Fixation losses: 2/7 (28.57%) Test sensitivity: Low Stimulus: White on White (5-255) Imaging Device Brightness RGB(0-255); (Photopic)
	Low

Εικόνα 49. Eye 17/20

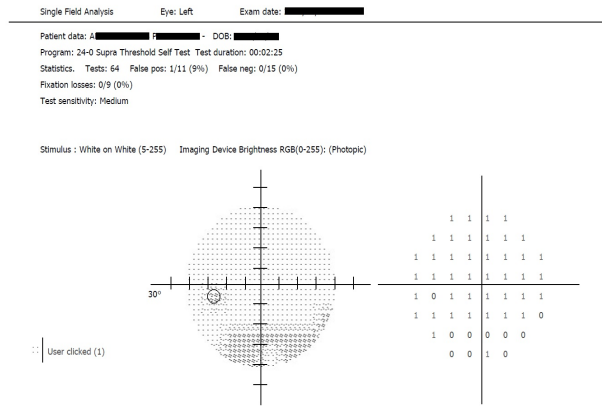


Humphrey

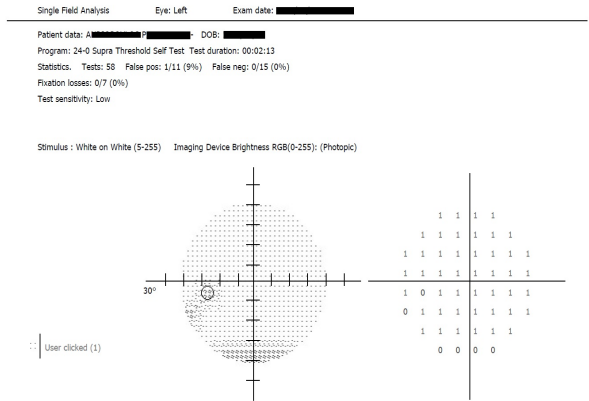


High

Eye 18/20

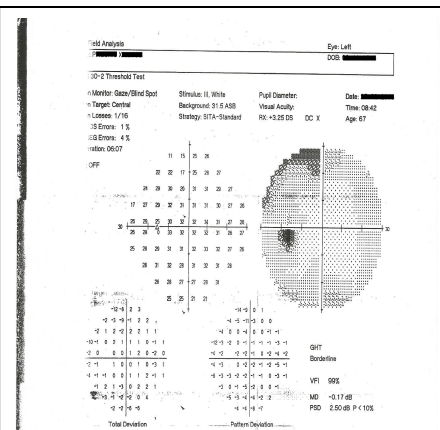


Medium

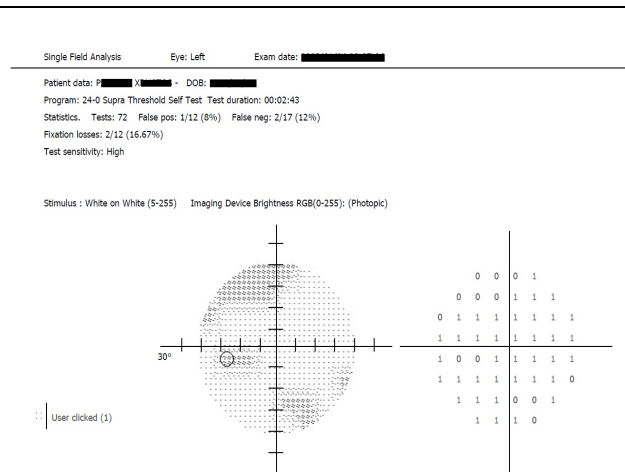


Low

Εικόνα 50. Eye 18/20

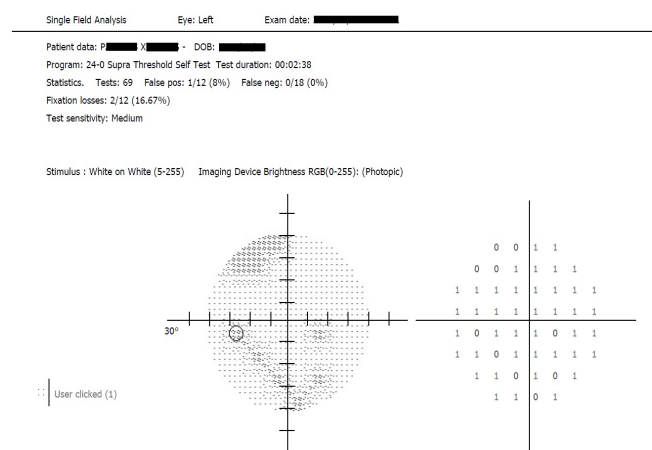


Humphrey

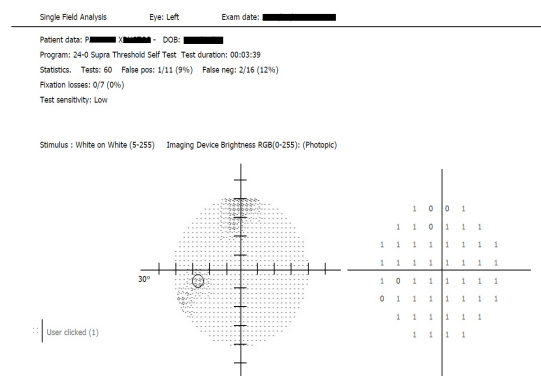


High

Eye 19/20

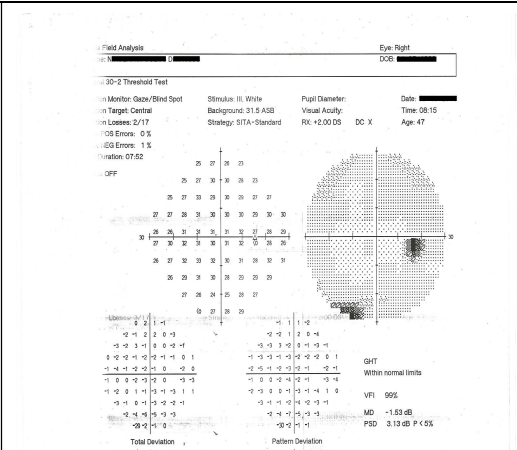


Medium

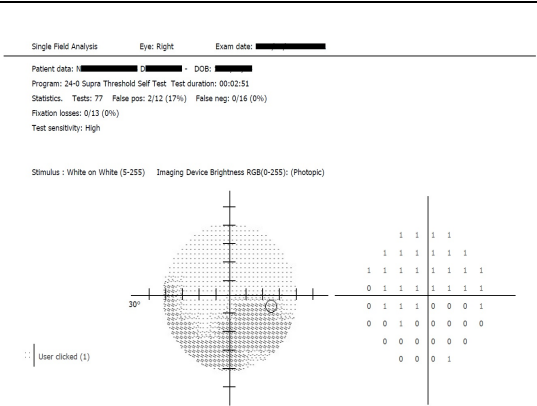


Low

Εικόνα 51. Eye 19/20

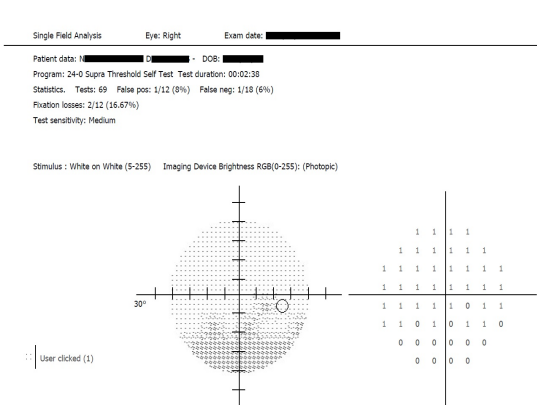


Humphrey

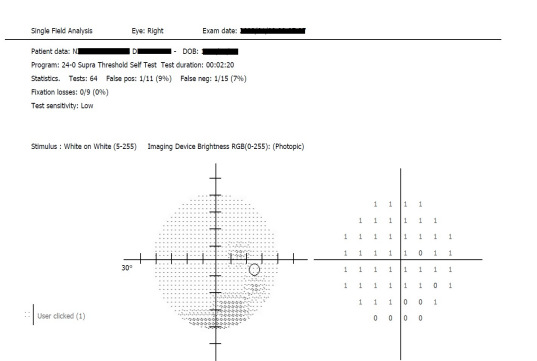


High

Eye 20/20



Medium



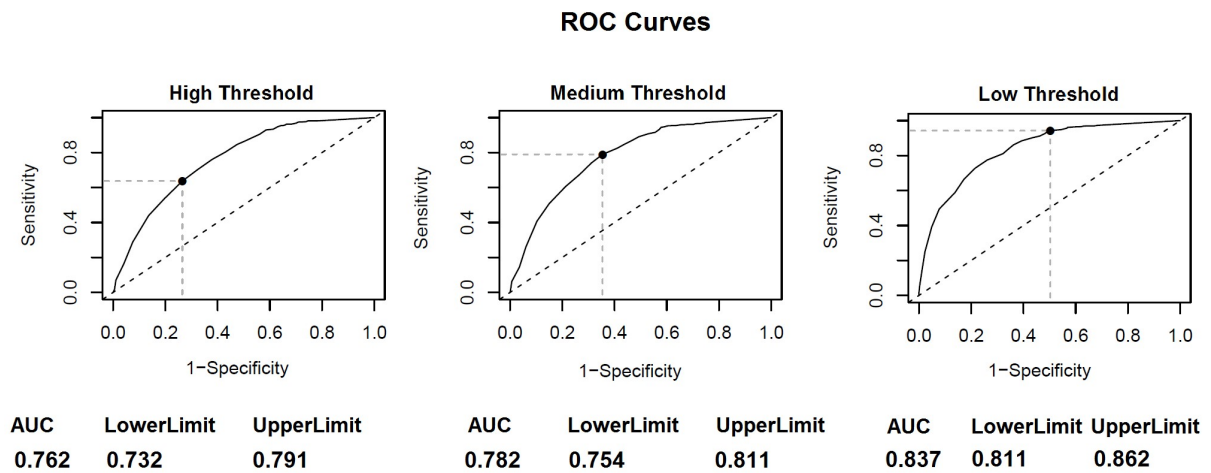
Low

Εικόνα 52. Eye 20/20

Τα αποτελέσματα από τα υπερουδικά τέστ οπτικού πεδίου ήταν δυαδικά (ναί/όχι) ενώ τα αποτελέσματα από τα τέστ Humprey ήταν συνεχή με τιμές 0 έως 40 dB. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη ROC.^{128,129} Η καμπύλη ROC (receiver operating characteristics) είναι μία γραφική προσέγγιση που αξιολογεί την απόδοση ενός δυαδικού διαγνωστικού συστήματος ταξινόμησης, σε όλο το εύρος του λειτουργίας του, με βάση τη γραφική του παράσταση και απεικονίζει το σύνολο όλων των δυνατών ζευγών FPR (*false positive ratio*) και TPR (*true positive ratio*) που μπορεί να ληφθούν, ανάλογα με την επιλογή του σημείου απόφασης/αποκοπής. Οι καμπύλες ROC χρησιμοποιούνται ευρέως στη διαγνωστική ιατρική ενώ πρόσφατα έχουν υιοθετηθεί στους τομείς της Μηχανικής μάθησης.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και υπολογίστηκαν: α) οι καμπύλες ROC για κάθε επίπεδο ουδού-εξέτασης, όπως β) ο γενικευμένος δείκτης Youden και γ) το βέλτιστο σημείο αποκοπής για κάθε καμπύλη, χρησιμοποιώντας το easyROC, το οποίο είναι ένα αλληλεπιδραστικό εργαλείο ανοικτού κώδικα για την ανάλυση ROC καμπυλών, κατασκευασμένο στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού R.¹³⁰ Το easyROC χρησιμοποιεί το πακέτο λογισμικού 'OptimalCutpoints' για να καθορίσει τη τιμή των σημείων αποκοπής για διαγνωστικά τέστ.¹³¹ (Εικόνα 8) Ο δείκτης Youden (J) είναι ένας στατιστικός δείκτης που χαρακτηρίζει διχοτομικά διαγνωστικά τεστ, ισούται με $J = \text{sensitivity} + \text{specificity} - 1$ και δείχνει συνολικά την απόδοση ενός διαγνωστικού τεστ. Η τιμή του δείκτη μεταβάλλεται από 0 ως 1 (συμπεριλαμβανόμενου). Μία τιμή 1 δείχνει ότι δεν υπάρχουν ψευδώς θετικά ή ψευδώς αρνητικά, οπότε ένα τέτοιο διαγνωστικό τέστ θα ήταν τέλειο, αντίθετα μία τιμή ίση με 0 δείχνει ότι ένα διαγνωστικό τεστ δίνει την ίδια αναλογία θετικών αποτελεσμάτων για ομάδες με και χωρίς τη νόσο, οπότε ένα τέτοιο τεστ δεν θα ήταν χρήσιμο. Ο δείκτης δίνει την ίδια βαρύτητα σε ψευδώς θετικά και ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα, έτσι όλα τα τεστ με την ίδια τιμή του δείκτη έχουν την ίδια αναλογία λανθασμένης ταξινόμησης των αποτελεσμάτων. Εάν μία ταξινόμηση παράγει μόνο ψευδώς θετικά ή μόνο ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα, μία τιμή του δείκτη κάτω από το 0 δείχνει ότι η ετικέτες μεταξύ ψευδών θετικών και ψευδώς αρνητικών έχουν αντιστραφεί. Όταν διορθωθούν οι ετικέτες το αποτέλεσμα θα είναι μεταξύ 0 και 1. Ο δείκτης συνήθως υπολογίζεται σε σχέση με την καμπύλη ROC. Ο δείκτης υπολογίζεται για όλα τα σημεία της καμπύλης και η μέγιστη τιμή του δείκτη χρησιμοποιείται σαν

κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου σημείου αποκοπής για ένα διαγνωστικό
 τέστ.^{132,133} Εικόνα 53.



Εικόνα 53. Καμπύλες ROC για κάθε επίπεδο ουδού – εξέτασης.

Τα συνολικά αποτελέσματα (όλα $p < 0.001$) δείχνουν ότι η περιοχή κάτω από τη
 καμπύλη ROC (Area under the curve – AUC) ήταν: 0.762 για το υψηλό επίπεδο
 οδού εξέτασης, 0.782 για το μέσο επίπεδο και 0.837 για το χαμηλό επίπεδο.

Τα στατιστικά αποτελέσματα (όλα $p < 0.001$) ήταν: (Πίνακας 4, 5)

High Threshold			
Cut-off method: Generalized Youden Index Optimal cut-off point: 28			
	Value	Lower Limit	Upper Limit
Sensitivity	0.637	0.592	0.680
Specificity	0.735	0.696	0.771
Positive Predictive Value	0.675	0.632	0.715
Negative Predictive Value	0.701	0.660	0.740
Positive Likelihood Ratio	2.401	2.059	2.800
Negative Likelihood Ratio	0.494	0.435	0.562
Medium Threshold			
Cut-off method: Generalized Youden Index Optimal cut-off point: 25			
Sensitivity	0.790	0.755	0.822
Specificity	0.646	0.599	0.690
Positive Predictive Value	0.748	0.709	0.785
Negative Predictive Value	0.697	0.654	0.738
Positive Likelihood Ratio	2.229	1.953	2.543
Negative Likelihood Ratio	0.326	0.275	0.386
Low Threshold			
Cut-off method: Generalized Youden Index Optimal cut-off point: 16			
Sensitivity	0.942	0.939	0.936
Specificity	0.497	0.503	0.509
Positive Predictive Value	0.788	0.790	0.791
Negative Predictive Value	0.812	0.806	0.801
Positive Likelihood Ratio	1.874	1.889	1.906
Negative Likelihood Ratio	0.116	0.121	0.125

Πίνακας 4. Στατιστική ανάλυση

	HFA			High			Medium			Low		
	FL	FP	FN	FL	FP	FN	FL	FP	FN	FL	FP	FN
Mean	16	1.5	7.4	16	17	20	22	13	10	23	17	12
STD	26	2.1	12	26	13	23	32	12	19	29	14	16

FL Fixation Losses FP False Positive FN False Negative

Πίνακας 5. Δείκτες αξιοπιστίας

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι όσο το φωτεινό ερέθισμα γίνεται εντονότερο τόσο η ευαισθησία μειώνεται και αυξάνεται η ειδικότητα και αντιθέτως. Γιά το υψηλό επίπεδο ουδού το βέλτιστο σημείο αποκοπής γιά το Humphrey ήταν 28 dB, γιά το μεσαίο επίπεδο ήταν 25 dB και γιά το χαμηλό επίπεδο ήταν 16 dB.

Συνοπτικά, όσο το επίπεδο ουδού που εξετάσθηκε ελαττώνεται ή ευαισθησία αυξάνεται ενώ η ειδικότητα μειώνεται και αντιστρόφως. Μαύρα/γκρί σε άσπρο φόντο ερεθίσματα δοκιμάστηκαν επίσης με παρόμοια αποτελέσματα αλλά δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα εργασία.

3.3.2.1. Συνδυάζοντας αποτελέσματα σε σειρά ή παράλληλα

Συχνά χρειάζονται δύο η περισσότερα διαγνωστικά τέστ να τεθεί μία διάγνωση. Τα αποτελέσματα περισσότερων του ενός τέστ μπορεί να συνδυαστούν είτε παράλληλα είτε σε σειρά.¹³⁴⁻¹⁴⁴ (Πίνακας 6).

Μέθοδος ελέγχου:	Παράλληλα	Σε σειρά
Διαδικασία:	Δύο ή περισσότερα τεστ που γίνονται όλα και τα αποτελέσματα συνδυάζονται. Ένα θετικό αποτέλεσμα σε οποιοδήποτε τεστ αρκεί ώστε το συνδυαστικό αποτέλεσμα να θεωρηθεί «θετικό».	Το δεύτερο ή το επόμενο τεστ γίνεται μόνο εάν το προηγούμενο ήταν θετικό. Όλα τα τεστ πρέπει να είναι θετικά ώστε το συνδυαστικό αποτέλεσμα να θεωρηθεί «θετικό».
Αποτέλεσμα:	Υψηλή ευαισθησία αλλά χαμηλή ειδικότητα	Υψηλή ειδικότητα αλλά χαμηλή ευαισθησία

Πίνακας 6. Παράλληλη και σειριακή εξέταση

Η παράλληλη εξέταση με δύο ή περισσότερα τεστ δίνει περισσότερες πιθανότητες να βρεθεί μία περίπτωση, έτσι η παράλληλη εξέταση έχει μεγαλύτερη ευαισθησία. Η εξέταση σε σειρά με δύο ή περισσότερα τεστ δίνει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί κάθε μη-περίπτωση, έτσι η σειριακή εξέταση έχει μεγαλύτερη ειδικότητα.

Στη πράξη όταν ένα διαγνωστικό τεστ χρησιμοποιείται σαν έλεγχο ρουτίνας, συνήθως το ίδιο επίπεδο ουδού ευαισθησίας χρησιμοποιείται σε κάθε επίσκεψη. Μία εναλλακτική, είναι όμως να εξατομικεύεται το επίπεδο ουδού εξέτασης ανάλογα με τον ασθενή.¹³⁴ Τα αποτελέσματα των τεστ μπορούν συνδυαστούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα.¹³⁷

Παράλληλος τρόπος συνδυασμού των αποτελεσμάτων συνιστάται για να τεθεί η υποψία μίας διάγνωσης ενώ συνδυασμός αποτελεσμάτων σε σειρά συνιστάται για να αποκλειστεί μία διάγνωση.¹³⁶ Το λογισμικό επιτρέπει στο γιατρό να επιλέξει και να συνενώσει τα αποτελέσματα δύο ή περισσότερων εξετάσεις σε μία και

υπολογίζει το σύνολο των θετικών απαντήσεων σε κάθε σημείο. Με βάση αυτή τη πληροφορία μπορεί να υπολογιστεί η συνδυασμένη ευαισθησία ή ειδικότητα.

3.4. Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των περιμέτρων είναι συγκρίσιμα σε σημαντικό βαθμό, ωστόσο κάθε περίμετρο είναι διαφορετικό από τα άλλα ανάλογα με τον κατασκευαστή και τις παραμέτρους που χρησιμοποιεί (φωτεινότητα background, μέγιστη φωτεινότητα ερεθίσματος, μέγεθος στόχου, χρόνος παρουσίασης ερεθίσματος). Για παράδειγμα στο Octopus μία εξασθένιση 5 dB ισοδυναμεί σε 316 asb, ενώ στο αναλυτή Humphrey μία εξασθένιση 5 dB ισοδυναμεί με 3.160 asb. Στον αναλυτή Humphrey 0 dB αντιστοιχούν σε 10.000 asb ενώ στον αναλυτή Octopus 0 dB αντιστοιχούν σε 1.000 asb. Επομένως τα 5 dB σε ένα περίμετρο δεν είναι 5 dB σε ένα άλλο. Οι διαφορές αυτές δυσχεραίνουν σε κάποιο βαθμό την σύγκριση ανάμεσα σε διαφορετικά περίμετρα. Για τους λόγους αυτούς, ενώ τα αποτελέσματα ανάμεσα σε διαφορετικά περίμετρα είναι παρόμοια, δεν είναι απολύτως ίδια. Αυτός είναι ο λόγος που συστήνεται η διαχρονική παρακολούθηση του ασθενούς να γίνεται με τον ίδιο τύπο περιμέτρου όταν αυτό είναι εφικτό. Η περιμετρία είναι μία υποκειμενική εξέταση. Η μεταβλητότητα είναι σημαντική και όσο μεγαλύτερη είναι η βλάβη τόσο μεγαλύτερη και η μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων.¹⁴⁴ Ακόμη όμως και εάν εξεταστεί το ίδιο μάτι δύο φορές στη σειρά, χρησιμοποιώντας το ίδιο μηχάνημα, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια αλλά δεν είναι ακριβώς ίδια. Αυτό δεν οφείλεται στο μηχάνημα αλλά στον ανθρώπινο παράγοντα. Είναι σχεδόν αδύνατο, να δώσει ένας ασθενής, επακριβώς τις ίδιες απαντήσεις και να κάνει επακριβώς τα ίδια λάθη κάθε φορά που εξετάζεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές ανάμεσα στα μηχανήματα οφείλονται σε διαφορετικό hardware και software που χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές. Όσο περισσότερο μοιάζουν κατασκευαστικά δύο μηχανήματα τόσο περισσότερο μοιάζουν μεταξύ τους και τα αποτελέσματα, όταν τα μηχανήματα εκτελούν τον ίδιο αλγόριθμο. Η περιμετρία με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζει επίσης ομοιότητες αλλά δεν είναι ακριβώς ίδια με τη κλασσική περιμετρία λόγω των διαφορών του χρησιμοποιούμενου υλικού.

Η εξέταση οπτικού πεδίου με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας μπορεί να γίνει τόσο στο ιατρείο / νοσοκομείο όσο και μέσω τηλεϊατρικής. Το τεστ μπορεί να γίνει επίσης και σε οθόνη Η/Υ εάν τα γυαλιά VR δεν είναι διαθέσιμα. Τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας πλεονεκτούν όμως έναντι της οθόνης γιατί παρέχουν

συσκότιση, δεν χρειάζεται κάλυμμα για τον οφθαλμό, ο ασθενής δεν χρειάζεται να μείνει ακίνητος κατά τη διάρκεια του τεστ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε κλινήρης ασθενείς. Ο οθόνη πλεονεκτεί ίσως όσον αφορά τη διαθεσιμότητα. Και οι δύο μέθοδοι είναι οικονομικές.

Δοκιμάστηκε τόσο ο αλγόριθμος FASTPAC όσο και ο υπερουδικός αλγόριθμος. Με το αλγόριθμο FASTPAC ο συντελεστής συσχέτισης με το περίμετρο Humphrey βρέθηκε να είναι υψηλός και στατιστικά πολύ σημαντικός ($r = 0.808$, $P < 0.0001$). Άλλες μελέτες έχουν βρεί παρόμοια αποτελέσματα.^{111-113,145,146,148} Ο αλγόριθμος FASTPAC μπορεί να είναι χρήσιμος για τη διάγνωση και τη παρακολούθηση του γλυακώματος.

Ο υπερουδικός αλγόριθμος που δοκιμάστηκε ήταν ενός επιπέδου αλλά με δυνατότητα επιλογής της τιμής κατωφλίου. Με τον υπερουδικό αλγόριθμο βρέθηκε ικανοποιητικός συντελεστής ROC/Area under the curve (AUC) που κυμαίνεται από 0.762 έως 0.837 ($p < 0.001$) ενώ η ευαισθησία κυμαίνεται από 0.63 ως 0.94 και η ειδικότητα από 0.73 ως 0.49. Ο υπερουδικός αλγόριθμος μπορεί να είναι χρήσιμος σαν screening test για ασθενείς που πάσχουν από γλαύκωμα αλλά δεν το γνωρίζουν ώστε να αντιληφθούν ενδεχομένως εγκαίρως το πρόβλημά τους, πριν η βλάβη στην όρασή τους εξελιχθεί.

Ο υπερουδικός αλγόριθμος είναι κατάλληλος για να θέσει ίσως μία ένδειξη εάν χρειάζονται περαιτέρω εξετάσεις. Η κλασσική περιμετρία πρέπει να χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιούνται οι βλάβες του οπτικού πεδίου ή για διαχρονική παρακολούθηση.

Το τεστ είναι απλό, εύκολο και γρήγορο. Ο αλγόριθμος FASTPAC χρειάζεται περίπου 8-10 λεπτά ανά οφθαλμό ενώ ο υπερουδικός αλγόριθμος χρειάζεται περίπου 2-3 λεπτά ανά μάτι και μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές χρειάζεται. Βρέθηκε ότι οι ασθενείς ανέχθηκαν καλά το τεστ και απώλειες εστίασης δεν συνέβαιναν συχνά ίσως λόγω της ευκολίας και της μικρής διάρκειας του τεστ. Άλλα συστήματα έχουν βρεί παρόμοια αποτελέσματα. Για παράδειγμα το Peristat έχει παρόμοια καμπύλη ROC και συντελεστή συσχέτισης Spearman που κυμαίνεται από 0.55 ως 0.77 ($p < 0.001$) σε σύγκριση με το περίμετρο Humphrey ενώ το Visual fields easy (VFE) το οποίο είναι μία εφαρμογή για iPad έχει ROC/AUC που κυμαίνεται από 0.687 to 0.784.^{147,149}

Τα πλεονεκτήματα του τέστ οπτικού πεδίου με γυαλιά VR, είναι ότι δεν χρειάζεται εξειδικευμένο εξοπλισμό και είναι εύχρηστο. Επιτρέπει την αποστολή των αποτελεσμάτων μέσω του διαδικτύου/email και δίνει τη δυνατότητα να συνενωθούν περισσότερα από δύο αποτελέσματα σε ένα για μεγαλύτερη στατιστική ακρίβεια.

3.5. Συμπεράσματα

Η περιμετρία με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζει ομοιότητες με την κλασσική αυτόματη περιμετρία, ωστόσο δεν είναι ακριβώς ή ίδια, κυρίως λόγω της διαφοράς του χρησιμοποιούμενου hardware. Η εφαρμογή που δοκιμάστηκε επιτρέπει την εξέταση του οπτικού πεδίου απομακρυσμένα, τόσο με τη χρήση γυαλιών εικονικής πραγματικότητας όσο και σε οθόνη Η/Υ. Τα σημαντικότερα ίσως πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία χρήσης, η φορητότητα που επιτρέπει τη χρήση ακόμη και σε κλινήρεις ασθενείς, η αναπαυτική θέση εξέτασης για τον ασθενή, γιατί δεν χρειάζεται να είναι ακίνητος κατά τη διάρκεια της εξέτασης και το οικονομικό κόστος εξέτασης.

Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης και η ικανοποιητική καμπύλη AUC ανάμεσα στην εξέταση του οπτικού πεδίου με γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και στο περίμετρο Humphrey δείχνει ότι η μέθοδος είναι αξιόπιστη, τουλάχιστον όταν συγκρίνεται με το περίμετρο Humphrey. Τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες καταστάσεις στην οφθαλμολογία όπως σε βοηθήματα χαμηλής όρασης και βοηθήματα επαυξημένης πραγματικότητας.¹⁶⁹⁻¹⁷¹ Η τηλε-οφθαλμολογία μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά με την κλασσική εξέταση. Χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες για παροχή οφθαλμολογικής φροντίδας σε απομακρυσμένες περιοχές και επέτρεψε να διαγνωστούν ασθενείς οι οποίοι δεν είχαν ποτέ υποβληθεί σε οφθαλμολογική εξέταση.^{150-161,167,169} Η πλειοψηφία των εφαρμογών αφορά σε παθήσεις όπως αμφιβληστροειδοπάθεια της προωρότητας, γλαύκωμα, καταρράκτη, ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς, διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, άλλες απειλητικές παθήσεις για την όραση και εφαρμογές διαθλαστικού ελέγχου ενώ ερευνάται η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, σε τομείς όπως αναγνώριση εικόνας, βαθιάς μάθησης και λήψης διαγνωστικών αποφάσεων σε τομείς όπως πρόβλεψη της εξέλιξης του οπτικού πεδίου, ανάλυσης του OCT και αμφιβληστροειδικών παθήσεων.^{162-166,168} Η «βαθιά μάθηση» είναι η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης. Στη μηχανική μάθηση, οι αλγόριθμοι για την ανάλυση των δεδομένων και την εκμάθηση από αυτά, δημιουργούνται από τους ανθρώπους. Στη βαθιά μάθηση από την άλλη, ο υπολογιστής μαθαίνει μέσω ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου, που λειτουργεί καθ'εικόνα και ομοίωση του ανθρώπινου εγκεφάλου, αναλύοντας

τα δεδομένα με μια συγκεκριμένη διαδικασία όπως πάνω κάτω κάνουν οι άνθρωποι.

4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το γλαύκωμα είναι ένας όρος που περιλαμβάνει ένα σύνολο οφθαλμολογικών διαταραχών, που καταλήγουν σε μη αναστρέψιμη απώλεια όρασης και είναι η κύρια αιτία τύφλωσης. Εκτιμάται ότι οι μισές περιπτώσεις γλαυκώματος είναι αδιάγνωστες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η επίπτωση του γλαυκώματος στις ηλικίες άνω των 40 ετών είναι 2,1% και περίπου 2.3 εκατομμύρια άτομα πάσχουν από γλαύκωμα αλλά δεν το γνωρίζουν και δεν λαμβάνουν θεραπεία.

Η εξέταση του οπτικού πεδίου είναι από τις πιο σημαντικές εξετάσεις για τη διάγνωση και τη παρακολούθηση του γλαυκώματος. Η αύξηση τη συχνότητα της εξέτασης του οπτικού πεδίου οδηγεί σε πρωιμότερη διάγνωση.

Η συχνότερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του οπτικού πεδίου είναι η αυτοματοποιημένη περιμετρία. Τα αυτοματοποιημένα περίμετρα είναι αντικειμενικά και ακριβή μηχανήματα αλλά παρά τα πλεονεκτήματά τους, έχουν μερικά μειονεκτήματα. Είναι φτιαγμένα για χρήση στο νοσοκομείο ή στο ιατρείο. Είναι ογκώδεις και βαριές συσκευές. Δεν είναι φορητά και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατ' οίκον ή σε κλινήριες ασθενείς. Συχνά είναι κουραστικό και δύσκολο για τους ασθενείς να συγκεντρωθούν καθόλη τη διάρκεια της εξέτασης και μία μεγάλη πλειοψηφία των ασθενών είναι άνω των 50 ετών.

Από την άλλη πλευρά τα smartphones βρίσκονται παντού. Τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας έχουν μερικά πλεονεκτήματα για την εξέταση του οπτικού πεδίου. Είναι ελαφρά, φορητά, εύχρηστα, οικονομικά, και δεν χρειάζεται κάλυμμα για τον οφθαλμό.

Η εξέταση του οπτικού πεδίου online παρουσιάζει επίσης πλεονεκτήματα για την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σαν μία χαμηλού κόστους μέθοδος για την ανίχνευση του γλαυκώματος. Τα δυνητικά ωφέλη ενός τέτοιου συστήματος είναι πολλά, ιδίως σε χώρες με υψηλή επίπτωση της νόσου και μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα στους ασθενείς αλλά και στο σύστημα υγείας.

Στην εργασία αυτή, εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης γυαλιών εικονικής πραγματικότητας για την καταγραφή του οπτικού πεδίου.

Χρησιμοποιήθηκαν VR γυαλιά, ένα android smartphone με οθόνη 6'' και λογισμικό που υλοποιεί : 1) τον αλγόριθμο FASTPAC 3 dB και 2) ένα υπερουδικό αλγόριθμο σε τρία επίπεδα ευαισθησίας α) -4dB, β) -8dB και γ) -12dB από τη φυσιολογικά αναμενόμενη ευαισθησία για την ηλικία, για τις 24° κεντρικές μοίρες του οπτικού πεδίου (52 σημεία). Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιήσει τη web camera σαν εικονικό φωτόμετρο ώστε να ανιχνεύσει τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος και επιτρέπει τη εξέταση του οπτικού πεδίου χρησιμοποιώντας τόσο γυαλιά εικονικής πραγματικότητας όσο και ένα μόνιτορ. Περιλαμβάνει επίσης ένα expert system το οποίο αναλύει την εικόνα του οπτικού πεδίου και αξιολογεί την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Δίνει τη δυνατότητα αποστολής των αποτελεσμάτων μέσω email και επιτρέπει να συνενωθούν τα αποτελέσματα από δύο ή περισσότερα τεστ, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη στατιστική αξιοπιστία. Δοκιμάστηκαν δύο αλγόριθμοι, ο FASTPAC και ο Supra-Threshold.

1) FASTPAC: εξετάστηκαν 10 ασθενείς, με τη σειρά που εμφανίστηκαν – τυχαία, χρησιμοποιώντας τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και τον αλγόριθμο FASTPAC, και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν σημείο προς σημείο με τα αντίστοιχα από το περίμετρο Humphrey για τους ίδιους ασθενείς. Συνολικά συγκρίθηκαν 20 μάτια × 52 σημεία ανά μάτι =1,040 σημεία οπτικού πεδίου). Τα αποτελέσματα είχαν συνεχείς τιμές μεταξύ 0 και 40 dB. Βρέθηκε υψηλός συντελεστής συσχέτισης ($r=0.808$, $P<0.0001$ ανάμεσα στα τεστ με τα γυαλιά VR και το περίμετρο Humphrey).

2) Supra-Threshold: εξετάστηκαν 10 ασθενείς με τη σειρά που εμφανίστηκαν – τυχαία, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Supra - Threshold, και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν σημείο προς σημείο με τα αντίστοιχα από το περίμετρο Humphrey για τους ίδιους ασθενείς. Συνολικά συγκρίθηκαν 20 μάτια × 52 σημεία ανά μάτι =1,040 σημεία οπτικού πεδίου. Τα αποτελέσματα ήταν δυαδικά: ναι / όχι. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν καμπύλες ROC γιατί έχουν τη δυνατότητα να εκτιμούν καλύτερα την απόδοση ενός δυαδικού συστήματος ταξινόμησης πάνω σε όλη τη περιοχή λειτουργίας του με τη βοήθεια μίας γραφικής απεικόνισης. Η πλέον σημαντική ιδιότητα όμως την ανάλυσης με καμπύλες ROC είναι ότι οι δείκτες αξιοπιστίας που προκύπτουν από αυτή τη τεχνική δεν επηρεάζονται από διαταραχές που προκύπτουν από αυθαίρετα επιλεγμένα κριτήρια αποκοπής και οι δείκτες αξιοπιστίας δεν επηρεάζονται. Χρησιμοποιώντας αυτή τη τεχνική μπορούν να συγκριθούν διαγνωστικά τεστ, ή να διευκρινιστεί εάν

συνδυασμοί διαγνωστικών τέστ βελτιώνουν τη διαγνωστική ακρίβεια. Οι καμπύλες ROC για κάθε επίπεδο ουδού όπως και ο γενικευμένος δείκτης Youden και τα βέλτιστα σημεία αποκοπής υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το easyROC, ένα διαδραστικό εργαλείο ανοικτού κώδικα για τη ανάλυση ROC καμπυλών γραμμένο σε περιβάλλον της γλώσσας R. Βρέθηκαν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ROC/AUC που κυμαίνονται από 0.762 σε 0.837 ($P < 0.001$). Η ευαισθησία κυμαίνεται από 0.637 ως 0.942, και η ειδικότητα κυμαίνεται από 0.735 ως 0.497. Συνοπτικά, βρέθηκε ότι όσο ο ουδός που εξετάσθηκε είναι χαμηλότερα, η ευαισθησία αυξάνεται ενώ η ειδικότητα μειώνεται και αντίστροφα. Τα βέλτιστα σημεία αποκοπής για τα δεδομένα του Humphrey ήταν 28 dB για το υψηλό επίπεδο ουδού, 25dB για το μεσαίο επίπεδο και 16dB για το χαμηλό επίπεδο. Δοκιμάστηκαν επίσης μαύρα/γκρί ερεθίσματα σε φωτεινό υπόβαθρο με παρόμοια αποτελέσματα αλλά δεν περιλαμβάνονται στη παρούσα μελέτη. Στη πράξη, όταν ένα τέστ χρησιμοποιείται κατ'επανάληψη σε εξετάσεις ρουτίνας, συνήθως το ίδιο επίπεδο ουδού χρησιμοποιείται κάθε φορά. Μία εναλλακτική είναι να προσαρμόζεται το επίπεδο ουδού, ανάλογα με τον ασθενή. Τα αποτελέσματα των διαδοχικών τέστ μπορούν να συνδυαστούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Ο παράλληλος συνδυασμός είναι κατάλληλος για την επιβεβαίωση της διάγνωσης, ενώ ο συνδυασμός σε σειρά είναι κατάλληλος για τον αποκλεισμό μίας διάγνωσης.

Το λογισμικό επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει και να συνδυάσει τα αποτελέσματα από δύο ή περισσότερες εξετάσεις, σε ένα τέστ. Υπολογίζεται το σύνολο των θετικών απαντήσεων σε κάθε σημείο.

Η περιμετρία με τη βοήθεια γυαλιών εικονικής πραγματικότητας έχει ομοιότητες με τη κλασσική περιμετρία. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της VR περιμετρίας είναι η ευκολία και η άνετη θέση εξέτασης του ασθενούς. Οι ασθενείς είναι ελεύθεροι να κινούν το κεφάλι τους, Βρέθηκε ότι οι ασθενείς ανέχθηκαν το τέστ καλά και απώλειες εστίασης δεν συνέβαιναν συχνά. Η VR περιμετρία είναι απλή και δεν χρειάζεται εξειδικευμένο εξοπλισμό. Χρειάζεται περίπου 2 λεπτά ανά μάτι για το υπερουδικό αλγόριθμο και 8 περίπου λεπτά ανά μάτι για το FASTPAC. Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης και οι ικανοποιητικές καμπύλες ROC ανάμεσα στο VR περίμετρο και στο Humphrey δείχνουν ότι η μέθοδος είναι αξιόπιστη, τουλάχιστον όταν συγκρίνεται με το περίμετρο Humphrey. Η μέθοδος μπορεί να είναι χρήσιμη για την ανίχνευση ή/και παρακολούθηση του γλαυκώματος.

5. ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ (SUMMARY)

Glaucoma represents a diverse group of disorders that have common characteristic changes in the optic nerve neuroretinal rim tissue and is a major cause of blindness. It is estimated that half of glaucoma cases are undiagnosed. The prevalence of glaucoma in the general US population 40 years of age and older is 2.1%, and ~2.4 million people in the US have undetected and untreated glaucoma.

Visual field testing is one of the most important exams for determining the stage of glaucoma, the efficacy of medical or surgical treatment, and the prognosis, as well as for assessing the patient's quality of life and his/her ability to perform the activities of daily living. Increasing the frequency of visual field testing leads to earlier detection of glaucoma progression.

The most widely used method to assess visual field deficits in glaucoma is automated perimetry. Automated perimeters are objective and accurate devices but despite their advantages, there are a few disadvantages. Automated perimeters are built for physicians' offices or hospitals. They are bulky and heavy devices and they are neither portable nor available for home use or at bedside. Often, it is tiring and difficult for patients to concentrate throughout the test and a large majority of the patients who have visual field test examination belong to the age group over 50.

On the other hand, smartphones are found everywhere, and they are inexpensive. Virtual reality (VR) glasses have some advantages in visual field testing. They are lightweight, portable, comfortable, and affordable, and there is no need for an eye patch.

Online visual field testing is interesting for its potential to be used as a low-cost method for glaucoma screening. The potential benefits of an effective online telemedicine system are plentiful, especially in countries with high prevalence of glaucoma or in developing countries, and may save costs to patients and costs to the health care system as a whole.

In this thesis the possibility of using VR glasses for glaucoma/visual field testing is examined. Virtual reality glasses, an android smartphone with a 6 inch display, and software that implements a: 1) FASTPAC 3 dB step staircase algorithm and 2) a Supra-Threshold algorithm, at three threshold levels: 1) -4 db, 2) -8 db, and 3) -12 db, from the age-expected sensitivity, for the central 24° (52 points) of visual field, was used for the purpose of testing. The software uses the web camera as a “virtual photometer” in order to detect room luminosity and allows self-testing using either a computer monitor or virtual reality glasses using an Android smartphone with a 6-inch display. The software includes an expert system to analyze the visual field image and validate the reliability of the results. It allows the user to email the test results to his/her doctor and also allows the physician to combine the results from two or more tests into a single test in order to achieve higher statistical accuracy of the final result:

1) A total of ten patients, were tested, as they appeared randomly and consecutively, using the VR-FASTPAC algorithm and the results were compared point to point to those obtained using the Humphrey perimeter for the same patients (20 eyes tested×52 points per eye=1,040 visual field test points). The result's values were continuous ranging from 0 to 40 dB. High correlation coefficient ($r=0.808$, $P<0.0001$) was found between the virtual reality visual field test and the Humphrey perimeter visual field.

2) A total of ten patients, were tested, as they appeared randomly and consecutively, using the VR-Supra-Threshold algorithm and the results were compared point to point to those obtained using the Humphrey perimeter for the same patients (20 eyes tested×52 points per eye=1,040 visual field test points). The results were binary, seen/not seen. ROC curves were used because they have the ability to assess the performance of a binary classifier over its entire operating range using a graphical approach. The most desirable property of ROC analysis is that the accuracy indices derived from this technique are not distorted by fluctuations caused by the use of arbitrarily chosen decision criteria or cut-offs. In other words, the indices of accuracy are not influenced by the decision criterion. Using this as a measure of a diagnostic performance, one can compare individual tests or judge whether the various combination of tests can improve diagnostic accuracy. The ROC curves for each threshold level as well as the generalized Youden Index and the optimal cut points were computed using easyROC, an interactive, open-source web tool for ROC curve analysis using R Language

Environment. Good receiver operating characteristic/area under the curve coefficient was found, ranging from 0.762 to 0.837 ($P<0.001$). Sensitivity ranged from 0.637 to 0.942, and specificity ranged from 0.735 to 0.497. In summary, it was found that as the threshold tested gets lower, the sensitivity increases while the specificity decreases and vice versa. The optimal cut-off point for Humphrey data was 28 dB for the high threshold, 25 dB for the medium threshold, and 16 dB for the low threshold. Black/gray stimuli on white background were also tested with similar results, but they are not included in this paper. In practice, when a single test is used repeatedly in routine screening, the same screening threshold is typically used at each screening visit. One possible alternative is to adjust the threshold at successive visits according to individual-specific characteristics. The test results can be combined in series or in parallel. Parallel testing is recommended for ruling in diagnoses, while series testing is recommended for ruling out diagnoses. The software allows the user to select and combine the results from two or more tests into a single test. The sum of positive responses at each point merged is shown.

Virtual reality glasses perimetry has many similarities to classical bowl perimetry.

The most important advantages of the virtual reality glasses method is the ease of use and the comfortable patient position, in fact it has been found that the patients tolerated the test well and fixation losses occurred rarely. The patients can move their heads freely.

VR visual field testing is simple, easy and does not require specialized equipment. It takes approx 2 minutes per eye using the supra-threshold algorithm and 8 mins per eye using the FASTPAC. The high correlation coefficient/ROC curves results between the virtual reality glasses and the Humphrey perimeter shows that the method is reliable at least when compared to Humphrey perimeter. The test may be useful for for glaucoma screening/monitoring.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Shaikh Y, Yu F, Coleman AL. Burden of undetected and untreated glaucoma in the United States. *Am J Ophthalmol*.2014;158:1121-1129.
- 2 Gupta P, Zhao D, Guallar E, Ko F, Boland MV, Friedman DS. Prevalence of Glaucoma in the United States. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57:2905-2913.
- 3 Nouri-Mahdavi K, Zarei R, Caprioli J. Influence of visual field testing frequency on detection of glaucoma progression with trend analyses. *Arch Ophthalmol*. 2011; 129:1521-7.
- 4 Thompson HS, Wall M. Imaging and Perimetry Society (IPS). A History of Perimetry. Available at: <http://webeye.ophth.uiowa.edu/ips/PerimetryHistory>.
- 5 Lascaratos J, Marketos S. A historical outline of Greek ophthalmology from the Hellenistic period up to the establishment of the first universities. *Doc Ophthalmol* 1988;68:157–69.
- 6 Thompson HS. How visual field testing was introduced into office ophthalmology. Paper presented at the 1993 David G. Cogan Ophthalmic Historical Society Meeting, 1993.
- 7 R.F. Heitz, *The History of Contact Lenses*. Vol 1, p 50. Oostende, Belgium: J.P. Wayenborgh, 2003).
- 8 Von Graefe A. Ueber die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affectionen. *Graefes Archiv fur Ophthalmologie* 1856; 2:258–98.
- 9 Tate GW, Lynn JR. *Principles of Quantitative Perimetry: Testing and Interpreting the Visual Field*. New York, NY: Grune & Stratton; 1977.
- 10 Bebie H, Fankhauser F, Spahr J. Static perimetry: strategies. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1976;54:325–38.
- 11 Bebie H, Fankhauser F, Spahr J. Static perimetry: accuracy and fluctuations. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1976;54:339–48.

- 12 Fankhauser F, Spahr J, Bebie H. Three years of experience with the 'Octopus' automatic perimeter. *Doc Ophthalmol Proc Series* 1977;14:7–15.
- 13 Heijl A, Patella VM. *Essential Perimetry. The Field Analyzer Primer* (3rd ed), Dublin California: Carl Zeiss Meditec, 2002.
- 14 Ferreras A, Polo V, Larrosa JM, Pablo LE, et al. Can frequency-doubling technology and short-wavelength automated perimetries detect visual field defects before standard automated perimetry in patients with preperimetric glaucoma?, *J Glaucoma*. 2007;16:372-83.
- 15 Kwon YH, Park HU, Jap A, Ugurlu S, Caprioli J, Test-retest variability of blue-on-yellow perimetry is greater than white-on-white perimetry in normal subjects. *Am J Ophthalmol*, 1998;126:29-36.
- 16 Bengtsson B and Heijl A, Normal intersubject threshold variability and normal limits of the SITA SWAP and full threshold SWAP perimetric programs. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2003;44:5029-5034.
- 17 Bengtsson B and Heijl A, Diagnostic sensitivity of fast blue-yellow and standard automated perimetry in early glaucoma: a comparison between different test programs. *Ophthalmology*, 2006;113:1092-1097.
- 18 Johnson, CA, Adams, AJ, Casson, EJ, Brandt, JD. Blue-on-Yellow perimetry can predict the development of glaucomatous visual field loss. *Archives of Ophthalmology*, 1993;111: 645-650.
- 19 Johnson, CA, Adams AJ, Casson EJ, Brandt JD. Progression of early glaucomatous visual field loss for Blue-on-Yellow and standard White-on-White automated perimetry. *Archives of Ophthalmology*, 1993;11: 651-656.
- 20 Johnson, CA, Adams AJ, Age related changes in the central visual field for short wavelength sensitive pathways. *Journal of the optical society of America*, 1988;5:2131-9.
- 21 Demirel S and Johnson CA, Short Wavelength Automated Perimetry (SWAP) in ophthalmic practice. *Journal of the American Optometric Association*, 1996;67: 451-456.
- 22 Sample PA, Taylor JDN, Martinez GA. Short wavelength color visual fields in glaucoma suspects at risk. *Am J Ophthalmol*, 1993;111:651-6.

- 23 Racette L and Sample PA, Short wavelength automated perimetry. *Ophthalmol Clin North Am*, 2003;16:227-236.
- 24 Lee M, Zulauf M, Caprioli J. The influence of patient reliability on visual field outcome. *Am J Ophthalmol* 1994;17:756-761.
- 25 Hudson C, Wild JM, O'Neill E. Fatigue effects during a single session of automated static threshold perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35: 268-80.
- 26 Zulauf M, Caprioli J, Boeglin RJ, Lee M. Number of stimuli as a reliability parameter in perimetry. *Ger J Ophthalmol* 1992;1: 86-90.
- 27 Johnson CA, Adams CV, Lewis RA. Fatigue effects in automated perimetry. *Appl Optics* 1988; 27:1030-7.
- 28 Marra G, Flammer J. The learning and fatigue effect in automated perimetry. *Greafe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 1991;229: 501-504.
- 29 Gonzàlez de la Rosa M, Pareja A. Influence of the fatigue effect on the mean deviation measurement in perimetry. *Eur J Ophthalmol* 1997;7: 29-34.
- 30 Bebie H, Fankhauser F, Spahr J. Static Perimetry: accuracy and fluctuations. *Acta Ophthalmol* 1976;54: 339-348.
- 31 Boeglin RJ, Caprioli J, Zulauf M. Long-term fluctuation of the visual field in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1992;113: 396-400.
- 32 Automated perimetry: background, instruments and methods. Portney GL, Krohn MA. *Surv Ophthalmol*. 1978;22:271-8.
- 33 Bebie H, Fankhauser F, Spahr J. Static perimetry: strategies. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1976;54:325-38.
- 34 Spahr J. Optimization of the presentation pattern in automated static perimetry. *Vision Res*. 1975;15:1275-81.
- 35 Retesting visual fields: utilizing prior information to decrease test-retest variability in glaucoma. Turpin A, Jankovic D, McKendrick AM. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:1627-34.
- 36 The value of visual field testing in the era of advanced imaging: clinical and psychophysical perspectives Jack Phu, Sieu K Khuu, Michael Yapp,

- Nagi Assaad, Michael P Hennessy, Michael Kalloniatis Clin Exp Optom. 2017; 100: 313–332.
- 37 Johnson CA, Wall M, Thompson HS. A history of perimetry and visual field testing. Optom Vis Sci. 2011;88:E8-15.
- 38 Tonagel F, Voykov B, Schiefer U. Conventional perimetry. Antiquated or indispensable for functional glaucoma diagnostics?. Ophthalmologe. 2012;109:325-36.
- 39 Junoy Montolio FG, Wesselink C, Gordijn M, Jansonius NM. Factors that influence standard automated perimetry test results in glaucoma: test reliability, technician experience, time of day, and season. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2012;53:7010-7.
- 40 Wall M, Doyle CK, Zamba KD, Artes P, Johnson CA. The repeatability of mean defect with size III and size V standard automated perimetry. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2013;54:1345-51.
- 41 Dengler-Harles M, Wild JM, Cole MD, O'Neill EC. The influence of stimulus parameters on the visual field indices by automated projection perimetry. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 1993;231:337-43.
- 42 Wall M, Lee EJ, Wanzek RJ, Zamba KD, Turpin A, Chong LX, Marin-Franch I. Threshold Automated Perimetry of the Full Visual Field in Patients With Glaucoma With Mild Visual Loss. J Glaucoma. 2019;28:997-1005.
- 43 Wall M, Woodward KR, Doyle CK, Artes PH. Repeatability of automated perimetry: a comparison between standard automated perimetry with stimulus size III and V, matrix, and motion perimetry. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009; 50:974-9.
- 44 González de la Rosa M, Martínez Pinero A, González Hernández M. Reproducibility of the TOP algorithm results versus the ones obtained with the bracketing procedure. Perimetry update 1998/1999. Amsterdam: Kugler Publ, 1999; 51-B.
- 45 González de la Rosa M, Martínez A, Sanchez M, Mesa C, Cordoves L, Losada MJ. Accuracy of the tendency oriented perimetry (TOP) in the Octopus 1-2-3 perimeter. Perimetry update 1996/1997. Amsterdam: Kugler Publ, 1997; 119-23.

- 46 González de la Rosa M, Morales J, Weijland A. A Comparison of the Tendency Oriented Perimetry (TOP) Method with Normal Threshold Perimetry Using a PC Controlled OCTOPUS 1-2-3 Perimeter. Haag.Streit publication.
- 47 Horikoshi N, Osako M, Goto H, Tamura Y, Okano T. Clinical evaluation of tendency oriented perimetry in Octopus perimeter. Jap J Clin Ophthalmol 1999; 53: 889-93.
- 48 Lachkar Y, Barrault O, Lefrançois A, Demailly Ph. Strategie rapide „TOP“ en perimetry automatisee Octopus. J Fr Ophtalmol 1998;21: 180-4.
- 49 Gonzalez de la Rosa M, Gonzalez-Hernandez M, Garcia Feijoo J, Morales J, Azuara-Blanco A. Diagnostic accuracy and reproducibility of tendency oriented perimetry in glaucoma. Eur J Ophthalmol. 2006;16: 259-67.
- 50 Gonzalez-Hernandez M, Morales J, Azuara-Blanco A, Sanchez JG, de la Rosa MG. Comparison of diagnostic ability between a fast strategy, tendency-oriented perimetry, and the standard bracketing strategy. Ophthalmologica. 2005;219:373-8.
- 51 Lachkar Y, Barrault O, Lefrançois A, Demailly P. Tendency Oriented Perimeter (TOP) with the Octopus visual field analyzer]. J Fr Ophtalmol. 1998;21:180-4. French.
- 52 King AJ, Taguri A, Wadood AC, Azuara-Blanco A. Comparison of two fast strategies, SITA Fast and TOP, for the assessment of visual fields in glaucoma patients. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2002;240:481-7.
- 53 Morales J, Weitzman ML, González de la Rosa M. Comparison between Tendency-Oriented Perimetry (TOP) and octopus threshold perimetry. Ophthalmology. 2000;107:134-42.
- 54 Kratochvilová P. [Computer perimetry--rapid TOP (tendency oriented perimetry) and normal threshold methods in clinical practice--comparison of results]. Cesk Slov Oftalmol. 2002;58:187-93. Czech.
- 55 Wadood AC, Azuara-Blanco A, Aspinall P, Taguri A, King AJ. Sensitivity and specificity of frequency-doubling technology, tendency-oriented perimetry, and Humphrey Swedish interactive threshold algorithm-fast perimetry in a glaucoma practice. Am J Ophthalmol. 2002;133:327-32.

- 56 Scherrer M, Fleischhauer JC, Helbig H, Johann Auf der Heide K, Sutter FK. Comparison of tendency-oriented perimetry and dynamic strategy in octopus perimetry as a screening tool in a clinical setting: a prospective study. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2007;224:252-4.
- 57 Pierre-Filho Pde T, Schimiti RB, de Vasconcellos JP, Costa VP. Sensitivity and specificity of frequency-doubling technology, tendency-oriented perimetry, SITA Standard and SITA Fast perimetry in perimetrically inexperienced individuals. *Acta Ophthalmol Scand*. 2006;84:345-50.
- 58 Young IM, Rait JL, Carson CA, Taylor HR. Fastpac visual field screening. *Ophthalmic Epidemiol*. 1995;2:117-21.
- 59 Flanagan JG, Wild JM, Trope GE. Evaluation of FASTPAC, a new strategy for threshold estimation with the Humphrey Field Analyzer, in a glaucomatous population. *Ophthalmology*. 1993;100:949-54.
- 60 Roggen X, Herman K, Van Malderen L, Devos M, Spileers W. Different strategies for Humphrey automated perimetry: FASTPAC, SITA standard and SITA fast in normal subjects and glaucoma patients. *Bull Soc Belge Ophtalmol*. 2001;279:23-33.
- 61 Wild JM, Pacey IE, Hancock SA, Cunliffe IA. Between-algorithm, between-individual differences in normal perimetric sensitivity: full threshold, FASTPAC, and SITA. Swedish Interactive Threshold algorithm. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1999;40:1152-61.
- 62 Glass E, Schaumberger M, Lachenmayr BJ. Simulations for FASTPAC and the standard 4-2 dB full-threshold strategy of the Humphrey Field Analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1995;36:1847-54.
- 63 Young IM, Rait JL, Guest CS, Carson CA, Taylor HR. Comparison between Fastpac and conventional Humphrey perimetry. *Aust N Z J Ophthalmol*. 1994;22:95-9.
- 64 Nordmann JP, Denis P, Nguer Y, Mouton-Chopin D, Saraux H. Static threshold visual field in glaucoma with the Fastpac algorithm of the Humphrey Field Analyser. Is the gain in examination time offset by any loss of information? *Eur J Ophthalmol*. 1994;4:105-10.

- 65 Schaumberger M, Schäfer B, Lachenmayr BJ. Glaucomatous visual fields. FASTPAC versus full threshold strategy of the Humphrey Field Analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1995;36:1390-7.
- 66 O'Brien C1, Poinoosawmy D, Wu J, Hitchings R. Evaluation of the Humphrey FASTPAC threshold program in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 1994;78:516-9.
- 67 Flanagan JG, Moss ID, Wild JM, Hudson C, Prokopich L, Whitaker D, O'Neill EC. Evaluation of FASTPAC: a new strategy for threshold estimation with the Humphrey Field Analyser. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1993;231:465-9.
- 68 Mills RP, Barnebey HS, Migliazzo CV, Li Y. Does saving time using FASTPAC or suprathreshold testing reduce quality of visual fields? *Ophthalmology*. 1994;101:1596-603.
- 69 Glass E, Schaumberger M, Lachenmayr BJ. Simulations for FASTPAC and the standard 4-2 dB full-threshold strategy of the Humphrey Field Analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1995;36:1847-54.
- 70 Bengtsson B, Heijl A. SITA Fast, a new rapid perimetric threshold test. Description of methods and evaluation in patients with manifest and suspect glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998;76:431-7.
- 71 Bengtsson B, Olsson J, Heijl A, Rootzén H. A new generation of algorithms for computerized threshold perimetry, SITA. *Acta Ophthalmol Scand*. 1997;75:368-75.
- 72 Bengtsson B, Heijl A, Olsson J. Evaluation of a new threshold visual field strategy, SITA, in normal subjects. Swedish Interactive Thresholding Algorithm. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998;76:165-9.
- 73 Bengtsson B, Heijl A. Comparing significance and magnitude of glaucomatous visual field defects using the SITA and Full Threshold strategies. *Acta Ophthalmol Scand*. 1999;77:143-6.
- 74 Bengtsson B. A new rapid threshold algorithm for short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003;44:1388-94.
- 75 Bengtsson B, Heijl A. Evaluation of a new perimetric threshold strategy, SITA, in patients with manifest and suspect glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998;76:268-72.

- 76 Artes PH, Iwase A, Ohno Y, Kitazawa Y, Chauhan BC. Properties of perimetric threshold estimates from Full Threshold, SITA Standard, and SITA Fast strategies. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43:2654-9.
- 77 Bass SJ, Abraham-Cohen J, Feldman J, Wyatt H. Humphrey SITA vs Octopus TOP in glaucoma patients. (ARVO Abstract). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41: S88.
- 78 Budenz DL, Rhee P, Feuer WJ, McSoley J, Johnson CA, Anderson DR. Sensitivity and specificity of the Swedish interactive threshold algorithm for glaucomatous visual field defects. *Ophthalmology*. 2002;109:1052-8.
- 79 Capris P. Comparison of TOP strategy (OCTOPUS) and SITA Fast (Humphrey) algorithm in damaged visual fields. International Perimetric Society (IPS) Meeting, 2000.
- 80 Fabre K, Michiels I, Zeyen T. The sensitivity and specificity of TOP, FDP and GDX in screening for early glaucoma. *Bull Soc Belge Ophtalmol* 2000; 275: 17-23.
- 81 Musch DC, Gillespie BW, Motyka BM, Niziol LM, Mills RP, Lichter PR. Converting to SITA-standard from full-threshold visual field testing in the follow-up phase of a clinical trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46:2755-9.
- 82 Ng M, Racette L, Pascual JP, Liebmann JM, Girkin CA, Lovell SL, Zangwill LM, Weinreb RN, Sample PA. Comparing the full-threshold and Swedish interactive thresholding algorithms for short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009;50:1726-33.
- 83 Hirasawa K, Shoji N. Swedish Interactive Threshold Algorithm for central visual field defects unrelated to nerve fiber layer. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016;254:845-54.
- 84 Nordmann JP, Brion F, Hamard P, Mouton-Chopin D. [Evaluation of the Humphrey perimetry programs SITA Standard and SITA Fast in normal probands and patients with glaucoma]. *J Fr Ophtalmol*. 1998;21:549-54.
- 85 Newkirk MR1, Gardiner SK, Demirel S, Johnson CA. Assessment of false positives with the Humphrey Field Analyzer II perimeter with the SITA Algorithm. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006 Oct;47(10):4632-7.

- 86 Shirato S, Inoue R, Fukushima K, Suzuki Y. Clinical evaluation of SITA: a new family of perimetric testing strategies. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1999;237:29-34.
- 87 Sharma AK, Goldberg I, Graham SL, Mohsin M. Comparison of the Humphrey swedish interactive thresholding algorithm (SITA) and full threshold strategies. *J Glaucoma* 2000;9:20-7.
- 88 Sekhar GC, Naduvilath TJ, Lakkai M, et, al. Sensitivity of Swedish interactive threshold algorithm compared with standard full threshold algorithm in Humphrey visual field testing. *Ophthalmology* 2000;107:1303-8.
- 89 Roggen X. Different Strategies for Humphrey Automated Perimetry: FASTPAC, SITA Standart and SITA Fast in Normal Subjects and Glaucoma Patients. *Bull. Soc. Belge Ophtalmol.*, 279, 23-33, 2001.
- 90 Zulauf M, Fehlmann P, Flammer J. Efficiency of the standard Octopus bracketing procedure compared to that of the „Dynamic strategy“ of Weber. *Perimetry update 1994/1995*. Amsterdam: Kugler Publ, 1995; 263-4.
- 91 Wild JM, Pacey IE, O'Neill EC, Cunliffe IA. The SITA perimetric threshold algorithms in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1999;40:1998-2009.
- 92 Wall M, Punke SG, Stickney TL, Brito CF, Withrow KR, Kardon RH. SITA standard in optic neuropathies and hemianopias: a comparison with full threshold testing. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001;42:528-37.
- 93 Yenice O, Temel A. Evaluation of two Humphrey perimetry programs: full threshold and SITA standard testing strategy for learning effect. *Eur J Ophthalmol*. 2005;15:209-12.
- 94 Stark H. [Documentation of glaucomatous visual field defects in threshold and suprathreshold perimetry]. *Klin Monbl Augenheilkd*. 1992;200:187-98. German.
- 95 Mills RP, Barnebey HS, Migliazzo CV, Li Y. Does saving time using FASTPAC or suprathreshold testing reduce quality of visual fields? *Ophthalmology*. 1994;101:1596-603.

- 96 McKendrick AM, Turpin A. Combining perimetric suprathreshold and threshold procedures to reduce measurement variability in areas of visual field loss. *Optom Vis Sci*. 2005;82:43-51.
- 97 Turpin A, Myers JS, McKendrick AM. Development of Visual Field Screening Procedures: A Case Study of the Octopus Perimeter. *Transl Vis Sci Technol*. 2016;5:3.
- 98 Stewart WC, Shields MB, Ollie AR. Full threshold versus quantification of defects for visual field testing in glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1989;27:51-4.
- 99 Henson DB. Visual field screening and the development of a new screening program. *J Am Optom Assoc*. 1989;60:893-8.
- 100 Katz J, Tielsch JM, Quigley HA, Javitt J, Witt K, Sommer A. Automated suprathreshold screening for glaucoma: the Baltimore Eye Survey. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34:3271-7.
- 101 Johnson CA, Keltner JL. Automated suprathreshold static perimetry. *Am J Ophthalmol*. 1980;89:731-41.
- 102 Artes PH, McLeod D, Henson DB. Response time as a discriminator between true- and false-positive responses in suprathreshold perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43:129-32.
- 103 Johnson CA, Keltner JL, Balestrery FG. Suprathreshold static perimetry in glaucoma and other optic nerve disease. *Ophthalmology*. 1979;86:1278-86.
- 104 Henson DB, Artes PH. New developments in supra-threshold perimetry. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2002;22:463-8.
- 105 Keltner JL, Johnson CA, Balestrery FG. Suprathreshold static perimetry. Initial clinical trials with the Fieldmaster automated perimeter. *Arch Ophthalmol*. 1979;97:260-72.
- 106 Niessen AG, Langerhorst CT, Geijssen HC, Greve EL. Design of low cost glaucoma screening. *Doc Ophthalmol*. 1997;93:293-315.
- 107 Takahashi N, Hirasawa K, Hoshina M, Kasahara M, Matsumura K, Shoji N. Diagnostic Ability and Repeatability of a New Supra-Threshold Glaucoma Screening Program in Standard Automated Perimetry. *Transl Vis Sci Technol*. 2017;6:7.

- 108 Siatkowski RM, Lam BL, Anderson DR, Feuer WJ, Halikman AM. Automated suprathreshold static perimetry screening for detecting neuro-ophthalmologic disease. *Ophthalmology*. 1996;103:907-17.
- 109 Sim D, Mitry D, Alexander P, Mapani A, Goverdhan S, Aslam T, Tufail A, Egan C, Keane P. The Evolution of Teleophthalmology Programs in the United Kingdom. *J Diabetes Sci Technol*. 2016;10:308–317.
- 110 Bruun-Jensen J. Visual field screening with a laptop computer system *Optometry*. 2011;82:519-27.
- 111 Ianchulev T, Pham P, Makarov V, Francis B, Minckler D. Peristat: a computer-based perimetry self-test for cost effective population screening of glaucoma. *Curr Eye Res*. 2005;30:1-6.
- 112 Algis J. Vingrys, Healey J, Liew S, Saharinen V, Tran M, Wu W, and Kong G. Validation of a Tablet as a Tangent Perimeter. *Transl Vis Sci Technol*. 2016;5: 3.
- 113 Damato B, Groenewald C. Multifixation campimetry on line: a perimeter for the detection of visual field loss using the internet. *Br J Ophthalmol*. 2003;87:1296–1298.
- 114 Wall M, Kutzko KE, Chauhan BC. Variability in patients with glaucomatous visual field damage is reduced using size V stimuli. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997;38:426-35.
- 115 Andrew J. Anderson. Significant Glaucomatous Visual Field Progression in the First Two Years: What Does It Mean?. *Transl Vis Sci Technol*. 2016;5:1.
- 116 Chauhan BC, Garway-Heath DF, Goñi FJ, Rossetti L, Bengtsson B, Viswanathan AC, Heijl A. Practical recommendations for measuring rates of visual field change in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2008;92:569-73.
- 117 Christodouleas D, Nemiroski A, Kumar A, and Whitesides G. Broadly Available Imaging Devices Enable High-Quality Low-Cost Photometry. *Anal. Chem.*, 2015;87:9170–9178.
- 118 Woods RL, Goldstein RB, Peli E. Psychophysical contrast calibration. *Vision Res*. 2013;90:15-24.

- 119 Xiao K, et al. Visual gamma correction for LCD displays. *Displays* 2011;32:17–23.
- 120 Colombo E, et al. Visual calibration of CRT monitors. *Displays* 2001;22:87–95.
- 121 Bowling B. Kanski's Clinical Ophthalmology. 8th Edition. Page 209. Saunders Ltd. 2016. ISBN: 9780702055737.
- 122 Anderson AJ, Johnson C, Fingeret M, Keltner J, Spry P, Wall M, and Werner J. Characteristics of the Normative Database for the Humphrey Matrix Perimeter. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46:1540–1548.
- 123 Lewis RA, Johnson CA, Keltner JL, Labermeier PK. Variability of quantitative automated perimetry in normal observers. *Ophthalmology*. 1986;93:878-81.
- 124 Heij A, Krakau CE. A note of fixation during perimetry. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1977;55:854–861.
- 125 Lens rim artifact in automated threshold perimetry. Zalta AH. *Ophthalmology* 1989;96:1302-11.
- 126 Tsapakis S, Papaconstantinou D, Diagourtas A, Droutsas K, Andreanos K, Moschos MM, Brouzas D. Visual field examination method using virtual reality glasses compared with the Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol*. 2017;11:1431-1443.
- 127 Tsapakis S, Papaconstantinou D, Diagourtas A, Kandarakis S, Droutsas K, Andreanos K, Brouzas D. Home-based visual field test for glaucoma screening comparison with Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:2597-2606.
- 128 Bloch DA. Comparing two diagnostic tests against the same "gold standard" in the same sample. *Biometrics*. 1997;53:73-85.
- 129 Hanley JA, McNeil BJ. A method of comparing the area under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*. 1983;148:839-43.
- 130 Goksuluk D, Korkmaz S, Zararsiz G, Karaağaoğlu AE. An Interactive Web-tool for ROC Curve Analysis Using R Language Environment. *The R Journal* 2016;8:213-230

- 131 Lopez-Raton M, Rodriguez-Alvarez MX, Cadarso Suarez C, Gude Sampedro F. OptimalCutpoints: An R Package for Selecting Optimal Cutpoints in Diagnostic Tests. *Journal of Statistical Software* 2014; 61(8), 1-36.
- 132 Thompson ML. Assessing the diagnostic accuracy of a sequence of tests. *Biostatistics*. 2003; 4:341-51.
- 133 Hajian-Tilaki K. Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation. *Caspian J Intern Med*. 2013;4:627–635.
- 134 Thompson ML. Assessing the diagnostic accuracy of a sequence of tests. *Biostatistics*. 2003; 4:341-51.
- 135 Sheringham J, Kalim K, Crayford T. Mastering Public Health: A guide to examinations and revalidation. ISBN-13 978-1-85315-781-3.
- 136 Zou K, Bhagwat J, Carrino J. Statistical Combination Schemes of Repeated Diagnostic Test Data. *Acad Radiol*. 2006; 13:566–572.
- 137 Lewis G, Sheringham J, Bernal JL, Crayford T. Mastering Public Health: A Postgraduate Guide to Examinations and Revalidation, Second Edition. Pages 190-191. CRC Press. Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. Boca Raton. FL. 33487-2742. 2014. ISBN 13:978-1-4441-5270-8
- 138 Kumar R, Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatr*. 2011;48:277-87.
- 139 Akobeng AK. Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves. *Acta Paediatr*. 2007;96:644-7. Epub 2007 Mar 21.
- 140 Obuchowski NA. Receiver operating characteristic curves and their use in radiology. *Radiology*. 2003;229:3-8.
- 141 Park SH, Goo JM, Jo CH. Receiver operating characteristic (ROC) curve: practical review for radiologists. *Korean J Radiol*. 2004;5:11-8.
- 142 He H, Lyness JM, McDermott MP. Direct estimation of the area under the receiver operating characteristic curve in the presence of verification bias. *Stat Med*. 2009;28:361-76.

- 143 Takenouchi T, Komori O, Eguchi S. An extension of the receiver operating characteristic curve and AUC-optimal classification. *Neural Comput.* 2012;24:2789-824.
- 144 Pamela A, et al. Repeatability of abnormality and progression in glaucomatous standard and swap visual fields. *Perimetry Update* 1998/1999, pp. 333–7
- 145 Wu X, et al. Laptop Computer perimetry for glaucoma screening, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1991; 32:810.
- 146 Wroblewski D, Francis B, Sadun A, Vakili G, and Chopra V. Testing of Visual Field with Virtual Reality Goggles in Manual and Visual Grasp Modes. *BioMed Research International* Volume 2014: Article ID 206082.
- 147 Johnson CA, Thapa S, George Kong YX, Robin AL. Performance of an iPad Application to Detect Moderate and Advanced Visual Field Loss in Nepal. *Am J Ophthalmol.* 2017;182:147-154.
- 148 Brouzas D, Tsapakis S, Nitoda E, Moschos MM. Visual field examination using a video projector: comparison with Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol.* 2014; 8: 523–528.
- 149 Lowry E, Hou J, Hennein L, Chang R, Lin S, Keenan J, Wang S, Ianchulev S, Pasquale L and Han Y. Comparison of Peristat Online Perimetry with the Humphrey Perimetry in a Clinic-Based Setting. *Transl Vis Sci Technol.* 2016;5:4.
- 150 Grisolia ABD, Abalem MF, Lu Y, Aoki L, Matayoshi S. Teleophthalmology: where are we now? *Arq Bras Oftalmol.* 2017;80:401-406.
- 151 Sreelatha OK, Ramesh SV. Teleophthalmology: improving patient outcomes? *Clin Ophthalmol.* 2016;10:285-95.
- 152 Tan IJ, Dobson LP, Bartnik S, Muir J, Turner AW. Real-time teleophthalmology versus face-to-face consultation: A systematic review. *J Telemed Telecare.* 2017;23:629-638.
- 153 Fatehi F, Jahedi F, Tay-Kearney ML, Kanagasingam Y. Teleophthalmology for the elderly population: A review of the literature. *Int J Med Inform.* 2020;136:104089.

- 154 Sharafeldin N, Kawaguchi A, Sundaram A, Campbell S, Rudnisky C, Weis E, Tennant MTS, Damji KF. Review of economic evaluations of teleophthalmology as a screening strategy for chronic eye disease in adults. *Br J Ophthalmol*. 2018;102:1485-1491.
- 155 Korot E, Wood E, Weiner A, Sim DA, Trese M. A renaissance of teleophthalmology through artificial intelligence. *Eye (Lond)*. 2019;33:861-863.
- 156 Kapoor R, Walters SP, Al-Aswad LA. The current state of artificial intelligence in ophthalmology. *Surv Ophthalmol*. 2019;64:233-240. doi: 10.1016/j.survophthal.2018.09.002.
- 157 Akkara JD, Kuriakose A. Commentary: Teleophthalmology and electronic medical records: Weighing the pros and cons of unavoidable progress. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68:367-368.
- 158 Ye Y, Wang J, Xie Y, Jiang H, Zhong J, He X, Zhang H. Global Teleophthalmology With the Smartphone for Microscopic Ocular Surgery. *Eye Contact Lens*. 2016;42:275-9.
- 159 Sim D, Mitry D, Alexander P, Mapani A, Goverdhan S, Aslam T, Tufail A, Egan C, Keane P. The Evolution of Teleophthalmology Programs in the United Kingdom. *J Diabetes Sci Technol*. 2016; 10:308–317.
- 160 Li HK, Tang RA, Oschner K, Koplos C, Grady J, Crump WJ. Telemedicine screening of glaucoma. *Telemed J*. 1999;5:283-90.
- 161 Thomas S, Jeyaraman M, Hodge W, Hutnik C, Costella J, Malvankar-Mehta M. The Effectiveness of Teleglaucoma versus In-Patient Examination for Glaucoma Screening: A Systematic Review and Meta-Analysis *PLoS One*. 2014; 9:e113779.
- 162 Ting DSW, Cheung CY-L, Lim G, Tan GSW, Quang ND, Gan A, et al. Development and Validation of a Deep Learning System for Diabetic Retinopathy and Related Eye Diseases Using Retinal Images From Multiethnic Populations With Diabetes. *JAMA*. 2017;318:2211–23.
- 163 Schlegl T, Waldstein SM, Bogunovic H, Endstraßer F, Sadeghipour A, Philip A-M, et al. Fully Automated Detection and Quantification of

- Macular Fluid in OCT Using Deep Learning. *Ophthalmology*. 2018;125:549–58.
- 164 Lee CS, Tying AJ, Deruyter NP, Wu Y, Rokem A, Lee AY. Deep-learning based, automated segmentation of macular edema in optical coherence tomography. *Biomed. Opt. Express*. 2017;8:3440–8.
 - 165 Wen JC, Lee CS, Keane PA, Xiao S, Wu Y, Rokem A, et al. Forecasting Future Humphrey Visual Fields Using Deep Learning. *PLoS One*. 2019; 14: e0214875.
 - 166 De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B, Nikolov S, Tomasev N, Blackwell S, Askham H, Glorot X, O'Donoghue B, Visentin D, van den Driessche G, Lakshminarayanan B, Meyer C, Mackinder F, Bouton S, Ayoub K, Chopra R, King D, Karthikesalingam A, Hughes CO, Raine R, Hughes J, Sim DA, Egan C, Tufail A, Montgomery H, Hassabis D, Rees G, Back T, Khaw PT, Suleyman M, Cornebise J, Keane PA, Ronneberger O. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nat Med*. 2018;24:1342-1350
 - 167 Prathiba V, Rema M. Teleophthalmology: A Model for Eye Care Delivery in Rural and Underserved Areas of India. *Int J Family Med*. 2011;2011:683267.
 - 168 John S, Sengupta S, Reddy SJ, Prabhu P, Kirubanandan K, Badrinath SS. The Sankara Nethralaya mobile teleophthalmology model for comprehensive eye care delivery in rural India. *Telemed J E Health*. 2012;18:382-7.
 - 169 Zhang X, Zhang P. Telemedicine in clinical setting. *Exp Ther Med*. 2016;12: 2405–2407.
 - 170 Deemer A, Bradley C, Ross N, Natale D, Rath I, Werblin F, Massof R. Low Vision Enhancement with Head-mounted Video Display Systems: Are We There Yet?. *Optom Vis Sci*. 2018;95:694-703.
 - 171 Angelopoulos A, Ameri H, Mitra D, Humayun M. Enhanced Depth Navigation Through Augmented Reality Depth Mapping in Patients with Low Vision. *Sci Rep*. 2019; 9:11230.

