



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

## «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΟ-ΟΡΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ»

Παπαδάτου Ελένη

Διπλ/χος Οπτικός – Οπτομέτρης

Τ.Ε.Ι. Πατρών

Ηράκλειο 2014

### Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης

Κύριος Επιβλ: Σωτήρης Πλαΐνης, PhD  
Οπτομέτρης

Ιωάννης Παλλήκαρης, Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Ian Murray, Λέκτορας  
Οφθαλμολογίας

### Τριμελής Επιτροπή Αξιολόγησης

Ιωάννης Παλλήκαρης, Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Μιλτιάδης Τσιλιμπάρης, Αν. Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Κυμιωνής Γεώργιος, Επ. Καθ.  
Οφθαλμολογίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

## «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΟ-ΟΡΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ»

Παπαδάτου Ελένη

Διπλ/χος Οπτικός – Οπτομέτρης

Τ.Ε.Ι. Πατρών

Ηράκλειο 2014

### Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης

Κύριος Επιβλ: Σωτήρης Πλαϊνης, PhD  
Οπτομέτρης

Ιωάννης Παλλήκαρης, Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Ian Murray, Λέκτορας  
Οφθαλμολογίας

### Τριμελής Επιτροπή Αξιολόγησης

Ιωάννης Παλλήκαρης, Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Μιλτιάδης Τσιλιμπάρης, Αν. Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Γεώργιος Κυμιωνής, Επ. Καθ.  
Οφθαλμολογίας

Η παρούσα εργασία υπεβλήθη ως μέρος των υποχρεώσεων για την απονομή του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Οπτική και Όραση» και παρουσιάστηκε στην Τριμελή Επιτροπή αποτελούμενη από τους:

1. Ιωάννη Παλλήκαρη, Καθ. Οφθαλμολογίας
2. Μιλτιάδη Τσιλιμπάρη, Αν. Καθ. Οφθαλμολογίας
3. Γεώργιο Κυμιωνή, Επ. Καθ. Οφθαλμολογίας

### Σκοπός:

Η αξιολόγηση της Μονο-όρασης στην απόσταση του ενός μέτρου με Απλούς Οπτικού Χρόνου Αντίδρασης .

### Μεθοδολογία:

Στην παρούσα μελέτη συμμετείχαν συνολικά 11 υγιείς νεαροί ενήλικες (μέση ηλικία:  $30 \pm 6$  έτη και μέση οπτική οξύτητα:  $-0,23 \pm 0,07$  logMAR) χωρίς προηγούμενο σοβαρό οφθαλμοπαθολογικό ιστορικό ή προηγούμενη διαθλαστική επέμβαση και απουσία αμβλυωπίας ή ανισομετρωπίας.

Για την προσομοίωση της Μονο-όρασης χρησιμοποιήθηκε διοπτρική θόλωση από +0.50 D έως +3.00 D με βήμα 0.50 D) η οποία τοποθετήθηκε στον κυρίαρχο ή στον μη κυρίαρχο οφθαλμό επιπλέον της βέλτιστης διόρθωσης. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν σε διόφθαλμη θόλωση. Για την καταγραφή των οπτικών χρόνων αντίδρασης χρησιμοποιήθηκε ένα ημιτονοειδές grating με 10% αντίθεση, 4 c/deg χωρική συχνότητα και οριζόντιο προσανατολισμό. Όλες οι μετρήσεις έγιναν στο 1 μέτρο.

Οι χρόνοι αντίδρασης μετρήθηκαν 1) για ένα ερέθισμα που εμφανιζόταν στο κέντρο του οπτικού πεδίου (ωχρική όραση), 2) με κορικά διαφράγματα (3mm και 6 mm) με κυκλοπληγία και, 3) στην περιφέρεια του οπτικού πεδίου. Επίσης αξιολογήθηκε η οπτική οξύτητα με πίνακα κοντινής οπτικής οξύτητας ETDRS.

### Αποτελέσματα:

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η αύξηση της διοπτρικής θόλωσης είτε διόφθαλμα είτε στις συνθήκες Μονο-όρασης, οδηγεί σε όλες τις περιπτώσεις σε αύξηση των οπτικών χρόνων αντίδρασης και σε επιδείνωση της Οπτικής οξύτητας με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο στη συνθήκη της Διόφθαλμης Θόλωσης. Σε καμία δοκιμασία δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης. Στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν μεταξύ των συνθηκών Μονο-όρασης με τη Διόφθαλμη όραση (όταν η θόλωση ήταν  $\geq 1.0D$ ). Στον έλεγχο της οπτικής απόδοσης με τη χρήση κορικών διαφραγμάτων, προέκυψε ότι στα 6mm κορικού διαφράγματος η θόλωση οδηγούσε πάντα σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης. Στη περιφερική όραση, στατιστικά σημαντικές διαφορές

προέκυψαν μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης και της βέλτιστης διόφθαλμης όρασης με το φαινόμενο να μην είναι σημαντικό για τις 10 deg.

Μέσω των δευτεροβάθμιων εξισώσεων που προέκυψαν για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης και στη συνθήκη διόφθαλμης θόλωσης υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες τιμές της διόφθαλμης διοπτρικής θόλωσης (για θόλωση +1.00, +2.00, +3.00D) όπου αντιστοιχούν οι τιμές της Μονο-όρασης για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και την Οπτική Οξύτητα. Τέλος, τα αποτελέσματα των Χρόνων Αντίδρασης/ Effective Contrast συνδυάστηκαν με την Οπτική Οξύτητα. Οι μεταβολές στην οπτική οξύτητα οδηγούν σε πιο απότομες μεταβολές στους χρόνους αντίδρασης/ effective contrast στη Μονο-όραση απ' ό,τι στη διόφθαλμη θόλωση.

### **Συμπεράσματα:**

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της θόλωσης οδηγεί σε επιβράδυνση των χρόνων και σε μικρή μείωση της Οπτικής οξύτητας χωρίς να προκύπτει στατιστικά σημαντική μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης. Οι ταχύτερες αποκρίσεις των χρόνων αντίδρασης στα 6mm σε σχέση με τα 3mm διαφράγματος ίσως υποδεικνύουν ότι η φωτεινότητα αποτελεί πιο σημαντικό παράγοντα στη Μονο-όραση από το βάθος πεδίου. Τέλος, η Μονο-όραση φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την ωχρική όραση απ' ό,τι τη περιφερική.

### **Abstract**

#### **Purpose:**

The evaluation of intermediate visual performance in Monovision using Simple Reaction Times.

#### **Methodology:**

In the present study, the participants were 11 healthy adults (mean age: 29±6 years and mean visual acuity: -0,23±0,07 logMAR) without any ophthalmopathological disorders or refractive surgery background and without amblyopia or anisometropia.

To simulate Monovision, positive dioptric defocus was used (from +0.50 D to +3.00 D, in 0.50 D steps), which was inserted in the dominant or the non-dominant eye, in addition to refraction for best corrected vision. Additionally, recordings were repeated under binocular viewing conditions. The stimulus used for reaction times recordings was a sinusoidal grating

with contrast 10%, spatial frequency of 4 c/deg and horizontal orientation. All recordings were performed at 1m distance.

Reaction times were recorded for 1) a stimulus which was presented at the center of the visual field (foveal vision), 2) by using pupil apertures (3 and 6mm) under cycloplegia, for the stimulus' presented in the periphery (up to 10deg). 3), and lastly. Visual acuity was also measured with ETDRS charts.

### **Results:**

Defocus, whether monocular or binocular, leads in all cases to an increase in the reaction times although is more pronounced for the Binocular Defocus. No statistical significant differences were found between the two Monovision conditions. Statistical differences occurred between the two Monovision conditions and the Binocular Defocus (for defocus levels  $\geq 1.0D$ ). Also, performance with Monovision was better with the 6mm compare to 3mm. In the case of eccentricity, statistical significant differences were found between monovision conditions and binocular viewing with the effect being non- significant for 10deg eccentricities.

Through quadratic equations obtained from Monovision and Binocular defocus conditions, it was calculated the value of the binocular dioptric defocus where the values of Monovision (reaction times, visual acuity) were corresponding (for defocus +1.00, +2.00, +3.00 D). Lastly, the results from Reaction times/ Effective Contrast were combined with Visual Acuity. Small changes in Visual Acuity lead to more abrupt changes in reaction times under Monovision compare to Binocular defocus.

### **Conclusions:**

The results demonstrate that an increase in the amount of monovision (ie the addition) leads to an increase in reaction times, which is less pronounced compared to Binocular Defocus. The faster reaction times for 6mm aperture may show that the luminance is a more important factor for monovision compare to Depth of Focus (resulting from small apertures). Lastly, Monovision seems to affect more the foveal vision than the periphery vision.

## **Ευχαριστίες...**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σωτήρη Πλαΐνη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και για την καθοδήγηση που απλόχερα προσέφερε και προσφέρει.

Τον Χρήστο ιδιαίτερα, γιατί χωρίς τη πολύτιμη βοήθεια του και την υποστήριξη του η εργασία αυτή ίσως να μην είχε περατωθεί.

Τη Μαρία για την καλή μας συνεργασία, το Μάνο και τον Μάρκο που ήταν οι πιο πρόθυμοι και υπομονετικοί συμμετέχοντες, τη Τρισεύγενη για τη ζεστασιά και τη καλοσύνη της και που επίσης φρόντιζε να τρώμε και κάνα φρούτο.

Ακόμη, όλους όσους πήραν μέρος με προθυμία σε αυτή την έρευνα και τη βοήθησαν να πραγματοποιηθεί.

Την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τη μητέρα μου.

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	<b>9</b>
1.1 Προσαρμογή.....	10
1.1.1 Μηχανισμός της Προσαρμογής.....	10
1.1.2 Βάθος εστίασης (Depth- Of- Focus) και Βάθος Πεδίου.....	11
1.2.3 Εύρος προσαρμογής .....	12
1.2 Πρεσβυωπία .....	13
1.2.1 Αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας.....	14
1.3 Οφθαλμική κυριαρχία .....	15
1.4 Νευροφυσιολογία Οπτικής Οδού .....	16
1.4.1 Ταξινόμηση γαγγλιακών κυττάρων.....	16
1.5 Ψυχοφυσικός έλεγχος της Όρασης.....	18
1.5.1 Οπτική Οξύτητα .....	18
1.6 Οπτικά Προκλητά Δυναμικά (VEPs) και Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης.....	20
<b>Κεφάλαιο 2: Μονο-όραση</b> .....	<b>22</b>
2.1 Μονο-όραση (monovision) για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας.....	23
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της Μονο-όρασης.....	23
2.2.1 Ανισομετροπία.....	24
2.2.2 Οφθαλμική κυριαρχία .....	25
2.2.3 Ικανότητα καταστολής της θόλωσης.....	27
2.2.4 Διαθλαστικό σφάλμα.....	29
2.2.5 Ηλικία και φύλο υποψηφίου.....	29
2.3 Αποτελέσματα Μονο-όρασης στην λειτουργική όραση .....	29
2.3.1 Διόφθαλμο βάθος εστίασης.....	30
2.3.2 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα καταστολής της θόλωσης.....	30
2.3.3 Διόφθαλμη οπτική οξύτητα και ευαισθησία φωτεινής αντίθεσης.....	30
2.3.4 Στερεοοπτική οξύτητα.....	31
2.3.5 Οπτικό πεδίο.....	31
2.5 Χαρακτηριστικά κατάλληλου υποψηφίου για Μονο-όραση.....	32
2.6 Περιπτώσεις που η Μονο-όραση δεν είναι κατάλληλη επιλογή.....	32
2.7 Συμπεράσματα για τη Μονο-όραση.....	33
<b>Κεφάλαιο 3: Απλοί Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης</b> .....	<b>34</b>
3.1 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης .....	35
3.1.2 Είδη ψυχοφυσικών πειραμάτων για τον έλεγχο των Χρόνων Αντίδρασης (RTs).....	35
3.1.3 Απλός Οπτικός Χρόνος αντίδρασης (Simple Visual Reaction Time).....	36
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης.....	38

3.2.1 Φωτεινή ένταση και διάρκεια του ερεθίσματος .....	38
3.2.2 Αμφιβληστροειδική περιοχή (Retinal Locus) .....	40
3.2.3 Φωτεινή αντίθεση ερεθίσματος (Contrast).....	41
3.2.4 Χωρική συχνότητα (Spatial Frequency).....	43
3.2.5 Ηλικία και φύλο .....	45
3.2.6 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τους χρόνους αντίδρασης .....	46
3.4 Μελέτες RTs που υποδεικνύουν την ύπαρξη δυο παράλληλων μηχανισμών .....	46
3.5 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Μονο-όραση .....	51
<b>Κεφάλαιο 4: Σκοπός – Μεθοδολογία .....</b>	<b>53</b>
4.1 Σκοπός της μελέτης .....	54
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	54
4.2.1 Χαρακτηριστικά Μελέτης .....	54
4.2.2 Συμμετέχοντες .....	54
4.2.3 Διαδικασίες αξιολόγησης της όρασης των συμμετεχόντων .....	55
4.2.4 Προσομοίωση της Μονο-όρασης και Διόφθαλμη θόλωση .....	56
4.2.4 Απλοί Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης.....	57
4.2.5 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης συναρτήσει του Contrast.....	58
4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	61
<b>Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....</b>	<b>62</b>
5.1 Επίδραση της Μονο-όρασης στην Οπτική Απόδοση .....	63
5.2 Μονο-όραση και κορικά διαφράγματα .....	79
5.3 Επίδραση της Εκκεντρότητας στην Μονο-όραση .....	86
<b>Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....</b>	<b>94</b>
6.1 Κύρια ευρήματα .....	95
6.2 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με προηγούμενες έρευνες .....	97
6.3 Συζήτηση – Μελλοντική εργασία .....	98
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>99</b>



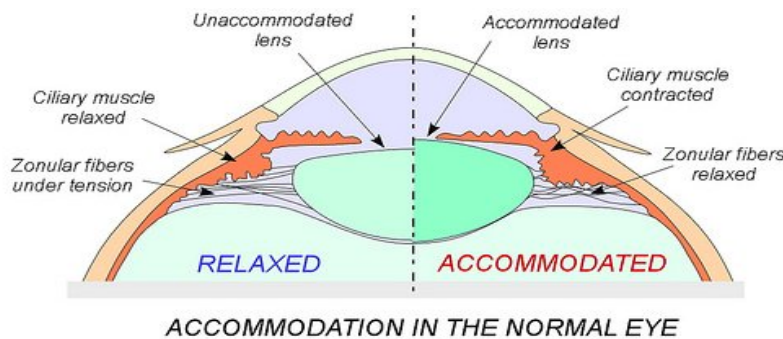
## **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

## 1.1 Προσαρμογή

Η προσαρμογή είναι μια ζωτικής σημασίας διαδικασία για τη διατήρηση της συνεχούς, ευκρινούς όρασης σε όλες τις αποστάσεις. Ο όρος προσαρμογή στις επιστήμες της όρασης αναφέρεται στην ικανότητα του οφθαλμού να αλλάζει την διαθλαστική του ισχύ ώστε να εστιάζει σε αντικείμενα ενδιαφέροντος που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από τον παρατηρητή. Στον άνθρωπο, η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω συνεχών, παροδικών αλλαγών στη καμπυλότητα του κρυσταλλοειδούς φακού.

### 1.1.1 Μηχανισμός της Προσαρμογής

Η σημερινή κατανόηση του μηχανισμού της προσαρμογής στηρίζεται στη θεωρία του Hermann von Helmholtz (1851) πάνω στην οποία έχουν στηριχθεί μεταγενέστερες θεωρίες. Ανατομικά, είναι γνωστό ότι ο φακός συγκρατείται στη θέση του από τις ίνες της Ζινείου Ζώνης που εκφύονται από τον ακτινωτό μυ. Από την Οπτική Φυσική, ένα αντικείμενο που βρίσκεται τοποθετημένο σε μικρή απόσταση από τον οφθαλμό στέλνει προς αυτόν μια αποκλίνουσα δέσμη ακτινών. Για να εστιαστεί η δέσμη αυτή πάνω στον αμφιβληστροειδή και να δημιουργηθεί ένα ευκρινές είδωλο, απαιτείται πρόσθετη θετική διαθλαστική δύναμη η οποία εξασφαλίζεται μέσω αύξησης της καμπυλότητας του κρυσταλλοειδούς φακού, η οποία συνεπάγεται με αύξηση του πάχους του. Για να συμβεί αυτό, ο ακτινωτός μυς συσπάται και οι ίνες της Ζινείου Ζώνης που συγκρατούν τον φακό χαλαρώνουν επιτρέποντας στον κρυσταλλοειδή φακό να πάρει πιο σφαιρικό σχήμα λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του. Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει στη περίπτωση παρατήρησης ενός μακρινού αντικειμένου με τον ακτινωτό μυ να βρίσκεται σε χάλαση και τις ίνες να ασκούν δυνάμεις τάνυσης στο φακό ο οποίος γίνεται επίπεδος για να εστιάσει τις ακτίνες στον αμφιβληστροειδή (βλ. εικόνα 1).



Εικόνα 1: Μηχανισμός Προσαρμογής. Η προσαρμογή επιτυγχάνεται με την αλλαγή του σχήματος του φακού. Αριστερά (relaxed), κατά την παρατήρηση ενός αντικειμένου που βρίσκεται στο άπω σημείο, ο φακός είναι επίπεδος

(unaccommodated lens). Δεξιά (accommodated lens), κατά την παρατήρηση ενός αντικειμένου στο εγγύς σημείο, ο φακός διογκώνεται (accommodated lens) λόγω σύσπασης του ακτινωτού μυός (ciliary muscle contracted) ο οποίος οδηγεί στη χάλαση των ινών της Ζιννείου Ζώνης (zonular fibers relaxed).

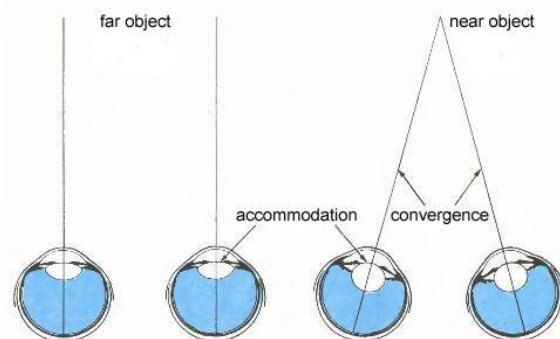
[\(http://adithyakiran.wordpress.com/category/eye-health/\)](http://adithyakiran.wordpress.com/category/eye-health/)

Φυσιολογικά, η προσαρμογή συνοδεύεται ταυτόχρονα από σύγκλιση των οπτικών αξόνων των οφθαλμών στο σημείο παρατήρησης και από μύση της κόρης (αύξηση βάθους εστίασης). Η προσαρμογή μαζί με τη σύγκλιση και τη μύση της κόρης αποτελούν την τριάδα του εγγύς αντανακλαστικού (βλ. εικόνα 2). Το ποσό της προσαρμογής που απαιτείται για την εστίαση ενός αντικειμένου σε μια ορισμένη απόσταση ισούται με το αντίστροφο της απόστασης αυτής σε μέτρα και η μονάδα μέτρησης της προσαρμογής που προκύπτει από το συσχετισμό αυτόν είναι η Διοπτρία (D).

### 1.1.2 Βάθος εστίασης (Depth- Of- Focus) και Βάθος Πεδίου

Ο όρος βάθος εστίασης αναφέρεται στο εύρος της εστίασης στο οποίο τα σφάλματα που προκύπτουν (π.χ. σφαιρική εκτροπή) δεν επηρεάζουν την ποιότητα της αμφιβληστροειδικής εικόνας. Η μείωση στην ποιότητα της αμφιβληστροειδικής εικόνας μπορεί να καθοριστεί με αντικειμενικές και υποκειμενικές μεθόδους και μετράται σε διοπτρίες (D).

Το βάθος πεδίου αυξάνεται με τη διόφθαλμη παρατήρηση και εξαρτάται από παράγοντες όπως η διάμετρος της κόρης, ο αστιγματισμός και οι εκτροπές υψηλής τάξης (κυρίως η σφαιρική), η ηλικία (μύση της κόρης), η προσωπικότητα του ατόμου και η ύπαρξη κάποιας πάθησης (π.χ. καταρράκτης).



Εικόνα 2: αριστερά: κατά τη μακρινή παρατήρηση ενός αντικειμένου οι οπτικοί άξονες είναι παράλληλοι και ο κρυσταλλοειδής φακός επίπεδος. Δεξιά: κατά την παρατήρηση ενός κοντινού αντικειμένου οι οπτικοί άξονες συγκλίνουν, ο κρυσταλλοειδής φακός γίνεται κυρτός και το μέγεθος της κόρης μειώνεται για να αυξηθεί το βάθος πεδίου (τριάδα εγγύς αντανακλαστικού).

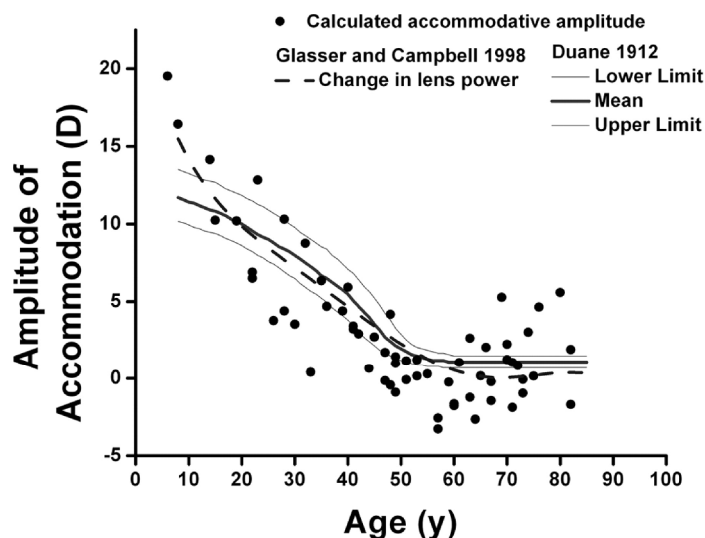
<http://www.forbestvision.com/accomodation-and-convergence>

### 1.2.3 Εύρος προσαρμογής

Ο οφθαλμός ενός νεαρού εμμετρωπικού ανθρώπου, ηλικίας  $< 18$  ετών, μπορεί να μεταβάλλει την εστίαση του από το άπω σημείο παρατήρησης (πάνω από τα 6m) στο εγγύς σημείο παρατήρησης (περίπου στα 7cm) σε περίπου ένα δευτερόλεπτο, ανάλογα με την απαιτούμενη προσαρμογή (όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερος και ο χρόνος). Η διαφορά των δύο αυτών σημείων (άπω και εγγύς σημείο παρατήρησης) ονομάζεται εύρος προσαρμογής και υπολογίζεται σε διοπτρίες. Τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός αυτής της απόστασης που ορίζει το εύρος προσαρμογής εστιάζονται ευκρινώς στον αμφιβληστροειδή.

Το εύρος προσαρμογής είναι γεγονός ότι μειώνεται προοδευτικά, σχεδόν γραμμικά, με την πάροδο της ηλικίας, πριν ακόμη αρχίσουν να φθίνουν άλλες φυσιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και μάλιστα στην ηλικία των 50 ετών έχει ήδη μειωθεί κατά τα 2/3. Ο Duane (1912) παρατήρησε ότι από εύρος 20 περίπου διοπτριών σε ένα παιδί που αντιστοιχεί σε ικανότητα εστίασης στα 5 m, το υποκειμενικό εύρος προσαρμογής μειώνεται στις 10 περίπου διοπτρίες στην ηλικία των 25 ετών (ικανότητα εστίασης στα 10 m) και συνεχίζει να φθίνει φτάνοντας μεταξύ 0.5 και 1.0 διοπτρίας στα 60 έτη (ικανότητα εστίασης στο 1 με 2 μέτρα). Στη πραγματικότητα όμως σχεδόν κανένας άνθρωπος δεν προσαρμόζει (δηλαδή δεν αλλάζει η διοπτρική ισχύς του κρυσταλλοειδούς φακού) μετά την ηλικία των 55 ετών το εύρος προσαρμογής που υπολογίζεται παραπάνω στην πραγματικότητα υπερεκτιμά το πραγματικό εύρος προσαρμογής επειδή μέσα σε αυτό συμπεριλαμβάνεται και το βάθος εστίασης, το οποίο αυξάνεται με την πάροδο της ηλικίας λόγω της φυσιολογικής μύσης της κόρης ή λόγω της παρουσίας αστιγματισμού που οδηγεί σε πολυεστιακότητα.

Ο ρυθμός μείωσης διοπτριών ανά χρόνο σύμφωνα με τους Borja et al. Υπολογίστηκε ότι αντιστοιχεί περίπου σε  $-0,41$  D/y (διοπτρίες ανά χρόνο) από την ηλικία των 6 ετών συνεχίζοντας ως την ηλικία των 58 ετών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι Borja et al. στη μελέτη τους συνέκριναν τα αποτελέσματα τους με αυτά του Duane (1912) και των Glasser and Gambell (1998) και βρήκαν επίσης ότι μετά την ηλικία των 58 ετών και έως τα 82 έτη παρατηρείται αύξηση του εύρους προσαρμογής που αντιστοιχεί περίπου σε  $0,33$  D/y. Το γεγονός το αποδίδουν στην κυρίως στην εμφάνιση του καταρράκτη, ο οποίος προκαλεί αλλαγές στη μορφολογία του κρυσταλλοειδούς φακού και τελικά επηρεάζει παράγοντες όπως το πάχος (αύξηση του πάχους του φακού), το σχήμα και τον δείκτη διάθλασης του (βλ. εικόνα. 3).



Εικόνα 3: Μείωση του εύρους προσαρμογής σε D συναρτήσει της ηλικίας. Με τις μαύρες κουκίδες είναι τα αποτελέσματα της μελέτης των Borja et al. ενώ στο γράφημα περιλαμβάνονται επίσης τα αποτελέσματα του Duane (συμπαγείς γραμμές) και των Glasser and Gambell (διακεκομμένες γραμμές).

<http://www.iovs.org/content/49/6/2541.full.pdf+html>

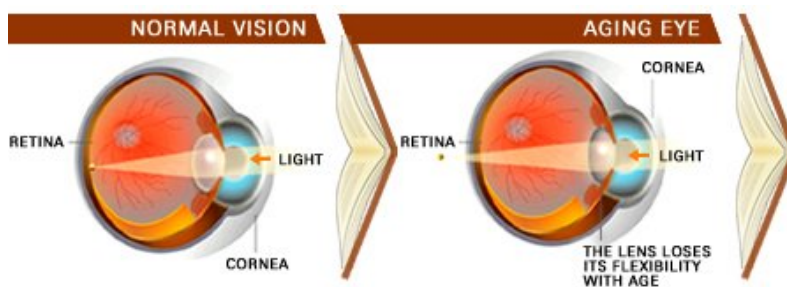
## 1.2 Πρεσβυωπία

Η μείωση του εύρους προσαρμογής αρχίζει να γίνεται αισθητή στους περισσότερους ανθρώπους κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> δεκαετίας της ζωής τους όταν αρχίζουν να δυσκολεύονται πλέον στην εκτέλεση κοντινών διαδικασιών (π.χ. διάβασμα) αλλά και εργασιών που απαιτούν ενδιάμεση όραση (π.χ. απόσταση υπολογιστή). Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως πρεσβυωπία και τα συμπτώματά της περιλαμβάνουν κοπιωπία, δυσκολία όρασης σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, προβλήματα στην εστίαση μικρών αντικειμένων, δυσκολία στην ανάγνωση και δυσκολία στην εκπόνηση εργασιών που απαιτούν ευκρινή κοντινή όραση (π.χ. ράψιμο).

Η ηλικία που η μείωση του εύρους προσαρμογής γίνεται αισθητή, η εμφάνιση δηλαδή της πρεσβυωπίας, διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το διαθλαστικό σφάλμα και η απόσταση εργασίας, ενώ, σύμφωνα με τον Atchison, είναι πιθανόν εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το ιστορικό προσαρμογής, η γενική υγεία, η διατροφή, η φυλή κ.α.

Αν και ο μηχανισμός της προσαρμογής μελετάται για πάνω από 400 χρόνια, υπάρχουν πολλές θεωρίες που έρχονται σε αντιπαράθεση μεταξύ τους σχετικά με τα αίτια της πρεσβυωπίας με αποτέλεσμα οι ακριβείς μηχανισμοί που την προκαλούν να μην είναι ακόμη γνωστοί με βεβαιότητα. Από τις μελέτες που έχουν γίνει, η πιο επικρατής θεωρία (βλ εικόνα 4) είναι ότι

η πρεσβυωπία προκαλείται λόγω της απώλειας της ελαστικότητας του κρυσταλλοειδούς φακού εξαιτίας της φυσιολογικής γήρανσης (Hess- Gullstrand). Εν τούτοις, αλλαγές στην καμπυλότητα του φακού εξαιτίας του αυξανόμενου πάχους του με την πάροδο της ηλικίας, αλλαγές στο δείκτη διάθλασης και πιθανή μείωση της δύναμης του ακτινωτού μυ (Duane 1912), έχουν επίσης συσχετιστεί με την ανάπτυξη της πρεσβυωπίας.



Εικόνα 4: Πρεσβυωπία. Αριστερά, σε έναν μη πρεσβυωπικό οφθαλμό, κατά τη διάρκεια διαδικασίας που απαιτεί κοντινή ευκρινή όραση όπως το διάβασμα, ο μηχανισμός της προσαρμογής ενεργοποιείται και το είδωλο εστιάζεται στον αμφιβληστροειδή. Δεξιά, σε έναν πρεσβυωπικό οφθαλμό, ο μηχανισμός της προσαρμογής είναι αδύνατον να ενεργοποιηθεί και το είδωλο σχηματίζεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή.

<http://www.rustoneyeinstitute.com/index.cfm/PageID/3793>

### 1.2.1 Αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας

Για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας λαμβάνεται υπόψιν κατά κύριο λόγο το διαθλαστικό προφίλ του εκάστοτε ατόμου και επιλέγεται το κατάλληλο οπτικό βοήθημα. Οι εμμέτρωπες διατηρούν την ευκρινή τους όραση για μακριά αλλά χρειάζονται ένα οπτικό βοήθημα που θα καλύψει τις ανάγκες τους στη κοντινή όραση. Οι μύωπες παρατηρούν συνήθως ότι βλέπουν καλύτερα κοντά χωρίς οπτική διόρθωση καθώς το άπω σημείο σε ένα μυωπικό μάτι βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από ότι σε ένα εμμετρικό και ως εκ τούτου χρειάζεται λιγότερη προσαρμογή κατά την κοντινή όραση ώστε να εστιαστεί το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Τέλος, οι υπερμέτρωπες παρατηρούν ότι χρειάζονται οπτική διόρθωση και για την κοντινή αλλά και για τη μακρινή όραση καθώς η απώλεια των θετικών διοπτριών που εξουδετέρωναν την υπερμετρωπία μέχρι πρότινος, δημιουργεί δυσκολίες στην όραση τόσο στη μακρινή όσο και στην κοντινή απόσταση.

Σήμερα, δεδομένης της αύξησης του προσδόκιμου ζωής λόγω της επιστημονικής προόδου, η ηλικία εμφάνισης της πρεσβυωπίας συμπίπτει με τις παραγωγικές ηλικίες των 40- 50 ετών. Ως εκ τούτου, η ανάγκη διόρθωσης της πρεσβυωπίας είναι ζωτικής σημασίας για τη

διατήρηση της ακεραιότητας της ευκρινούς όρασης σε όλες τις αποστάσεις. Τα επιτεύγματα και η πρόοδος στο επιστημονικό πεδίο της όρασης και καθώς και οι νέες διαθέσιμες τεχνικές (επεμβατικές και μη), προσφέρουν σήμερα μια ευρεία γκάμα επιλογών για να καλυφθούν εξατομικευμένα οι διοπτρικές ανάγκες ανάλογα με την περίπτωση. Οι επιλογές αυτές περιλαμβάνουν οφθαλμικούς φακούς, φακούς επαφής, ενδοφακούς και ενδοκερατοειδικά ενθέματα ενώ η τεχνολογία των Laser κερδίζει επίσης έδαφος σε συνδυασμό με τα παραπάνω. Πολλές φορές, για να επιτευχθεί η βέλτιστη οπτική απόδοση χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των παραπάνω (π.χ. φακοί επαφής για τη μακρινή όραση, οφθαλμικοί φακοί για τη κοντινή όραση).

### **1.3 Οφθαλμική κυριαρχία**

Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν την τάση να χρησιμοποιούν τη μία πλευρά του σώματός τους με μεγαλύτερη άνεση, ευκολία και συχνότητα απ' ό,τι την άλλη (π.χ. δεξί χέρι έναντι αριστερού χεριού). Έχει αποδειχτεί ότι το οπτικό σύστημα δεν αποτελεί εξαίρεση και ότι κάποιος μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερο τον έναν οφθαλμό έναντι του άλλου κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Ο όρος οφθαλμική κυριαρχία εισήχθηκε πρώτη φορά από τον Porta (1593). Αναφέρεται στην τάση να υπερισχύει το οπτικό σήμα που λαμβάνεται από τον ένα οφθαλμό και ο οφθαλμός αυτός να επικρατεί έναντι του άλλου σε διαδικασίες όπως η οφθαλμική προσήλωση ή η αντιληπτική ικανότητα (π.χ. οπτική οξύτητα) κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η οφθαλμική κυριαρχία μπορεί να καθοριστεί από το 3<sup>ο</sup> έτος της ζωής ενός ανθρώπου και μετά (Evans 2007) και είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ο κυρίαρχος οφθαλμός δε ταυτίζεται απαραίτητα με τον οφθαλμό που έχει την καλύτερη οπτική οξύτητα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Rosenbach (1903) σχεδόν κάθε άνθρωπος έχει έναν κυρίαρχο οφθαλμό ακόμα και αν κάθε μάτι ξεχωριστά προσφέρει την ίδια οπτική οξύτητα. Εντούτοις, μελέτες (Linke 2011, Suttle 2009, Seijas 2007) έχουν δείξει ότι πολλοί άνθρωποι δεν έχουν σταθερό κυρίαρχο οφθαλμό ή παρουσιάζουν ελάχιστη οφθαλμική κυριαρχία οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η οφθαλμική κυριαρχία είναι μια ευμετάβλητη διαδικασία.

Σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες, περίπου το 40% των ανθρώπων δεν έχουν ισχυρή οφθαλμική κυριαρχία. Από τους έχοντες κυρίαρχο οφθαλμό, το μεγαλύτερο ποσοστό έχει κυρίαρχο οφθαλμό τον δεξί (περίπου 60%).

Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την οφθαλμική κυριαρχία είναι οι οφθαλμικές κινήσεις, η αμβλυωπία (το μη αμβλυωπικό μάτι είναι το κυρίαρχο), η ανισομετροπία (<0.50

D), η γωνία όρασης, η κατεύθυνση του βλέμματος (δεξιά ή αριστερά), η απόσταση παρατήρησης του στόχου (αλλαγή κυρίαρχου οφθαλμού από μακρινή σε κοντινή απόσταση) αλλά μπορεί ακόμη να επηρεαστεί από τις δοκιμασίες (tests) που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγησή της (Evans 2007, Seijas 2007, Linke 2011).

#### **1.4 Νευροφυσιολογία Οπτικής Οδού**

Από διάφορες ηλεκτροφυσιολογικές και ψυχοφυσικές μελέτες της οπτικής οδού (Kulikowski and Tolhurst 1972, Breitmeyer, 1975, Lupp et al. 1976, Plainis and Murray 2000, Vassilev et al. 2000, Plainis and Murray 2003), προκύπτει ότι το ανθρώπινο οπτικό σύστημα οργανώνεται τουλάχιστον σε δύο παράλληλα οπτικά κανάλια (parallel channels μέσω των γαγγλιακών κυττάρων και των νευραξόνων τους ώστε να μπορέσει να διαχωρίσει και να επεξεργαστεί των τεράστιο όγκο πληροφοριών που δέχεται συνεχώς. Κάθε οπτικό κανάλι καταλήγει σε διαφορετική περιοχή του οπτικού φλοιού και αποκρίνεται σε διαφορετικές φασματικές, χωρικές και χρονικές πληροφορίες των διαφόρων ερεθισμάτων. Η απόκριση αυτή ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο του φωτισμού και τα επιμέρους χαρακτηριστικά του ερεθίσματος.

##### **1.4.1 Ταξινόμηση γαγγλιακών κυττάρων**

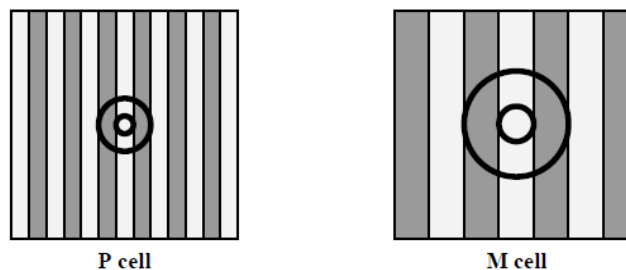
Τα γαγγλιακά κύτταρα αποτελούν την τελευταία στοιβάδα του αμφιβληστροειδή δημιουργώντας συνάψεις με τους φωτουποδοδοχείς ενώ μέσω των νευραξόνων τους σχηματίζουν το οπτικό νεύρο και διαβιβάζουν την οπτική πληροφορία με τη μορφή νευρικών ώσεων στα ανώτερα στάδια της οπτικής οδού (LGN) και στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό του εγκεφάλου.

Κάθε γαγγλιακό κύτταρο δημιουργεί συνάψεις πάντα με μια συγκεκριμένη περιοχή του αμφιβληστροειδή η οποία ονομάζεται υποδεκτικό πεδίο του γαγγλιακού κυττάρου. Το υποδεκτικό πεδίο διαφέρει σε μέγεθος ανάλογα με την περιοχή του αμφιβληστροειδή που εντοπίζεται (μεγαλύτερα υποδεκτικά πεδία στη περιφέρεια του αμφιβληστροειδή, μικρότερα στη κεντρική περιοχή του αμφιβληστροειδή). Κάθε υποδεκτικό πεδίο αποτελείται από δύο περιοχές, το κέντρο και την περιφέρεια και σε κάθε γαγγλιακό κύτταρο, η μέγιστη απόκριση στο φως επιτυγχάνεται όταν φωτιστεί η μία από τις δύο περιοχές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα γαγγλιακά κύτταρα να ταξινομούνται (σχεδόν σε ίσους αριθμούς) σε φωτεινού κέντρου (απόκριση όταν φωτίζεται το κέντρο) και σκοτεινού κέντρου (απόκριση όταν φωτίζεται η περιφέρεια).



#### 1.4.1.2 M και P κύτταρα (M Cells, P Cells)

Ανατομικά, η σημαντικότερη ταξινόμηση των γαγγλιακών κυττάρων, είναι βάσει του μεγέθους του υποδεκτικού τους πεδίου, βάσει δηλαδή της αμφιβληστροειδικής περιοχής που ελέγχουν. Σύμφωνα με τη παρατήρηση αυτή, τα γαγγλιακά κύτταρα (φωτεινού και σκοτεινού κέντρου) διακρίνονται σε M κύτταρα (από το λατινικό Magno = μεγάλος) και P κύτταρα (από το λατινικό Parvo = μικρός) με διαφορετικές ιδιότητες. Τα M κύτταρα (συνάψεις με τα ραβδία) αποτελούν το 10% των γαγγλιακών κυττάρων, βρίσκονται κυρίως στη περιφέρεια του αμφιβληστροειδή και λόγω του μεγάλου υποδεκτικού τους πεδίου παρουσιάζουν χαμηλή χωρική ικανότητα ανάλυσης, αποκρίνονται δηλαδή σε χαμηλές χωρικές συχνότητες (βλ. εικόνα 5). Έχουν υψηλή ευαισθησία αντίθεσης και ταχύτερες αποκρίσεις σε ερεθίσματα χαμηλού contrast (high contrast gain). Αποκρίνονται κυρίως σε αντικείμενα μεγάλου μεγέθους και δίνουν πληροφορίες για τη κίνηση και τα αδρά χαρακτηριστικά του ερεθίσματος. Τα P κύτταρα (συνάψεις με τα κωνία) αποτελούν το 90% των γαγγλιακών κυττάρων και εντοπίζονται κυρίως στη περιοχή της ωχράς κηλίδας και του κεντρικού βοθρίου του αμφιβληστροειδή. Έχουν μικρά υποδεκτικά πεδία με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητα σε υψηλές χωρικές συχνότητες, (βλ. εικόνα 5) αλλά λόγω αυτού έχουν χαμηλή ευαισθησία αντίθεσης και αποκρίνονται ταχύτερα σε ερεθίσματα υψηλού contrast (low contrast gain). Είναι υπεύθυνα για την έγχρωμη και υψηλής ανάλυσης όραση καθώς λαμβάνουν πληροφορίες από τα τρία διαφορετικά είδη κωνίων του αμφιβληστροειδή και με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες P κυττάρων.

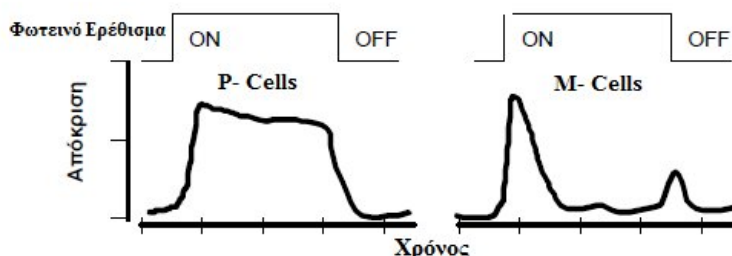


**Εικόνα 5: Τα M- κύτταρα αποκρίνονται καλύτερα σε υψηλές χωρικές συχνότητες ενώ τα P- κύτταρα σε χαμηλές. Αριστερά: υποδεκτικό πεδίο P- κυττάρου σε ερέθισμα υψηλής χωρικής συχνότητας. Δεξιά: υποδεκτικό πεδίο M- κυττάρου σε ερέθισμα χαμηλής χωρικής συχνότητας.**

**(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )**

Τα M και τα P κύτταρα διαφοροποιούνται επίσης στο χρόνο και στον τρόπο που αποκρίνονται στις απότομες αλλαγές φωτεινότητας ενός προβαλλόμενου ερεθίσματος (βλ. εικόνα 6). Τα M κύτταρα ανταποκρίνονται καλύτερα σε αλλαγές στη φωτεινότητα

αναπτύσσοντας μεγαλύτερες συναπτικές ταχύτητες σε σχέση με τα P κύτταρα και επίσης παρουσιάζουν απότομες αποκρίσεις (transient channels) στην έναρξη και στη λήξη ενός ερεθίσματος σε αντίθεση με τα P κύτταρα που έχουν ομαλή απόκριση (sustained channels) σε όλη τη διάρκεια παρουσίασης του ερεθίσματος (Kulikowski and Tolhurst, 1972).



Εικόνα 6: τα P- κύτταρα (αριστερά) παρουσιάζουν ομαλές αποκρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια παρουσίασης ενός ερεθίσματος ενώ τα M- κύτταρα (δεξιά) παρουσιάζουν απότομες αποκρίσεις κατά την έναρξη και τη λήξη ενός ερεθίσματος.

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )

## 1.5 Ψυχοφυσικός έλεγχος της Όρασης

Η ψυχοφυσική είναι ένας επιστημονικός κλάδος που αναφέρεται στην μελέτη των σχέσεων ανάμεσα στις φυσικές ιδιότητες των περιβαλλοντικών ερεθισμάτων και στην υποκειμενική ένταση της αισθητηριακής εμπειρίας του εξεταζόμενου. Τα ψυχοφυσικά πειράματα βρίσκουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, ανάμεσα τους, και στον τομέα της όρασης (π.χ. αξιολόγηση οπτικής οξύτητας με τη χρήση οπτοτύπων, οπτικοί χρόνοι αντίδρασης). Ένα ψυχοφυσικό πείραμα μπορεί να περιλαμβάνει την ανίχνευση ενός ερεθίσματος, την αναγνώριση του ή την διάκριση του από ένα άλλο. Σε κάθε ψυχοφυσικό πείραμα, στόχος είναι ο καθορισμός της ελάχιστης τιμής (ουδός ευαισθησίας) του ερεθίσματος ώστε να είναι αντιληπτό.

### 1.5.1 Οπτική Οξύτητα

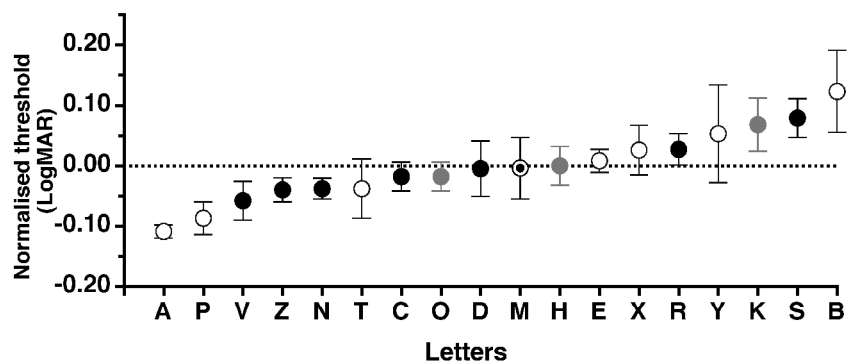
Το μέγεθος των ειδώλων στον αμφιβληστροειδή εξαρτάται από την απόστασή τους από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Σημαντικό χαρακτηριστικό της κεντρικής όρασης είναι η χωρική διακριτική ικανότητα, η μικρότερη δηλαδή χωρική λεπτομέρεια που μπορεί να διακριθεί. Για την αξιολόγηση της διακριτικής ικανότητας του οπτικού συστήματος χρησιμοποιείται μια σχετικά απλή, υποκειμενική μέθοδος αξιολόγησης, η Οπτική Οξύτητα η οποία ορίζεται ως η ικανότητα αναγνώρισης συμβόλων (αριθμών ή γραμμάτων) πρότυπων πινάκων εξέτασης (οπτότυπα) τοποθετημένων σε μια συγκεκριμένη απόσταση. Η Οπτική οξύτητα (Ο.Ο.) επηρεάζεται από παράγοντες όπως το η ευαισθησία αντίθεσης (μείωση contrast, μείωση

Ο.Ο.), ο περιβαλλοντικός φωτισμός (μείωση Ο.Ο. σε σκοτοπικές συνθήκες) και η περιφερική όραση (μείωση Ο.Ο. στη περιφέρεια του οπτικού πεδίου).

### 1.5.1.1 Πίνακες Log MAR/ ETDRS

Ο Green το 1968 παρουσίασε στον Αμερικανικό Οφθαλμολογικό Σύλλογο έναν πίνακα που αποτελούνταν από γράμματα χωρίς πατούρα (σε αντίθεση με τον Snellen) με το μέγεθος των γραμμμάτων και το διάστημα μεταξύ τους να μεταβάλλονται με γεωμετρική πρόοδο. Ο πίνακας αν και δεν είχε την ανάλογη αποδοχή τότε, αποτέλεσε τον «πρόγονο» του σημερινού πρότυπου πίνακα.

Η επόμενη σημαντική αναφορά έγινε από τη Louise Sloan το 1959. Η Sloan σχεδίασε ένα πίνακα μιας ομάδας 10 γραμμμάτων χωρίς πατούρα, διατηρώντας το 5x5 πλέγμα του Snellen. Επειδή εκτίμησε ότι δεν ήταν όλα τα γράμματα ισοδύναμα αναγνωρίσιμα (βλ. εικόνα 7), πρότεινε να χρησιμοποιούνται δέκα μόνο γράμματα. Επιπλέον εισήγαγε μια νέα σημειογραφία για την οπτική οξύτητα, τη «μονάδα Μ», η οποία αντιπροσωπεύει την ικανότητα αναγνώρισης ενός πρότυπου γράμματος μεγέθους 5 arcmin στην απόσταση του ενός μέτρου. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα άμεσου υπολογισμού της οπτικής οξύτητας χρησιμοποιώντας έναν πίνακα σε διαφορετικές αποστάσεις.



Εικόνα 7: Δυσκολία αναγνωσιμότητας γραμμμάτων (γραμματοσειρά Sloan).

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

Αργότερα οι Bailey-Lovie (1976) δημοσίευσαν ένα καινούργιο πίνακα ο οποίος περιείχε τις προτάσεις του Green και στηρίζονταν στην παράσταση logMAR (στο λογάριθμο της ελάχιστης γωνίας ευκρίνειας), εξασφαλίζοντας γεωμετρική αλλαγή στο μέγεθος των γραμμμάτων. Επίσης, χρησιμοποίησαν πέντε γράμματα σε κάθε σειρά, ξεπερνώντας ακόμη ένα μειονέκτημα του πίνακα Snellen, δηλαδή τη χρήση διαφορετικού αριθμού γραμμμάτων σε

κάθε σειρά, ενδυναμώνοντας τον πίνακα για αυτούς. Οι μετατροπές της οπτικής οξύτητας στις δύο παραστάσεις (logMAR - δεκαδική) είναι εφικτές από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{decimal} = \text{antilog}(-\log\text{MAR}) = 10^{-\log\text{MAR}}$$

$$\log\text{MAR} = -\log(\text{decimal acuity}) \quad (1)$$

Οι logMAR ETDRS πίνακες περιέχουν γράμματα της γραμματοσειράς Sloan (Sloan, 1952), παρουσιάζουν σταθερό αριθμό γραμμάτων (5) ανά σειρά, και γεωμετρική πρόοδο στην μεταβολή του μεγέθους τους (ο λόγος της μεταβολής είναι ίσος με 0.1 logMAR, δηλαδή 1.26), ενώ η «βαρύτητα» του κάθε γράμματος είναι 0.02 logMAR. Η μεταβολή του μεγέθους των γραμμάτων γίνεται από 1.0 μέχρι -0.3.

Από την εξίσωση (1) προκύπτει στην παράσταση logMAR οπτική οξύτητα ίση με 0.0 αντιστοιχεί σε δεκαδική Οπτική οξύτητα 1.0, ενώ αρνητικές τιμές logMAR αντιστοιχούν σε δεκαδική Οπτική οξύτητα > 1.0.

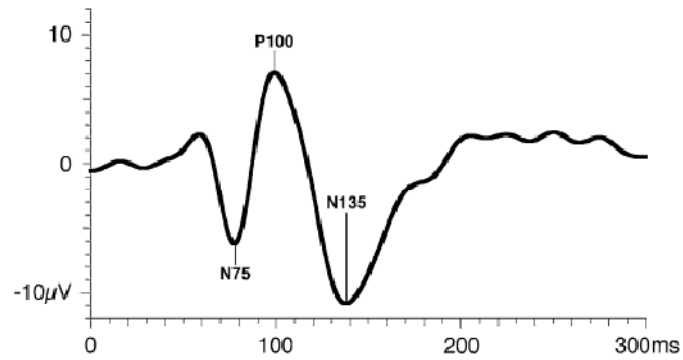
### **1.6 Οπτικά Προκλητά Δυναμικά (VEPs) και Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης**

Τα Οπτικά Προκλητά Δυναμικά είναι μια αντικειμενική, ηλεκτροφυσιολογική εξέταση για την εκτίμηση της λειτουργίας των αισθητηριακών συστημάτων της όρασης. Τα VEPs συνιστούν καταγραφές της δραστηριότητας των νευρικών κυττάρων της οπτικής οδού, με τη μορφή κυματομορφών.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες VEPs αλλά αυτή που χρησιμοποιείται κυρίως στη κλινική εξέταση είναι τα pattern reversal VEPs καθώς παρουσιάζουν μικρότερες διακυμάνσεις σε σχέση με τα άλλα είδη. Στη κατηγορία αυτή χρησιμοποιούνται ως ερεθίσματα checkerboards (σκακιέρες) ή gratings τα χαρακτηριστικά των οποίων καθορίζονται από τις εξής παραμέτρους: τη χωρική συχνότητα (σε cycles/degree), τη συχνότητα αντιστροφής, το contrast, τη μέση φωτεινότητα και τον αριθμό αντιστροφής (τετραγώνων ή gratings).

Τα σημεία μελέτης της κυματομορφής ενός pattern reversal VEP είναι τρία (βλ. εικόνα 8): ένα αρνητικό ελάχιστο περίπου στα 75 ms (N75), ένα θετικό μέγιστο λίγο μετά τα 100 ms (P100) και ένα αρνητικό ελάχιστο στα 135 περίπου ms (N135).

Η P100 αξιολογείται ως προς τη χρονική καθυστέρησή της (latency, ms) και ως προς το πλάτος της (amplitude, μV). Σε παθολογικές καταστάσεις που αφορούν κυρίως βλάβες του οπτικού νεύρου η P100 παρουσιάζεται με καθυστέρηση κάποιων ms και με μειωμένο το πλάτος μερικά μV.



**Εικόνα 8: Φυσιολογική κυματομορφή pattern reversal VEP. Στο διάγραμμα φαίνονται τα βασικά σημεία της κυματομορφής. Για να υπολογισθεί σωστά το πλάτος (amplitude) της P100 πρέπει να εντοπισθεί το πρώτο αρνητικό ελάχιστο (N75).**

(Μ. Γάγγα, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

Οι Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης αποτελούν μια ψυχοφυσική, υποκειμενική μέθοδο η οποία μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την ποιότητα της όρασης και αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

## **Κεφάλαιο 2: Μονο-όραση**

## **2.1 Μονο-όραση (monovision) για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας**

Η Μονο-όραση είναι μία μέθοδος που βασίζεται στη δημιουργία ανισομετροπίας και στην ικανότητα καταστολής της ενδοφθάλμιας θόλωσης. Χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας όπου ο ένας οφθαλμός διορθώνεται για να προσφέρει όραση σε κοντινές αποστάσεις και ο άλλος σε μακρινές με τη χρήση φακών επαφής (μονοεστιακών) ή με τις μεθόδους της σύγχρονης διαθλαστικής χειρουργικής. Σαν μέθοδος σχεδιάστηκε το 1958 από τον Westsmith για πρεσβύωπες που ήταν ήδη χρήστες φακών επαφής με ποσοστά επιτυχίας στους χρήστες φακών επαφής σήμερα μεταξύ 50% - 76%.

Εκτός από τους φακούς επαφής, η Μονο-όραση όπως προαναφέρθηκε είναι μια τεχνική που μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω της διαθλαστικής χειρουργικής, με τη χρήση ενδοφακών (μονοεστιακών), ενδοκερατοειδικών ενθεμάτων ή με μεθόδους όπως η LASIK και η PRK στο επίπεδο του κερατοειδή. Τα ποσοστά επιτυχίας της Μονο-όρασης με τη διαθλαστική χειρουργική είναι αυξημένα έναντι των ποσοστών επιτυχίας με τους φακούς επαφής και κυμαίνονται σύμφωνα με μελέτες από 70% έως 96%. Η Μονο-όραση με φακούς επαφής είναι μια εύκολα αναστρέψιμη διαδικασία σε σχέση με τις επεμβατικές μεθόδους. Εντούτοις όμως, τα σφάλματα στη διάθλαση (ιδίως στους υπερμέτροπες) που μπορεί να προκύψουν μετά από μια επεμβατική μέθοδο Μονο-όρασης (κυρίως στη μακρινή όραση, π.χ. διπλωπία) μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με διόρθωση στον οφθαλμό που έχει επιλεγεί για τη κοντινή όραση (διορθώνεται για μακρινή όραση).

Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η Μονο-όραση, παρ' όλο που είναι μια πολύ ελκυστική επιλογή, δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένη στους φακούς επαφής τεχνική διόρθωσης της πρεσβυωπίας για παράγοντες που θα αναφερθούν παρακάτω. Συνολικά, μόλις ένα 8% επιλέγει τη Μονο-όραση σαν λύση για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας με τα υψηλότερα ποσοστά, 20%- 25% των πρεσβύωπων, να παρατηρούνται στις ΗΠΑ και στη Μ. Βρετανία. Επίσης όπως είναι αναμενόμενο, οι ήδη χρήστες φακών επαφής παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας στη Μονο-όραση σε σχέση με τους μη χρήστες.

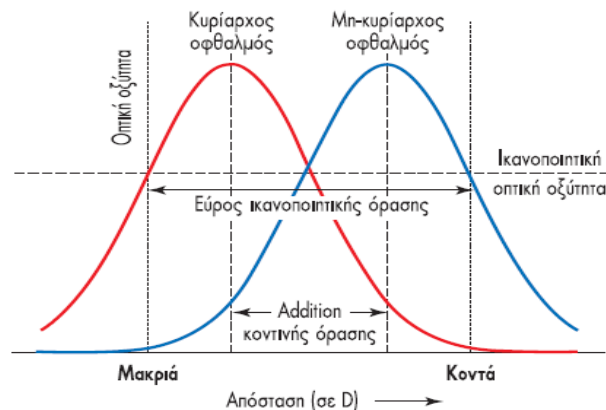
## **2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της Μονο-όρασης**

Η Μονο-όραση είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην οπτική απόδοση αλλά η επιτυχία της εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για να εξασφαλιστούν οι μέγιστες πιθανότητες για επιτυχημένη Μονο-όραση είναι το μέγεθος της ανισομετροπίας που θα δημιουργηθεί, η οφθαλμική κυριαρχία, η ικανότητα καταστολής της ενδοφθάλμιας θόλωσης

και το διαθλαστικό σφάλμα του υποψηφίου και το μέγεθος της κόρης (σε περιπτώσεις τροποποιημένης Μονο-όρασης).

### 2.2.1 Ανισομετροπία

Η Μονο-όραση σαν τεχνική συνιστά την δημιουργία ανισομετροπίας μεταξύ των δύο οφθαλμών καθώς όπως αναφέρθηκε ήδη, ο ένας οφθαλμός (συνήθως ο κυρίαρχος) διορθώνεται για τη μακρινή όραση και ο άλλος για τη κοντινή όραση με αποτέλεσμα, ανάλογα με την απόσταση παρατήρησης, να δημιουργούνται θολά είδωλα από τον οφθαλμό που δεν είναι εστιασμένος. Η επιτυχία της μεθόδου βασίζεται στην ικανότητα του εγκεφάλου να καταστέλλει την θολή εικόνα που προέρχεται από τον αφεστιασμένο οφθαλμό. Σε ορισμένους υποψηφίους, αυτό συμβαίνει αυτόματα ενώ σε κάποιους πιθανόν να χρειάζεται ένα διάστημα προσαρμογής (1- 2 εβδομάδες), γεγονός που αμφισβητήθηκε από τους Harris και Sheedy. Τέλος σε ορισμένους η καταστολή αυτή δε συμβαίνει σε ικανοποιητικό βαθμό. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η Μονο-όραση μπορεί να εφαρμοστεί με άριστα αποτελέσματα μεταξύ 1.50 - 2.50 βαθμών (D) ανισομετροπίας και για addition <1.50 D. Για μεγαλύτερους βαθμούς ανισομετροπίας και addition επηρεάζονται σημαντικά η στερεοσκοπική και η διόφθαλμη όραση. Προκύπτει λοιπόν ότι είναι σημαντικό να εξισοροπηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι διαφορές στη διοπτρική δύναμη μεταξύ της κοντινής και της μακρινής διόρθωσης ώστε να επιτευχθεί καλύτερη οπτική οξύτητα για μεγαλύτερο εύρος αποστάσεων ελέγχοντας όμως να μην παραβιαστεί το εύρος της ικανοποιητικής όρασης που προκύπτει από τα επικαλυπτόμενα βάρη εστίασης των δύο οφθαλμών (βλ εικόνα 9). Το ποσό της ανισομετροπίας εξαρτάται από το προφίλ του υποψηφίου και τις ανάγκες της καθημερινότητας του (διαθλαστικό σφάλμα, απαιτήσεις κοντινής όρασης, οφθαλμική κυριαρχία) και είναι σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν.





**Εικόνα 9: η Μονο-όραση στηρίζεται στη χρήση του επικαλυπτόμενου βήθους εστίασης των δύο οφθαλμών προκειμένου να επιτευχθεί καλή όραση σε ένα εύρος αποστάσεων.**

( Σ. Πλαϊνής Π. Καλλίνικος Φακοί επαφής για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας. Οφθαλμολογικά Χρονικά. 3:239- 25, 2011.)

## **2.2.2 Οφθαλμική κυριαρχία**

Η γνώση του κυρίαρχου οφθαλμού είναι σημαντική για περιπτώσεις όπως η Μονο-όραση. Στη κλασσική τεχνική Μονο-όρασης (conventional monovision), η μακρινή διόρθωση τοποθετείται στο κυρίαρχο οφθαλμό και η κοντινή στο μη κυρίαρχο οφθαλμό καθώς θεωρείται ότι ο μη κυρίαρχος οφθαλμός είναι πιο αποτελεσματικός στη καταστολή της ενδοφθάλμιας θόλωσης. Παρ' όλα αυτά, κάποιες έρευνες έχουν υποστηρίξει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις υποψηφίων η τοποθέτηση της μακρινής διόρθωσης στο μη κυρίαρχο οφθαλμό (crossed monovision) δε παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στην οπτική απόδοση σε σχέση με την κλασσική Μονο-όραση και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα. Εντούτοις, στη πλειοψηφία της η βιβλιογραφία υποστηρίζει την κλασσική μέθοδο Μονο-όρασης ως πιο επιτυχημένη.

### **2.2.2.1. Κινητική και αισθητηριακή οφθαλμική κυριαρχία**

Η οφθαλμική κυριαρχία μπορεί να διακριθεί σε κινητική και σε αισθητηριακή. Η κινητική κυριαρχία επηρεάζεται κυρίως από τη γωνία του βλέμματος και το χέρι που κατευθύνεται προς το στόχο (ιδίως στους άντρες) και είναι αυτή που χρησιμοποιείται ως κύριο κριτήριο επιλογής του κυρίαρχου οφθαλμού στη Μονο-όραση. Η αισθητηριακή κυριαρχία καθορίζεται από τον αμφιβληστροειδικό ανταγωνισμό (retinal rivalry) και μπορεί να οριστεί σε διάφορα επίπεδα (π.χ. οπτική οξύτητα, ευαισθησία φωτεινής αντίθεσης κ.α.).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Seijas et al. (2007), ο κυρίαρχος κινητικός οφθαλμός δε ταυτίζεται πάντοτε απαραίτητα με τον κυρίαρχο αισθητηριακό οφθαλμό. Οι ίδιοι, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υποψήφιοι με αδύναμη οφθαλμική κυριαρχία είναι καταλληλότεροι για Μονο-όραση ενώ αντίθετα άτομα με ισχυρό κυρίαρχο οφθαλμό δεν είναι κατάλληλοι υποψήφιοι για Μονο-όραση καθώς η εναλλαγή στην εστίαση μεταξύ των αποστάσεων μπορεί να παρεμποδίζεται σημαντικά από τον κυρίαρχο οφθαλμό. Επίσης, πρότειναν ότι για μεγαλύτερες πιθανότητες επιτυχίας της Μονο-όρασης, είναι μάλλον σημαντικότερο να προσδιορίζεται ο κυρίαρχος αισθητηριακά οφθαλμός έναντι του κινητικά κυρίαρχου.

Η άποψη αυτή έρχεται σε αντίθεση με τη μελέτη των Suttle et al. οι οποίοι αμφισβήτησαν τη σημασία του αισθητηριακά κυρίαρχου οφθαλμού σε έχοντες φυσιολογική όραση, καθώς, από

την έρευνα τους βρήκαν ότι στα διάφορα επίπεδα της αισθητηριακής κυριαρχίας (οπτική οξύτητα, ευαισθησία φωτεινής αντίθεσης) δεν υπάρχει συσχέτιση για τον ίδιο οφθαλμό· μπορεί δηλαδή και η αισθητηριακή κυριαρχία να εναλλάσσεται.

Ως εκ τούτου και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, προκύπτει ότι ο καθορισμός του κυρίαρχου οφθαλμού είτε κινητικά είτε αισθητηριακά δεν είναι ασφαλής δείκτης πρόβλεψης για την επιτυχία της Μονο-όρασης. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από την ασυμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων από τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού. Οι Seijas et al. στη μελέτη τους χρησιμοποίησαν εννιά διαφορετικές μεθόδους για να καθορίσουν τον κυρίαρχο κινητικά και τον κυρίαρχο αισθητηριακά οφθαλμό. Τα αποτελέσματα τους κατέδειξαν ασθενή συσχέτιση (μη ταύτιση των αποτελεσμάτων) μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για τον προσδιορισμό του κυρίαρχου κινητικά οφθαλμού όσο και για τον προσδιορισμό του κυρίαρχου αισθητηριακά οφθαλμού. Ακόμη, βρήκαν ασθενείς συσχετίσεις μεταξύ του κυρίαρχου κινητικά και του κυρίαρχου αισθητηριακά οφθαλμού.

Γενικά, ο ρόλος του κυρίαρχου οφθαλμού στην όραση (οπτικός, διαθλαστικός, οφθαλμοκινητικός) δεν έχει ακόμη καθοριστεί και είναι μάλλον αμφίβολος όσον αφορά τη σημασία του στην Μονο-όραση.

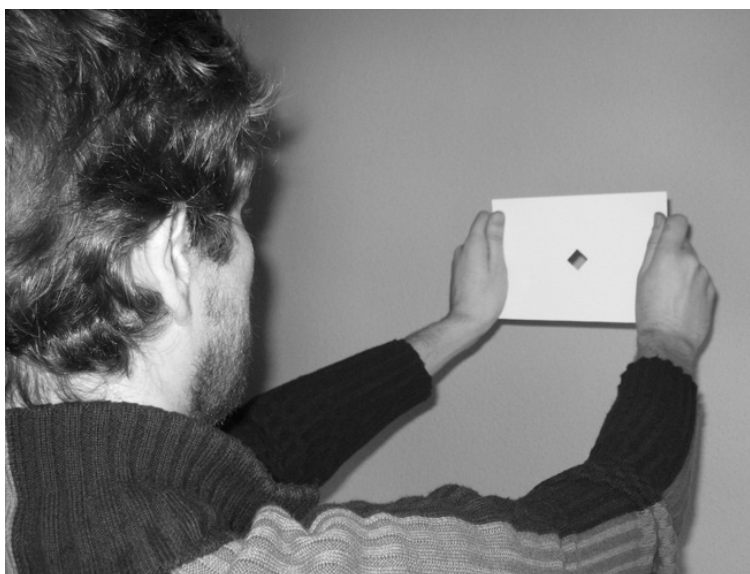
#### **2.2.2.2 Μέθοδοι για τον προσδιορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού**

Υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες μέθοδοι στην κλινική πράξη για τον προσδιορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού (π.χ. Pointing- a- finger test, Kaleidoscope test, Worth test, Haidinger test).

Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του κυρίαρχου κινητικά οφθαλμού είναι το Hole in Card test (βλ. εικόνα 10). Κατά τη διαδικασία αυτή, ο εξεταζόμενος κρατάει και με τα δύο χέρια μια κάρτα, η οποία έχει στη μέση της μια οπή, και του ζητάτε να προσηλώσει σε έναν στόχο ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 6 μέτρων (οπτικό άπειρο). Ο παρατηρητής καλύπτει κάθε μάτι εναλλάξ και αποκαλύπτει κάθε μάτι ξεχωριστά για να καταλήξει ποιο από τα δύο ευθυγραμμίζεται καλύτερα με την οπή και το στόχο παρατήρησης. Ο οφθαλμός που ευθυγραμμίζεται καλύτερα θεωρείται ο κυρίαρχος. Σημαντικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επηρεάζεται από την γωνία όρασης.

Για τον προσδιορισμό του αισθητηριακά κυρίαρχου οφθαλμού, χρησιμοποιείται ευρέως το Plus 1.0 D test (μακριά και κοντά) με τον εξεταζόμενο να κοιτάει σε ένα οπτότυπο στην απόσταση των 6 μέτρων έχοντας ένα θετικό φακό δύναμης +1.0 D πρώτα στο ένα μάτι και

ύστερα στο άλλο. Ο εξεταζόμενος καλείται να αποφασίσει σε ποια από τις δύο καταστάσεις βλέπει με περισσότερη άνεση και αναγνωρίζει περισσότερους χαρακτήρες του οπτοτύπου. Αν π.χ. ο εξεταζόμενος βλέπει καλύτερα με τον φακό μπροστά από το δεξί του μάτι τότε το αριστερό είναι το κυρίαρχο και αντίστροφα. Το Plus 1.0 D test μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για έναν κοντινό στόχο ώστε να διαπιστωθεί ο κυρίαρχος αισθητηριακά οφθαλμός για τη κοντινή απόσταση. Στη περίπτωση αυτή όμως, αν ο εξεταζόμενος βλέπει καλύτερα με τον φακό στο δεξί του μάτι τότε ο κυρίαρχος οφθαλμός για κοντά είναι δεξιός και αντίστροφα. Το test αυτό, δουλεύει πολύ καλά για τη μακρινή απόσταση αλλά για κοντινές αποστάσεις εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά αποτυχίας.



**Εικόνα 10: Hole-in-card test. Ο εξεταζόμενος κρατάει με τα δύο χέρια μία κάρτα με οπή στη μέση και του ζητείται να κοιτάζει έναν στόχο που βρίσκεται στα 6 μέτρα. Ο εξεταστής καταλήγει στο συμπέρασμα ποιος είναι ο κυρίαρχος οφθαλμός, βάσει ποιος από τους δύο θα ευθυγραμμιστεί καλύτερα με την οπή και τον στόχο.**

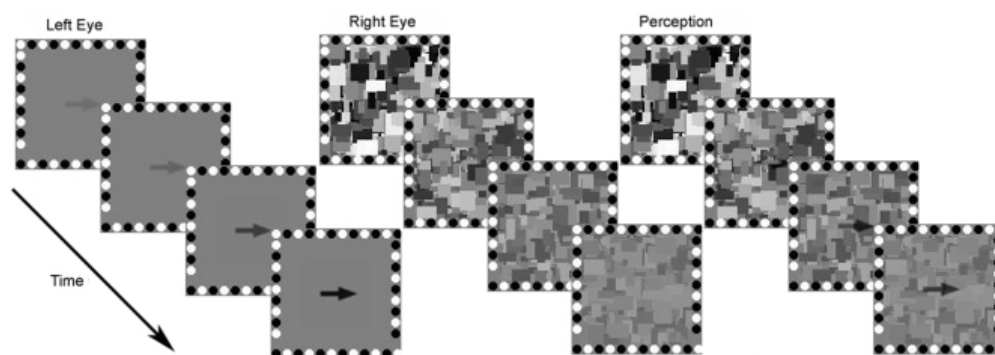
**(Seijas et al. *Ocular dominance diagnosis and its influence in monovision*. American Journal of Ophthalmology. 144:209- 216, 2007).**

### **2.2.3 Ικανότητα καταστολής της θόλωσης**

Η ικανότητα καταστολής της ενδοφθάλμιας θόλωσης ή αλλιώς η ανοχή στη θόλωση, είναι ένας μηχανισμός ο οποίος υπάρχει σχεδόν σε όλους τους ανθρώπους δίνοντας τους τη δυνατότητα να καταστέλλουν μικρά ποσά θόλωσης και είναι απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία της όρασης. Ο εγκέφαλος έχει εκπαιδευτεί όταν εστιάζει σε ένα αντικείμενο να αγνοεί τα υπόλοιπα θολά είδωλα που δημιουργούνται από άλλα αντικείμενα που βρίσκονται

στο χώρο εκτός του πεδίου εστίασης. Η ικανότητα αυτή διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο αλλά μπορεί ακόμη να διαφέρει και από οφθαλμό σε οφθαλμό ενώ επηρεάζεται από τον αμφιβληστροειδικό ανταγωνισμό.

Λόγω της ανισομετροπίας που δημιουργείται από τη Μονο-όραση, η ανοχή στη θόλωση κάθε υποψηφίου είναι ένας παράγοντας που καθορίζει την επιτυχία ή μη της Μονο-όρασης και ως εκ τούτου πρέπει να αξιολογείται και να λαμβάνεται υπόψιν για το καθορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού. Υπάρχουν αρκετοί που υποστηρίζουν ότι η αξιολόγηση της θόλωσης είναι το ενδεικτικότερο κριτήριο για την επιτυχία της Μονο-όρασης. Οι Eunice et al. (2010) πρότειναν μια νέα μέθοδο αξιολόγησης της ικανότητας καταστολής της θόλωσης που οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα (98% ακρίβεια) για τον καθορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού. Στο πείραμά τους (βλ εικόνα 11) πρόβαλλαν μπροστά από τον ένα οφθαλμό δυναμικό θόρυβο και μπροστά από τον άλλον ένα βέλος (στόχος) και ζητήθηκε από τους παρατηρητές να πουν πότε αναδυόταν καθαρά ο στόχος (πότε δηλαδή αναστελλόταν ο μηχανισμός καταστολής) ενώ μειωνόταν η αντίθεση του θορύβου και αυξανόταν αυτή του βέλους. Από τα αποτελέσματα τους προέκυψε ότι ένα 38% παρουσίαζε ισχυρή οφθαλμική κυριαρχία ενώ το 68% των παρατηρητών είχαν κυρίαρχο οφθαλμό τον δεξί και το 32% τον αριστερό.



**Εικόνα 11:** πείραμα Eunice et al.: *αριστερή και μεσαία στήλη:* το ερέθισμα (βέλος, θόρυβος) παρουσιάζεται ξεχωριστά σε κάθε μάτι. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η αντίθεση του βέλους αυξανόταν και του θορύβου μειωνόταν μέχρι να γίνει ορατό το βέλος από τον εξεταζόμενο (αναστολή λειτουργίας καταστολής θόλωσης). *Δεξιά στήλη:* η αντίληψη του εξεταζόμενου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

[\(http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2810859/figure/F1/\)](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2810859/figure/F1/)

Τέλος, σύμφωνα με την μελέτη των Collins et al. (1994), οι έχοντες διαφορετικό κυρίαρχο κινητικά οφθαλμό και διαφορετικό κυρίαρχο αισθητηριακά οφθαλμό (crossed dominance) φαίνεται να έχουν λιγότερη ανοχή στη θόλωση (και ως εκ τούτου είναι λιγότερο κατάλληλοι

για Μονο-όραση) από αυτούς που ο κυρίαρχος αισθητηριακός και ο κυρίαρχος κινητικά οφθαλμός ταυτίζονται.

#### **2.2.4 Διαθλαστικό σφάλμα**

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μύωπες είναι καλύτεροι υποψήφιοι από τους υπερμέτρωπες για Μονο-όραση καθώς η οπτική οξύτητα των πρώτων φαίνεται να είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με των δεύτερων μετά από την εφαρμογή μιας τεχνικής Μονο-όρασης (επεμβατικής ή μη). Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι υπερμέτρωπες εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά αμβλυωπίας και στραβισμού που συνάδουν με την παρουσία ισχυρής οφθαλμικής κυριαρχίας και επιπλέον στη διαθλαστική χειρουργική σε μεγάλους βαθμούς υπερμετρωπίας δεν μπορεί να προβλεφτεί με ακρίβεια το αποτέλεσμα.

Από έρευνες που έχουν γίνει είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι οι περισσότεροι υπερμέτρωπες επιλέγουν για τη κοντινή διόρθωση το πιο υπερμετρωπικό μάτι γεγονός που ίσως οφείλεται στην καλύτερη καταστολή της θόλωσης με το μάτι αυτό λόγω της αυξημένης θετικής δύναμης. Εν τούτοις όμως, τα ποσοστά επιτυχίας στη διαθλαστική χειρουργική είναι περίπου τα ίδια και στις δυο περιπτώσεις αν και οι υπερμέτρωπες παραπονούνται συχνότερα για φαινόμενα όπως η άλως γύρω από τις φωτεινές πηγές και θολές εικόνες.

#### **2.2.5 Ηλικία και φύλο υποψηφίου**

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επιτυχία της Μονο-όρασης δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ηλικία του υποψηφίου. Αν και θεωρητικά υποψήφιοι μεγαλύτερης ηλικίας με μεγαλύτερη μείωση του εύρους προσαρμογής θα ήταν καταλληλότεροι για υποψήφιοι Μονο-όραση, φαίνεται ότι οι νεότεροι ηλικιακά πρεσβύωπες έχουν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Το ίδιο ισχύει και για το φύλο του υποψηφίου, αν και οι γυναίκες καταφεύγουν πιο συχνά στην επιλογή της Μονο-όρασης για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας. Ένας παράγοντας που μπορεί να λειτουργήσει υπέρ της Μονο-όρασης είναι εάν οι υποψήφιοι ήταν ήδη χρήστες φακών επαφής.

### **2.3 Αποτελέσματα Μονο-όρασης στην λειτουργική όραση**

Η Μονο-όραση είναι μια τεχνική η οποία μπορεί να προσφέρει πολύ καλή μακρινή και κοντινή όραση και ικανοποιητική όραση σε διαφορετικές αποστάσεις. Η μέθοδος που θα εφαρμοστεί κάθε φορά εξαρτάται από το προφίλ και τις ανάγκες του υποψηφίου. Τις περισσότερες φορές για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στην όραση απαιτείται συνδυασμός των διαθέσιμων τεχνικών. Οι περισσότερες μελέτες για τα αποτελέσματα της

Μονο-όρασης στη λειτουργική όραση αφορούν τη Μονο-όραση με φακούς επαφής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το ποσοστό επιτυχίας της Μονο-όρασης με τις μεθόδους της διαθλαστικής χειρουργικής αγγίζει το 96% ενώ με τους φακούς επαφής δεν ξεπερνά το 76%. Παρακάτω, θα εξεταστεί πως η Μονο-όραση μπορεί να επιδράσει σε διάφορους παράγοντες της λειτουργικής όρασης.

### **2.3.1 Διόφθαλμο βάθος εστίασης**

Το βάθος εστίασης στη Μονο-όραση εξαρτάται από το βαθμό της ανισομετροπίας και από το addition του υποψηφίου. Με την αύξηση του addition (>1.50 D) αυξάνεται το μονόφθαλμο βάθος εστίασης αλλά μειώνεται το λειτουργικό εύρος της ικανοποιητικής όρασης. Οι υποψήφιοι με addition μικρότερο από 1.50 D έχουν περισσότερες πιθανότητες για επιτυχημένη Μονο-όραση και παρουσιάζουν ομαλό διόφθαλμο βάθος εστίασης που ισούται με το άθροισμα από τα μονόφθαλμα βάθη εστίασης των δύο οφθαλμών. Ωστόσο, υποψήφιοι με ισχυρή οφθαλμική κυριαρχία αντιμετωπίζουν προβλήματα θόλωσης στην εικόνα που λαμβάνουν όταν το αντικείμενο παρατήρησης μετακινείται εντός του εστιακού εύρους παρατήρησης του μη κυρίαρχου οφθαλμού με αποτέλεσμα να μειώνεται το διόφθαλμο βάθος εστίασης και η ικανότητα της διόφθαλμης άθροισης.

### **2.3.2 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα καταστολής της θόλωσης**

Όπως ειπώθηκε, η ανοχή στη θόλωση διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και επηρεάζεται στη Μονο-όραση από το ποσό της ανισομετροπίας. Έχει παρατηρηθεί ότι σε άτομα με Μονο-όραση η ικανότητα καταστολής της θόλωσης φαίνεται να εξασθενεί σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και στην περίπτωση που το μέγεθος του αντικειμένου παρατήρησης είναι μικρό. Αν και γενικά θεωρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις υποψηφίων για Μονο-όραση πρέπει να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο η τιμή του addition για να εξισορροπούνται οι διαφορές μεταξύ των δύο οφθαλμών και να λειτουργεί καλύτερα ο μηχανισμός καταστολής της θόλωσης, εν τούτοις, υπάρχουν ενδείξεις ότι σε κάποιους υποψήφιους η υψηλότερη τιμή του addition μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη σταθεροποίηση του μηχανισμού καταστολής της θόλωσης ιδίως για τη κοντινή όραση (Evans).

### **2.3.3 Διόφθαλμη οπτική οξύτητα και ευαισθησία φωτεινής αντίθεσης**

Η διόφθαλμη οπτική οξύτητα και η ευαισθησία φωτεινής αντίθεσης σε μεσαίες και υψηλές συχνότητες, είναι δύο παράγοντες που μπορούν να επηρεαστούν και να μειωθούν σημαντικά προκαλώντας προβλήματα στην ομαλή λειτουργία της όρασης. Στη περίπτωση που το addition του υποψηφίου είναι μεγαλύτερο από 1.50 D η ευαισθησία αντίθεσης ισούται με τη μονόφθαλμη λόγω του μηχανισμού καταστολής της θόλωσης . Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο κάτω από συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Οι ασθενείς παρατηρούν θόλωση και άλως γύρω από σημειακές φωτεινές πηγές σε σκοποπικές συνθήκες, φαινόμενο που παρατηρείται πολύ συχνά κατά την νυχτερινή οδήγηση και την καθιστά επικίνδυνη. Ως λύση για το πρόβλημα της νυχτερινής οδήγησης, συνίσταται η χρήση οφθαλμικών φακών ή φακών επαφής για τη διόρθωση της μακρινής όρασης.

Επίσης, από μία μελέτη των Collins et al. (1993) βρέθηκε ότι ο υπολειπόμενος αστιγματισμός πρέπει να διορθώνεται στη Μονο-όραση καθώς η ύπαρξη του οδηγεί σε σημαντική μείωση της οπτικής οξύτητας. Σύμφωνα πάλι με τους ίδιους, για additions από 1.50D έως 2.50 D, η διόφθαλμη οπτική οξύτητα σε χαμηλές και υψηλές συνθήκες αντίθεσης σε έχοντες Μονο-όραση είναι η ίδια με τη μονόφθαλμη οπτική οξύτητα και δεν επηρεάζεται από το μέγεθος της κόρης (για υψηλές συνθήκες αντίθεσης).

#### **2.3.4 Στερεοοπτική οξύτητα**

Μια σημαντική επίδραση της Μονο-όρασης στη λειτουργική όραση είναι η μείωση της στερεοοπτικής οξύτητας η οποία γίνεται ιδιαίτερα έκδηλη σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. αδυναμία κρίσης των αποστάσεων) και οι μελέτες καταλήγουν ότι δεν αποκαθίσταται με τη πάροδο του χρόνου. Ο βαθμός μείωσης της στερεοοπτικής οξύτητας σχετίζεται άμεσα με το βαθμό της ανισομετρίας που θα δημιουργηθεί αλλά δεν έχει βρεθεί κάποια σημαντική συσχέτιση στη μείωση της ανάλογα με την τεχνική Μονο-όρασης που χρησιμοποιείται (επεμβατικές, μη επεμβατικές μέθοδοι). Για ανισομετρωπία μικρότερη από 1.50 D η στερεοοπτική οξύτητα είναι καλύτερη απ' ό,τι για μεγαλύτερους βαθμούς ανισομετρίας. Ως αποτέλεσμα της μειωμένης στερεοοπτικής οξύτητας, έχει παρατηρηθεί ότι οι ασθενείς με ανισομετρωπία μεγαλύτερη από 1.50 D παρουσιάζουν σημαντικές διαταραχές στην συνένωση των δύο αμφιβληστροειδικών εικόνων. Τέλος, η μείωση της στερεοοπτικής οξύτητας δεν έχει βρεθεί να συσχετίζεται με την ικανότητα καταστολής της θόλωσης.

#### **2.3.5 Οπτικό πεδίο**

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι διάφορες τεχνικές της Μονο-όρασης δεν έχουν επιπτώσεις στην περιφερειακή όραση. Οι Collins et al. (1989b) έλεγξαν τη διόφθαλμη οπτική οξύτητα στην περιφέρεια (στις 10°, 20°, 40°, 70° μοίρες κάθε πλευράς) σε υποψηφίους με Μονο-όραση (additions 0.0 D, +1.50 D και +2.50 D) χωρίς να βρουν στατιστικά σημαντική επίδραση της Μονο-όρασης στη περιφερική όραση.

## **2.5 Χαρακτηριστικά κατάλληλου υποψήφιου για Μονο-όραση**

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν συμπεράσματα για το προσδιορισμό του προφίλ του υποψηφίου που έχει περισσότερες πιθανότητες για ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα Μονο-όρασης. Χαμηλές τιμές addition και μικροί βαθμοί ανισομετροπίας αυξάνουν τις πιθανότητες επιτυχημένου αποτελέσματος Μονο-όρασης στον υποψήφιο. Επίσης, ασθενείς που δεν έχουν ισχυρή οφθαλμική κυριαρχία και παρουσιάζουν ανοχή στη θόλωση είναι κατά πάσα πιθανότητα ιδανικότεροι υποψήφιοι για Μονο-όραση. Ηλικιακά, υπάρχει μια τάση αύξησης του ποσοστού επιτυχίας τους νέους πρεσβύωπες (χωρίς όμως η ηλικία να είναι αντικειμενικό κριτήριο για επιτυχημένη Μονο-όραση) και η ίδια τάση παρατηρείται στους ήδη χρήστες φακών επαφής. Κατάλληλοι υποψήφιοι για Μονο-όραση είναι επίσης αυτοί που λόγω των ασχολιών και επαγγελματών τους που επιθυμούν συχνές βραχυπρόθεσμες αλλαγές στην εστίαση τους διατηρώντας την όραση τους εστιασμένη και καθαρή (π.χ. δάσκαλοι, πωλητές, ομιλητές κ.α.). Τέλος, ασθενείς που χρησιμοποιούσαν ήδη πολυεστιακούς φακούς επαφής για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας αλλά αντιμετώπιζαν προβλήματα στην όραση τους (π.χ. ίλιγγο, θολή όραση) και δεν έμειναν ικανοποιημένοι, είναι πιθανόν να έχουν μεγαλύτερη επιτυχία με τη μέθοδο της Μονο-όρασης καθώς έχει παρατηρηθεί ότι σε συνθήκες χαμηλής αντίθεσης η κοντινή οπτική οξύτητα με Μονο-όραση είναι καλύτερη απ' ό,τι με πολυεστιακούς φακούς επαφής. Τέλος, από ορθοπτική πλευρά, υποψήφιοι με εναλλασσόμενο στραβισμό και κοντινή προσαρμοστική εσωτροπία μπορεί να αποδειχτούν κατάλληλοι για Μονο-όραση και να επωφεληθούν από αυτή.

## **2.6 Περιπτώσεις που η Μονο-όραση δεν είναι κατάλληλη επιλογή**

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι τεχνικές της Μονο-όρασης αντενδεικνύονται ως επιλογές για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας. Οι υποψήφιοι με υψηλά addition, ισχυρή οφθαλμική κυριαρχία και μικρή ανοχή στη θόλωση δεν είναι κατάλληλοι υποψήφιοι καθώς η Μονο-όραση θα προκαλέσει σημαντικές διαταραχές στην εύρυθμη λειτουργία της όρασης. Επίσης, υποψήφιοι με χαμηλή οπτική οξύτητα για τη κοντινή απόσταση ή ήδη μειωμένοι στερεοοπτική οξύτητα αποκλείονται από την επιλογή της Μονο-όρασης για διόρθωση της πρεσβυωπίας. Ένας άλλος παράγοντας που είναι ανασταλτικός για τη Μονο-όραση, σχετίζεται, με το



επάγγελμα του υποψήφιου αν αυτό απαιτεί εξαιρετική ευκρινή όραση είτε για μακριά είτε για κοντά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επαγγέλματα (όπως αυτό των πιλότων) που έχουν υψηλές απαιτήσεις για ευκρινή όραση είναι απαγορευτικά για την εφαρμογή μεθόδων Μονο-όρασης. Ακόμη, υποψήφιοι με αμβλυωπία δεν είναι ιδανικοί για Μονο-όραση καθώς το αμβλυωπικό μάτι δε μπορεί να αναλάβει το ρόλο να προσφέρει ευκρινή όραση σε καμία απόσταση. Τέλος, αρνητική ένδειξη για Μονο-όραση είναι οι υποψήφιοι που παρουσιάζουν μακρινή εσωφορία.

## **2.7 Συμπεράσματα για τη Μονο-όραση**

Σε κάθε περίπτωση, πριν την επιλογή οποιασδήποτε τεχνικής Μονο-όρασης είτε με φακούς επαφής είτε με κάποια επεμβατική μέθοδο, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν οι ανάγκες του ασθενή και οι απαιτήσεις όρασης που προκύπτουν από τις δραστηριότητές του.

Πριν από μια χειρουργική επέμβαση Μονο-όρασης ο υποψήφιος πρέπει να ενημερωθεί για τις προσδοκίες που πρέπει να έχει μετεγχειρητικά όσον αφορά την όρασή του. Επίσης, κρίνεται απαραίτητο μέσω φακών επαφής να προσομοιωθεί η Μονο-όραση προεγχειρητικά, και να δοθεί στον υποψήφιο ένα χρονικό διάστημα (δοκιμαστική περίοδος) όπου μέσα από ρεαλιστικές καταστάσεις στη καθημερινή του ζωή θα μπορέσει ο ίδιος να αξιολογήσει κατά πόσο η Μονο-όραση ανταποκρίνεται στις ανάγκες του και καλύπτει τις προσδοκίες του. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος θα μπορεί να αναφέρει στο γιατρό τυχόν δυσκολίες και εκείνος να προχωρήσει σε τροποποιήσεις της συνταγής (π.χ. στο addition) ή να προτείνει κάποια άλλη εναλλακτική μέθοδο για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας στη περίπτωση που ο υποψήφιος εξακολουθεί να μην είναι ικανοποιημένος με την Μονο-όραση.

## **Κεφάλαιο 3: Απλοί Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης**

### **3.1 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης**

Μία ψυχοφυσική μέθοδος που μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την ύπαρξη και την αξιολόγηση των δύο υποσυστημάτων της οπτικής οδού που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1, είναι οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης (RTs), δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να αποκριθεί ο συμμετέχων όσο πιο γρήγορα γίνεται στην εμφάνιση ενός ερεθίσματος. Όπως και σε άλλες ψυχοφυσικές μεθόδους μπορεί να αξιολογηθεί η επίδραση οπτικών χαρακτηριστικών των ερεθισμάτων όπως η αντίθεση, η φωτεινότητα, η χωρική συχνότητα, η επίδραση της αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας αλλά και η επίδραση άλλων παραγόντων (π.χ. ηλικία, φύλο, φυσική κατάσταση κ.α.) καθώς και συνδυασμοί αυτών. Οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από την αξιολόγηση της επεξεργασίας των οπτικών ερεθισμάτων και στην αξιολόγηση της οπτοκινητικής συμπεριφοράς ενώ μπορούν να μετατραπούν εύκολα σε αποστάσεις και τα δεδομένα να αξιοποιηθούν σε δραστηριότητες όπως η νυχτερινή οδήγηση (Plainis and Murray, 2005).

#### **3.1.2 Είδη ψυχοφυσικών πειραμάτων για τον έλεγχο των Χρόνων Αντίδρασης (RTs)**

Το ερέθισμα που θα χρησιμοποιηθεί σε μια διαδικασία αξιολόγησης των χρόνων αντίδρασης ποικίλει ανάλογα με την αίσθηση που διεγείρει. Μπορεί π.χ. να είναι οπτικό (Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης) ή ηχητικό (Ηχητικοί Χρόνοι Αντίδρασης). Η απόκριση σε ένα ηχητικό ερέθισμα (κατά μέσο όρο 140-160 ms) είναι πιο γρήγορη απ' ό τι σε ένα οπτικό ερέθισμα (κατά μέσο όρο 200 ms). Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης.

Αναφορικά, σύμφωνα με τους Luce (1986) και Welford (1980) υπάρχουν τρία βασικά διαφορετικά είδη ψυχοφυσικών πειραμάτων για τον έλεγχο των χρόνων αντίδρασης (RTs).

Μετρήσεις απλού οπτικού χρόνου αντίδρασης: στα πειράματα αυτά ο χρόνος αντίδρασης υπολογίζεται από την απόκριση σε ένα και μοναδικό ερέθισμα συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (π.χ. απόκριση στην εμφάνιση ενός ερεθίσματος με το πάτημα ενός κουμπιού).

Μετρήσεις οπτικών χρόνων επιλογής: στα πειράματα αυτά υπάρχουν μερικά ερεθίσματα στα οποία ο εξεταζόμενος πρέπει να αποκριθεί και κάποια τα οποία πρέπει να αγνοήσει. Κάθε φορά δηλαδή υπάρχει μόνο μία σωστή απόκριση (π.χ. αναγνώριση συμβόλων).

Πειράματα τυχαίας επιλογής: ο εξεταζόμενος πρέπει να δώσει μια απόκριση που ανταποκρίνεται σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα όπως π.χ. να πατήσει ένα πλήκτρο το οποίο

αποκρίνεται σε έναν χαρακτήρα αν ο χαρακτήρας αυτός εμφανιστεί στην οθόνη. Σε αμιγή πειράματα αυτού του είδους, η ακολουθία (σειρά παρουσίασης) των ερεθισμάτων είναι τυχαία.

Σειριακοί χρόνοι αντίδρασης: αυτό το είδος πειραμάτων είναι μια παραλλαγή των πειραμάτων τυχαίας επιλογής. Στα πειράματα αυτά η σειρά εμφάνισης των διαφόρων τύπων του ερεθίσματος δεν είναι τυχαία αλλά σύμφωνη με κάποια συγκεκριμένη ακολουθία. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο εξεταζόμενος μπορεί να μάθει την αλληλουχία εμφάνισης των ερεθισμάτων και να δώσει ψευδή αποτελέσματα (ταχύτερους χρόνους αντίδρασης από τους πραγματικούς).

### **3.1.3 Απλός Οπτικός Χρόνος αντίδρασης (Simple Visual Reaction Time)**

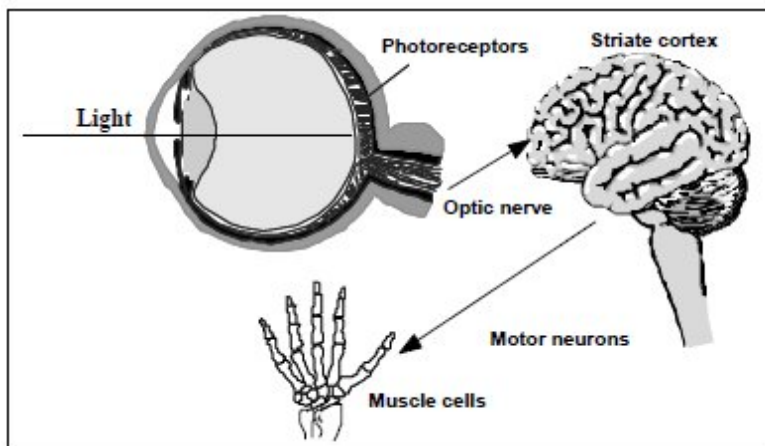
Σύμφωνα με τον Teichner (1954) ως Απλός Χρόνος Αντίδρασης (SRT) ορίζεται το χρονικό διάστημα παρουσίασης ενός οπτικού ερεθίσματος και της αντίδρασης σε αυτό με τη προϋπόθεση ότι ο εξεταζόμενος έχει λάβει οδηγίες να αντιδράσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα με ένα συγκεκριμένο τρόπο μόλις το αντιληφθεί.

Ο απλός οπτικός χρόνος αντίδρασης αποτελείται από τρία χρονικά διαστήματα εντός των οποίων λαμβάνουν χώρα διαφορετικές διαδικασίες (βλ. εικόνα 12):

- το χρονικό διάστημα μέχρι το φως να φτάσει στους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδή μέσω των οπτικών του ματιού και να γίνει η διαδικασία της φωτομετατροπής (μετατροπή φωτός σε ηλεκτρικό σήμα),
- το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η πληροφορία με τη μορφή δυναμικών ενέργειας (νευρικές ώσεις) μεταδίδεται μέσω της οπτικής οδού (οπτικό νεύρο, έξω γονατώδης πυρήνας) στα ανώτερα κέντρα του εγκεφάλου (οπτικός φλοιός),
- και, το χρονικό διάστημα της επεξεργασίας (απόφαση κινητικής απόκρισης) και της κινητικής απόκρισης στο ερέθισμα.

Αλλαγές στις ιδιότητες των παραγόντων που σχετίζονται με τις τρεις παραπάνω διαδικασίες οδηγούν σε αύξηση των χρόνων αντίδρασης, σε μεγαλύτερη δηλαδή χρονική καθυστέρηση. Στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά του ερεθίσματος (π.χ. μέγεθος, αντίθεση, σημείο προβολής στο οπτικό πεδίο, ένταση και διάρκεια ερεθίσματος), οι φωτοϋποδοχείς (π.χ. αριθμός και είδος φωτοϋποδοχέων που διεγείρονται, συνθήκες φωτισμού), το σημείο προβολής του ερεθίσματος στον αμφιβληστροειδή (κέντρο,

περιφέρεια), το όργανο που χρησιμοποιείται στην απόκριση στο ερέθισμα (π.χ. χέρι, πόδι), η ηλικία και το φύλο του εξεταζόμενου, η ανθρώπινη ευφυΐα (π.χ. μαθησιακές δυσκολίες) αλλά και άλλοι παράγοντες (π.χ. φάρμακα, αλκοόλ) που θα αναφερθούν σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.



Εικόνα 12: Ο απλός οπτικός χρόνος αντίδρασης αποτελείται από τρία χρονικά διαστήματα εντός των οποίων λαμβάνουν χώρα διαφορετικές διαδικασίες: το χρονικό διάστημα μέχρι το φως να φτάσει στους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδή και να συμβεί η φωτομετατροπή, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η πληροφορία μεταδίδεται μέσω της οπτικής οδού με τη μορφή νευρικών ώσεων στα ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα, και, το χρονικό διάστημα της κινητικής απόκρισης στο ερέθισμα.

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

Οι Purpa et al. πρότειναν μια απλή μαθηματική σχέση (1) για να περιγράψουν τη σύνθεση των διαστημάτων του χρόνου αντίδρασης:

$$RT = PT + MT \quad (1)$$

όπου RT (Reaction Time) είναι ο χρόνος αντίδρασης, PT (Perceptual Time) ο χρόνος αντίληψης και MT (Motor Time) ο χρόνος κινητικής απόκρισης.

### 3.1.3.1 PT (Perceptual Time)

Ως χρόνος αντίληψης (PT) ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται μέχρι την ανίχνευση του ερεθίσματος. Ο χρόνος αντίληψης μπορεί με τη σειρά του να χωριστεί σε τέσσερα στάδια: α) το στάδιο της εντύπωσης (sensation) που ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μέχρι να ανιχνευτεί το ερέθισμα, β) το στάδιο της αναγνώρισης (recognition) που ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μέχρι να αναγνωριστεί το ερέθισμα μέσω πληροφοριών της μνήμης, γ) το στάδιο της συνείδησης της κατανόησης (situational awareness) που ορίζεται ως το χρονικό

διάστημα μέχρι να ερμηνευτεί η κατάσταση του ερεθίσματος και δ) το στάδιο της επιλογής απόκρισης (response selection) που είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο λαμβάνεται η απόφαση για το είδος της απόκρισης στο ερέθισμα (π.χ. κινητική).

Ο χρόνος αντίληψης (PT) θεωρείται ότι επηρεάζεται από τη σημείο προβολής του ερεθίσματος στο χώρο και από τις επιμέρους ιδιότητες του ερεθίσματος (π.χ. χωρική συχνότητα, μέγεθος, φωτεινότητα, αντίθεση).

### **3.1.3.2 MT (motor time)**

Ως χρόνος κινητικής απόκρισης (MT) ορίζεται ο χρόνος που μεσολαβεί από την αντίληψη (βλ. παραπάνω) μέχρι την κινητική απόκριση στο ερέθισμα. Μετά το στάδιο επιλογής του είδους της απόκρισης πρέπει να εκτελεσθεί η κατάλληλη μυϊκή κίνηση (π.χ. πάτημα ενός κουμπιού) ως αντίδραση στο ερέθισμα.

Ο χρόνος κινητικής απόκρισης θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται από τις ιδιότητες του ερεθίσματος (π.χ. σημείο προβολής, μήκος κύματος, φωτεινότητα, αντίθεση) αλλά από το είδος και την πολυπλοκότητα της μυϊκής κίνησης που θα εκτελεσθεί. Όσο πιο πολύπλοκη είναι η κίνηση τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος κινητικής απόκρισης.

## **3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους οπτικούς χρόνους αντίδρασης, όπως προαναφέρθηκαν, είναι αρκετοί και μπορούν να διακριθούν σε παράγοντες που σχετίζονται με το ερέθισμα (π.χ. ένταση και διάρκεια του ερεθίσματος), παράγοντες που σχετίζονται με την αίσθηση που ερεθίζεται (π.χ. ακοή, όραση, αφή) και ακόμη παράγοντες όπως το φύλο και ηλικία του εξεταζόμενου, το όργανο απόκρισης (π.χ. χέρι), τα φάρμακα, το αλκοόλ, η φυσική κατάσταση (π.χ. κούραση ή έλλειψη ύπνου) κ.α..

### **3.2.1 Φωτεινή ένταση και διάρκεια του ερεθίσματος**

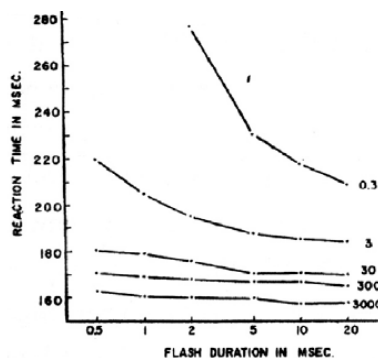
Ο Piéron (1952) πρότεινε μια ποσοτική σχέση η οποία συσχετίζει το χρόνο απόκρισης του ανθρώπινου οπτικού συστήματος με την ένταση του ερεθίσματος. Η σχέση αυτή είναι γνωστή και ως ψυχοφυσικός Νόμος του Piéron (Piéron's Law) και υποστηρίζει ότι ο χρόνος

αντίδρασης μειώνεται εκθετικά με την αύξηση της έντασης του ερεθίσματος φτάνοντας σε ένα ασυμπτωτικό επίπεδο και μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά (2) ως:

$$RT = RT_{\infty} + k I^{\beta} \quad \text{ή} \quad RT - RT_{\infty} = k I^{\beta} \quad (2)$$

όπου το  $\beta$  είναι η δύναμη του εκθέτη που εξαρτάται από το μέγεθος του ερεθίσματος,  $RT$  είναι ο χρόνος αντίδρασης,  $RT_{\infty}$  είναι ο ασυμπτωτικός χρόνος αντίδρασης που είναι σταθερός, και  $k$  είναι μια σταθερά αναλογικότητας. Η εγκυρότητα του νόμου του Piéron, έχει επαληθευτεί από μια σειρά μελετών και θεωρείται ιδανικό περιγραφικό μοντέλο για την ανίχνευση ενός ερεθίσματος (van Maanen et al., 2012).

Η μορφή της σχέσης μεταξύ της φωτεινής έντασης και του χρόνου αντίδρασης έχει βρεθεί ότι επηρεάζεται από τη χρονική διάρκεια παρουσίασης του ερεθίσματος (βλ. εικόνα 13). Ο Froeberg (1907) υποστήριξε ότι μεγαλύτερης διάρκειας οπτικά ερεθίσματα οδηγούν σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης. Σύμφωνα με τους Raab and Fehrer (1962), για χρονική διάρκεια παρουσίασης ερεθίσματος (για αμυδρούς στόχους) μεγαλύτερη από 10 msec οι χρόνοι αντίδρασης μειώνονται. Μετά από τη τιμή αυτή (ουδός) που μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 10- 25 msec (ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του στόχου) οι χρόνοι αντίδρασης αυξάνονται και τείνουν να γίνονται σταθεροί. Μεταγενέστερες έρευνες (π.χ. Lupp et al., 1976) σε χρόνους αντίδρασης για πιο σύνθετες διαδικασίες και ημιτονοειδή διαβαθμιζόμενα ερεθίσματα επαληθεύουν τις προηγούμενες και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η φωτεινότητα του ερεθίσματος επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το χρόνο αντίδρασης ( $RT$ ) απ' ό, τι η χρονική διάρκεια παρουσίασης του ερεθίσματος (κατέγραψαν σταθερές χρονικές αποκρίσεις για διαστήματα παρουσίασης 10- 500 ms) και ότι οι ατομικές διαφορές μεταξύ των εξεταζόμενων στον χρόνο απόκρισης σε ένα ερέθισμα επηρεάζονται από ανώτερους νευρωνικούς μηχανισμούς.



Εικόνα 13: (από Raab and Fehrer, 1962). Χρόνοι αντίδρασης (reaction times) συναρτήσει της χρονικής διάρκειας παρουσίασης ενός ερεθίσματος (flash- detection) για διάφορες φωτεινότητες του ερεθίσματος εκφρασμένες σε Ft - L

( $1 \text{ Ft-L} = 3.426 \text{ cd/m}^2$ ). Μετά τα 10 msec οι χρόνοι αντίδρασης είναι μικρότεροι και μένουν σταθεροί, φαινόμενο πιο έκδηλο με την αύξηση της φωτεινότητας.

(Σ. Πλαϊνης, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )

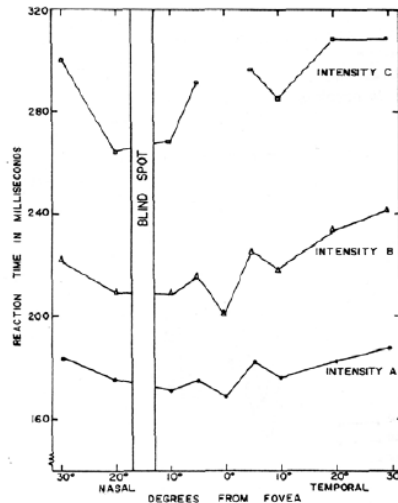
### 3.2.2 Αμφιβληστροειδική περιοχή (Retinal Locus)

Ένας παράγοντας που επηρεάζει τους χρόνους αντίδρασης, είναι η αμφιβληστροειδική περιοχή προβολής του ερεθίσματος. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως η θέση του ερεθίσματος στο χώρο, η φωτεινότητα του ερεθίσματος, οι συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος και το μέγεθος του στόχου (ποιοι φωτοϋποδοχείς ενεργοποιούνται).

Σύμφωνα με τον Brebner (1980) όταν το οπτικό ερέθισμα προβάλλεται σε διαφορετικές περιοχές του αμφιβληστροειδή οι χρόνοι αντίδρασης είναι και αυτοί διαφορετικοί. Γενικά, όσο αυξάνεται η εκκεντρότητα αυξάνονται και οι χρόνοι αντίδρασης (Plainis and Murray, 2003). Όταν η φωτεινότητα του ερεθίσματος είναι πάνω από την ουδό ευαισθησίας των κωνίων (ενεργοποίηση δηλαδή της λειτουργίας των κωνίων), τότε η προβολή του ερεθίσματος στην περιοχή της ωχράς κηλίδας οδηγεί σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης οι οποίοι αυξάνονται σταδιακά με την μετατόπιση του σημείου προβολής στη περιφέρεια (βλ. εικόνα 14). Από την άλλη πλευρά, αν η φωτεινότητα του ερεθίσματος δεν είναι αρκετή για να εγείρει τη δραστηριότητα των κωνίων, τότε παρατηρούνται ταχύτεροι χρόνοι αντίδρασης στη περιφέρεια του αμφιβληστροειδή (στις  $10^\circ - 20^\circ$ ). Επίσης, μεγάλη σημασία έχουν οι συνθήκες του περιβάλλοντα φωτισμού. Έτσι, σε φωτοπικές συνθήκες οι χρόνοι αντίδρασης είναι ταχύτεροι στην περιοχή της ωχράς κηλίδας απ' ό, τι στη περιφέρεια του αμφιβληστροειδή, ενώ σε σκοτοπικές συνθήκες οι χρόνοι αντίδρασης γίνονται ταχύτεροι περίπου στις  $20^\circ$  από τη περιοχή της ωχράς αλλά αυξάνονται για μεγαλύτερες εκκεντρότητες.

Οι Ando et al. (2002) βρήκαν ότι εάν εκπαιδευαν τους εξεταζόμενους να αντιδρούν σε ένα ερέθισμα βλέποντας το με τη κεντρική τους όραση τότε οι χρόνοι αντίδρασης μειωνόταν σημαντικά σε σχέση με τους χρόνους αντίδρασης στην περιφερική όραση και επαλήθευσαν ότι ισχύει και η αντίστροφη διαδικασία.



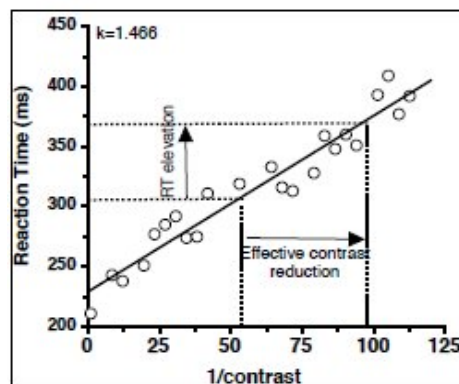


Εικόνα 14: (Rains, 1963). Οπτικοί χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει της αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας για τρεις διαφορετικές φωτεινότητες του λευκού φωτός εκφρασμένες σε mL (A= 3555 mL, B= 11.25 mL, C= 0.11 mL. 1 mL = 3.183 cd/m<sup>2</sup>).

(Σ. Πλαϊνης, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

### 3.2.3 Φωτεινή αντίθεση ερεθίσματος (Contrast)

Το contrast του ερεθίσματος (εικ. 15) είναι μια παράμετρος η οποία γενικά πιστεύεται ότι μπορεί να αποκαλύψει τη λειτουργία των δύο διαφορετικών οπτικών μονοπατιών (sustained, transient channels) που περιγράφηκαν παραπάνω και ως εκ τούτου είναι μια παράμετρος που αναμένεται να επηρεάζει τους οπτικούς χρόνους αντίδρασης. Γενικά, είναι αποδεκτό ότι με τη μείωση του contrast του ερεθίσματος, οι χρόνοι αντίδρασης αυξάνονται (π.χ. Vassilev et al., 2000, Plainis and Murray, 2000) καθώς το αμφιβληστροειδικό contrast μειώνεται.



Εικόνα 15: οπτικοί χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει του contrast C, εκφρασμένου ως 1/C. k, η κλίση της ευθείας. Είναι φανερό ότι μείωση του contrast οδηγεί σε μείωση των χρόνων αντίδρασης.

(Σ. Πλαϊνης, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

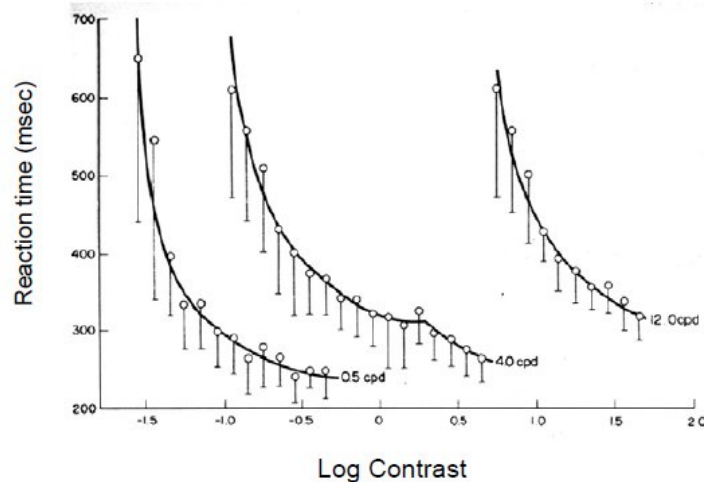
Σε μελέτη (εικ. 16) που έγινε από τους Harweth and Levi (1978) εξετάστηκαν οι χρόνοι αντίδρασης σε κάθετα ημιτονοειδή διαβαθμιζόμενα ερεθίσματα συναρτήσει διαφόρων παραγόντων του ερεθίσματος και μεταξύ αυτών και του contrast. Τα ευρήματα τους ήταν τα εξής:

α) βρήκαν ότι οι χρόνοι αντίδρασης γενικά μειώνονταν συνεχόμενα και εκθετικά από χαμηλές χωρικές συχνότητες (0.5 c/deg) σε υψηλές χωρικές συχνότητες (12 c/deg) με αυξήσεις στην τιμή του contrast του ερεθίσματος από τιμές κοντά στην ουδό αντίχνευσης (threshold) και για τιμές πάνω από αυτήν (suprathreshold).

β) Για ενδιάμεσες χωρικές συχνότητες όμως (1 – 8 c/deg) παρατήρησαν ότι η μείωση της διάρκειας του χρόνου αντίδρασης με παράλληλες αυξήσεις στην τιμή του contrast χαρακτηριζόταν από μια ασυνέχεια η οποία αποκάλυπτε δύο διαφορετικές φθίνουσες λειτουργίες, μία για χαμηλό contrast (5- 10%) και μία για υψηλότερες τιμές contrast, γεγονός το οποίο υποδείκνυε την παρουσία δύο διαφορετικών μηχανισμών. Η ασυνέχεια αυτή που υποδήλωνε τη μετάβαση από τον ένα μηχανισμό στον άλλο, η τιμή δηλαδή του contrast που ενεργοποιούσε το δεύτερο μηχανισμό, βρέθηκε ότι εξαρτιόνταν από τα χαρακτηριστικά του ερεθίσματος (π.χ. χωρική συχνότητα).

γ) Επιπλέον, παρατήρησαν ότι όταν η χρονική διάρκεια παρουσίασης του ερεθίσματος μειώθηκε στα 50 msec τα δεδομένα από τις υψηλές χωρικές συχνότητες (8- 12 c/deg) παρουσίαζαν επίσης διφασικό χαρακτήρα. Οι ίδιοι υπέθεσαν πως το γεγονός ότι οι χρόνοι αντίδρασης ήταν μικρότεροι για μεγαλύτερες τιμές contrast οφείλονταν στην λειτουργία των transient channels (M νευρώνες) και οι μεγαλύτεροι χρόνοι αντίδρασης που παρατηρήθηκαν για μικρότερες τιμές contrast υποδείκνυαν τη λειτουργία των sustained channels (P νευρώνες). Εντούτοις, νεότερες έρευνες (Plainis and Murray, 2000) απέδειξαν ότι στην αντίχνευση ερεθισμάτων με χαμηλό contrast οι M νευρώνες (transient channels) δίνουν ταχύτερες αποκρίσεις από ότι οι P νευρώνες (sustained channels) ενώ το αντίθετο φαίνεται να συμβαίνει για μεγαλύτερες τιμές contrast όπου οι P νευρώνες ενεργοποιούνται και δίνουν ταχύτερες αποκρίσεις.

δ) Τέλος, για συνθήκες contrast μικρότερες του 5% δεν παρατήρησαν διαφορές στις αποκρίσεις μεταξύ των δύο οπτικών μονοπατιών (transient, sustained channels).



Εικόνα 16: (Harweth and Levi, 1978). Μέσοι χρόνοι αντίδρασης και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει του λογαριθμικού contrast για τρεις διαφορετικές χωρικές συχνότητες (0.5, 4.0 και 12 c/deg) για παρουσίαση ερεθίσματος με διάρκεια 500 msec. Η καμπύλη για χαμηλές και υψηλές χωρικές συχνότητες παρουσιάζουν μονοφασικό χαρακτήρα ενώ η καμπύλη για την ενδιάμεση συχνότητα διφασικό, κάτι που φανερώνει την ύπαρξη δύο διαφορετικών μηχανισμών. Η καμπύλη των 5 c/deg είναι σε αληθινή κλίμακα ενώ οι άλλες δύο είναι μετατοπισμένες κατά μία λογαριθμική μονάδα προς τα δεξιά για ευκολία στην απεικόνιση.

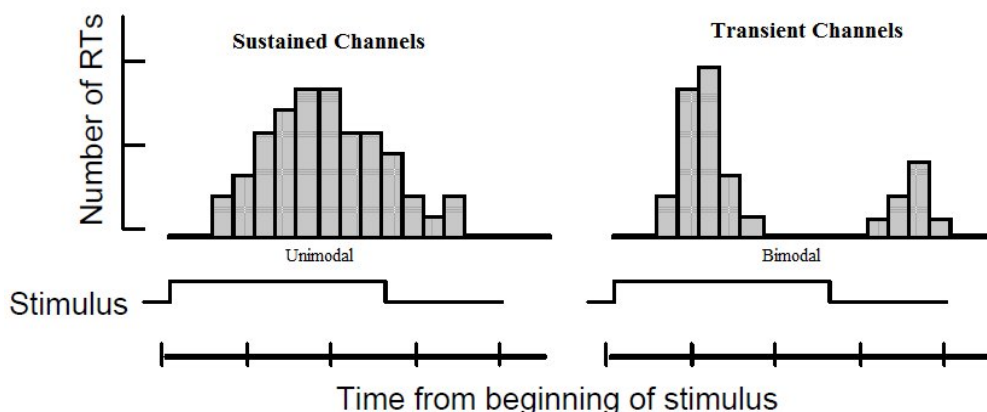
(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )

### 3.2.4 Χωρική συχνότητα (Spatial Frequency)

Σε διάφορες μελέτες (π.χ. Breitmeyer, 1975, Plainis and Murray, 2000, Vassilev et al., 2000, Plainis and Murray 2003) που έχουν γίνει για να καθοριστεί η επίδραση της χωρικής συχνότητας ενός ερεθίσματος στο χρόνο αντίδρασης, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι με την αύξηση της χωρικής συχνότητας αυξάνονται και οι χρόνοι αντίδρασης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι χαμηλές χωρικές συχνότητες (low spatial frequencies) επεξεργάζονται από τα κανάλια που ορίζουν οι Μ νευρώνες (transient channels) ενώ οι υψηλές χωρικές συχνότητες (high spatial frequencies) επεξεργάζονται από τα κανάλια που ορίζονται από τους Ρ νευρώνες (sustained channels).

Έχει βρεθεί ότι υπάρχει μια ζώνη χωρικών συχνοτήτων (transition zone) όπου οι δύο μηχανισμοί (transient, sustained channels) είναι ενεργοί και σε κάποιο σημείο αυτής γίνεται η μετάβαση από τον έναν μηχανισμό στον άλλον. Διάφοροι ερευνητές έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν τη ζώνη χωρικών συχνοτήτων και την τιμή που συμβαίνει η μετάβαση. Ο Tolhurst (1975) χρησιμοποιώντας ημιτονοειδή διαβαθμιζόμενα ερεθίσματα με contrast κοντά

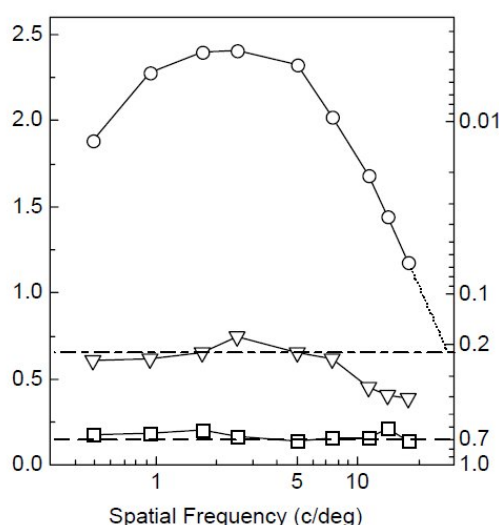
στην ουδό κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για την ενεργοποίηση των P νευρώνων απαιτούνται χωρικές συχνότητες τουλάχιστον 3.5 c/deg. Ο ίδιος μαζί με τον Kulikowski (1972) είχαν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η τιμή του ορίου που γίνεται η μετάβαση από τον ένα μηχανισμό στον άλλον βρίσκεται μεταξύ 5 και 8 c/deg. Αργότερα, οι Harweth and Levi (1978) υποστήριξαν ότι στο διάστημα μεταξύ 1 έως 8 c/deg οι δύο μηχανισμοί είναι εξίσου ενεργοί. Ο Tolhurst (1975) παρουσίασε σε ιστογράμματα (βλ. εικόνα 17) τα αποτελέσματα των χρόνων αντίδρασης για δύο διαφορετικές χωρικές συχνότητες 0.2 και 3.5 c/deg σε ημιτονοειδή διαβαθμιζόμενα ερεθίσματα με contrast κοντά στη τιμή της ουδού και υποστήριξε ότι από αυτά μπορούσε να διακριθεί η λειτουργία των δύο παράλληλων οπτικών μονοπατιών. Για συχνότητα 0.2 c/deg όπου η επεξεργασία της πληροφορίας έγκειται στη λειτουργία των M- νευρώνων (transient channels) παρατήρησε ότι οι χρόνοι αντίδρασης (ιστόγραμμα) παρουσίαζαν δύο απότομες κορυφές (bimodal), μία στην έναρξη και μία στη λήξη του ερεθίσματος ενώ για συχνότητα 3.5 c/deg όπου η επεξεργασία της πληροφορίας έγκειται στη λειτουργία των P- νευρώνων (sustained channels) το ιστόγραμμα των χρόνων αντίδρασης ήταν συνεχές (unimodal) και με μία κορυφή. Στη δεύτερη περίπτωση, οι χρόνοι αντίδρασης ήταν πιο αργοί. Τα ιστογράμματα αυτά, δεν μπορούν να δείξουν την ύπαρξη των δύο παράλληλων οπτικών οδών σε συνθήκες υψηλού contrast (ενεργοί μόνο οι P νευρώνες).



Εικόνα 17: Tolhurst (1975). Δεξιά. Για χωρική συχνότητα 0.2 c/deg η επεξεργασία της πληροφορίας έγκειται στη λειτουργία των M νευρώνων (transient channels). Οι χρόνοι αντίδρασης (ιστόγραμμα) παρουσιάζουν δύο απότομες κορυφές (bimodal), μία στην έναρξη και μία στη λήξη του ερεθίσματος . Αριστερά: για χωρική συχνότητα 3.5 c/deg η επεξεργασία της πληροφορίας έγκειται στη λειτουργία των P νευρώνων (sustained channels) το ιστόγραμμα των χρόνων αντίδρασης είναι συνεχές (unimodal), με μία κορυφή.

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι όσο αυξάνεται η χωρική συχνότητα μειώνεται το αμφιβληστροειδικό contrast του ερεθίσματος λόγω των οπτικών του ματιού (Vassilev 2000) παράγοντας που οδηγεί σε αύξηση των χρόνων αντίδρασης. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό διάφοροι ερευνητές (π.χ. Blakemore et al., 1973) χρησιμοποίησαν ερεθίσματα που είχαν πολύ υψηλό φυσικό contrast (50% ή 70% πάνω από την ουδό) με σκοπό να διατηρήσουν το αμφιβληστροειδικό contrast σε φυσιολογικά επίπεδα αυξάνοντας παράλληλα τη χωρική συχνότητα. Τα αποτελέσματα (βλ. εικόνα 18) έδειξαν ότι σε υψηλά επίπεδα contrast οι καμπύλες ευαισθησίας σε σχέση με τη φυσιολογική καμπύλη ευαισθησίας στη φωτεινή αντίθεση (CSF) γινόντουσαν επίπεδες σε όλο το εύρος των χωρικών συχνοτήτων.



Εικόνα 18: (Blackmore 1973). Καμπύλες φωτεινής ευαισθησίας αντίθεσης σε έναν εξεταζόμενο για συνθήκες contrast 0.7 (τετράγωνα) και 0.5 (τρίγωνα) σε σύγκριση με την φυσιολογική καμπύλη ευαισθησίας του CSF (κύκλοι). Είναι φανερό ότι για υψηλές συνθήκες contrast οι καμπύλες ευαισθησίας τείνουν να γίνονται επίπεδες σε όλο το φάσμα των χωρικών συχνοτήτων (spatial frequency).

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

### 3.2.5 Ηλικία και φύλο

Γενικά, σύμφωνα με την πλειονότητα των ερευνών φαίνεται ότι με την πάροδο της ηλικίας οι χρόνοι αντίδρασης γίνονται σταδιακά πιο αργοί αλλά η επιβράδυνση αυτή διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και οφείλεται σε αλλαγές που σχετίζονται με τη γήρανση (π.χ. επιβράδυνση των νευρωνικών αποκρίσεων που σχετίζονται με τη κίνηση). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Der and Deary (2006) σε σύνολο 7.414 περίπου συμμετεχόντων, ο απλός οπτικός χρόνος αντίδρασης αλλάζει ελάχιστα μέχρι την ηλικία των

50 ετών. Στην ίδια μελέτη ελέγχθηκαν οι χρόνοι αντίδρασης με βάση το φύλο των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι άντρες σε κάθε ηλικιακό γκρουπ είχαν στο σύνολο ταχύτερους χρόνους αντίδρασης σε σχέση με τις γυναίκες και επιπλέον ότι οι γυναίκες δεν βελτιώναν σημαντικά τους χρόνους αντίδρασης με την εξάσκηση. Τα αποτελέσματα της έρευνας των Der and Deary επαληθεύουν προγενέστερες έρευνες ( Noble et al., 1964, Adam et al., 1999) και επαληθεύονται και από αντίστοιχη έρευνα των Fozard et al. (1994) όπου οι χρόνοι αντίδρασης υπολογίστηκαν βάσει ακουστικού ερεθίσματος δύο συχνοτήτων (250 και 1000 Hz). Παρ' όλα αυτά σύμφωνα με τους Jervas and Yan (2001), η επιβράδυνση των χρόνων αντίδρασης με την ηλικία δεν επηρεάζεται από το φύλο.

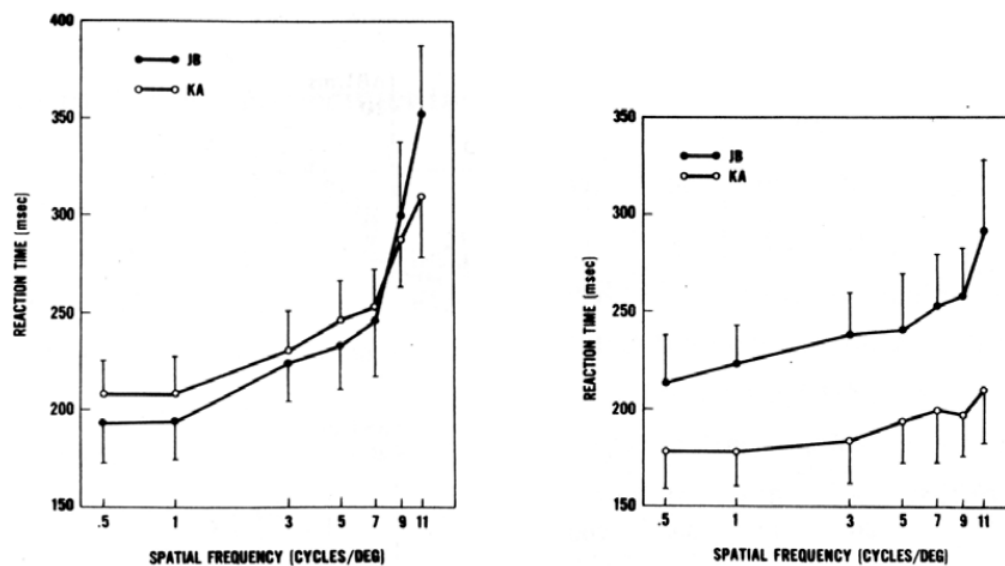
### **3.2.6 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τους χρόνους αντίδρασης**

Οι χρόνοι αντίδρασης είναι μια ψυχοφυσική διαδικασία και ως εκ τούτου είναι ευαίσθητοι σε μια πληθώρα παραγόντων. Για παράδειγμα, σε γρηγορότερους χρόνους αντίδρασης μπορεί να οδηγήσει η πρακτική εξάσκηση (Sanders 1998), η γνώση της πιθανής θέσης εμφάνισης του ερεθίσματος στο χώρο (Carreiro et al. 2003), η σωματική άσκηση (Welford 1980), ο ρυθμός της αναπνοής (ταχύτεροι χρόνοι αντίδρασης κατά την εκπνοή, Buchsbaum and Calloway 1965), η ευφυΐα και η προσωπικότητα του εξεταζόμενου (ταχύτεροι χρόνοι αντίδρασης από εξωστρεφείς προσωπικότητες, Brebner 1980). Από την άλλη πλευρά, παράγοντες όπως το άγχος η κούραση και ο αποπροσανατολισμός (Welford 1980), η καφεΐνη, το αλκοόλ (Moskowitz and Fiorentino 2000), κάποιες κατηγορίες φαρμάκων και οι μαθησιακές δυσκολίες οδηγούν σε αύξηση των χρόνων αντίδρασης.

### **3.4 Μελέτες RTs που υποδεικνύουν την ύπαρξη δυο παράλληλων μηχανισμών**

Ο Breitmeyer (1975) συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του με αυτά των Kulikowski και Tolhurst (1975), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι δύο διαφορετικοί μηχανισμοί (transient and sustained channels) μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους βάσει των χωρικών χαρακτηριστικών του ερεθίσματος. Στην εικόνα 16 αριστερά, είναι τα αποτελέσματα των απλών οπτικών χρόνων αντίδρασης δύο εξεταζόμενων σε ένα κάθετο ημιτονοειδές διαβαθμιζόμενο ερέθισμα για ένα εύρος χωρικών συχνοτήτων από 0.5 έως 11 c/deg, χρονικής διάρκειας παρουσίασης του ερεθίσματος 50 msec και contrast 50%. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι χρόνοι αντίδρασης αυξάνονται απότομα στις υψηλές χωρικές συχνότητες γεγονός που το αποδίδει εν μέρει στη λειτουργία των P νευρώνων (sustained channels) αλλά και στο γεγονός ότι το αμφιβληστροειδικό contrast τείνει να εξασθενεί σε υψηλές χωρικές

συχνότητες οδηγώντας σε αυξημένους χρόνους αντίδρασης. Για το λόγο αυτό, πραγματοποίησε ένα δεύτερο πείραμα (εικόνα 19, δεξιά) όπου αύξησε το αντικειμενικό contrast του ερεθίσματος για χωρική συχνότητα 11 c/deg κατά 66% ώστε να αυξήσει το αμφιβληστροειδικό contrast. Τα συμπεράσματα ήταν ίδια με αυτά του πρώτου πειράματος καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι διαφορές στους χρόνους αντίδρασης οφείλονται στη λειτουργία των δύο διαφορετικών υποσυστημάτων με το υποσύστημα που ορίζεται από τους M νευρώνες (transient channels) να δίνει πιο γρήγορες αποκρίσεις (μικρότεροι χρόνοι αντίδρασης) και να είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση των χαμηλών χωρικών συχνοτήτων ενώ οι P νευρώνες (sustained channels) να είναι υπεύθυνοι για την ανίχνευση υψηλών χωρικών συχνοτήτων με αποτέλεσμα να δίνουν πιο αργές αποκρίσεις (αυξημένοι χρόνοι αντίδρασης).

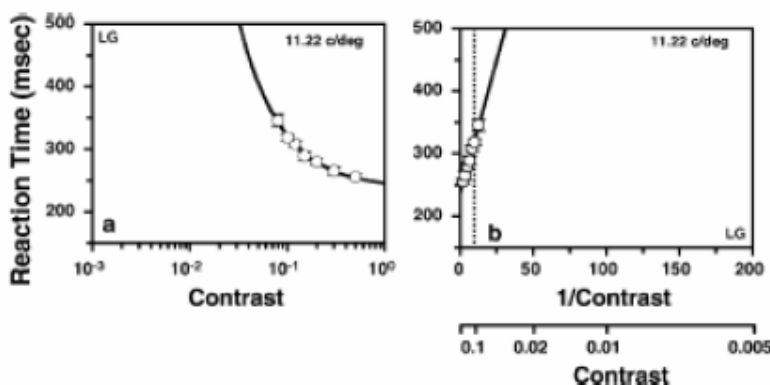


Εικόνα 19: (Breitmeyer 1975). Μέσοι χρόνοι αντίδρασης δύο εξεταζόμενων σε ένα κάθετο ημιτονοειδές διαβαθμιζόμενο ερέθισμα συναρτήσει της χωρικής συχνότητας (βλ. κείμενο) για αντικειμενικό contrast 0.5 αριστερά, και για ρυθμιζόμενο ώστε να ανταποκρίνεται στο υποκειμενικό (δεξιά).

(Σ. Πλαϊνης, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

Οι Plainis and Murray υπογραμμίζουν την ύπαρξη των δύο διαφορετικών μηχανισμών και την επίδραση τους στους χρόνους αντίδρασης σε δύο έρευνες.

Στη πρώτη έρευνα το 2000, χρησιμοποιώντας ένα αχρωματικό ημιτονοειδές ερέθισμα (grating) έλεγξαν τους απλούς οπτικούς χρόνους αντίδρασης συναρτήσει της χωρικής συχνότητας (για τιμές από 0.49 έως 17.7 c/deg), της φωτεινότητας (για τιμές από 0.005 έως 20 cd/m<sup>2</sup>) και του contrast (για τιμές από 0.005 έως 0.5) και βρήκαν μία συνάρτηση η οποία συνένδεε όλες τις παραπάνω παραμέτρους για κάθε κατάσταση του ερεθίσματος (αλλαγές στη χωρική συχνότητα, στη φωτεινότητα, στο contrast). Επιπλέον, σχεδιάζοντας τα δεδομένα από τους χρόνους αντίδρασης ως προς το αντίστροφο του contrast C (1/C) βρήκαν ότι η σχέση μεταξύ contrast και χρόνων αντίδρασης για μεγάλες τιμές contrast (C>0.1) είναι γραμμική (βλ. εικόνα 16) . Η καμπύλη αυτή k, ορίστηκε ως RT- contrast factor (σχέση χρόνου αντίδρασης με contrast) και η αντιστροφή της k<sup>-1</sup> έδειξε το contrast gain (εικ. 20).



Εικόνα 20: (Plainis and Murray, 2000). Αριστερά. Οπτικοί χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει του contrast C για χωρική συχνότητα 11.22 c/deg σε έναν εξεταζόμενο . Δεξιά. Οπτικοί χρόνοι αντίδρασης στον ίδιο εξεταζόμενο συναρτήσει του 1/C για χωρική συχνότητα 11.22 c/deg (γραμμική εξάρτηση). Η μαύρη γραμμή είναι η καλύτερη προσεγγιστική καμπύλη (k) ενώ η κάθετη διακεκομμένη στο δεξιά γράφημα ορίζει το σημείο όπου το contrast είναι 0.1 (10%).

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση" )

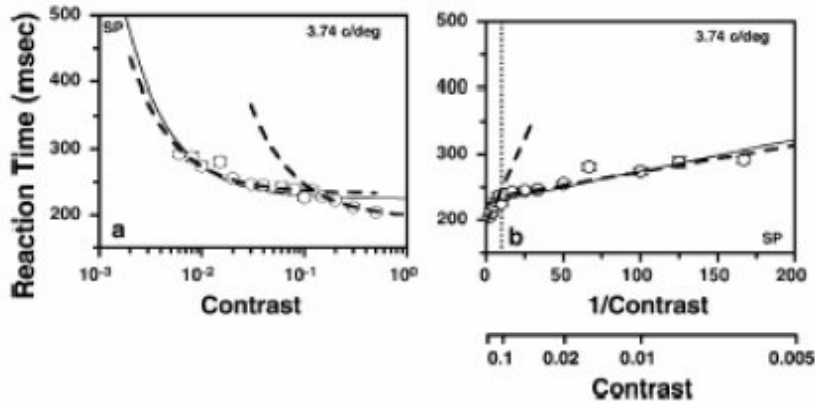
Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα τους, σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες, έδειξαν ότι ανάλογα με τη χωρική συχνότητα που χρησιμοποιείται οι χρόνοι αντίδρασης μειώνονται με την αύξηση του contrast και ότι για δεδομένη τιμή contrast του ερεθίσματος οι χρόνοι αντίδρασης είναι μεγαλύτεροι για υψηλές χωρικές συχνότητες απ' ότι για χαμηλές. Επίσης, τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι οι υψηλές χωρικές συχνότητες δεν ανιχνεύονται για contrast κάτω του 0.003 ενώ οι χαμηλές χωρικές ανιχνεύονται για contrast 0.006. Ακόμη, αλλαγές στο contrast βρέθηκε να επηρεάζουν λίγο τους χρόνους αντίδρασης στις χαμηλές χωρικές συχνότητες, περισσότερο στις μεσαίες χωρικές ενώ επέφεραν σημαντικές αυξήσεις στους χρόνους αντίδρασης στις υψηλές χωρικές συχνότητες.



Από τα παραπάνω, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά των χρόνων αντίδρασης καθορίζεται από τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των P και M νευρώνων. Συγκεκριμένα πρότειναν ότι οι M και P νευρώνες διαφοροποιούνται από τις αποκρίσεις τους στα ερεθίσματα σε συνθήκες χαμηλού contrast. Οι M νευρώνες είναι ευαίσθητοι σε χαμηλές συνθήκες contrast, φωτεινότητας και σε χαμηλές συνθήκες φωτεινότητας ενώ παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία αντίθεσης. Οι P νευρώνες είναι ευαίσθητοι σε υψηλές συνθήκες contrast, φωτεινότητας και σε υψηλές χωρικές συχνότητες αλλά έχουν μειωμένη ευαισθησία αντίθεσης. Έτσι, για χαμηλές χωρικές συχνότητες οι χρόνοι αντίδρασης καθορίζονται από τους M νευρώνες και είναι ταχύτεροι για εύρος contrast πάνω από 0.01 ενώ για υψηλές χωρικές συχνότητες οι χρόνοι αντίδρασης ορίζονται από τους P νευρώνες και είναι πιο γρήγοροι για εύρος contrast πάνω από 0.1 (10%).

Σε επόμενη μελέτη τους, το 2003, έλεγξαν τους χρόνους αντίδρασης και κάτω από ποιες συνθήκες του ερεθίσματος (contrast, χωρική συχνότητα, εκκεντρότητα, φωτεινότητα) γίνεται εμφανής η ύπαρξη δύο παράλληλων μηχανισμών (η καμπύλη ευαισθησίας γίνεται διφασική) όπως είχαν προτείνει και οι Harweth and Levi (1978) και Breitmeyer (1975), συναρτήσει του contrast ή αλλιώς  $1/C$  και ερμήνευσαν τα αποτελέσματά τους.

Όσον αφορά την τιμή του contrast, τα αποτελέσματα συναρτήσει των χρόνων αντίδρασης έδειξαν ότι για μια χαμηλές και μεσαίες χωρικές συχνότητες, η διφασικότητα της καμπύλης (βλ. εικ. 21) εμφανίζεται όταν η τιμή του contrast φτάσει στο 10% πάνω από την τιμή της ουδού ευαισθησίας για φωτοπικές συνθήκες και χρονική παρουσίαση του ερεθίσματος 500 msec. Όσο το contrast αυξάνεται, οι χρόνοι αντίδρασης μειώνονται σταδιακά. Στο σημείο  $C=0.1$ , όπου η καμπύλη  $k$  γίνεται διφασική ( $k_1, k_2$ ) γίνεται η μετάβαση από τη λειτουργία του μηχανισμού των M νευρώνων (shallow branch) στη λειτουργία των P νευρώνων (steeper branch) και οι χρόνοι αντίδρασης μειώνονται ακόμη περισσότερο καθώς οι P νευρώνες καθ' ότι περισσότεροι σε αριθμό σχηματίζουν περισσότερες συνάψεις και έχουν και ταχύτερες αποκρίσεις σε υψηλές συνθήκες contrast.



Εικόνα 21: (Plainis and Murray, 2003). οπτικοί χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει του Contrast (αριστερά) και του 1/C (δεξιά). Η χωρική συχνότητα του ερεθίσματος είναι 3.74 c/deg, η χρονική διάρκεια παρουσίασης 500 msec και η φωτεινότητα 20 cd/m<sup>2</sup>. Οι διακεκομμένες γραμμές στα δύο γραφήματα αντιστοιχούν στα επίπεδα υψηλού contrast (0.5 έως 0.1) και στα επίπεδα χαμηλού contrast (0.1 έως 0.005). Η κάθετη διακεκομμένη γραμμή υποδεικνύει το σημείο  $C = 0.1$  και η συνεχής γραμμή τη καλύτερη προσεγγιστική καμπύλη για τα δεδομένα.

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

Ελέγχοντας στην επίδραση της χωρικής συχνότητας στους χρόνους αντίδρασης συναρτήσει του contrast (εκφρασμένο ως 1/C), τα ευρήματα έδειξαν ότι για χαμηλές και μεσαίες χωρικές συχνότητες, η καμπύλη, ήταν διφασική ( $k_1$ ,  $k_2$ ) αλλά για μεγαλύτερες χωρικές συχνότητες (π.χ. 7.84, 11.22 c/deg) η καμπύλη γινόταν μονοφασική και πιο απότομη, κάτι που υποδείκνυε τη παρουσία ενός μόνο μηχανισμού, των P- νευρώνων.

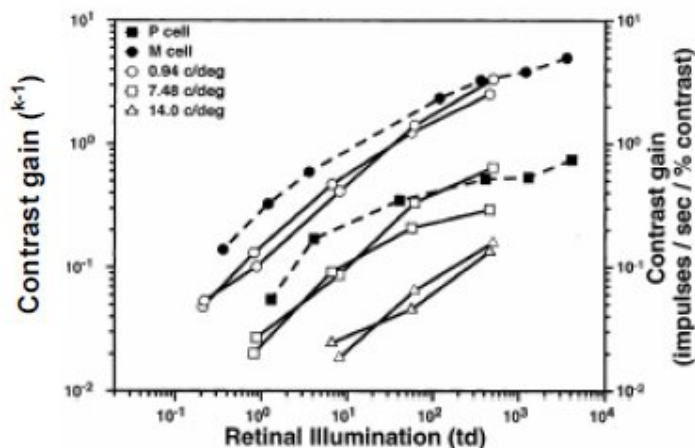
Ο παράγοντας της αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας ( $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ) στους χρόνους αντίδρασης συναρτήσει του contrast (εκφρασμένο ως 1/C), έδειξε ότι για δεδομένη χωρική συχνότητα (5.57 c/deg), φωτεινότητα ερεθίσματος (20 cd/m<sup>2</sup>) και χρονική διάρκεια ερεθίσματος (340 ms), η καμπύλη συνεχίζει να είναι διφασική ( $k_1$ ,  $k_2$ ) ως τις  $5^\circ$  εκκεντρότητας και προχωρώντας σε μεγαλύτερες εκκεντρότητες π.χ. στις  $10^\circ$  γίνεται μονοφασική (λειτουργία μηχανισμού M- νευρώνων). Ελέγχοντας τον παράγοντα  $k^{-1}$ , για διάφορες τιμές φωτεινότητας (0.006 έως 20 cd/m<sup>2</sup>) και για ένα φάσμα χωρικών συχνοτήτων, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της φωτεινότητας οδηγεί σε μικρότερη ευαισθησία αντίθεσης που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες χωρικές συχνότητες (λειτουργία P νευρώνων). Με βάση την εκκεντρότητα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για χαμηλές χωρικές συχνότητες (0.49 και 1.71 c/deg) και μεσοπικές συνθήκες (0.2 cd/m<sup>2</sup>) η καμπύλη ευαισθησίας αντίθεσης μένει ανεπηρέαστη από την εκκεντρότητα ενώ για υψηλότερες χωρικές συχνότητες και φωτοπικές συνθήκες, μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της εκκεντρότητας. Από τα παραπάνω αποτελέσματα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι δύο μηχανισμοί που υπάρχουν στο οπτικό

σύστημα για την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας, μπορούν να γίνουν διακριτοί σε χαμηλές έως ενδιάμεσες χωρικές συχνότητες και όταν η ευαισθησία είναι υψηλή, δηλαδή όταν τα Μ κύτταρα είναι ενεργά:

- απλή γραμμική καμπύλη υποδηλώνει την λειτουργία ενός μόνο υποσυστήματος.
- Διφασική καμπύλη, υποδηλώνει τη μετάβαση από τον έναν μηχανισμό στον άλλον.

Οι Μ νευρώνες είναι κυρίως υπεύθυνοι για ανίχνευση ερεθισμάτων κοντά στην οδό ευαισθησίας και ως εκ τούτου πιθανόν να είναι η βάση για τη μορφή της CSF.

Η εικόνα 19 δείχνει πως επηρεάζεται ο παράγοντας contrast gain ( $k$ ) εκφρασμένος και ως προς  $k^{-1}$  συναρτήσει της αμφιβληστροειδικής φωτεινότητας (σε td), για τρεις χωρικές συχνότητες (0.94, 7.48 και 14.0 c/deg) για δύο εξεταζόμενους και τα συγκρίνει μετά αποτελέσματα των Purpura et al. (1988) για το contrast gain των Μ και Ρ κύτταρων από τα γαγγλιακά κύτταρα LGN σε macaque (βλ. εικ. 22).



Εικόνα 22: Ο παράγοντας contrast gain ( $k$ ) εκφρασμένος και ως προς  $k^{-1}$  συναρτήσει της αμφιβληστροειδικής φωτεινότητας (σε td), για τρεις χωρικές συχνότητες (0.94, 7.48 και 14.0 c/deg), για δύο εξεταζόμενους, και για τα Μ (μαύροι κύκλοι) και Ρ κύτταρα (μαύρα τετράγωνα) από macaque.

(Σ. Πλαϊνής, σημειώσεις Π.Μ.Σ. "Οπτική και Όραση")

### 3.5 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Μονο-όραση

Οι Brown et al. (1988) μελέτησαν τους οπτικούς χρόνους αντίδρασης σε μια πολύπλοκη διαδικασία (complex task) για τρεις αποστάσεις (κοντινή, ενδιάμεση, μακρινή) σε πρεσβύπες διορθωμένους με οφθαλμικούς φακούς (πολυεστιακοί) και φακούς επαφής (διπλοεστιακοί). Χρησιμοποίησαν έξι διαφορετικούς τρόπους διόρθωσης της πρεσβυωπίας με

φακούς επαφής, ανάμεσα τους και δύο μεθόδους Μονο-όρασης (συμβατική και τροποποιημένη). Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι οι χρόνοι αντίδρασης ήταν σε όλες τις περιπτώσεις γρηγορότεροι για την ενδιάμεση απόσταση. Από τις τεχνικές διόρθωσης με φακούς επαφής, οι δύο τεχνικές Μονο-όρασης έδωσαν τους ταχύτερους χρόνους αντίδρασης για την ενδιάμεση απόσταση. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της τροποποιημένης Μονο-όρασης οι χρόνοι αντίδρασης ήταν γρηγορότεροι και για τις τρεις αποστάσεις συγκριτικά με τις άλλες τεχνικές διόρθωσης της πρεσβυωπίας με φακούς επαφής.

## **Κεφάλαιο 4: Σκοπός – Μεθοδολογία**

## 4.1 Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση της Μονο-όρασης στην οπτική απόδοση σε μία ενδιάμεση απόσταση (η οποία ορίστηκε ως η απόσταση του ενός μέτρου) μέσω του Απλού Οπτικού Χρόνου Αντίδρασης (SRT). Προσομοιώνοντας τη Μονο-όραση με τη χρήση θετικών διαθλαστικών φακών (διοπτρική θόλωση) πάνω από τη βέλτιστη διόρθωση των εξεταζόμενων μετρήθηκαν οι χρόνοι αντίδρασης για ένα ερέθισμα που εμφανιζόταν στο κέντρο του οπτικού πεδίου (ωχρική όραση). Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν σε ορισμένους με χρήση κορικών διαφραγμάτων (3mm και 6 mm). Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις χρόνων αντίδρασης στην περιφέρεια του οπτικού πεδίου σε διάφορες εκκεντρότητες ενώ τέλος αξιολογήθηκε η οπτική οξύτητα με τη χρήση πίνακα κοντινής οπτικής οξύτητας ETDRS. Όλες οι παραπάνω δοκιμασίες (εκτός τις μετρήσεις με κορικά διαφράγματα) πραγματοποιήθηκαν και για Διόφθαλμη Θόλωση. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των οπτικών χρόνων αντίδρασης για την κεντρική και περιφερική όραση μετατράπηκαν σε τιμές «Effective Contrast» για καλύτερη κατανόηση /συσχέτιση των αποτελεσμάτων.

## 4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.2.1 Χαρακτηριστικά Μελέτης

Οι μετρήσεις για την πραγμάτωση της μελέτης έγιναν στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Κρήτης και οι συμμετέχοντες σε αυτήν ήταν εθελοντές που δέχτηκαν να πάρουν μέρος ύστερα από σχετική ενημέρωσή τους.

### 4.2.2 Συμμετέχοντες

Στη παρούσα μελέτη έλαβαν μέρος τελικά 11 άτομα ηλικίας (μέση ηλικία: 29,91±6,43 έτη και μέση οπτική οξύτητα: -0,23±0,07 logMAR) εκ των οποίων 6 ήταν γυναίκες και 5 ήταν άνδρες. Κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε ιστορικό διαθλαστικής χειρουργικής ή κάποιας οφθαλμικής παθολογίας.

Στον πίνακα Α παρουσιάζονται και οι έντεκα συμμετέχοντες. Αναγράφονται η ηλικία, η διόφθαλμη οπτική οξύτητα για μακριά (4 m) και η διόφθαλμη οπτική οξύτητα για την ενδιάμεση απόσταση (1 m), σε κλίμακα logMAR.

Συμμετέχων	Ηλικία (έτη)	Διόφθαλμη Ο.Ο. (4m) logMAR	Διόφθαλμη Ο.Ο. (1m) logMAR
SP	43	-0,26	-0,18
ET	25	-0,1	-0,08
KS	23	-0,24	-0,16
TG	34	-0,3	-0,22
MP	27	-0,28	-0,06
XA	25	-0,26	-0,08
EP	25	-0,3	-0,24
NK	35	-0,3	-0,24
LL	35	-0,26	-0,2
TL	36	-0,14	-0,08
MK	29	-0,24	-0,18

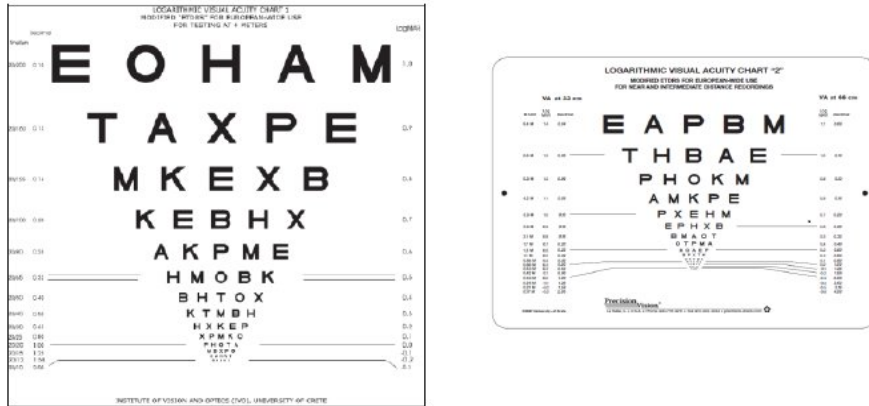
Πίνακας Α: Συμμετέχοντες. Ηλικία (σε έτη), διόφθαλμη οπτική οξύτητα για μακριά (4 m), και διόφθαλμη οπτική οξύτητα για την ενδιάμεση απόσταση (1 m), σε κλίμακα logMAR.

#### 4.2.3 Διαδικασίες αξιολόγησης της όρασης των συμμετεχόντων

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό των οπτικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων της μελέτης :

1. Δήψη ιστορικού: καταγράφηκαν τα προσωπικά στοιχεία των συμμετεχόντων (φύλο, ονοματεπώνυμο, ημερομηνία γέννησης) και αποκλείστηκαν περιπτώσεις συμμετεχόντων με υψηλό διαθλαστικό σφάλμα (μυωπία, υπερμετρωπία ή αστιγματισμό) και ανισομετρωπία.
2. Αντικειμενική διάθλαση: ο αντικειμενικός έλεγχος της οπτικής οξύτητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αυτόματου κερατοδιαθλασίμετρου Canon RK - F1 το οποίο βρίσκεται στον χώρο εξέτασης της οφθαλμολογικής κλινικής Β.Ε.Μ.Μ.Ο..
3. Υποκειμενική διάθλαση: η υποκειμενική διάθλαση πραγματοποιήθηκε τόσο για τον έλεγχο της μακρινής οπτικής οξύτητας (4 m) αλλά και για τον έλεγχο της ενδιάμεσης οπτικής οξύτητας (1 μέτρο). Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι τροποποιημένοι πίνακες ETDRS (βλ. εικόνα 23) του πανεπιστημίου Κρήτης. Οι

πίνακες αυτοί προσφέρουν αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας σε δεκαδική (decimal) και λογαριθμική κλίμακα (logMAR). Για τον καθορισμό της διόφθαλμης ενδιάμεσης οπτικής οξύτητας χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες κοντινής οξύτητας ETDRS τοποθετημένοι στην απόσταση του ενός μέτρου.



Εικόνα 23: πίνακες ETDRS του πανεπιστημίου Κρήτης. Αριστερά, πίνακας για την αξιολόγηση της μακρινής οπτικής οξύτητας, δεξιά πίνακας αξιολόγησης για τη κοντινή οπτική οξύτητα.

4. Καταγραφή του επικρατούς οφθαλμού: στη παρούσα μελέτη σε κάθε εξεταζόμενο καθορίστηκε ο κινητικά και ο αισθητηριακά κυρίαρχος οφθαλμός. Για τον καθορισμό του κινητικά κυρίαρχου οφθαλμού χρησιμοποιήθηκε το Hole – in – Card – Test (βλ. κεφάλαιο 2) με τη διαφορά ότι αντί για κάρτα με οπή, ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να ενώσουν τις παλάμες σχηματίζοντας μια τριγωνική οπή μεταξύ τους και να τεντώσουν τους βραχίονες τους προσπαθώντας μέσα απ’ την οπή να δουν το μεσαίο γράμμα της πρώτης γραμμής του πίνακα ETDRS που ήταν τοποθετημένος στα 4 m. Για τον προσδιορισμό του αισθητηριακά κυρίαρχου οφθαλμού χρησιμοποιήθηκε το Plus – 1D - Test (βλ. κεφάλαιο 2), χρησιμοποιώντας τον ίδιο στόχο. Και στους 11 συμμετέχοντες, ο κυρίαρχος κινητικά οφθαλμός ταυτιζόταν με τον κυρίαρχο αισθητηριακά οφθαλμό, ενώ επτά από αυτούς βρέθηκαν να έχουν κυρίαρχο οφθαλμό τον δεξιό και τέσσερεις τον αριστερό.

#### 4.2.4 Προσομοίωση της Μονο-όρασης και Διόφθαλμη θόλωση

Για την προσομοίωση της Μονο-όρασης χρησιμοποιήθηκαν θετικοί διαθλαστικοί φακοί πάνω από την καλύτερη οπτική διόρθωση κάθε εξεταζόμενου για τη μακρινή απόσταση. Προσομοιώθηκαν και οι δύο τεχνικές Μονο-όρασης (conventional, crossed monovision, βλ.



κεφάλαιο 2), δηλαδή προστέθηκε θόλωση στον μη κυρίαρχο αφήνοντας τον κυρίαρχο με την μακρινή του διόρθωση και το αντίθετο (θόλωση στον και μπροστά από τον κυρίαρχο οφθαλμό, με τον μη-κυρίαρχο οφθαλμό να είναι διορθωμένος για μακριά. Η σειρά επιλογής θόλωσης του οφθαλμού (κυρίαρχου ή μη) ήταν randomized. Οι φακοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη θόλωση κυμαίνονταν από +0.50D έως +3.00D με βήμα μεταβολής +0.50D τη φορά. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε και διόφθαλμη θόλωση χρησιμοποιώντας τους ίδιους φακούς ταυτόχρονα και στους δύο οφθαλμούς με το ίδιο βήμα μεταβολής.

#### 4.2.4 Απλοί Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης

Οι μετρήσεις για τους απλούς οπτικούς χρόνους αντίδρασης πραγματοποιήθηκαν σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού και σε περιβάλλον με χαμηλό θόρυβο. Το ερέθισμα που χρησιμοποιήθηκε εμφανιζόταν σε μια οθόνη τύπου Sony GDM F-520 CRT με τη βοήθεια μιας κάρτας αναπαραγωγής ερεθίσματος τύπου VSG 2/5 (Cambridge Research Systems Ltd, UK).

Η μέση φωτεινότητα της οθόνης ήταν 30 cd/m<sup>2</sup>. Το ερέθισμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα μονοχρωματικό, κυκλικό, οριζόντιου προσανατολισμού (180 deg) grating, διαμέτρου 5 deg και contrast 10% με χρονική διάρκεια παρουσίασης 380 msec. Η περιοχή γύρω από το ερέθισμα ήταν ουδέτερη, ίδιας φωτεινότητας, με χρωματικές συντεταγμένες  $x=0.310$  και  $y=0.316$ . Για να επιτευχθεί η προσήλωση χρησιμοποιήθηκε ένας μαύρος σταυρός ο οποίος προβαλλόταν στο κέντρο της οθόνης. Οι παράμετροι του ερεθίσματος ρυθμίστηκαν μέσω του προγράμματος «NewRT», έκδοση 196 © Neil Perry.

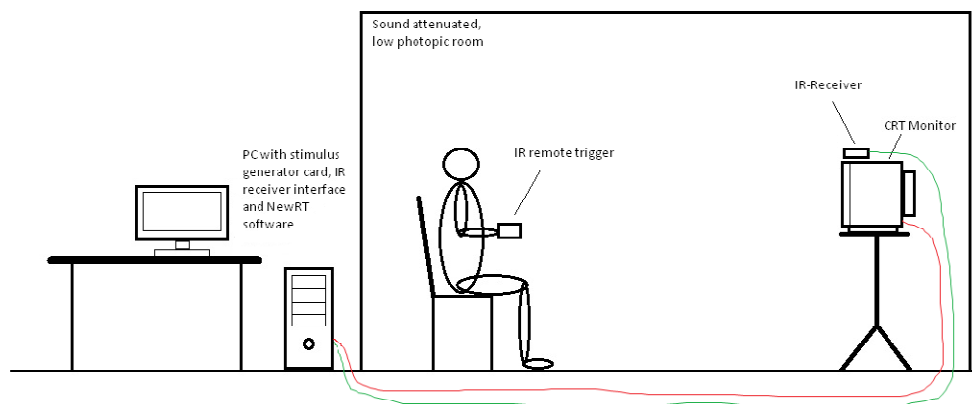
Οι χρόνοι αντίδρασης καταμετρήθηκαν μέσω ενός ασύρματου τηλεχειριστήριου που λειτουργούσε με υπέρυθρες ακτίνες (IR remote trigger, Cambridge Research Systems, Control Box CB6) και συνδεόταν υπέρυθρα με μια συσκευή αντίληψης (IR Receiver, Cambridge Research Systems) που με τη σειρά της έστελνε τις πληροφορίες σε έναν υπολογιστή.

Για καθεμία από τις διαδικασίες που περιγράφονται στην ενότητα 4.1 και για κάθε βήμα, μονόφθαλμης (Μονο-όραση) και διόφθαλμης θόλωσης, πραγματοποιήθηκε ένα σετ 40 μετρήσεων. Χρόνοι αντίδρασης κάτω από 200ms και πάνω από 700ms δεν θεωρήθηκαν έγκυροι. Όταν το ερέθισμα αναγνωριζόταν (πάτημα πλήκτρου) το πρόγραμμα εμφάνιζε το ερέθισμα ξανά σε τυχαία στιγμή στο χρονικό διάστημα μεταξύ 1 έως 3 δευτερολέπτων. Αν δεν υπήρχε απόκριση (πάτημα πλήκτρου) για 5 δευτερόλεπτα μετά την εμφάνιση του

ερεθίσματος η μέτρηση θεωρούταν άκυρη. Για να ήταν ένα σετ μετρήσεων δεκτό, απαιτήθηκαν το λιγότερο 32 έγκυρες μετρήσεις. Από τις έγκυρες μετρήσεις υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση. Πριν από την έναρξη της διαδικασίας, υπήρξε μια μικρή περίοδος εκπαίδευσης (1 ή 2 σετ 40 μετρήσεων) ώστε ο εξεταζόμενος να αποκτήσει οικειότητα με τη διαδικασία.

Η εικόνα 24 παρουσιάζει σχηματικά τη διάταξη του πειράματος.

\* το Contrast ορίστηκε σύμφωνα με τον τύπο του Michelson:  $L_{max} - L_{min} / L_{max} + L_{min}$ , όπου  $L$ , η φωτεινότητα.



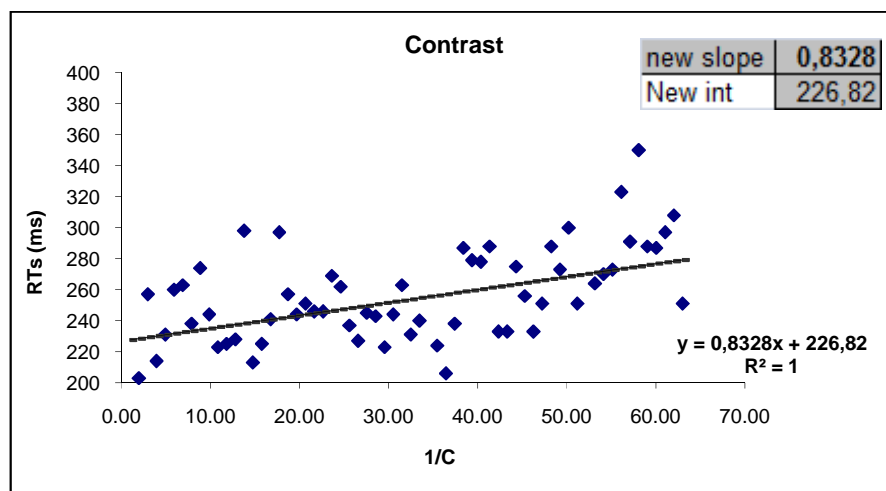
Εικόνα 24: σχηματική αναπαράσταση της διάταξης του πειράματος

Andreas Bartels, μεταπτυχιακή εργασία Π.Μ.Σ. «Οπτική και Όραση».

#### 4.2.5 Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης συναρτήσεσι του Contrast

Για να υπολογιστεί το effective contrast (η μείωση στο contrast του ερεθίσματος που αντιλαμβάνεται ο εξεταζόμενος, λόγω της αύξησης της διοπτρικής θόλωσης) από τους χρόνους αντίδρασης υπολογίστηκε η επίδραση της μείωσης του contrast στους χρόνους αντίδρασης για τον κάθε εξεταζόμενο με τη καλύτερη του διόρθωση. Αφού μετρήθηκε η ευαισθησία στο contrast και υπολογίστηκε η ουδός (threshold,  $t$ ) εκφρασμένη σε dB, πραγματοποιήθηκαν 64 μετρήσεις κατά τις οποίες ο εξεταζόμενος καλούνταν να ανιχνεύσει το ερέθισμα του οποίου το contrast ( $C$ ) σταδιακά μειωνόταν από 100% μέχρι  $4*t$ . Από τη μέτρηση αυτή (βλ εικόνα 25), και την κλίση της γραμμικής συσχέτισης των χρόνων αντίδρασης με το  $1/C$ , υπολογίστηκε η μείωση του contrast του ερεθίσματος συναρτήσεσι της

αύξησης στο χρόνο αντίδρασης. Όσο μεγαλύτερη ήταν η κλίση (new slope), τόσο πιο ραγδαία ήταν η μείωση στο contrast για συγκεκριμένη αύξηση στους χρόνους αντίδρασης.



Εικόνα 25: παράδειγμα εξεταζόμενου (EP). Η τιμή κλίση (slope) της γραμμικής συσχέτισης χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη μείωση στο contrast που αντιστοιχεί σε καθορισμένη αύξηση στο χρόνο αντίδρασης.

Στη συνέχεια, από τη κλίση (k) της γραμμικής συσχέτισης, υπολογίστηκε το effective contrast για κάθε εξεταζόμενο, για κάθε βήμα θόλωσης από τους χρόνους αντίδρασης που προέκυψαν στις διάφορες συνθήκες Μονο-όρασης και διόφθαλμης θόλωσης, από την παρακάτω εξίσωση:

$$-LOG (1/(RT-RT_0)/k)) *20$$

#### 4.2.5.1 1<sup>η</sup> Δοκιμασία: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Διοπτρική Θόλωση

Σε σύνολο 11 ατόμων, μετρήθηκαν οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης (σε msec) στο ερέθισμα στην απόσταση του ενός μέτρου στη συνθήκη της Μονο-όρασης όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.3. Οι συμμετέχοντες ήταν διορθωμένοι για μακριά (4 m). Το πρώτο σετ μετρήσεων ήταν πάντα διόφθαλμη παρακολούθηση, χωρίς θόλωση, με τη καλύτερη εμμετρωπική διόρθωση του εξεταζόμενου. Από κάθε συμμετέχοντα ζητήθηκε να προσηλώνει στον μαύρο σταυρό στο κέντρο της οθόνης και κάθε φορά που εμφανιζόταν το ερέθισμα (στο κέντρο της οθόνης) να αντιδρά όσο το δυνατόν γρηγορότερα πατώντας το κουμπί του τηλεχειριστηρίου. Μετά την θόλωση στον κυρίαρχο και στον μη κυρίαρχο οφθαλμό, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και για Διόφθαλμη θόλωση.

#### **4.5.2 2<sup>η</sup> Δοκιμασία: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και κορικά διαφράγματα**

Σε σύνολο 3 ατόμων (δυο άντρες, μία γυναίκα), ελέγχθηκαν οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης στο ερέθισμα στην απόσταση του ενός μέτρου στη συνθήκη Μονο-όρασης με τη χρήση κορικών διαφραγμάτων διαμέτρου 3 και 6 mm. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε κυκλοπληγία ώστε να αποφευχθεί μύση της κόρης κατά τις μετρήσεις. Στη συνέχεια έγινε αντικειμενική και υποκειμενική διάθλαση ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη διόρθωση για τη μακρινή παρατήρηση.

Για να επιτευχθεί η Μονο-όραση χρησιμοποιήθηκαν θετικοί διαθλαστικοί φακοί από +1.00 D έως +3.00 D με βήμα +1.00 D, που τοποθετήθηκαν πρώτα στον κυρίαρχο (crossed monovision) και έπειτα στον μη κυρίαρχο οφθαλμό (conventional monovision). Για κάθε βήμα θόλωσης ελήφθησαν 40 μετρήσεις.

#### **4.5.3 3<sup>η</sup> Δοκιμασία Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Εκκεντρότητα**

Σε σύνολο 7 ατόμων (4 γυναίκες, 3 άνδρες) ελέγχθηκαν οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης στο ερέθισμα στην απόσταση του ενός μέτρου στη συνθήκη της Μονο-όρασης με σκοπό να εξεταστεί πώς επηρεάζονται οι χρόνοι αντίδρασης στην περιφέρεια του οπτικού πεδίου.

Οι συμμετέχοντες ήταν διορθωμένοι για μακριά (4 m). Για να επιτευχθεί η Μονο-όραση χρησιμοποιήθηκε ένας θετικός οφθαλμικός φακός +2.00 D που τοποθετήθηκε εναλλάξ σε δύο συνθήκες: α) στον μη κυρίαρχο (conventional monovision) και β) στον κυρίαρχο οφθαλμό (crossed monovision).

Οι συμμετέχοντες καλούνταν να παρατηρούν τον στόχο προσήλωσης και παράλληλα να αντιδρούν κάθε φορά που αντιλαμβάνονταν το ερέθισμα με τη περιφερική τους όραση, πατώντας το κουμπί του τηλεχειριστηρίου. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από -2 έως -10 deg με βήμα μεταβολής 2 deg (προβολή ερεθίσματος στο δεξιό οπτικό πεδίο, κροταφικά του δεξιού οφθαλμού και ρινικά του αριστερού) και από 2 έως 10 deg με βήμα μεταβολής 2 deg (προβολή ερεθίσματος στο αριστερό οπτικό πεδίο, κροταφικά του αριστερού οφθαλμού, ρινικά του δεξιού). Για κάθε βήμα εκκεντρότητας ελήφθησαν 40 μετρήσεις.

#### **4.5.4 4<sup>η</sup> Δοκιμασία: Μονο-όραση και Οπτική Οξύτητα στην ενδιάμεση απόσταση**

Σε σύνολο 11 ατόμων, ελέγχτηκε η οπτική οξύτητα στην απόσταση του ενός μέτρου με τη μέθοδο της Μονο-όρασης όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.3. Για τον καθορισμό της ενδιάμεσης οπτικής οξύτητας χρησιμοποιήθηκαν οι τροποποιημένοι πίνακες οξύτητας

ETDRS για κοντινή χρήση τοποθετημένοι στην απόσταση του ενός μέτρου και στη συνέχεια ακολούθησαν οι μετρήσεις για όλο το εύρος της διόφθαλμης θόλωσης.

#### **4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων**

Για την ανάλυση, τον υπολογισμό των παραμέτρων των δεδομένων και την απεικόνιση τους χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις και οι γραφικές παραστάσεις του προγράμματος Microsoft Office Excel, version 2007. Επιπλέον, με τη βοήθεια του προγράμματος πραγματοποιήθηκε και στατιστικός έλεγχος (T- Tests) στα δεδομένα με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση και κατανόηση τους. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας  $p$  ορίστηκε μικρότερο ή ίσο του 0,05 ( $p \leq 0,05$ ).

## **Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα**

## 5.1 Επίδραση της Μονο-όρασης στην Οπτική Απόδοση

Στους πίνακες 1 έως 3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι (average) και οι τυπικές αποκλίσεις (SD) όλων των εξεταζόμενων στους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης, στο Effective Contrast και στην Οπτική Οξύτητα συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης τοποθετημένης: α) στον κυρίαρχο οφθαλμό (MON-DE), β) στον μη κυρίαρχο (MON- NDE) και, γ) για διόφθαλμη θόλωση (BIN Def).

\*Για διόφθαλμη θόλωση άνω των +2.00 D δεν υπήρχε επαρκής αριθμός αποτελεσμάτων (N < 5).

Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης vs Διοπτρική Θόλωση						
Διοπτρική Θόλωση (D)	MON-DE		MON- NDE		BIN Def	
	Average (ms)	SD (ms)	Average (ms)	SD (ms)	Average (ms)	SD (ms)
0,0	263,37	15,71	263,37	15,71	263,37	15,71
0,5	268,57	20,2	275,33	20,31	279,3	26,28
1,0	277,67	23,54	284,98	23,56	289,19	24,16
1,5	289,45	26,38	290,53	26,67	350,43	86,64
2,0	294,49	28,12	292,96	27,13	356,58	40,76
2,5	295,45	24,83	298,6	34,79		
3,0	297,74	24,75	296,86	28,19		

Πίνακας 1: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Effective Contrast vs Διοπτρική Θόλωση						
Διοπτρική Θόλωση (D)	MON-DE		MON- NDE		BIN Def	
	Average (dB)	SD (dB)	Average (dB)	SD (dB)	Average (dB)	SD (dB)
0	21,66	3,72	21,66	3,72	22,55	4,85
0,5	23,26	3,59	24,63	2,87	25,50	4,29
1	24,73	4,87	26,49	3,54	29,41	4,36
1,5	27,25	3,94	27,81	3,23	33,20	5,13
2	28,14	3,37	27,84	3,88	37,85	4,70
2,5	28,36	3,50	28,10	6,13		
3	28,63	3,99	28,20	4,10		

Πίνακας 2: Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις του effective contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Οπτική οξύτητα vs Διοπτρική Θόλωση						
Διοπτρική Θόλωση (D)	MON-DE		MON- NDE		BIN Def	
	Average (logMAR)	SD (logMAR)	Average (logMAR)	SD (logMAR)	Average (logMAR)	SD (logMAR)
0,0	-0,16	0,07	-0,16	0,07	-0,16	0,07
0,5	-0,12	0,06	-0,13	0,06	-0,13	0,05
1,0	-0,11	0,07	-0,12	0,07	-0,01	0,11
1,5	-0,09	0,06	-0,11	0,08	0,22	0,21
2,0	-0,08	0,07	-0,11	0,05	0,40	0,26
2,5	-0,10	0,07	-0,11	0,07		
3,0	-0,08	0,07	-0,10	0,04		
3,5	-0,08	0,06	-0,09	0,05		

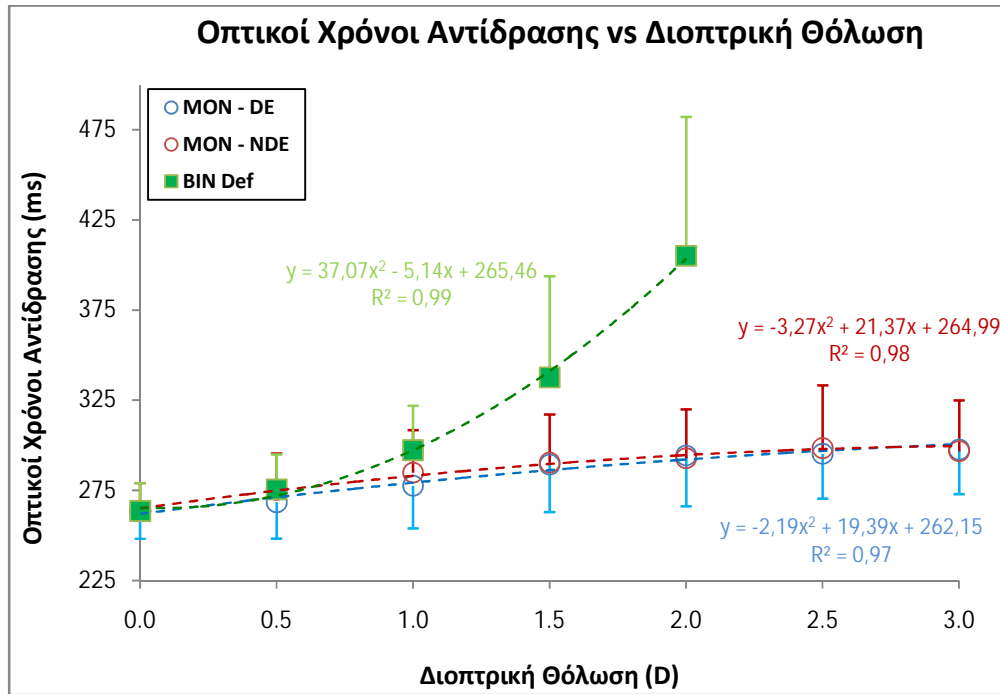
Πίνακας 3: Οπτική Οξύτητα. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για την Οπτική οξύτητα συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Στα γραφήματα 1 έως 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις) των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης, του Effective Contrast και της Οπτικής Οξύτητας συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και της συμπεριφοράς/ συσχέτισης τους με τη διοπτρική θόλωση, χρησιμοποιήθηκαν γραμμές τάσης 2<sup>ου</sup> βαθμού και υπολογίστηκαν οι δευτεροβάθμιες εξισώσεις που τις περιγράφουν καθώς και ο δείκτης συσχέτισης ( $R^2$ ). Από τις γραφικές παραστάσεις προκύπτει ότι:

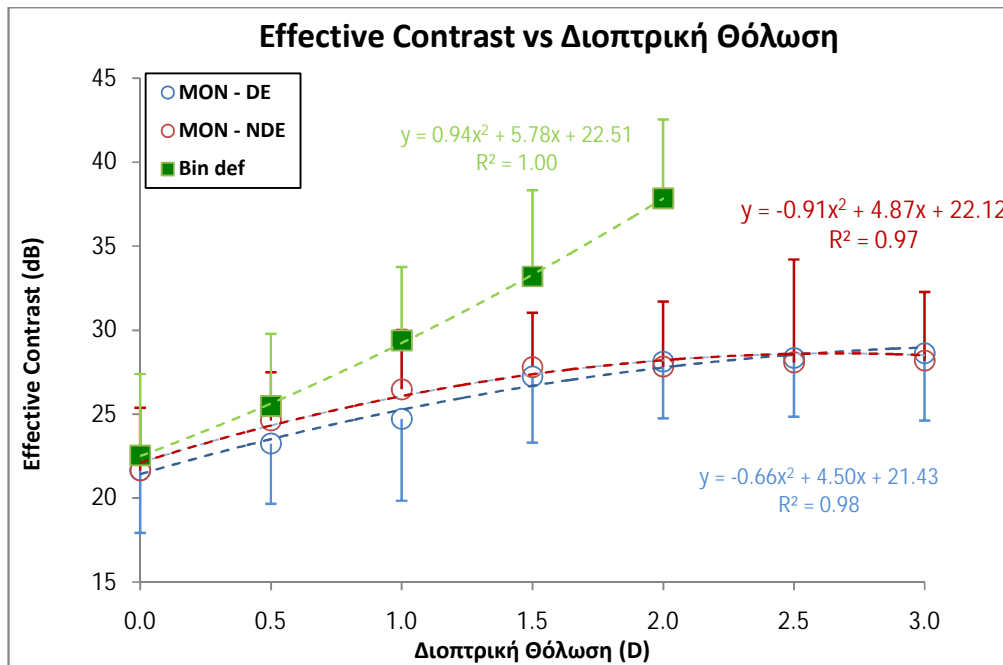
- Η συσχέτιση των οπτικών χρόνων αντίδρασης, του effective contrast και της οπτικής οξύτητας με τη μεταβολή της διοπτρικής θόλωσης προέκυψε ισχυρή ( $R^2 \geq 0,90$ ).
- Από τα γραφήματα φαίνεται ότι η αύξηση της διοπτρικής θόλωσης είτε διόφθαλμα είτε μονόφθαλμα, οδηγεί σε αύξηση των οπτικών χρόνων αντίδρασης, του effective contrast και της οπτικής οξύτητας με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο σε όλες τις περιπτώσεις για τη συνθήκη της διόφθαλμης θόλωσης.
- Στη Μονο-όραση παρατηρούνται μικρότερες μεταβολές στους χρόνους αντίδρασης/ effective contrast/ οπτική οξύτητα με την αύξηση της διοπτρικής θόλωσης: η οπτική απόδοση φαίνεται να επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τη διόφθαλμη



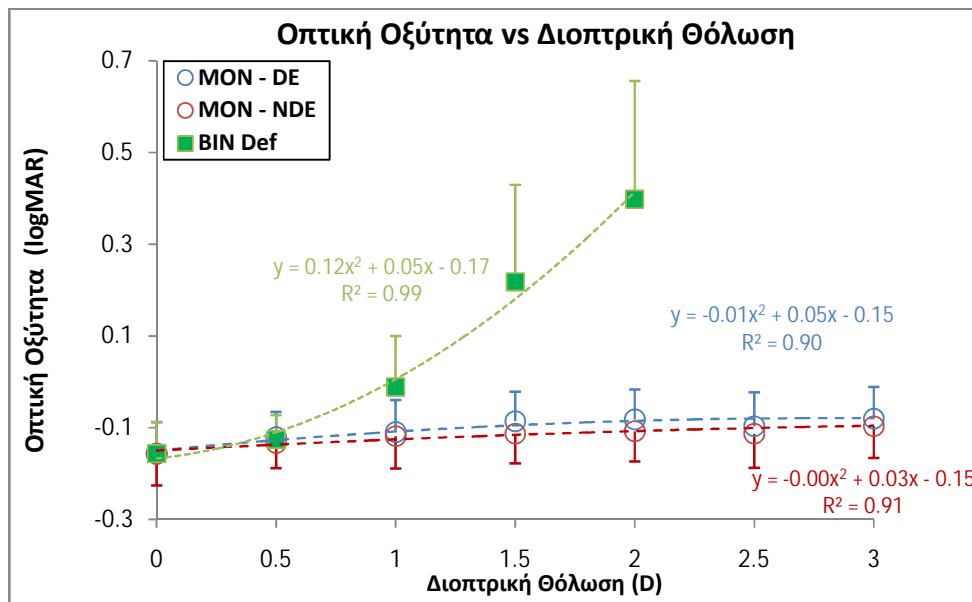
συνθήκη θόλωσης. Ακόμη, σε όλες τις περιπτώσεις, οι δύο συνθήκες Μονο-όρασης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Γράφημα 1: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της Διοπτρικής Θόλωσης. Γενικά παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση ( $R^2 > 0,95$ ) και αύξηση των χρόνων αντίδρασης με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο για τη συνθήκη της διόφθαλμης θόλωσης.

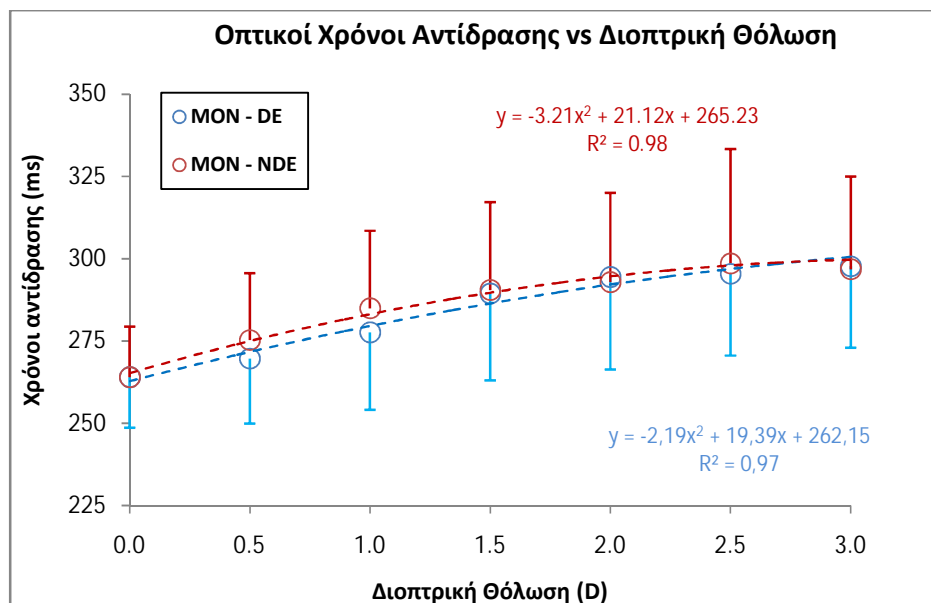


Γράφημα 2: Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της Διοπτρικής Θόλωσης. Γενικά παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση ( $R^2 > 0,95$ ) και αύξηση του effective contrast με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο για τη συνθήκη της διόφθαλμης θόλωσης.

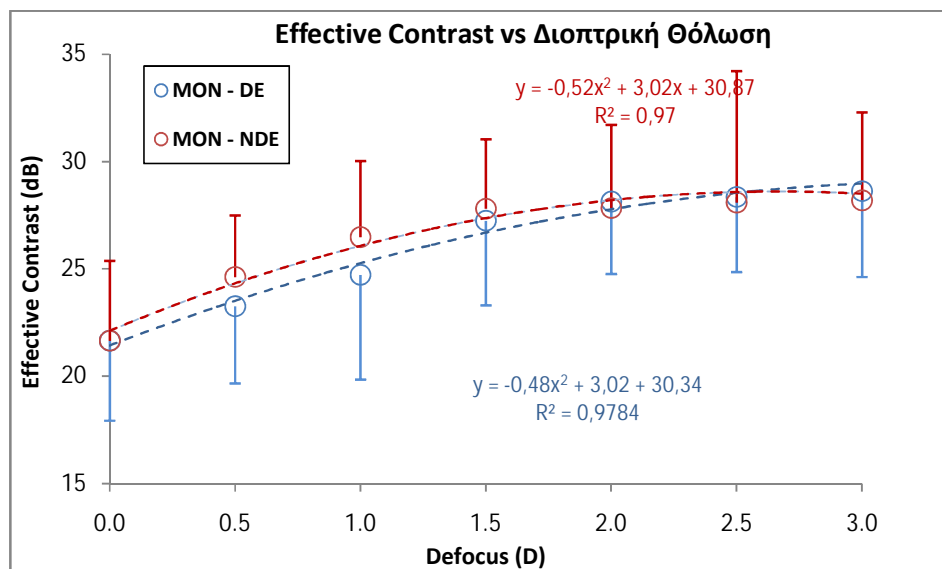


Γράφημα 3: Οπτική Οξύτητα. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της Διοπτρικής Θόλωσης. Γενικά παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση ( $R^2 \geq 0,90$ ) και αύξηση της Οπτικής οξύτητας με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο για τη συνθήκη της διόφθαλμης θόλωσης.

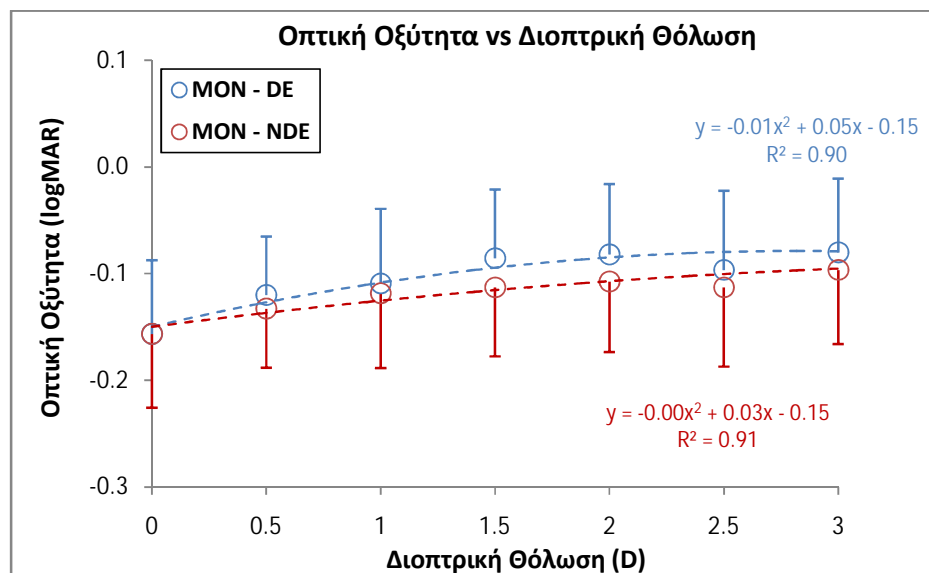
Για την καλύτερη κατανόηση των δύο συνθηκών Μονο-όρασης και τη διερεύνηση της μεταξύ τους σχέσης παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε μέτρηση στις γραφικές παραστάσεις 4 έως 6. Οι δύο συνθήκες Μονο-όρασης δε φαίνονται να διαφέρουν σε καμία διαδικασία.



Γράφημα 4: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της Διοπτρική Θόλωση για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης. Η θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού οδηγεί σε ελαφρώς ταχύτερους χρόνους αντίδρασης.



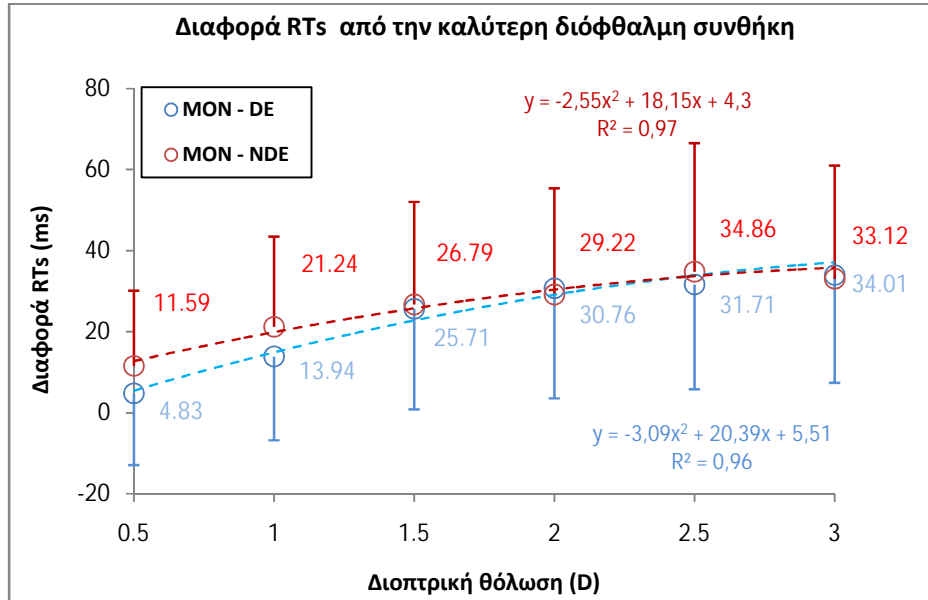
Γράφημα 5: Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει του Διοπτρική Θόλωση για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης. Η θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού οδηγεί σε μικρότερες τιμές Effective Contrast.



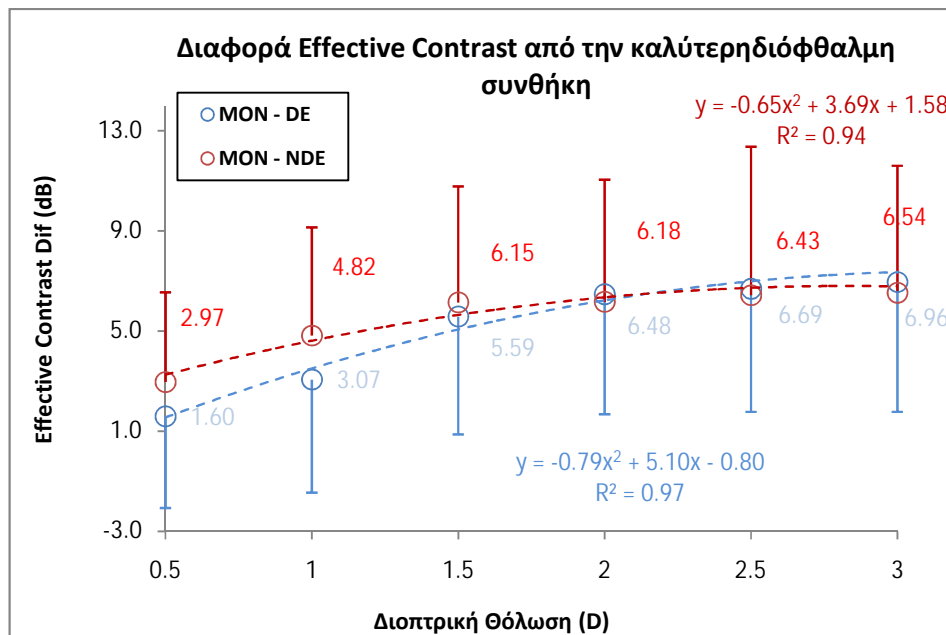
Γράφημα 6: Οπτική Οξύτητα. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει του Διοπτρική Θόλωση για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης. Η θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού οδηγεί σε καλύτερες τιμές Οπτικής Οξύτητας.

Στη συνέχεια, για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της Μονο-όρασης στην οπτική απόδοση, υπολογίστηκε για κάθε βήμα διοπτρικής θόλωσης (από 0.50 D έως 3.0 D) η διαφορά των συνθηκών Μονο-όρασης από την ιδανική συνθήκη, την καλύτερη διόφθαλμη

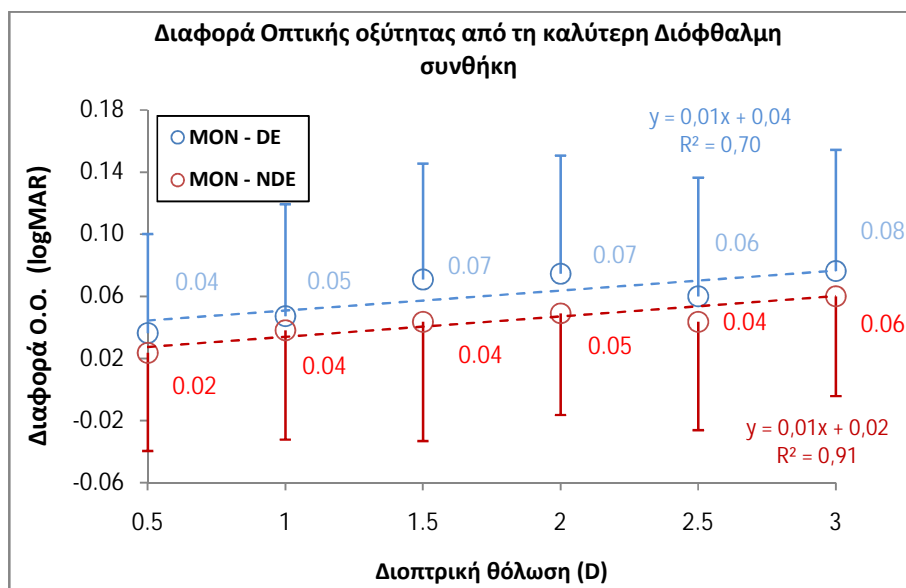
τιμή (0.0 D). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τις τρεις περιπτώσεις στα γραφήματα 7 έως 9 και έχουν ανάλογη συμπεριφορά με αυτά που παρουσιάζονται στα γραφήματα 4 έως 6.



Γράφημα 7: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης. Διαφορά των δύο συνθηκών Μονο-όρασης από την καλύτερη διόφθαλμη συνθήκη (διόρθωση Plano).



Γράφημα 8: Effective Contrast. Διαφορά των δύο συνθηκών Μονο-όρασης από την καλύτερη διόφθαλμη συνθήκη (διόρθωση Plano).



Γράφημα 9: Οπτική Οξύτητα. Διαφορά των δύο συνθηκών Μονο-όρασης από την καλύτερη διόφθαλμη συνθήκη (διόρθωση Plano). Στη περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκαν πρωτοβάθμιες εξισώσεις για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Συνοψίζοντας και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των πινάκων 1 έως 3, οι συνολικές μεταβολές που προέκυψαν από τη διοπτρική θόλωση ήταν οι ακόλουθες:

1. Για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης:

- Διόφθαλμη Θόλωση: αύξηση κατά 98,21 ms στο διάστημα 0.0 D έως 2.0 D.
- Θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 33,67 ms στο διάστημα 0.0 D έως 3.0 D.
- Θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 32,78 ms στο διάστημα 0 D έως 3.0 D.

2. Για το Effective Contrast:

- Διόφθαλμη Θόλωση: αύξηση κατά 15,30 dB στο διάστημα 0.0 D έως 2.0 D.
- Θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 6,96 dB στο διάστημα 0.0 D έως 3.0 D.
- Θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 6,54 dB στο 0.0 D έως 3.0 D.

3. Για την Οπτική οξύτητα:

- Διόφθαλμη Θόλωση: απώλεια 0,56 logMAR στο διάστημα 0.0 D έως 2.0 D.
- Θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού: απώλεια 0,04 logMAR στο διάστημα 0.0 D έως 3.0 D.

- Θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού: απώλεια 0,05 logMAR στο διάστημα 0.0 D έως 3.0 D.

Στους πίνακες 4 έως 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (T- Tests) για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης, το Effective Contrast και την Οπτική Οξύτητα. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των διαφορετικών συγκρίσεων (T- Tests) στους πίνακες 4 έως 6, εμφανίζονται σχεδόν πάντα στις ίδιες τιμές διοπτρικής θόλωσης στις τρεις μετρήσεις.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος:

- 1) μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης σε όλο το εύρος της διοπτρικής θόλωσης (MON-DE vs MON-NDE),
- 2) κάθε συνθήκης Μονο-όρασης με τη Διόφθαλμη Θόλωση στο εύρος θόλωσης 0.0 D έως 2.00 D (MON-DE vs BIN Def & MON-NDE vs BIN Def) και,
- 3) κάθε συνθήκης Μονο-όρασης με την καλύτερη διόφθαλμη συνθήκη (BIN in Focus vs MON-DE & BIN in Focus vs MON-NDE).

<b>Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης vs Διοπτρική Θόλωση</b>					
<b>Διοπτρική Θόλωση (D)</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>
	<b>MON-DE vs MON-NDE</b>	<b>MON-DE vs BIN Def</b>	<b>MON-NDE vs BIN Def</b>	<b>BIN in Focus vs MON-DE</b>	<b>BIN in Focus vs MON-NDE</b>
<b>0,0</b>					
<b>0,5</b>	0,14	0,17	<b>0,04</b>	0,06*	<b>0,00</b>
<b>1,0</b>	0,09	<b>0,02</b>	0,35	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>1,5</b>	0,87	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>2,0</b>	0,82	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>2,5</b>	0,63			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>3,0</b>	0,89			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Πίνακας 4: Αποτελέσματα T-Tests για τους Οπτικούς Χρόνους αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Αναλυτικότερα για τον πίνακα 4:

- Δεν προκύπτει κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συνθηκών Μονο-όρασης ( $p > 0,05$ ).

- Στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p \leq 0,05$ ) προκύπτουν ανάμεσα στις δύο συνθήκες Μονο-όρασης με τη διόφθαλμη θόλωση.
- Στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p \leq 0,05$ ) προκύπτουν ανάμεσα στις δύο συνθήκες Μονο-όρασης με τη βέλτιστη διόφθαλμη όραση, σχεδόν σε όλο το εύρος της διοπτρικής θόλωσης ( $p = 0.00$ ).

<b>Effective Contrast vs Διοπτρική Θόλωση</b>					
<b>Διοπτρική Θόλωση (D)</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>
	<b>MON-DE vs MON-NDE</b>	<b>MON-DE vs BIN Def</b>	<b>MON-NDE vs BIN Def</b>	<b>BIN in Focus vs MON-DE</b>	<b>BIN in Focus vs MON-NDE</b>
<b>0,0</b>					
<b>0,5</b>	0,19	0,09	<b>0,00</b>	0,50	<b>0,00</b>
<b>1,0</b>	0,11	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>
<b>1,5</b>	0,57	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
<b>2,0</b>	0,74	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>2,5</b>	0,86			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>3,0</b>	0,63			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Πίνακας 5: Αποτελέσματα T-Tests για το Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Ομοίως, στον πίνακα 5, δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνθηκών Μονο-όρασης ( $p > 0,05$ ), αλλά προκύπτουν μεταξύ των συνθηκών Μονο-όρασης με: 1) τη διόφθαλμη θόλωση και 2) με τη βέλτιστη διόφθαλμη συνθήκη σχεδόν\* σε όλο το εύρος θόλωσης.

<b>Οπτική Οξύτητα vs Διοπτρική Θόλωση</b>					
<b>Διοπτρική Θόλωση (D)</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>	<b>T-TEST</b>
	<b>MON-DE vs MON-NDE</b>	<b>MON-DE vs BIN Def</b>	<b>MON-NDE vs BIN Def</b>	<b>BIN in Focus vs MON-DE</b>	<b>BIN in Focus vs MON-NDE</b>
<b>0</b>					
<b>0,5</b>	0,48	0,65	0,11	0,06	0,11
<b>1</b>	0,69	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
<b>1,5</b>	0,28	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>
<b>2</b>	0,11	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>2,5</b>	0,28			<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
<b>3</b>	0,41			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Πίνακας 6: Αποτελέσματα T-Tests για την Οπτική Οξύτητα συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης.

Παρόμοια αποτελέσματα με τους πίνακες 4 και 5 προκύπτουν και στον πίνακα 6 όπου στατιστικά σημαντικές διαφορές υπάρχουν μεταξύ των συνθηκών μονόφθαλμης όρασης με τη διόφθαλμη θόλωση και με τη βέλτιστη διόφθαλμη συνθήκη σχεδόν\* σε όλο το εύρος θόλωσης.

γ) Για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών ανά αύξηση βήματος της θόλωσης, στον πίνακα 7 ελέγχεται το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας μεταξύ των διαδοχικών βημάτων θόλωσης στους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης/ Effective Contrast/ Οπτική Οξύτητα, για τη Μονο-όραση και τη διόφθαλμη θόλωση. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p \leq 0,05$ ) επισημαίνονται με έντονη γραμματοσειρά.

T-Tests ανά αύξηση βήματος Διοπτρικής Θόλωσης									
Διοπτρική Θόλωση (D)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης			Effective Contrast			Οπτική οξύτητα		
	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST	T-TEST
	MON-DE	MON-NDE	BIN Def	MON-DE	MON-NDE	BIN Def	MON-DE	MON-NDE	BIN Def
<b>0,0 vs 0,5</b>	0,06	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,01	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,06	0,11	0,06
<b>0,5 vs 1,0</b>	0,06	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	0,11	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	0,19	0,30	<b>0,01</b>
<b>1,0 vs 1,5</b>	<b>0,00</b>	0,07	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	0,05	0,64	<b>0,00</b>
<b>1,5 vs 2,0</b>	0,28	0,61	<b>0,00</b>	0,11	0,97	<b>0,00</b>	0,73	0,77	<b>0,00</b>
<b>2,0 vs 2,5</b>	0,78	0,23		0,65	0,84		0,17	0,54	
<b>2,5 vs 3,0</b>	0,65	0,67		0,73	0,93		0,28	0,21	

Πίνακας 7: Αποτελέσματα T-Tests μεταξύ των διαδοχικών βημάτων της διοπτρικής θόλωσης.

Αναλυτικότερα από τον πίνακα 7 προκύπτουν:

- Στατιστικά σημαντικές διαφορές προκύπτουν και στις τρεις περιπτώσεις στη διόφθαλμη συνθήκη θόλωσης.
- Στους χρόνους αντίδρασης προκύπτουν διαφορές μεταξύ 0.50 D και 1.50 D για θόλωση στον κυρίαρχο οφθαλμό ( $p = 0,00$ ) και μεταξύ 0.0 D έως 1.00 D για τον μη κυρίαρχο.
- Στο effective contrast παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ 0.0 D έως 2.00 D στις δύο συνθήκες Μονο-όρασης.



- Στην οπτική οξύτητα δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμία συνθήκη Μονο-όρασης.

Επόμενο βήμα ήταν μέσω των δευτεροβάθμιων εξισώσεων που προέκυψαν για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης και τη διόφθαλμη θόλωση στις τρεις παραπάνω διαδικασίες (Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης/ Effective Contrast/ Οπτική Οξύτητα), να υπολογιστούν οι θεωρητικές μεταβολές των αποκρίσεων συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης (για θόλωση +1.00, +2.00, +3.00D). Στη συνέχεια οι τιμές της Μονο-όρασης αντικαταστάθηκαν στις δευτεροβάθμιες εξισώσεις της διόφθαλμης θόλωσης και κατέστη δυνατόν να υπολογιστεί σε τι μεταβολή διοπτρικής θόλωσης αντιστοιχούσαν για τη διόφθαλμη συνθήκη. Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (8 έως 10):

<b>Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης</b>				
<b>BIN Def</b>	<b>RTs (ms)</b>	297,33	403,22	583,13
	<b>BIN Def (D)</b>	1,0	2,0	3,0
<b>MON-DE</b>	<b>RTs (ms)</b>	279,35	292,17	300,61
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,69</b>	<b>0,92</b>	<b>1,05</b>
<b>MON-NDE</b>	<b>RTs (ms)</b>	283,09	294,65	299,67
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,76</b>	<b>0,96</b>	<b>1,03</b>

Πίνακας 8

<b>Effective Contrast</b>				
<b>BIN Def</b>	<b>C (dB)</b>	34,98	42,01	51,72
	<b>BIN Def (D)</b>	1	2	3
<b>MON-DE</b>	<b>C (dB)</b>	25,27	27,79	28,99
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,45</b>	<b>0,81</b>	<b>0,97</b>
<b>MON-NDE</b>	<b>C (dB)</b>	26,08	28,22	28,54
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,57</b>	<b>0,87</b>	<b>0,91</b>

Πίνακας 9

<b>Οπτική Οξύτητα</b>				
<b>BIN Def</b>	<b>VA (logMAR)</b>	0,00	0,41	1,06
	<b>BIN Def (D)</b>	1	2	3
<b>MON-DE</b>	<b>VA (logMAR)</b>	-0,11	-0,09	-0,09
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,53</b>	<b>0,63</b>	<b>0,63</b>
<b>MON-NDE</b>	<b>VA (logMAR)</b>	-0,12	-0,09	-0,06
	<b>BIN Def (D)</b>	<b>0,47</b>	<b>0,63</b>	<b>0,77</b>

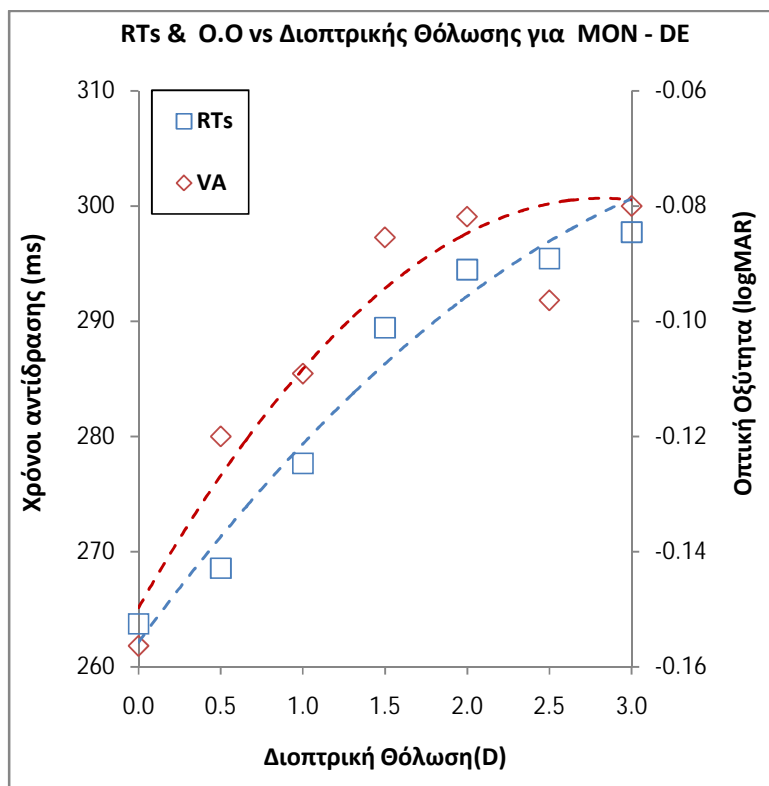
Πίνακας 10

### Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Effective Contrast συναρτήσει της Οπτικής Οξύτητας

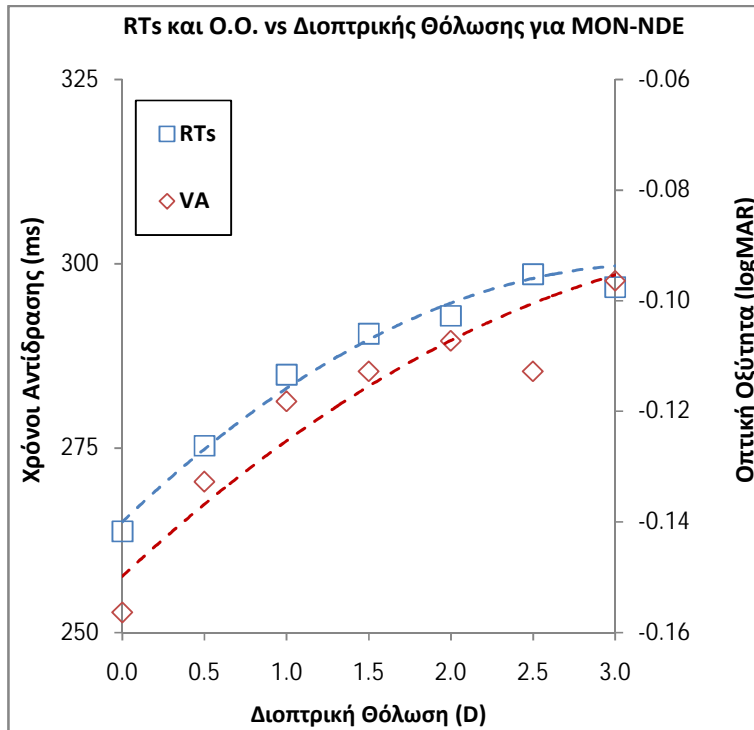
Στην ενότητα αυτή γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast με την Οπτική Οξύτητα ώστε να διερευνηθεί η μεταξύ τους σχέση σε συνάρτηση με τη διοπτρική θόλωση.

α) Στα γραφήματα 10 έως 15 παρουσιάζονται σε αντιπαράθεση τα δεδομένα των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης/ Effective Contrast και της Οπτικής οξύτητας συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης ξεχωριστά για κάθε συνθήκη οφθαλμικής θόλωσης (MON-DE, MON-NDE, BIN Def).

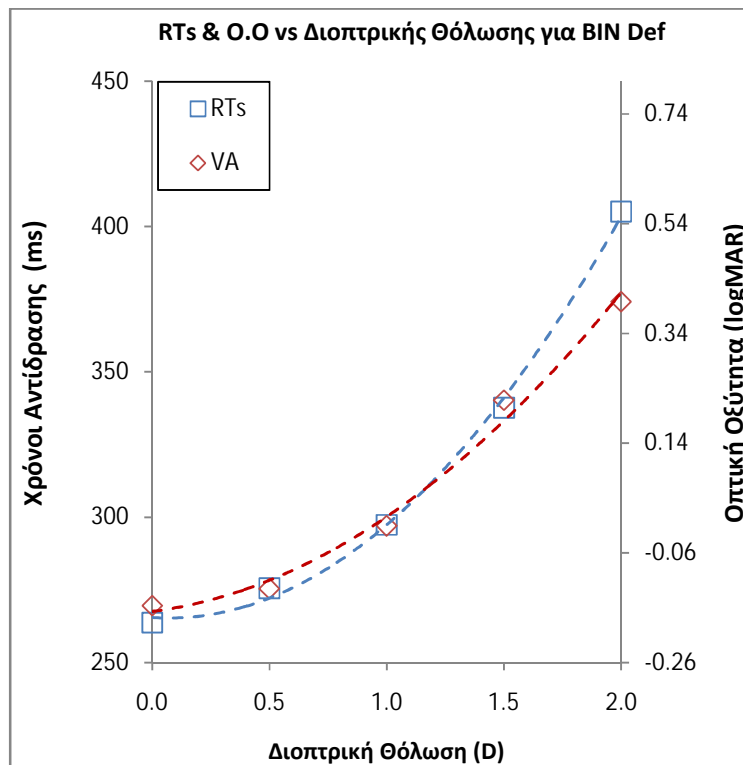
- Από τα γραφήματα συμπεραίνεται ότι η διοπτρική θόλωση οδηγεί σε αντίστοιχες μεταβολές στους οπτικούς χρόνους αντίδρασης και στην οπτική οξύτητα.



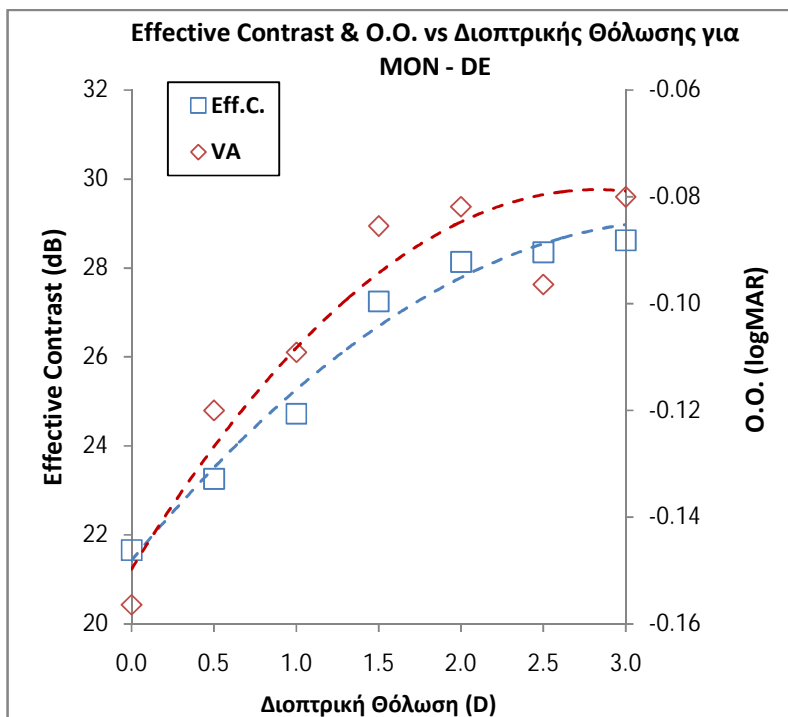
Γράφημα 10: Χρόνοι Αντίδρασης (RTs) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού.



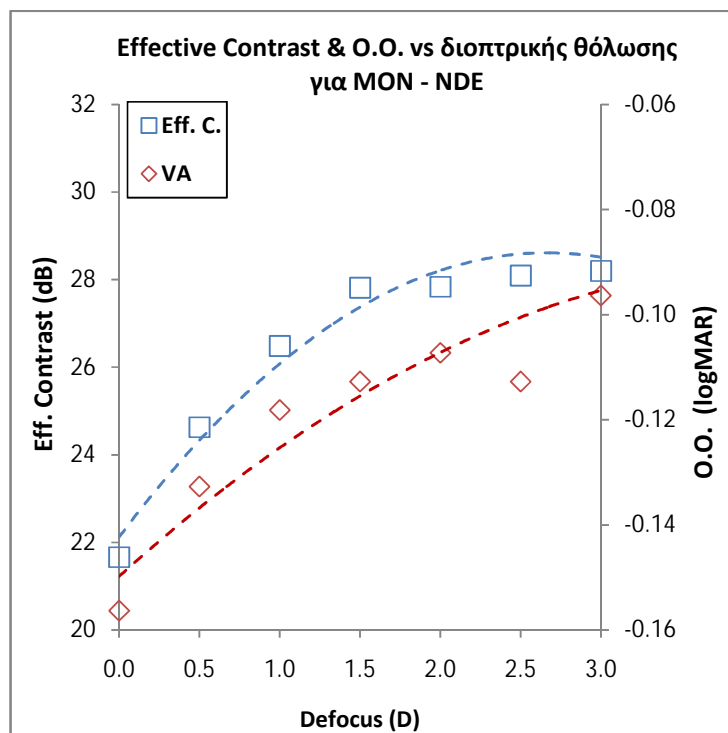
Γράφημα 11: Χρόνοι Αντίδρασης (RTs) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού.



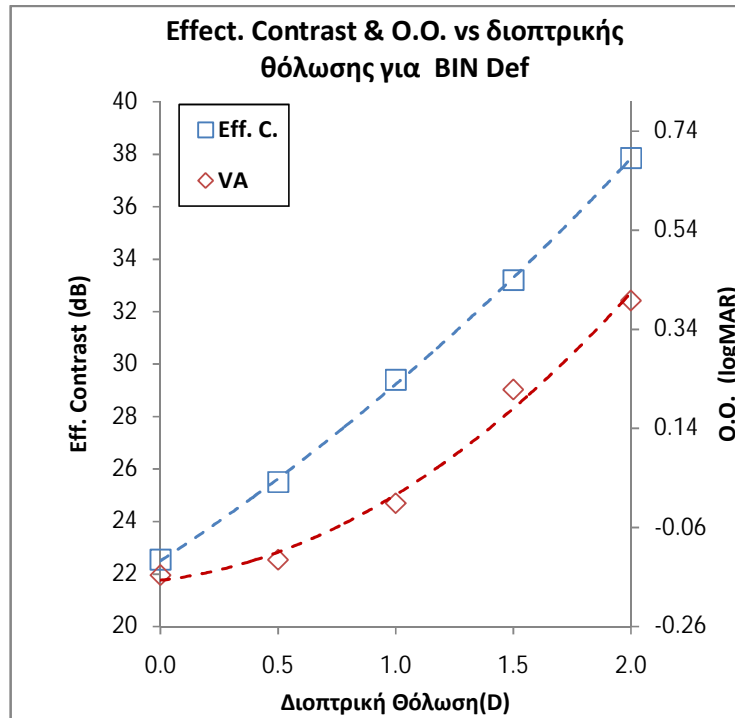
Γράφημα 12: Χρόνοι Αντίδρασης (RTs) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για διόφθαλμη θόλωση.



Γράφημα 13: Effective Contrast (Eff. C.) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού.



Γράφημα 14: Effective Contrast (Eff. C.) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού.



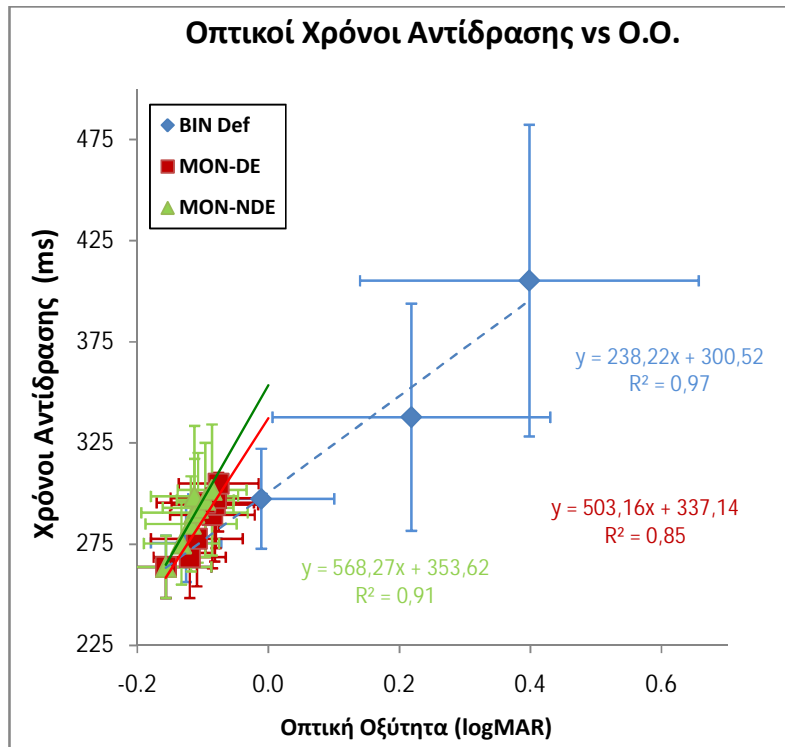
Γράφημα 15: Effective Contrast (Eff. C.) και Οπτική Οξύτητα (VA) συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για δίοφθαλμη θόλωση.

β) Συνδυάζοντας τα δεδομένα των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast με εκείνα της Οπτικής οξύτητας, συσχετίστηκε και μοντελοποιήθηκε η μεταβολή των Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast με τη μεταβολή της Οπτικής Οξύτητας στο εύρος της διοπτρικής θόλωσης.

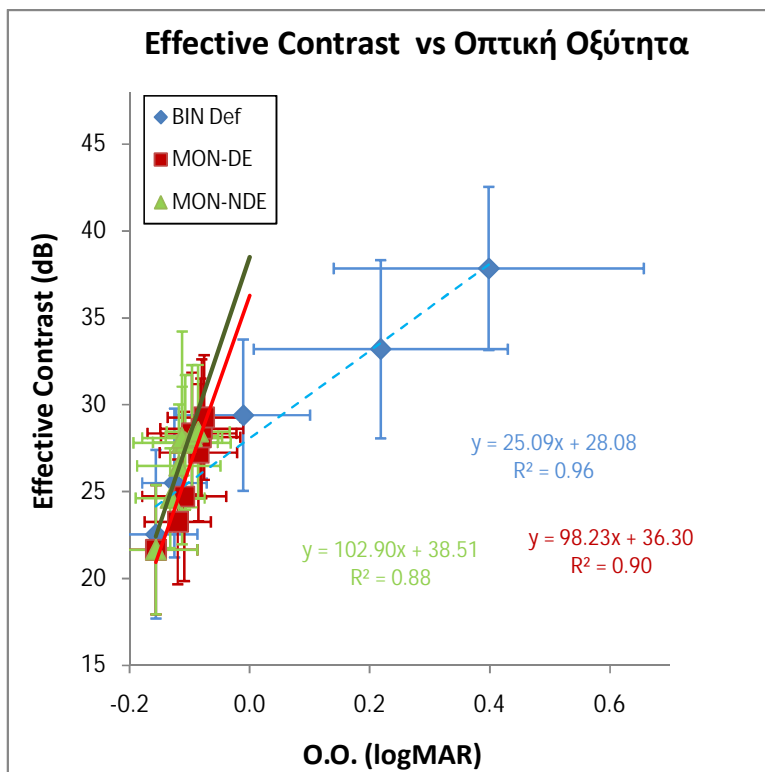
Στα γραφήματα 16 και 17 παρουσιάζονται αντίστοιχα τα αποτελέσματα των μέσων όρων των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast συναρτήσει της Οπτικής οξύτητας για τις τρεις συνθήκες θόλωσης. Οι οριζόντιες γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις τυπικές αποκλίσεις της Οπτικής Οξύτητας και οι κατακόρυφες στις τυπικές αποκλίσεις των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast. Από τα γραφήματα προκύπτει ότι:

- Η συσχέτιση των οπτικών χρόνων αντίδρασης και του effective contrast σε συνάρτηση με την οπτική οξύτητα προέκυψε ισχυρή για όλες τις συνθήκες θόλωσης ( $R^2 \geq 0,85$ ).
- Ενδιαφέρον εύρημα αποτελεί το ότι παρ' όλο που όπως προέκυψε η οπτική οξύτητα επιδεινώνεται ραγδαία από τη δίοφθαλμη θόλωση και όχι από τη Μονο-όραση, οι

μικρές μεταβολές στην οπτική οξύτητα από τη Μονο-όραση οδηγούν σε δριμύτερες μεταβολές στους χρόνους αντίδρασης και στο Effective Contrast σε σχέση με τη διόφθαλμη θόλωση όπου οι μεταβολές αυτές είναι ομαλότερες.



Γράφημα 16: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης συναρτήσει της Οπτικής οξύτητας. Από τη κλίση των ευθειών προκύπτει ότι αλλαγή στην οπτική οξύτητα κατά 0,02 logMAR αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 10,06 ms στη συνθήκη MON-DE, 11,37ms στη συνθήκη MON-NDE και 4,76 για BIN Def.



Γράφημα 17: Effective Contrast συναρτήσει της Οπτικής οξύτητας. Από τη κλίση των ευθειών προκύπτει ότι αλλαγή στην οπτική οξύτητα κατά 0,02 logMAR αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 2,06 dB στη συνθήκη MON-DE, 1,96 dB στη συνθήκη MON-NDE και 0,50 dB για BIN Def.

## 5.2 Μονο-όραση και κορικά διαφράγματα

Στους πίνακες 11 και 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέσοι όροι, τυπικές αποκλίσεις) των εξεταζόμενων στους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και στο Effective Contrast για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, στα 3mm και στα 6mm αντίστοιχα.

Διάφραγμα 3mm vs Διοπτρική Θόλωση									
Διοπτρική Θόλωση (D)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης				Effective Contrast				
	MON-DE		MON-NDE		MON-DE		MON-NDE		
	Average (ms)	SD (ms)	Average (ms)	SD (ms)	Average (dB)	SD (dB)	Average (dB)	SD (dB)	SD (dB)
0,0	279,62	21,12	279,62	21,12	40,39	3,26	40,39	3,26	
1,0	283,45	31,83	289,51	38,54	40,74	4,60	41,52	5,13	
2,0	299,87	40,36	309,99	54,77	43,00	4,73	43,22	6,09	
3,0	307,10	39,87	320,30	38,94	44,16	5,24	45,10	2,35	

Πίνακας 11: Κορικό διάφραγμα 3mm. Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης.

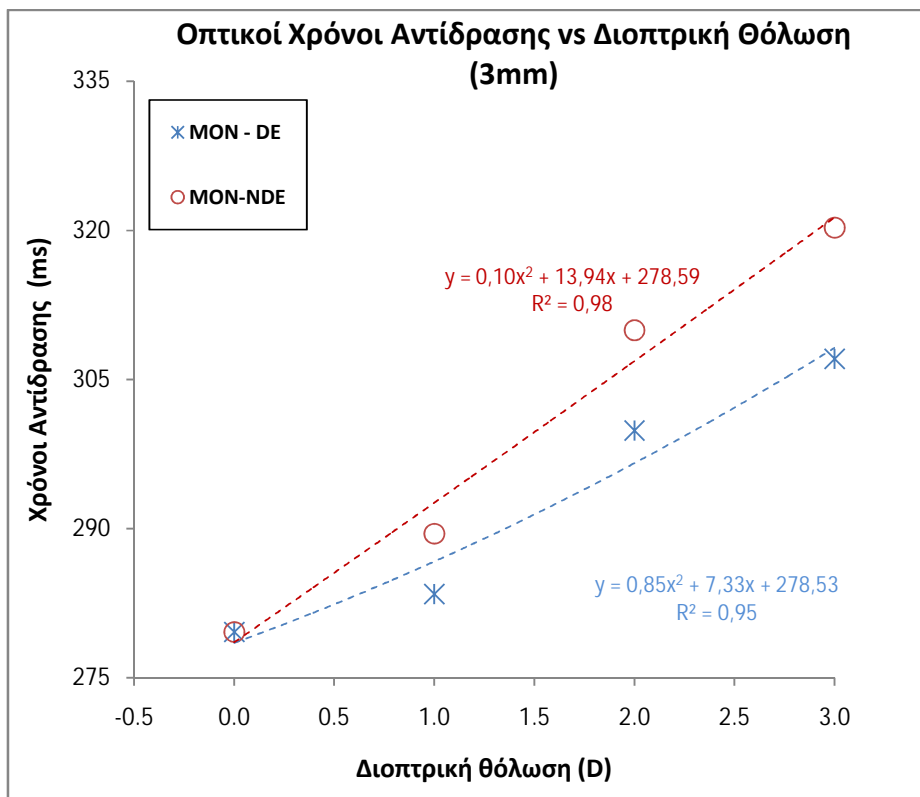
Διάφραγμα 6mm vs Διοπτρική Θόλωση								
Διοπτρική Θόλωση (D)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης				Effective Contrast			
	MON-DE		MON-NDE		MON-DE		MON-NDE	
	<i>Average (ms)</i>	<i>SD (ms)</i>	<i>Average (ms)</i>	<i>SD (ms)</i>	<i>Average (dB)</i>	<i>SD (dB)</i>	<i>Average (dB)</i>	<i>SD (dB)</i>
0,0	257,86	7,49	257,86	7,49	35,10	4,15	35,10	4,15
1,0	275,20	16,00	274,68	15,68	39,78	3,57	39,33	1,88
2,0	289,04	11,31	286,91	11,86	42,16	3,37	41,72	2,10
3,0	287,27	26,84	285,91	20,33	41,71	5,86	41,64	4,49

Πίνακας 12: Κορικό διάφραγμα 6mm. Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης και Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης.

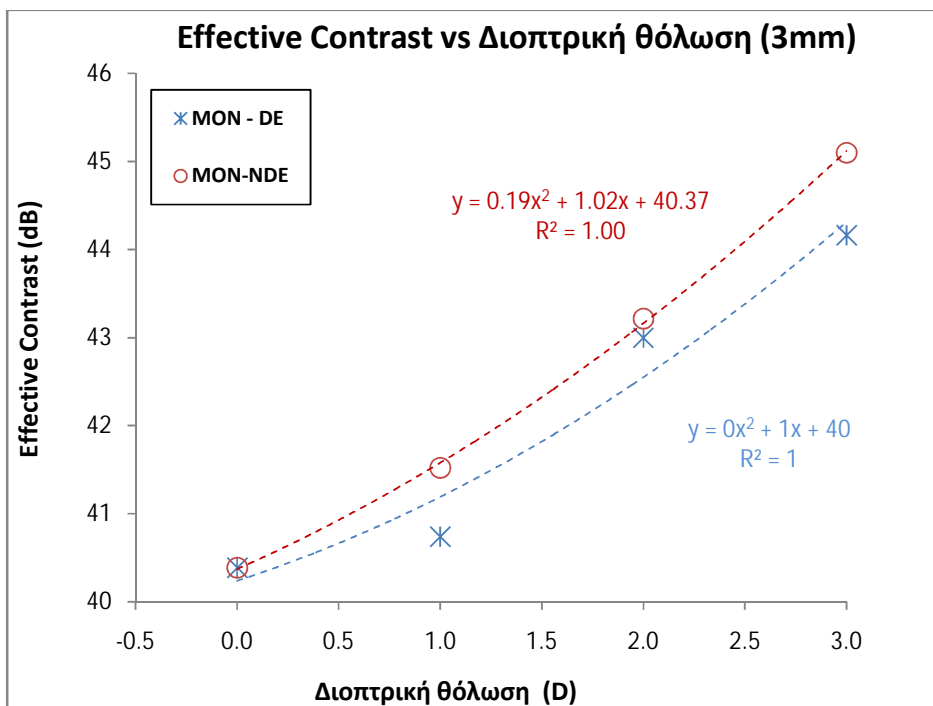
Στα γραφήματα 18 έως 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέσοι όροι μόνο λόγω του μικρού αριθμού του δείγματος) των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης στα 3mm και 6mm. Από τα γραφήματα προκύπτει ότι:

- Τόσο στα 3 mm όσο και στα 6mm, η αύξηση της διοπτρικής θόλωσης οδηγεί σε αύξηση των χρόνων αντίδρασης και του effective contrast.
- Για τα 3 mm, η θόλωση στον κυρίαρχο οφθαλμό οδήγησε πάντοτε σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης/ μικρότερο effective contrast έναντι της θόλωσης στον μη κυρίαρχο οφθαλμό.
- Αντίστροφα στα 6 mm, η θόλωση στον μη κυρίαρχο οφθαλμό οδήγησε πάντοτε σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης/ μικρότερο Effective Contrast έναντι της θόλωσης στον κυρίαρχο οφθαλμό.

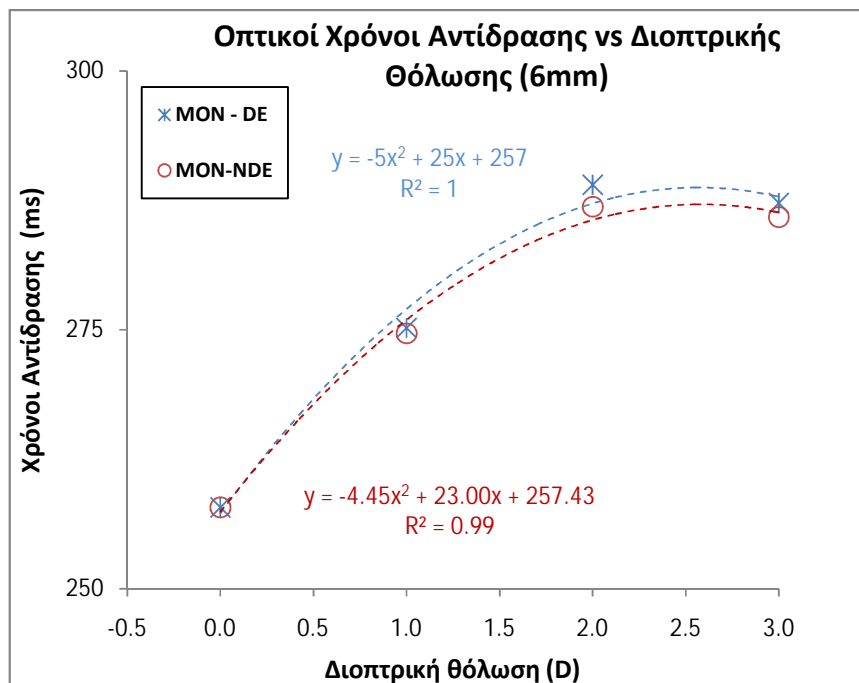




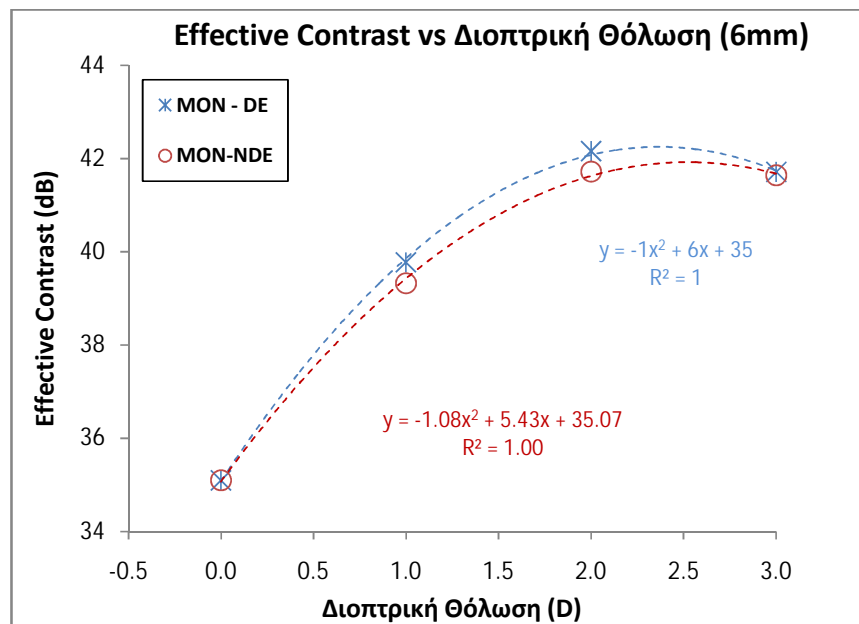
Γράφημα 19: Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, με διάφραγμα 3mm.



Γράφημα 20: Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, με διάφραγμα 3mm.



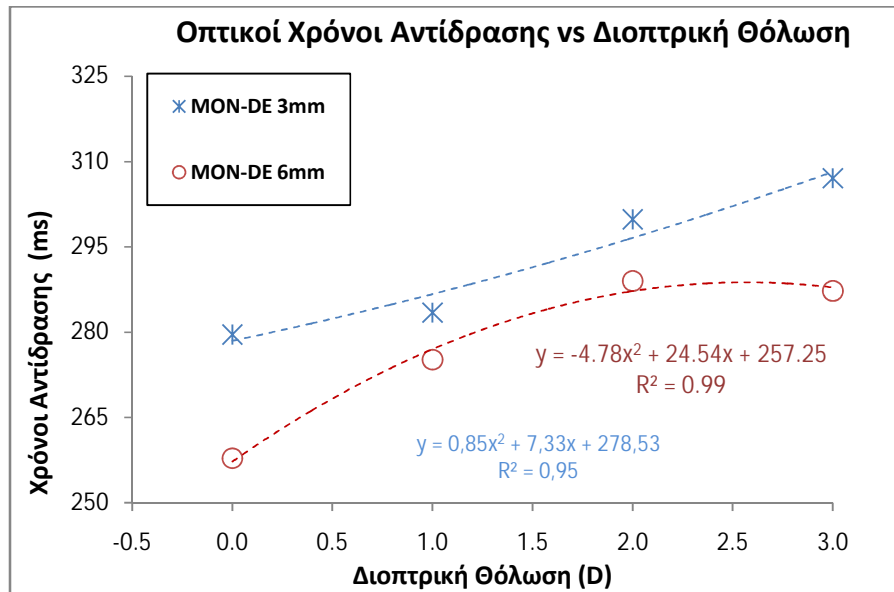
Γράφημα 21: Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, με διάφραγμα 6mm.



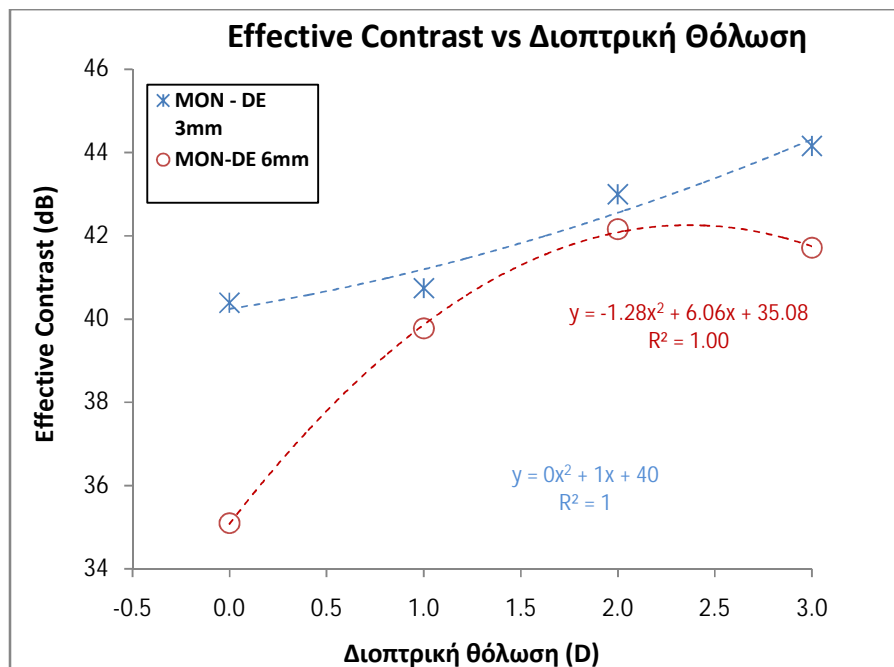
Γράφημα 21: Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, με διάφραγμα 6mm.

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των κορικών διαφραγμάτων στην οπτική απόδοση, στα γραφήματα 22 έως 25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέσοι όροι) των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης και του Effective Contrast ξεχωριστά για κάθε συνθήκη Μονο-όρασης στα 3mm

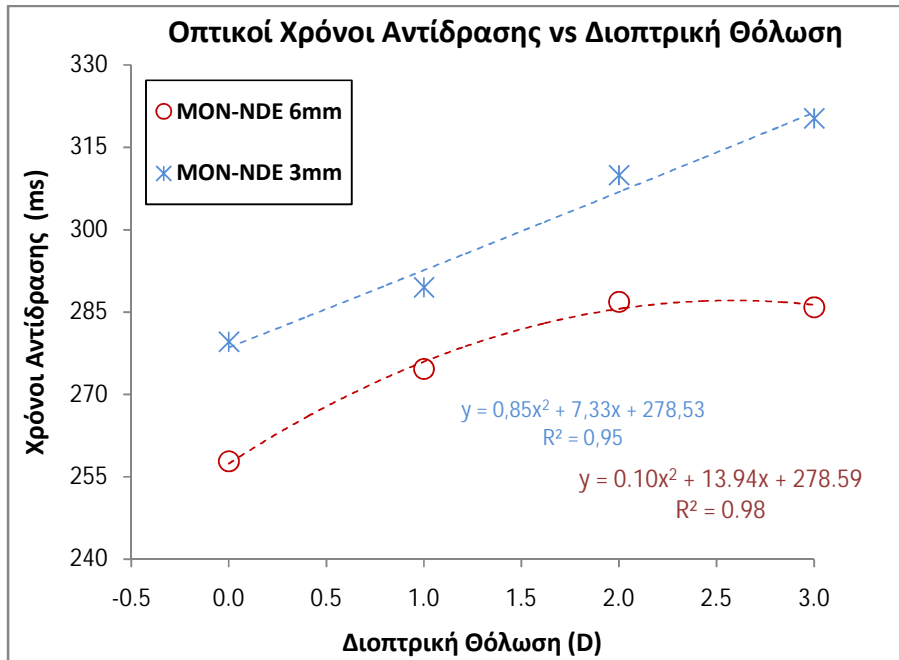
και τα 6mm. Όπως προέκυψε και παραπάνω, η θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού οδηγεί σε ταχύτερους χρόνους αντίδρασης/ μικρότερες τιμές effective contrast στα 6mm και το αντίστροφο ισχύει για τα 3 mm.



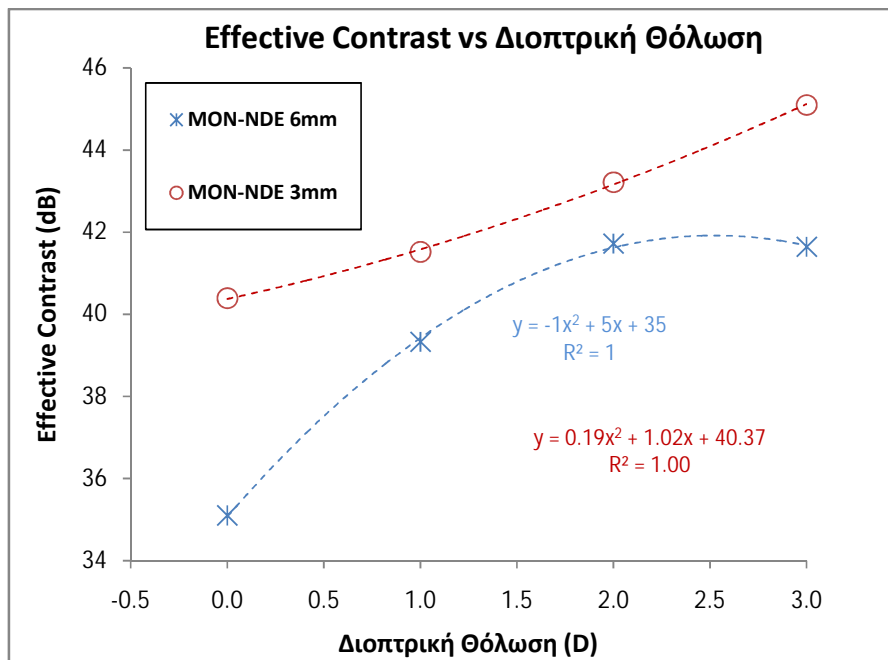
Γράφημα 22: Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση στον κυρίαρχο οφθαλμό, στα 3mm και στα 6mm.



Γράφημα 23: Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση στον κυρίαρχο οφθαλμό, στα 3mm και στα 6mm.



Γράφημα 24: Οπτικοί Χρόνοι αντίδρασης συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση στον μη κυρίαρχο οφθαλμό, στα 3mm και στα 6mm.



Γράφημα 25: Effective Contrast συναρτήσει της διοπτρικής θόλωσης για θόλωση στον μη κυρίαρχο οφθαλμό, στα 3mm και στα 6mm.

Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης/ Effective Contrast, στα 3

και στα 6mm. Οι διαφορές που προέκυψαν από τον στατιστικό έλεγχο μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

T- Tests MON-DE, MON-NDE vs Διοπτρική Θόλωση				
Διοπτρική Θόλωση (D)	3mm		6mm	
	RTs	C	RTs	C
1,0	0,26	0,15	0,95	0,80
2,0	0,47	0,92	0,73	0,66
3,0	0,69	0,77	0,80	0,94

Πίνακας 13: T-Tests μεταξύ MON-DE και MON-NDE.

Στον πίνακα 14 αναγράφονται τα αποτελέσματα του στατιστικού έλεγχο μεταξύ των 3mm και 6mm για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης/ Effective Contrast σε κάθε συνθήκη Μονο-όρασης. Ομοίως, δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

T- Tests 3mm vs 6mm				
Διοπτρική Θόλωση (D)	MON-DE		MON-NDE	
	RTs	1/C	RTs	1/C
0,0	0,21	0,23	0,21	0,23
1,0	0,51	0,63	0,41	0,36
2,0	0,62	0,76	0,45	0,70
3,0	0,26	0,23	0,33	0,36

Πίνακας 14: T- Tests μεταξύ 3mm και 6mm.

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου ανά αύξηση του βήματος της θόλωσης για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης/ Effective Contrast. Οι στατιστικά σημαντικές επισημαίνονται με έντονη γραμματοσειρά.

### T- Tests ανά βήμα Διοπτρικής Θόλωσης

Διοπτρική Θόλωση (D)	3mm				6mm			
	MON-DE		MON-NDE		MON-DE		MON-NDE	
	RTs	C	RTs	C	RTs	C	RTs	C
0,0 vs 1,0	0,60	0,73	0,43	0,45	0,14	0,18	0,25	0,29
1,0 vs 2,0	0,09	<b>0,01</b>	0,27	0,48	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	0,11
2,0 vs 3,0	0,42	0,46	0,68	0,48	0,87	0,79	0,92	0,96

Πίνακας 15: T-Tests μεταξύ των διαδοχικών βημάτων θόλωσης.

Αναλυτικότερα στον πίνακα 15:

- Στατιστικά σημαντικές διαφορές προκύπτουν μόνο μεταξύ 1.00 D και 2.00 D.
- Στα 6mm προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους RTs για θόλωση στον κυρίαρχο και στον μη κυρίαρχο οφθαλμό και στο Effective Contrast για θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού.
- Στα 3mm προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο στους RTs για θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού.

### 5.3 Επίδραση της Εκκεντρότητας στην Μονο-όραση

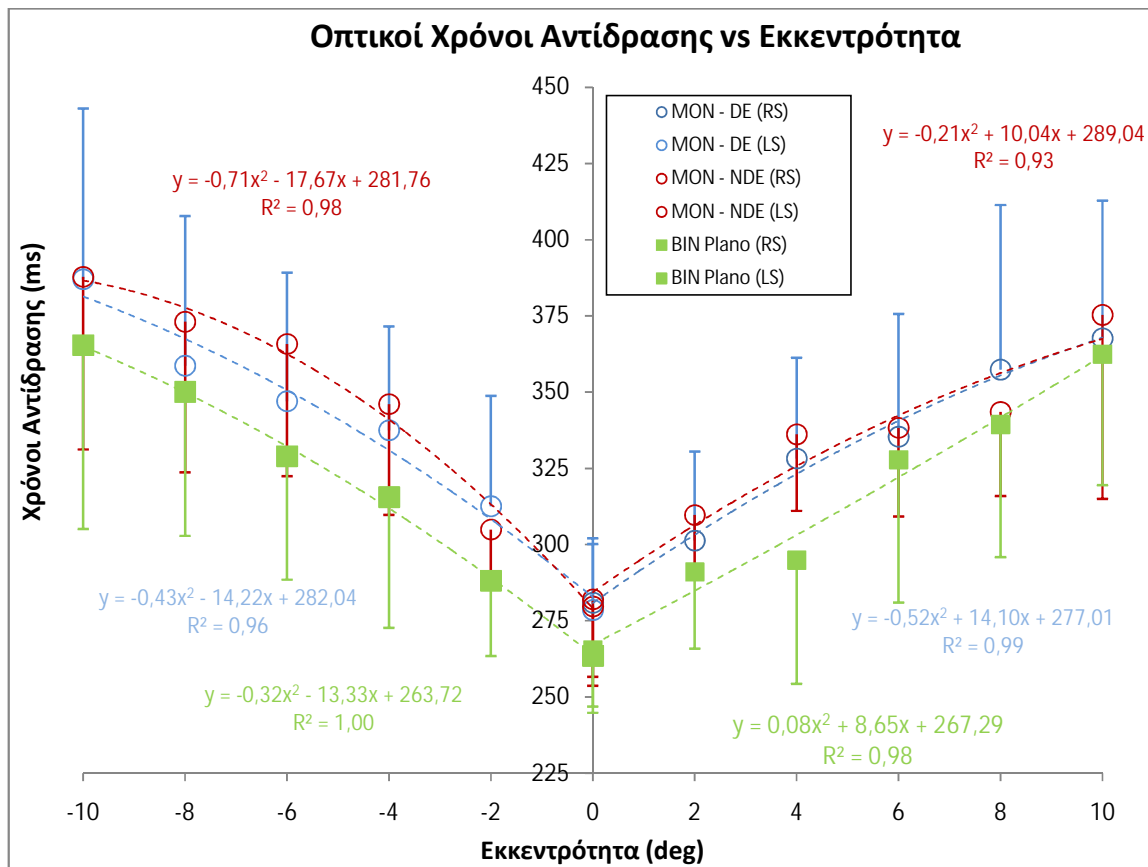
Στα γραφήματα 26 και 27 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις) των Οπτικών Χρόνων Αντίδρασης/ Effective Contrast συναρτήσει της εκκεντρότητας για τις τρεις οφθαλμικές συνθήκες. Κάθε οπτικό πεδίο (αριστερό (LS) και δεξιό (RS)) κάθε συνθήκης, έχει απεικονιστεί με διαφορετικές γραμμές τάσεις και δευτεροβάθμιες εξισώσεις ξεκινώντας από την τιμή για εκκεντρότητα ίση με το μηδέν.

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των δύο πλευρών της εκκεντρότητας, στα γραφήματα 28 έως 33 συγκρίνονται οι δύο πλευρές κάθε οφθαλμικής συνθήκης για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης/ Effective Contrast.

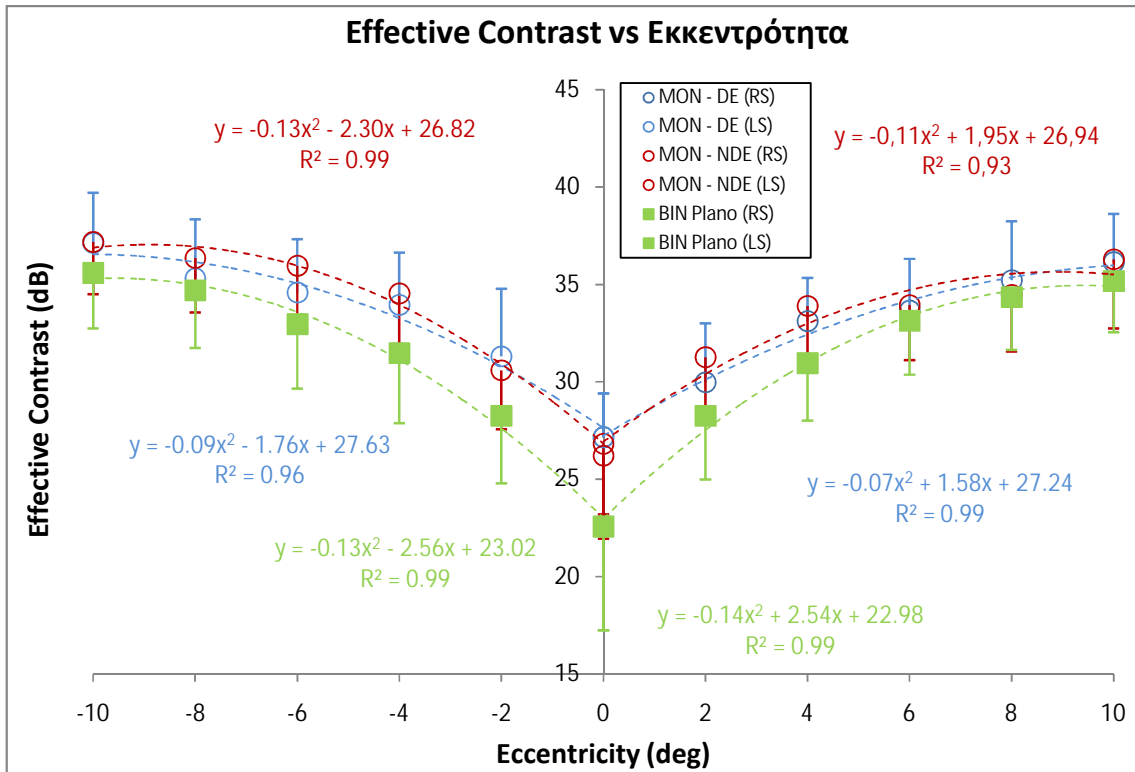
Τα γραφήματα σε συνδυασμό με τους πίνακες 11, 12 έδειξαν ότι:

- Με την αύξηση της εκκεντρότητας αυξάνονται οι χρόνοι αντίδρασης και το Effective Contrast σε κάθε οφθαλμική συνθήκη.
- Στη διόφθαλμη συνθήκη οι χρόνοι αντίδρασης ήταν ταχύτεροι απ' ό, τι στις δύο συνθήκες Μονο-όρασης και το Effective Contrast μικρότερο.

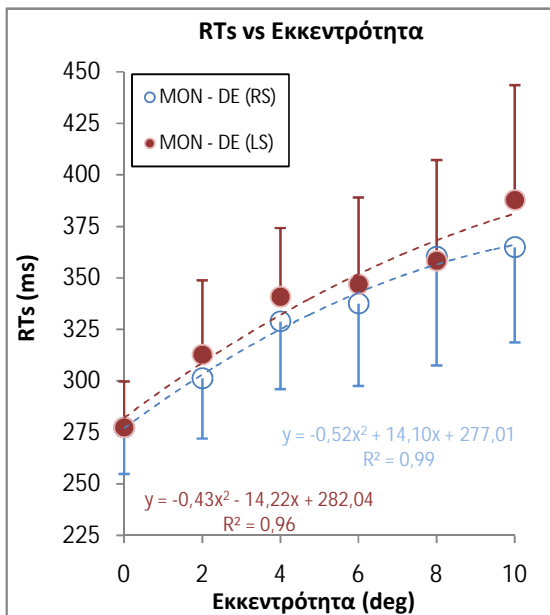
- Οι δύο συνθήκες Μονο-όρασης φαίνονται να επηρεάζονται το ίδιο από την εκκεντρότητα τόσο στην περίπτωση των RTs όσο και του Effective Contrast.
- Γενικά, παρατηρήθηκε και στις τρεις οφθαλμικές συνθήκες τάση για μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης και μεγαλύτερες τιμές Effective Contrast προς την αριστερή πλευρά (-2 deg έως -10 deg).



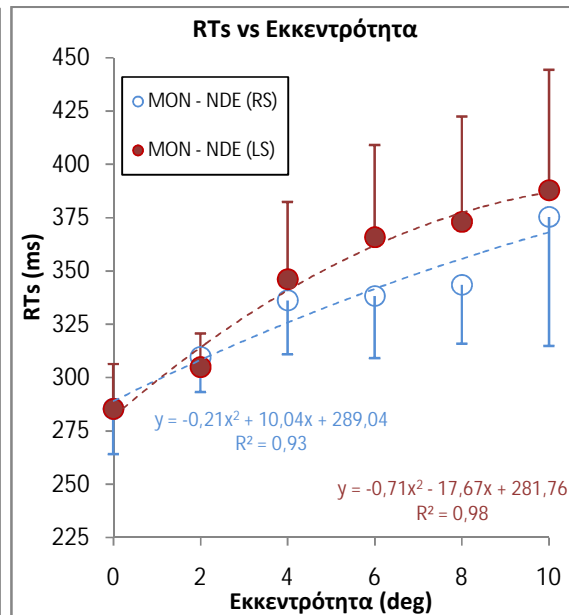
Γράφημα 18: Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της εκκεντρότητας για τις τρεις συνθήκες όρασης.



Γράφημα 19: Effective Contrast. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συναρτήσει της εκκεντρότητας για τις τρεις συνθήκες όρασης.

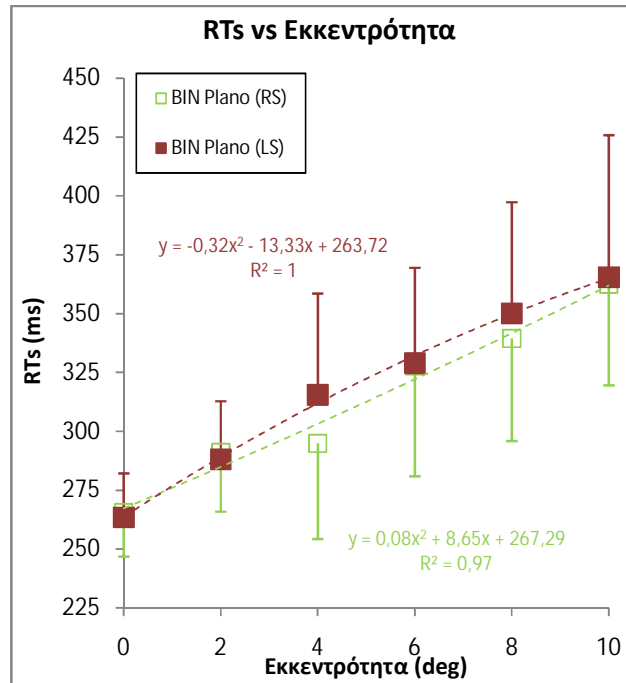


Γράφημα 20: MON-DE

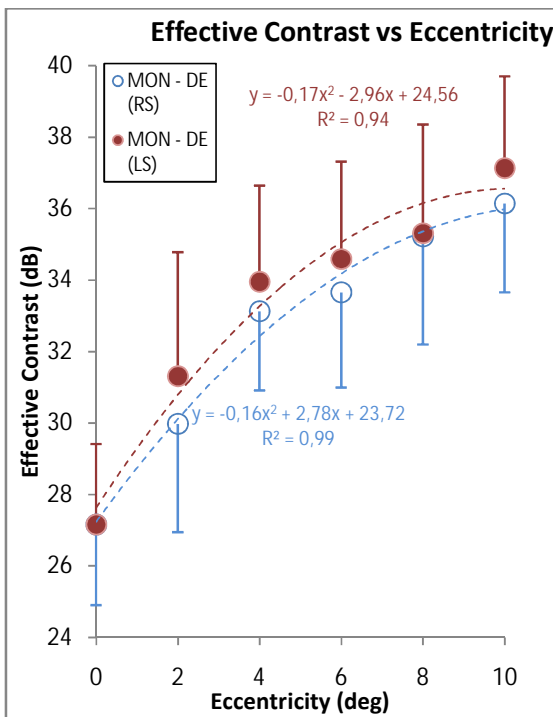


Γράφημα 21: MON-DE

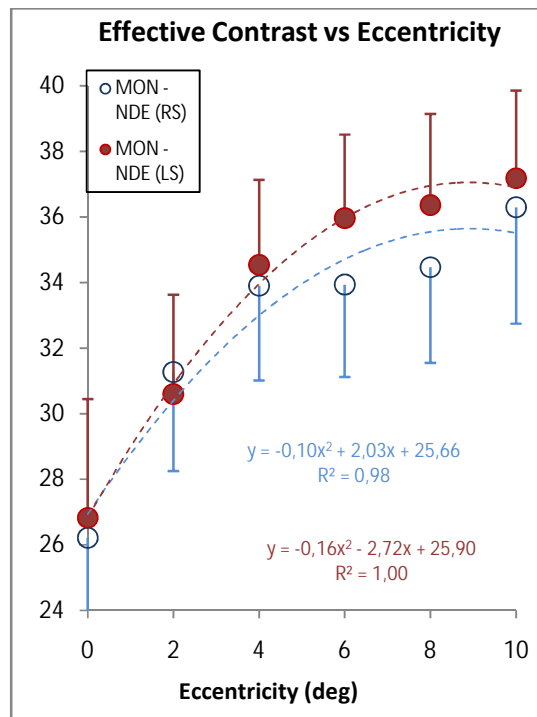




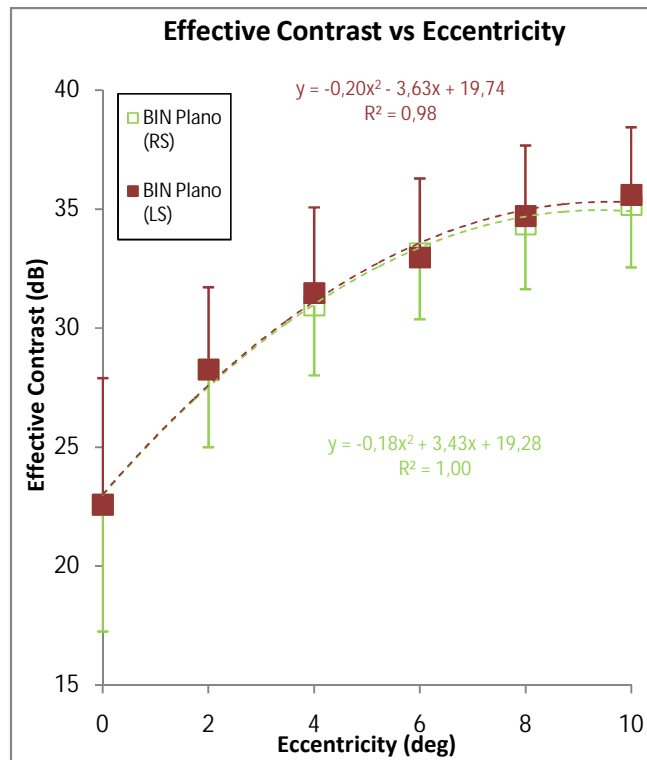
Γράφημα 22: BIN Plano



Γράφημα 23: MON-DE



Γράφημα 24: MON-DE



Γράφημα 25: BIN Plano

Συνοψίζοντας, οι συνολικές μεταβολές που προέκυψαν από την εκκεντρότητα ήταν οι ακόλουθες:

1. Για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης:

- Διόφθαλμη Όραση: αύξηση κατά 90,59 ms στο διάστημα 0deg έως 10 deg.  
αύξηση κατά 101,98 ms στο διάστημα 0deg έως -10 deg.
- Θόλωση κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 88,51 ms στο διάστημα 0deg έως 10 deg.  
αύξηση κατά 110,43 ms στο διάστημα 0deg έως -10 deg
- Θόλωση μη κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 90,04 ms στο διάστημα 0deg έως 10 deg.  
αύξηση κατά 102,51 ms στο διάστημα 0deg έως -10 deg

2. Για το Effective Contrast:

- Διόφθαλμη Όραση: αύξηση κατά 12,60 dB στο διάστημα 0deg έως 10 deg.  
αύξηση κατά 13,02 dB στο διάστημα 0deg έως -10 deg.
- Θόλωση κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 8,99 dB στο διάστημα 0deg έως 10 deg.

αύξηση κατά 9,98 dB στο διάστημα 0deg έως -10 deg

- Θόλωση μη κυρίαρχου οφθαλμού: αύξηση κατά 10,09 dB στο διάστημα 0deg έως 10 deg.  
αύξηση κατά 10,97 dB στο διάστημα 0deg έως -10 deg

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου (T- Tests) για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και το Effective Contrast μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης και των δύο συνθηκών Μονο-όρασης με τη Διόφθαλμη Όραση.

T- Tests μεταξύ των τριών συνθηκών όρασης						
Εκκεντρότητα (deg)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης (ms)			Effective Contrast (dB)		
	MON-DE vs MON-NDE	MON-DE vs BIN Plano	MON-NDE vs BIN Plano	MON-DE vs MON-NDE	MON-DE vs BIN Plano	MON-NDE vs BIN Plano
0	0,80	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	0,36	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
2	0,34	0,09	<b>0,03</b>	0,29	0,18	0,04
4	0,24	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	0,30	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>
6	0,77	0,48	0,58	0,79	0,30	0,53
8	0,27	0,29	0,95	0,34	0,29	0,91
10	0,59	0,42	0,26	0,86	<b>0,31</b>	0,30
-2	0,46	<b>0,01</b>	0,08	0,60	<b>0,00</b>	0,17
-4	0,48	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>	0,59	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>
-6	0,16	0,01	0,02	0,23	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>
-8	0,41	<b>0,03</b>	0,18	0,45	<b>0,05</b>	0,22
-10	0,95	<b>0,03</b>	0,09	0,96	<b>0,03</b>	0,19

Πίνακας 16: T-Tests για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και το Effective Contrast συναρτήσει της εκκεντρότητας.

Αναλυτικότερα για τον πίνακα 14:

- Οι διαφορές των δύο συνθηκών Μονο-όρασης στην οπτική απόδοση δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για τους χρόνους αντίδρασης/ Effective Contrast.

- Στατιστικά σημαντικές διαφορές στην οπτική απόδοση προέκυψαν στον έλεγχο μεταξύ των συνθηκών Μονο-όρασης με τη διόφθαλμη όραση τόσο για τους χρόνους αντίδρασης όσο και για το Effective Contrast ιδίως στον κυρίαρχο οφθαλμό στο διάστημα -2 deg έως -10 deg.

Ο πίνακας 17 δείχνει τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου μεταξύ των δύο οπτικών πεδίων που προβαλλόταν το ερέθισμα σε κάθε οφθαλμική συνθήκη, για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και το Effective Contrast.

T - Tests μεταξύ των δύο πλευρών						
Εκκεντρότητα (deg)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης (ms)			Effective Contrast (dB)		
	MON - DE	MON - NDE	BIN Plano	MON - DE	MON - NDE	BIN Plano
2 vs -2	0,30	0,18	0,97	0,38	0,19	1,00
4 vs -4	<b>0,05</b>	0,27	0,40	<b>0,05</b>	0,32	0,51
6 vs -6	0,14	<b>0,02</b>	0,77	0,11	<b>0,01</b>	0,81
8 vs -8	0,94	<b>0,02</b>	0,14	0,93	<b>0,00</b>	0,32
10 vs -10	0,17	<b>0,05</b>	0,38	0,25	<b>0,07</b>	0,60

Πίνακας 17: T- Tests μεταξύ των δύο πλευρών (αριστερή – δεξιά)

Αναλυτικότερα για τον πίνακα 15:

- Προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για θόλωση του κυρίαρχου οφθαλμού και για θόλωση του μη κυρίαρχου στους οπτικούς χρόνους αντίδρασης/ Effective Contrast ιδίως στις 6, 8 και 10 deg εκκεντρότητας για θόλωση στο μη κυρίαρχο οφθαλμό.
- Για τη διόφθαλμη συνθήκη όρασης δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δεξιού και αριστερού οπτικού πεδίου.

Στον πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου μεταξύ των διαδοχικών βημάτων εκκεντρότητας στις τρεις οφθαλμικές συνθήκες για τους Οπτικούς Χρόνους Αντίδρασης και το Effective Contrast.

T- Tests ανά βαθμό Εκκεντρότητας						
Εκκεντρότητα (deg)	Οπτικοί Χρόνοι Αντίδρασης (ms)			Effective Contrast (dB)		
	MON - DE	MON - NDE	BIN Plano	MON - DE	MON - NDE	BIN Plano
0 vs 2	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	0,03	0,00	<b>0,01</b>
2 vs 4	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
4 vs 6	0,18	0,73	<b>0,00</b>	0,17	0,95	<b>0,00</b>
6 vs 8	<b>0,03</b>	0,48	0,16	<b>0,02</b>	0,45	0,10
8 vs 10	0,08	0,09	0,30	0,06	0,07	0,19
0 vs -2	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
-2 vs -4	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
-4 vs -6	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
-6 vs -8	0,16	<b>0,00</b>	0,12	0,22	<b>0,00</b>	0,05
-8 vs -10	0,12	0,20	<b>0,00</b>	0,12	0,33	<b>0,00</b>

Πίνακας 18: T-Tests μεταξύ των διαδοχικών βαθμών εκκεντρότητας.

Αναλυτικότερα για τον πίνακα 18:

- Ο στατιστικός έλεγχος ανά βήμα εκκεντρότητας σε κάθε οφθαλμική συνθήκη έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές και για τις τρεις, τόσο στους οπτικούς χρόνους αντίδρασης όσο και στο Effective Contrast.
- Κυρίως φαίνονται να επηρεάζονται οι μεταβάσεις από τις 0 deg στις 2 deg, από τις 2 deg στις 4 deg και από 0 deg έως -8 deg. Η μετάβαση από τις 8 deg στις 10 δεν προκύπτει πουθενά στατιστικά σημαντική.

## **Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση της επίδρασης της διοπτρικής θόλωσης σε συνθήκες Μονο-όρασης (τοποθέτηση της θόλωσης στον κυρίαρχο ή στον μη κυρίαρχο οφθαλμό) και Διόφθαλμης όρασης σε μια ενδιάμεση απόσταση (1 m) σε υγιείς νέους ενήλικες (βλ. κεφάλαιο 4).

Για το σκοπό αυτό μετρήθηκαν οι οπτικοί χρόνοι αντίδρασης και η οπτική Οξύτητα συναρτήσει της μεταβολής της διοπτρικής θόλωσης στη κεντρική και περιφερική όραση και ακόμη, υπό την επήρεια κυκλοπληγίας για κεντρική όραση με τη χρήση διαφραγμάτων. Για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της θόλωσης στην όραση υπολογίστηκε το Effective Contrast για τις παραπάνω συνθήκες.

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι η Μονο-όραση σαν τεχνική διόρθωσης της πρεσβυωπίας προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην οπτική απόδοση. Κύριοι στόχοι της μελέτης ήταν:

- η διερεύνηση της επίδρασης της Μονο-όρασης και της Διόφθαλμης Θόλωσης στην οπτική απόδοση στο 1 m,
- η σύγκριση της οπτικής απόδοσης με Μονο-όραση μεταξύ του κυρίαρχου και του μη κυρίαρχου οφθαλμού,
- η σύγκριση της οπτικής απόδοσης με Μονο-όραση σε σχέση με τη Διόφθαλμη θόλωση,
- η συσχέτιση των αποτελεσμάτων από τις δοκιμασίες που πραγματοποιήθηκαν για περαιτέρω κατανόηση των ευρημάτων.

### **6.1 Κύρια ευρήματα**

Τα αποτελέσματα της εργασίας αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5. Στην ενότητα αυτή συνοψίζονται και συσχετίζονται ώστε να διευρυνθεί το πεδίο κατανόησης και να διερευνηθούν οι στόχοι που τέθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου.

Τα κυριότερα ευρήματα που προκύπτουν είναι:

#### **Διοπτρική Θόλωση & Οπτική Απόδοση**

- Η αύξηση της διοπτρικής θόλωσης οδήγησε σε αύξηση των οπτικών χρόνων αντίδρασης, του Effective Contrast και της Οπτικής οξύτητας τόσο για την κεντρική όσο και την περιφερική όραση και προέκυψε στατιστικά σημαντική μεταξύ των βημάτων μεταβολής θόλωσης/ εκκεντρότητας και στον έλεγχο της μεταβολής της με

- τη βέλτιστη διόφθαλμη όραση. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις προέκυψαν ισχυρές συσχετίσεις των αποκρίσεων με τη μεταβολή της διοπτρικής θόλωσης ( $R^2 \geq 0,90$ ).
- Όπως ήταν αναμενόμενο, η επιδείνωση ήταν πάντα πιο έντονη στη συνθήκη της Διόφθαλμης θόλωσης σε σύγκριση με τη Μονο-όραση γεγονός που προέκυψε στατιστικά σημαντικό σε όλες τις διαδικασίες αξιολόγησης της οπτικής απόδοσης.
  - Ο στατιστικός έλεγχος που πραγματοποιήθηκε δεν έδειξε σε καμία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης ( $p > 0,05$ ).
  - Αν και δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά, αξίζει να σημειωθεί ότι:
    - στον έλεγχο της οπτικής απόδοσης με κορικά διαφράγματα παρατηρήθηκε ότι για τα 6mm κόρης η θόλωση οδηγούσε σε ταχύτερες αποκρίσεις στους χρόνους αντίδρασης/ Effective Contrast.
    - Στον έλεγχο της περιφερικής όρασης, προέκυψε ότι η θόλωση επηρεάζει την ωχρική όραση περισσότερο από την περιφερική (μικρότερες διαφορές μεταξύ Μονο-όρασης/ διόφθαλμης παρατήρησης για μεγαλύτερες μοίρες εκκεντρότητας).
  - Τέλος, υπολογίζοντας από τις εξισώσεις τις θεωρητικές τιμές των μεταβολών των χρόνων αντίδρασης/ effective contrast/ οπτικής οξύτητας συναρτήσεως της διοπτρικής θόλωσης για τις δύο συνθήκες Μονο-όρασης, υπολογίστηκε η αντίστοιχη μεταβολή διοπτρικής θόλωσης για τη διόφθαλμη θόλωση: δηλαδή σε ποιες τιμές διοπτρικής θόλωσης αντιστοιχούσαν οι τιμές της Μονο-όρασης για τη διόφθαλμη συνθήκη. Οι αποκλίσεις στις τιμές μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης δεν ήταν σημαντικές.
  - Η συσχέτιση των οπτικών χρόνων αντίδρασης και του effective contrast με την οπτική οξύτητα έδειξε παρόμοιες μεταβολές των μεγεθών στο εύρος της διοπτρικής θόλωσης και προέκυψε ισχυρή σε όλες τις οφθαλμικές συνθήκες θόλωσης ( $R^2 \geq 0,85$ ).
  - Όταν τα δεδομένα από τους οπτικούς χρόνους αντίδρασης/ effective contrast σχεδιάστηκαν σε αντιστοιχία για κάθε βήμα μεταβολής της διοπτρικής θόλωσης με τις μέσες τιμές της οπτικής οξύτητας προέκυψε ότι η Μονο-όραση οδήγησε σε ραγδαίες αλλαγές στις αποκρίσεις των χρόνων αντίδρασης/ Effective Contrast σε σχέση με τη διόφθαλμη θόλωση (ομαλή αύξηση) παρ' όλο που η επίπτωση της τελευταίας στην οπτική απόδοση ήταν πιο έντονη.
  - Η παραπάνω διαπίστωση κατέστη δυνατό να μοντελοποιηθεί σε κάθε περίπτωση με πρωτοβάθμιες εξισώσεις ώστε να υπολογιστεί σε πόση μεταβολή των οπτικών χρόνων αντίδρασης αντιστοιχεί μια μεταβολή της οπτικής οξύτητας και το αντίστροφο.



## 6.2 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με προηγούμενες έρευνες

Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχουν πολλές αναφορές για τον έλεγχο της Μονο-όρασης στην οπτική απόδοση σε ενδιάμεσες αποστάσεις. Οι Brown et al. (1988) στη μελέτη τους (βλ. κεφάλαιο 3) κατέγραψαν τους χρόνους αντίδρασης (σε complex task) για τρεις αποστάσεις (κοντινή, ενδιάμεση, μακρινή) αλλά σκοπός τους ήταν να ελέγξουν την οπτική απόδοση με διάφορες τεχνικές διόρθωσης της πρεσβυωπίας. Εντούτοις όμως, προέκυψε ότι οι αποκρίσεις των χρόνων αντίδρασης ήταν ταχύτερες στην ενδιάμεση απόσταση και ειδικά η περίπτωση της Μονο-όρασης έδωσε τις ταχύτερες αποκρίσεις τόσο στη κοντινή και στη μακρινή απόσταση όσο και στην ενδιάμεση απόσταση γεγονός που υποδεικνύει επιτυχία της μεθόδου. Στη παρούσα μελέτη δεν ελέγχθηκαν οι χρόνοι αντίδρασης για τη κοντινή και την μακρινή απόσταση οπότε δεν μπορεί να γίνει παρόμοια σύγκριση.

Το γεγονός ότι μεταξύ των δύο συνθηκών Μονο-όρασης δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύει ίσως ότι η οφθαλμική κυριαρχία δεν είναι τελικά κριτήριο πρόβλεψης της επιτυχίας της Μονο-όρασης στην ενδιάμεση απόσταση. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα προγενέστερων μελετών που διαφωνούν σχετικά με τις διαδικασίες αξιολόγησης του κυρίαρχου οφθαλμού και ανάγουν την ανάγκη εύρεσης άλλων κριτηρίων για την Μονο-όραση, όπως η ανοχή στη θόλωση, ζωτικής σημασίας (Seijas et al. 2007, Suttle et al. 2009, Linke 2011). Για παράδειγμα, οι Eunich et al. (2010) στη μελέτη τους (βλ. κεφάλαιο 2) προτείνουν τον καθορισμό του κυρίαρχου οφθαλμού ανάλογα με το ποιος οφθαλμός παρουσιάζει μικρότερη ανοχή στη θόλωση.

Το γεγονός ότι για τα 6mm κόρης η θόλωση οδηγούσε σε ταχύτερες αποκρίσεις στους χρόνους αντίδρασης/ Effective Contrast ίσως υποδηλώνει ότι η φωτεινότητα (4 φορές μεγαλύτερη στα 6mm απ' ό,τι στα 3mm) αποτελεί πιο σημαντικό παράγοντα για την επιτυχία της Μονο-όρασης από το βάθος πεδίου. Ο Efron (1991) παρατήρησε ότι φακοί επαφής με διάφραγμα μικρής διαμέτρου οδηγούν μεν σε αύξηση του βάθους εστίασης και καλύτερη κοντινή όραση αλλά απ' την άλλη οδηγούν και σε πτώση της φωτεινότητας γεγονός που δυσχεραίνει την όραση σε μεσοπικές και σκοτοπικές συνθήκες (πτώση στερεοσκοπικής όρασης, οπτικής οξύτητας, ευαισθησίας αντίθεσης).

Όσον αφορά την περιφερική όραση, τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με αυτά των Collins et al. (1989b) που δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική επίδραση της Μονο-όρασης στη περιφερική όραση στις 10° εκκεντρότητας για θόλωση του μη κυρίαρχου οφθαλμού. Στη παρούσα μελέτη η Μονο-όραση βρέθηκε να επηρεάζει την ωχρική όραση.

### **6.3 Συζήτηση – Μελλοντική εργασία**

Κλείνοντας, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της διοπτρικής θόλωσης οδηγεί σε αύξηση των χρόνων αντίδρασης/ Effective Contrast και επιδείνωση της Οπτικής οξύτητας η οποία όμως δε φαίνεται να είναι σημαντική όσον αφορά τη Μονο-όραση ανεξαρτήτως του οφθαλμού που θα χρησιμοποιηθεί. Δραστικές αλλαγές στις αποκρίσεις παρατηρήθηκαν μόνο στη περίπτωση της διόφθαλμης θόλωσης. Στο μέλλον προτείνεται:

- 1) Έλεγχος των παραμέτρων που αξιολογήθηκαν στη παρούσα μελέτη με χρήση φακών επαφής αντί οφθαλμικών φακών για αποφυγή των πρισματικών φαινομένων (απόσταση Vertex, εκτροπές στην περιφέρεια του φακού).
- 2) Έλεγχος σε πρεσβύωπες που έχουν μειωμένο απόθεμα προσαρμογής ή σε εξεταζόμενους με κυκλοπληγία για αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.
- 2) Επιπλέον έλεγχος για τη μακρινή και για τη κοντινή απόσταση ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση/ σύγκριση των αποτελεσμάτων με την ενδιάμεση απόσταση.
- 3) Αν είναι εφικτό, ένα διάστημα προσαρμογής στη Μονο-όραση με φακούς επαφής και έλεγχος της στερεοσκοπικής όρασης για να διαπιστωθεί αν υπάρχει βελτίωση (αν και η βιβλιογραφία υποστηρίζει το αντίθετο).
- 5) Έλεγχος της οπτικής απόδοσης σε μεγαλύτερες εκκεντρότητες.
- 6) Να ελεγχθεί η οπτική απόδοση στην ενδιάμεση απόσταση με τη τοποθέτηση κορικών διαφραγμάτων ξεχωριστά στον κυρίαρχο και στον μη κυρίαρχο οφθαλμό και να καθοριστεί το μέγεθος της κόρης.

## Βιβλιογραφία

### Βιβλία

1. Pallikaris, I., Plainis, S. and Charman, W Neil. "*Presbyopia: Origins, Effects, and Treatment.*" UK: SLACK Incorporated, 2012. Chapter 16; Correction of Presbyopia with Monovision.
2. Pallikaris, I., Plainis, S. and Charman, W Neil. "*Presbyopia: Origins, Effects, and Treatment.*" UK: SLACK Incorporated, 2012. Glossary.

### Άρθρα

1. Atchison, David A. "Accommodation and presbyopia." *Ophthalmic and Physiological Optics* 15.4 (1995): 255-272.
2. Borja, David, et al. "Optical power of the isolated human crystalline lens." *Investigative ophthalmology & visual science* 49.6 (2008): 2541-2548.
3. Breitmeyer, Bruno G., and Leo Ganz. "Implications of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing." *Psychological review* 83.1 (1976): 1.
4. Brown, Brian, Michael J. Collins, and Kenneth J. Bowman. "Reaction times in a complex task by presbyopic observers with spectacle and contact lens corrections." *Clinical and Experimental Optometry* 71.3 (1988): 94-99.
5. Carreiro, L. R. R., H. Haddad Jr, and M. V. C. Baldo. "The modulation of simple reaction time by the spatial probability of a visual stimulus." *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 36.7 (2003): 907-911.
6. Collins, Michael J., and Andrew Goode. "Interocular blur suppression and monovision." *Acta ophthalmologica* 72.3 (1994): 376-380.
7. Der, Geoff, and Ian J. Deary. "Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey." *Psychology and aging* 21.1 (2006): 62.

8. Ehrenstein, Walter H., and Addie Ehrenstein. "Psychophysical methods." *Modern techniques in neuroscience research* (1999): 1211-1241.
9. Evans, Bruce JW. "Monovision: a review." *Ophthalmic and Physiological Optics* 27.5 (2007): 417-439.
10. Fozard, James L., et al. "Age differences and changes in reaction time: the Baltimore Longitudinal Study of Aging." *Journal of Gerontology* 49.4 (1994): P179-P189.
11. Jain, Sandeep, Indu Arora, and Dimitri T. Azar. "Success of monovision in presbyopes: review of the literature and potential applications to refractive surgery." *Survey of ophthalmology* 40.6 (1996): 491-499.
12. Kallinikos, P., J. Santodomingo-Rubido, and S. Plainis. "Correction of presbyopia with contact lenses." *Presbyopia: Origins, Effects and Treatment. Thorofare, NJ: SLACK Inc* (2012): 127-37.
13. Legras, Richard, et al. "Effect of induced anisometropia on binocular through-focus contrast sensitivity." *Optometry & Vision Science* 78.7 (2001): 503-509.
14. Linke, Stephan J., et al. "Association between ocular dominance and spherical/astigmatic anisometropia, age, and sex: analysis of 10,264 myopic individuals." *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 52.12 (2011): 9166-9173.
15. Murray, I. J., and S. Plainis. "Contrast coding and magno/parvo segregation revealed in reaction time studies." *Vision research* 43.25 (2003): 2707-2719.
16. Pardhan, Shahina, and Jim Gilchrist. "The effect of monocular defocus on binocular contrast sensitivity." *Ophthalmic and physiological optics* 10.1 (1990): 33-36.

17. Plainis, S., and I. J. Murray. "Neurophysiological interpretation of human visual reaction times: effect of contrast, spatial frequency and luminance." *Neuropsychologia* 38.12 (2000): 1555-1564.
18. Plainis, S., and I. J. Murray. "Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night." *Ophthalmic and Physiological Optics* 22.5 (2002): 409-415.
19. Plainis, Sotiris, et al. "Binocular summation improves performance to defocus-induced blur." *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 52.5 (2011): 2784-2789.
20. Pointer, Jonathan S. "Sighting versus sensory ocular dominance." *Journal of Optometry* 5.2 (2012): 52-55.
21. Seijas, Olga, et al. "Ocular dominance diagnosis and its influence in monovision." *American journal of ophthalmology* 144.2 (2007): 209-216.
22. Spehar, Branka, and Vladimir Kolesarić. "The effects of stimulus context on components of simple reaction time." *Review of Psychology* 17.1 (2010): 59-67.
23. Suttle, Catherine, et al. "Sensory ocular dominance based on resolution acuity, contrast sensitivity and alignment sensitivity." *Clinical and experimental optometry* 92.1 (2009): 2-8.
24. Van Maanen, Leendert, et al. "Piéron's law and optimal behavior in perceptual decision-making." *Frontiers in neuroscience* 5 (2011).
25. Vassilev, Angel, Milena Mihaylova, and Claude Bonnet. "On the delay in processing high spatial frequency visual information: reaction time and VEP latency study of the effect of local intensity of stimulation." *Vision research* 42.7 (2002): 851-864.
26. Yang, Eunice, Randolph Blake, and James E. McDonald. "A new interocular suppression technique for measuring sensory eye dominance." *Investigative ophthalmology & visual science* 51.1 (2010): 588-593.

## Παγκόσμιος Ιστός

1. <http://www.aaopt.org/Media/Default/Docs/Position%20Papers/AAO%20CCLRS%20Monovision%20Position%20Paper%20January%202009.pdf>
2. <http://www.visualexpert.com/Resources/reactiontime.html>
3. <http://biae.clemson.edu/bpc/bp/lab/110/reaction.html>
4. <http://escrs.org/publications/eurotimes/12May/modest-monovision.pdf>

## Σημειώσεις/ Εργασίες

1. Σωτήρης Πλαϊνής, *Contrast Sensitivity*. Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση.
2. Σωτήρης Πλαϊνής, *Neurophysiology*. Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση.
3. Σωτήρης Πλαϊνής, *Reaction Times*. Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση.
4. Σωτήρης Πλαϊνής, *Psychophysical Techniques*. Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση.
5. Andreas Bartels, *Investigation of defocus using simple reaction times*. Μεταπτυχιακή Εργασία Ειδίκευσης, Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση (2011).
6. Μαρία Γάγγα, Σημειώσεις VEPs, Π.Μ.Σ. Οπτική και Όραση.