

## Αξιολόγηση του εύρους προσαρμογής- βάθους πεδίου σε άτομα ηλικίας 18 - 22 ετών

Ντζιλέπης Γ., Πατέρας Ε., Φωτεινάκης Β., Δρακόπουλος Π.,  
Σιανούδης Ι., Πλακίτση Α., Γεωργιάδου Σ.

Τμήμα Οπτικής & Οπτομετρίας,  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΤΕΙ) Αθήνας

### Περίληψη

*Σκοπός:* Η έρευνα έχει σαν στόχο την αξιολόγηση της προσαρμογής και ο υπολογισμός του βάθους πεδίου ατόμων ηλικίας 18- 22 ετών, μέσω της μέτρησης της μονόφθαλμης και διόφθαλμης οπτικής οξύτητας, εφαρμόζοντας θόλωση με αρνητικούς φακούς συγκεκριμένης και προοδευτικά αυξανόμενης διοπτρικής ισχύος (από 0.00 D έως 3.00 D).

*Μεθοδολογία:* Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν 12 υγιή άτομα, άνδρες και γυναίκες, με μέση ηλικία 19.8 έτη και ήταν όλοι μύωπες με σφαιρικό διαθλαστικό σφάλμα στον κυρίαρχο οφθαλμό -3.25 D. Πραγματοποιήθηκε η αντικειμενική και υποκειμενική μέτρηση της οπτικής οξύτητας με στόχο την εύρεση της βέλτιστης διόρθωσης για τη μακρινή όραση σε όλους τους συμμετέχοντες κατά τη μονόφθαλμη και διόφθαλμη παρατήρηση χρησιμοποιώντας τεχνητή κόρη των 3 mm. Ακολούθησε η εφαρμογή της επιπρόσθετης αρνητικής και θετικής διοπτρικής ισχύος στο δοκιμαστικό σκελετό, από 0.00 D έως 3.00 D με βήμα 0.50 D και η καταγραφή της οπτικής οξύτητας για τον υπολογισμό του βάθους. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν έχοντας θέσει σαν κριτήριο ικανοποιητικής όρασης τα 8/10 (0.80) και τα 10/10 (1.00) οπτικής οξύτητας.

*Αποτελέσματα:* Προέκυψε ότι το βάθος πεδίου αυξάνεται κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση, ενώ φαίνεται να επεκτείνεται όταν θέτουμε σαν κριτήριο όρασης τα 8/10 οπτικής οξύτητας σε σχέση με το κριτήριο των 10/10 οπτικής οξύτητας. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο για σχετιζόμενες μέσες τιμές (paired samples t-test) έδειξε ότι η επίδραση του τρόπου παρατήρησης (μονόφθαλμη- διόφθαλμη) στην αύξηση του βάθους πεδίου είναι στατιστικά σημαντική ( $p < 0.003$ ), ενώ δεν προκύπτει κάποιο στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα κατά τη σύγκριση κυρίαρχου και μη κυρίαρχου οφθαλμού ( $p = 0.113 > 0.05$ ). Επιπλέον, η οπτική οξύτητα μειώνεται προοδευτικά με την αύξηση του 'αρνητικού' defocus και η μείωση αυτή της οπτικής οξύτητας είναι αρκετά σημαντική με την αύξηση του 'θετικού' defocus. Το μέσο βάθος πεδίου με κριτήριο ικανοποιητικής όρασης τα 8/10 είναι ίσο με 2.56 D κατά την παρατήρηση με τον κυρίαρχο οφθαλμό και 2.72 D κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση. Το μέσο βάθος πεδίου με κριτήριο ικανοποιητικής όρασης τα 10/10 οπτικής οξύτητας είναι ίσο με 0.76 D κατά την παρατήρηση με τον κυρίαρχο οφθαλμό και 1.62 D κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση.

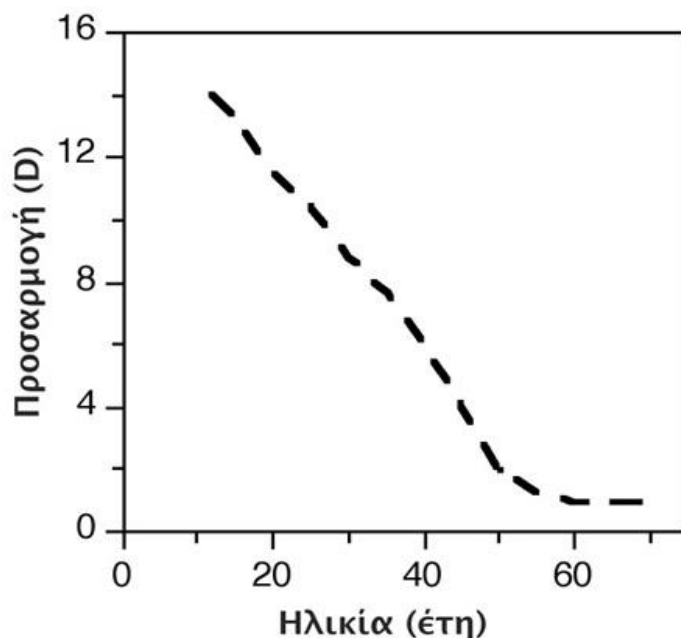
*Συμπεράσματα:* Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρούμε ότι το βάθος πεδίου αυξάνεται κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση σε σχέση με τη μονόφθαλμη, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που απαιτείται λεπτομέρεια (V.A.: 10/10). Παρατηρείται επίσης ότι το μέσο βάθος πεδίου φαίνεται ιδιαίτερα αυξημένο τόσο κατά τη μονόφθαλμη όσο και κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση.

## Εισαγωγή

Έχει επίσης προταθεί ότι οι οπτικές εκτροπές υψηλής τάξης (π.χ. σφαιρική εκτροπή), οι οποίες μειώνουν την ποιότητα του εστιασμένου ειδώλου<sup>8</sup> παρέχουν ισχυρά κατευθυντικά ερεθίσματα για την προσαρμογή. Για παράδειγμα έχει αποδειχθεί ότι η παρουσία της χρωματικής εκτροπής επηρεάζει ευμενώς το εύρος και την ακρίβεια προσαρμογής.<sup>9</sup> Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι μονοχρωματικές εκτροπές, όπως ο αστιγματισμός και το κώμα, προσδίδουν σημαντικές αλλαγές στο μηχανισμό της προσαρμογής.<sup>10,11</sup> Επομένως, ενδιαφέρον αποτελεί η μελέτη και η αξιολόγηση βασικών χαρακτηριστικών της προσαρμοστικής ικανότητας, όπως το εύρος.

Όταν παρατηρούμε ένα μακρινό αντικείμενο, το αμφιβληστροειδικό είδωλο του προς παρατήρηση αντικειμένου είναι καλά εστιασμένο. Όταν αποφασίσουμε να εστιάσουμε σε ένα εγγύτερο αντικείμενο είναι απαραίτητη η αύξηση της διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού για τη διατήρηση της ευκρίνειας του αμφιβληστροειδικού ειδώλου. Αυτό αποτελεί και το κύριο ερέθισμα για την ενεργοποίηση του μηχανισμού της προσαρμογής, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η σύσπαση του ακτινωτού μυός, η χάλαση της τάσης των ινών της Ζιννείου ζώνης και η αύξηση του πάχους του κρυσταλλοειδούς φακού με ένα μηχανισμό που έχει περιγραφεί από τον Helmholtz.<sup>1</sup> Το συνολικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της διοπτρικής ισχύος του φακού, απαραίτητη για την εστίαση κοντινών αντικειμένων.

Ο προσδιορισμός των ερεθισμάτων που «οδηγούν» την προσαρμογή έχει αποτελέσει μία από τις πρωταρχικές περιοχές έρευνας. Αν και είναι γνωστό ότι η ενεργοποίηση της προσαρμογής μπορεί να προκληθεί από μη οπτικούς παράγοντες, όπως η εγγύτητα του στόχου<sup>2,3</sup>, οι αλλαγές στο μέγεθος των ερεθισμάτων που βρίσκονται σε μία σταθερή απόσταση, που συχνά ερμηνεύονται ως αλλαγές στην απόσταση<sup>4,5</sup>, το πρωταρχικό ερέθισμα για την προσαρμογή αποτελεί η θόλωση του αμφιβληστροειδικού ειδώλου.<sup>6,7</sup>



Σχήμα 1: Απεικονίζεται η προσαρμογή D συναρτήσει της ηλικίας.

Η μέγιστη προσαρμογή (σε D) που μπορεί να επιτύχει ένας οφθαλμός ονομάζεται εύρος προσαρμογής. Για ένα εμμέτρωπα, το εύρος εκτείνεται θεωρητικά από το «οπτικό άπειρο» μέχρι την πιο κοντινή απόσταση που μπορεί να διακρίνει καθαρά ένα γράμμα. Τα όρια μεταξύ των οποίων εκτείνεται η προσαρμογή ονομάζονται απώτερο και εγγύς σημείο προσαρμογής και καθορίζονται από τη διάθλαση του οφθαλμού.

Για έναν μύωπα το απώτερο σημείο δεν είναι στο οπτικό άπειρο, ενώ το εγγύς σημείο μετατοπίζεται πλησιέστερα στον οφθαλμό: το εύρος προσαρμογής δεν επηρεάζεται.

Η αξιολόγηση του εύρους προσαρμογής πραγματοποιείται στην κλινική ρουτίνα υποκειμενικά, με τη βοήθεια ενός ειδικά- κατασκευασμένου χάρακα (γνωστό ως RAF rule) πάνω στον οποίο είναι προσαρμοσμένο τυπωμένο κείμενο. Ο ασθενής αναφέρει το εύρος απόστασης που μπορεί να διαβάσει το κείμενο, με αποτέλεσμα να καταγράφεται η διαφορά (σε D) μεταξύ του απώτερου και του εγγύς σημείου προσαρμογής.

Το εύρος προσαρμογής αρχίζει να μειώνεται σταθερά από τις αρχές της εφηβικής ηλικίας με ένα ρυθμό περίπου 0.4 D/ χρόνο, για να σταθεροποιηθεί σε μία τιμή γύρω στη 1D στην ηλικία των 50 ετών. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το εύρος προσαρμογής που υπολογίζεται με τον παραπάνω τρόπο υπερεκτιμά την πραγματική αλλαγή της διοπτρικής ισχύος του φακού, λόγω του βάθους εστίασης (το οποίο αυξάνεται με τη μύση της κόρης) ενώ επηρεάζεται από το μέγεθος, την αντίθεση (contrast) και τη φωτεινότητα των γραμμάτων, καθώς και από τον αστιγματισμό και τις οφθαλμικές εκτροπές υψηλής τάξης του ασθενή

### **Μεθοδολογία**

Δώδεκα νεαρά άτομα (επτά άνδρες και πέντε γυναίκες) με μέση ηλικία τα  $19.8 \pm 1.6$  έτη (με εύρος 18- 22 έτη) συμμετείχαν στην παρούσα μελέτη. Τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν τα άτομα με οπτική οξύτητα χειρότερη των 0.00 logMAR (10/10) σε κάθε οφθαλμό, τα άτομα που παρουσίαζαν υπερμετρωπία, άτομα με μυωπία άνω των 7 D, άτομα με αστιγματισμό άνω της 1 D, ανισομετρωπία μεγαλύτερη των 2.5 D, άτομα με ιστορικό κάποιας διαθλαστικής ή οποιασδήποτε άλλης οφθαλμικής επέμβασης. Το μέσο σφαιρικό ισοδύναμο είναι  $-2.69 \text{ D} \pm 3.35 \text{ D}$  (εύρος  $-0.75$  έως  $-7.00 \text{ D}$ ).

### **Πειραματική διαδικασία**

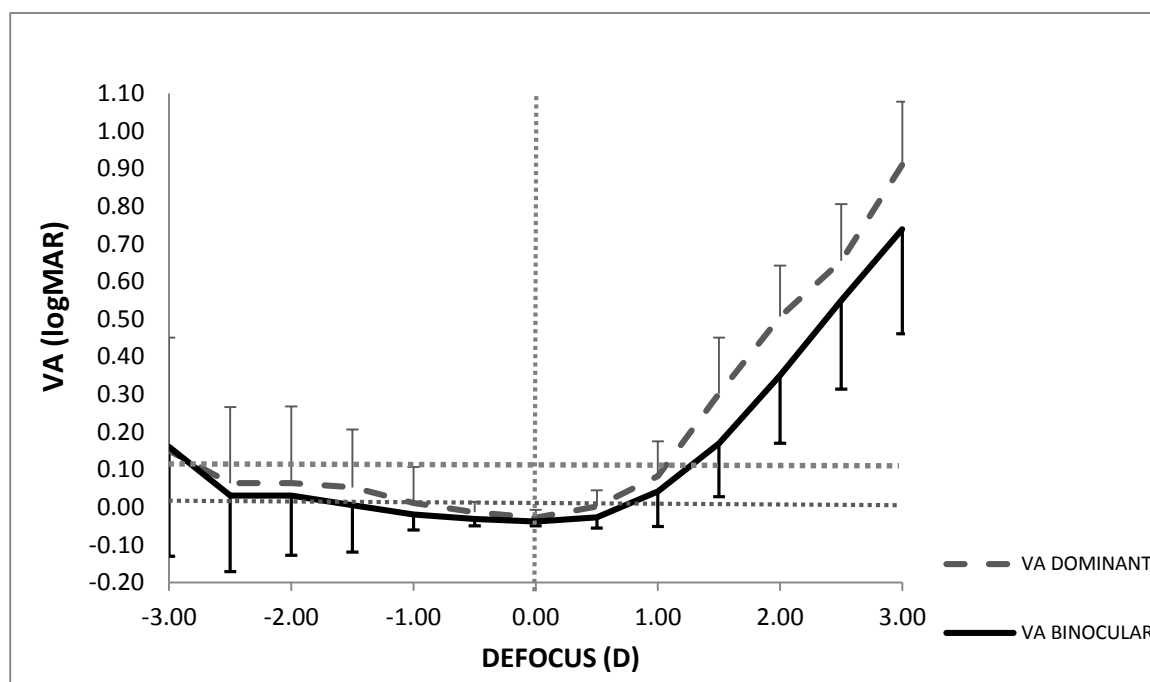
Η οπτική οξύτητα υπολογίστηκε για ένα εύρος επιπέδων αφεστίασης χρησιμοποιώντας αρνητικούς και θετικούς σφαιρικούς οφθαλμικούς φακούς (από  $+3.00 \text{ D}$  έως  $-3.00 \text{ D}$ , με βήμα  $0.50 \text{ D}$ ), οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σκελετό στην απόσταση των 13 mm. Τα υποκείμενα έφεραν τη βέλτιστη σφαιροκυλινδρική διόρθωση για μακριά. Το εύρος των αρνητικών φακών ( $0.00 - 3.00 \text{ D}$ ) χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση της συμπεριφοράς του οπτικού συστήματος σε ένα πλήθος μακρινών αποστάσεων. Οι θετικοί φακοί χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των αλλαγών της οπτικής οξύτητας στην έτερη πλευρά του τρόπου αφεστίασης. Δεν υπήρξε κανένας συμβιβασμός όσον αφορά τη μεγέθυνση που προκαλούν οι φακοί οράσεως, καθώς η επίδραση αυτής είναι σχετικά μικρή στους φακούς οράσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη θόλωση. Στη χειρίστη περίπτωση όπου το υποκείμενο παρουσιάζει υψηλή μυωπία και την μέγιστη επιπρόσθετη δύναμη των  $3.00 \text{ D}$  (defocus), η μεγέθυνση που προκαλείται είναι της τάξης του 0.9 X.

Η οπτική οξύτητα καταγράφηκε με τη βέλτιστη σφαιροκυλινδρική διόρθωση με τη χρήση μίας τεχνητής κόρης με διάμετρο 3 mm, αρχικά μονόφθαλμα (κυρίαρχος

οφθαλμός) και κατόπιν δίοφθαλμα. Η κατάσταση προβολής (μονόφθαλμα-δίοφθαλμα) αντισταθμίστηκε. Η οπτική οξύτητα καταγράφηκε με τη χρήση του οπτότυπου Snellen. Ο κυρίαρχος οφθαλμός προσδιορίστηκε καλώντας το υποκείμενο να παρατηρήσει μέσω μίας οπής, που δημιουργείται από την έκταση των δύο τεταμένων του χεριών, προσηλώνοντας σε ένα μακρινό στόχο. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ο μη κυρίαρχος οφθαλμός ήταν καλυμμένος. Ζητήθηκε από όλα τα υποκείμενα να αναγνωρίσουν τον κάθε αριθμό ξεχωριστά και να προχωρήσουν μέχρι τη σειρά όπου δεν μπορούν να κατονομάσουν ορθά τουλάχιστον έναν από τους πέντε αριθμούς. Καθοδηγήθηκαν να διαβάζουν αργά και να «μαντεύουν» τους αριθμούς όταν δεν ήταν απολύτως σίγουροι.

### Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 1. παρουσιάζεται το μέσο εύρος προσαρμογής- βάθος πεδίου μέσω των καμπύλων αφεστίασης (defocus curves) στις πειραματικές συνθήκες που προαναφέρθηκαν. Απεικονίζεται λοιπόν, η μέση οπτική οξύτητα κατά την εφαρμογή της προοδευτικά αυξανόμενης επιπρόσθετης διοπτρικής δύναμης με τη χρήση τεχνητής κόρης που έφερε διάμετρο ίση με 3 mm κατά τη μονόφθαλμη και τη δίοφθαλμη παρατήρηση.



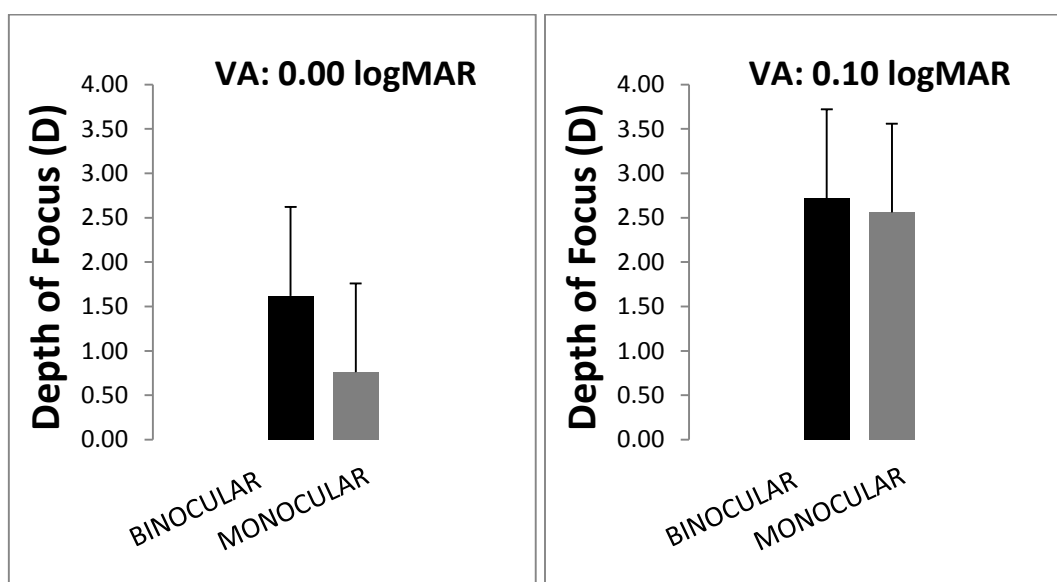
Σχήμα 2: Απεικονίζεται η μέση οπτική οξύτητα (σε logMAR) σε σχέση με το επιπρόσθετο defocus κατά τη μονόφθαλμη (κυρίαρχος οφθαλμός) και δίοφθαλμη παρατήρηση με τη χρήση τεχνητής κόρης των 6 mm. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στα δύο κριτήρια ικανοποιητικής όρασης (τα 0.00 logMAR αντιστοιχούν σε 6/6 κατά Snellen, τα 0.10 logMAR αντιστοιχούν σε 6/7.5 κατά Snellen) τα οποία τέθηκαν κατά τον υπολογισμό του βάθους πεδίου.

Μέσω των γραφημάτων που απεικονίζουν την οπτική οξύτητα του κάθε εξεταζόμενου, με την εφαρμογή μίας πολυωνυμικής συνάρτησης 2ας τάξης σε κάθε ένα από αυτά και

ανάλογα με το κριτήριο της ικανοποιητικής όρασης που ορίζεται, είναι δυνατός ο υπολογισμός του βάθους πεδίου σε κάθε περίπτωση μέτρησης.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της μονόφθαλμης παρατήρησης με τα 3 mm τεχνητής κόρης, αν θεωρήσουμε ότι η ικανοποιητική όραση αντιστοιχεί σε 0.00 logMAR (10/10) οπτικής οξύτητας, λύνοντας τις πολυωνμικές εξισώσεις που περιγράφουν τη βέλτιστη εφαρμογή της εκάστοτε καμπύλης για  $y = 0.00$  logMAR, προκύπτει ότι ο μέσος όρος του βάθους πεδίου ισούται με  $0.76 D \pm 0.29 D$ . Ομοίως, θέτοντας ως κριτήριο ικανοποιητικής όρασης τα 0.10 logMAR (8/10) οπτικής οξύτητας, το μέσο βάθος πεδίου που προκύπτει ισούται με  $2.56 D \pm 0.73 D$ .

Με όμοιο τρόπο υπολογίζεται το μέγεθος του μέσου βάθους πεδίου κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση με τη χρήση τεχνητής κόρης των 3 mm. Έτσι λοιπόν με κριτήριο ικανοποιητικής όρασης 0.00 logMAR, το βάθος πεδίου φαίνεται ότι ισούται με  $1.62 D \pm 0.25 D$ , ενώ με κριτήριο τα 0.10 logMAR, το βάθος πεδίου επεκτείνεται και αγγίζει τις  $2.72 D \pm 0.76 D$ .



Σχήμα 3. Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του βάθους πεδίου κατά τη μονόφθαλμη και διόφθαλμη παρατήρηση με κριτήριο ικανοποιητικής οπτικής οξύτητας τα 0.00 logMAR (10/10) και 0.10 logMAR (8/10).

### Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη απεικονίζει την ανοχή του οπτικού συστήματος στη θόλωση εκφρασμένη σε βάθος προσαρμογής. Παρατηρείται ότι είναι πιο σθεναρή κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση σε σχέση με τη μονόφθαλμη. Επιπλέον, η βαρύτητα της θόλωσης που επιτυγχάνεται με τη χρήση θετικών οφθαλμικών φακών οράσεως είναι εντονότερη από τη θόλωση που προκύπτει με τη χρήση αρνητικών οφθαλμικών φακών με αποτέλεσμα η καμπύλη αφεστίασης (defocus curve) (Σχήμα 2) να φαίνεται μετατοπισμένη προς τις αρνητικές τιμές της θόλωσης, τόσο κατά τη μονόφθαλμη όσο και κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση.

Έχει πρόσφατα αναφερθεί ότι η οπτική αντίληψη των αφεστιασμένων εικόνων-στόχων κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση βελτιώνεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από

την αντίληψη των εστιασμένων εικόνων-στόχων (Σχήμα 2, Σχήμα 3). Η παραπάνω βελτίωση κατά τη διόφθαλμη παρατήρηση δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί με τη χρήση αμιγώς αντικειμενικών και υπολογιστικών τεχνικών για τη προσομοίωση της ποιότητας του αμφιβληστροειδικού ειδώλου.

Στην παρούσα μελέτη δεν πραγματοποιήθηκε καμία προσπάθεια για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων της προσαρμογής. Ένα φαινόμενο είναι η βελτίωση της οπτικής απόδοσης με το πέρας κάποιου χρονικού διαστήματος (blur adaptation). Η λειτουργία αυτή πιστεύεται ότι πραγματοποιείται στο επίπεδο του οπτικού φλοιού 12. Αρκετοί συγγραφείς έχουν αποδείξει τη βελτίωση στην οπτική οξύτητα/ ευαισθησία μετά από ορισμένο χρόνο υπό θόλωση 12- 14. Οι Wang και Ciuffreda 15 υποστηρίζουν ότι το βάθος πεδίου βελτιώνεται σημαντικά μετά από ένα χρονικό διάστημα προσαρμογής, ενώ οι Jung και Kline 16 υποστηρίζουν ότι η ικανότητα του παρατηρητή στην αναγνώριση ενός θολού κειμένου σχετίζεται όχι μόνο με την ηλικία αλλά και με την εμπειρία που προκύπτει από τη νευρολογική αντιστάθμιση του θολού ειδώλου. Ωστόσο, οι νευρο-προσαρμοστικές αποκρίσεις δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς για την αντίληψη των εμπλεκόμενων μηχανισμών. Έρευνα υποστηρίζει ότι οι νευρικές αποκρίσεις που διέπουν την προσαρμογή δεν επηρεάζονται από τη γήρανση του οπτικού συστήματος.<sup>17</sup>

## Βιβλιογραφία

1. Helmholtz HV. Handbuch der Physiologischen Optik. Volume 1, 1856.
2. Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung CK. The linearity of proximally induced accommodation and vergence. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 1991; 32:1985-91.
3. Hung CK, Ciuffreda KJ, Rosenfield M. Proximal contribution to a linear static model of accommodation and vergence. *Ophthalmic and Physiol Optics* 1996;16: 31-41.
4. McLin LN, Jr., Schor CM, Kruger PB. Changing size (looming) as a stimulus accommodation and vergence. *Vision Res* 1988; 28: 883-98.
5. Koh LH, Charman WN. Accommodative responses to anisoaccommodative targets. *Ophthalmic and Physiol Optics* 1988; 18: 254-62.
6. Toates FM. Accommodation Function of Human Eye. *Physiol Reviews*. 1972; 52: 828-63.
7. Campbell FW, Westheimer G. Dynamics of accommodation responses of the human eye. *J. Physiol* 1960; 151: 285-95.
8. Charman WN. The retinal image in the human eye. *Progress in Retinal and Eye Res* 1983; 2:1-50.
9. Stone D, Mathews S, Kruger PB. Accommodation and chromatic aberration – Effect of spatial- frequency. *Ophthalmic and Physiol Optics* 1993; 13: 244-52.
10. Campbell FW, Westheimer G. Factors influencing accommodation responses of the human eye. *J. Opt Soc Am* 1959; 49: 568- 71.
11. Wilson BJ, Decker KE, Roorda A. Monochromatic aberrations provide an odd-error cue to focus direction. *Journal of the Optical Society of America A. Optics, Image Science, and Vision* 2002; 19: 833-9.
12. Mon-Williams M, Tresilian JR, Strang NC, Kochhar P & Wann JP. Improving vision: neural compensation for optical defocus. *Proc Biol Sci* 1998; 265: 71–77.
13. Cufflin MP, Mankowska A & Mallen EA. Effect of blur adaptation on blur sensitivity and discrimination in emmetropes and myopes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007; 48: 2932–2939.

14. George S & Rosenfield M. Blur adaptation and myopia. *Optom Vis Sci* 2004; 81: 543–547.
15. Wang B & Ciuffreda KJ. Foveal blur discrimination of the human eye. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005; 25: 45–51.
16. Jung GH & Kline DW. Resolution of blur in the older eye: neural compensation in addition to optics? *J Vis* 2010; 10: 7.
17. Elliott SL, Hardy JL, Webster MA & Werner JS. Aging and blur adaptation. *J Vis* 2007; 7: 8. 50