



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ



«Μυωπία: prevalence, origins and controlling its progression»

Σαϊτάκης Γεώργιος

Απόφοιτος Τμήματος Ιατρικής

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ

Παλλήκαρης Ιωάννης, Καθ. Οφθαλμολογίας
Τσιλιμπάρης Μιλτιάδης, Αν. Καθ. Οφθαλμολογίας
Πλαΐνης Σωτήρης, PhD Οπτομέτρης

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Παλλήκαρης Ιωάννης, Καθ. Οφθαλμολογίας
Τσιλιμπάρης Μιλτιάδης, Αν. Καθ. Οφθαλμολογίας
Κυμιωνής Γεώργιος, Επίκ. Καθ. Οφθαλμολογίας

Ιούνιος 2014

*Στον σεβαστό μου καθηγητή,
ξεχωριστό άνθρωπο,
κορυφαίο και πρωτοπόρο επιστήμονα,
κο Ιωάννη Παλλήκαρη*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράστασή της κατά την προσπάθεια μου να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή εργασία.

Ευχαριστώ θερμά την Τριμελή Επιτροπή Επίβλεψης για την πολύτιμη συνεισφορά της στην υλοποίηση της εργασίας μου. Ξεχωριστά ευχαριστώ τον ερευνητή κ. Πλαΐνη για τη συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας. Θα ήθελα, ακόμα, να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Οπτική και Όραση» για τα πολύτιμα γνωσιακά εφόδια που μου προσέφεραν. Επίσης, ευχαριστώ τη Γραμματεία του Μ.Π.Σ και ειδικότερα την κα Δουκουμετζίδου για τη διαρκή και έγκαιρη ενημέρωση.

Το πιο μεγάλο ευχαριστώ, μαζί με τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου, θα ήθελα να απευθύνω στον καθηγητή Οφθαλμολογίας, Πρύτανη του Πανεπιστημίου Κρήτης, κο Ιωάννη Παλλήκαρη, ο οποίος αποτελεί για μένα τον επιστημονικό «φάρο» στο υπέροχο ταξίδι μου στον κόσμο της Οφθαλμολογίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A) ΜΕΡΟΣ:

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1.ΕΜΜΕΤΡΩΠΟΙΗΣΗ.....	7
2.ΜΥΩΠΙΑ.....	18
2.1.ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΣ – ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΑ – ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	19
2.2.ΜΥΩΠΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	..30
2.3. ΜΥΩΠΙΚΗ ΑΙΤΙΟΠΑΘΟΓΕΝΕΙΑ.....	32

B) ΜΕΡΟΣ:

1.ΣΧΗΜΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ-ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ.....	61
1.1.ΚΩΝΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ.....	.61
1.2.ΤΟΜΕΣ, ΑΞΟΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ.....	63
1.3.ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	65
1.4.ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	70
1.5.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	71

2.ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	78
2.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	78
2.2.ΛΟΓΟΙ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	86
2.3.ΑΦΕΣΤΙΑΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	107
2.4.ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ: ΠΙΘΑΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ.....	109
2.5.ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ RPPE ΣΕ ,ΑΡΧΙΚΩΣ, ΑΞΟΝΙΚΑ ΕΜΜΕΤΡΩΠΙΚΟ ΟΦΘΑΛΜΟ.....	113
2.6.Η ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΥΠΕΡΜΕΤΡΩΠΙΑ ΩΣ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΟ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	115
2.7.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΕ ΠΡΟΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΑΜΕΤΡΩΠΙΑ.....	117
2.8.Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	122
2.9.ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΦΕΣΤΙΑΣΗΣ.....	130
2.10.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	142
2.11.ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΥ.....	145
2.12.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.....	146
2.13.ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΜΥΤΤΙ (2011).....	147
3.ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	156
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	158

Ημυωπία αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά 2.300 χρόνια πριν από τον Αριστοτέλη. Η ετυμολογική ανάλυση της αρχαίας ελληνικής λέξης μύωψ :<<μύω>> (= συστέλλω, κλείνω τα μάτια) + η <<ωψ>>. (= οφθαλμός, βλέμμα) ερμηνεύει την αδυναμία του μύωπα να διακρίνει ευκρινώς τα μακρινά αντικείμενα με επακόλουθο το ελαφρύ κλείσιμο των ματιών (αποβλέποντας στην βελτίωση της εστίασης μέσω της αύξησης του βάθους πεδίου). Αιτία αποτελεί η αποτυχία του οπτικού συστήματος του μη προσαρμόζοντος οφθαλμού, να εστιάσει τις παράλληλες εισερχόμενες ακτίνες φωτός στον αμφιβληστροειδή (fovea) , αλλά, αντιθέτως, εστιάζει τις ακτίνες σε κάποιο σημείο εμπροσθεν αυτού.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Ένα διαθλαστικό σφάλμα παρουσιάζεται, όταν το αξονικό μήκος του οφθαλμού δεν ταυτίζεται με το εστιακό επίπεδο, το οποίο διαμορφώνεται από τον κερατοειδή, τον κρυσταλλοειδή φακό και τον πρόσθιο θάλαμο. Εάν το αξονικό μήκος είναι μικρό, οι φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς βρίσκονται μπροστά από το εστιακό επίπεδο και ο οφθαλμός καθίσταται υπερμετρωπικός. Αντιστρόφως, εάν το αξονικό μήκος τοποθετεί τον αμφιβληστροειδή οπισθίως του εστιακού επιπέδου, οι εισερχόμενες παράλληλες ακτίνες φωτός εστιάζονται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή και ο οφθαλμός καθίσταται μυωπικός. Επομένως, αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι η συσχέτιση μεταξύ του αξονικού μήκους και του εστιακού επιπέδου, και σε μικρότερο βαθμό ξεχωριστά οι λεπτομέρειες του καθενός. Η ύπαρξη ενός ήπιου έως μετρίου υπερμετρωπικού σφάλματος δύναται να υπερνικηθεί από την διαδικασία της προσαρμογής κατά την νεανική και την πρώιμη ενήλικη ζωή, έχοντας σαν αποτέλεσμα μέτριοι βαθμοί υπερμετρωπίας να μην γίνονται οπτικά αντιληπτοί έως την εμφάνιση της πρεσβυωπίας κατά την μέση ενήλικη ζωή. Τα παιδιά διαθέτουν ακόμα μεγαλύτερη ισχύ εξουδετέρωσης της υπερμετρωπίας. Αντιθέτως, η ύπαρξη μυωπικής διαταραχής οδηγεί σε θόλωση της μακρινής όρασης σε όλες τις ηλικίες, καθώς η ενεργοποίηση της προσαρμογής είναι μόνο σε θέση να αυξήσει περαιτέρω την συνολική διαθλαστική ισχύ του οπτικού συστήματος.

1.1.ΕΜΜΕΤΡΩΠΟΙΗΣΗ

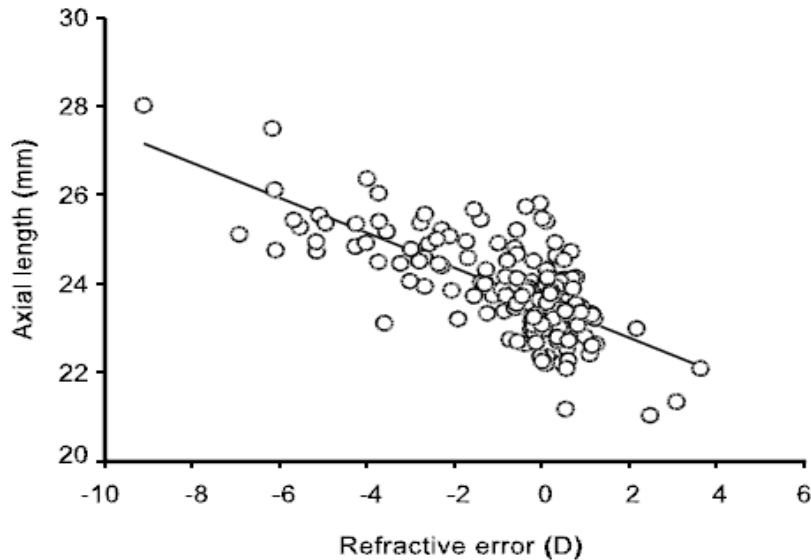
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

Απαραίτητο στοιχείο για την κατανόηση της μυωπικής διαταραχής αποτελεί η αποσαφήνιση της φυσιολογικής διαδικασίας ανάπτυξης του οφθαλμού, δηλαδή του μηχανισμού της Εμμετροποίησης. Ο μηχανισμός αυτός, <<αξιοποιώντας>> τα οπτικά σήματα προσαρμόζει το Αξονικό Μήκος του οφθαλμού (AxialLength), έτσι ώστε το Εστιακό Επίπεδο (FocalPlane-μετρούμενο από την επιφάνεια του κερατοειδούς), να βρίσκεται πάνω στον αμφιβληστροειδή και να παραμένει εκεί, επιτυγχάνοντας την μέγιστη ευκρίνεια της εικόνας.¹ Μία υπερμετρωπική διαθλαστική κατάσταση αποτελεί ερέθισμα για την αύξηση του ρυθμού αξονικής επιμήκυνσης, σύμφωνα με την ακόλουθη δράση του εμμετρωπικού μηχανισμού: Σε έναν υπερμετρωπικό οφθαλμό, ο αμφιβληστροειδής βρίσκεται μπροστά από το εστιακό επίπεδο, εγγύτερα σε σχέση με αυτό προς τον κερατοειδή. Ο αμφιβληστροειδής ανιχνεύει την υπερμετρωπία και δημιουργεί μία αύξηση του ρυθμού αξονικής επιμήκυνσης του αναπτυσσόμενου οφθαλμού, μεταβάλλοντας τις βιοχημικές και τις βιομηχανικές ιδιότητες του Σκληρού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μετακίνηση του αμφιβληστροειδούς προς το εστιακό επίπεδο ο αμφιβληστροειδής, ούτως ώστε να επέλθει εξουδετέρωση της υπερμετρωπίας.^{2,3} Αντιστρόφως, σε νεαρά ζώα και ανθρώπους, μία μυωπική διαθλαστική κατάσταση, οδηγεί σε επιβράδυνση της αξονικής επιμήκυνσης κατά την ανάπτυξη του οφθαλμού με την δράση της εμμετροποιητικής διαδικασίας. Δηλαδή καθώς τα οπτικά στοιχεία του οφθαλμού ωριμάζουν, επέρχεται επιπέδωση του κερατοειδούς, αύξηση του βάθους του προσθίου θαλάμου και μείωση της ισχύος του κρυσταλλοειδούς φακού. Μειώνεται, επομένως, η διαθλαστική δύναμη του οπτικού συστήματος, με αποτέλεσμα το εστιακό επίπεδο να απομακρύνεται ολοένα και περισσότερο από τον κερατοειδή και να προλαβαίνει τον <<προπορευόμενο >> αμφιβληστροειδή. Πρέπει να τονιστεί ότι οι μεταβολές του αξονικού μήκους που υπαγορεύονται από τον μηχανισμό της εμμετροποίησης αποτελούν τροποποιήσεις της φυσιολογικής μεταγεννητικής εξέλιξης του οφθαλμού και όχι διακοπή ή εκκίνηση της φυσικής αναπτυξιακής διαδικασίας. Η εμμετροποιητική διαδικασία ανευρίσκεται σε μία πλειάδα ετερόκλητων ειδών του έμβιου κόσμου, από τα ψάρια έως τους πιθήκους macaque, γεγονός που καθιστά βέβαιη την παρουσία αυτού του θεμελιώδους μηχανισμού ευκρινούς όρασης και επιβίωσης στο ανθρώπινο γένος.^{4,5}

Η συντονισμένη ανάπτυξη των διαθλαστικών συστατικών προς την εμμετροποίηση αποτελεί μία ενεργητική διαδικασία η οποία μεταβάλλεται από τα οπτικά βιώματα. Το αξονικό μήκος του οφθαλμού και το εστιακό επίπεδο απαρτίζουν τους θεμελιώδεις πυλώνες της εμμετροποιητικής διαδικασίας.

ΑΞΟΝΙΚΟ ΜΗΚΟΣ

Το αξονικό μήκος αποτελεί την πρωταρχική δομική συνιστώσα της εμμετροποιητικής διαδικασίας. Οι αλλαγές του είναι αποφασιστικές στον προσδιορισμό της αρχιτεκτονικής του οφθαλμικού βολβού και η μυωπία απορρέει από την ανεπάρκεια του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού να εξισορροπήσουν την αξονική επιμήκυνση. Οι αντισταθμιστικές μεταβολές στην διαθλαστική ισχύ του κρυσταλλοειδούς φακού είναι τριπλάσιες από αυτές του κερατοειδούς και τα δύο αυτά μονοπάτια ακολουθούν τις αλλαγές του αξονικού μήκους. Απόδειξη της θεμελιώδους επίδρασης του αξονικού μήκους στον εμμετροποιητικό μηχανισμό, αποτελεί η στατιστικά σημαντική συσχέτισή του με το διαθλαστικό σφάλμα σε μία πλειάδα μελετών. Ενδεικτική είναι η εικόνα 1, η οποία αντιστοιχεί σε νεαρούς ενήλικες πανεπιστημιακούς φοιτητές και απεικονίζει την αξονική φύση της μυωπικής μετατόπισης.⁶ Κατά τη γέννηση το αξονικό μήκος είναι ευρέως κατανομημένο^{7,8} και δεν παρουσιάζει στενή σύνδεση με την διαθλαστική κατάσταση, η οποία με την σειρά της κατά την έναρξη της ζωής εμφανίζει, επίσης, μεγάλο εύρος, ανάλογο με αυτό των στοιχείων που την προσδιορίζουν, δηλαδή την ισχύ του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού.⁹⁻¹¹ Άρα έχει ισχύς η θεωρία που υποστηρίζει ένα γενετικό καθορισμό του αξονικού μήκους κατά τη γέννηση. Αποτελεί δηλαδή το αξονικό μήκος κατά την έναρξη της ζωής το <<προϊόν>> αλληλεπίδρασης ενός πλήθους γονιδίων. Κατά την αναπτυξιακή διεργασία ο Σκληρός Χιτώνας του οφθαλμού καθορίζει την θέση του αμφιβληστροειδούς και το αξονικό μήκος. Επομένως, οι γενετικοί παράγοντες οι οποίοι εμπλέκονται στον προσδιορισμό του αξονικού μήκους και καθοδηγούν την ανάπτυξη του κατά την νεογνική και κατά την νεανική ηλικία, περιλαμβάνουν αυτούς που ελέγχουν την φυσιολογία του Σκληρού: την κυτταρική διαίρεση των ινοβλαστών του Σκληρού, την ποσότητα του κολλαγόνου που παράγεται από τους ινοβλάστες, καθώς και την σύνθεση των πολλών άλλων συστατικών του, όπως οι γλυκοζαμινογλυκάνες και οι διαμεσολαβούμενες από την ιντεγκρίνη κυτταρικές προσκολλήσεις.¹



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΣΤΟ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ⁶

Το διάγραμμα αναπαριστά την στατιστικά σημαντική εξάρτηση της διαθλαστικής κατάστασης από το αξονικό μήκος ($P < 0,001$) σε έναν πανεπιστημιακό πληθυσμό ηλικίας 17-35 ετών. Καθίσταται σαφής η μυωπική μετατόπιση με την αύξηση του αξονικού μήκους ($y = 0,4x + 23,59$). Το μέσο αξονικό μήκος ήταν 23,88 mm και προσδιορίστηκε με το ZeissIOLMaster. Το μέσο διαθλαστικό σφάλμα κυμάνθηκε σε -0,76 D, αποδοτέο στα χαρακτηριστικά του μελετώμενου πληθυσμού (ηλικία, μόρφωση). Τέλος, διακρίνεται ανάλογη αξονική φύση και για την υπερμετρωπία.

Η μέτρηση του επιμήκους αξονικού μήκους αποτελεί τον καίριο δείκτη των δομικών αλλαγών της μυωπίας και παραμένει αναλλοίωτος ο ρόλος του παρά την πρόοδο στην απεικόνιση του προσθίου ημιμορίου (ψηφιακές τεχνολογίες) και τις δυνατότητες ανάλυσης του μετώπου κύματος. Ο προσδιορισμός του αξονικού μήκους καθίσταται εφικτός χάριν σε διαθέσιμα μηχανήματα, όπως το ZeissIOLMaster. Αρχικά, σχεδιάστηκε για να υπολογίζει με ακρίβεια την διαθλαστική δύναμη του απαιτούμενου ενδοφθάλμιου φακού που επρόκειτο να εισαχθεί μετά την πραγματοποίηση της επέμβασης αφαίρεσης του καταρρακτικού κρυσταλλοειδούς φακού. Εντός του οφθαλμού κάνει χρήση δείκτη διάθλασης 1,3549. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ιντερφερομετρία συνοχής (partial coherent interferometry), διαφοροποιώντας το από την παραδοσιακή αρχή των υπερήχων. Παρέχει υψηλή ανάλυση των οφθαλμικών βιομετρικών χαρακτηριστικών του αξονικού μήκους, του βάθους του προσθίου θαλάμου (με την χρήση μίας οπτικής μεθόδου), και της ακτίνας καμπυλότητας του κερατοειδούς. Το αξονικό μήκος και οι διαστάσεις που προσμετρούνται με το IOLMaster είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που προσδιορίζονται με την υπερηχογραφία. Δεν δύναται να υπολογίσει το πάχος του κρυσταλλοειδούς φακού, και κατ'επέκταση το βάθος του υαλοειδούς θαλάμου, διαθέτει, όμως, αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα. Παρέχει ικανή διοπτρική ανάλυση περίπου 0,03 D, δηλαδή ανάλυση μία τάξη μεγέθους ανώτερη των 10Hz του υπερήχου. Αποτελεί, επιπροσθέτως, μηχανήμα απεικόνισης που δεν απαιτεί επαφή με τον οφθαλμό.

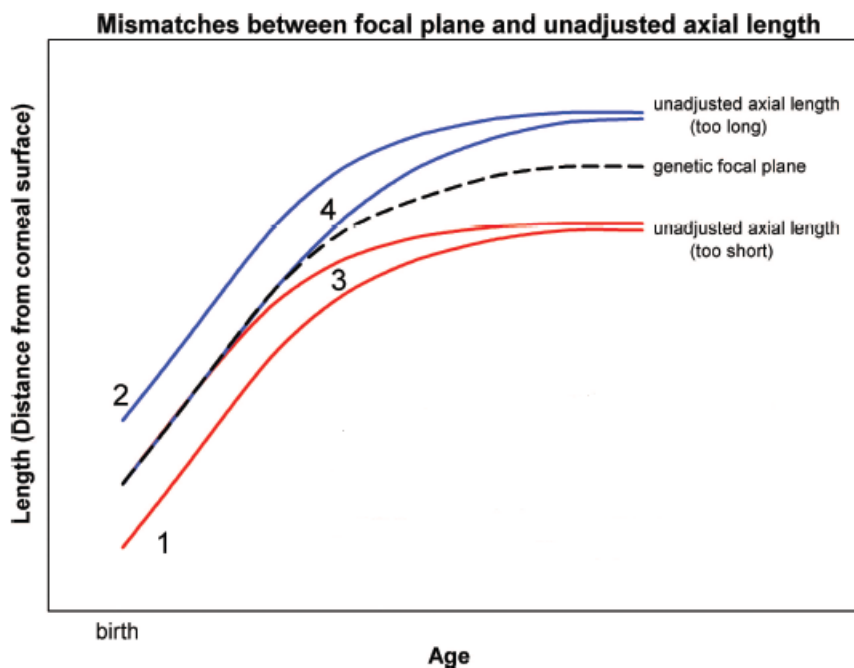
Ξεπερνά με αυτόν τον τρόπο την ανάγκη αναισθητοποίησης του κερατοειδούς και απολύμανσης του μηχανήματος πριν από την εξέταση. Περιορίζει, επίσης, τον πιθανό κίνδυνο μολύνσεων, καθώς και το κόστος που θα προέκυπτε από τα μίας χρήσεως απορριπτά αναλώσιμα.¹² Το νεώτερο Haag-Streit Lenstar παρέχει ,επιπροσθέτως, και τα εσωτερικά μήκη.⁶

ΕΣΤΙΑΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Το εστιακό επίπεδο αποτελεί μία συνιστώσα γενετικά καθοδηγούμενη κατά τη γέννηση και σε ολόκληρη την παιδική ηλικία. Έχει αποδειχθεί ότι οι παράμετροι της διοπτρικής ισχύος του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού καθώς και του βάθος του προσθίου θαλάμου οι οποίοι καθορίζουν την θέση του εστιακού επιπέδου, κληρονομούνται ως ποσοτικά χαρακτηριστικά ,ελεγχόμενα από μεγάλο αριθμό γονιδίων (όπως και οι άλλες διαστάσεις του σώματος)^{13,14}. Τα γονίδια αυτά καθορίζουν την παραγωγή των δομικών πρωτεϊνών , των παραγόντων αύξησης και των ενζύμων που διαμορφώνουν ένα δεδομένο εστιακό επίπεδο κατά την γέννηση και είναι τα ίδια γονίδια που κατευθύνουν τις μεταγεννητικές αλλαγές του. Το εστιακό επίπεδο επηρεάζεται από το φύλο. Οι άρρενες έχουν πιο επίπεδους κερατοειδής και λιγότερο ισχυρούς κρυσταλλοειδής φακούς σε σύγκριση με τα θήλεα,επομένως,ασθενέστερη διοπτρική δύναμη του οπτικού τους συστήματος.^{15,16} Αυτό έχει ως επακόλουθο ένα εστιακό επίπεδο σε μεγαλύτερη απόσταση από τον κερατοειδή(μετατοπισμένο <<βαθύτερα>> στον οφθαλμό). Σε αντίθεση με τον αποδεδειγμένο γενετικό έλεγχο, δεν υπάρχουν στοιχεία για ανάλογη περιβαλλοντική επίδραση στην διαμόρφωση του εστιακού επιπέδου.¹

Κατά την πρώιμη μεταγεννητική περίοδο της ανάπτυξης, καθώς και κατά την βραδύτερη νεανική περίοδο αύξησης , το εστιακό επίπεδο απομακρύνεται από τον κερατοειδή, αφού , όπως έχει γίνει ήδη μνεία, ο κερατοειδής καθίσταται λιγότερο κυρτός και η ισχύς του κρυσταλλοειδούς φακού μειώνεται.¹⁷⁻¹⁹ Η διοπτρική ισχύς του κερατοειδούς φτάνει σε νεότερη ηλικία τα επίπεδα περίπου της ενήλικης ζωής ,συγκριτικά με την ηλικία ταύτισης της ισχύος του κρυσταλλοειδούς φακού με αυτήν των ενηλίκων.¹⁶ Αυτό έχει ως επακόλουθο μόνο μία μικρή μείωση της διοπτρικής ισχύος του κερατοειδούς, της τάξεως των 0,4 D , να λαμβάνει χώρα μεταξύ 6-14 ετών. Κατά την ίδια περίοδο 6-14 ετών ,αντίθετα, ο κρυσταλλοειδής φακός παρουσιάζει μία μείωση ισχύος της τάξης των 2,5 D, ενώ το βάθος του προσθίου θαλάμου εμφανίζει ελαφριά αύξηση. Όσον αφορά ,λοιπόν ,την ξεκάθαρη οπίσθια μετατόπιση του εστιακού επιπέδου με τον χρόνο, είναι ταχύτερη κατά την νηπιακή ηλικία και βραδύτερη μεταγενέστερα.¹

Αν και το αξονικό μήκος αυξάνεται μετά την γέννηση και το εστιακό επίπεδο αντιστοίχως μετατοπίζεται στην ροή του χρόνου, δεν υπάρχουν ενδείξεις που να υποδεικνύουν ότι οι δύο λειτουργίες εξελίσσονται παράλληλα κατά την αναπτυξιακή διαδικασία, όπως άλλωστε και τα διαφορετικά τμήματα και χαρακτηριστικά του σώματος επιδεικνύουν διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το σχήμα της εικόνας 2, όπου απεικονίζεται η υποθετική μεταγεννητική εξέλιξη του εστιακού επιπέδου στο πέρασ του χρόνου και 4 πιθανά μοντέλα ανάπτυξης του γενετικά καθοδηγούμενου αξονικού μήκους. Στην περίπτωση <<1>> και <<2>> η καμπύλη εξέλιξης εστιακού επιπέδου και αξονικού μήκους μπορεί να είναι παράλληλες, όμως, εν απουσία ενός εμμετροποιητικού μηχανισμού για την κατάλληλη κάθε φορά αντιστάθμιση του ρυθμού αξονικής επιμήκυνσης, ένα υπερμετρικό(<<1>>) ή ένα μυωπικό(<<2>>) σφάλμα κατά την γέννηση, θα διατηρείτο κατά την νηπιακή και παιδική ηλικία. Αντιστοίχως, εάν κατά την γέννηση παρατηρείτο ταύτιση του αξονικού μήκους με το εστιακό επίπεδο(περιπτώσεις <<3>> και <<4>>), αυτή η αρχική ταύτιση θα ήταν δυνατόν να αποκλίνει στη ροή του χρόνου είτε στην κατεύθυνση της μυωπίας(επιτάχυνση αξονικής αύξησης-<<4>>), είτε σε αυτήν την υπερμετρική (επιβράδυνση αξονικής ανάπτυξης-<<3>>), ως απότοκος της καθοδηγούμενης γενετικής επίδρασης ελλείψει εμμετροποιητικού μηχανισμού για την διατήρηση της σύζευξης.¹ Διαπιστώνεται, δηλαδή ότι η εμμετροποιητική διαδικασία αποτελεί την συνεκτική <<κόλλα>> για την ταύτιση εστιακού επιπέδου-αξονικού μήκους, απουσία της οποίας λαμβάνουν χώρα κατά την εξέλιξη της ζωής για καθένα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά οι γονιδιακά επιβαλλόμενες τροποποιήσεις. Η έλλειψη δεδομένων για την αμιγή επίδραση των γενετικών παραγόντων στο αξονικό μήκος, οφείλεται στην τροποποίηση της επίδρασης τους από τον οπτικά καθοδηγούμενο μηχανισμό της εμμετροποίησης. Για την επίτευξη και την διατήρηση μηδαμινού διαθλαστικού σφάλματος, ο παραπάνω μηχανισμός προσαρμόζει το αξονικό ρυθμό επιμήκυνσης του αναπτυσσόμενου οφθαλμού κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μετακινήσει τους φωτοϋποδοχείς στο εστιακό επίπεδο και να τους διατηρήσει εκεί, καθώς το εστιακό επίπεδο συνεχίζει να αλλάζει με την πάροδο του χρόνου να μετατοπιζόμενο περαιτέρω από τον κερατοειδή.



ΕΙΚΟΝΑ 2:ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΣΥΖΕΥΞΗ-ΑΠΟΣΥΖΕΥΞΗΑΞΟΝΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΣΤΙΑΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ¹

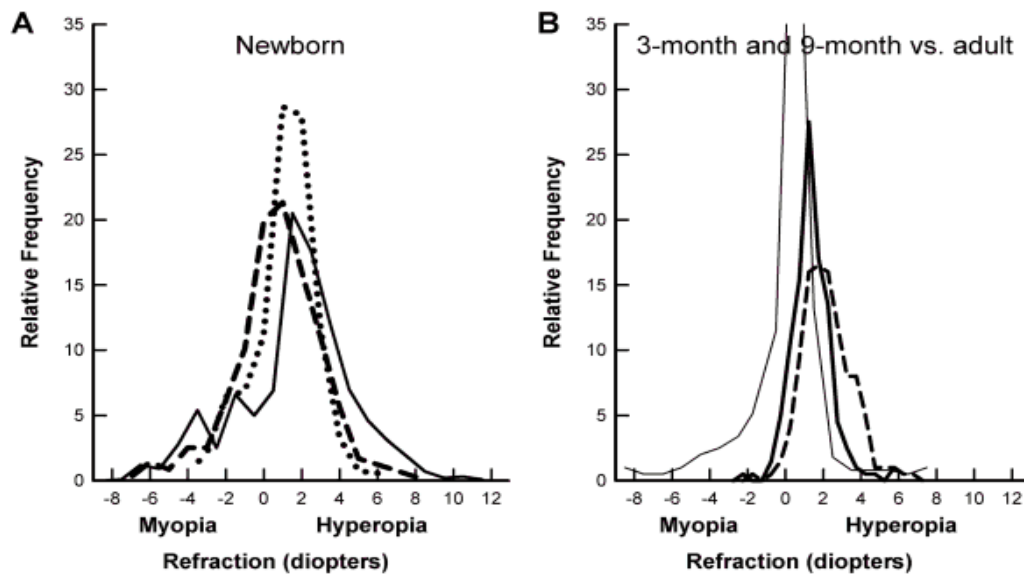
Το διάγραμμα περιγράφει την ενδεχόμενη μεταγεννητική εξέλιξη της ταύτισης του γενετικά καθοδηγούμενου εστιακού επιπέδου με το αξονικό μήκος, σε ορισμένα μοτίβα ανάπτυξης εν απουσία εμμετρωποιητικού μηχανισμού. Τονίζεται από τις παρατηρούμενες αποκλίσεις με αυτόν τον τρόπο και η ίδια η αναγκαιότητα ύπαρξης διαδικασίας αναγνώρισης και αποτελεσματικής ανταπόκρισης στην αποσύζευξη εστιακού επιπέδου-αξονικού μήκους στην μεταγεννητική ζωή (εμμετρωποίηση). Η διαθλαστική αποσαφήνιση των καμπυλών του σχήματος είναι η ακόλουθη: 1. Υπερμετρωπία κατά την γέννηση και μετέπειτα παραμονή της, 2. Μυωπία κατά την γέννηση με διατήρηση της στην συνέχεια, 3. Εμμετρωπία στη γέννηση, με εξέλιξη προς την υπερμετρωπία, 4. Εμμετρωπία κατά τη γέννηση ακολουθούμενη από μυωπική μετατόπιση.

ΣΤΑΔΙΑ ΕΜΜΕΤΡΩΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Μελέτες κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (Sorsbyetal) ,διαλεύκαναν την φυσιολογία της εμμετρωποιητικής διαδικασίας, διακρίνοντας τα ακόλουθα βήματα: Η ανάπτυξη του οφθαλμού αποτελείται από μία *ταχεία* α) Νηπιακή Φάση (Infantile), δια της οποίας , κατά τα τρία πρώτα έτη της ζωής, ο κερατοειδής και ο κρυσταλλοειδής φακός , έχουν να αντισταθμίσουν περίπου 20 D (Διοπτρίες) για μία αύξηση στο αξονικό μήκος του οφθαλμού 5mm, με τις ενήλικες διαστάσεις, σχεδόν, να επιτυγχάνονται μέχρι την ηλικία των 2 ετών. Δηλαδή καθώς ο οφθαλμός επιμηκύνεται αξονικά, υπάρχει τάση αποσύζευξης του αμφιβληστροειδούς από το εστιακό επίπεδο, η οποία για να αντισταθμιστεί και να διατηρηθεί ευκρινής αμφιβληστροειδική απεικόνιση , απαιτεί ανάλογη οπίσθια μετατόπιση του εστιακού επιπέδου, που επέρχεται με τη μείωση της διαθλαστικής ισχύος του οπτικού συστήματος από τις διαθλαστικές επιφάνειες του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού. Στην συνέχεια ακολουθεί μία *βραδεία* β) Νεανική Φάση (Juvenile), η οποία λαμβάνει χώρα στην ηλικία περίπου μεταξύ περίπου 3-13 ετών, δια της οποίας η αντιστάθμιση του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού

οφείλει να είναι περίπου 3D , για μία αύξηση στο αξονικό μήκος περίπου 1mm. Η περιγραφείσα διαδικασία ονομάζεται Εμμετρωποίηση και παρουσιάζει μία εσωτερική σχέση των διαθλαστικών συνιστωσών, αποδεικνύοντας ότι η ανάπτυξη του οφθαλμού (EyeGrowth), αποτελεί μία *συντονισμένη* διαδικασία, παρά μία *τυχαία* συλλογή συστατικών που ποικίλουν μεμονωμένα. Η βιομετρική διαδικασία της οφθαλμικής αύξησης τερματίζεται μέχρι την ηλικία περίπου των 14-15 ετών.^{20,21}

Κατά την διάρκεια, λοιπόν, της Πρώιμης Εμμετρωποίησης ,την περίοδο δηλαδή της ταχείας βρεφικής ανάπτυξης μετά τη γέννηση ,και στους ανθρώπους και στα ζώα λαμβάνει χώρα η εμμετρωποίηση.¹⁶Γίνεται δηλαδή χρήση της δεδομένης διαθλαστικής κατάστασης για να προσαρμοστεί η αξονική αύξηση των οφθαλμών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το αξονικό μήκος να συνταιριάζει με το εστιακό επίπεδο. Στα φυσιολογικά ανθρώπινα βρέφη, το οπτικό περιβάλλον έχει αντίκτυπο στην διαθλαστική κατάσταση σύντομα μετά την γέννηση. Επιπρόσθετα, στη διάρκεια των πρώτων εβδομάδων και μηνών μετά τη γέννηση η κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος <<στενεύει>>^{17,22} (εικόνα 3), γεγονός που σε μεγάλο βαθμό αποτελεί συνάρτηση του αυξανόμενου οφθαλμικού μεγέθους και έχει περιγραφεί ως <<PASSIVEPROPORTIONALGROWTH>>.²³ Σε βρέφη τα οποία είναι υπερμετρωπικά στους 3 μήνες ζωής, η διαδικασία της εμμετρωποίησης ,επιβάλλει ταχύτερη οφθαλμική επιμήκυνση από το μέσο όρο, έτσι ώστε μέχρι την ηλικία των 9 μηνών , ο αμφιβληστροειδής να έχει κινηθεί προς το εστιακό επίπεδο και να επέλθει περιορισμός του διαθλαστικού σφάλματος. Αντιθέτως, εμμετρωπικά βρέφη στην ηλικία των 3 μηνών, θα παρουσιάσουν βραδύτερη οφθαλμική επιμήκυνση.¹⁷ Αυτές οι προσαρμογές εμφανίζεται να είναι καθοδηγούμενες από οπτικά-περιβαλλοντικά σήματα, απουσία των οποίων, όπως σε περιπτώσεις αδιαφάνειας του κερατοειδούς²⁴ ,συγγενούς καταρράκτη²⁵ ή βλεφαρικής πτώσης²⁶, η οφθαλμική επιμήκυνση υπερβαίνει το φυσιολογικό ρυθμό, λόγω της αποστέρησης του οπτικού ερεθίσματος.^{27,28} Ιδιαίτερης μνείας χρήζει το γεγονός ότι παρόλο που οι δύο οφθαλμοί, κατά κανόνα ,στην αρχή της ζωής παρουσιάζουν παρόμοια διαθλαστική κατάσταση, κάθε οφθαλμός διαθέτει ξεχωριστό μηχανισμό εμμετρωποίησης ,ο οποίος αποσκοπεί στο να τον καταστήσει εμμετρωπικό (χωρίς διαθλαστικό σφάλμα) ,λειτουργώντας ανεξάρτητα από τον έτερο οφθαλμό.¹



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΕΟΓΩΝ ΚΑΙ ΝΗΠΙΩΝ¹

A) Κατανομή της διαθλαστικής κατάστασης κατά την γέννηση σε 3 διαφορετικές μελέτες. Είναι εμφανής η ευρεία διακύμανση του διαθλαστικού σφάλματος των νεογνών, B) Κατανομή της διαθλαστικής κατάστασης στους 3 μήνες ζωής (διακεκομμένη γραμμή), στους 6 μήνες ζωής (έντονη συνεχής γραμμή) και στην ενήλικη ζωή (λεπτή συνεχής γραμμή). Διαπιστώνεται ταχύς περιορισμός του διαθλαστικού εύρους στα παιδιά, έτσι ώστε μέχρι την ηλικία των 9 μηνών, όλα είναι σχεδόν εμμετρωπικά ή ελαφρώς υπερμετρωπικά. Στους ενήλικες, η κατανομή είναι, ακόμα, στενότερη, με το μυωπικό σφάλμα, όμως να καθίσταται πιο διαδεδομένο.

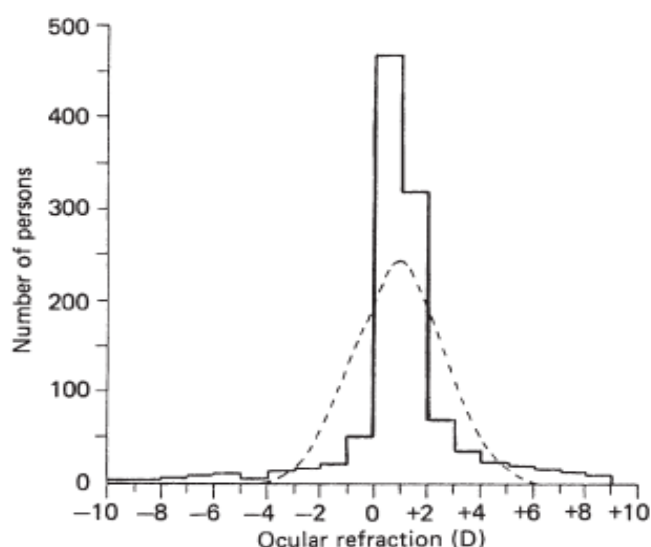
Εν συνεχεία, κατά τη διαδικασία της Όψιμης Εμμετρωποίησης, η οποία ακολουθεί αφότου οι οφθαλμοί έχουν καταστεί εμμετρωπικοί ή σχεδόν εμμετρωπικοί κατά την φάση της Πρώιμης Εμμετροποίησης, ο μηχανισμός της εμμετρωποίησης παραμένει ενεργός προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση διαθλαστικού σφάλματος. καθώς το εστιακό επίπεδο συνεχίζει να απομακρύνεται από τον κερατοειδή. Η διατήρηση της εμμετρωπικής κατάστασης είναι οπτικά καθοδηγούμενη, δηλαδή οι οπτικά εισαγόμενες πληροφορίες στον αμφιβληστροειδή είναι απαραίτητες για την ρύθμιση και τον έλεγχο του ρυθμού οφθαλμικής επιμήκυνσης.¹

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΜΜΕΤΡΩΠΟΙΗΣΗΣ: ΒΑΘΜΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

Όσον αφορά το δυναμικό της διαδικασίας της εμμετρωποίησης, είναι ικανή να λειτουργήσει αντισταθμίζοντας, μόνο ένα περιορισμένο εύρος αρχικού διαθλαστικού σφάλματος. Ο Hirsch ήδη από το 1964 πρότεινε ότι παιδιά τα οποία στην ηλικία των 6 ετών παρουσίαζαν μυωπικό σφάλμα, έστω και σε μικρό βαθμό, εμφάνιζαν αύξηση της μυωπικής εξέλιξης έως την ηλικία των 14 ετών.²⁹ Σε αντιδιαστολή, παιδιά με διαθλαστική κατάσταση στην ηλικία των 6 ετών κυμαινόμενη από +1,5 D έως ακόμα μεγαλύτερους βαθμούς υπερμετρωπικού

σφάλματος, θα παρέμεναν σταθερά διαθλαστικά ή θα εμφάνιζαν αύξηση της υπερμετρωπίας.³⁰

Η κλασική κατανομή των διαθλαστικών σφαλμάτων σε μη-επιλεχθέντες πληθυσμούς δεν είναι μηδενική, δηλαδή παρουσιάζει μία υπεροχή διαθλαστικών καταστάσεων στο εύρος 0 έως +2 D (υπερμετρωπική μετατόπιση), παρ' όλο που οι οφθαλμικοί παράμετροι είναι φυσιολογικά κατανεμημένοι (εικόνα 4). Η Τονική Προσαρμογή, δηλαδή η προσαρμογή στην κατάσταση ηρεμίας (darkfocus) αντιστοιχεί περίπου σε 1 D. Επομένως, η εφαρμογή αυτής της προσαρμογής θα μπορούσε να μετατοπίσει την κορυφή του διαγράμματος διαθλαστικής κατανομής της εικόνας 2 γύρω στις 0 D (Plano), οδηγώντας σε εξάλειψη του διαθλαστικού σφάλματος και εμμετρωπία. Άρα, κάθε μηχανισμός εμμετρωποποίησης πρέπει να είναι ικανός για την επίτευξη της απαιτούμενης μακρινής εστίασης με μία ακρίβεια της τάξης μεγέθους ± 1 D.³⁰ Η διάθλαση των δύο οφθαλμών, συνήθως, εξελίσσεται με ένα ιδιαίτερος παρόμοιο μοτίβο, οδηγώντας το 75% του πληθυσμού σε ένα επίπεδο Ανισομετρωπίας μικρότερο ή ίσο των 0,25 D.³¹



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΚΛΑΣΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΥΧΑΙΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ³⁰

Τυπική εικόνα διακύμανσης διαθλαστικής κατάστασης μη-επιλεχθέντος πληθυσμού, σε δείγμα 1033 νεαρών ανδρών. Επισημαίνεται η κατανομή του εύρους, με μία επικράτηση κυμαινόμενη από 0 έως +2 D. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στην ομαλή κατανομή.

Η εμμετρωποποιητική διαδικασία, αποτελεί, αναμφισβήτητα, έναν μηχανισμό επιτυχούς λειτουργίας στην πλειοψηφία των νέων παιδιών (νηπιακής ηλικίας), τα οποία κατορθώνουν να προσεγγίσουν σε μεγάλο βαθμό την εμμετρωπία, ακόμα και αυτά που θα αναπτύξουν αργότερα στην παιδική ηλικία μυωπία. Αυτός ο αναφερόμενος χαμηλός επιπολασμός της μυωπίας στις ηλικίες 1 έως 5 ετών, υπογραμμίζει ακριβώς την πραγματοποιούμενη διαδικασία. Λαμβάνει, δηλαδή, χώρα η απαιτούμενη προσαρμογή της γενετικά καθοριζόμενης αύξησης του

οφθαλμού, κατά τέτοιο τρόπο ,ώστε να εγκαθιδρυθεί και να διατηρηθεί η εμμετρωπία, ανεξαρτήτως εάν ο οφθαλμός ξεκίνησε μυωπικός ή υπερμετρωπικός. Όσον αφορά την μετέπειτα διατήρηση στην ζωή αυτής της διαμορφούμενης εμμετρωπίας, μελέτες σε μεγαλύτερης ηλικίας νεαρά ζώα αποδεικνύουν διατηρούμενη ικανότητα της υπερμετρωπίας να προσαρμόζει το αξονικό μήκος. Καθίσταται ,επομένως, πιθανή η διατήρηση αργότερα στην νεανική ζωή των ανθρώπων ,του δυναμικού του υπερμετρωπικού ερεθίσματος να μεταβάλει το αξονικό μήκος ,επιμηκύνοντάς το ώστε να εξουδετερωθεί η διαθλαστική διαταραχή. Σε αντιδιαστολή, οι μελέτες στα ζώα και οι προκύπτουσες συμπερασματικές εξαγωγές για τον άνθρωπο, δεν εμφανίζουν μία ανάλογη διατήρηση της δυνατότητας χρήσης του μυωπικού ερεθίσματος (δηλαδή, της παρουσίας του εστιακού επιπέδου προσθίως του αμφιβληστροειδούς), για επιβράδυνση της αξονικής επιμήκυνσης.¹ Η διαδικασία της εμμετρωπποίησης, λοιπόν, αν και δύναται να εξασθενήσει, οδηγώντας στη ανάπτυξη διαθλαστικού σφάλματος στο θεωρούμενο <<φυσιολογικό εύρος>> +/- 4D, συγκαταλέγεται στους επιτυχής μηχανισμούς της εξελικτικής διαδικασίας, καθώς η κατανομή του διαθλαστικού σφάλματος παρουσιάζει την αποκαλούμενη <<LEPTOKURTOSIS - ΛΕΠΤΟΚΥΡΤΩΣΗ>> : δηλαδή μία αξιοσημείωτη ροπή του πληθυσμού προς την εμμετρωπία. Σφάλματα μέσα σε αυτό το εύρος θεωρούνται χαμηλά, αιτιολογούνται βάσει μίας ανεπιτυχούς αλληλοσύζευξης μίας σειράς δομικών συστατικών και δεν αποδίδονται σε μία μεμονωμένη συνιστώσα (π.χ. αξονικό μήκος), που δυνητικά βρίσκεται εκτός των φυσιολογικών ορίων που παρατηρούνται στους εμμέτρωπες, Στην περίπτωση του αξονικού μήκους ,σε μελέτες διαπιστώθηκε απόκλιση από τα όρια των εμμετρών σε λιγότερο από 3% του πληθυσμού.⁶

Η διατυπωθείσα θεωρία της <<ασύμμετρης διατήρησης του μηχανισμού εμμετρωπποίησης>> ανάμεσα στην μυωπία και στην υπερμετρωπία,επιφέρει επιπτώσεις στην εξέλιξη της διαθλαστικής κατάστασης και από αυτήν απορρέουν πληροφορίες για πιθανές πτυχές παθοφυσιολογίας της ανθρώπινης μυωπίας. Η οδός μίας τέτοιας διαμόρφωσης είναι μία πιθανή αποσύζευξη του εστιακού επιπέδου από το αξονικό μήκος, κατά την εξέλιξη της ζωής, τέτοια που να τοποθετεί τον αμφιβληστροειδή οπισθίως του εστιακού επιπέδου, σε συνδυασμό με απώλεια της ικανότητας χρήσης του προκαλούμενου μυωπικού ερεθίσματος για επιβράδυνση της αξονικής επιμήκυνσης. Επομένως , η βαρύτητα της μυωπίας θα καθοριστεί ανάλογα με το μέγεθος της απόκλισης εστιακού επιπέδου- αξονικού μήκους και από τις εφεδρείες του εμμετρωπιοποιητικού μηχανισμού για την αποκατάσταση της προκύπτουσας διαταραχής. Μία ακόμα πτυχή της αδυναμίας μετέπειτα διατήρησης της μυωπικής συνιστώσας της εμμετρωπποίησης είναι η ακόλουθη: Η υποπροσαρμογή κατά την εστίαση σε ένα κοντινό στόχο, δηλαδή η υστέρηση της προσαρμοστικής διαδικασίας(lag), έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη της πλήρους απαιτούμενης πρόσθετης θετικής διοπτρικής ισχύος για την ταύτιση εστιακού

επιπέδου αμφιβληστροειδούς, καθιστώντας κατά την κοντινή θέαση τον οφθαλμό λειτουργικά υπερμετρωπικό. Είναι γνωστό ότι τα παιδιά με προοδευτική μυωπική εξέλιξη, κάποια στιγμή, εμφανίζουν μία μεγαλύτερη υστέρηση προσαρμογής σε σχέση με τα παιδιά χωρίς διαθλαστικό σφάλμα. Ένα παιδί με αυτήν την υστέρηση, κατά την κοντινή θέαση θα υφίσταται υπερμετρωπική αφεστίαση (defocus), λόγω του ότι το επίπεδο εστίασης μετατοπίζεται οπισθίως του αμφιβληστροειδούς και δεν υπάρχει η απαιτούμενη αντιστάθμιση από την προσαρμογή. Αλλά, επειδή όπως αναφέραμε το υπερμετρωπικό ερέθισμα διατηρεί το δυναμικό του, η δημιουργούμενη υπερμετρωπική θόλωση κατά την κοντινή όραση, θα αποτελεί ερέθισμα επιτάχυνσης της αξονικής επιμήκυνσης στην προσπάθεια του αξονικού μήκους να ταυτιστεί με το εστιακό επίπεδο για την επίτευξη ευκρινούς όρασης. Αυτή η ροπή προς αύξηση του αξονικού μήκους οδηγεί σε τάση μυωπικής αύξησης του παιδικού οφθαλμού, η οποία μετά την διακοπή του κοντινού ερεθίσματος και την επαναφορά σε μακρινή εστίαση, δεν αντισταθμίζεται λόγω της σταδιακής έκπτωσης της δυναμικής του μυωπικού ερεθίσματος να επιφέρει καθυστέρηση του ρυθμού αξονικής επιμήκυνσης. Το δεδομένο αυτό σε συνύπαρξη με την εκ νέου έκθεση σε κοντινή θέαση και ταυτόχρονη υστέρηση της προσαρμογής, δημιουργεί έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο, που προδιαθέτει στην ανάπτυξη μυωπίας. Πιο περιγραφικά, στοχεύοντας ακριβώς στην κατανόηση του πυρήνα της φυσιολογίας της κρίσιμης παραπάνω διαδικασίας, η κοντινή θέαση οδηγεί σε υπερμετρωπική θόλωση, η οποία μη αντισταθμιζόμενη πλήρως από την προσαρμογή, διατηρείται κατά την κοντινή όραση σε κάποιο βαθμό και πυροδοτεί τάση αξονικής αύξησης και μυωπίας. Όταν, όμως, από την κοντινή εστίαση επανέλθει ο οφθαλμός στην μακρινή εστίαση, το εστιακό επίπεδο τώρα επανέρχεται στην προ κοντινής όρασης θέση, δηλαδή εγγύτερα προς το κερατοειδή. Εκείπλέον δεν συναντά τον αμφιβληστροειδή για να ταυτιστούν όπως γινόταν πριν την κοντινή όραση, καθώς λόγω του ερεθίσματος αύξησης του αξονικού μήκους, έχει την τάση να μετατοπιστεί προς τα πίσω απομακρυνόμενος από τον κερατοειδή. Η προκύπτουσα διαμόρφωση, λοιπόν, τώρα κατά την μακρινή όραση είναι το εστιακό επίπεδο να βρίσκεται προσθίως του αμφιβληστροειδούς, κατάσταση συμβατή με μυωπία. Και επειδή ακριβώς η θεωρία της ασυμμετρίας εισηγείται ότι μετά την νηπιακή ηλικία, η ισχύς του μυωπικού ερεθίσματος εξασθενεί και αδυνατεί να καθυστερήσει την αύξηση του αξονικού μήκους, το τελικό αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη μυωπίας.¹

Συνοψίζοντας τα χαρακτηριστικά του δυναμικού διατήρησής του εμμετρωποποιητικού μηχανισμού, από μελέτες σε ζώα και τις ανάλογες προεκτάσεις για το ανθρώπινο είδος, καθίσταται πιθανή η ύπαρξη μίας φυσικής πορείας εξασθένησης μετά την νηπιακή ηλικία, της ικανότητας του να κάνει χρήση του μυωπικού ερεθίσματος για επιβράδυνση της αξονικής επιμήκυνσης (με ταυτόχρονη διατήρηση του υπερμετρωπικού δυναμικού), με αντίκτυπο μία ενδεχόμενη προκατάληψη της φυσικής επιλογής προς μυωπική μετατόπιση. Κατά την διάρκεια της εξελικτικής

διαδικασίας, πιθανότατα οι οφθαλμοί των νεαρών και ενήλικων σπονδυλωτών, σπάνια υφίσταντο σημαντικές περιόδους υπερμετρωπίας, με αποτέλεσμα αφότου οι οφθαλμοί είχαν καταστεί εμμετρωπικοί, να περιοριζόταν η επίπτωση μίας ανεπάρκειας της μυωπικού ερεθίσματος για τον έλεγχο του ρυθμού οφθαλμικής αύξησης. Στην ροή της ανθρώπινης ιστορίας, όμως, μεταγενέστερα διαμορφώθηκαν περιβάλλοντα με εκτεταμένες και διαρκείας απαιτήσεις κοντινής όρασης. Υπό την παρουσία αυτών των επαυξημένων απαιτήσεων, εάν ο μηχανισμός της προσαρμογής αδυνατεί να εξουδετερώσει την υπερμετρωπική αφεστίαση που όπως σημειώθηκε παραπάνω δημιουργείται κατά τη θέαση κοντινών αντικειμένων και εάν, με εξαίρεση την νηπιακή ηλικία, το μυωπικό ερέθισμα δεν δύναται να μειώσει τον ρυθμό αξονικής επιμήκυνσης, αποτελεί εύλογη συνεπαγωγή η παρουσία σε ορισμένα τουλάχιστον άτομα μυωπικού σφάλματος κατά την θέαση μακρινών αντικειμένων.

2.ΜΥΩΠΙΑ

Η μυωπία αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα δημόσιας υγείας, καθιστώντας απαραίτητη την αντιμετώπιση και την ενασχόληση με τις διάφορες πτυχές του σε οικουμενικό επίπεδο, καθώς και την ανάπτυξη επιτυχημένων θεραπευτικών στρατηγικών. Παρ' όλα αυτά, λόγω του ότι οι επιδράσεις της μυωπίας στην οπτική οξύτητα δύνανται να μετριαστούν με διάφορες μεθόδους, θεωρείται συχνά άστοχα ως ένα έλασσον ζήτημα υγείας.³² Υπάρχει μία σειρά χαρακτηριστικών που προσδίδουν στην μυωπία αυτήν την σημαίνουσα βαρύτητα. Καταρχήν, αποτελεί μία πολύ κοινή κατάσταση. Στην εποχή μας, ο επιπολασμός της κοινής και της υψηλής μυωπίας και ο αντίκτυπος τους στην κοινωνία έχει αυξηθεί σημαντικά. Στις Η.Π.Α. το 25% των ενηλίκων είναι μύωπες, ενώ στο σύνολο του πληθυσμού τους ανέρχεται σε περίπου 40%. Σε περιοχές της Ανατολικής Ασίας, η μυωπία έχει προσλάβει επιδημικές διαστάσεις και ο επιπολασμός της σε ορισμένες περιοχές υψηλής μόρφωσης υπερβαίνει το 80%. Επιπλέον, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι ο επιπολασμός συμπεριλαμβανομένης και της υψηλής μυωπίας, αυξάνεται ταχύτατα και στον υπόλοιπο κόσμο πέραν των Ασιατικών χωρών. Αυτή η ταχεία άνοδος, εισηγείται ότι αλλαγές σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, επηρεάζουν σημαντικά τα τρέχοντα μοντέλα διαθλαστικού σφάλματος και τονίζει την σημασία ύπαρξης αποτελεσματικών στρατηγικών θεραπείας για την μείωση του βαθμού της μυωπικής προόδου.^{4,5,6}

Ακόμα, σε επίπεδο λειτουργικής όρασης, η μυωπία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με οφθαλμικές επιπλοκές οι οποίες δύναται να οδηγήσουν σε μόνιμη απώλεια της

όρασης. Πιθανότατα, λόγω δομικών αλλαγών συνδεδεμένων με την υπερβολική αξονική επιμήκυνση που παρατηρείται στην υψηλή - εκφυλιστική μυωπία (< - 6 D και αξονικό μήκος > 26 mm) ,οι οφθαλμοί αυτοί διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης χοριοειδοαμφιβληστροειδικής εκφύλισης, αποκόλλησης του αμφιβληστροειδούς, οπισθίου σταφυλώματος.Και η συνηθισμένη, μη-υψηλή μυωπία ,όμως, αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καταρράκτη και γλαυκώματος. Οι πιθανές, λοιπόν, επιπλοκές που απορρέουν από την μυωπία σε συνδυασμό με τον υψηλό επιπολασμό της στον πληθυσμό, την καθιστούν πρωταρχική αιτία δυνητικά προλαμβανομένης μόνιμης έκπτωσης της οφθαλμικής λειτουργίας.³²⁻³⁴

Δεν πρέπει, επιπροσθέτως, να παραβλεφθεί και το σημαντικό οικονομικό φορτίο, με το οποίο επιβαρύνει η μυωπία την κοινωνία.³² Το κόστος της οπτικής διόρθωσης είναι υψηλό. Ενδεικτικά στις Η.Π.Α. κάθε χρόνο ξοδεύονται δις δολάρια για την διάθλαση και την διόρθωση της μυωπίας.³⁴ Επιπλέον δυσβάσταχτο οικονομικό βάρος έγκειται στην θεραπεία των οφθαλμικών παθήσεων που απορρέουν από την μυωπία και στη διαχείριση της οπτικής εξασθένησης και της τύφλωσης που δύνανται να προκύψουν από αυτές τις επιπλοκές. Όσον αφορά τις θεραπευτικές στρατηγικές, οι παραδοσιακές αγωγές για την επιβράδυνση της εξέλιξης της μυωπίας έχουν περιορισμένη επιτυχία.Παράδειγμα,η προσέγγιση της υποδιόρθωσης επιταχύνει στην πραγματικότητα την εξέλιξη της μυωπίας³⁵ και οι Multifocal Lenses, παρ' όλο που μειώνουν σημαντικά την εξέλιξη της, το μέγεθος της θεραπευτικής τους επίδρασηςείναι μικρό³⁶⁻³⁸ και κλινικά μη σημαντικό^{39,40}. Ιδιαίτερος σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ,ότι παρ' όλο που οι οπτικές διορθώσεις ,συμπεριλαμβανομένης της διαθλαστικής χειρουργικής,αποκαθιστούν την οπτική οξύτητα ,δεν εμποδίζουν την ανώμαλη επιμήκυνση του μυωπικού οφθαλμού, η οποία υπερβαίνει τον φυσιολογικό ρυθμό αύξησης. Επομένως, τα παιδιά, αν και διορθώνονται οπτικά, παραμένουν σε αυξημένο κίνδυνο για οφθαλμική ασθένεια απότοκο της μυωπικής διεργασίας μετέπειτα στην ζωή τους.³⁴

2.1.ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΣ – ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΑ – ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΟΣ ΚΟΣΜΟΣ

Η μυωπική διαταραχή πλήττει σήμερα περίπου 1,5 δις ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί μεταξύ του 20% και 25% του παγκοσμίου πληθυσμού. Ο μυωπικός οφθαλμός ,ακόμα, καθίσταται ευάλωτος σε ένα εύρος οφθαλμολογικών παθήσεων,ιδίως στην περίπτωση υψηλής μυωπίας. Σύμφωνα με την έκθεση του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας για την εξάλειψη της δυνητικά

αποφευκτέας οπτικής ανικανότητας λόγω διαθλαστικών σφαλμάτων ,η μυωπία αποτελεί την πρωταρχική αιτία οπτικής εξασθένησης παγκοσμίως. Αναμφίβολα, ο επιπολασμός της μυωπίας στους πληθυσμούς της Ανατολικής Ασίας, όπως στο HongKong , στην Ταϊβάν, στην Σιγκαπούρη ,καθώς και στους Εσκιμώους\Inuit, αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς μετά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα.⁴¹⁻⁴⁵ Μία πλειάδα μελετών τα τελευταία 20 χρόνια επιβεβαιώνουν αυτήν την τάση, η οποία μάλιστα στις αστικοποιημένες περιοχές υψηλής μόρφωσης ,τείνει να προσλάβει επιδημικό χαρακτήρα υπερβαίνοντας ακόμα και το 80%. Ακόμα, η μυωπική διαταραχή χαρακτηρίζεται από μία ροπή για πρόωμη εμφάνιση , με τα επίπεδα παρουσίας της κατά την διάρκεια των πρώτων σχολικών ετών να ξεπερνά το 20%. Επιπλέον ,σημειώνεται αύξηση και στον επιπολασμό της υψηλής μυωπίας στους νέους ενήλικες (20%). Αυτό ακριβώς το γενικό μοντέλο της πρόωμης έναρξης, του υψηλού επιπολασμού και της επαυξημένης βαρύτητας, διαμορφώνει το τρίπτυχο που καθιστά την μυωπική διαταραχή καίριο ζήτημα υγείας στο σύνολο σχεδόν της Ανατολικής Ασίας. Το πλέον αντιπροσωπευτικό παράδειγμα που αναδεικνύει την έκταση του φαινομένου, προέρχεται από την Σιγκαπούρη.⁴³ Ο επιπολασμός της μυωπίας σε νεαρούς άνδρες που υπηρετούσαν την στρατιωτική τους θητεία κατά την δεκαετία του 1960 κυμαινόταν στο 20 % - 30% , ενώ τα αντίστοιχα επίπεδα κατά την δεκαετία του 1990 εκτινάσσονταν στο 80% - 90%. Επίσης, μελέτη του 2004 σε μαθητές 12 ετών στην Ταϊβάν, κατέγραψε μία αλματώδη άνοδο στην εμφάνιση μυωπίας από 36,7% το 1983 σε 61% το 2000.⁴⁶ Ακόμα, έρευνα σε κινεζικής καταγωγής παιδιά σχολικής ηλικίας που κατοικούσαν στο HongKong, κατέδειξε μία αύξηση στον επιπολασμό της μυωπίας κατά 50% ανάμεσα σε μη- μύωπες γονείς και στους απογόνους τους μέσα μόλις σε δύο γενεές.⁴⁷ Αναφορικά με το υπόβαθρο αυτών των ριζικών διαφοροποιήσεων κατά το πέρασμα του χρόνου στην ανάπτυξη μυωπικού σφάλματος, περιβαλλοντικοί παράγοντες κινδύνου έχουν αναγνωριστεί για την αύξηση του επιπολασμού της μυωπίας. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται η αστικοποίηση, η εκπαιδευτική διαδικασία και πιο συγκεκριμένα η κοντινή ενασχόληση.Επιπρόσθετα, οι διαφορές στο ποσοστό ανάπτυξης μυωπικού σφάλματος ακόμα και μεταξύ των ξεχωριστών εθνοτήτων στους πληθυσμούς της Ανατολικής Ασίας, υπαγορεύει την παρουσία και της γενετικής επιρροής. Αξίζει να σημειωθεί, όμως, ότι σύμφωνα με τις πρόσφατες ενδείξεις,το γενετικό χάσμα μεταξύ των εθνών φαίνεται να περιορίζεται. Συμπερασματικά, η ταχεία αύξηση που χαρακτηρίζει τον επιπολασμό της μυωπίας, υποδηλώνει έναν κυρίαρχο ρόλο των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην πρόκληση αυτών των αλλαγών, καθώς η παρακαταθήκη των γονιδιακών αποθεμάτων δεν μεταβάλλεται με τόσο αστραπιαίους ρυθμούς.⁶

Όπως, λοιπόν, αναφέρθηκε εκτενώς η υψηλή εμφάνιση της μυωπικής διαταραχής στους πληθυσμούς της Ασίας είναι αδιαμφισβήτητη. Οι αποδείξεις, όμως, για ανάλογη μυωπική μετατόπιση στους ανθρώπους που δεν κατοικούν σε ασιατικές

χώρες, αλλά στις Η.Π.Α ή στην Ευρώπη, δεν είναι εξίσου ευκρινής. Ειδικότερα στις χώρες οι οποίες σε μεγάλο βαθμό απαρτίζονται από Καυκάσιους πληθυσμούς, η ύπαρξη παρεμφερών μεταβολών με τις ασιατικές τίθεται υπό αμφισβήτηση. Μάλιστα προγενέστερη μελέτη του 1989, κατέληγε στο συμπέρασμα ότι σε παιδιά σχολικής ηλικίας με καταγωγή από τα Καυκάσια φύλα, δεν είχε σημειωθεί σε διάστημα 100 χρόνων σημαντική διαφοροποίηση στην κατανομή των διαθλαστικών σφαλμάτων, με εξαίρεση την υψηλή μυωπία η οποία εμφανιζόταν να έχει μειωμένη παρουσία σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν δεδομένα που υποστηρίζουν την αύξηση του επιπολασμού της μυωπίας σε νεαρούς εφήβους στην σύγχρονη εποχή, στις βιομηχανοποιημένες κοινωνίες της Δύσης. Στοιχεία από μελέτες σε παιδιά σχολικής ηλικίας στις Σκανδιναβικές χώρες είναι ενδεικτικά. Στη Σουηδία⁴⁸ παιδιά 12 και 13 ετών εμφάνισαν το 2000 μυωπία σε ποσοστό 49,7% ,πολλαπλάσιο του 6% που παρατηρήθηκε σε παιδιά ίδιας ηλικίας το 1960 στη Δανία⁴⁹, καθώς και του 7,2% και 14% σε μελέτες κατά την δεκαετία του 1980 στη Φινλανδία^{50,51}. Ο Zadnik σε έρευνα του στις Η.Π.Α. που διεξήχθη από το 1989 έως το 1993 σε παιδιά ηλικίας 13 ετών ,διαπίστωσε επιπολασμό της μυωπίας 28%⁵²,αξιοπρόσεκτα επαυξημένο συγκριτικά με το 12% που είχε καταγραφεί στην ίδια κοινότητα και ηλικιακή ομάδα σε μελέτη ανάμεσα στο 1954 και 1956. Όμως απέδωσε τα ευρήματα του σε αυξημένη πρόσμιξη πληθυσμών ασιατικής προέλευσης.⁵³ Συμφώνησε ακόμα με τον Mutti ότι τα δεδομένα για τις Η.Π.Α., εισηγούνταν έναν σταθερό επιπολασμό της μυωπίας στις Ηνωμένες Πολιτείες για τα τελευταία 100 χρόνια.⁵⁴ Ένα, επίσης, αντιπροσωπευτικό δείγμα μίας τέτοιας δυνητικής επίδρασης των μεταβολών στα εθνικά δημογραφικά χαρακτηριστικά, στην διαφοροποίηση στην συχνότητα εμφάνισης μυωπίας, αποτελεί η πόλη του Σύνδνεϋ. Πρόκειται για μία μεγάλη πόλη ,της οποίας ο πληθυσμός αποτελεί κράμα διαφορετικών εθνοτήτων. Ο επιπολασμός της μυωπίας στο Σύνδνεϋ ποικίλει αναλόγως του προφίλ εθνικότητας των κατοίκων σε κάθε περιοχή του. Στα ανατολικά περίχωρα, που απαρτίζονταν σε ποσοστό 42,9% από μετανάστες με πηγή προέλευσης την Ανατολική Ευρώπη, διαπιστώθηκε σε παιδιά 12 ετών παρουσία μυωπικής διαταραχής σε ποσοστό 8,3%. Στο σύνολο των προαστίων κυμάνθηκε στο 12,8% και μόλις 5,1% των Ευρωπαίων Καυκάσιων εμφάνιζαν μυωπία. Αυτός ο χαμηλός επιπολασμός στους Καυκάσιους στην Ανατολική Ευρώπη, κατεγράφη και κατά την σύγκριση στην εμφάνιση μυωπίας σε μαθητές 12 -13 ετών στην Πολωνία ανάμεσα σε μελέτες του 1971 και του 2007. Παρατηρήθηκε και στις 2 έρευνες σταθερό ποσοστό 13%. Συνυπολογίζοντας τις διαθέσιμες πληροφορίες, τα δεδομένα από την ανασκόπηση ενός σημαντικού αριθμού ερευνών εισηγούνται μία αύξηση στον επιπολασμό της μυωπίας σε μεγάλου βαθμού καυκάσιας προέλευσης πληθυσμούς. Σαφέστατα, όμως, η αύξηση αυτή σημειώνεται με βραδύτερους ρυθμούς συγκριτικά με την Ανατολική Ασία και δεν επιβεβαιώνεται για τους καυκάσιους πληθυσμούς στο σύνολο των ευρωπαϊκών εθνικοτήτων.⁵⁵ Άξιο αναφοράς, ακόμα, είναι το γεγονός η ίδια συσχέτιση με την εκπαιδευτική

διαδικασία και την κοντινή ενασχόληση που διαπιστώθηκε στην Ανατολική Ασία, παρατηρήθηκε, επίσης, και στην πλειοψηφία των μελετών στα καυκάσια φύλα. Σε κάθε περίπτωση περαιτέρω συστηματικές έρευνες στο μέλλον καθίστανται επιβεβλημένες. Εν κατακλείδι, ο πίνακας 1 συνοψίζει μία σειρά μελετών διεξαχθέντων περί το 2000, όπου απεικονίζεται αφενός μεν αυτή η ξεκάθαρα αυξημένη εμφάνιση μυωπίας στην Ασία, αφετέρου δε οι διαφορούμενες αποδείξεις για διάφορες άλλες περιοχές του κόσμου. Συγκεκριμένα, στις αστικοποιημένες περιοχές της Ασίας καταγράφεται μία διακύμανση του επιπολασμού της μυωπίας σε όλες τις ηλικιακές ομάδες από 60% -80%. Στην Ευρώπη, στην Αυστραλία και στις Η.Π.Α γίνεται εμφανής μία ανάλογη μυωπική τάση, σε πιο μετριοπαθή, όμως, επίπεδα, με τον επιπολασμό να κυμαίνεται μεταξύ 10% - 25%.⁵⁶⁻⁶⁶

Country	n	Age (years)	Prevalence of myopia	
			Criteria	%
UK	7600	7	< -1.00 D	1.1
Sweden	1045	12-13	≤ -0.50 D	45
USA	2583	6-14	≤ -0.75 D	10.1
USA	2523	5-17	≤ -0.75 D	9.2
African American	534			6.6
Asian	491			18.5
Hispanic	463			13.2
White	1035			4.4
Australia	2571	5	< -0.50 D	2.8
		12	< -0.50 D	8.7
Singapore	1453	7	≤ -0.50 D	29.0
		8	≤ -0.50 D	34.7
		9	≤ -0.50 D	53.1
Hong Kong		13-15		
Local school	335			85-88
International school	789			43 in non-Chinese 65 in mixed Chinese 80 in Chinese

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΣ ΜΥΩΠΙΑΣ⁶

Ο πίνακας αποτελεί συνοπτική απεικόνιση μελετών του 2000 για την διερεύνηση της συχνότητας εμφάνισης μυωπικής διαταραχής ανά τον κόσμο. Τα αστικά κέντρα της Ανατολικής Ασίας (HongKong, Σιγκαπούρη) παρουσιάζουν ενίοτε επιδημικά ποσοστά, ενώ οι ενδείξεις είναι λιγότερο σαφείς για τις κοινωνίες της Ευρώπης, της Αυστραλίας και των Ηνωμένων Πολιτειών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ακόμα και μέσα στον πληθυσμό των Η.Π.Α., τα άτομα, κατά κύριο λόγο, ασιατικής προέλευσης και οι Λατίνοι δευτερευόντως, εμφανίζουν το υψηλότερο επιπολασμό μυωπικού σφάλματος. Το στοιχείο αυτό είναι υποδηλωτικό μίας γενετικής προδιάθεσης συγκεκριμένων εθνοτήτων, η οποία ασκεί την επίδρασή της ανεξαρτήτως τόπου διαμονής.

ΔΙΑΦΥΛΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η εμφάνιση μυωπικής διαταραχής ποικίλει, αναμφίβολα, ανάλογα με την εθνικότητα και το πολιτισμικό περιβάλλον. Αυτό γίνεται σαφές παρατηρώντας τον επιπολασμό στις βιομηχανοποιημένες Ευρωπαϊκές χώρες όπου ανέρχεται σε 25%, συγκριτικά με επιμορφωμένες περιοχές της Ασίας που ξεπερνά το 70%. Μία πλειάδα μελετών, επιπροσθέτως, υποδεικνύουν, σαφή σύνδεση της μυωπίας με το επίπεδο ατομικής μόρφωσης και την ποσοτική πτυχή της ενασχόλησης με το διάβασμα. Αυτές οι αυξημένες μορφωτικές απαιτήσεις σε μέρη της Ασίας, έχουν οδηγήσει ταχύτατα σε επιδημικά επίπεδα επιπολασμού. Ο Young στην μελέτη του συνέκρινε την παρουσία μυωπίας σε γηραιότερους Εσκιμώους της Αλάσκας (ηλικίας 41-60 ετών) με το ανάλογο μέγεθος στις νεότερες επιμορφωμένες γενιές Εσκιμών.⁶⁷ Διαπίστωσε αμελητέα εμφάνιση μυωπίας της τάξης του 2% για μυωπία $\leq -0,25$ D στους γηραιότερους, με τον αντίστοιχο επιπολασμό για την ουδό του $-0,25$ D να εκτινάσσεται σε 59% στους νεαρούς ενήλικες. Η κολοσσιαία αυτή διαφορά ανάμεσα σε διαδοχικές γενεές της ίδιας φυλής, εισηγείται σαν πιθανή προέλευση την έντονη κοντινή εκπαιδευτική ενασχόληση των νεοτέρων, χωρίς να πρέπει να παραβλεφθούν, όμως, ενδεχόμενες επιδράσεις εγγενών χαρακτηριστικών διαβίωσης της συγκεκριμένης φυλής, όπως ο φυσικός κύκλος φωτισμού, το κλίμα και οι διαιτητικές συνήθειες. Έρευνες ανά την υφήλιο επιβεβαιώνουν έναν χαμηλό επιπολασμό μυωπίας σε πληθυσμούς με αμελητέα συμμετοχή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Δειγματοληπτικά αναφέροντας, παιδιά μαλαισιανής καταγωγής που κατοικούσαν στα Νησιά Σολομώντα ηλικίας 12-19 ετών και με ασήμαντη μορφωτική ενασχόληση παρουσίαζαν μυωπία $\leq -1,00$ D σε επίπεδα 5%.^{68,69} Απειροελάχιστα ήταν, επιπρόσθετα, τα περιστατικά μυωπικού σφάλματος σε ανεκπαιδευτα παιδιά Sherpa ηλικίας 7-18 ετών στο Νεπάλ, αγγίζοντας μόλις το 0,7% με κριτήριο σφάλματος $\leq -1,00$ D.⁷⁰ Παιδιά, τέλος, στο Θιβέτ με κάποια μόρφωση, με κριτήριο την $\leq -1,00$ D εμφάνιζαν μυωπική διαταραχή κατά 11,7%, το οποίο αναρριχάτο σε 30%, όταν η ουδός ήταν $\leq -0,25$ D.⁷¹ Σαφέστατα, επομένως, οι γονιδιακές καταβολές της κάθε εθνότητας και της κάθε φυλής θέτουν το πλαίσιο στο οποίο θα κυμανθεί ο μυωπικός επιπολασμός, η περαιτέρω όμως πορεία επαφίεται και σε περιβαλλοντικές προσλαμβάνουσες, με καίριο ρόλο να διαδραματίζει η επιμορφωτική ενασχόληση.^{34,72}

Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της τάσης της μυωπίας να σχετίζεται με την γνώση ανάγνωσης και γραφής και τις φυλετικές καταβολές, αποτελεί έρευνα του 2005 στην Βραζιλία, για την σύγκριση του επιπολασμού της μυωπίας μεταξύ των αναλφάβητων αυτοχθόνων κατοίκων της περιοχής του Rio Negro στα τροπικά δάση του Αμαζονίου στην βορειοδυτική Βραζιλία και στους Brazilians. Οι γηγενείς πληθυσμοί της ανώτερης λεκάνης του Αμαζονίου, έλκουν την καταγωγή τους από την Ανατολική Ασία, περιοχή από όπου μετανάστευσαν στην Βραζιλία περίπου 10.000 πριν.^{73,74} Αριθμούν περί τις 25.000 και κατοικούν σε μικρά χωριά στις προστατευόμενες αυτές περιοχές εθνικού φυσικού πλούτου, σχεδόν αποκομμένοι

από τον υπόλοιπο κόσμο, με μόνες δυνατές προσβάσεις τον διάπλου του απρόβλεπτου Αμαζονίου με βάρκες και την προσέγγιση του πυκνού δάσους με μικρά αεροπλάνα. Ζουν στο τροπικό δάσος, στις όχθες ποταμών με τις συνεπαγόμενες διατροφικές επιλογές και χωρίς δυνατότητα πρόσβασης στην εκπαίδευση. Οι κοινωνικές τους δομές, οι τελετές, ο ίδιος ο γενετικός τους κώδικας παραμένουν αναλλοίωτα στο πέρασμα των αιώνων. Όσον αφορά την γλώσσα επικοινωνίας τους, αποτελεί εξεζητημένη διάλεκτο της φυλής τους, περιορισμένη αμιγώς στον προφορικό λόγο, δίχως γραπτή μορφή που να ευνοεί την ανάγνωση, ενώ ταυτόχρονα το δύσβατο ανάγλυφο του εδάφους βαθιά μέσα στον Αμαζόνιο, καθιστά σχεδόν απαγορευτικές εξωγενής επιρροές και αλληλεπιδράσεις. Τα παραπάνω δημογραφικά και φυλετικά χαρακτηριστικά των αυτοχθόνων θα είχαν σαν κατάληξη είτε έναν χαμηλό επιπολασμό μυωπίας εάν επικρατούσε η έλλειψη μόρφωσης και κατ' επέκταση κοντινής ενασχόλησης, είτε ,διαφορετικά, μία υψηλή εμφάνιση προεξάρχουσας της ασιατικής γενεαλογικής προέλευσης. Οι Brazilians από την πλευρά τους, αποτελούν κατά κύριο λόγο απογόνους προσμίξεων γηγενών με Ευρωπαίους αποίκους ,καθώς επίσης και κατοίκους που μετανάστευσαν από άλλες περιοχές της Βραζιλίας. Κατοικούν σε μικρές πόλεις ή κοντά σε αυτές, χωρίς να έχουν λάβει υψηλή εκπαίδευση. Οι νεότερες γενεές των Brazilians, κάτω των 30 ετών έχουν εκτεθεί στην σχολική διαδικασία κατά τις ιεραποστολές, αποτελούμενη από 4 ώρες καθημερινής διδασκαλίας 5 φορές την εβδομάδα μαζί με κάποια εργασία για το σπίτι. Σαφέστατα όμως, δεν προσομοιάζει το μοντέλο αυτό, τα αυστηρά πλαίσια εκπαίδευσης των βιομηχανοποιημένων περιοχών.⁷²

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων (πίνακας 2) διαπιστώνεται αμελητέα εμφάνιση μυωπίας στους αναλφάβητους αυτόχθονες της τάξης του 2,7% για σφάλμα $\leq -1,00$ D, με διόφθαλμη εμφάνιση ανερχόμενη στο 1,6%. Στους Brazilians παρατηρείται μία αύξηση στη μυωπία (6,4%) ,με αντίστοιχη διόφθαλμη παρουσία 5,1%. Η διαφορά αυτή απορρέει από τους νεότερους μορφωμένους Brazilians, οι οποίοι είναι μύωπες σε ποσοστό 11,4%, ενώ, αντίθετα οι μεγαλύτερες ανεκπαιδευτες ηλικιακές ομάδες δεν παρουσιάζουν αυξομειώσεις από τους γηγενείς. Οι αυτόχθονες που συμμετείχαν στην έρευνα αριθμούσαν 259 άτομα και οι Brazilians 78, ηλικίας μεταξύ 12 και 59 ετών. Επιπρόσθετα, το διαθλαστικό σφάλμα στους γηγενείς δεν χαρακτηρίζεται από συσχέτιση με την ηλικία, με μία μικρή μείωση της μυωπίας και αύξηση της υπερμετρωπίας με την ηλικία, φαινόμενο παρατηρούμενο σε πολύ ευρύτερο βαθμό στους Brazilians. Επιπλέον, προκύπτουν πρόσθετα ενδιαφέροντα στοιχεία. Μεταξύ των αυτοχθόνων κατοίκων με μυωπική διαταραχή, πάνω από τους μισούς ήταν ανισομετρικοί κατά περίπου 1,00 D. Έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι υψηλός επιπολασμός ανισομετρωπίας σε ένα δείγμα είναι συνυφασμένος με τον βαθμό της υπάρχουσας αμετρωπίας και συγκεκριμένα παρουσιάζεται ιδιαίτερος αυξημένος σε μεγάλου βαθμού μυωπικό σφάλμα. Ανάλογες διαπιστώσεις γίνονται και για τον αστιγματισμό, με τους μύωπες γηγενείς

να εμφανίζουν αστιγματική διαταραχή $\geq 0,50$ D στο 78,6%, με την πλειοψηφία μάλιστα των περιπτώσεων να πρόκειται για <<παρα τον κανόνα>>, 75- 105 μοίρες. Πολλές μελέτες επιβεβαιώνουν, αυτόν τον υψηλό αστιγματισμό σε μύωπες, αλλά και σε υπερμέτρωπες, συγκριτικά με εμμέτρωπες. Τα συμπεράσματα που εξαγονται, λοιπόν, αναφορικά με τον μυωπικό επιπολασμό και την σύνδεση του με την εκπαιδευτική διαδικασία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά, συνάδουν με αυτόν ενός μεγάλου αριθμού μελετών που έλαβαν χώρα σε εντελώς διαφορετικά φυσικά ενδιαιτήματα και πολιτισμούς και αποσκοπούσαν, επίσης, στην εγκαθίδρυση της θεωρίας πυροδότησης της μυωπικής εξέλιξης βάσει του βαθμού επιμορφωτικής ενασχόλησης.⁶⁸⁻⁷¹ Γενικότερα, πάντως, αξίζει να αναφερθεί ότι η σύγκριση μεταξύ διαθλαστικών ερευνών σε διαφορετικούς ανεκπαιδευτους πληθυσμούς αποτελεί δύσκολο εγχείρημα. Πιθανοί λόγοι αποτελούν τα, ενδεχομένως, διαφορετικά κριτήρια οριοθέτησης της μυωπίας, οι διαφορές στις διαθλαστικές διαδικασίες που ακολουθούνται, η συχνά απύσχα αναφορά από τους ερευνητές της διαθλαστικής κατανομής σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες και, τέλος, το γεγονός ότι η πλειοψηφία των διαθλαστικών μελετών σε απομονωμένους πολιτισμούς εκτελούνται, κατά κανόνα, σε παιδιά σχολικής ηλικίας. Εν κατακλείδι, ο επιπολασμός της μυωπίας είναι ιδιαιτέρως χαμηλός σε αναλφάβητους και αμόρφωτους πληθυσμούς, παρουσιάζει, όμως, αξιοσημείωτη άνοδο ακόμα και με το ελάχιστο επίπεδο εκπαίδευσης, ανεξαρτήτως πολιτισμικών, κλιματολογικών και γενετικών καταβολών.⁷²

	Indigenous people	Brazilians	p-Value
Number	259	78	
Mean Rx \pm SD	+0.59 \pm 0.89	+0.27 \pm 1.07	0.0029
<30 yrs	+0.47 \pm 0.54	-0.19 \pm 1.13	0.0001
\geq 30 yrs	+0.64 \pm 0.98	+0.58 \pm 0.90	NS
Prevalence of myopia (eyes)	2.7%	6.4%	*
<30 yrs	0.8%	11.3%	*
\geq 30 yrs	3.4%	3.2%	*

* The number of myopic eyes is too small to perform χ^2 tests of prevalence differences.
NS, not significant.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΥΤΟΧΘΟΝΩΝ–BRAZILIANS⁷²

Στον πίνακα γίνεται εμφανής η αύξηση του μυωπικού επιπολασμού στους Brazilians, η οποία απορρέει από την σημαντικά υψηλότερη εμφάνιση της μυωπίας στους νεότερους επιμορφωμένους Brazilians συγκριτικά με τους αναλφάβητους αυτόχθονες της ίδιας ηλικιακής ομάδας. Αντιθέτως, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην σύγκριση των γηραιότερων ηλικιακών ομάδων. Σημειώνεται, ακόμα, ελαφρά απόκλιση του μέσου σφαιρικού ισοδυνάμου σφάλματος των Brazilians(+0,276 D) σε σχέση με τους αυτόχθονες(+0,594 D).

Η.Π.Α. – ΕΥΡΩΠΗ – ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ

Στην προσπάθεια επιδημιολογικής αποτίμησης των διαθλαστικών σφαλμάτων και ειδικότερα της μυωπίας, πολύτιμα στοιχεία προσφέρει μία μελέτη της διαθλαστικής κατάστασης που παρουσίαζαν ενήλικα άτομα ηλικίας άνω των 40 ετών στις Η.Π.Α., στην Δυτική Ευρώπη και στην Αυστραλία κατά το έτος 2000 με την αντίστοιχη πρόβλεψη για την ακόλουθη διαμόρφωση εν έτει 2020. Η εμπειριστατωμένη αυτή μελέτη, αντλεί δεδομένα από 6 έρευνες και 29.281 άτομα, στρωματοποιώντας για τους παράγοντες της ηλικίας, του φύλου και της φυλής\εθνικότητας. Διαπιστώθηκε ότι τα διαθλαστικά σφάλματα στην ηλικιακή ομάδα άνω των 40 ετών, επηρέαζαν 1 στους 3 κατοίκους στους πληθυσμούς των Η.Π.Α και της Δυτικής Ευρώπης και 1 στους 5 στην Αυστραλία. Ειδικότερα, όσον αφορά την μυωπία, για μέγεθος σφάλματος $\leq -1,00$ D ,οι Αμερικανοί παρουσίαζαν μυωπία σε ποσοστό 25,4%(30,4εκ) ,οι κάτοικοι της Δυτικής Ευρώπης 26,6%(49,6εκ) και αυτοί της Αυστραλίας σε ποσοστό 16,4%(1,3 εκ). Βαθμούς μυωπίας $\leq -5,00$ D, εμφάνιζαν 5,3εκ , 8,5εκ, και 0,23εκ αντίστοιχα των παραπάνω πληθυσμών. Ο προβλεπόμενος επιπολασμός για το έτος 2020 ήταν παρεμφερής, μεταφραζόμενος για μέγεθος σφάλματος $\leq -1,00$ D στους Αμερικανούς σε 22,5%, στους Ευρωπαίους σε 26,5% και στον νεότερο ηλικιακό πληθυσμό της Αυστραλίας σε 15,7%. Η υπερμετρωπία στην παραπάνω ηλικιακή ομάδα υπολογίστηκε ότι επηρεάζει ένα σημαντικό τμήμα των ανωτέρω πληθυσμών, ανερχόμενη σε 10%.⁷⁵

Πιο συγκεκριμένα, η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των δεδομένων αποφέρει κρίσιμες πληροφορίες για την αντίληψη των διαμορφούμενων επιπολασμών και των δημογραφικών χαρακτηριστικών της μυωπίας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η μυωπία κατέχει στην συγκεκριμένη ηλικιακή ομάδα τον υψηλότερο επιπολασμό συγκριτικά με κάθε άλλη οπτική διαταραχή, συνυπολογίζοντας αυτό το στοιχεία, παράλληλα, με τον κίνδυνο παθολογικών επιπλοκών που διατρέχουν άτομα με υψηλή μυωπία. Το μυωπικό σφάλμα δύναται, βεβαίως, να εξουδετερωθεί οπτικά με την χρήση γυαλιών, φακών επαφής ή διαθλαστικής χειρουργικής, επιτρέποντας στους πάσχοντες με πρόσβαση στις ενδεικνυόμενες θεραπευτικές παρεμβάσεις να παραμένουν ικανοί για λειτουργική δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά, αποδεικνύεται ότι στον γενικό πληθυσμό, συχνά, δεν υπάρχει επαρκής διαθλαστική διόρθωση, καθιστώντας την μυωπία πρωταρχική αιτία ήπιας οπτικής εξασθένησης στα ανεπτυγμένα έθνη. Ορισμένες φορές και οι ίδιες οι θεραπευτικές προσεγγίσεις οδηγούν σε επιδείνωση του διαθλαστικού σφάλματος. Παραδείγματος χάριν, η βακτηριακή κερατίτιδα, η πλέον απειλητική για την όραση, επιπλοκή της χρήσης φακών επαφής, υπολογίζεται ότι απαντάται σε 1 στα 2500 άτομα-έτη που κάνουν χρήση καθημερινών φακών επαφής και σε 1 στα 500 άτομα-έτη με χρήση παρατεταμένης εφαρμογής φακών επαφής. Σύμφωνα, με την μελέτη του Rotterdam(1998), το 6% της οπτικής εξασθένησης οφειλόταν στην μυωπική εκφυλιστική διαδικασία ,η οποία σε άτομα νεότερα των 75 ετών αποτελεί τον πλέον κυρίαρχο παράγοντα οπτικής έκπτωσης. Τα παραπάνω δεδομένα της μελέτης

συγκλίνουν σε μία πιθανώς συχνά παραβλεπόμενη διαπίστωση: Ο κατά περίπτωση (σχετικός) κίνδυνος απώλειας της βέλτιστης οπτικής οξύτητας μπορεί είναι χαμηλότερος στην μυωπία συγκριτικά με τις άλλες οφθαλμικές διαταραχές. Όμως, λόγω του υψηλού επιπολασμού της, ο απόλυτος αριθμός των ατόμων με έκπτωση της οπτικής οξύτητας είναι πολλαπλάσιος και απορρέει από την ελλειπή διόρθωση, καθώς και από τις δυνητικές επιπλοκές των θεραπευτικών μεθόδων και της υψηλής μυωπίας. Παρεμφερής ανάλυση ακολουθείται και για τον οικονομικό αντίκτυπο. Δηλαδή, μπορεί σε ατομικό επίπεδο το κόστος για τα γυαλιά και τους φακούς επαφής να είναι μέτριο, αθροιστικά, όμως σε επίπεδο συστήματος υγείας είναι σημαντικότερο. Ενδεικτικά, μόνο το 1990 ανήλθε στις Η.Π.Α σε 12,8 δις δολάρια. Όσον αφορά την επιλογή της διαθλαστικής χειρουργικής, τις θεμελιώδεις τεχνικές αποτελούν η Laser in Situ Keratomileusis (LASIK), η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέχρι σήμερα με εφευρέτη τον Έλληνα καθηγητή οφθαλμολογίας Ι. Παλλήκαρη, και η Φωτοδιαθλαστική Κερατεκτομή (PRK - McDonald). Παρά το βραχυπρόθεσμο αυξημένο κόστος, μακροπρόθεσμα, η απαλλαγή από τα οπτικά μέσα διόρθωσης, με ότι αυτά συνεπάγονται, αποφέρει θετικό πρόσημο. Αυτό υπό την προϋπόθεση της μετεγχειρητικής σταθεροποίησης της διαθλαστικής κατάστασης, ώστε να μην απαιτείται εκ νέου διόρθωση.⁷⁵

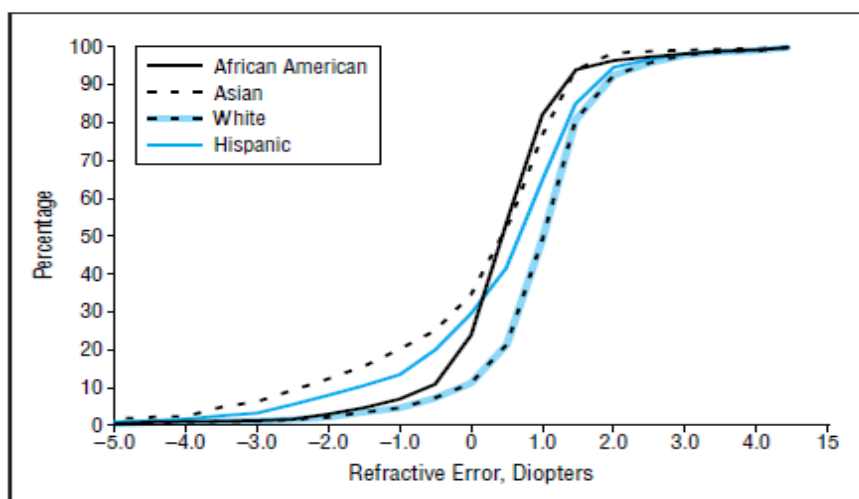
Επιπρόσθετα, η μελέτη αναδεικνύει μία ισχυρή συσχέτιση του διαθλαστικού σφάλματος με τον παράγοντα ηλικία. Διαφοροποιείται δηλαδή κυρίως ως προς την ηλικία και δευτερευόντως ως προς το φύλο και την εθνότητα. Επιπρόσθετα τα γηραιότερα άτομα εμφανίζουν μία τάση για υψηλότερα επίπεδα υπερμετρωπίας και χαμηλότερη εμφάνιση μυωπικής διαταραχής. Η σύνδεση αυτή αποδίδεται, είτε σε διαφοροποιήσεις του οπτικού συστήματος στην ροή του χρόνου, είτε στις περιβαλλοντικές προσλαμβάνουσες που βιώνουν τα άτομα. Η υπερμετρωπική μετατόπιση κατά τη μέση ηλικία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις ενδείξεις και τους στόχους της διαθλαστικής χειρουργικής σε έναν ενήλικο μύωπα. Δυνητικές επεξηγήσεις της υπερμετρωπικής αλλαγής αποτελούν η απώλεια του προσαρμοστικού τόνου προοδευτικά με την εκδήλωση πρεσβυωπίας, καθώς και πιθανές βιομετρικές αλλαγές, όπως ενδεχόμενη μείωση του αξονικού μήκους κατά την διαδικασία της γήρανσης. Μία ακόμα θεωρία, αυτή της πυρηνικής σκλήρυνσης του κρυσταλλοειδούς φακού, αναφέρει μία μυωπική μετατόπιση λόγω αυτής της σκλήρυνσης που οδηγεί σε αύξηση της διαθλαστικής ισχύος του οπτικού συστήματος. Πρόκειται στην ουσία για μία υπερβολή των φυσιολογικών μεταβολών στον πυρήνα του κρυσταλλοειδούς φακού, λόγω γήρατος. Κλινικά, αυτή η θεωρία βρίσκει εφαρμογή στην αποκαλούμενη <<Δεύτερη όραση των ηλικιωμένων>>, σύμφωνα με την οποία άτομα που χρησιμοποιούσαν κοντινή βοήθεια πλέον έπαψαν να την χρειάζονται, λόγω της αντιστάθμισης της απαιτούμενης πρόσθετης διοπτρικής βοήθειας για κοντινή όραση, από την αύξηση του δείκτη διάθλασης του κρυσταλλοειδούς φακού. Όσον αφορά την αποτίμηση των δημογραφικών

χαρακτηριστικών του φύλλου και της εθνότητας, η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας ,δεν απέδειξε υπεροχή κάποιου φύλου (με εξαίρεση τα υψηλότερα επίπεδα υψηλής μυωπίας στις γυναίκες) προς μυωπική διαταραχή, ενώ εμφανίστηκε διαφορά στον επιπολασμό , ανάλογα με την φυλή και την εθνικότητα. Συγκεκριμένα, η συχνότητα της μυωπίας ήταν μεγαλύτερη στους λευκούς από ότι στους Λατίνους και στους τελευταίους υψηλότερη από τους μαύρους. Προτείνεται, δηλαδή, ότι οι Λατίνοι και ,ιδίως, οι μαύρες εθνότητες ,ίσως,διαθέτουν έναν ικανότερο μηχανισμό εμμετροποίησης κατά την διάρκεια της ζωής σε σύγκριση με τους λευκούς.Αυτό δύναται να αποδοθεί σε γενετικό υπόστρωμα ή σε περιβαλλοντικούς παράγοντες.⁷⁵

ΕΘΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΦΥΣΕΩΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

Συνεχίζοντας και διευρύνοντας την αναζήτηση στοιχείων στην κατεύθυνση συσχέτισης του μυωπικού επιπολασμού με την εθνικότητα, άξια αναφοράς είναι η πολυκεντρική μελέτη παρατήρησης CLEERE, η οποία αποσκοπεί στην αξιολόγηση του διαθλαστικού σφάλματος και της οφθαλμικής ανάπτυξης σε παιδιά που ανήκαν σε 4 εθνικές ομάδες. Οι 4 εθνότητες που συμπεριελήφθησαν ήταν οι Αφροαμερικανοί (534 άτομα), οι Ασιάτες (491 άτομα), οι Ισπανόφωνοι(463 άτομα) και οι Λευκοί(1035 άτομα). Συμμετείχαν συνολικά 2523 παιδιά ηλικίας 5-17 ετών, με εξαίρεση αυτά που ενέπιπταν σε κριτήρια αποκλεισμού, όπως η αφακία, η στενή γωνία προσθίου θαλάμου, ένα ιστορικό επιληψίας, δυσκολίες στην ενστάλαξη σταγόνων προγενέστερα, έντονη ανησυχία και αδυναμία πραγματοποίησης των απαραίτητων μετρήσεων. Εξετάστηκε ο δεξιός οφθαλμός των συμμετεχόντων μετά από κυκλοπληγία και ως επίπεδο αναφοράς για την ύπαρξη μυωπικού σφάλματος ορίστηκαν οι -0,75 διοπτρίες. Ο προσδιορισμός σε μία έρευνα του επιπολασμού ενός φαινομένου βασίζεται στο τί καθορίζεται ως απόκλιση από το φυσιολογικό(= ασθένεια) και από τις μεθόδους μέτρησης. Απουσία ενός αυστηρώς καθορισμένου κριτηρίου για την θεώρηση διαταραχής, καθίσταται ανέφικτη η σύγκριση του επιπολασμού του διαθλαστικού σφάλματος, στα παιδιά διαφορετικών εθνοτήτων, μεταξύ ξεχωριστών μελετών. Από την CollaborativeLongitudinalEvaluationofEthnicityandRefractiveError μελέτη (CLEERE), διαπιστώθηκαν κλινικά σημαντικές διαφοροποιήσεις στον επιπολασμό του μυωπικού σφάλματος ανάμεσα στα παιδιά των διαφορετικών εθνοτήτων, ακόμα και αν είχαν παρεμφερή ηλικία και ανήκαν στο ίδιο φύλο. Αναλυτικά, ο συνολικός επιπολασμός της μυωπίας στο εξετασθέν δείγμα ανήλθε στο 9,2%. Τα υψηλότερα επίπεδα παρατηρήθηκαν στουςΑσιάτες (18,5%), ακολουθούμενοι από τους Λατίνους (Hispanics) με εμφάνιση μυωπίας σε ποσοστό 13,2%. Ο χαμηλότερος επιπολασμός σημειώθηκε στους Λευκούς (4,4%), παρόμοιος με το επίπεδο των Αφροαμερικανών (6,6%). Ακόμα ,η μέση ηλικία των παιδιών με μυωπική διαταραχή

ήταν τα 11 έτη και παρατηρήθηκε μία άνοδος της μυωπίας στον εξεταζόμενο πληθυσμό με την αύξηση της ηλικίας, συγκριτικά με τα υπόλοιπα διαθλαστικά σφάλματα. Όσον αφορά την κατανομή της μυωπίας στα δύο φύλα, το 11,7% των κοριτσιών και το 7,1% των αγοριών ήταν μύωπες. Η μεγάλη πλειοψηφία των 4 εθνοτήτων ήταν εμμέτρωπες, υποδηλώνοντας επιτυχή λειτουργία του εμμετρωποποιητικού μηχανισμού. Όσον αφορά την υπερμετρωπία, τα υψηλότερα επίπεδα επιπολασμού παρατηρήθηκαν στους Λευκούς και τους Ισπανόφωνους, ενώ στην περίπτωση του αστιγματισμού επικρατούσαν οι Ασιάτες και οι Ισπανόφωνοι.⁷⁶



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΣΤΙΣ 4 ΕΘΝΟΤΗΤΕΣ⁷⁶

Το διάγραμμα αναπαριστά την κατανομή της αθροιστικής συχνότητας του σφαιρικού ισοδυνάμου της διαθλαστικής κατάστασης, στα παιδιά των 4 εθνοτήτων που συμπεριελήφθησαν στην πολυκεντρική μελέτη CLEERE (1997-1998). Το διαθλαστικό σφάλμα για κάθε εθνικότητα είναι κατανομημένο παρομοίως. Αξιολογώντας το τμήμα της καμπύλης που αντιστοιχεί σε μυωπική μετατόπιση (< 0 D), επιβεβαιώνεται η υψηλότερη αθροιστική συχνότητα στους Ασιάτες, ακολουθούμενοι από τους Ισπανόφωνους και ο χαμηλός επιπολασμός στους Λευκούς και στους Αφροαμερικανούς.

Στο διάγραμμα της εικόνας 5 απεικονίζεται μία διαφορετική προσέγγιση των παρατηρούμενων διαθλαστικών σφαλμάτων, υπό το πρίσμα πλέον του Σφαιρικού Ισοδυνάμου, το οποίο χρησιμοποιείται ως μέτρο της διαθλαστικής κατάστασης σε πολλές μελέτες για να καταστεί εφικτή η μεταξύ τους σύγκριση. Το Σφαιρικό Ισοδύναμο (SphericalEquivalent) προκύπτει από τον ακόλουθο ορισμό : Σφαιρικό Ισοδύναμο = Σφαιρώμα + 0,5 X Κύλινδρος, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα της τιμής του σφαιρώματος και της μισής δύναμης του κυλίνδρου και έχει ως μονάδα μέτρησης τις διοπτρίες. Όπως έχει αναφερθεί η δυσκολία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μελέτης συγκριτικά με αυτά άλλων ερευνών, έγκειται στις διαφορές στον ορισμό του ορίου της διαθλαστικής ανωμαλίας, στις τεχνικές μέτρησης, στις κυκλοπληγικές παραμέτρους, στις ηλικιακές ομάδες και στα εθνικά χαρακτηριστικά (πίνακας 3).⁷⁶

Source	Ethnicity	Sample Size	Age Range, y	Myopia Criterion	Testing Method	Cycloplegia	Prevalence, %
Angle and Wissmann	White, black	13 536	12-17	Negative lenses, spherical equivalent	Neutralize lenses	No	31.8
Chen et al	Asian, black, white, Hispanic	1469	6-7	-0.50 D or more myopia, spherical equivalent	Retinoscopy	No	3.7
Laatikainen and Erkkila	Finnish	11 822	7-15	-0.50 D or more myopia	Retinoscopy	Yes	9.9
Lam et al	Chinese (Hong Kong)	142	6-17	More than -0.50 D of myopia, spherical equivalent	Subjective refraction	No	52.1
Lin et al	Taiwanese	11 178	7-18	-0.25 D or more myopia, spherical equivalent	Autorefractometry	Yes	76.0
Zadnik et al	White	716	6-13	-0.75 D or more myopia in both meridians	Autorefractometry	Yes	20.0

Abbreviation: D, diopters.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΕΠΙΛΕΧΘΕΙΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΥ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ⁷⁶

Ο πίνακας απεικονίζει μία σειρά μελετών προσδιορισμού της εμφάνισης μυωπικής διαταραχής, που παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στην ακολουθούμενη μεθοδολογία και στα ορισθέντα κριτήρια. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο στις έρευνες διαθλαστικών σφαλμάτων και δυσχεραίνει την πραγματοποίηση αξιόπιστων και έγκυρων συγκρίσεων μεταξύ τους.

2.2.ΜΥΩΠΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Το σύστημα κατηγοριοποίησης της μυωπίας που έχει κυριαρχήσει είναι αυτό του Grosvenor (1987)^{77,78}, το οποίο βασίζεται στην ηλικία κατά την οποία ταυτοποιήθηκε ή διορθώθηκε αρχικά η μυωπία, χωρίς να είναι ταυτόσημη απαραίτητως με την πραγματική ηλικία έναρξης της μυωπικής διαταραχής. Η συντηρητική αυτή ταξινόμηση παρουσιάζει λειτουργική αξία:

1) Πρώιμης Έναρξης (EarlyOnset): Αναφέρεται, επίσης, ως σχολική ή νεανική. Αρχίζει τυπικά μεταξύ 9 και 11 ετών, παρουσιάζει εξέλιξη σε όλη την διάρκεια των Πρώιμων εφηβικών χρόνων και μετέπειτα επιβράδυνση της προόδου κατά την Όψιμη εφηβεία ή νωρίς στην τρίτη δεκαετία της ζωής, ώστε να σταθεροποιηθεί, τελικά, σε ένα μέτριο επίπεδο μυωπικού σφάλματος 3 - 4 διοπτριών ή και περισσότερο. Η διαθλαστική αυτή ομάδα είναι πιθανώς πιο ευάλωτη σε γονιδιακούς παράγοντες και στο οικογενειακό ιστορικό, ενώ οι περιβαλλοντικοί παράμετροι θεωρείται ότι ασκούν δευτερεύουσα επιρροή. Στις Η.Π.Α. το 60% των ατόμων με μυωπική διαταραχή περιλαμβάνεται σε αυτήν την κατηγορία. 2) Όψιμης Έναρξης (LateOnset): Είναι γνωστή και με τον όρο "μυωπία πρώιμης ενήλικης

έναρξης. Ξεκινά, τυπικά, μεταξύ των 15 - 18 ετών και περιστασιακά στην αρχή της τρίτης δεκαετίας της ζωής, με αργή εξέλιξη και φτάνει σε επίπεδα που, σπάνια, υπερβαίνουν τους 2 διοπτρικούς βαθμούς μυωπίας. Η ηλικιακή κατανομή της έχει ως επακόλουθο τη συχνή της απόδοση, ιδίως από τους ασθενείς, σε παρατεταμένη κοντινή εργασία ή σε αλλαγές στον χαρακτήρα της με τα νεότερα τεχνολογικά εφευρήματα (αλλαγές στις οθόνες υπολογιστών, βιντεοπαιχνίδια), και ειδικότερα, όταν η κοντινή ενασχόληση απαιτεί έντονη καταβολή πνευματικής προσπάθειας. Αντίθετα, οι γενετικές καταβολές φαίνεται να διαδραματίζουν δευτερεύοντα ρόλο. Ένα σημαντικό τμήμα των μυώπων (8% – 15%) ανήκουν σε αυτήν την ομάδα. Επιχειρώντας να συσχετίσουμε τις 2 αναφερόμενες μυωπικές κατηγορίες, δεν πρέπει να παραβλέψουμε το γεγονός ότι ο φυσικός κανόνας είναι η συντονισμένη βιολογική ανάπτυξη των οφθαλμών να σταματά περίπου στην ηλικία των 15 ετών, στοιχείο που συνεπάγεται ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μυωπικών ατόμων είναι Πρώιμης Έναρξης. Η μυωπία Όψιμης Έναρξης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιδιαίτερο υποσύνολο αυτής της Πρώιμης Έναρξης, κατά το ότι το κύριο δομικό χαρακτηριστικό της είναι μία αύξηση στο μήκος του οπισθίου υαλοειδούς θαλάμου. Όσον αφορά τον ετήσιο ρυθμό μυωπικής προόδου, η μυωπία Όψιμης εκκίνησης παρουσιάζει μέτρια εξέλιξη (περίπου 0,16 D ανά έτος), ενώ η Πρώιμη εμφάνιση αυξάνεται στον τριπλάσιο βαθμό (περίπου 0,48 D ανά έτος). Φαίνεται, τελικά, και η ύπαρξη μίας αλληλεπίδρασης μεταξύ της γενετικής και περιβαλλοντικής συνιστώσας, με διαφορετικό βαθμό έκφρασης έκαστης τόσο στο εσωτερικό της καθεμίας κύριας κατηγορίας μυωπικού σφάλματος, όσο και ανάμεσα στις δύο διαθλαστικές μυωπικές ομάδες. 3) Υψηλή Μυωπία (High Myopia)⁷⁹: Υπό αυτόν τον όρο ταξινομούνται οι μυωπικές διαταραχές που υπερβαίνουν τις 6 D. Ενδεικτικά, τα επίπεδα επιπολασμού της σε νεαρούς εφήβους κυμαίνονται από 1% στις Καυκάσιες φυλές έως 15% και 20% σε φύλα της Ανατολικής Ασίας. 4) Συγγενής Μυωπία, 5) Μυωπία δευτερογενής συστηματικών παθήσεων, 6) Μυωπία απορρέουσα από αλλαγές του κρυσταλλοειδούς φακού κατά την έκτη δεκαετία της ζωής, απότοκες της διαδικασίας της γήρανσης. Καθώς δημιουργούνται νέες ίνες κολλαγόνου που τοποθετούνται ομόκεντρα, ο πυρήνας του φακού υφίσταται συμπύκνωση και σκλήρυνση. Πιο συγκεκριμένα, αδημοσίευτα δεδομένα, παρουσιάζουν μία μυωπική μετατόπιση της τάξεως των 0,50 έως 0,75 D κατά την αρχόμενη φάση της πρεσβυωπίας (4 με 5 χρόνια πριν την ανάγκη χορήγηση βοήθειας για κοντινό διάβασμα). Αυτή η μετατόπιση παρατηρήθηκε στο 15% των ατόμων και ήταν πιο αξιοπρόσεκτη στους ήδη μύωπες. Αποτελεί, όμως, πεδίο αντιπαράθεσης εάν αυτή η μυωπική αφεστίαση του ειδώλου, οφείλεται πράγματι σε βιοχημικές αλλαγές του κρυσταλλοειδούς φακού, και όχι σε αξονική επιμήκυνση η οποία θα μετακινούσε τον αμφιβληστροειδή οπισθίως του εστιακού επιπέδου και θα καθιστούσε τον οφθαλμό μυωπικό.⁶

2.3. ΜΥΩΠΙΚΗ ΑΙΤΙΟΠΑΘΟΓΕΝΕΙΑ

Η μυωπική διαταραχή αποτελεί μία πολυπαραγοντική εξέλιξη. Αναμφίβολα, δύο θεμελιώδεις μηχανισμοί αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη της: α) Η γενετική συνιστώσα, δηλαδή η γονιδιακά προγραμματισμένη ανάπτυξη του οφθαλμού, η οποία λαμβάνει χώρα στην πρώιμη παιδική ηλικία (Early Onset) οδηγώντας σε υψηλούς βαθμούς μυωπικού σφάλματος, β) Η περιβαλλοντική συνιστώσα, η οποία περιλαμβάνει τα προστατευτικά ή επιζήμια βιώματα που προσλαμβάνει το άτομο από τον φυσικό κόσμο μέσα στον οποίο ζει και δραστηριοποιείται. Χαρακτηριστικοί παράμετροι αυτής της κατηγορίας αποτελούν ο τρόπος ζωής και η εξωτερική δραστηριότητα, οικονομικοοικονομικοί παράγοντες, η αστικοποίηση, η εκπαίδευση, οι κλιματικές συνθήκες με τα χαρακτηριστικά φωτισμού, και ιδιαίτερη θέση ανάμεσα τους, αναμφισβήτητα, κατέχει η κοντινή ενασχόληση. Η δράση τους δημιουργεί μυωπική διαταραχή αργότερα στην ζωή (Late Onset) και παράγει ηπιότερους βαθμούς σφάλματος. Το 2006 προτάθηκε από τον Singh, ότι κάποιος μυωπιογόνος παράγων πυροδοτεί την αύξηση του οπισθίου 25% του υαλοειδούς θαλάμου, με επακόλουθο αξονική επιμήκυνση και μόνιμη μυωπία. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δύο κύριοι πυλώνες που καθορίζουν την μυωπική εμφάνιση δεν δρουν μεμονωμένα, αλλά αντιθέτως, βρίσκονται σε μία διαρκή κατάσταση αλληλεπίδρασης.⁸⁰ Επαλήθευση της αποφασιστικής σημασίας των δύο αυτών παραμέτρων στην διαμόρφωση της ιδιάζουσας διελκυστίνδας που καθορίζει την εμφάνιση μυωπικής διαταραχής, παρέχεται τόσο για την γενετική, όσο και για την περιβαλλοντική συνιστώσα. Αποδείξεις, λοιπόν, για τον κρίσιμο ρόλο της γενετικής κληρονομικότητας, πηγάζουν από τις ενδοοικογενειακές συσχετίσεις στη μυωπία, καθώς και από τον προσδιορισμό της κληρονομικότητας, που απορρέει αφ' ενός μεν από συσχετίσεις γονέων-απογόνων και μεταξύ αδερφών, αφετέρου δε από μελέτες σε μονοζυγωτικούς και δυζυγωτικούς διδύμους.⁸¹ Αντίστοιχα, ενδεικτικό στοιχείο της σημασίας των περιβαλλοντικών επιδράσεων και των οπτικών βιωμάτων, αποτελεί ο ταχύς ρυθμός αύξησης του επιπολασμού της μυωπίας στην Ανατολική Ασία.⁴¹⁻⁴⁵ Εισηγείται, δηλαδή, μία περιβαλλοντική προέλευση, δεδομένου ότι τα γενετικά χαρακτηριστικά, διαμορφωμένα από την φυσική επιλογή στο πέρασμα εκατοντάδων αιώνων, δεν μεταβάλλονται με τέτοια ταχύτητα. Πέραν αυτού αποδείξεις της περιβαλλοντικής συμμετοχής αντλούμε και από μελέτες για την επιρροή της εκπαιδευτικής διαδικασίας, της αστικοποίησης και ιδίως της κοντινής ενασχόλησης, στην συχνότητα εμφάνισης της μυωπίας.^{45,82}

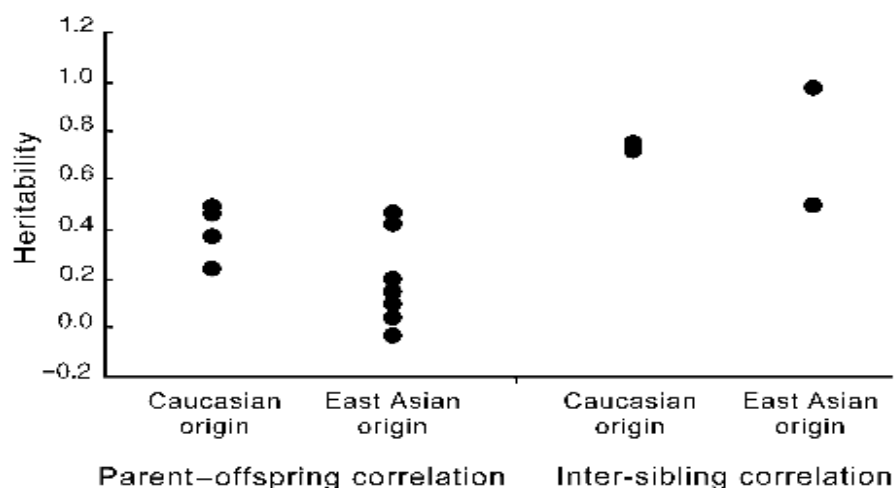
Η πολυπλοκότητα της μυωπικής προέλευσης αποδεικνύεται και από τις διαφορετικές κατευθύνσεις που μπορεί να λάβει η διερεύνηση της.⁸³ Ενδεικτικά

αναφέροντας, δεν μπορεί να παραβλεφθεί η εξάρτηση της μυωπικής διαταραχής από την αποτελεσματικότητα του Εμμετροποιητικού μηχανισμού (έχει αναλυθεί η διαδικασία εκτενώς), ο οποίος, ίσως, υπαγορεύει την ύπαρξη ή την απουσία της μυωπικής διαταραχής βάσει της έμφυτης βιολογικής ποικιλομορφίας. Ακόμα, μυωπικό σφάλμα δύναται να προέλθει από οπτική αποστέρηση του ερεθίσματος (formdeprivation) κατά την διάρκεια της πρώιμης αναπτυξιακής περιόδου, παρ' όλο που ο επιπολασμός αυτής της κατάστασης, πιθανότατα, είναι ιδιαίτερος χαμηλός.⁸⁴ Μία διαφορετική πτυχή αποτελεί η συσχέτιση της μυωπίας με συστηματικές παθήσεις. Απαντάται, ιδίως η υψηλή μυωπία, σε σχέση με σπάνιες διαταραχές του Συνδετικού ιστού, όπως το σύνδρομο Marfan⁸⁵ και το σύνδρομο Stickler⁸⁶, καθώς και με έναν αριθμό επιπλέον επαρκώς ορισθέντων γενετικών διαταραχών της οφθαλμικής ανάπτυξης (π.χ. σύνδρομο Ehlers-Danlos και Pierre-Robin).⁸⁷⁻⁸⁹ Επιπρόσθετα, άνθρωποι με ανώτερο επίπεδο μόρφωσης, καθώς και αυτοί με επαγγέλματα που περιλαμβάνουν αξιοσημείωτη ποσότητα και ένταση κοντινής εργασίας, παρουσιάζουν έναν υψηλότερο επιπολασμό μυωπίας. Πιθανή ερμηνεία αποτελεί η εισαγωγή της μυωπικής διαταραχής από την κοντινή εργασία, αλλά λόγω των πολλαπλών καταβολών και αλληλεπιδράσεων που οδηγούν στο φαινόμενο της μυωπίας, δεν μπορεί να παραβλεφθεί η ακόλουθη εικασία γενετικής επιταγής: δηλαδή, άτομα προορισμένα από τον γενετικό τους κώδικα να καταστούν μύωπες, είναι πιθανό να έλκονται σε μονοπάτια καριέρας τα οποία περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο κοντινή εργασία.⁹⁰

A)ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ

Εάν επιθυμούμε να θέσουμε το βιολογικό και βιοστατιστικό πλαίσιο του όρου, η κληρονομησιμότητα (heritability) αποτελεί το μέγεθος της ποικιλομορφίας ενός φαινοτυπικού χαρακτηριστικού σε έναν προσδιορισμένο πληθυσμό, το οποίο μπορεί να ερμηνευθεί από γενετικές διαφοροποιήσεις. Είναι μία μεταβλητή χωρίς διαστάσεις, η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1. Υψηλές τιμές της κληρονομησιμότητας υποδηλώνουν την ύπαρξη μίας σημαντικής γενετικής συνεισφοράς στην παρατηρούμενη στον πληθυσμό ποικιλομορφία.⁹¹ Η ανασκόπηση των μελετών οικογενειών από τον Guggenheimetal (2000) για την αποτίμηση του βαθμού κληρονομικότητας της μυωπίας, εμφάνισε τον δείκτη να κυμαίνεται από -0,03 έως 0,98.⁸¹ Αποκαλυπτικό είναι το σχήμα της εικόνας 6, όπου σκιαγραφείται η κληρονομησιμότητα της μυωπικής διαταραχής, εξεταζόμενη υπό το πρίσμα των ενδοοικογενειακών συσχετίσεων και της εθνότητας προέλευσης. Μελετήθηκαν οι εξαρτήσεις μεταξύ γονέων - τέκνων και ανάμεσα σε αδέρφια, σε πληθυσμούς προερχόμενους από τις Καυκάσιες φυλές και σε Εσκιμώους/Inuit πληθυσμούς οι

οποίοι έλκουν την καταγωγή τους από την Ανατολική Ασία. Διαπιστώθηκε ότι στις συσχετίσεις μυωπικής κληρονομικότητας ανάμεσα στα αδέρφια παρουσιάζονταν ομοιόμορφα υψηλές τιμές και στα δύο φύλα προέλευσης (0,50 – 0,98), ενώ ο δείκτης συσχέτισης ανάμεσα σε γονείς και απογόνους ήταν σαφώς χαμηλότερος (0,04 – 0,49). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι σε αντιδιαστολή με τους καθολικά υψηλούς βαθμούς κληρονομικότητας που ανευρίσκονται συνήθως, στο διάγραμμα απεικονίζονται αρκετές πολύ χαμηλές τιμές της μεταβλητής στην κατώτερη συστάδα της δεύτερης στήλης. Αντιστοιχούν στην συσχέτιση εμφάνισης της μυωπίας μεταξύ γονέων-τέκνων στους πληθυσμούς των Εσκιμώων\Inuit. Όπως γνωρίζουμε στους πληθυσμούς αυτούς ο επιπολασμός της μυωπία έχει παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια ραγδαία αύξηση. Αυτό το κατώτερο σύμπλεγμα ,λοιπόν, που υποδεικνύει την χαμηλή κληρονομισημότητα του χαρακτηριστικού της μυωπίας από γενιά σε γενιά στους Εσκιμώους, ίσως, ερμηνεύεται από τις ταχείες περιβαλλοντικές μεταβολές που υφίστανται οι νεώτεροι Εσκιμώοι. Σε αυτές υπάγονται οι ταχύτατες αποικιστικές αλλαγές και η έναρξη της εισαγωγής τους στην εκπαιδευτική διαδικασία, παράγοντες που διαφοροποιούν τις νεότερες γενεές από το παρελθόν. Όμως, μέσα σε αυτές τις αστραπιαία μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες ,ο δείκτης κληρονομικής συσχέτισης ανάμεσα σε αδέρφια ή ,σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό σε διδύμους, παραμένει υψηλός. Και αυτό συμβαίνει , καθώς ,κατά βάσει, μοιράζονται παρόμοιες περιβαλλοντικές εκθέσεις.⁹⁰



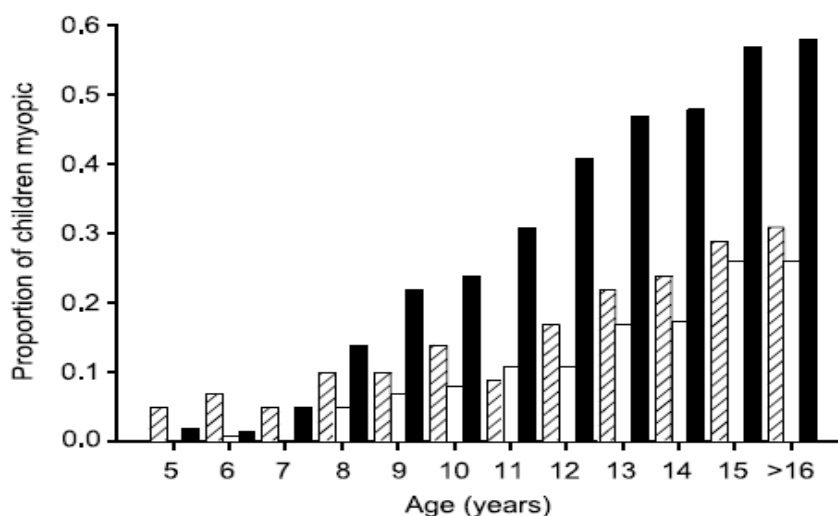
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΜΥΩΠΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ⁹⁰

Το διάγραμμα περιγράφει την κληρονομικότητα που απορρέει από ενδοοικογενειακές συσχετίσεις σε δύο διαφορετικά φύλα καταγωγής. Αναμφισβήτητα, οι μεγαλύτερες τιμές της μεταβλητής διαφυλετικά παρατηρούνται ανάμεσα στα αδέρφια. Άξια αναφοράς είναι η χαμηλή κληρονομισημότητα που χαρακτηρίζει την σχέση ανάμεσα στους γηραιότερους και νεότερους Εσκιμώους\Inuit.

Κατ' ουσία, η μυωπική κληρονομικότητα αντιπροσωπεύει την πιθανή επίδραση της προγονικής διαθλαστικής κατάστασης στην εμφάνιση μυωπίας στους απογόνους, με άλλα λόγια την διείσδυση των γονιδίων των γονέων στις επόμενες γενεές.⁶ Οι πιο πολλές μελέτες συγκλίνουν στην διαπίστωση, ότι υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για ένα παιδί να αναπτύξει μυωπική διαταραχή, εάν ο ένας του γονέας είναι μύωπας, κίνδυνος που επαυξάνεται σε περίπτωση μυωπικού σφάλματος και στους δύο γονείς. Επιπρόσθετα, αναδεικνύουν υψηλότερο κίνδυνο μυωπικής μετατόπισης για ένα άτομο, εάν έχει άλλα αδέρφια μύωπες. Ανάμεσα σε αυτές τις δύο ενδοοικογενειακές συσχετίσεις, οι έρευνες αποκαλύπτουν μία αδιαμφισβήτη επικράτηση της επιρροής της διαθλαστικής κατάστασης μεταξύ αδερφών.^{45,53,92} Στην σύγχρονη εποχή, όμως, παρατηρείται μία σημαντικότερη άνοδος του μυωπικού επιπολασμού σε πολλά μέρη του κόσμου, και, πιθανότατα, αυτές οι ραγδαίες μεταβολές να επιδρούν και στις ενδοοικογενειακές συσχετίσεις κληρονομικότητας της μυωπίας. Έτσι, συναντάμε δύο μοντέλα: Οι περιοχές στις οποίες ο επιπολασμός της μυωπίας έχει διατηρηθεί σχετικά σταθερός, καθώς και αυτές όπου οι περιβαλλοντικές επιδράσεις είναι ασήμαντες, (π.χ. εθνότητες με αναλλοίωτα χαρακτηριστικά στον τρόπο ζωής τους και στο φυσικό τους περιβάλλον, δίχως νέες επιρροές), εμφανίζουν υψηλό δείκτη κληρονομικότητας μεταξύ των μελών στις οικογένειες. Αντιθέτως, στην Ανατολική Ασία οι συσχετίσεις μεταξύ γονέων - απογόνων κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, καθώς γονείς δίχως μυωπική διαταραχή αποκτούν παιδιά με μυωπία, ενίοτε και υψηλή. Ακόμα και σε αυτές τις περιοχές, παρ' όλα αυτά, οι συσχετίσεις μεταξύ των αδερφών ίσως παραμένουν υψηλές, καθώς βιώνουν μία κοινή περιβαλλοντική εξελικτική διαδικασία, διαφορετική από εκείνη στην οποία εκτέθηκαν οι γονείς τους κατά την ανάπτυξή τους.⁹⁰ Η διατήρηση, δηλαδή, αυτής της κοινής πορείας στην διαθλαστική κατάσταση μεταξύ αδερφών, οφείλεται στο γεγονός ότι οι παρεμφερείς έντονες περιβαλλοντικές πιέσεις που δέχονται, ασκούνται πάνω στο ταυτόσημο γενετικό τους υπόβαθρο που έχουν κληρονομήσει από τους προγόνους τους. Ιδιαίτερως σε περιοχές όπως η Ανατολική Ασία με την ξεκάθαρη ροπή προς την μυωπία, εγείρεται ένα κρίσιμο ζήτημα. Εάν η επίδραση της γονεϊκής μυωπίας διατηρείται και είναι αυτή που καθορίζει, τελικά, όχι την εμφάνιση αυτής καθ' αυτής της μυωπίας, αλλά της σοβαρότητας της μυωπικής διαταραχής ή, αντιθέτως, έχει πλέον εξασθενήσει κάτω από την περιβαλλοντική πίεση. Η προσέγγιση διατήρησης της γενετικής επιρροής στα μέρη με τον υψηλό επιπολασμό μυωπίας, εισηγείται την ανάπτυξη χαμηλής μυωπίας στα παιδιά γονέων χωρίς μυωπική διαταραχή, ενώ υψηλή μυωπία εμφανίζεται στα παιδιά με γονείς μύωπες.⁹⁰

Ακόμα, σε έρευνα στο HongKong το 1999 εξετάστηκαν οι κληρονομικές συσχετίσεις της μυωπίας ανάμεσα σε τρεις γενεές. Παρατηρήθηκε ότι, καθώς, ο επιπολασμός της μυωπίας αυξανόταν από γενιά σε γενιά (από τους παππούδες στα εγγόνια), η κληρονομική εξάρτηση μεταξύ της μυωπίας των γονέων και των απογόνων

εξασθενούσε.⁹² Επίσης, μία μακροχρόνια μελέτη (24 ετών) του M.I.T.(Massachusetts Institute of Technology), κατέδειξε τον ξεκάθαρο αντίκτυπο της γονεϊκής μυωπίας στην εμφάνιση ήπιων ή μετρίων επιπέδων μυωπικού σφάλματος στα παιδιά (εικόνα 7).⁹³ Ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί, επίσης, μία πιθανή συνακολουθούσα τροποποίηση των βιομετρικών χαρακτηριστικών, συνοδεύουσα την οικογενή προδιάθεση. Σύμφωνα, λοιπόν, με την Orinda Longitudinal Study of Myopia, ελέγχοντας τους άλλους παράγοντες επίδρασης, παιδιά με δύο γονείς μύωπες εμφάνιζαν οφθαλμούς με σημαντικά μεγαλύτερο αξονικό μήκος και μικρότερο υπερμετρωπικό σφάλμα συγκριτικά με παιδιά τα οποία είχαν έναν ή κανέναν γονέα με μυωπική διαταραχή. Επιπρόσθετα, ακόμα και τα παιδιά που δεν παρουσιάζουν μυωπικό σφάλμα και προέρχονται από μύωπες γονείς, έχουν την τάση να εμφανίζουν πιο επιμήκης οφθαλμούς σε σύγκριση με μη-μυωπικά παιδιά που οι γονείς τους δεν έχουν μυωπία.⁶ Αξίζει, τέλος, να αναφερθούμε στον όρο <<οικογενειακό ιστορικό της μυωπίας>>. Δεν είναι γνωστό εάν το οικογενειακό ιστορικό είναι ένας παράγοντας που οφείλεται στην κληρονομικότητα ή στον κοινό τρόπο ζωής στα άτομα μίας οικογένειας. Ενδεχομένως, μία μεγαλύτερη ευαισθησία στις επιδράσεις των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών να είναι και αυτή κληρονομούμενη.



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΜΥΩΠΙΚΩΝ ΓΟΝΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΠΟΓΟΝΟΥΣ⁶

Το σχήμα απεικονίζει την επιρροή που ασκεί ο αριθμός των γονέων με μυωπία στην εμφάνιση μυωπικής διαταραχής στους απογόνους. Οι μαύροι κύλινδροι αντιστοιχούν σε παρουσία μυωπίας και στους 2 γονείς, οι ραβδωτοί σε παρουσία μυωπικού σφάλματος στον έναν γονέα και οι λευκοί κύλινδροι σε παιδιά που οι γονείς του δεν εμφανίζουν την διαταραχή. Διαπιστώνεται μία σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης μυωπικού σφάλματος στα παιδιά που και οι 2 γονείς τους ήταν μύωπες.

Εμβαθύνοντας στο γενετικό υπόστρωμα της μυωπικής διαταραχής, μελέτες με χρήση Μικροδορυφορικών Γενετικών Δεικτών και Μονο-νουκλεοτιδικών Πολυμορφισμών (SNPs), έχουν συσχετίσει την νεανικής έναρξης μυωπία με πολυάριθμους γενετικούς τόπους, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή δομικών πρωτεϊνών, παραγόντων ανάπτυξης και ενζύμων. Το 2010 αναγνωρίστηκε μία ευάλωτη χρωμοσωμική θέση, η 15q25. Επιπλέον, μελέτες σε διδύμους καταδεικνύουν την ισχύ της γενετικής συνιστώσας στην μυωπία νεανικής έναρξης, με τον δείκτη κληρονομικότητας να ανέρχεται σε υψηλές τιμές (0,50- 0,90). Παρ' όλα αυτά, δεν θεωρείται πιθανό η εμφάνισή της να καθορίζεται απευθείας μόνο από ένα γονίδιο ή από μία συγκεκριμένη μετάλλαξη στον γενετικό κώδικα, αλλά αντίθετα παρουσιάζει πολυπαραγοντικό προφίλ. Όσον αφορά την υψηλή μυωπία (< - 6 D), έχουν ταυτοποιηθεί αρκετοί γενετικοί τόποι σε μία σειρά χρωμοσωμάτων (18p, 12q, 7q36, TGIF).⁹⁴⁻⁹⁶ Τα χρωμοσώματα 12 και 18, όμως, δεν φαίνεται να συνδέονται με υψηλούς βαθμούς νεανικής μυωπίας.⁹⁷ Ακόμα, δύο θέσεις στο γονιδίωμα έχουν αναγνωρισθεί ως υπεύθυνες για μορφή υψηλής μυωπίας επικρατούσας κληρονομικότητας. Επιπρόσθετοι γενετικοί παράγοντες ευθύνονται για περισσότερο από το 80% των παραλλαγών του διαθλαστικού σφάλματος σε Ευρωπαϊκούς πληθυσμούς.^{98,99}

Το διακύβευμα, τελικά, της γενετικής πτυχής της μυωπικής διαταραχής, είναι το κατά πόσο η παρατηρούμενη υψηλή κληρονομικότητα αποκλείει ταχείες αλλαγές στον επιπολασμό απορρέουσες από περιβαλλοντικές επιδράσεις, κυρίως αναφερόμενες, στην αστικοποίηση και στην εκπαιδευτική δραστηριότητα με την κοντινή εργασία που αυτή συνεπάγεται.⁶ Όλα τα γονίδια εκφράζονται σε βιολογικά και κοινωνικά περιβάλλοντα και η φύση της αλληλεπίδρασης των περιβαλλοντικών παραμέτρων με τους γενετικούς παράγοντες παραμένει ασαφής και περίπλοκη. Έτσι από μία ευρεία θεώρηση, μία αύξηση της περιβαλλοντικής μεταβλητότητας, θα έχει ως επακόλουθο μία περιβαλλοντικά εισαγόμενη διαφοροποίηση στην ποικιλομορφία του φαινοτύπου και κατά συνέπεια μία χαμηλότερη κληρονομισημότητα. Συγκεκριμένα στην μυωπία, σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, στην περίπτωση ύπαρξης μίας καίριας και επαρκούς τροποποίησης της φυσικής συνιστώσας, είναι πιθανό να προκύψει συνολική διαφοροποίηση στην κατανομή του φαινοτυπικού χαρακτηριστικού της μυωπίας, χωρίς να συνοδεύεται απαραίτητως από αντίστοιχη αλλαγή στην κληρονομισημότητα. Η παραπάνω ανάλυση καθιστά συμβατή την διαπίστωση για έναν καθολικά υψηλό δείκτη κληρονομισημότητας της μυωπίας, ταυτόχρονα, με την παρουσία ενός εκτεταμένου εύρους περιβαλλοντικά καθοδηγούμενων μεταβολών στον επιπολασμό στην Ασία και ευρύτερα στον κόσμο. Εν κατακλείδι, η υψηλή κληρονομισημότητα της μυωπίας δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για ραγδαίες αλλαγές στην εμφάνιση της μυωπίας, εισαγόμενες από τις επιδράσεις του φυσικού κόσμου.⁹⁰

B)ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

1)ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΒΙΩΣΗΣ: ΤΡΟΠΟΣ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΟ ΦΩΣ

Η μυωπία αποτελεί, παγκοσμίως, το πιο διαδεδομένο διαθλαστικό σφάλμα, υπολογιζόμενη το 2011 να επηρεάζει 1,44 δις άτομα, μέγεθος ισοδύναμο με το 22,6% του παγκοσμίου πληθυσμού.¹⁰⁰ Καθίσταται, επομένως, επιτακτική ανάγκη η κατανόηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων που πηγάζουν από τον τρόπο ζωής, καθώς η αναγνώριση των προστατευτικών και επιζήμιων παραγόντων θα παράσχει τη δυνατότητα αποτελεσματικής πρόληψης και σχεδιασμού αποδοτικών θεραπευτικών στρατηγικών.¹⁰¹Κρίσιμο στοιχείο της επίδρασης των φυσικών ερεθισμάτων στην εμφάνιση μυωπικής διαταραχής αποτελεί ο χρόνος που καταναλίσκεται σε εξωτερικούς χώρους και ευνοεί την έκθεση στο φυσικό φως (timespentoutdoors). Η υπαίθρια έκθεση στο φως αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως ένας προστατευτικός παράγοντας για την παρεμπόδιση ανάπτυξης μυωπίας. Επιδημιολογικά δεδομένα που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μίας αντίστροφης σχέσης ανάμεσα στην εμφάνιση μυωπίας και την εξωτερική ενασχόληση παρέχονται από μία πλειάδα μελετών επιπολασμού (cross-sectional) και προοπτικών ερευνών (κοορτών). Ενδεικτικά, οι Parsinnen και Lygga παρατήρησαν ότι η αυξημένη εξωτερική δραστηριότητα και η συμμετοχή σε αθλήματα συνοδεύονταν από μείωση του επιπολασμού της μυωπίας στα αγόρια. Ένας τέτοιος ειδικός για το φύλο χαρακτήρας της εξωτερικής δραστηριότητας έχει προταθεί και από άλλες μελέτες. Αντίστοιχα, ο Mutti et al κατέδειξαν την προστατευτική ισχύ της υπαίθριας έκθεσης έναντι της μυωπικής διαταραχής σε παιδιά στην Ιορδανία, καθώς και σε φοιτητές ιατρικής στην Τουρκία, όπου διαπιστώθηκε περιορισμός στην εμφάνιση της μυωπίας συναρτήσει του χρόνου που αφιέρωσαν για υπαίθριο ενασχόληση ως παιδιά.¹⁰²⁻¹⁰⁶

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΣΤΗΝ ΜΥΩΠΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η φυσιολογία του μηχανισμού δράσης της εξωτερικής δραστηριότητας δεν είναι πλήρως αποκρυπτογραφημένη, παρ' όλα αυτά καίρια κομμάτια της έχουν έλθει στο φως. Πιστεύεται, από δεδομένα πειραμάτων σε ζώα, ότι το ζωηρό φυσικό φως (brightlight) προκαλεί αυξημένη απελευθέρωση ντοπαμίνης από τον αμφιβληστροειδή, η οποία φαίνεται να μειώνει την αξονική επιμήκυνση στα κοτόπουλα.¹⁰⁷ Η ντοπαμίνη ανήκει στην οικογένεια των κατεχολαμινών και στον εγκέφαλο δρα ως νευροδιαβιβαστής. Παράλληλα, ο αμφιβληστροειδής αποτελεί τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος. Επαλήθευση του ρόλου που διαδραματίζει η ντοπαμίνη, αποτελεί το γεγονός ότι οι ανταγωνιστές της, μπλοκάρουν την προστασία που παρέχει το ζωηρό φως έναντι της αύξησης του αξονικού μήκους.¹⁰⁸ Επιπλέον, ο Ashbyetal το 2010 επιβεβαίωσαν την σημασία της ντοπαμίνης. Δημιουργώντας συνθήκες αποστέρησης του ερεθίσματος σε κοτόπουλα με την χρήση φακών διάχυσης (diffusinglenses), απέδειξε ότι τα κοτόπουλα που εξετράφησαν σε συνθήκες υψηλής φωτεινότητας (15.000 ή 30.000 lux), παρουσίαζαν χαμηλότερη μυωπία συγκριτικά με αυτά που κατά την ανατροφή τους εκτέθηκαν σε χαμηλά επίπεδα φωτεινότητας (500 lux). Αυτή η αντιστάθμιση στην μυωπική διαταραχή, τουλάχιστον εν μέρει, ρυθμίστηκε από την ντοπαμίνη. Πιο πρόσφατες έρευνες (2012), αυτήν την φορά σε πρωτεύοντα θηλαστικά και συγκεκριμένα στους rhesusmonkeys επιβεβαιώνουν τον προστατευτικό ρόλο του υψηλού περιβαλλοντικού φωτισμού, καθώς διαπιστώθηκε ότι καθυστερεί την ανάπτυξη μυωπίας προερχόμενης από την αποστέρηση του οπτικού ερεθίσματος.¹⁰⁹ Αναλύοντας τα πειραματικά αποτελέσματα στις μαϊμούδες ως προς τις πιθανές του προεκτάσεις, προτείνεται και μία δυναμική προφυλακτική δράση του ενισχυμένου εσωτερικού φωτισμού ενάντια της μυωπίας στον άνθρωπο, ώστε να προσομοιάζει στο μέτρο του δυνατού τις εξωτερικές συνθήκες έντασης. Επιπρόσθετα, προσπάθειες διαχωρισμού του λαμπερού φωτός από το υπεριώδες, έχουν καταδείξει σε ζωικά μοντέλα όπου έγινε χρήση φωτισμού ελεύθερου υπεριώδους ακτινοβολίας, μία προστατευτική δράση του λαμπερού φωτός έναντι της μυωπίας.^{110,111} Έχει, επίσης, διατυπωθεί μία θεωρία που δεν έχει αποδειχτεί και σύμφωνα με την οποία η αυξημένη έκθεση σε τεχνητό φωτισμό οδηγεί στην ανάπτυξη μυωπίας, με το υπεριώδες φως να αποτελεί ζωτικό στοιχείο αποφυγής αυτής της εξέλιξης.¹¹²

Ακόμα, μία εναλλακτική υπόθεση εμπλέκει την διαφορά στην ένταση του φωτισμού μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Εισηγείται ότι λόγω της καθ' επικράτηση μεγαλύτερης έντασης του φωτός στο φυσικό κόσμο συγκριτικά με τους κλειστούς χώρους, η κόρη του οφθαλμού στο υπαίθριο περιβάλλον θα είναι σε

μεγαλύτερο βαθμό συσταλμένη, ώστε να περιοριστεί η εισερχόμενη ποσότητα του φωτός.¹¹³ Εντονότερη μύση, όμως, συνεπάγεται με την σειρά της, αυξημένο βάθος πεδίου (μηχανισμός rinhole) και κατ' επέκταση ευκρινέστερη αντίληψη της αμφιβληστροειδικής εικόνας.¹¹⁴ Στοιχείο που συνηγορεί υπέρ μίας τέτοιας θεωρίας, αποτελεί ο σταθερά χαμηλότερος επιπολασμός της μυωπίας σε αγροτικές περιοχές, όπου κυριαρχούν υψηλές εντάσεις φωτισμού και κατ' αντιστοιχία μεγαλύτερο βάθος πεδίου και μειωμένη θόλωση της εικόνας. Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση περιλαμβάνει τις επιδράσεις των διαταραχών του κερκαδιανού ρυθμού στο βιομετρικό και διαθλαστικό προφίλ του οφθαλμού.¹¹⁵⁻¹¹⁷ Ο κερκαδιανός ρυθμός αποτελεί το βιολογικό ρολόι του οργανισμού, έχει περίοδο το ημερονύχτιο και στον άνθρωπο επαναλαμβάνεται κάθε 24 ώρες. Μελέτες σε ζώα έχουν δείξει ότι η διαταραχή των φυσιολογικών ωρών εναλλαγής φωτός – σκότους σε αυτόν τον σταθερό κύκλο, εισάγουν ανώμαλη οφθαλμική ανάπτυξη και διαταραγμένη εμμετροποίηση. Παρατηρήθηκε, δηλαδή, σε κοτόπουλα που εξετράφησαν υπό συνεχές φως, ότι ανέπτυξαν υπερμετροπία και εμφάνισαν πιο ρηχό πρόσθιο θάλαμο και πιο επιπεδωμένο κερατοειδή. Σε αντίστοιχα πειράματα σε μαϊμούδες παρ' όλα αυτά, δεν διαπιστώθηκε διαφοροποίηση στο βάθος προσθίου θαλάμου ή στο μέγεθος της υαλοειδικής κοιλότητας, στην καμπυλότητα ή στην παχυμετρία κερατοειδούς, ή στο πάχος του κρυσταλλοειδούς φακού, μεταξύ αυτών με συνεχή έκθεση στο φως και αυτών με φυσιολογικές περιόδους φωτισμού κατά την ανάπτυξη. Έχει διατυπωθεί, τέλος, η άποψη ότι βιοχημικές αλλαγές προκληθείσες από αυξημένη φυσική δραστηριότητα, είναι δυνατό να έχουν έναν ανασταλτικό ρόλο στην επιμήκη ανάπτυξη του οφθαλμού. Οι παραπάνω θεωρήσεις εισηγούνται ότι ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο το φως, και ιδιαιτέρως ο φυσικός φωτισμός που πηγάζει από την υπαίθριο έκθεση, επιδρά στην διαθλαστική κατάσταση τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, είναι πολυδιάστατος. Ίσως δε, εμφανίζει, εξαρτώμενη από το είδος του οργανισμού, φύση.¹⁰¹

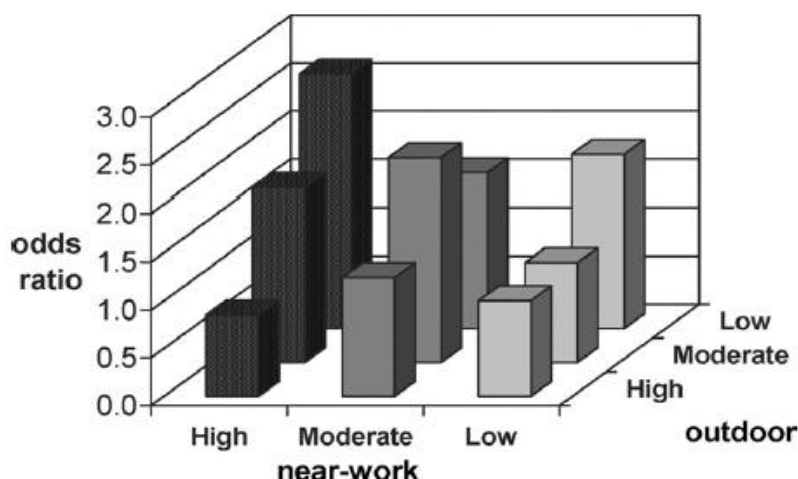
ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΔΡΑΣΗ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ

Μία διαφορετική πτυχή του δυναμικού της υπαίθριου δραστηριότητας με την έκθεση στο φυσικό φως για την αποτροπή της μυωπικής διαταραχής, προκύπτει από την αξιολόγηση της συνδυασμένη επίδρασης της με την κοντινή και μέσης απόστασης ενασχόληση. Η μυωπία, κατά κανόνα, κάνει την εμφάνιση της και αυξάνεται προοδευτικά κατά την διάρκεια των σχολικών ετών, με λογική συνεπαγωγή την απόδοση αυτής της διαταραχής στην εντατικοποίηση της κοντινής εργασίας και ιδίως της ανάγνωσης, που λαμβάνει χώρα σε αυτή την ηλικία.¹¹⁸ Ο πυρήνας αυτής της θεώρησης έγκειται στη συσχέτιση της κοντινής μελέτης με την προσαρμοστική διαδικασία και τις επιδράσεις της ιδιάζουσας λειτουργικής φυσιολογίας της τελευταίας. Παρ' όλα αυτά, περιορισμένο τμήμα του συνολικού

επιπολασμού της μυωπίας έχει καταδειχθεί να συνδέεται με την κοντινή εργασία.^{119,120} Επίσης, προσπάθειες τροποποίησης της προσαρμογής για την παρεμπόδιση της μυωπικής διαταραχής δεν έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα¹²¹, με εξαίρεση περιπτώσεις εσωτερικής εσωφορίας.^{122,123} Επιπρόσθετα, παρά το γεγονός ότι έχει αποδειχθεί ο ρόλος της ατροπίνης στην επιβράδυνση της μυωπικής εξέλιξης,¹²⁴ έρευνες σε ζώα εισηγούνται ότι η δράση αυτή δεν οφείλεται στην παράλυση της προσαρμογής.¹²⁵

Μελέτη στην Αυστραλία (2007) είναι η πρώτη που επιχειρεί ξεχωριστό προσδιορισμό για τον ρόλο του χρόνου εξωτερικής ενασχόλησης και της εμπλοκής σε κοντινή εργασία και εσωτερικές δραστηριότητες. Σκοπός είναι να καταστεί εφικτή η αξιολόγηση της διακριτής επίδρασης της κοντινής, ενδιάμεσης και υπαιθρίου δραστηριότητας (μακρινή θέαση). Εξετάστηκαν παιδιά 6 και 12 ετών στα οποία πραγματοποιήθηκε κυκλοπληγική διάθλαση. Διαμορφώθηκαν 3 κατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο αφιέρωσης σε 3 αποστάσεις ενασχόλησης: α) Η κοντινή δραστηριότητα, με απόσταση εργασίας <50 cm, περιλαμβάνει τον χρόνο που καταναλώθηκε για ζωγραφική, σχολικές εργασίες, διάβασμα και ενασχόληση με τους υπολογιστές νέας γενιάς (tablets), β) Η μέσης απόστασης ενασχόληση, αντιπροσωπεύει την αφιέρωση χρόνου στην παρακολούθηση τηλεόρασης, σε βιντεοπαιχνίδια και σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, γ) Η εξωτερική δραστηριότητα (μακρινή απόσταση), η οποία απαρτίζεται από το υπαίθριο παιχνίδι, τις οικογενειακές εξορμήσεις στην εξοχή, την ποδηλασία, το περπάτημα και τις εξωτερικές αθλοπαιδείες. Το επίπεδο συμμετοχής στην εκάστοτε κατηγορία δύναται να είναι χαμηλό, μέτριο ή υψηλό, ενώ αποτιμήθηκε και η αθλητική δραστηριότητα εσωτερικού χώρου. Στην ηλικιακή ομάδα των εξάχρονων παιδιών δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση μεταξύ της εκάστοτε δραστηριότητας και της διαθλαστικής κατάστασης. Η αθλητική δραστηριότητα σε εσωτερικούς χώρους δεν διαπιστώθηκε να έχει επίδραση. Στην ηλικία των 12 ετών τα υψηλά επίπεδα εξωτερικής ενασχόλησης ήταν συνυφασμένα με πιο υπερμετρωπικές διαθλάσεις και χαμηλότερο επιπολασμό της μυωπίας. Τα ανώτερα επίπεδα υπερμετρωπίας διαπιστώθηκαν παρουσία χαμηλού βαθμού κοντινής δραστηριότητας και υψηλού εξωτερικής. Σε αντιδιαστολή, το χαμηλότερο υπερμετρωπικό μέσο Σφαιρικό Ισοδύναμο παρατηρήθηκε στα παιδιά με υψηλά επίπεδα κοντινής εργασίας, σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα υπαιθρίου ενασχόλησης και τα οποία είχαν 2 με 3 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης μυωπίας σε σύγκριση με την προηγούμενη κατηγορία. Επεξηγηματικό είναι το σχήμα της εικόνας 8. Απεικονίζεται η προστατευτική δράση της υπαιθρίου ενασχόλησης σε όλα τα επίπεδα έντασης της κοντινής εργασίας. Γίνεται, δηλαδή σαφής χαμηλότερη πιθανότητα μυωπικής διαταραχής που συνοδεύει την υψηλή εξωτερική δραστηριότητα και την έκθεση στο φυσικό φως, ανεξαρτήτως επιπέδου αφιέρωσης στην κοντινή εργασία. Κρίσιμο στοιχείο αποτελεί, ακόμα, η διαπίστωση ότι η

επίδραση της μειωμένης αφιέρωσης χρόνου υπαιθρίως, ήταν ισχυρότερη όσον αφορά την αύξηση του κινδύνου εμφάνισης της μυωπίας συγκριτικά με την αύξηση της κοντινής εργασίας. Οι διαπιστώσεις που απορρέουν από την έρευνα προβάλλουν ,τέλος,αυτή καθ' αυτήν την εξωτερική παρουσία, παρά την φυσική δραστηριότητα και την συμμετοχή σε αθλήματα, ως τον αποφασιστικό παράγοντα περιορισμού του επιπολασμού της μυωπίας. Και αυτό καθώς η μείωση στην εμφάνιση της μυωπίας παρατηρείτο με την αύξηση του χρόνου υπαιθρίου παρουσίας, ακόμα και απουσία συνυπολογισμού των ωρών εξωτερικής άθλησης.¹²⁶



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ¹²⁶

Το σχήμα αναπαριστά τις πιθανότητες εμφάνισης μυωπίας συναρτήσει της συνδυασμένης επίδρασης της μέσης ημερησίας εξωτερικής και κοντινής ενασχόλησης στα παιδιά ηλικίας 12 ετών. Έχει πραγματοποιηθεί προσαρμογή για τις μεταβλητές του φύλου ,της εθνικότητας, καθώς και για την διαθλαστική κατάσταση, την εργασία και το μορφωτικό επίπεδο των γονέων. Ως ομάδα αναφοράς ορίστηκε αυτή με την υψηλή εξωτερική και την χαμηλή κοντινή δραστηριότητα. Διαπιστώνεται η θεμελιώδης επιρροή της αυξημένης υπαιθρίου συμμετοχής στον περιορισμό της πιθανότητας ανάπτυξης μυωπίας.

Από την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας έρχονται στο προσκήνιο νέες θεωρίες για την σημαντικότητα της υπαιθρίου συμμετοχής στην προστασία έναντι της μυωπίας, εμπλέκοντας αυτήν τη φορά την απόσταση εργασίας, ιδίως την κοντινή και τον προσαρμοστικό μηχανισμό. Περαιτέρω, λοιπόν, των ήδη αναφερθέντων σκέψεων της ντοπαμινικής απελευθέρωσης και της αύξησης του βάθους πεδίου με το φυσικό φως, υπεισέρχονται στο σημείο αυτό δύο επιπλέον θεωρήσεις .Το μοντέλο της <<επίδρασης υποκατάστασης>>, αναφέρεται στην αληθοφανή διαπίστωση ότι η αύξηση των ωρών εξωτερικής δραστηριότητας, δηλαδή μακρινής, κυρίως, ενασχόλησης, περιορίζει σαν επακόλουθο τον χρόνο που αφιερώνεται σε κοντινής και μέσης απόστασης αποστολές και ,κατ' επέκταση, την έκθεση σε μυωπιογόνους παράγοντες. Εγείρονται ,όμως, αμφισβητήσεις για την ορθότητα αυτής της απλουστευτικής ερμηνείας, καθώς εφόσον είναι αληθής η άποψη για μία περιορισμένη επιρροή της κοντινής και ενδιάμεσης ενασχόλησης στην διαθλαστική κατάσταση, και η αντικατάσταση τους αντίστοιχα, θα συνοδεύεται από χαμηλή

σημαντικότητα. Ακόμα, η έρευνα στην Αυστραλία κατέδειξε μικρή συσχέτιση μεταξύ των ωρών υπαίθριας έκθεσης και των ωρών που αφιερώθηκαν για κοντινή και ενδιάμεση δραστηριότητα, δηλαδή δεν διαπιστώθηκε αποτρεπτικός ρόλος του αυξημένου χρόνου υπαίθριου συμμετοχής στις άλλες κατηγορίες δραστηριοποίησης, αλλά μία καθολική επίδραση του ανεξαρτήτως του επιπέδου κοντινής έκθεσης.¹²⁶

Η δεύτερη υπόθεση, αφορά μία πιθανή επίδραση της υπαίθριου έκθεσης μέσω της προσαρμοστικής διαδικασίας. Η εξωτερική δραστηριότητα ευνοεί την μακρινή θέαση η οποία με την σειρά της έχει χαμηλές προσαρμοστικές απαιτήσεις. Για εμμετρικούς οφθαλμούς, θέαση αντικειμένων σε απόσταση μεγαλύτερη των 6 μέτρων θεωρείται οπτικά ισοδύναμη με την θέαση στο άπειρο. Από την σκοπιά της φυσιολογίας και της οπτικής φυσικής, το άπω σημείο, δηλαδή το πιο μακρινό σημείο το οποίο μπορεί να απεικονιστεί ευκρινώς στον αμφιβληστροειδή, βρίσκεται για τον εμμετρικό οφθαλμό τουλάχιστον στα 6 μέτρα, καθώς παράλληλες μπορούν να θεωρηθούν μόνο οι ακτίνες που προέρχονται από μεγάλη απόσταση. Στους μύωπες το άπω σημείο δεν βρίσκεται στο θεωρητικό άπειρο, αλλά σε μικρή απόσταση. Δεν θεωρείται πιθανή, όμως, αυτή η υπόθεση επίδρασης της μειωμένης προσαρμογής για μακριά, καθώς προϋποθέτει έναν βιολογικό μηχανισμό ελέγχου της αξονικής επιμήκυνσης βασιζόμενο αποκλειστικά στο πλεονέκτημα τηςελάχιστης προσαρμοστικής απαίτησης πέραν των 6 μέτρων. Επιπλέον, ένας εμμετρικός οφθαλμός με ευκρινή εστίαση στα μακρινά αντικείμενα, θα ήταν δυνατόν να υφίσταται στην κοντινή θέαση υπερμετρική θόλωση (π.χ. λόγω υστέρησης στην προσαρμογή – lag), με επακόλουθη προδιάθεση για αξονική επιμήκυνση και μυωπία.¹²⁷ Οι παραπάνω μηχανισμοί στο σύνολο τους παρέχουν και μία δυναμική ερμηνεία του ιδιαίτερου χαμηλότερου επιπολασμού της μυωπίας σε παιδιά και σε ενήλικες στην Αυστραλία, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη υπαίθριο ζωή συγκριτικά με άλλες χώρες.¹²⁶

Μία ακόμα έρευνα για την αξιολόγηση της αλληλεπίδραση της εξωτερικής δραστηριότητας με την κοντινή εργασία και τις σχολικές επιδόσεις ως προς την εμφάνιση μυωπίας, διεξήχθη σε κινεζικούς πληθυσμούς που κατοικούσαν στην Σιγκαπούρη και στην Αυστραλία. Εξετάστηκαν παιδιά σχολικής ηλικίας 6 και 7 ετών. Η έρευνα κατέγραψε έναν σημαντικά χαμηλότερο επιπολασμό της μυωπίας στα παιδιά κινεζικής εθνικότητας που διέμεναν στην Αυστραλία (3,3%) σε σύγκριση με τα παιδιά αντίστοιχης ηλικίας που ανήκαν στην ίδια εθνότητα και κατοικούσαν στην Σιγκαπούρη (29,1%). Ακόμα, το οφθαλμικό βιομετρικό προφίλ που παρατηρήθηκε στην Σιγκαπούρη, δηλαδή μακρύτερο αξονικό μήκος, μεγαλύτερο βάθος προσθίου θαλάμου και μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας κερατοειδούς (πιο κυρτός κερατοειδής), είναι σύμφωνο με τον αυξημένο επιπολασμό μυωπίας που διαπιστώθηκε. Το κρίσιμο στοιχείο είναι αποκάλυψη του παράγοντα ή των παραγόντων που οδηγούν σε αυτήν την διαφοροποίηση. Η ερμηνεία πηγάζει από

τις διακριτές διαφορές του φυσικού, κοινωνικού και εκπαιδευτικού περιβάλλοντος στην Αυστραλία και στην Σιγκαπούρη. Μία πιθανή απόδοση των αποτελεσμάτων στην γονεϊκή μυωπία ,που θα δημιουργούσε στα παιδιά μία προδιάθεση για μυωπική διαταραχή δεν ευσταθεί, καθώς ανάμεσα στους δύο πληθυσμούς διαπιστώθηκαν παρεμφερή επίπεδα γονέων με μυωπία.¹²⁸

Οι παράγοντες του τρόπου ζωής που μέσω της τροποποίησής τους στους δύο πληθυσμούς είναι δυνατό να διαμορφώσουν αυτήν την αξιοσημείωτη διαφορά στον επιπολασμό της μυωπίας ,αναλύονται διεξοδικά στον πίνακα 4. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα παιδιά κινεζικής εθνικότητας με τόπο διαμονής την Αυστραλία διάβασαν έστω οριακά πιο πολλά βιβλία, και αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο στην ανάγνωση και στην γραφή, καθώς και στην ενασχόληση με τα τεχνολογικά μέσα. Τα παιδιά που διέμεναν στην Σιγκαπούρη με την σειρά τους, παρακολούθησαν περισσότερη ώρα τηλεόραση και κατανάλωσαν πιο πολύ χρόνο σε ιδιαίτερα μαθήματα επιπλέον του σχολείου. Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις ήταν στατιστικά σημαντικές περιορισμένου όμως μεγέθους. Αποτιμώντας τώρα τον αθροιστικό δείκτη της ολικής κοντινής ενασχόλησης που εσωκλείει τις όλες τις προαναφερθείσες δραστηριότητες, διαπιστώνεται ,στατιστικώς σημαντικά, αυξημένη συνολική κοντινή ενασχόληση στο δείγμα της Αυστραλίας. Η πλέον σημαντική διαφοροποίηση σε μία παράμετρο του τρόπου ζωής ανάμεσα στους δύο πληθυσμούς, έγκειται στις ώρες αφιέρωσης στην εξωτερική ενασχόληση. Τα κινεζικής εθνικότητας παιδιά της Αυστραλίας ξόδεψαν για υπαίθρια έκθεση 13,75 ώρες ανά εβδομάδα, ενώ στην Σιγκαπούρη μόλις 3,05 ώρες ανά εβδομάδα.Επομένως, γίνεται σαφές ότι τα παιδιά στην Αυστραλία υφίστανται ταυτοχρόνως, την επίδραση της αυξημένης κοντινής ενασχόλησης που κατευθύνει προς μυωπική μετατόπιση και την προφυλακτική δράση της εντονότερης εξωτερικής δραστηριότητας. Και εφόσον όπως διαπιστώθηκε ο επιπολασμός της μυωπίας είναι σημαντικά χαμηλότερος στην Αυστραλία, η παράμετρος του τρόπου ζωής που επικρατεί κατά κύριο λόγο και είναι καθοριστική στον περιορισμό της μυωπικής διαταραχής, είναι η υπαίθριος ενασχόληση. Υπερνικά δηλαδή την επίδραση της κοντινής δραστηριότητας. Το συμπέρασμα αυτό είναι σύμφωνο με την ισχυρή επίδραση της αυξημένης εξωτερικής συμμετοχής στην μείωση του επιπολασμού της μυωπίας, που έχει διαπιστωθεί και στις άλλες μελέτες. Παρ' όλα αυτά, η επιρροή της εξωτερικής δραστηριότητας είναι σε θέση να ερμηνεύσει ένα σημαντικό τμήμα, αλλά όχι την ολότητα της σημαντικά υψηλότερης μυωπικής εμφάνισης στην Σιγκαπούρη. Από την προσπάθεια αναγνώρισης επιπλέον παραγόντων που δύνανται να επιφέρουν την διαφοροποίηση στον επιπολασμό απορρέουν χρήσιμες διαπιστώσεις. Τα παιδιά στην Σιγκαπούρη ήταν 10 μήνες μεγαλύτερα, διαφορά όμως που δεν είναι σε θέση να δικαιολογήσει μία τόσο μεγάλη διαφοροποίηση στο διαθλαστικό σφάλμα. Ναι μεν όντως είναι πιθανή μία εμφάνιση μυωπίας σε μεγαλύτερο ποσοστό, αλλά η χρονική διαφορά είναι μικρή

για να παρουσίασαν σε αυτό το βαθμό μυωπία τα παιδιά, ακόμα και στην Σιγκαπούρη με τα υψηλότερα επίπεδα επιπολασμού.¹²⁸

Activity Outside School	Sydney		Singapore		P Value
	Children, No. (n=124)	Mean (SD)	Children, No. (n=628)	Mean (SD)	
Books read, No./wk	119	4.44 (2.46)	628	2.39 (2.27)	<.001
Reading and writing, h/wk	109	20.81 (13.88)	611	17.76 (8.78)	.03
Computer use, including computer games, h/wk	108	4.65 (6.62)	625	3.55 (4.48)	.10
Total near-work activity, h/wk ^a	106	29.93 (20.09)	608	23.54 (11.84)	.002
Coaching classes, h/wk	118	1.21 (1.75)	622	1.74 (2.02)	.007
Television viewing, h/wk	113	11.32 (6.47)	627	12.65 (7.37)	.07
Outdoor activities and sports, h/wk	102	13.75 (1.02)	586	3.05 (0.12)	<.001

^aIncludes reading, writing, computer use, crafts, and playing musical instruments.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ¹²⁸

Ο πίνακας περιγράφει την έκθεση των παιδιών κινεζικής καταγωγής σε επιβαρυντικές δραστηριότητες κοντινής θέασης και στην προστατευτική παράμετρο της υπαιθρίου ενασχόλησης. Τα παιδιά στην Αυστραλία αφιέρωσαν συνολικά πιο πολύ χρόνο για κοντινές αποστολές, ενώ ταυτόχρονα συμμετείχαν σε εξωτερικές δραστηριότητες σε πολλαπλάσιο βαθμό από ότι τα παιδιά στην Σιγκαπούρη. Το τελευταίο στοιχείο καθόρισε και τον χαμηλά επίπεδα εμφάνισης μυωπίας.

Δεν πρέπει να παραβλέψουμε, κυρίως, τις εγγενείς διαφορές στον κοινωνικοοικονομικό και εκπαιδευτικό τομέα ανάμεσα στις δύο χώρες. Είναι γνωστό ότι στη Σιγκαπούρη, αλλά και ευρύτερα στην Ασία, ραγδαίες περιβαλλοντικές αλλαγές επέδρασαν σε ένα προδιατεθειμένο γενετικό υπόστρωμα και επέφεραν επιδημικές εκρήξεις της μυωπίας. Το επίπεδο διαβίωσης στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα τροποποιήθηκε στην Αυστραλία αλλά πιο ριζικά στη Σιγκαπούρη. Το κατά κεφαλή ετήσιο εισόδημα σύμφωνα με στοιχεία του 2005 ανερχόταν σε 31.900 U.S. δολάρια στην Αυστραλία και σε 28.100 U.S. δολάρια στην Σιγκαπούρη,¹²⁹ ενώ διαπιστώθηκε αντιστροφή της συνήθους παρατηρούμενης αύξησης του μυωπικού επιπολασμού με την άνοδο του εισοδήματος.¹³⁰ Δηλαδή στην Σιγκαπούρη μεγαλύτερο εισόδημα συνοδεύεται από χαμηλότερη εμφάνιση μυωπίας. Επιπλέον, αναφορικά με τις συνθήκες αστικοποίησης, η Σιγκαπούρη είναι περισσότερο πυκνοκατοικημένη¹²⁹ και ο πληθυσμός διαμένει κατά κύριο λόγο σε πολυώροφα οικιστικά συμπλέγματα¹³⁰. Αντίθετα, στην Αυστραλία κυριαρχούν οι μονοκατοικίες. Παρά την ύπαρξη όμως αυτού του μοντέλου διαβίωσης, παρατηρείται στη Σιγκαπούρη το οξύμωρο φαινόμενο, να συνδέεται η υψηλότερη εμφάνιση μυωπίας με πιο ευρύχωρες συνθήκες διαβίωσης. Αυτό αποδίδεται σε ανεξάρτητες παραμέτρους κοινωνικοοικονομικής επίδρασης στον καθορισμό της στέγασης και της εκπαίδευσης. Όσον αφορά μία πιθανή επίδραση της διατροφής στη μεγαλύτερη παρουσία της μυωπικής διαταραχής στην Σιγκαπούρη, δεν

θεωρείται πιθανή. Και αυτό γιατί οι κινεζικής εθνικότητας γονείς στην Αυστραλία, διατηρούν σε μεγάλο βαθμό στο νέο τους δυτικό περιβάλλον την επίδραση της παραδοσιακής κινέζικης κουζίνας, ενώ αντίθετα στην Σιγκαπούρη οι τοπικές διατροφικές συνήθειες υφίστανται μία ολοένα αυξανόμενη επιρροή από την ξενόφερτη δυτική διατροφική κουλτούρα. Αποτέλεσμα, οι δίαιτες που ακολουθούν οι κινεζικές εθνότητες στις δύο χώρες να είναι παρεμφερής.¹³¹

Εξετάζοντας τώρα τον έτερο σημαντικό άξονα διαφοροποίησης στις δύο χώρες, διαπιστώνουμε μία διαφορετική αντίληψη για την εκπαιδευτική διαδικασία ανάμεσα στην Σιγκαπούρη και στην Αυστραλία. Στην ασιατική χώρα τα παιδιά παρακολουθούν ένα τριετές προσχολικό πρόγραμμα, για να διασφαλιστεί ότι θα είναι σε θέση να διαβάσουν όταν αρχίσουν το σχολείο.^{132,133} Το μοντέλο αυτό είναι συμβατό και με την πολύ πρώιμη εμφάνιση της μυωπίας στην Σιγκαπούρη.¹³⁴ Αντίθετα στην Αυστραλία, ένα έτος αφιερωμένο κυρίως στην κοινωνικοποίηση των παιδιών, ακολουθείται από έναν χρόνο στον παιδικό σταθμό πριν την έναρξη του σχολείου. Επίσης, στην Σιγκαπούρη το σύστημα παιδείας προωθεί τον ανταγωνισμό, είναι διαμορφωμένο ώστε να οδηγήσει σε μετέπειτα πανεπιστημιακή εκπαίδευση και απαιτεί πολύ πρώιμα υψηλές επιδόσεις από τους μικρούς μαθητές. Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να υπενθυμίσουμε την γνωστή διαπίστωση ότι η μυωπία στους ενήλικες είναι ισχυρά συνδεδεμένη με τα χρόνια της σχολικής διδασκαλίας και ότι η εμφάνιση μυωπικής διαταραχής κατά την σχολική ηλικία είναι συσχετιζόμενη με υψηλότερες σχολικές επιδόσεις.¹²⁸ Τα παραπάνω δεδομένα εισηγούνται, λοιπόν, μία θεμελιώδη επίδραση της φύσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας, στην ύπαρξη υψηλού επιπολασμού μυωπίας στη Σιγκαπούρη. Εν κατακλείδι, η συνισταμένη δράση μίας πρώιμης έναρξης ακαδημαϊκού προσανατολισμού προετοιμασίας, σε συνδυασμό με ένα ταυτόχρονο έλλειμμα στην εξωτερική ενασχόληση, ίσως, προδιαθέτουν τους μικρούς μαθητές προς μυωπική μετατόπιση από πολύ νωρίς στην ζωή τους.

Η ΥΠΑΙΘΡΙΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΩΣ ΑΠΟΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ

Επαλήθευση του παραπάνω αναφερόμενου προστατευτικού ρόλου της εξωτερικής δραστηριότητας, προκύπτει από μελέτη σε διαφορετική ηλικιακή ομάδα στην Σιγκαπούρη, αυτή την φορά σε εφήβους ηλικίας 11 έως 20 ετών. Στην έρευνα αυτή ακολουθήθηκε ένας διαφορετικός διαχωρισμός της συνολικής υπαιθρίου ενασχόλησης. Διαμορφώθηκαν δύο κατηγορίες. Η πρώτη, αποτελείτο από την εξωτερική αφιέρωση του ελεύθερου χρόνου και περιελάμβανε το παιχνίδι στην εγγύς περιοχή του σπιτιού, καθώς και τις δραστηριότητες μακριά από την γειτονιά (π.χ. πάρκα). Στην δεύτερη κατηγορία συμπεριελήφθησαν οι υπαίθριες αθλητικές δραστηριότητες. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι και δύο παραπάνω πτυχές της εξωτερικής ενασχόλησης, καθώς και αθροιστικά η υπαίθριος ενασχόληση στο

σύνολο της συνδέονταν με, στατιστικώς σημαντικά, χαμηλότερο κίνδυνο μυωπικής διαταραχής. Πράγματι, τα παιδιά με μυωπικό σφάλμα εμφάνιζαν μικρότερη εμπλοκή σε καθεμία από τις μορφές εξωτερικής συμμετοχής, αλλά και στο συνολικό μέγεθος της, συγκριτικά με παιδιά χωρίς μυωπία. Ενδεικτικά, τα παιδιά που κατανάλωναν περισσότερες ώρες σε υπαίθρια μέρη εμφάνιζαν 10% μικρότερο κίνδυνο μυωπικής διαταραχής. Ακόμα, τα παιδιά μεγαλύτερης ηλικίας (λόγω αυξημένης ανεξαρτητοποίησης από το σπίτι) και τα αγόρια (εξαιτίας της φύσης τους), αφιέρωναν πιο πολύ χρόνο σε εξωτερική ενασχόληση. Επίσης, τα ψηλότερα παιδιά κατανάλωναν αυξημένες ώρες σε εξωτερικούς χώρους και μία πιθανή εξήγηση είναι ότι το μεγάλο ανάστημα διευκολύνει, ίσως, την συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες.¹³⁵

Η έρευνα εισηγείται ότι η εξωτερική δραστηριότητα διαδραματίζει έναν ανεξάρτητο ρόλο στην προφύλαξη έναντι της μυωπίας και δεν αντιπροσωπεύει το αντίστροφο της κοντινής ενασχόλησης. Άλλωστε όπως έχει ήδη αναφερθεί, μπορεί η κατεύθυνση δράσης των δύο παραμέτρων της υπαίθριου ενασχόλησης και των κοντινών αποστολών να είναι αντίθετη (προστατευτική και επιβαρυντική αντίστοιχα), όμως, η ανασκόπηση μας, αποδεικνύει ότι η εκατέρωθεν επίδραση δεν είναι ισοβαρής. Διαπιστώνεται δηλαδή μία μεγαλύτερη ισχύς της εξωτερικής δραστηριότητας. Όσον αφορά, το σε ένα βαθμό δυσδιάκριτο σημείο, του ρόλου της αθλητικής ενασχόλησης, η έρευνα μας επιτρέπει μία χρήσιμη ανάλυση. Η συνολική αθλητική δραστηριότητα (υπαίθριος και εσωτερική) είχε μία σημαντική επίδραση στον περιορισμό της μυωπίας στη Σιγκαπούρη. Η δυσκολία της ανάλυσης, έγκειται στον προσδιορισμό της ανεξάρτητης επίδρασης των σπορ και της εξωτερικής δραστηριότητας, καθώς η υπαίθριος άθληση αποτελεί συστατικό και της συνολικής εξωτερικής και της ολικής αθλητικής ενασχόλησης. Η άθληση σε εσωτερικούς χώρους, αντιθέτως, δεν παρουσιάζει σύνδεση με τον επιπολασμό της μυωπίας. Όμως, όπως συμπέρανε η έρευνα, η εξωτερική αφιέρωση ελεύθερου χρόνου (outdoorleisure), η οποία αντιστοιχεί στην ολική υπαίθριο δραστηριότητα μειωμένη κατά το ποσό της εξωτερικής άθλησης, διατηρεί σημαντική επιρροή στην προφύλαξη έναντι της μυωπίας. Επομένως, καταλήγουμε στο, ήδη διατυπωθέν στις προαναφερθείσες έρευνες συμπέρασμα, για έναν κυρίαρχο ρόλο της συνολικής εξωτερικής δραστηριότητας, παρά της αθλητικής ενασχόλησης. Παλαιότερες έρευνες της δεκαετίας του 1980, είχαν αποτύχει να καταδείξουν αυτόν τον προστατευτικό ρόλο της εξωτερικής ενασχόλησης έναντι της μυωπίας. Ο λόγος ήταν τεχνικές αδυναμίες και ελλείμματα στην στατιστική επεξεργασία, καθώς διέθεταν μικρό μέγεθος δείγματος, εκτελούσαν ελλιπή έλεγχο ως προς τους συγχυτικούς παράγοντες και χαρακτηρίζονταν από ανεπαρκή ποσοτικοποίηση της εξωτερικής δραστηριότητας. Αναφορικά δε με την επίδραση στην μυωπία της φυσικής δραστηριότητας αυτής καθ' αυτής, μία έρευνα σε φοιτητές ιατρικής στην Δανία το 2008, διαπίστωσε ότι ο εβδομαδιαίος αριθμός των ωρών φυσικής άσκησης τους

προηγούμενους 6 μήνες, συνδεόταν με εξασθένηση της μυωπικής προόδου μέσα μία περίοδο 2 ετών.¹³⁰ Παρ' όλα αυτά, παραμένει ασαφές εάν η φυσική δραστηριότητα προηγήθηκε της διαθλαστικής κατάστασης ή αντίστροφα.¹³⁵

Το κέντρο της σημασίας της σαφώς καταγεγραμμένης προληπτικής δράσης της υπαιθρίου ενασχόλησης και της έκθεσης στο φυσικό φως έναντι της έναρξης ή της εξέλιξης της μυωπίας, έγκειται στο εξαγόμενο μήνυμα. Οι παρούσες γνώσεις μας, υποδεικνύουν ότι και οι μελλοντικές έρευνες θα εισηγούνται αυτήν την ευεργετική επίδραση στα παιδιά σχολικής ηλικίας, μίας ενισχυμένης παρουσίας και συμμετοχής σε υπαίθρια δρώμενα. Αποτελεί, λοιπόν, μία ξεκάθαρη υπόδειξη προς τα απανταχού συστήματα υγείας να καταστρώσουν σχέδια δράσης για την τόνωση της εξωτερικής δραστηριοποίησης των παιδιών, τόσο αναδιαρθρώνοντας το σχολικό πρόγραμμα, όσο και στην κοινωνία, ευαισθητοποιώντας παράλληλα και τους γονείς. Το όφελος υλοποίησης μίας τέτοιας στρατηγικής θα είναι διττό. Αφενός μεν για τα παιδιά η εξωτερική ενασχόληση θα δράσει προφυλακτικά έναντι της μυωπίας και όχι μόνο (π.χ. η έλλειψη φυσικής δραστηριότητας έχει οδηγήσει στην μάστιγα της παιδικής παχυσαρκίας), ενώ παράλληλα θα συμβάλει στην κοινωνικοποίησή τους και στον απεγκλωβισμό από το σύνδρομο της οθόνης που κυριαρχεί στην εποχή μας. Αφετέρου δε για το κράτος, ο περιορισμός της μυωπικής διαταραχής με τον επιζήμιο αντίκτυπό της, θα παράσχει ανακούφιση από μία σημαντική οικονομική επιβάρυνση, ιδίως στις μέρες μας με τα αυξημένα επίπεδα εμφάνισης αυτού του ζητήματος δημόσιας υγείας.

ΔΕΙΚΤΗΣ UVAFKAI ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο βιοδείκτης του υπεριώδους αυτοφθορισμού του επιπεφυκότος (UVAF-ULTRAVIOLETAUTOFLUORESCENCE) αποτελεί ένα αντικειμενικό κριτήριο της οφθαλμικής έκθεσης στο φυσικό φως, καθώς και του χρόνου αφιέρωσης σε εξωτερικές δραστηριότητες. Η μελέτη στο NorfolkIsland της Αυστραλίας (2008) διερεύνησε την συσχέτιση του βιοδείκτη με την μυωπία. Το νησί αυτό του Νοτίου Ατλαντικού Ωκεανού επιλέχτηκε, λόγω του μικρού του πληθυσμού και των έμφυτων χαρακτηριστικών της σταθερότητας του υποτροπικού κλίματος και της γεωγραφικής και γενετικής απομόνωσης.^{137,138} Εξετάστηκαν 636 συμμετέχοντες ηλικίας άνω των 15 ετών, οι οποίοι κλήθηκαν να αποφανθούν για το ιστορικό έκθεσης τους στον ήλιο και για τις συνήθεις προφυλακτικές στρατηγικές που ακολουθούσαν (αντηλιακό, καπέλο, γυαλιά), ενώ υποβλήθηκαν και σε μη-κυκλοπληγικό έλεγχο με την χρήση αυτόματου διαθλασίμετρου χειρός. Η μέση ηλικία του δείγματος ήταν τα 54 έτη και οι γυναίκες αποτελούσαν το 56,8%. Για την λήψη της φωτογραφίας του προκαλούμενου από την υπεριώδη ακτινοβολία φθορισμού, χρησιμοποιήθηκε ως πηγή διέγερσης ένα ειδικά προσαρμοσμένο σύστημα λάμψης, εφοδιασμένο με φίλτρα μετάδοσης υπεριώδους ακτινοβολίας. Το εύρος μετάδοσης κυμαινόταν από

300-400 nm, με την κορυφή στα 365 nm. Ο φθορισμός καταγράφηκε με την βοήθεια ψηφιακής κάμερας, εφοδιασμένη με φίλτρα φραγμούς υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας, έτσι ώστε να καταγράφεται μόνο ο φθορισμός. Μετρήθηκε ο υπεριώδης αυτοφθορισμός στον επιπεφυκότα ρινικά και κροταφικά και στους δύο οφθαλμούς (4 φωτογραφίες σε κάθε άτομο μεγέθυνσης 0,94) με τη χρήση της υπολογιστικής φωτογραφικής ανάλυσης, με το άθροισμα να αποτελεί το αποκαλούμενο <<TOTALUVAF>>. Η μονάδα μέτρησης του δείκτη UVAF είναι τα mm² και αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της συνολικής περιοχής αυτοφθορισμού των οφθαλμών.¹⁰¹

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη η αναφορά της υφής της αλληλεπίδρασης που παρουσιάζει η υπεριώδης ακτινοβολία με τους ιστούς του ανθρωπίνου σώματος και ιδιαίτερα, οι επιδράσεις της στον οφθαλμό. Υπό τη δράση, λοιπόν, της υπεριώδους ακτινοβολίας (ιδίως των υποτύπων UV-B και UV-C), η οφθαλμική επιφάνεια τροποποιείται μέσω: α) κυτταρικών αποκρίσεων στις οποίες περιλαμβάνονται αναστολή της διαδικασίας της μίτωσης, η πυρηνική κατάτμηση, η ηωσινοφιλική χρώση, η απώλεια των κυτταρικών προσφύσεων (κατάλυση της στεγανότητας μεταξύ των κυττάρων-adhesion), καθώς και με β) ανοσολογικής αρχής επιζήμιες διαδικασίες στα Επιθηλιακά και στα Βασικά κύτταρα. Αντιστοίχως σε κλινικό επίπεδο, η οξεία ή χρόνια έκθεση των οφθαλμικών ιστών στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι επιβλαβής, οδηγώντας σε ένα ευρύ φάσμα παθολογιών ορισμένες εκ των οποίων θέτουν δυνητικά σε κίνδυνο την όραση και ακόμα την ίδια τη ζωή: 1) Υπεριώδης Κερατοεπιπεφυκίτιδα, δηλαδή φωτοκερατοεπιπεφυκίτιδα, δύναται να προκληθεί οξέως από άμεση έκθεση σε ηλιοφάνεια, από φως ανακλώμενο στο χιόνι ή στο νερό, καθώς και από τεχνητές πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας (π.χ. πηγές φωτός για τεχνητό μαύρισμα, ηλεκτρικά τόξα οξυγονοκόλλησης, πηγές laser), 2) Πλακώδης νεοπλασία της οφθαλμικής επιφάνειας, 3) Σταγονοειδής Κερατοπάθεια Κλιματολογικής αιτιολογίας, 4) Πτερύγιο, 5) Ανεπάρκεια των Βασικών Κυττάρων στο Σκληροκερατοειδές όριο, 6) Καταρρακτογένεση, 7) Μελάνωμα. Στην αντίπερα όχθη, δεν έχουν ταυτοποιηθεί οφθαλμικές παθολογίες που να πηγάζουν από ανεπαρκή έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία.¹³⁹⁻¹⁴² Σε συστηματικό επίπεδο, όμως, οι επιπτώσεις της έλλειψης βιταμίνης D είναι αδιαμφισβήτητες στην εμφάνιση νόσων, όπως η ραχίτιδα, η οστεομαλακία και η οστεοπόρωση.¹⁴³ Η λιποδιαλυτή βιταμίνη D προσλαμβάνεται με την τροφή αλλά, κυρίως, παράγεται στο δέρμα μέσω της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας. Το συστατικό που δημιουργείται από την δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι η χοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D3), με πρόδρομο μία προ-στεροειδική ορμόνη, η οποία επιδρά σε περισσότερα από 2500 γονίδια. Υποδοχείς της βιταμίνης D δρουν στο γαστρεντερικό σωλήνα, στα οστά, στον εγκέφαλο, στον προστάτη, στο μαστό, στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, καθώς και στους καρδιαγγειακούς μύς. Για να γίνει αντιληπτό το

μέγεθος σημαντικότητας της βιταμίνης D, έχει αποδειχθεί ότι η ικανότητα των λευκών αιμοσφαιρίων να καταπολεμούν τον βάκιλο της φυματίωσης, αναστέλλεται εν τη απουσία της. Επομένως, ούτε η υπερβολική έκθεση, ούτε η παντελής αποφυγή της υπεριώδους ακτινοβολίας αποτελεί πανάκεια, αντιθέτως, απαιτείται μία λογική προσέγγιση. Αναφορικά με τον ρόλο της υπεριώδους ακτινοβολίας στην πρόκληση μυωπίας, δεν υπάρχουν επαρκείς αποδείξεις για την επιβεβαίωση μίας τέτοιας υπόθεσης. Εκτός αυτού, σε επιδημιολογικές μελέτες αποτελεί δύσκολο εγχείρημα ο διαχωρισμός της επίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας από αυτήν των άλλων συστατικών του εξωτερικού φωτισμού. Κατ' ουσία, σε φυσικά περιβάλλοντα φωτισμού, το υπεριώδες φως είναι σε μεγάλο βαθμό συνυφασμένο με το λαμπερό φως.¹⁰¹

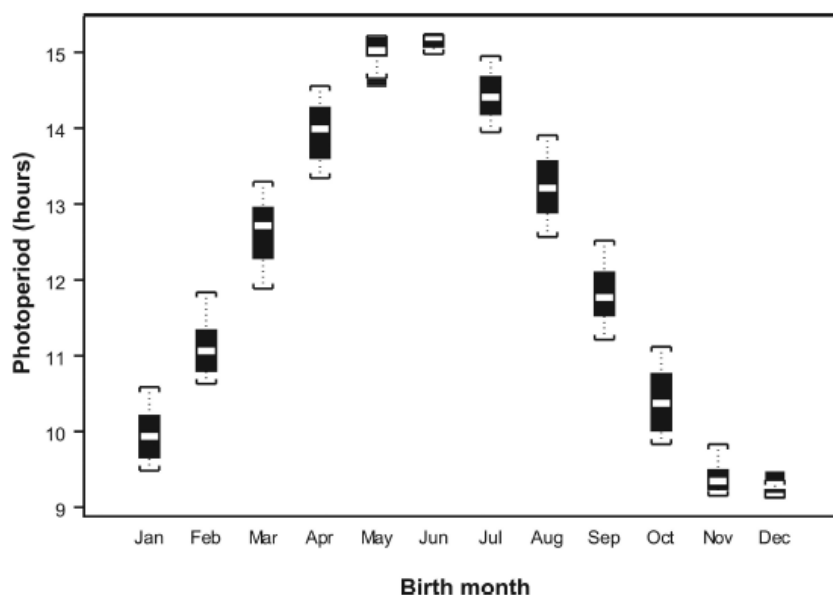
Αναλύοντας τα αποτελέσματα της έρευνας για τον ρόλο που διαδραματίζει ο δείκτης UVAF, διαπιστώνεται ότι η αύξηση της τιμής του δρα προστατευτικά έναντι της μυωπίας και μάλιστα διαθέτει μεγαλύτερη ισχύ στην συγκεκριμένη μελέτη συγκριτικά με ανάλογη αύξηση των ωρών εξωτερικής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση του επιπολασμού της μυωπίας, όταν διευρυνόταν η οφθαλμική περιοχή αυτοφθορισμού. Στον πληθυσμό του Norfolk διαπιστώθηκε υψηλότερη εμφάνιση της μυωπίας στις νεότερες ηλικιακές ομάδες και παρουσία ορισμένων οφθαλμικών βιομετρικών χαρακτηριστικών, όπως ενός μακρύτερου αξονικού μήκους, ενός βαθύτερου προσθίου θαλάμου και μίας αυξημένης κυρτότητας του κερατοειδούς. Επιπρόσθετα, ο μέσος <<TOTALUVAF>>, παρουσίαζε μικρότερο εύρος (16,6mm²) σε άτομα με μυωπική διαταραχή σε σύγκριση με τα μη-μυωπικά άτομα (28,6mm²). Ακόμα, αποδείχτηκε ανεξάρτητη φύση της συσχέτισης του δείκτη με την μυωπία, η στατιστική σημαντικότητα της οποίας διατηρείτο τόσο στους νεότερους ενήλικες (< 50 ετών), όσο και άτομα με μέτριους ή σοβαρούς βαθμούς μυωπίας. Επίσης, δεν διαπιστώθηκε σημαντική αλληλεπίδραση του UVAF και της ηλικίας και δεν παρατηρήθηκε η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής συσχέτισης είτε του βιοδείκτη, είτε των ωρών υπαίθριας ενασχόλησης, με τις εφαρμοζόμενες έναντι της έκθεσης στον ήλιο προστατευτικές στρατηγικές.¹⁰¹

Συμπερασματικά, ο βιοδείκτης UVAF, αν και δεν είναι πιθανό να εμπλέκεται στον παθοφυσιολογικό μηχανισμό που οδηγεί στην εμφάνιση μυωπίας, αποτελεί έναν αξιόπιστο μέτρο υποξείας έκθεσης μηνών ή εβδομάδων στο υπαίθριο φως. Είναι ισχυρά συνδεδεμένος με τις ώρες που καταναλώθηκαν σε εξωτερικές δραστηριότητες και στα δύο φύλα ανεξαρτήτως εποχής του έτους, γεγονός που καταδεικνύεται από τις υψηλές τιμές του σε νεαρά αγόρια τα οποία λόγω της φύσης των ενδιαφερόντων τους αφιερώνουν πιο πολύ χρόνο σε υπαίθριους χώρους. Παράγοντες που είναι σε θέση να τροποποιήσουν τον εξωτερικά καταναλισκόμενο χρόνο αποτελούν το επίπεδο επιμόρφωσης, το επάγγελμα, οι γεωγραφικές και κλιματολογικές επιδράσεις, η γενική υγεία του ατόμου και η

κοινωνικοοικονομική του κατάσταση. Μύωπες που χρησιμοποιούν για διαθλαστική διόρθωση γυαλιά ή φακούς επαφής είναι δυνατό να αποκτούν μία φυσική προφύλαξη έναντι της εμφάνισης του αυτοφθορισμού. Ακόμα, η χρήση γυαλιών ηλίου ή ειδικών φακών επαφής για την παρεμπόδιση της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορούν να παράσχουν σε κάποιο βαθμό προστασία του κερατοειδούς, του σκληροκερατοειδούς ορίου και του κρυσταλλοειδούς φακού έναντι της ακτινοβολίας. Να σημειωθεί ότι τα έντονα σκούρα γυαλιά ηλίου μπορεί να προκαλέσουν αντίθετο αποτέλεσμα από το επιθυμητό, καθώς λόγω του περιορισμού φωτός που επιφέρει η έντονα σκούρα απόχρωση, επέρχεται διαστολή της κόρης και κατ' επέκταση επιτρέπεται βαθύτερη οφθαλμική διείσδυση της επικίνδυνης ακτινοβολίας.¹⁰¹

ΕΠΟΧΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ ΚΑΙ ΦΩΤΟΠΕΡΙΟΔΟΣ

Η αυξημένη έκθεση στο φυσικό φως κατά την διάρκεια των σχολικών ετών έχει αποτυπωθεί ανάγλυφα ως ένας παράγοντας περιορισμού του κινδύνου εμφάνισης μυωπίας. Επιπρόσθετα, έχει αποδειχθεί ότι τα παιδιά με πιο αρνητικά διαθλαστικά σφάλματα ή μικρότερη θετική διαθλαστική κατάσταση κατά την πρώιμη νηπιακή ηλικία, παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο να καταστούν μυωπικά κατά την σχολική ζωή. Επομένως, αποτελεί κρίσιμο στοιχείο η αποσαφήνιση της επίδρασης της έκθεσης στο περιβαλλοντικό φως κατά την βρεφική ηλικία στην διαθλαστική κατάσταση των νηπίων, και κατ' επέκταση, στην μετέπειτα διαθλαστική τους ανάπτυξη. Έρευνα του 2011 στην Βοστώνη, διερευνά ακριβώς την επιρροή του μηνός γέννησης και των ωρών του φωτός της ημέρας που τον συνοδεύουν, στην διαθλαστική κατάσταση των βρεφών. Πρόκειται για μελέτη 32 ετών η οποία ξεκίνησε το 1974 και ολοκληρώθηκε το 2006. Η διαθλαστική εξέταση των παιδιών πραγματοποιήθηκε σύντομα μετά την γέννηση τους (ανάμεσα στον ένα και στους τρεις μήνες μεταγεννητικά). Λόγω της υψηλής συσχέτισης της διάθλασης μεταξύ των οφθαλμών, εξετάστηκε μόνο ο δεξιός οφθαλμός. Η φωτοπερίοδος, δηλαδή οι ώρες παρουσίας φυσικού φωτός καθημερινά, προσδιορίστηκε ως ο μέσος όρος του αριθμού ημερησίου φωτός για τις πρώτες 30 ημέρες μετά την γέννηση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, καθώς η έρευνα διήρκεσε παραπάνω από 30 έτη, παρέχει μία επαρκή αντανάκλαση του προφίλ διάρκειας της ημέρας (ώρες φυσικού φωτός) από το 1970 έως το 2010. Διαπιστώνεται, μάλιστα, ότι μεταξύ της ίδιας ημερολογιακής ημερομηνίας, η μέγιστη διακύμανση στην διάρκεια της ημέρας (ανατολή έως δύση ηλίου) κατά τις τελευταίες 4 δεκαετίες, ήταν περίπου 2 λεπτά. Ακόμα, τα επίπεδα φωτοπεριόδου κυμάνθηκαν, όπως αποτυπώνεται αναλυτικά στην εικόνα 9, από 9,125 ώρες (Δεκέμβριος) έως 15,24 ώρες (Ιούνιος).¹⁴⁴



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΦΩΤΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ¹⁴⁴

Το σχήμα αναπαριστά τον μέσο όρο των ωρών διάρκειας της ημέρας συναρτήσει με τον μήνα γέννησης. Παρατηρείται μία διακύμανση εύρους 6 ωρών στην παρουσία φυσικού φωτός εντός του 24ώρου. Τα παιδιά που γεννήθηκαν τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, συνάντησαν ένα περιβάλλον με την μεγαλύτερη διάρκεια ημέρας, ενώ αντίθετα τα παιδιά που ήρθαν στην ζωή των Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο αντιμετώπισαν την μεγαλύτερη διάρκεια νύχτας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν ότι υπήρχε μία μικρή αλλά στατιστικά σημαντική διαφορά στην πρώιμη διαθλαστική κατάσταση ανάμεσα στα βρέφη που γεννήθηκαν τους μήνες με το περισσότερο φως ημέρας και σε αυτά που γεννήθηκαν τους μήνες με το λιγότερο φως. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι τα παιδιά που γεννήθηκαν μήνες με μεγαλύτερη φωτοπερίοδο εμφάνιζαν χαμηλότερο θετικό σφαιρικό ισοδύναμο συγκριτικά με τα παιδιά που ήρθαν στην ζωή εποχές με μικρότερη φωτοπερίοδο. Ακόμα, η μέση διαθλαστική κατάσταση ήταν υψηλότερη (μεγαλύτερη θετική ή μικρότερη αρνητική) και παρεμφερής στα παιδιά που γεννήθηκαν τον Χειμώνα και το Φθινόπωρο, σε σύγκριση με την Άνοιξη και το Καλοκαίρι. Επιπρόσθετοι παράμετροι είναι δυνατό να σχετίζονται με την εποχή της γέννησης. Το επίπεδο μόρφωσης των γονέων είναι πιθανό να καθορίζει σε έναν βαθμό τον μήνα της γέννησης. Πιο μορφωμένοι γονείς, και άρα και πιο μύωπες, ιδιαίτερα εάν οι υποχρεώσεις και των δύο ταυτίζονται με την έναρξη και την λήξη της ακαδημαϊκής χρονιάς, είναι λογικό να προγραμματίσουν έτσι τον σχεδιασμό τους ώστε να αποκτήσουν παιδιά κατά τους θερινούς μήνες. Η θεωρία αυτή συμφωνεί με τα δεδομένα της έρευνας, καθώς ο υψηλότερος ρυθμός γεννήσεων σημειώθηκε τον Αύγουστο (94 γεννήσεις), ενώ ο χαμηλότερος τον Φεβρουάριο (27 γεννήσεις). Επίσης, ένα παιδί που γεννιέται τον Χειμώνα, λόγω των δυσχερών καιρικών συνθηκών, εκτίθεται στο φυσικό υπαίθριο φως σε περιορισμένο βαθμό συγκριτικά με τα παιδιά που γεννιούνται τις άλλες εποχές του έτους.¹⁴⁴

Η έρευνα στα βρέφη, λοιπόν, διαπίστωσε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων φωτοπεριόδου σύντομα μετά την γέννηση και το διαθλαστικό σφάλμα στην πρώιμη νηπιακή ηλικία. Εισηγείται ότι το φως δύναται να διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην διαθλαστική κατάσταση των νηπίων. Δύο επιπλέον μελέτες διεξήχθησαν στο Ηνωμένο Βασίλειο και στο Ισραήλ.^{145,146} Επρόκειτο για μεγάλες έρευνες, οι οποίες επιχείρησαν να συσχετίσουν την αυξημένη έκθεση στο φως κατά την μεταγεννητική περίοδο με υψηλότερο κίνδυνο μετέπειτα εμφάνισης μυωπίας στην ενήλικη ζωή. Αν και κατέγραψαν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα, δεν προέκυψε ένας πιθανός βιολογικός αντίκτυπος. Και αυτόκαθώς η μέγιστη διαφοροποίηση στον επιπολασμό της μετέπειτα εμφανιζόμενης μυωπίας όλων των βαθμίδων (ήπια, μέτρια, υψηλή), δεν υπερέβαινε το 0,7% ανάμεσα σε παιδιά γεννηθέντα σε υψηλές και χαμηλές φωτοπεριόδους αντίστοιχα. Επιπλέον, και οι δύο μελέτες διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές αναλόγως με την εποχή γέννησης, στην συχνότητα εμφάνισης μετέπειτα υψηλής μυωπίας στην ενήλικη ζωή, με τα παιδιά που γεννήθηκαν το Καλοκαίρι να παρουσιάζουν έναν ελαφρώς υψηλότερο επιπολασμό συγκριτικά με τα παιδιά γεννηθέντα τον Χειμώνα. Ακόμα, ο Quinnetal , κατέδειξαν επιζήμια δράση του τεχνητού φωτισμού στους παιδικούς σταθμούς σε παιδιά μικρότερα των 2 ετών, η οποία οδηγούσε σε μεγαλύτερο επιπολασμό μυωπίας.¹⁴⁷ Το παραπάνω εύρημα για τον επιβλαβή ρόλο του τεχνητού φωτός παρατηρήθηκε εκ νέου σε έρευνα σε ενήλικες στις Η.Π.Α.¹⁴⁷ για τον νυχτερινό φωτισμό ,καθώς και σε μία μεγάλη έρευνα σε παιδιά στην Πολωνία¹⁴⁸ για την επίδραση του φωτός που εκπέμπεται από τις λάμπες φθορισμού και πυρακτώσεως. Εν κατακλείδι, λαμβάνοντας υπ' όψιν το σύνολο των αποδείξεων που προκύπτουν από τις μελέτες στους ανθρώπους, δεν υπάρχει ομοφωνία αναφορικά με την επίδραση της έκθεσης στο φως κατά την βρεφική ηλικία, στην μετέπειτα εμφάνιση στην ζωή διαθλαστικού σφάλματος. Εκεί που υπάρχει όμως καθολική ταύτιση απόψεων, είναι στο ευεργετικό ρόλο που διαδραματίζει μετά την Προσχολική ηλικία, η επαυξημένη υπαίθριος παρουσία για την προστασία έναντι της μυωπίας.¹⁴⁴

ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Στην προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων αναφορικά με την μυωπική δράση στην ελληνική επικράτεια ιδιαίτερης μνείας χρήζει η πρωτοπόρος έρευνα της Οφθαλμολογικής κλινικής της Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης (Ηράκλειο) υπό την διεύθυνση του καθηγητή Ι. Παλλήκαρη, και του Ινστιτούτου Οπτικής και Όρασης (ΙΒΟ). Επιχειρήθηκε η αξιολόγηση της επίδρασης περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στον επιπολασμό της μυωπίας και στην έκπτωση της οπτικής οξύτητας ανάμεσα σε παιδιά σχολικής ηλικίας (10–15 ετών) στην Κρήτη και στη Βουλγαρία. Στην μελέτη συμπεριελήφθησαν 2 Δημοτικά σχολεία και 2 Γυμνάσια (ένα Δημοτικό και ένα Γυμνάσιο ήταν ιδιωτικά) της πόλης του Ηρακλείου και ένα συγκρότημα συστεγαζόμενου Δημοτικού και Γυμνασίου στην πόλη Stara Zagora της Βουλγαρίας. Οι δύο πόλεις είχαν παρεμφερή πληθυσμό περί τις 180.000 κατοίκους και τα σχολεία που έλαβαν μέρος βρίσκονταν στον κεντρικό τομέα των πόλεων. Συνολικά συμμετείχαν 898 μαθητές, εκ των οποίων το 65,5% φοιτούσαν στα ελληνικά σχολεία. Η μέση ηλικία των εξεταζομένων και στις δύο πόλεις προσέγγιζε τα 12 έτη. Επρόκειτο για μελέτη παρατήρησης και για αυτό το διαθλαστικό σφάλμα προσδιορίστηκε με την χρήση αυτόματου διαθλασιμέτρου χωρίς την εφαρμογή κυκλοπληγικής παρέμβασης. Η μέτρηση της οπτικής οξύτητας έγινε με τη χρήση των Πανευρωπαϊκών logMAR διαγραμμάτων 1 και 2 του Πανεπιστημίου Κρήτης, τα οποία εισήχθησαν το 2007 από τον Plainiset al.¹⁴⁹ 0,00 logMAR αντιστοιχεί σε δεκαδική οπτική οξύτητα 1,0 και αρνητικές τιμές της παράστασης logMAR σε δεκαδική οπτική οξύτητα > 1,0. Σύμφωνα με τις επιταγές του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (WHO), Παιδιά με δεκαδική οπτική οξύτητα < 0,8 (οξύτητα logMAR > 0,1) σε τουλάχιστον έναν οφθαλμό θεωρούνται ότι παρουσιάζουν ελάχιστη οπτική εξασθένιση, ενώ αυτά με δεκαδική οπτική οξύτητα < 0,5 (οξύτητα logMAR > 0,3) χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ήπιας οπτικής εξασθένισης και σύμφωνα με τις επιταγές του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (WHO) εάν οφείλεται σε αδιόρθωτο ή ανεπαρκώς διορθωμένο διαθλαστικό σφάλμα απαιτεί παραπομπή για οπτικό έλεγχο. Το μυωπικό μέγεθος προέκυψε από τον συνυπολογισμό των παραμέτρων της χρήσης γυαλιών, της προσδιορισθείσας οπτικής οξύτητας και του μετρούμενου διαθλαστικού σφάλματος, σύμφωνα με την ακόλουθη οριοθέτηση. Εφαρμόστηκαν δύο κριτήρια για την ταυτοποίηση ύπαρξης μυωπικής διαταραχής: α) Σφαιρικό Ισοδύναμο διαθλαστικού σφάλματος $\leq -0,75$ D σε τουλάχιστον έναν οφθαλμό και χρήση στο σχολείο γυαλιών για την διόρθωση της μυωπίας, β) Οπτική οξύτητα χωρίς εφαρμογή διόρθωσης < 0,8 με Σφαιρικό Ισοδύναμο διαθλαστικού σφάλματος $\leq -0,75$ D σε τουλάχιστον έναν οφθαλμό. Τέλος, ο αστιγματισμός προσδιορίστηκε ως η παρουσία διαφοράς > 0,75 D ανάμεσα στους δύο κύριους μεσημβρινούς, τουλάχιστον σε ένα οφθαλμό.¹⁵⁰

Η έρευνα κατέδειξε στα παιδιά που εξετάστηκαν φέροντας την συνήθη διαθλαστική τους διόρθωση, δεκαδική οπτική οξύτητα $< 0,5$ τουλάχιστον σε ένα οφθαλμό στο 11,7% των Ελλήνων και στο 5,2% των μαθητών στην Βουλγαρία, ενώ δεκαδική οπτική οξύτητα $< 0,8$ σε ποσοστά 29,5% και 20,8% αντίστοιχα στις δύο χώρες. Ενδιαφέρον δε στοιχείο αποτελεί το γεγονός στα παιδιά στην Κρήτη με δεκαδική οπτική οξύτητα $< 0,5$, δηλαδή σε επίπεδα που επηρεάζουν την οπτική λειτουργία σε τέτοιο βαθμό που να καθίσταται αναγκαία η διόρθωση, είχαν συνταγογραφηθεί γυαλιά σε ποσοστό 53,6%, ενώ στην Βουλγαρία σε σημαντικά χαμηλότερο βαθμό. Ακόμα, αυτή η έκπτωση της οπτικής οξύτητας συναντήθηκε σε υψηλότερο ποσοστό στα παιδιά του Γυμνασίου και , ίσως , υποδηλώνει την αραίωση του οφθαλμολογικού ελέγχου μετά την πάροδο της πρώιμης παιδικής ηλικίας τακτικής παρακολούθησης και την έλευση μετέπειτα της ιδίας πρωτοβουλίας και αυτοδιάθεσης από την μεριά του παιδιού. Δεν διαπιστώθηκε διαφορά στον επιπολασμό της μυωπίας ανάμεσα στο δημόσιο και στο ιδιωτικό ελληνικό Γυμνάσιο στην Κρήτη. Επιπλέον, 23% των μαθητών στην Ελλάδα και 25% αυτών στην Βουλγαρία , υφίσταντο εξασθένηση της οπτικής του οξύτητας , λόγω της χρήσης στο σχολείο γυαλιών ανεπαρκούς διόρθωσης. Η σημαντική διαπίστωση, τελικά, είναι ότι ανεξαρτήτως του εάν η έκπτωση της οπτικής οξύτητας οφείλεται σε απουσία διόρθωσης, ελλιπή διόρθωση ή περιορισμένη κατ' οίκον χρήση των γυαλιών, το 32,7% των Ελλήνων και το 21,9% των Βουλγάρων παρακολουθούσαν την σχολική διδασκαλία με μία <<ελάχιστη εξασθένηση της οπτικής οξύτητας>> ($VA < 0,8$).¹⁵⁰

Ο επιπολασμός της μυωπίας στην ελληνική και την βουλγαρική πόλη, αποτυπώνει ανάγλυφα την κουλτούρα των δύο περιοχών, τις κοινωνικές επιταγές, την εισοδηματική συνιστώσα, καθώς και την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος. Παρατηρείται μία αξιοπρόσεκτη διαφορά στην παρουσία μυωπίας, με τα παιδιά σχολικής ηλικίας στο Ηράκλειο να εμφανίζουν μυωπική διαταραχή σε ποσοστό 37,2% , ενώ σε αυτά στην Βουλγαρία περιορίζεται σε 13,5%. Η διαφορά αυτή είναι ενδεικτική του μυωπικής διαταραχής στους πληθυσμούς της μελέτης. Ο επιπολασμός της μυωπίας στην Κρήτη είναι παρεμφερής με αυτόν σε αντίστοιχες ηλικιακές ομάδες παιδιών στο Μεξικό και στη Σουηδία και υψηλότερος από τις Η.Π.Α. Αντίστοιχα, στην Βουλγαρία ταυτίζεται με τα παρατηρηθέντα επίπεδα μυωπικού σφάλματος σε παιδιά Πολωνικής εθνότητας και Ευρωπαϊκής Καυκάσιας καταγωγής που κατοικούν εκτός της Γηραιάς ηπείρου. Όσον αφορά την εξωτερική δραστηριότητα ως παράγοντα συμβολής στην γένεση της μυωπίας, από περιβαλλοντικής φύσεως, η πόλη του Ηρακλείου, χωρίς ακραίες καιρικές συνθήκες, με το εύκρατο μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζει την Μεγαλόνησο, δεν περιορίζει την υπαίθριο ενασχόληση και τις αθλητικές δραστηριότητες εξωτερικού χώρου , αλλά, αντιθέτως, τις ευνοεί . Παρ' όλα αυτά το στοιχείο που λειτουργεί ανασταλτικά για την υπαίθριο έκθεση στην πόλη του Ηρακλείου είναι η πυκνοκατοίκηση και η έντονη οικοδομική δραστηριότητα, σε αντίθεση με την πόλη της Stara Zagora όπου

υπάρχουν πάρκα και ανοικτές εκτάσεις, καθιστώντας εφικτότερη την εξωτερική δραστηριότητα. Στο σημείο αυτό της ανάλυσης υπεισέρχονται οι κοινωνικοοικονομικές προσλαμβάνουσες και οι αντίστοιχες διαφοροποιήσεις που επιφέρουν στις δύο πόλεις της Ελλάδας και της Βουλγαρίας. Όλοι είμαστε τουλάχιστον μάρτυρες και στην πλειοψηφία έχουμε αποτελέσει τμήμα της ελληνικής εκπαιδευτικής αντίληψης. Το σύστημα στην χώρα μας υπαγορεύει έναν κυκλώνα συμπληρωματικής ιδιωτικής διαδικασίας μάθησης, διάρκειας πολλών ωρών μετά το πέρας του σχολείου. Έτσι, τα παιδιά της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ρίχνονται από νωρίς το μεσημέρι στην μάχη της φροντιστηριακής πρόσθετης μάθησης με απώτερο σκοπό την κατάλληλη προετοιμασία, ώστε να ικανοποιηθεί μετά από χρόνια η επιτακτική αναγκαιότητα επιτυχίας στις Πανελλήνιες Εισαγωγικές εξετάσεις. Τα παιδιά του Δημοτικού αλλά και του Νηπιαγωγείου ακόμα, υφίστανται με την σειρά τους ανάλογη απογευματινή διδασκαλία, ώστε να εφοδιαστούν με την γνώση ξένων γλωσσών. Ο βαθμός υλοποίησης της παραπάνω αυστηρής και εντατικοποιημένης εκπαιδευτικής διαδικασίας τροποποιείται κατά περίπτωση, ανάλογα με την ύπαρξη ενός οικογενειακού εισοδήματος που να επιτρέπει την εφαρμογή του, καθώς και του επίπεδο μόρφωσης των γονέων. Σε κάθε περίπτωση, η παρακολούθηση αυτού του βεβαρυμμένου φόρτου, περιορίζει αναμφισβήτητα, τον χρόνο για εξωτερικές δραστηριότητες προστατευτικές της μυωπίας, ενώ, παράλληλα, η έντονη και διαρκής κοντινή μελέτη αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα εμφάνισης μυωπικής διαταραχής. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέψουμε την επίδραση στους απογόνους ενός ενδεχόμενου διαθλαστικού σφάλματος των γονέων.¹⁵⁰

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η διαφοροποίηση των δύο πόλεων αναφορικά με την χρήση διορθωτικών γυαλιών, με τα παιδιά στην Κρήτη να υπερέχουν. Συνολικά το 23,3% των Ελλήνων μαθητών και το 8,7% των Βουλγάρων έκαναν χρήση γυαλιών στο σχολείο. Συγκεκριμένα στην 5^η- 6^η Δημοτικού τα μεγέθη στις δύο χώρες ήταν 17,8% και 9,4% αντίστοιχα, ενώ στις τάξεις του Γυμνασίου στο Ηράκλειο εκτοξευόταν στο 40,7% με την Stara Zagora στο 14,3%. Αθροιστικά, μπορεί η πόλη της Βουλγαρίας να εμφάνιζε χαμηλότερο επιπολασμό μυωπίας, όμως, 1 στους 3 μύωπες φορούσε γυαλιά, ενώ, αντίθετα στο Ηράκλειο 2 στους 3 μύωπες έφεραν την διαθλαστική διόρθωση, με την διαφορά αυτήν να εντείνεται στις τάξεις του Γυμνασίου. Η έλλειψη επαρκούς εξουδετέρωσης του διαθλαστικού σφάλματος, συνεπάγεται με την σειρά της, έκπτωση της οπτικής οξύτητας και κατ' επέκταση δυσκολία στην παρακολούθηση της διδασκαλίας, μειωμένες επιδόσεις καθώς και δυσχέρεια στις κοινωνικές συναναστροφές των παιδιών με επακόλουθο, χαμηλή αυτοπεποίθηση και απομόνωση, σε μία κρίσιμη φάση για την διαμόρφωση της ψυχοσύνθεσης του νεαρού ατόμου.¹⁵⁰

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ο βαθμός χρήσης γυαλιών από τα παιδιά στην Κρήτη (70%) αντιπροσωπεύει υψηλή συμμόρφωση, καθώς μελέτες σε πληθυσμούς έχουν

δείξει ότι 1 στα 3 άτομα ή και λιγότερο με εξασθένηση της οπτικής τους οξύτητας λόγω διαθλαστικού σφάλματος φορούσαν διορθωτικά γυαλιά (σύμφωνο με τα ευρήματα στη Βουλγαρία). Στις αναπτυσσόμενες περιοχές, η απουσία συμμόρφωσης στην διόρθωση είναι δυνατόν να πηγάζει από την έλλειψη οικονομικής δυνατότητας οπτικού ελέγχου και αγοράς γυαλιών, ιδιαιτέρως όταν δεν υπάρχει μνεία από την πολιτεία. Ακόμα, η αμάθεια και το χαμηλό πνευματικό επίπεδο ενός πληθυσμού, υποβιβάζουν την αναζήτηση και την απαίτηση επαρκούς όρασης, εφόσον δεν υφίστανται και τα μαθησιακά ερείσματα που να δώσουν έμφαση σε μία υποβαθμισμένη οπτική οξύτητα. Σε αντιδιαστολή, στις αναπτυγμένες χώρες και κοινωνίες, στις παραμέτρους που οδηγούν στη μη-λήψη της διόρθωσης, περιλαμβάνονται αισθητικοί λόγοι, ο αρνητισμός των γονέων, η στοχοποίηση του παιδιού με τα γυαλιά στο σχολικό περιβάλλον, η νεαρή ηλικία και το χαμηλό σφάλμα που δεν εξασθενεί την όραση σημαντικά ώστε να περιορίσει την λειτουργικότητα. Το ανδρικό φύλο, επίσης, λόγω της ενασχόλησής του με αθλήματα και ανάλογες δραστηριότητες, έχει την τάση να παρουσιάζει μία εντονότερη άρνηση. Μεταξύ των δύο φύλων, στην Κρήτη παρατηρήθηκε μία στατιστικά σημαντική υπεροχή της μυωπίας στα κορίτσια. Η ευρέως αποδεδειγμένη ροπή αύξησης της μυωπίας με την ηλικία, επιβεβαιώνεται στους μαθητές του Ηρακλείου. Σύμφωνα με ένα πλήθος διαθλαστικών μελετών, ο επιπολασμός της μυωπίας αυξάνεται 5 έως 8 φορές σε παιδιά ηλικίας 6 – 12 ετών και ακόμα περισσότερο στην Ανατολική Ασία. Πιθανή ερμηνεία αποτελεί η σταδιακή έκπτωση του εμμετροποιητικού μηχανισμού μετά την νηπιακή ηλικία (όπως έχει αναφερθεί εκτενώς πρόκειται για εξασθένηση του δυναμικού αντιστάθμισης της μυωπικής διαταραχής), καθώς και οι αυξημένες απαιτήσεις με την ηλικία εντατικοποιημένης κοντινής εργασίας.¹⁵⁰

Η έρευνα του Πανεπιστημίου Κρήτης αποτελεί την μοναδική μελέτη σε ελληνικό επίπεδο στην συγκεκριμένη ηλικιακή ομάδα και μία από τις ελάχιστες στον ελλαδικό χώρο για την αποτίμηση της μυωπικής διαταραχής στον ελληνικό πληθυσμό (υπάρχουν μόλις δύο άλλες μελέτες: η πρώτη απευθυνόμενη σε μεγαλύτερες ηλικίες 15-18 ετών¹⁵¹ και η δεύτερη σε νεαρούς άνδρες που υπηρετούσαν την στρατιωτική τους θητεία¹⁵²). Η βαρύνουσα σημασία της καταδεικνύεται από το γεγονός ότι μέχρι σήμερα, ακόμα και σε Πανευρωπαϊκό επίπεδο, έχουν διεξαχθεί λιγοστές μελέτες σε παιδιά σχολικής ηλικίας για την εκτίμηση του μυωπικού επιπολασμού.

ΣΧΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ

Ησύγχρονη εποχή της παγκοσμιοποίησης και της εντεινόμενης ανταγωνιστικότητας μεταξύ ατόμων, ακόμα και διαφορετικών εθνικοτήτων, στο πεδίο της επαγγελματικής αποκατάστασης, επιβάλλει έναν διαρκή αγώνα πρώιμης έναρξης για μέγιστη λήψη γνώσεων και βέλτιστη απόδοση στο σχολείο. Καθίσταται, επομένως, ιδιαίτερου ενδιαφέροντος η αποτίμηση της συσχέτισης των σχολικών επιδόσεων και των συνεπαγόμενων διαφοροποιήσεων στις πτυχές του τρόπου ζωής που προκρίνει αυτό το μοντέλο θεώρησης, με την εμφάνιση μυωπικής διαταραχής.

Η σχολική απόδοση αποτελεί κοινή συνισταμένη της ευφυΐας του ατόμου και των συνολικών ακαδημαϊκών ικανοτήτων του, δηλαδή έναν αθροιστικό δείκτη της κοντινής ενασχόλησης κατά την παιδική - εφηβική ηλικία και των πνευματικών δυνατοτήτων του ατόμου. Η υψηλή νοημοσύνη αποτελεί ένα θετικό στοιχείο που παρέχει αυξημένες πιθανότητες για μία επιτυχημένη πορεία, χωρίς να αποτελεί, όμως, από μόνη της ικανή συνθήκη. Ιδιαίτερα η επίδοσή στα γλωσσολογικά αντικείμενα διδασκαλίας, βασίζεται στην αφιέρωση ενός εκτενούς χρόνου κοντινής εργασίας, η οποία πολλές φορές ξεκινά με προπαρασκευαστική ενασχόληση ήδη από τα προσχολικά χρόνια, ώστε το παιδί να αποκτήσει συγκριτικό πλεονέκτημα έχοντας την πρώτη του επαφή με την ανάγνωση και την γραφή πριν το σχολείο. Αναμφισβήτητα, η συνολικά υψηλή ποσότητα διαβάσματος και γραφής, ιδίως η συστηματική από πρώιμη ηλικία και η αυξημένη αφιέρωση χρόνου στις σχολικές υποχρεώσεις, αποτελούν εφόδιο για επιτυχία στις σχολικές δοκιμασίες. Ακόμα, έγκειται και στην ιδιοσυγκρασία του ίδιου του παιδιού η επίτευξη υψηλών επιδόσεων, εξαρτώμενη από τα ενδιαφέροντά του, την αυτοπεποίθηση του και την έντονη παρουσία ενός στοιχείου συναγωνισμού. Καίριο, ρόλο, όμως αναμφισβήτητα διαδραματίζει ένα οικογενειακό υποστηρικτικό πλαίσιο, καθώς η ενασχόληση των γονέων με την πρόοδο των παιδιών τους, η διαπίστωση των αδυναμιών τους και η βοήθεια που προσφέρουν στις ενδεχόμενες δυσκολίες που ωθούν το παιδί σε παραίτηση από την προσπάθεια, είναι ζωτικής σημασίας.

Στην Σιγκαπούρη πραγματοποιήθηκε σε πανεθνικό επίπεδο τετραετής έρευνα για τον προσδιορισμό της επίδρασης των σχολικών επιδόσεων στον επιπολασμό της μυωπίας. Συμμετείχαν 740 παιδιά (στην πλειοψηφία τους κινεζικής, μαλαισιανής και ινδικής καταγωγής) ηλικίας 10-12 ετών. Υποβλήθηκαν σε κυκλοπληγική εξέταση στον δεξιό οφθαλμό με αυτόματο διαθλασίμετρο και σε έλεγχο με A – scan υπερηχητική βιομετρία για τον προσδιορισμό των βιομετρικών χαρακτηριστικών του αξονικού μήκους, του βάθους του προσθίου θαλάμου, του πάχους του κρυσταλλοειδούς φακού και των διαστάσεων της υαλοειδικής κοιλότητας. Ως κριτήριο ύπαρξης μυωπικής διαταραχής ορίστηκε η παρουσία σφαιρικού ισοδυναμού τουλάχιστον -0,5 D. Αξιολογήθηκε η επίδοση των μαθητών στην Αγγλική γλώσσα, στην Μητρική τους διάλεκτο, στα Μαθηματικά, καθώς και ο μέσος όρος

των παραπάνω.¹⁵³ Στην Σιγκαπούρη, και ευρύτερα στις αστικές περιοχές της Ασίας, παρουσιάζεται επιδημική έκρηξη της μυωπίας, με έρευνα του 2004 να αποτιμά τον επιπολασμό στην Σιγκαπούρη σε εφήβους 15 – 19 ετών σε 73,9%.¹⁵⁴ Αυτή η κατακλυσμιαία εμφάνιση της μυωπίας είναι απότοκος της επίδρασης ραγδαίων περιβαλλοντικών αλλαγών σε ένα προδιατεθειμένο γενετικό υπόβαθρο. Οι επιδημιολογικές μελέτες ταυτοποιούν ως κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα τα χρόνια σχολικής διδασκαλίας, και κατ' επέκταση, ως άμεσους δείκτες κοντινής εργασίας, τις ώρες διαβάσματος την ημέρα και τον αριθμό των βιβλίων που διαβάζονται ανά εβδομάδα. Παρ' όλο που θεωρητικά οι ώρες διαβάσματος ανά ημέρα αποτυπώνουν ευκρινέστερα την καθημερινή ενασχόληση των παιδιών, από την πλευρά των γονέων, ίσως, είναι ευχερέστερη η αξιολόγηση βάσει της εβδομαδιαίας ανάγνωσης βιβλίων. Επίσης, η επίδοση των παιδιών στα IQtests έχει συνδεθεί με την μυωπία και υπάρχουν μελέτες που καταδεικνύουν μία πιθανή έμφυτη διαφορά στο IQ των μυωπικών παιδιών σε σύγκριση με τους υπερμέτρωπες μη επεξηγούμενη αμιγώς από ένα διαφορετικό οικογενειακό υπόβαθρο.^{155,156}

Στο δείγμα του πληθυσμού της έρευνας στην Σιγκαπούρη, ο επιπολασμός της μυωπίας κυμάνθηκε στο 62,2%. Διαπιστώθηκε μία θετική συσχέτιση των σχολικών επιδόσεων και της μυωπίας, ανεξαρτήτως των άλλων παραμέτρων. Τα παιδιά με τον υψηλότερο μέσο όρο βαθμολογίας παρουσίαζαν 2,5 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης μυωπικού σφάλματος συγκριτικά με αυτά με τις χαμηλότερες επιδόσεις. Η στατιστικά σημαντική συσχέτιση διατηρείτο και για τους βαθμούς στα γλωσσολογικά μαθήματα, ενώ ήταν οριακή για τα μαθηματικά. Η ερμηνεία της ισχυρότερης σύνδεσης της επίδοσης στα γλωσσολογικά μαθήματα με την μυωπία, έγκειται στο ότι εδώ υπεισέρχεται ο παράγοντας της επιμέλειας, καθώς η επιτυχία σε αυτό το αντικείμενο πηγάζει, κυρίως, από την εκτενέστερη καταβολή προσπάθειας κοντινής μελέτης, που προδιαθέτει για μυωπική μετατόπιση. Αντιθέτως, στα μαθηματικά, πέραν της ύπαρξης του απαιτούμενου γνωστικού υποβάθρου, κυρίαρχο ρόλο στην επίλυση των προβλημάτων διαδραματίζει η ευφυΐα. Επίσης, τα αποτελέσματα της έρευνας επαλήθευσαν την θετική επίδραση των βιβλίων ανά εβδομάδα και των υψηλότερων σκορ IQ με την μυωπία. Ακόμα, αναγνωρίστηκε μετατόπιση προς αρνητικότερες διαθλάσεις και μεγαλύτερο αξονικό μήκος με την αύξηση των επιδόσεων.¹⁵³

Ενδιαφέρουσα έρευνα για την συσχέτιση της σχολικής επίδοσης με την μυωπία αποτελεί και η μελέτη του 2002 (Muttietal), στην οποία έγινε προσπάθεια ποσοτικοποίησης των Διοπτριών με τον προσδιορισμό του μεγέθους των <<Διοπτρικών Ωρών>> ως ακολούθως: 3 X (ώρες καταναλωθείσες για μελέτη ή για ανάγνωση προς ατομική ευχαρίστηση), 2 X (ώρες καταναλισκόμενες σε βιντεοπαιχνίδια ή εργασίας στον υπολογιστή), 1 X (ώρες αφιερωμένες στην παρακολούθηση τηλεόρασης). Η αύξηση των ωρών κάθε κατηγορίας συνοδευόταν από υψηλότερη πιθανότητα μυωπικής διαταραχής. Επιπρόσθετα, η έρευνα

κατέδειξε ότι τα παιδιά με μυωπία ήταν πιθανότερο να επιτύχουν υψηλότερες επιδόσεις σε δοκιμασίες αποτίμησης των βασικών δεξιοτήτων διαβάσματος και συνολικής γλωσσολογικής ικανότητας (IowaTestofBasicSkills – ITBS). Διαπιστώνεται, δηλαδή, μία αμφίπλευρη αλληλεπίδραση μυωπικής διαταραχής και πνευματικών επιδόσεων.¹⁵⁷

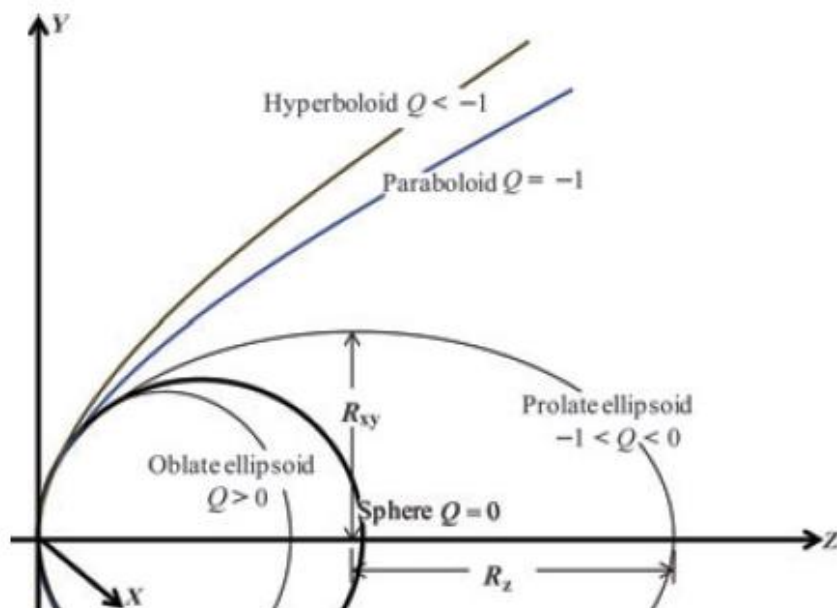
ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΑΦΕΣΤΙΑΣΗ (PERIPHERAL DEFOCUS)

1. ΣΧΗΜΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ-ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ

1.1. ΚΩΝΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ

Στην προσπάθεια αποτίμησης του, ολοένα , αυξανόμενης σημαντικότητας ρόλου που διαδραματίζει το σχήμα του οφθαλμού και η περιφερική διάθλαση στην διαθλαστική εξέλιξη και , ιδίως, στην μυωπική εμφάνιση, αποφασιστικής σημασίας είναι η αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών του οφθαλμικού και αμφιβληστροειδικού σχήματος. Το σχήμα του οφθαλμού και του αμφιβληστροειδούς δεν είναι ταυτόσημα. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, το οφθαλμικό σχήμα μπορεί να χαρακτηρίζεται ως prolate, λόγω του ότι η διάσταση του μήκους είναι μακρύτερη από το πλάτος ή το ύψος, όμως, ταυτοχρόνως το αντίστοιχο αμφιβληστροειδικό σχήμα δύναται να περιγράφεται ως oblate. Επιπροσθέτως, ο χαρακτηρισμός του οφθαλμικού σχήματος αποκλειστικά με τους όρους oblate (πεπλατυσμένο στους πόλους) ή prolate (ωοειδές) δεν είναι επαρκής. Στην μυωπία λόγου χάριν, ένα prolate οφθαλμικό σχήμα είναι πιθανό να <<μεταφράζεται>> σε ταυτόχρονη παρουσία αυξημένης κυρτότητας του αμφιβληστροειδούς εγγύς του οπίσθιου πόλου και αυξημένης επιπέδωσης ή μειωμένης κυρτότητας , συγκριτικά με τους εμμέτρους, μακριά του οπίσθιου πόλου. Βέβαια, η ύπαρξη μίας συσχέτισης μεταξύ του οφθαλμικού σχήματος και της περιφερικής διάθλασης και της τελευταίας με τα οπτικά του οφθαλμού είναι πιθανή. Παρ' όλα αυτά απλουστεύσεις για εξαγωγή συμπεράσματος όσον αφορά τα μοντέλα περιφερικής διάθλασης από το σχήμα του οφθαλμού και αντιστρόφως (π.χ. prolate σχήμα συνεπάγεται σχετική περιφερική υπερμετρωπία), δεν ενδείκνυνται, δεδομένου δε ότι , τόσο τα οπτικά του οφθαλμού, όσο και το σχήμα του αμφιβληστροειδούς συνεισφέρουν στην διαμόρφωση της περιφερικής διάθλασης, η οποία με την σειρά της χαρακτηρίζεται από ευρεία μεταβλητότητα.¹⁵⁸

Για την περιγραφή μίας οφθαλμικής επιφάνειας, τυπικά, γίνεται χρήση κωνικών τμημάτων. Με την σειρά του ένα κωνικό τμήμα περιστρεφόμενο γύρω από ένα κύριο μεσημβρινό του μετατρέπεται σε ένα περιστροφικά συμμετρικό κωνοειδές, με την αντίστοιχη εξίσωση: $X^2 + Y^2 + (1+Q)Z^2 - 2ZR_v = 0$ (1). Ο άξονας Z βρίσκεται κατά μήκος του οπτικού άξονα, ενώ τα X και Y μετρώνται σε άξονες κάθετους τόσο στον Z, όσο και μεταξύ τους. Το R_v αντιπροσωπεύει την κορυφή της ακτίνας καμπυλότητας. Το Q καταδεικνύει την ασφαιρικότητα. $Q=0$ αντιστοιχεί σε σφαίρα. $Q > 0$ αντιπροσωπεύει oblateελλειψοειδές ή oblateσφαιροειδές, δηλαδή πεπλατυσμένη στους πόλους έλλειψη με αύξηση της κυρτότητας με την απομάκρυνση από την το R_v . Τιμές $-1 < Q < 0$ υποδηλώνουν prolateελλειψοειδές ή prolateσφαιροειδές, δηλαδή επιμήκες ελλειψοειδές που παρουσιάζει επιπέδωση μακριά από το R_v . $Q = -1$ αντιστοιχεί σε ένα παραβολοειδές, ενώ $Q < -1$ σε ένα υπερβολοειδές. Εναλλακτικές μορφές έκφρασης της ασφαιρικότητας αποτελούν, επίσης, η ποσότητα $p = 1 + Q$, καθώς και η εκκεντρότητα με την αντίστοιχη εξίσωση $e^2 = -Q$. Η εξίσωση (1) είναι ισοδύναμη με την ακόλουθη εξίσωση: $(X^2 + Y^2)/R_{xy}^2 + (Z - R_z)^2/R_z^2 = 1$, όπου R_{xy} και R_z αποτελούν τα μήκη των ημιαξόνων κατά μήκος των κατευθύνσεων X, Y και Z αντιστοίχως. Στην περίπτωση ενός oblateελλειψοειδούς το $R_{xy} > R_z$, ενώ, αντιθέτως, για ένα prolateελλειψοειδές το $R_{xy} < R_z$ (εικόνα 10). Η κορυφή της ακτίνας καμπυλότητας και η ασφαιρικότητα συσχετίζονται με τα R_{xy} και R_z με την χρήση των ακόλουθων τύπων: $R_v = R_{xy}^2 / R_z$ και $Q = R_{xy}^2 / R_z^2 - 1$. Γίνεται εμφανές, από την σχηματική διάταξη της εικόνας 10, ότι σε μεταβολή του σφαιρικού σχήματος διατηρώντας αμετάβλητη την κορυφή της ακτίνας καμπυλότητας, στην περίπτωση μετατροπής σε oblateελλειψοειδές, παρατηρείται σχετική περιφερική υπερμετρική μετατόπιση. Η αναδιαμόρφωση, σε prolateελλειψοειδές οδηγεί, αντιθέτως, σε σχετική περιφερική μυωπία συγκριτικά με την διάθλαση στον κεντρικό αμφιβληστροειδή.¹⁵⁸



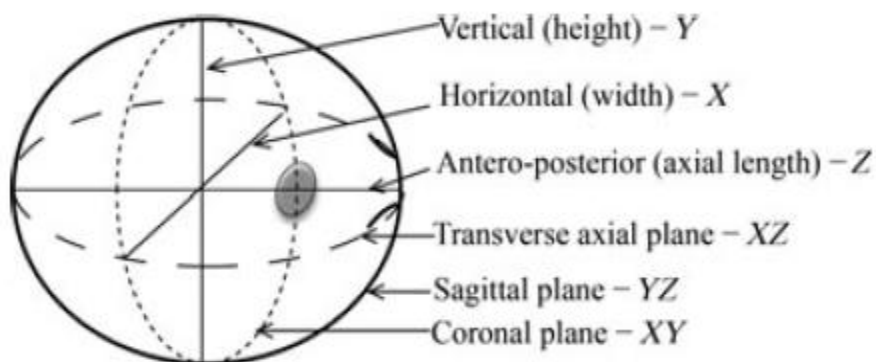
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΕΙΔΗ ΚΩΝΟΕΙΔΩΝ ΚΑΙ ΑΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ¹⁵⁸

Το σχήμα αναπαριστά την αντιστοίχιση της τιμής της ασφαιρικότητας με το σχήμα του κωνοειδούς. Όλα τα κωνοειδή έχουν ταυτόσημη R_v . Απεικονίζονται, επίσης, τα μήκη των ημιαξόνων R_x και R_z για ένα prolate ελλειψοειδές, όπου $R_z > R_x$. Σε αντιδιαστολή, στην περίπτωση ενός oblate ελλειψοειδούς ισχύει $R_z < R_x$.

1.2. ΤΟΜΕΣ, ΑΞΟΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

Είναι δυνατό να διακριθούν 3 είδη τομών στον οφθαλμό: οι εγκάρσιες, οι οβελιαίες και οι στεφανιαίες. Οι εγκάρσιες αξονικές τομές (transverse) είναι παράλληλες ως προς το επίπεδο ΧΖ και θεωρώντας ότι ο οπτικός άξονας ταυτίζεται με τον άξονα Ζ, επιλέγεται μία τομή η οποία κατά το μέγιστο δυνατό συνταιριάζει με το επίπεδο ΧΖ. Αντιστοίχως, οι οβελιαίες τομές (sagittal) είναι παράλληλες με το επίπεδο ΥΖ και αναλόγως γίνεται η επιλογή της καταλληλότερης για την ταύτιση με το επίπεδο ΥΖ. Οι στεφανιαίες τομές (coronal) είναι παράλληλες με το επίπεδο ΧΥ και επιλέγεται η τομή η οποία εμφανίζει τις μέγιστες διαστάσεις των Χ και Υ. Όσον αφορά τις οφθαλμικές διαστάσεις καίρια είναι η αποσαφήνιση του αξονικού μήκους, του ύψους και του πλάτους του οφθαλμού. Αναφορικά με το προσθιοπίσθιο μήκος, συνήθως, υπολογίζεται ως η απόσταση από την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς έως τον οπίσθιο πόλο στον εσώτερο αμφιβληστροειδή (Εσω Αφοριστική Μεμβράνη) και αποτελεί το Αξονικό Μήκος. Όμως, υπάρχουν μελέτες που έχουν προσμετρήσει το προσθιοπίσθιο μήκος βάσει διαφορετικών σημείων αναφοράς. Συγκεκριμένα, είτε ως την απόσταση από την οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδούς έως τον οπίσθιο πόλο, είτε ως το διάστημα από την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς έως τον εξώτερο Σκληρό, χρησιμοποιώντας στην δεύτερη περίπτωση τις εγκάρσιες αξονικές ή τις οβελιαίες τομές. Το κατακόρυφο μήκος (ύψος), ορίζεται ως η ευρύτερη απόσταση μεταξύ της κορυφής

και της βάσης του οφθαλμού. Για τον προσδιορισμό του, δύναται να γίνει χρήση είτε των οβελιαίων είτε των στεφανιαίων τομών. Το οριζόντιο μήκος (πλάτος), αποτελεί την ευρύτερη απόσταση μεταξύ της κροταφικής και ρινικής πλευράς του οφθαλμού. Για τον καθορισμό του είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν οι εγκάρσιες αξονικές ή οι στεφανιαίες τομές. Ο υπολογισμός του οφθαλμικού ύψους και πλάτους μπορεί να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας μετρήσεις, είτε από τον εσώτερο αμφιβληστροειδή στον εσώτερο αμφιβληστροειδή, είτε από τον εξώτερο σκληρό στον εξώτερο σκληρό. Οι παραπάνω αναφερόμενες τομές και διαστάσεις αποτυπώνονται ανάγλυφα στο σχήμα της εικόνας 11. Για την επίτευξη της ποσοτικοποίησης του οφθαλμικού σχήματος γίνεται χρήση του αξονικού μήκους, ύψους και πλάτους του οφθαλμού. Δεν πρέπει, όμως, να παραληφθεί και η χρήση σε μία σειρά ερευνών, ως πρόσθετων δεικτών, είτε του λόγου του αξονικού μήκους προς το ύψος, είτε της αναλογίας του αξονικού μήκους προς το πλάτος. Το μειονέκτημα των παραπάνω θεωρήσεων ποσοτικοποίησης έγκειται στην αγνόηση της ραγδαίας διαφοροποίησης του σχήματος στην διασταύρωση κερατοειδούς – σκληρού. Με παρόμοιο τρόπο καθίσταται εφικτή η αποτύπωση του σχήματος του αμφιβληστροειδούς, μέσω της ταύτισης των κατάλληλων κωνοειδών στο οπίσθιο λειτουργικό του τμήμα (φωτοϋποδοχείς).¹⁵⁸ Σύμφωνα με την μελέτη των Atchisonetal, τα ελλειψοειδή που εναρμονίζονται με τον οφθαλμό και τον αμφιβληστροειδή αντίστοιχα, θα ταυτίζονται όσον αφορά τις διαστάσεις του ύψους και του πλάτους αλλά θα παρουσιάζουν διαφοροποίηση στο μήκος. Συγκεκριμένα, τα κωνοειδή του αμφιβληστροειδούς θα είναι βραχύτερα κατά περίπου 3,1 mmσυγκριτικά με το αξονικό μήκος.¹⁵⁹



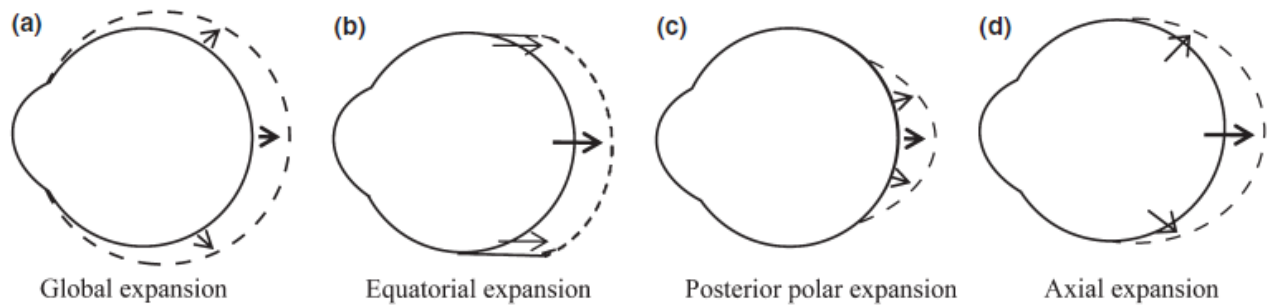
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΟΦΘΑΛΜΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ¹⁵⁸

Το σχήμα παρουσιάζει τις οφθαλμικές τομές και διαστάσεις. Η οβελιαία τομή αποτελεί κατακόρυφη τομή, η οποία περιλαμβάνει τον οπτικό άξονα (συνεχής γραμμή). Η εγκάρσια αξονική τομή είναι οριζόντια τομή περιλαμβάνουσα τον οπτικό άξονα (γραμμή με διακεκομμένες παύλες). Η στεφανιαία τομή αντιπροσωπεύει κατακόρυφη τομή κάθετη προς τον οπτικό άξονα (στικτή γραμμή). Ακόμα, αναπαρίστανται το αξονικό μήκος, το ύψος και το πλάτος του οφθαλμού.

1.3.ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΥΩΠΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

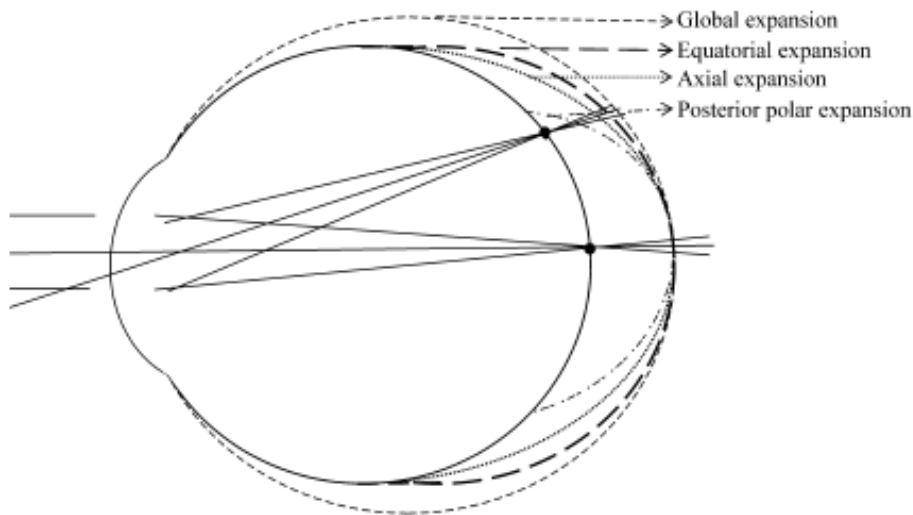
Οι μυωπικοί οφθαλμοί παρουσιάζουν ποικίλες παραλλαγές αμφιβληστροειδικού σχήματος. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με τα δυνητικά μοντέλα αμφιβληστροειδικής επέκτασης (stretching) που λαμβάνουν χώρα κατά την αξονική επιμήκυνση. Η εικόνα 12 απεικονίζει τα 4 μοντέλα επέκτασης που δύνανται να παρατηρηθούν στην μυωπία.¹⁶⁰ Το μοτίβο (a) απεικονίζει ένα συνολικό <<τέντωμα>> του αμφιβληστροειδούς (Global expansion). Το μοντέλο (b) αντιστοιχεί σε επέκταση παράλληλα ως προς τον οπτικό άξονα στην περιοχή του ισημερινού (Equatorial expansion). Στο πρότυπο (c) η επέκταση παρατηρείται αποκλειστικά στον οπίσθιο πόλο (Posterior Pole expansion). Τέλος, υπάρχει και ένα υβριδικό μοντέλο (d), το οποίο προκύπτει από τον συνδυασμό των μοτίβων του ισημερινού και του οπίσθιου πόλου και αποτελεί την αξονική επέκταση (Axial expansion). Τα 3 πρώτα μοντέλα αναπαρίστανται με σφαιρικές επιφάνειες, ενώ η υβριδική κατάσταση απεικονίζεται με μία prolateελλειψοειδή επιφάνεια.¹⁵⁸



ΕΙΚΟΝΑ 12: ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΙΚΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΥΩΠΙΑ¹⁶⁰

Το σχήμα απεικονίζει τα 4 μοτίβα αμφιβληστροειδικής επέκτασης στη μυωπία. Η Αξιαlexpansion αποτελεί υβριδικό μοντέλο. Οι συνεχείς γραμμές αναπαριστούν το σχήμα του αμφιβληστροειδούς σε εμμετρικούς οφθαλμούς. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στο σχήμα που προσλαμβάνει ο αμφιβληστροειδής με την μυωπική εξέλιξη, ενώ τα βέλη παρουσιάζουν τις περιοχές στις οποίες επεκτείνεται.

Η σπουδαιότητα της παρατήρησης των ανωτέρω μοντέλων επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία, πηγάζει από την συσχέτισή τους με την θέση απεικόνισης του ειδώλου και με την σχετική περιφερική διάθλαση. Διαπιστώνεται ότι για όλα τα μοτίβα, η επιφάνεια εστίασης του ειδώλου βρίσκεται εγγύτερα προς τον αμφιβληστροειδή στην περιφέρεια σε σύγκριση με το κέντρο. Το εστιακό επίπεδο, δηλαδή, βρίσκεται πλησιέστερα των φωτοϋποδοχέων στον περιφερικό αμφιβληστροειδή συγκριτικά με τον κεντρικό. Υπάρχει δηλαδή σχετική περιφερική υπερμετρωπία, καθώς παρά την ύπαρξη μυωπίας και στο κέντρο και στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, ο περιφερικός αμφιβληστροειδής εμφανίζει μικρότερο μυωπικό σφάλμα (εικόνα 13). Η επίδραση αυτή είναι εντονότερη στο μοντέλο επέκτασης κατά τον οπίσθιο πόλο, ακολουθούμενη από την αξονική, την κατά τον ισημερινό και την σφαιρική επέκταση.¹⁵⁸



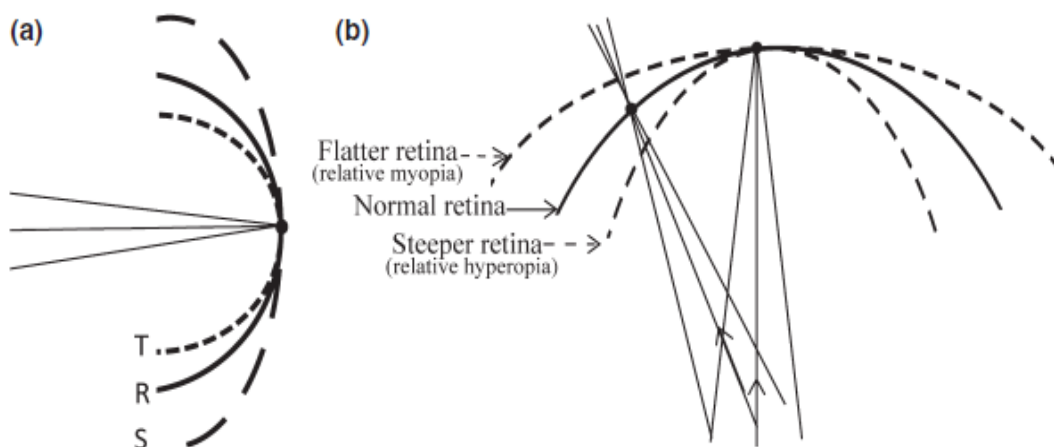
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΥΩΠΙΚΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ¹⁵⁸

Το σχήμα παρουσιάζει την συσχέτιση του μοντέλου επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία με την θέση απεικόνισης του ειδώλου και την σχετική περιφερική διάθλαση. Καταδεικνύεται η καθολική ύπαρξη σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας (ή διαφορετικά μικρότερης μυωπίας στην περιφέρεια) .Γίνεται παραδοχή ότι για τα μοντέλα, με εξαίρεση το Axial expansion, το σχήμα του αμφιβληστροειδούς στις περιοχές επιμήκυνσης παραμένει σφαιρικό. Για το υβριδικό μοτίβο, η επιφάνεια θεωρείται ότι είναι prolateελλειψοειδής.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Μία λεπτή δέσμη φωτός ,από ένα off-axisσημείο ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε επίπεδη επιφάνεια, περνώντας μέσα από ένα συμμετρικό οπτικό σύστημα, θα εστιαστεί ως γραμμές σε δύο θέσεις. Η μία γραμμή αντιστοιχεί στο φως που υπέστη διάθλαση στο Εφαπτομενικό επίπεδο (tangential). Πρόκειται για το επίπεδο που περιέχει το σημείο του αντικειμένου και τον Οπτικό Άξονα. Η δεύτερη γραμμή προκύπτει από την διάθλαση του φωτός στο Οβελιαίο επίπεδο (sagittal), το οποίο είναι κάθετο προς το tangential. Επομένως, για ένα εύρος σημείων του αντικειμένου κατά μήκος της επιφάνειας, θα διαμορφώνονται δύο <<μοντέλα>> ειδώλου, το εφαπτομενικό και το οβελιαίο (εικόνα 14a). Για να καταστεί εφικτή η μελέτη της διάθλασης παρουσία εμμετρωπίας, γίνεται η θεώρηση ότι το ανωτέρω οπτικό σύστημα αντιστοιχεί σε εμμετρωπικό οφθαλμό, με το φυσιολογικό σχήμα του αμφιβληστροειδούς του να είναι μία σφαίρα. Η ακτίνα καμπυλότητας της σφαίρας είναι, περίπου, 12 mmκαι, επιπροσθέτως, το <<κέλυφος>> του ειδώλου που αντιστοιχεί το μέσο όρο των tangentialκαι sagittal<<προτύπων>> του ειδώλου, συμπίπτει προσεγγιστικά με την παραπάνω σφαίρα. Διακρίνεται στην εικόνα 14b το σφαιρικό σχήμα του αμφιβληστροειδούς. Επίσης, αποτυπώνονται μεταβολές στην καμπυλότητα του αμφιβληστροειδούς, οι οποίες το καθιστούν , είτε περισσότερο κυρτό (steeper - μεγαλύτερη καμπυλότητα), είτε περισσότερο επίπεδο (flatter-

μικρότερη καμπυλότητα). Γίνεται σαφές, ότι φως από ένα μακρινό off-axis (εκτός του Άξονα της Όρασης, δηλαδή φως που δεν κατευθύνεται στο κεντρικό βοθρίο)σημείο, συγκλίνει σε μία θέση, συμπίπτουσα με τον φυσιολογικό αμφιβληστροειδή, κατά την διόδό του από το οπτικό σύστημα του ανωτέρω οφθαλμού. Αντίθετα, το φως εστιάζεται προσθίως του πιο επίπεδου αμφιβληστροειδούς, με αποτέλεσμα να δημιουργείται Περιφερική Μυωπία, ενώ ο κεντρικός αμφιβληστροειδής χαρακτηρίζεται από εμμετρική διαθλαστική κατάσταση. Τέλος, το φως εστιάζεται οπισθίως του πιο κυρτού αμφιβληστροειδούς, οδηγώντας σε Περιφερική Υπερμετρωπία. Το υπερμετρωπικό ερέθισμα αφεστίασης στην περιφέρεια του κυρτότερου αμφιβληστροειδούς, δύναται να πυροδοτήσει την αξονική επιμήκυνση και την εμφάνιση κεντρικής μυωπίας.¹⁵⁸



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΣΧΗΜΑ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ¹⁵⁸

Το σχήμα απεικονίζει τα δύο μοντέλα ειδώλου (T:Tangential, S:Sagittal) που σχηματίζονται πάνω στον αμφιβληστροειδή (R: Retina – συνεχής γραμμή), για φως που προερχόμενο από off-axis σημείο. Το σχήμα αναπαριστά το μέσο καλούπι του ειδώλου που προκύπτει από τα δύο μοντέλα (tangential και sagittal), για τρία διαφορετικά σχήματα αμφιβληστροειδούς. Ο φυσιολογικός αμφιβληστροειδής (Normal Retina), αντιστοιχεί σε σφαίρα. Να επισημανθεί, ότι εάν το σχήμα του αμφιβληστροειδούς επηρεάζει τη οφθαλμική ανάπτυξη και την κεντρική διαθλαστική εξέλιξη, αυτό θα πραγματοποιείται μέσω της άθροισης των σημάτων κατά μήκος του αμφιβληστροειδούς, παρά μέσω των σημάτων μίας μεμονωμένης τοποθεσίας.

Για την διερεύνηση, τώρα, της ορολογίας της Σχετικής περιφερικής διάθλασης, πραγματοποιείται εφαρμογή των ανωτέρω θεωρήσεων για εμμετρικό οφθαλμό, σε μυωπικό, αυτήν την φορά οφθαλμό. Τα οπτικά στοιχεία του εμμετρικού και οφθαλμού που χρησιμοποιήθηκε είναι ταυτόσημα με του μυωπικού, με την διαφοροποίηση ,μόνο, της παρουσίας ενός μεγαλύτερου αξονικού μήκους στον μυωπικό οφθαλμό. Έτσι, για τον πιο επίπεδο αμφιβληστροειδή, η εστία του φωτός από ένα off-axis σημείο θα απέχει περισσότερο από τον αμφιβληστροειδή, συγκριτικά με την απόσταση που μεταξύ του σημείου που εστιάζεται το φως και του φυσιολογικού – σφαιρικού αμφιβληστροειδούς. Η περιφερική διάθλαση, λοιπόν, που αντιστοιχεί στην ανωτέρω κατάσταση, αναφέρεται ως Σχετική Περιφερική Μυωπία, επειδή μία πιο αρνητική διόρθωση απαιτείται συγκριτικά με τον φυσιολογικό αμφιβληστροειδή. Αντιθέτως, με ανάλογο σκεπτικό, για τον κυρτότερο αμφιβληστροειδή προκύπτει Σχετική Περιφερική Υπερμετρωπία, η οποία, όπως και στον εμμετρικό οφθαλμό η Περιφερική Υπερμετρωπία, είναι δυνατόν να προκαλέσει αξονική επιμήκυνση, και αύξηση της προϋπάρχουσας μυωπίας.¹⁵⁸

Μία κρίσιμη συνεπαγωγή των ανωτέρω θεωρήσεων, έγκειται στο ότι παρουσία υπερβολικής Σχετικής Περιφερικής Μυωπίας σε νεαρούς υπερμέτρως ή υπερβολικής Περιφερικής Μυωπίας σε νεαρούς εμμέτρως, θα ήταν δυνατόν να πυροδοτήσουν τη διακοπή της φυσιολογικής εμμετρωποιητικής διαδικασίας, μέσω της επιβράδυνσης της κανονικού ρυθμού αύξησης του αξονικού μήκους. Αποτέλεσμα θα ήταν η εμφάνιση κατά την ενήλικη ζωή υπερμετρωπίας. Βέβαια στα ανωτέρω σκεπτικά υπάρχουν μία σειρά απλουστεύσεων. Στην πραγματικότητα, ο οφθαλμός, κατά κανόνα, δεν παρουσιάζει περιστροφική συμμετρία. Επομένως, η περιφερική διάθλαση ποικίλει συναρτήσει του εκάστοτε μεσημβρινού του οπτικού πεδίου.¹⁵⁸ Ακόμα, οι πλειοψηφία των εμμετρικών οφθαλμών έχει χαμηλά επίπεδα Περιφερικής Μυωπίας και, επιπροσθέτως, το μεγαλύτερο ποσοστό των εμμετρικών αμφιβληστροειδών χαρακτηρίζονται από oblate σχήμα, παρά από σφαιρικό.¹⁵⁹

1.4.ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

Μία πλειάδα τεχνολογικών μέσων είναι σήμερα διαθέσιμη για την αποτίμηση του οφθαλμικού σχήματος. Ήδη από το 1941 οι Ακτίνες Χ βρήκαν εφαρμογή στον προσδιορισμό της διαμέτρου ζώντος οφθαλμού.¹⁶¹ Μεταγενέστερες τεχνικές, όπως η υπερηχογραφία,^{162,163} η υπολογιστική τομογραφία (CT)^{164,165} και η μαγνητική τομογραφία συντονισμού(MRI)¹⁶⁶⁻¹⁶⁸ συνέβαλαν αποφασιστικά στην εν τω βάθει απόκτηση δεδομένων. Μελέτες κατέδειξαν μία μέση αύξηση του αξονικού μήκους σε οφθαλμούς ενηλίκων, κυμαινόμενη από 0,33 έως 0,35 mm ανά διοπτρία αύξησης της μυωπίας.^{169,170} Για την εξαγωγή πληροφοριών αναφορικά με το οφθαλμικό σχήμα, οι παραπάνω έρευνες συνέκριναν τις διαστάσεις του οφθαλμικού ύψους (H) και πλάτους (W) με το προσθιοπίσθιο μήκος του οφθαλμού (L). Κρίσιμο στοιχείο που χρήζει της προσοχής, αποτελεί το γεγονός ότι αν και δύναται οι διάφορες έρευνες να χρησιμοποιούν διαφορετικό επίπεδο του οφθαλμού ως βάση αναφοράς για τον προσδιορισμό των διαστάσεων, αυτή η διαφοροποίηση δεν παρουσιάζει αντίκτυπο στον βαθμό μεταβολής των οφθαλμικών διαστάσεων που συνοδεύει τις αλλαγές στην διάθλαση. Επιπρόσθετα, η συντριπτική πλειοψηφία των στοιχείων συνηγορεί υπέρ ενός μεγαλύτερου βαθμού επιμήκυνσης του αξονικού μήκους με την αύξηση της μυωπίας, συγκριτικά με την αντίστοιχη αύξηση των διαστάσεων του οφθαλμικού ύψους και πλάτους. Αντιπροσωπευτικά, ο Dellenκατέγραψε αναλογία 2:1:1 μεταξύ των μεταβολών στις διαστάσεις L, H, W που συνοδεύουν την αύξηση της μυωπίας.¹⁶⁹ O Atchison με την σειρά του παρατήρησε έναν λόγο 3:2:1.¹⁷⁰

Εναλλακτική προσέγγιση του οφθαλμικού σχήματος αποτελεί η χρήση ορολογίας ελλειψοειδών και η συσχέτισή της με τις διαστάσεις. Έτσι, ο όρος prolate περιγράφει έναν οφθαλμό στον οποίο ο λόγος L/W ή L/H είναι μεγαλύτερος της μονάδας.¹⁷¹⁻¹⁷³ Το αξονικό μήκος δηλαδή είναι μεγαλύτερο του ύψους ή του πλάτους του οφθαλμού. Σε αντιδιαστολή, η όρος oblate αντιστοιχεί σε λόγους L/W ή L/H < 1. Ακόμα, οι Zhou et al το 1998 εισήγαγαν τους όρους <<longoval-shaped>> και <<crossoval-shaped>>¹⁷⁰. Επίσης, ο Moriγama αξιοποιώντας υψηλής ανάλυσης μαγνητικό τομογράφο συντονισμού τριών διαστάσεων, έκανε λόγο για τις έννοιες <<cylindrical>> και <<barrel>>.¹⁷² Πιο πρόσφατα το 2011, συναντάται η θεώρηση του Ishii, σύμφωνα με την οποία μία μόνο μετρική δεν είναι επαρκής για την περιγραφή του οφθαλμικού σχήματος.¹⁷⁵ Για τον λόγο αυτό εισηγήθηκε την χρήση των <<ellipticFourier>> περιγραφικών δεικτών. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι έννοιες του <<width expansion>> και του <<posterior length>>, οι οποίες θεωρούνται στενά συσχετιζόμενες με την αναλογία L/H. Πιστεύεται ότι παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες, αν και δεν είναι ευκρινής η σημαντικότητά τους πέραν του πεδίου αποτίμησης μηκών. Ο Atchison επιχείρησε, επιπρόσθετα, να συσχετίσει τις οφθαλμικές διαστάσεις με το μοντέλο επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία. Σε έρευνα του 2004 παρατήρησε ότι το 25% των μυώπων εμφάνιζαν το μοντέλο σφαιρικής επέκτασης (Global expansion), ενώ ένα άλλο 25% παρουσίαζαν

το υβριδικό μοτίβο (Axialexpansion). Όταν μελέτησε, όμως, ως προς την διάσταση του ύψους, διαπίστωσε μία ελαφρά άνοδο της συχνότητας εμφάνισης της σφαιρικής επέκτασης (30% των μυώπων). Αντιθέτως, η εξέταση ως προς το πλάτος του οφθαλμού, οδήγησε σε αξιοσημείωτη μετατόπιση προς το πρότυπο της αξονικής επέκτασης (47% των μυώπων).¹⁷⁰

1.5.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

ΑΜΕΣΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Ο καθορισμός του σχήματος του αμφιβληστροειδούς καθίσταται εφικτός με την εφαρμογή τόσο άμεσων ,όσο και έμμεσων οπτικών μεθόδων. Στην πρώτη κατηγορία εμπεριέχονται μέθοδοι όπως η υπερηχογραφία, η αξονική και μαγνητική τομογραφία, που αξιοποιούνται επίσης, όπως έγινε μνεία, και για την αποτίμηση του οφθαλμικού σχήματος.¹⁶⁶⁻¹⁶⁸ Οι έμμεσες οπτικές τεχνικές βασίζονται στην περιφερική διάθλαση και στην Ιντερφερομετρία Μερικής Συνοχής (PartialCoherenceInterferometry).¹⁷⁶⁻¹⁸⁰ Οι Atchisonetal κάνοντας χρήση μαγνητικής τομογραφίας συντονισμού ταυτοποίησαν τα οπίσθια αμφιβληστροειδικά σχήματα ως ασύμμετρα, αποκεντρωμένα και κεκλιμένα ελλειψοειδή (εικόνα 15). Το μέσο ελλειψοειδές στην διαθλαστική ομάδα των εμμετρώπων αντιστοιχούσε σε ένα oblateσχήμα αμφιβληστροειδούς. Διαπιστώθηκε ότι με την αύξηση της μυωπίας το σχήμα του αμφιβληστροειδούς καθίστατο λιγότερο oblate, καθώς η αξονική επιμήκυνση ήταν μεγαλύτερη (0,16mm)ανά διοπτρία μυωπικής αύξησης ,συγκριτικά με την αλλαγή των διαστάσεων του ύψους (0,09 mm) και του πλάτους (0,04mm). Ακόμα, βρέθηκαν και ορισμένοι μύωπες με prolateαμφιβληστροειδικό σχήμα. Τέλος, άξια αναφοράς είναι ορισμένα επιπλέον ευρήματα της έρευνας. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, μία κλίση του μέσου αμφιβληστροειδικού ελλειψοειδούς ρινικά ,κατά 11,5 μοίρες περίπου, σε σχέση με τον κάθετο άξονα. Επίσης, ως προς τον οπτικό άξονα, σημειώθηκε μία ρινική εκκεντρότητα της κορυφής του αμφιβληστροειδούς. Έγινε δε ιδιαίτερη μνεία για έναν χώρο (posteriorsegment), εκτεινόμενο από την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς έως το πρόσθιο τμήμα του αμφιβληστροειδικού ελλειψοειδούς, μήκους περί των 3mm, ο οποίος δεν επηρεαζόταν από την διάθλαση.¹⁵⁹

υπολογιζόμενος περιφερικός αστιγματισμός να ταυτίζεται σε κάθε γωνία του οπτικού πεδίου με τον μετρούμενο. Επίσης, η καμπυλότητα του αμφιβληστροειδούς μεταβαλλόταν έως ότου η θεωρητική διάθλαση στο οβελιαίο επίπεδο να είναι ταυτόσημη με την υπολογιζόμενη. Ακολούθως, μετά την επανάληψη της ανωτέρω διαδικασίας για έναν αριθμό θέσεων, ταυτοποιήθηκε το σχήμα του αμφιβληστροειδούς επιτυχημένα, συνταιριάζοντας την ενδεδειγμένη έλλειψη.¹⁸¹

Η αρχή του Dunne εφαρμόστηκε μετέπειτα και σε έρευνα του 2004. Οι Logan et al προσδιόρισαν το σχήμα του αμφιβληστροειδούς στην εγκάρσια αξονική τομή, εξετάζοντας λευκούς και κινεζικής καταγωγής ισομύωπες και ανισομύωπες. Υπολογίστηκε η αναλογία της εγκάρσιας διαμέτρου του αμφιβληστροειδούς προς το αξονικό μήκος, στις μέγιστες γωνίες που μελετήθηκαν. Ο λόγος αυτός διαπιστώθηκε να είναι μικρότερος στον πιο μυωπικό οφθαλμό των ανισομύωπων και παρουσίαζε για την κινεζική εθνότητα μείωση με την αύξηση της μυωπίας. Η παρατηρούμενη μείωση στον ανωτέρω λόγο, ερμηνεύτηκε ως αντιστοιχούσα σε μία μετατόπιση του αμφιβληστροειδούς σε πιο prolate σχήματα.¹⁸²

ΕΜΜΕΣΟΙΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

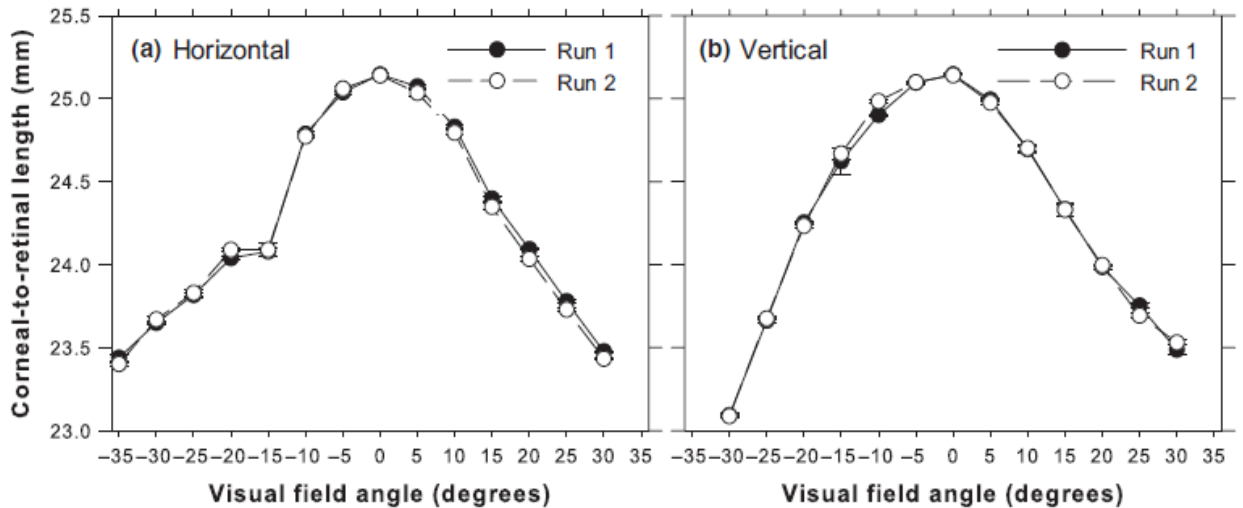
PARTIAL COHERENCE INTERFEROMETRY

Στο πεδίο αυτό δεσπόζει η αρχή της εντερφερομετρίας μερικής συνοχής (partial coherence interferometry). Ο θεμέλιος λίθος της θεωρίας έγκειται στην σύγκριση των μηκών των οπτικών δρόμων 2 δεσμών φωτός. Η μία δέσμη ανακλάται από την επιφάνεια του κερατοειδούς, ενώ η άλλη ταξιδεύει στο εσωτερικό του οφθαλμού και ανακλάται από μία από τις επιφάνειές του. Η πηγή φωτός που χρησιμοποιείται στην διάταξη είναι το διοδικό laser ή υπερφθορίζουσα δίοδος, που χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος (wavelengths) συγκρινόμενα με ένα απλό laser και, άρα, από ένα βραχύ μήκος συνοχής. Επομένως, ένα ισχυρό σήμα συμβολής θα λάβει χώρα μόνο όταν τα μήκη των οπτικών μονοπατιών είναι παραπλήσια. Μηχάνημα που διέπεται από την ανωτέρω αρχή λειτουργίας αποτελεί το Zeiss IOLMaster, το οποίο παρέχει μόνο το ολικό αξονικό μήκος, ενώ το βάθος του προσθίου θαλάμου εξάγεται από μία οπτική μέθοδο.

ΔΕΙΚΤΗΣ RPEL

Κρίσιμα στοιχεία προσέφερε η προσπάθεια του Schmid, ο οποίος δημιούργησε το δικό του υπερμετρό μερικής συνοχής. Αποτόκος της έρευνας του ήταν η εισαγωγή του δείκτη του Σχετικού Περιφερικού Οφθαλμικού Μήκους (Relative Peripheral Eye Length-RPEL), ο οποίος αποτελεί μέτρο της κυρτότητας του αμφιβληστροειδούς. Για τον προσδιορισμό του υπολόγισε την απόσταση μεταξύ κερατοειδούς και αμφιβληστροειδούς, τόσο αξονικά, όσο και στην περιφέρεια σε ένα εύρος κυμαινόμενο έως 20 μοίρες από το σημείο προσήλωσης. Εν συνεχεία αφαιρώντας από το περιφερικό μήκος το κεντρικό προέκυψε ο δείκτης RPEL. Πιο αρνητικές τιμές του δείκτη μεταφράζονται σε μεγαλύτερη κυρτότητα αμφιβληστροειδούς. Κατεγράφησαν αρνητικότερες τιμές του δείκτη στα μυωπικά παιδιά σε σύγκριση με τα εμμετρωπικά και τα υπερμετρωπικά (οι μύωπες, δηλαδή εμφάνιζαν αυξημένη κυρτότητα αμφιβληστροειδούς). Κατεδείχθη, ακόμα, μία δυναμική προβλεπτική ισχύ του δείκτη RPEL. Έτσι, μία μυωπική μετατόπιση μέσα σε ένα διάστημα 2 ετών, διαπιστώθηκε ότι σχετιζόταν, στατιστικά σημαντικά, με την τιμή δείκτη στις 20 μοίρες ρινικού πεδίου. Πιο αρνητικοί δείκτες και, άρα, πιο κυρτοί αμφιβληστροειδείς προέβλεπαν, δηλαδή, μεγαλύτερου βαθμού μυωπική μετατόπιση. Επιπρόσθετα, λόγω του μικρού εύρους γωνιών που μελετήθηκαν ο δείκτης RPEL δύναται πέραν της ένδειξης που παρέχει για την κυρτότητα του αμφιβληστροειδούς, να αποτελεί και αδρό μέτρο της ακτίνας καμπυλότητας της fovea, καθώς και της κλίσης της επιφάνειας του αμφιβληστροειδούς.¹⁷⁶⁻¹⁷⁸

Το 2007 οι Mallen και Kashyap, επινόησαν μία τροποποιημένη εκδοχή του IOLMaster. Χρησιμοποίησαν ένα εξωτερικό προσάρτημα αποτελούμενο από έναν διαχωριστή δέσμης, ένα γωνιόμετρο και έναν Maltese στόχο σταυρού. Με το σύστημα αυτό καθίσταται εφικτός ο προσδιορισμός των περιφερικών οφθαλμικών μηκών. Η εικόνα 16 παρουσιάζει το μοντέλο μετρήσεων που προκύπτουν από την διάταξη. Απεικονίζονται τα περιφερικά οφθαλμικά μήκη ενός εξεταζομένου κατά μήκος του οριζοντίου και κατακόρυφου οπτικού πεδίου, συναρτήσει της γωνίας εκκεντρότητας. Είναι εμφανές ότι το αξονικό μήκος του οφθαλμού αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη δυνατή μετρούμενη απόσταση μεταξύ κερατοειδούς και αμφιβληστροειδούς. Επιπλέον, από περαιτέρω προεκτάσεις της ανωτέρω προσέγγισης, δύναται να εξαχθούν στοιχεία για την κορυφή (vertex) της ακτίνας καμπυλότητας και την ασφαιρικότητα.¹⁷⁹

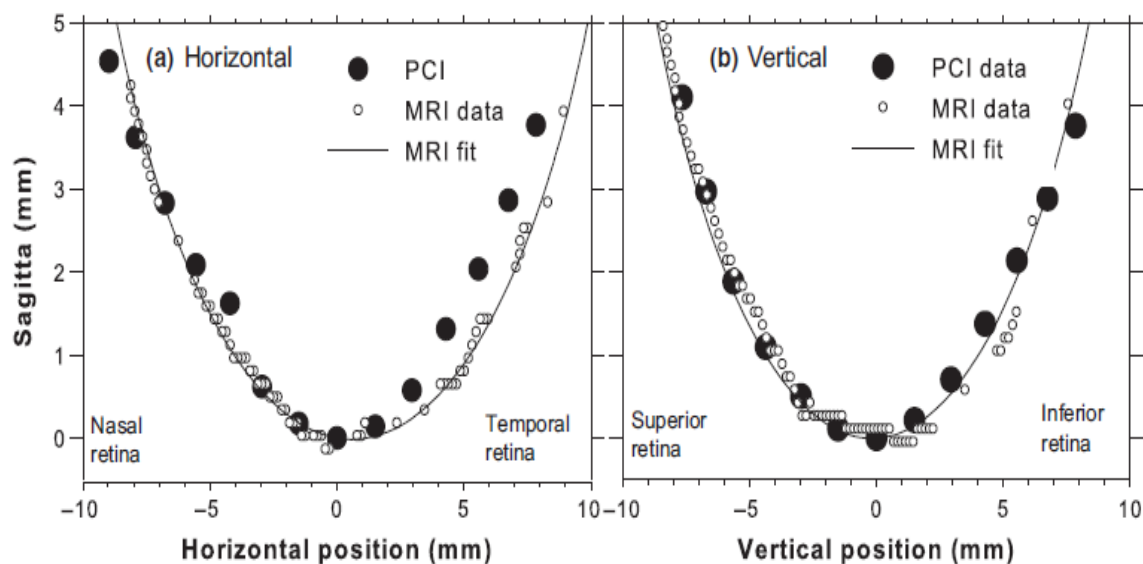


ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΑ ΟΦΘΑΛΜΙΚΑ ΜΗΚΗ¹⁵⁸

Αναπαρίστανται οι μεταβολές που επιφέρει η αλλαγή της γωνίας εκκεντρότητας στην απόσταση μεταξύ του κερατοειδούς και του αμφιβληστροειδούς ενός εξεταζομένου. Η αρχή λειτουργίας που αξιοποιείται είναι η *partial coherence interferometry*. Η εικόνα (a) αντιστοιχεί στις μετρήσεις των περιφερικών οφθαλμικών μηκών κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου, ενώ η εικόνα (b) αντιπροσωπεύει τα ευρήματα κατά μήκος του κατακόρυφου οπτικού πεδίου. Για κάθε πεδίο (οριζόντιο - κατακόρυφο) εκτελέστηκαν 2 ακολουθίες (Run 1 και Run 2), ενώ τα *errors* που διακρίνονται στις γραφικές παραστάσεις, αντικατοπτρίζουν την τυπική απόκλιση 5 μετρήσεων μέσα σε μία ακολουθία.

Αναμφισβήτητα, η έμμεσος οπτική μέθοδος της *Partial Coherence Interferometry* (PCI), αποτελεί ένα σημαντικότατο εργαλείο στο πλαίσιο της επιδίωξης καθορισμού του αμφιβληστροειδικού σχήματος. Μάλιστα, το 2011 οι Atchison και Charman διερευνώντας το θεωρητικό μοντέλο της τεχνικής κατέδειξαν την ικανότητα της να αποφέρει αξιοπρόσεκτα επακριβή αποτελέσματα. Επιθυμώντας να καταδείξουμε την ισχύ της PCI να προσεγγίσει τις δυνατότητες των άμεσων τεχνικών, αντιπροσωπευτικό είναι το παράδειγμα της εικόνας 17. Συγκρίνεται το περίγραμμα του αμφιβληστροειδούς που απορρέει από την εφαρμογή της αρχής της *Partial Coherence Interferometry* στο μοντέλο των Mallen και Kashyap (εικόνα 16), με αυτό που προσδιορίζεται από την μαγνητική τομογραφία συντονισμού. Για τον σκοπό αυτόν, αντιστοιχήθηκαν τα περιφερικά οφθαλμικά μήκη της πρώτης ακολουθίας (Run 1) από την εικόνα 16 σε ένα πλαίσιο αμφιβληστροειδούς, με την χρήση ενός απλού οφθαλμικού μοντέλου. Αποδεικνύεται ιδανικό συνταίριασμα του αμφιβληστροειδικού περιγράμματος ανάμεσα στις 2 τεχνικές (PCI - MRI), με

εξαίρεση, μόνο, μία υπερεκτίμηση κροταφικά της κυρτότητας του αμφιβληστροειδούς από την PartialCoherenceInterferometry. Η απόκλιση αυτή δύναται να αποδοθεί στην απλότητα του οφθαλμικού ομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε.¹⁸⁰



ΕΙΚΟΝΑ 17:ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΥΣ (PCI-MRI)¹⁵⁸

Απεικονίζεται το οριζόντιο (a) και κατακόρυφο (b) περίγραμμα του αμφιβληστροειδούς με τις τεχνικές PCI και MRI. Διαπιστώνεται η σχεδόν καθολική ταύτιση (εξαιρουμένου του κροταφικού τομέα) του πλαισίου για τις 2 αρχές λειτουργίας. Το οφθαλμικό μοντέλο που εφαρμόστηκε ήταν το Gullstrand – Emsley. Η διάθλαση στον κρυσταλλοειδή φακό παραλείπεται, αξιώνεται ομαλή πρόπτωση του φωτός στον κερατοειδή και το μήκος του οφθαλμικού μοτίβου μεταβάλλεται κατά τρόπον ώστε να ταιριάζει με το αντίστοιχο του εκάστοτε εξεταζομένου. Οι μαύροι κύκλοι αντιστοιχούν στην PartialCoherenceInterferometry (PCI), οι λευκοί στην MagneticResonanceImaging (MRI), ενώ οι συνεχείς γραμμές αντικατοπτρίζουν το κωνοειδές που αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα της MRI.

Παράλληλα, όμως, πρέπει να επισημανθεί, ότι η αρχή λειτουργίας της ιντερφερομετρίας, στο μοντέλο πλαισίου που βρίσκει εφαρμογή μέχρι σήμερα, παρουσιάζει ορισμένα τρωτά σημεία απορρέοντα από τις οπτικές παραμορφώσεις. Κρίσιμη αδυναμία αποτελεί η υποβαθμισμένη αξιολόγηση της διαφοροποίησης του Δείκτη Διάθλασης στα διαφορετικά μέσα του οφθαλμού (Κερατοειδής:1,336, Υδατοειδές Υγρό:1,331, Επιφάνεια του Κρυσταλλοειδούς Φακού:1,381, Κέντρο του Φακού:1,411, Υαλοειδές Υγρό:1,330). Στα μηχανήματα που διέπονται από αυτήν την αρχή λειτουργίας, το ZeissIOLMasterκάνει χρήση ενός σταθερού Δείκτη Διάθλασης για την μετατροπή των μηκών οπτικών δρόμων σε αποστάσεις, ενώ είναι ασαφή η μεθοδολογία που ακολουθεί το νεώτερο Haag-StreitLenstarαναφορικά με τον Δείκτη Διάθλασης. Επιπρόσθετα, μία ακόμη παράμετρος η οποία δεν έχει συνυπολογισθεί αποτελεί η απόκλιση των δεσμών φωτός στο εσωτερικό του οφθαλμού. Για να ληφθεί υπόψη και η συγκεκριμένη συνιστώσα απαιτείται μία

βελτιστοποιημένη τεχνική, με απαραίτητη προϋπόθεση την πιστοποίηση της απόμια άμεση μέθοδο (π.χ. μαγνητική τομογραφία), και περιλαμβάνουσα, ίσως, επιπρόσθετες βιομετρικές παραμέτρους αξιολόγησης. Το πεδίο ενδιαφέροντος, δηλαδή, μπορεί να συμπεριλάβει την τοπογραφία κερατοειδούς, τις εσωτερικές οφθαλμικές αποστάσεις, τις επιφάνειες του κρυσταλλοειδούς φακού με την χρήση μεθόδων όπως η φωτογραφία Scheimpflug και η φακομετρία, καθώς και την διαβάθμιση του Δείκτη Διάθλασης του κρυσταλλοειδούς φακού μέσω της μαγνητικής τομογραφίας συντονισμού. Σε κάθε περίπτωση, η επικύρωση μεθόδων που παρέχουν την δυνατότητα οικονομικότερων και ταχύτερων μετρήσεων του αμφιβληστροειδικού σχήματος εν συγκρίσει με τον μαγνητικό συντονισμό, είναι θεμελιώδης, εάν γίνει αποδεκτή η σημαντικότητα του σχήματος, στην διαγνωστική και θεραπευτική προσέγγιση της μυωπίας.¹⁵⁸

2.ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

2.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

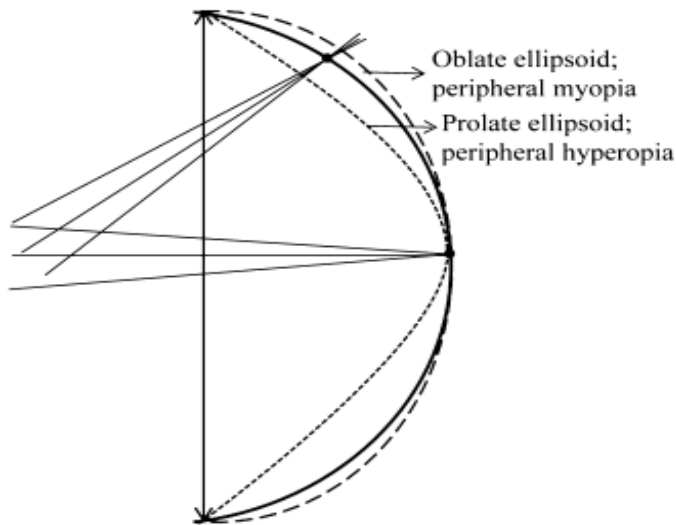
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η θεώρηση για τον δυνητικό τρόπο με τον οποίον η κατάσταση εστίασης της εικόνας στον περιφερικό αμφιβληστροειδή συνεισφέρει στην διαθλαστική εξέλιξη, χρονολογείται από το 1971 με τις ερευνητικές προσπάθειες των Rempt και Hoogerheide. Το επιστημονικό ενδιαφέρον αναφορικά με αυτήν την παράμετρο τείνει, όμως, να γιγαντωθεί στην εποχή μας, λόγω της ραγδαίας αύξησης του επιπολασμού της μυωπίας σε πολλά μέρη του κόσμου. Η υπόθεση η οποία αποτελεί το αντικείμενο της ερευνητικής διαλεύκανσης είναι η ακόλουθη: εισηγείται ότι εμμετρικοί οφθαλμοί ή αυτοί με χαμηλό υπερμετρικό σφάλμα στους οποίους παρατηρείται σχετική περιφερική υπερμετρωπία εν συγκρίσει με την αξονική διάθλαση, παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο ανάπτυξης μυωπίας σε σύγκριση με οφθαλμούς παρόμοιας διαθλαστικής κατάστασης, οι οποίοι, όμως, εμφανίζουν σχετική περιφερική μυωπία. Μία τέτοια θεωρία είναι ιδιαίτερος ελκυστική, όσον αφορά την δυνητική πρόληψη και θεραπευτική στρατηγική της μυωπίας. Θα επέτρεπε μέσω του καθορισμού του μοντέλου της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης, να ταυτοποιηθούν σε πρώιμο στάδιο τα άτομα που βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο μετέπειτα μυωπικής ανάπτυξης και να εφαρμοστούν πιθανές προφυλάξεις για την αναχαίτιση της. Κάτι τέτοιο θα καθίστατο, για παράδειγμα, εφικτό μέσω της χρήσης γυαλιών που θα εισήγαγαν περιφερική μυωπία, αφήνοντας άθικτη, ταυτοχρόνως, την κεντρική διάθλαση. Απαραίτητη προϋπόθεση, βέβαια, για να έχει υπόσταση η θεώρηση για τον δυνητικό ρόλο που διαδραματίζει η περιφερική διάθλαση, είναι η ύπαρξη δυναμικού από τον περιφερικό αμφιβληστροειδή, ικανού να αναγνωρίζει και να ανιχνεύει την αφεστίαση (θόλωση) της εικόνας και, εν συνεχεία, να ανταποκρίνεται, δημιουργώντας σήματα για τον καθορισμό της οφθαλμικής ανάπτυξης και της διαθλαστικής εξέλιξης. Δεν είναι δε απαραίτητο η ανωτέρω διαδικασία ανίχνευσης στον περιφερικό αμφιβληστροειδή να λαμβάνει χώρα σε συνειδητό επίπεδο.¹⁸³

Ο Thomas Young ήδη από το 1801 επιχειρεί να εξερευνήσει το πεδίο της περιφερικής διάθλασης, προσδιορίζοντας το επαπτομενικό και το οβελιαίο <<κέλυφος>> του ειδώλου (shell) για έναμια κυκλική επιφάνεια αντικειμένου διαμέτρου 25 cm, για έναν σχηματικό διάγραμμα οφθαλμού, βασιζόμενος σε μετρήσεις στον αριστερό του οφθαλμό.¹⁸⁴ Ακολούθησαν οι μελέτες των Ames και

Proctor την δεκαετία του 1920.¹⁸⁵ Περί τα 1930 έλαβε χώρα η έρευνα σταθμός των Ferreeetal.¹⁸⁶⁻¹⁸⁹ Μελέτησαν την περιφερική διάθλαση κατά μήκος του οριζοντίου μεσημβρινού έως 60 μοίρες από το σημείο προσήλωσης. Εξετάστηκαν 21 άτομα με την χρήση ενός αντικειμενικού διαθλασιμέτρου. Ταυτοποιήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα περιφερικής διάθλασης. Το πρότυπο Α χαρακτηριζόταν από μικτό αστιγματισμό, στο οποίο η διάθλαση κατά μήκος της οριζόντιας κατεύθυνσης γινόταν πιο μυωπική (tangentialrefraction) και η διάθλαση κατά μήκος της κατακόρυφης κατεύθυνσης γινόταν πιο υπερμετρωπική (sagittalrefraction). Το μοντέλο Β παρουσίαζε σχετικό υπερμετρωπικό αστιγματισμό, καθώς τόσο κατά μήκος της οριζόντιας, όσο και κατά μήκος της κατακόρυφης κατεύθυνσης η διάθλαση εμφάνιζε υπερμετρωπική μετατόπιση στην περιφέρεια. Το μοντέλο Γ εμφάνιζε ασύμμετρο αστιγματισμό, καθώς η περιφερική διάθλαση διαφοροποιείτο μεταξύ της ρινικής και της κροταφικής πλευράς του οριζοντίου περιφερικού πεδίου.¹⁵⁸

Ακόμα, ο Ferree από κοινού με τον Rand επιχείρησαν να συσχετίσουν τα μονίβα της περιφερικής διάθλασης με πιθανά οφθαλμικά σχήματα. Σύμφωνα με την θεωρία τους, ένα prolateελλειψοειδές σχήμα θα συνεπαγόταν αυξανόμενη σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Αξίωσαν ότι μία μεταβολή στην ασφαιρικότητα θα είχε ως συνοδό χαρακτηριστικό μία διαφοροποίηση στην κορυφή της καμπυλότητας, παραβλέποντας, πιθανότατα, το γεγονός ότι οι αλλαγές στο αξονικό μήκος και στο οφθαλμικό σχήμα θα συνοδεύονταν από διαφοροποιήσεις και στις διαστάσεις κατά μήκος του ισημερινού στην πορεία της μυωπικής ανάπτυξης. Η επίδραση ελλειψοειδών διαφορετικού σχήματος και ταυτόσημων διαστάσεων κατά τον ισημερινό στην περιφερική διάθλαση, απεικονίζεται στο σχήμα 18. Η κορυφή της καμπυλότητας (vertexcurvature) και η ασφαιρικότητα διαφοροποιείται μεταξύ των ελλειψοειδών. Προκύπτει μία σχετική περιφερική υπερμετρωπική ροπή για το prolateελλειψοειδές και μία σχετική περιφερική μυωπική τάση για το oblateελλειψοειδές. Υπολογίζοντας, επιπρόσθετα, τον περιφερικό αστιγματισμό, δηλαδή την διαφορά στην διάθλαση μεταξύ των 2 κύριων μεσημβρινών, εξήγαγαν συμπερασματικά την διαθλαστική ισχύ και το μήκος του οφθαλμού. Κατέληξαν στην διαπίστωση ότι οι οφθαλμοί με μικρότερους βαθμούς περιφερικού αστιγματισμού, ήταν πιθανότερο να είναι μακρύτεροι και λιγότερο ισχυροί διαθλαστικά. Εν κατακλείδι, η ειδική μνεία τους αναφορικά με την αξιοπρόσεκτη σπουδαιότητα της ,κατά το δυνατόν, προσέγγισης της στερεοδιάταξης του αμφιβληστροειδούς και του σχήματος του οπισθίου ημίσεως του οφθαλμικού βολβού, καταδεικνύει ότι σε μεγάλο βαθμό είχαν σχηματίσει μία αξιόλογη αντίληψη για το σχήμα του αμφιβληστροειδούς.¹⁸⁸

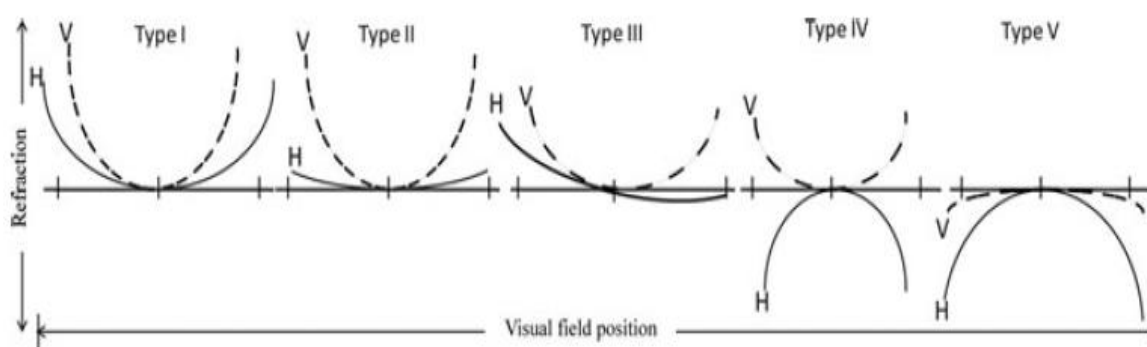


ΕΙΚΟΝΑ18:ΕΛΛΙΠΣΟΕΙΔΗ ΟΜΟΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΙΣΗΜΕΡΙΝΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΔΙΑΘΛΑΣΗ¹⁵⁸

Το σχήμα περιγράφει τις τροποποιήσεις που επιφέρουν στη περιφερική διάθλαση κωνοειδή σταθερής διαμέτρου ισημερινού. Το prolateελλειψοειδές (στικτή γραμμή), παρουσιάζεται έμπροσθεν του σφαιρικού σχήματος (μαύρη γραμμή), οδηγώντας σε περιφερική υπερμετρωπία. Σε αντιδιαστολή, το oblateελλειψοειδές (διακεκομμένες παύλες), εμφανίζεται οπισθίως της σφαίρας προσομοιάζοντας περιφερική μυωπία.

Διευρύνοντας την αναζήτηση στις μελέτες για την αποτίμηση της περιφερικής διάθλασης κατά μήκος του οριζώντιου οπτικού πεδίου, συναντάμε την έρευναορόσημο του Rempt και την μετέπειτα προέκταση της από τον Hoogerheidτο 1971.¹⁹⁰ Διερεύνησε την περιφερική διάθλαση σε εύρος πεδίου 60 μοιρών κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου με την χρήση οφθαλμοσκόπησης, επιδιώκοντας τον προσδιορισμό των διαγραμμάτων της περιφερικής διάθλασης (σκιαγράμματα) .Το εξετασθέν δείγμα αποτελείτο από 442 νεαρούς εκπαιδευόμενους πιλότους. Ταυτοποιήθηκαν 5 διαφορετικά πρότυπα περιφερικής διάθλασης (εικόνα 19). Υπάρχει μία προοδευτική εξέλιξη στα μοντέλα εκκινώντας από το I, το οποίο ταυτίζεται με το παραπάνω αναφερθέν μοτίβο B του Ferree (σχετική περιφερική υπερμετρωπία). Εμφανίζει δηλαδή και στην οριζόντιο και στην κατακόρυφη κατεύθυνση σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Το μοντέλο IVπαρουσιάζει οριζόντια σχετική περιφερική μυωπία, ενώ κατακόρυφα σχετική περιφερική υπερμετρωπία, παρόμοια με το μοντέλο A του Ferree (μικτός αστιγματισμός). Στον τύπο Vτόσο στον οριζόντιο, όσο και στον κατακόρυφο μεσημβρινό, οι περιφερικές διαθλάσεις παρουσιάζουν μυωπική μετατόπιση. Το μοτίβο III είναι ασύμμετρο και προσομοιάζει το μοντέλο Γ του Ferree (ασύμμετρο αστιγματισμό). Κατεδείχθη συσχέτιση της συχνότητας του εκάστοτε μοντέλου με την κεντρική διάθλαση του εξεταζομένου. Συγκεκριμένα, στην διαθλαστική ομάδα των μυώπων και σε σύνολο 141 ατόμων, οι 91 εμφάνισαν μοντέλο τύπου I. Από

τους 217 εμμέτρωπες σε 135 αναγνωρίστηκε ο τύπος IV. Τέλος, ανάμεσα στους 84 υπερμέτρωπες παρατηρήθηκε ο τύπος IV σε 61 , ενώ ο τύπος V σε 17.¹⁹³ O Hoogerheide, ακολούθως, επέκτεινε την μελέτη του Remptγια τα σκιαγράμματα της περιφερικής διάθλασης, διερευνώντας την εμφάνιση επίκτητης μυωπίας σε νεαρούς πιλότους. Μελέτησε την διαθλαστική εξέλιξη για ένα ακαθόριστο χρονικό διάστημα, σε 214 εκπαιδευόμενους, η πλειοψηφία των οποίων είχαν συμπεριληφθεί στην έρευνα του Rempt. Οι εξεταζόμενοι που ήταν ,αρχικά, εμμέτρωπες και υπερμέτρωπες και εν συνεχεία ανέπτυξαν μυωπία, αντιπροσωπεύονταν δυσανάλογα στο διαθλαστικό μοτίβο τύπου I. Αναλυτικά, επί το σύνολο των διαθλαστικών προφίλ, η έρευνα κατέγραψε τα ακόλουθα ευρήματα αναφορικά με την εμφάνιση μυωπίας: 47% για το πρότυπο I, 7% για το II, 21% για το III, 3% για το IV και 0 για το V.¹⁹¹ Οι ανωτέρω παρατηρήσεις αποτέλεσαν το έναυσμα, για την επικέντρωση του ενδιαφέροντος στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς. Στην διερεύνηση ,δηλαδή, του κατά πόσο τα περιφερικά οπτικά δύνανται να επιδρούν στην οφθαλμική ανάπτυξη και στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη , είτε μέσω του διαθλαστικού μοντέλου της περιφέρειας ,είτε μέσω του σχήματος του αμφιβληστροειδούς.



ΕΙΚΟΝΑ 19: ΣΚΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ¹⁵⁸

Το σχήμα αναπαριστά την γραφική παράσταση της περιφερικής διάθλασης για τα 5 διαφορετικά μοντέλα συναρτήσει της διεύθυνσης του οπτικού πεδίου. Οι συνεχείς γραμμές απεικονίζουν την περιφερική διάθλαση κατά μήκος της οριζόντιας κατεύθυνσης, ενώ οι διακεκομμένες γραμμές κατά μήκος της κατακόρυφης . Οι καμπύλες παρουσιάζονται ως παραβολές, όμως τα πραγματικά διαγράμματα σπάνια είναι ομαλά σε τέτοιο βαθμό.

Η συνεισφορά της ερευνητικής ομάδας του Mutti, συναντάται, αρχικά, κατά το 2000. Επιχειρείται η συσχέτιση του μοντέλου περιφερικής διάθλασης με το σχήμα του οφθαλμού στα παιδιά. Η περιφερική διαθλαστική κατάσταση αποτιμάται για εκκεντρότητα 30 μοιρών στον κροταφικό αμφιβληστροειδή (στις 30 μοίρες, δηλαδή, στο ρινικό οπτικό πεδίο), σε ένα δείγμα 820 παιδιών ηλικίας μεταξύ 5 και 15 ετών.

Το οφθαλμικό σχήμα περιγράφεται, βάσει της σχετικής περιφερικής διάθλασης στην ανωτέρω γωνία πεδίου. Προέκυψαν πληροφορίες, διαφοροποιούμενες αναλόγως της διαθλαστικής ομάδας. Συγκεκριμένα, στα μυωπικά παιδιά, κατεγράφη σχετική περιφερική υπερμετρωπία της τάξης των $+0,80 \pm 1,29D$, μέτρηση ερμηνευόμενη ως ενδεικτική prolate οφθαλμικών σχημάτων. Στα εμμετρωπικά παιδιά, αντιθέτως, προσδιορίσθηκε στις 30 μοίρες του κροταφικού αμφιβληστροειδούς, σχετική περιφερική μυωπία ($-0,41 \pm 0,75 D$), η οποία θεωρήθηκε ότι υποδηλώνει σχεδόν σφαιρικό ή oblate σχήμα οφθαλμού. Τέλος, στα παιδιά με υπερμετρωπία, κατεγράφη σχετική περιφερική μυωπία μεγέθους $-1.09 \pm 1,02 D$, μεταφραζόμενη σε ύπαρξη oblate οφθαλμικού σχήματος. Μάλιστα, αξίζει να επισημανθεί ότι έκτοτε, ένας σημαντικός αριθμός μελετών, παρέχει ανάλογες θεωρήσεις για την σκιαγράφηση του σχήματος του οφθαλμού με κριτήριο την περιφερική διάθλαση.¹⁹² Εν συνεχεία το 2007, ο Muttiaξιολογεί την διαθλαστική κατάσταση στην fovea, το αξονικό μήκος, καθώς και το σχετικό περιφερικό διαθλαστικό σφάλμα, προγενέστερα και μετέπειτα από την εμφάνιση μυωπίας. Κατέδειξε μία ταχεία υπερμετρωπική μετατόπιση της σχετικής περιφερικής διάθλασης πριν την μυωπική εμφάνιση. Βέβαια, μεταγενέστερα το 2010, οι Charman και Radhakrishnan, επισήμαναν ότι η μυωπική μετατόπιση, εκκίνησε προτού η σχετική περιφερική διάθλαση καταστεί αξιοπρόσεκτα υπερμετρωπική.¹⁹³ Πιο πρόσφατα, τέλος, η μελέτη του Muttito 2011, επιχειρώντας να αποτιμήσει την συσχέτιση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης με τον κίνδυνο εμφάνισης και προόδου της μυωπίας στα παιδιά, οδηγεί σε πιο επιφυλακτικά συμπεράσματα αναφορικά με τον ρόλο της περιφερικής διάθλασης. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε περιορισμένη επιρροή της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας επί του κινδύνου μυωπικής εμφάνισης. Αναφορικά δε με την συνεισφορά της περιφερικής διάθλασης στην εξέλιξη της μυωπίας, κατεγράφη αύξηση της μυωπικής προόδου της τάξης, μόλις, των $-0,024 D$ ανά διοπτρία αύξησης της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας.¹⁹⁴

Ακόμα, το 2011 ο Sng μελέτησε την μεταβολή της περιφερικής διάθλασης στην ροή ενός χρόνου σε παιδιά κινεζικής καταγωγής μέσης ηλικίας 7 ετών. Διερεύνησε την διάθλαση στην fovea, καθώς και την περιφερική διαθλαστική κατάσταση κατά μήκος του οριζόντιου οπτικού πεδίου για γωνίες εκκεντρότητας ± 15 μοιρών και ± 30 μοιρών. Κατά την έναρξη, το μοτίβο της περιφερικής διάθλασης ήταν παρεμφερές στα παιδιά που εμφάνισαν μετέπειτα μυωπία και σε αυτά που δεν παρουσίασαν μυωπική μετατόπιση. Κατά τον έλεγχο παρακολούθησης, εν συνεχεία, διαπιστώθηκε σχετική περιφερική υπερμετρωπία, τόσο για τα παιδιά που ήταν εξαρχής μυωπικά, όσο και για αυτά που εμφάνισαν μυωπία προϊόντος του χρόνου. Σε αντιδιαστολή, τα παιδιά που δεν κατέστησαν μυωπικά, παρουσίασαν κατά τον επανέλεγχο σχετική περιφερική μυωπία. Παραθέτοντας τα ευρήματα μετά της παρέλευση του ενός έτους, παρατηρούνται ενδιαφέροντα ευρήματα, για την

κατηγορία των παιδιών που εμφάνισαν μυωπία. Συγκεκριμένα, αναφορικά με τον διάθλαση στην fovea, η μεταβολή του σφαιρικού ισοδυνάμου προς την μυωπική κατεύθυνση ήταν της τάξης των $-1,51 \pm 0,63$ D. Η αντίστοιχη μεταβολή για τις 30 μοίρες εκκεντρότητας κυμάνθηκε σε $-1,08 \pm 0,70$ D για τον κροταφικό αμφιβληστροειδή και $-1,06 \pm 0,64$ D για τον ρινικό. Το μέγεθος της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας (χαμηλότερου βαθμού μυωπίας στην περιφέρεια), κυμαίνεται ,μόλις, μεταξύ των 0,43 και 0,45 D, ενώ και η κεντρική μυωπική μετατόπιση έλαβε χώρα απουσία αξιολογής σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας. Καθίσταται, επομένως, δυνατή η διατύπωση της αντίληψης ,ότι η παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, πιθανώς, δεν αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο για την εμφάνιση μυωπίας.¹⁹⁵

Επιπροσθέτως, η σειρά ερευνών του Smith σε πιθήκους κατά την δεκαετία του 2000, εισηγήθηκε, μέσω πειραμάτων αποστέρησης ερεθίσματος, φωτοεκτομής στην fovea και οπτικά εισαγόμενων διαθλαστικών μεταβολών, έναν σημαίνοντα ρόλο της διαθλαστικής κατάσταση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς για την ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης και της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης. Μάλιστα, κατεδείχθη ,η παρουσία ταυτόσημων μεταβολών του οφθαλμικού σχήματος, ανάμεσα στις παρεμβάσεις της αποστέρησης του ερεθίσματος και της οπτικά εισαγόμενης αφεστίασης. Η ανωτέρω επισήμανση, ίσως, υποδηλώνει έναν κοινό μηχανισμό δράσης που λαμβάνει χώρα κατά τις συγκεκριμένες οπτικές παρεμβάσεις.¹⁵⁸

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Συνοψίζοντας τα εξαγόμενα συμπεράσματα που πηγάζουν από πολυάριθμες μελέτες για την περιφερική διάθλαση κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου, ιδιαίτερης μνείας χρήζουν ορισμένα εξαγόμενα ευρήματα: Ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι ακόμα και στα πλαίσια της αυτής διαθλαστικής ομάδας παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις στην περιφερική διάθλαση. Ανάλογες μεταβολές στο ίδιο διαθλαστικό γκρουπ ανευρίσκονται και για τις υψηλές τάξης εκτροπές. Όσον αφορά τους εμμέτρωπες, ένας σεβαστός αριθμός μελετών υποδεικνύει την ύπαρξη μίας ασθενούς σχετικής περιφερικής μυωπίας, αν και μία σειρά μελετών ,όπως του Millodot (1981), κατέδειξε μία ασθενή υπερμετρωπική τάση για μία ή και για τις δύο πλευρές του οπτικού πεδίου. Στους μύωπες, οι μελέτες εισηγήθηκαν σχετική περιφερική υπερμετρωπία ,η οποία επέδειξε ανοδικές τάσεις σε κάποιο βαθμό με την αύξηση της μυωπίας. Αναφορικά με τους υπερμέτρωπες, διαπιστώθηκε σχετική περιφερική μυωπία. Η περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς εμφάνιζε, δηλαδή μικρότερου βαθμού υπερμετρωπικό σφάλμα σε σύγκριση με το κέντρο (πιο οπίσθια θέση και μικρότερη απόσταση του περιφερικού αμφιβληστροειδούς από το εστιακό επίπεδο συγκριτικά με τον

κεντρικό αμφιβληστροειδή).¹⁹⁶ Ο Charman και ο Radhakrishnan υπογράμμισαν μία ροπή για σύγκλιση των περιφερικών διαθλάσεων στις διαφορετικές διαθλαστικές ομάδες καθώς η γωνία πεδίου αυξάνει. Η εξομάλυνση αυτή των διαφοροποιήσεων παρατηρείται για το μοντέλο αξονικής επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία (Axial expansion). Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε σε ορισμένα άτομα διακύμανση της περιφερικής διάθλασης συναρτήσει της εκκεντρότητας. Συγκεκριμένα, μία μετατόπιση από ένα μοντέλο σχετικής περιφερικής μυωπίας σε ένα πρότυπο σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας σε γωνίες πεδίου μεγαλύτερες των 45 μοιρών.¹⁹⁷

Επιπλέον, γίνεται αναφορά για μείωση του περιφερικού αστιγματισμού με την αύξηση της μυωπίας. Χρήσιμες πληροφορίες απορρέουν από τις έρευνες και για τις συνιστώσες του αστιγματισμού. Έτσι, για τον Ομαλό αστιγματισμό (J180 ή 90\180 μοίρες) το σημείο καμπής (μέγιστο ή ελάχιστο) βρίσκεται, συνήθως, λίγες μοίρες εντός του κροταφικού οπτικού πεδίου και παρουσιάζει βραδεία μείωση αυξανόμενης της μυωπίας.^{198,199} Το γεγονός αυτό αποδίδεται, κατά κανόνα, στην Γωνία A. Την γωνία, δηλαδή, μεταξύ του Οπτικού Άξονα και του Άξονα της Όρασης, καθώς διασταυρώνονται στο κομβικό σημείο του οφθαλμού (nodal point). Ο Atchison διαπίστωσε μία σημαντική συσχέτιση μεταξύ του σημείου καμπής του αστιγματισμού και της Γωνίας A.²⁰⁰ Αναφορικά με το έτερο συστατικό, τον Λοξό αστιγματισμό (J45 ή 45\135 μοίρες), δεν αποτελούσε μέχρι το 1981 αντικείμενο μελέτης στην πλειοψηφία των ερευνών. Ο Atchison εισηγήθηκε ότι είναι σημαντικά μικρότερος στην περιφέρεια συγκριτικά με τον ομαλό και είναι γραμμικά συσχετιζόμενος με την γωνία της εκκεντρότητας. Ακόμα, αναλύοντας φυλετικά και ηλικιακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, οι αντίστοιχες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την περιφερική διάθλαση σε διαφορετικές εθνότητες και ηλικιακές ομάδες, υπέδειξαν έναν περιορισμένο ρόλο για τις ανωτέρω παραμέτρους.²⁰⁰

Η δυνητική επιρροή, τέλος, της προσαρμογής παραμένει ασαφής. Αναλυτικά, οι Walker και Muttipara τήρησαν επί της προσαρμοστικής απόκρισης, μία^{201,202} , υπερμετρωπικής κατεύθυνσης, τάση για την σχετική περιφερική υπερμετρωπία, ενώ οι Davies και Mallen δεν διαπίστωσαν επίδραση της προσαρμογής στην περιφερική διάθλαση, είτε σε εμμέτρωπες, είτε σε μύωπες²⁰³. Σε άλλη μελέτη, επισημάνθηκε μία μυωπική μετατόπιση στην σχετική περιφερική διάθλαση σε μία ομάδα μυωπικών παιδιών σε αύξηση των διαθλαστικών προσαρμοστικών απαιτήσεων κατά 3 D περίπου κατά την κοντινή θέαση.²⁰⁴ Τέλος, αναφορικά με το σκέλος των θεραπευτικών στρατηγικών, μία σειρά μεθόδων παρέχει αξιοσημείωτης απόδοσης και υψηλής προβλεψιμότητας επιδράσεις στην περιφερική διάθλαση. Στις τεχνικές αυτές εμπεριέχονται η διαθλαστική χειρουργική²⁰⁵, η ορθοκερατολογία²⁰⁶⁻²⁰⁸, η εφαρμογή ειδικών φακών επαφής²⁰⁹, καθώς και η χρήση εξειδικευμένων διορθωτικών γυαλιών²¹⁰.

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η μελέτη της περιφερικής διάθλασης έχει σχεδόν εξολοκλήρου περατωθεί κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου. OAtchisonτο 2006 ήταν αυτός που επιχείρησε να εξάγει συμπεράσματα κατά μήκος του κατακόρυφου οπτικού πεδίου. Μελέτησε την περιφερική διάθλαση έως 35 μοίρες άνωθεν και κάτωθεν του σημείου προσήλωσης σε 43 εξεταζόμενους. Τα παρατηρούμενα ευρήματα διαφοροποιούντουσαν από αυτά κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου. Όσον αφορά την εμμετρική διαθλαστική ομάδα, διαπίστωσε ότι η σχετική περιφερική μυωπία ήταν υψηλότερου βαθμού κατά μήκος του κατακόρυφου οπτικού πεδίου. Ακόμα, η αύξηση της μυωπίας επέφερε μικρή μόνο διαφοροποίηση στην περιφερική διάθλαση. Τα αποτελέσματα της έρευνας επαληθεύτηκαν και σε νεότερες μελέτες του 2010. Επίσης, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο ομαλός αστιγματισμός ήταν παρόμοιος στο οριζόντιο και κατακόρυφο οπτικό πεδίο. Μάλιστα, στο κατακόρυφο πεδίο, το σημείο καμπής του ομαλού αστιγματισμού βρισκόταν περίπου 3 μοίρες κάτωθεν του σημείου προσήλωσης, χωρίς να παρουσιάζει εξάρτηση από την κεντρική διάθλαση. Αναφορικά με τον λοξό αστιγματισμό, τέλος, κατέδειξε τριπλάσια μεταβολή του στο κατακόρυφο οπτικό πεδίο με την αύξηση της γωνίας πεδίου, συγκριτικά με το οριζόντιο. Το φαινόμενο αυτό αποδόθηκε στην Γωνία A κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου. Αναφέρθηκε παραπάνω η καθολική εμφάνιση σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας για όλα τα μοντέλα επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου(εικόνα 13). Μεταβαλλόμενων με την μυωπία μόνο των παραμέτρων του σχήματος και της θέσης του αμφιβληστροειδούς με σταθερά τα οπτικά του οφθαλμού, προκύπτει για όλα τα μοντέλα επέκτασης, μία ανοδική τάση της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου με την αύξηση της μυωπίας. Στην περίπτωση του κατακόρυφου οπτικού πεδίου η κατάσταση ,όμως, διαφοροποιείται. Κατά μήκος του κατακόρυφου πεδίου έχει καταγραφεί σχεδόν αμελητέα μεταβολή της σχετικής περιφερικής διάθλασης. Το μοναδικό μοντέλο επέκτασης του αμφιβληστροειδούς στην μυωπία που είναι σύμφωνο σε μεγάλο βαθμό με την ανωτέρω αξίωση για το κατακόρυφο οπτικό πεδίο, είναι αυτό της σφαιρικής επέκτασης (Globalexpansion).²⁰⁰

2.2.ΛΟΓΟΙ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Αναμφισβήτητα, η πλειοψηφία των θεωριών υποστηρίζουν ως αιτία εμφάνισης της μυωπίας, την αξονική επιμήκυνση ως απόκριση σε σήματα αφεστίασης (θόλωσης) στο κεντρικό βοθρίο της ωχράς κηλίδας. Στην αντίπερα όχθη, μελέτες σε ζώα παρέχουν αξιοσημείωτη απόδειξη για τον ρόλο που διαδραματίζουν στην διαθλαστική εξέλιξη, τα μεταγεννητικά οπτικά βιώματα και οι περιοχές του αμφιβληστροειδούς εκτός του κεντρικού βοθρίου.³² Ακόμα, κλινικές μελέτες σε ανθρώπους ήδη από το 1985, καταδεικνύουν ότι η μυωπία παρουσιάζεται με μεγαλύτερη συχνότητα σε παιδιά που πάσχουν από ασθένειες επηρεάζουσες την περιφερική όραση. Επιχειρώντας μία εις βάθος αναζήτηση της συνιστώσας της περιφερικής διάθλασης, έρχονται στο προσκήνιο μία πλειάδα θεωρήσεων που καταδεικνύουν την σημαντικότητα της διερεύνησης της εν λόγω παραμέτρου.

A) Ο ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ

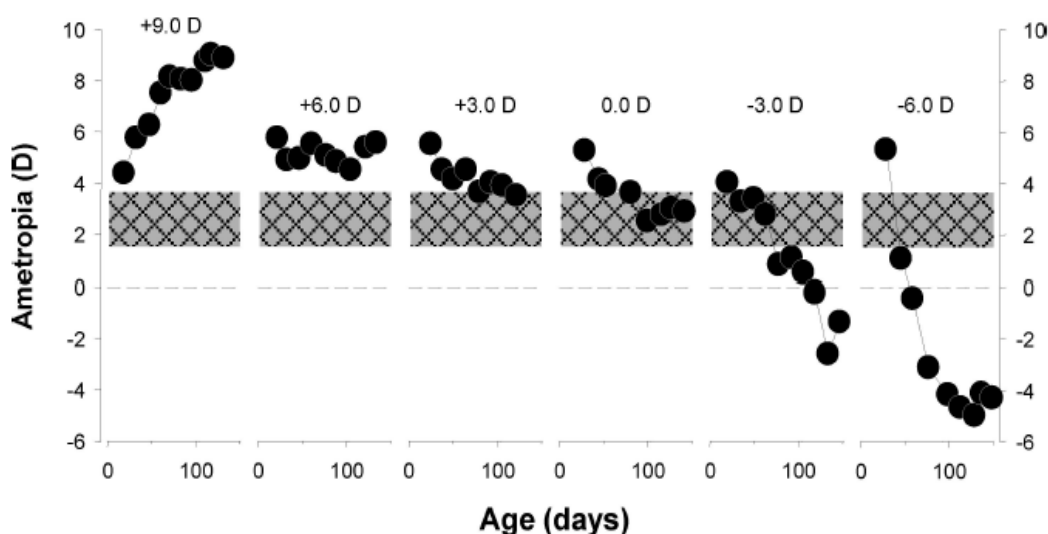
Η Οφθαλμική ανάπτυξη και η Διαθλαστική εξέλιξη βασίζονται στην Οπτική Ανάδραση (VisualFeedback), την απόκριση, δηλαδή, του οφθαλμικού συστήματος στην επίδραση των οπτικών περιβαλλοντικών σημάτων επί της αμφιβληστροειδικής εστίασης της εικόνας. Κατ' ουσία, η Οπτική Ανάδραση πυροδοτείται από την παρουσία σημάτων οπτικής αφεστίασης (defocus). Τυγχάνει γενικής αποδοχής η αντίληψη, ότι επιπροσθέτως της γενετικής προδιάθεσης, τα οπτικά περιβαλλοντικά ερεθίσματα στα οποία εκτίθεται ο οφθαλμός μετά την γέννηση, συμβάλλουν στην διαμόρφωση της διαθλαστικής κατάστασης και συνεισφέρουν στην προσπάθεια των οφθαλμών να καταστούν εμμετρικοί. Η αρχή, λοιπόν, της Εμμετρωπίας, υποδηλώνει την ύπαρξη ενός δρώντος μηχανισμού απόκρισης, δηλαδή της Οπτικής Ανάδρασης. Ο μηχανισμός αυτός εμπλέκει την κατάσταση εστίασης του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή, η οποία κατευθύνει την οφθαλμική ανάπτυξη, είτε για την επίτευξη μίας τελικής διαθλαστικής κατάστασης προσεγγίζουσας την εμμετρωπία, είτε για την διαμόρφωση του κατάλληλου επιπέδου μυωπίας, εάν οι συνήθεις αποστάσεις θέασης είναι βραχείες. Αποδείξεις παρέχονται από μία σειρά δεδομένων: Έχει διαπιστωθεί ότι η διαδικασία της Εμμετρωπιοποίησης δεν λαμβάνει χώρα σε ζώα που εξετράφησαν στο απόλυτο σκοτάδι.²¹¹ Ακόμα, έχει παρατηρηθεί ότι η αποστέρηση του ερεθίσματος (formdeprivation), καθιστώντας ανέφικτη σημαίνουσα οπτική ανάδραση, οδηγεί σε μυωπία μέσω ανεξέλεγκτης αξονικής επιμήκυνσης. Επιπλέον, μελέτες σε ζώα αποδεικνύουν μία ικανότητα, τουλάχιστον, στην πρόωμη ζωή για αντιστάθμιση εισαγόμενων διαθλαστικών σφαλμάτων.^{212,213}

LENSCOMPENSATION ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το σημείο σταθμό ,όμως, τον ερευνών προς την κατεύθυνση αποσαφήνισης του ρυθμιστικού χαρακτήρα της Οπτικής Ανάδρασης στην οφθαλμική αύξηση και διαθλαστική κατάσταση του ατόμου, αποτέλεσαν τα πειράματα <<Αντιστάθμισης του Φακού>> (LensCompensationExperiments) από τον Frank Schaeffel. Έλαβαν χώρα στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και απέφεραν τα πλέον θεμελιώδη και κλινικά σημαντικά στοιχεία που συνηγορούν υπέρ του ρόλου της Οπτικής Ανάδρασης. Για την υλοποίηση της ανωτέρω στρατηγικής έγινε χρήση φακών χειρισμού δεδομένης ισχύος, μπροστά και από τους 2 οφθαλμούς (θετικής, αρνητικής ή μηδενικής ισχύος), μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο κατά γνωστό μέγεθος την λειτουργική διαθλαστική κατάσταση του εξεταζόμενου (effectiverefractivestatus). Στην συνέχεια, αξιοποιώντας την ικανότητα των νεαρών ζώων να μεταβάλλουν την διαθλαστική τους κατάσταση για να επιτύχουν αντιστάθμιση του εισαγόμενου διαθλαστικού σφάλματος, παρατήρησαν την διαμόρφωση που επέφερε αυτό το δυναμικό αντιστάθμισης στα χαρακτηριστικά της διάθλασης και της οφθαλμικής ανάπτυξης.^{214,215}

Η φυσική επιλογή, καθιστά τα βρέφη πιθήκους μετρίως υπερμετρωπικά σύντομα μετά την γέννηση. Ακόμα, η διαδικασία της Εμμετρωπώσεως φυσιολογικά περατώνεται σύντομα , έτσι ώστε σε ηλικία 4 – 5 μηνών, η πλειονότητα των φυσιολογικών πιθήκων να παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό υπερμετρωπίας. Η παρέμβαση με τους φακούς χειρισμού οδηγούσε τους πιθήκους σε δύο εκ διαμέτρου αντίθετα μοτίβα διαθλαστικής εξέλιξης (εικόνα 20). Η τοποθέτηση αρνητικής ισχύος φακών είχε ως αποτέλεσμα το εστιακό επίπεδο να μετατοπίζεται περαιτέρω οπισθίως των φωτοϋποδοχέων, αυξάνοντας την υπερμετρωπική αφεστίαση. Το γεγονός αυτό πυροδοτούσε με την σειρά του επιτάχυνση της φυσιολογικής αξονικής επιμήκυνσης και ,κατ' επέκταση, της φυσιολογικής μείωσης της υπερμετρωπίας που απαντάται στους πιθήκους σε αυτήν την ηλικία. Επομένως, στο τέλος της περιόδου εφαρμογής της θεραπείας με την διακοπή της χρήσης των πρόσθετων φακών, οι πίθηκοι καθίσταντο μύωπες, σε βαθμό εξαρτώμενο από την ισχύ των θεραπευτικών φακών. Το δεύτερο μοτίβο περιλαμβάνει την χρήση φακών θετικής διαθλαστικής δύναμης. Στην περίπτωση αυτή ,η υπερμετρωπική αφεστίαση που παρατηρείται φυσιολογικά στους νεογέννητους πιθήκους, μειώνεται λόγω της πρόσθετης θετικής ισχύος (περιορίζεται η απόσταση εστιακού επιπέδου-αμφιβληστροειδούς). Η μεταβολή αυτή επιφέρει επιβράδυνση της φυσιολογικής αξονικής επιμήκυνσης και είναι σε θέση να παράγει αξιοσημείωτους βαθμούς Απόλυτης υπερμετρωπίας (το ποσό της Έκδηλης υπερμετρωπίας που δεν δύναται να εξουδετερωθεί από την προσαρμογή) στα βρέφη πιθήκους εάν γίνεται βαθμιαία αύξηση της ισχύος των θεραπευτικών φακών κατά την χρονική διάρκεια της παρέμβασης. Ενδιαφέρον δε στοιχείο που χρήζει της δέουσας προσοχής, αποτελεί η ,σε μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητη φύση της διαδικασίας αντιστάθμισης ανάμεσα

στους 2 οφθαλμούς. Άρα, σε περίπτωση εφαρμογής θεραπευτικών φακών διαφορετικής ισχύος στους 2 οφθαλμούς, θα αναπτυσσόταν ανισομετρωπία μεταξύ των οφθαλμών για την αντιστάθμιση της επιβαλλόμενης ανισορροπίας.^{216,217} Δεν πρέπει να παραληφθεί, τέλος, η αναφορά στο επακόλουθο της διακοπής εφαρμογής των φακών χειρισμού. Εάν παύσει η οπτική παρέμβαση κατά την οπτική ανάπτυξη των νεαρών οφθαλμών, είναι εφικτή η ανάκαμψη από την οπτικά εισαγόμενη μυωπία. Αντιθέτως, στην περίπτωση οπτικής διόρθωσης της προκλητής μυωπίας μετά το πέρας εφαρμογής των φακών, καταγράφει η κρίσιμη παρατήρηση της απουσίας ανάκαμψης και ο οφθαλμός παρέμεινε μυωπικός ανατομικά, παρά την επίτευξη διαθλαστικής εμμετρωποποίησης.³²



EIKONA 20: LENS COMPENSATION EXPERIMENTS³²

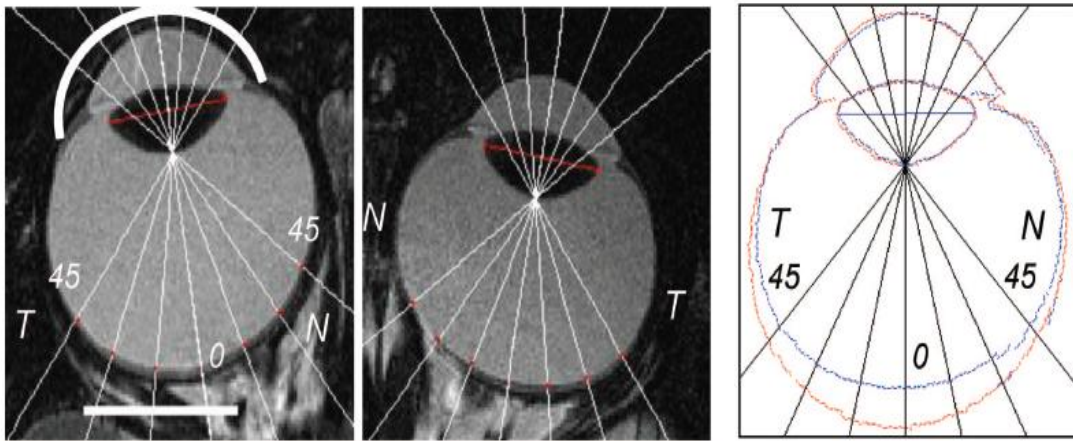
Το σχήμα αναπαριστά την επίδραση της χρήσης των φακών χειρισμού στην διαθλαστική κατάσταση των πιθήκων συναρτήσει της ηλικίας. Διαπιστώνεται ότι η τοποθέτηση προσθίως των οφθαλμών αρνητικής ισχύος φακών, οδηγεί σε εμφάνιση μυωπίας μετά το πέρας της εφαρμογής. Σε αντιδιαστολή, η χρήση θετικής διαθλαστικής δύναμης φακών καθιστά τους οφθαλμούς υπερμετρωπικούς μετά την διακοπή της επιρροής του εισαγόμενου διαθλαστικού σφάλματος. Σημειώνεται, επιπρόσθετα, η εξάρτηση στους βαθμούς διαθλαστικής μετατόπισης από την ισχύ των εφαρμοζόμενων φακών.

Διερευνώντας, το φαινόμενο Lens Compensation σε διαφορετικά είδη του ζωικού βασιλείου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα μίας καθολικής εμφάνισής του στο σύνολο των ειδών που μελετήθηκαν εμπειριστωμένα.^{218,219} Μάλιστα, ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η θετική συσχέτιση της προκύπτουσας διαθλαστικής κατάστασης με την ισχύ των φακών χειρισμού, παρουσίασαν μία αξιοσημείωτη ομοιότητα. Ταύτιση μεταξύ των ειδών παρατηρείται σε μία πλειάδα θεμελιωδών, εξαρτώμενων από την όραση, μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης της εμμετροποίησης, της μυωπικής εμφάνισης λόγω αποστέρησης του ερεθίσματος, καθώς και των χωρικών και χρονικών ιδιοτήτων των παραπάνω μηχανισμών. Τα ανωτέρω στοιχεία εισηγούνται μία οικουμενική φύση της ρυθμιστικής λειτουργίας της Οπτικής Ανάδρασης, η οποία δύναται να προεκταθεί και στο ανθρώπινο γένος, δεδομένου ότι τα εκάστοτε διαθέσιμα δεδομένα από μελέτες στους ανθρώπους, ποιοτικά ταυτίζονται με τις διαπιστώσεις που απορρέουν από τα πειράματα σε ζώα (π.χ. έχει ταυτοποιηθεί στους ανθρώπους η εμφάνιση των φαινομένων της μυωπίας λόγω αποστέρησης του ερεθίσματος και της ανισομετρικής αντιστάθμισης). Εν κατακλείδι, άξιο αναφοράς είναι και το πρότυπο των μυωπικών βιομετρικών αλλαγών που επιφέρει η χρήση των ανωτέρω φακών. Καταδεικνύεται ότι πρόκειται για αξονικής φύσεως μεταβολές του οφθαλμού, οι οποίες βασίζονται, κατά κύριο λόγο, σε πέραν του φυσιολογικού ανάπτυξη του υαλοειδούς. Μάλιστα, πειράματα σε ζώα αποδεικνύουν ότι η αυξημένες διαστάσεις του υαλοειδούς δύνανται να ερμηνεύσουν το 80-90% των μεταβολών της διαθλαστικής κατάστασης που προκαλούνται από το φαινόμενο της αντιστάθμισης.²²⁰ Αντιθέτως, σημειώνεται περιορισμένη συνεισφορά των αλλαγών στην διαθλαστική ισχύ του κερατοειδούς.³²

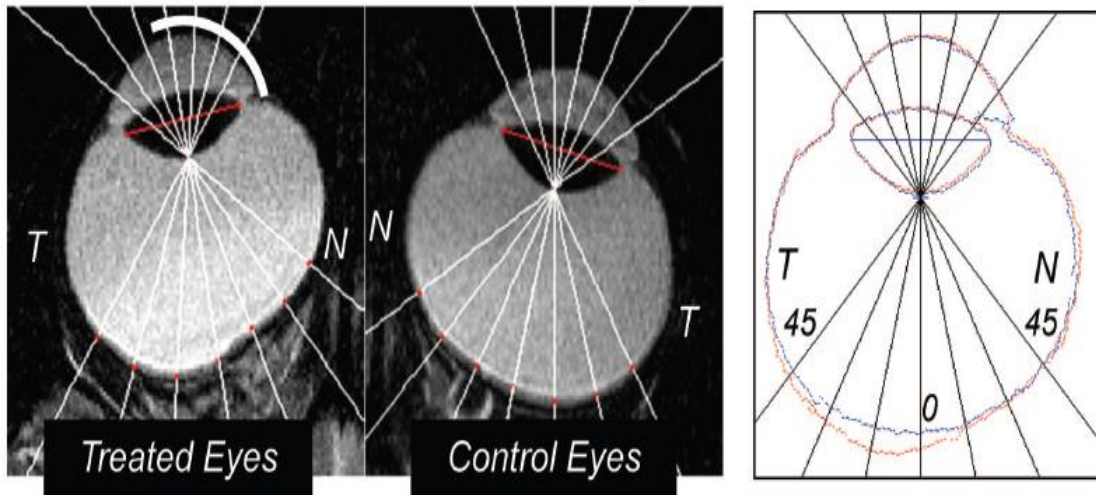
Β) ΤΟΠΙΚΑ ΕΚΛΕΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Το πλέον σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των μηχανισμών που ρυθμίζουν την διαθλαστική εξέλιξη μέσω των οπτικών σημάτων, αποτελεί ο τοπικά εκλεκτικός τρόπος δράσης τους. Το στοιχείο αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημαντικότητα στην πιθανή επίδραση της περιφερικής διάθλασης στην εξέλιξη της κεντρικής διαθλαστικής κατάστασης. Καίριες αποδείξεις της εκλεκτικής περιοχικής φύσης των ανωτέρω μηχανισμών, παρέχονται από πειράματα στα οποία τα οπτικά περιβαλλοντικά σήματα ποικίλουν κατά μήκος του οπτικού πεδίου. Διαπιστώνεται, δηλαδή, ότι τοπικές παραλλαγές στα οπτικά βιώματα, οδηγούν σε τοπικά εκλεκτικές μεταβολές στην οφθαλμική ανάπτυξη στα πρωτεύοντα. Χαρακτηριστικό υπόδειγμα αποτελεί πείραμα σε πιθήκους, στο οποίο εφαρμόστηκε, τόσο ένα μοντέλο αποστέρησης ερεθίσματος στο σύνολο του οπτικού πεδίου, όσο και ένα μοτίβο αποστέρησης περιορισμένο αποκλειστικά στο ρινικό οπτικό πεδίο²²⁰ (εικόνα 21). Η παρέμβαση πραγματοποιήθηκε μόνο στον έναν οφθαλμό των ζώων και η οριζόντια μαγνητική τομογραφία ήταν η απεικονιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε. Μετά το πέρας της περιόδου πλήρους αποστέρησης του οπτικού ερεθίσματος παρατηρήθηκε μία καταφανής αύξηση στο μέγεθος του οφθαλμού. Ακόμα, το πρόσθιο τμήμα του οφθαλμού δεν παρουσίασε κάποια μεταβολή. Κατ' ουσία έλαβε χώρα μία αύξηση της υαλοειδικής κοιλότητας, μεγαλύτερου μεγέθους στον κεντρικό αμφιβληστροειδή και μειούμενη σχεδόν συμμετρικά κατά τον ρινικό και κροταφικό αμφιβληστροειδή. Επομένως, ο οφθαλμός επιμηκύνθηκε αξονικά και κατέστη πιο ωοειδής (prolate). Όταν η αποστέρηση του οπτικού βιώματος περιορίσθηκε στο ρινικό οπτικό πεδίο τα πράγματα διαφοροποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, οι μεταβολές στο υαλοειδές έπαψαν να παρουσιάζουν συμμετρία κατά μήκος του αμφιβληστροειδούς, καθώς η αύξηση το βάθος του υαλοειδούς θαλάμου έλαβε χώρα, σχεδόν εξολοκλήρου, στον κροταφικό αμφιβληστροειδή. Ποιοτικά ταυτόσημα αποτελέσματα απορρέουν και από μελέτες, που αντί για την αποστέρηση του ερεθίσματος, επιβάλλουν στο ρινικό οπτικό πεδίο μία υπερμετρωπική αφεστίαση. Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι οι ανωτέρω μεταβολές στο υαλοειδές τροποποιούν με έναν προβλέψιμο τρόπο την περιφερική διάθλαση του οφθαλμού, καθώς και η ύπαρξη μίας ισχυρής συσχέτισης μεταξύ των αλλαγών στην περιφερική διάθλαση και στο σχήμα του οφθαλμού.³²

Full-Field Form Deprivation



Nasal-Field Form Deprivation



ΕΙΚΟΝΑ 21: ΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΕΡΗΣΗ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΟΣ ³²

Απεικονίζονται οι ακολουθίες μαγνητικού συντονισμού κατά την αποστέρηση στο συνολικό και στο ρινικό οπτικό πεδίο αντίστοιχα. Ο έτερος οφθαλμός (ControlEye) αποτελεί την βάση αναφοράς. Οι εικόνες στα δεξιά αντιπροσωπεύουν την υπέρθεση των περιγραμμάτων μεταξύ του οφθαλμού στον οποίον πραγματοποιούνται οι χειρισμοί και στον οφθαλμό αναφοράς. Η πλήρης παύση του ερεθίσματος οδηγεί , κατά κύριο λόγο, στην αξονική επιμήκυνση του οφθαλμού. Σε αντιδιαστολή, ο αποκλεισμός του οπτικού βιώματος από το ρινικό οπτικό πεδίο , επιφέρει αύξηση των διαστάσεων του υαλοειδούς αποκλειστικά στον κροταφικό αμφιβληστροειδή. N: Ρινικός αμφιβληστροειδής, T: Κροταφικός αμφιβληστροειδής.

Προεκτείνοντας την θεώρηση, της τοπικά εκλεκτικής φύσης, των μηχανισμών που περιγράφησαν, απορρέουν δεδομένα και για το δυναμικό θεμελιωδών συστατικών της οφθαλμικής λειτουργίας. Συμπεραίνεται, λοιπόν ,ότι οικουμενικοί μηχανισμοί, όπως η Προσαρμοστική διαδικασία και οι μεταβολές της Ενδοφθάλμιας Πίεσης, δεν διαθέτουν ισχύ τοπικής δράσης, ώστε να είναι σε θέση να παράγουν αποκλειστικά περιοχικές μεταβολές του οφθαλμικού σχήματος και του διαθλαστικού σφάλματος.

Εδώ ακριβώς έγκειται το διακύβευμα των τοπικώς δρώντων μηχανισμών που βασίζονται στα οπτικά βιώματα. Παρέχουν ,δηλαδή, μία οδό μέσω της οποίας η Περιφερική όραση καθίσταται ικανή να επηρεάσει το οφθαλμικό σχήμα και την κεντρική διάθλαση μέσω του αξονικού μήκους, με τρόπο ανεξάρτητο από την Κεντρική όραση.³²Μία μεγάλη σειρά μελετών, αποδεικνύουν ότι η οφθαλμική ανάπτυξη ρυθμίζεται από διαφορετικές τοπικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς, παρά αποκλειστικά από τις επιταγές της fovea. Έχει καταγραφεί για μία πληθώρα ειδών, ότι η ανατροφή των ζώων μέσα σε ένα οπτικό περιβάλλον όπου τα αντικείμενα βρίσκονται συστηματικά σε διαφορετικές αποστάσεις από τον οφθαλμό στα διαφορετικά τμήματα του οπτικού πεδίου, επέρχονται περιοχικές διαφοροποιήσεις στην διάθλαση.¹⁸³ Συγκεκριμένα, λόγω των διαφορών στις οπτικές προσλαμβάνουσες, λαμβάνει χώρα ασύμμετρη οφθαλμική ανάπτυξη και η διαθλαστική διαμόρφωση μεταβάλλεται, καταλλήλως, κατά μήκος του οπτικού πεδίου, ώστε να επιτευχθεί σε κάθε τμήμα του αμφιβληστροειδούς εστίαση της εικόνας (ή διαφορετικά, διόρθωση της αφεστίασης).

Γ) ΕΝΔΟΦΘΑΛΜΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Η εντόπιση της θέσης των συστατικών του οπτικού συστήματος, που ρυθμίζουν την διαθλαστική εξέλιξη μέσω των οπτικών σημάτων, αποτελεί κρίσιμη πληροφορία. Μία σειρά πειραματικών δεδομένων υπαγορεύει την εντόπιση αυτών των κυρίαρχων μηχανισμών εντός του οφθαλμού, στο επίπεδο του αμφιβληστροειδούς. Διαπιστώνεται, δηλαδή ότι η αποκοπή ή ο περιορισμός της επικοινωνίας με τα ανώτερα κέντρα διεκπεραίωσης του κεντρικού νευρικού συστήματος σε επίπεδο πέραν του οφθαλμού, ακόμα και αν πρόκειται για τα πρωτογενή φυγόκεντρα δεδομένα που άγονται στον οφθαλμό και τις λειτουργίες που εξυπηρετούν (π.χ. προσαρμογή), δεν αναιρεί την επίδραση των μηχανισμών ρύθμισης της διαθλαστικής εξέλιξης. Η αντίληψη της εξασθένησης ή αφεστίασης της αμφιβληστροειδικής εικόνας στο επίπεδο του οφθαλμού αποτελεί, επομένως, επαρκές ερέθισμα για την πυροδότηση μεταβολών της διαθλαστικής κατάστασης, χωρίς την αναγκαιότητα μεταβίβασης της πληροφορίας θόλωσης σε ανώτερα επίπεδα απαρτίωσης της οπτικής πληροφορίας. Βέβαια οι αποκρίσεις δύνανται να διαφοροποιούνται συγκριτικά με έναν πλήρως ,ανατομικά και λειτουργικά, άθικτο οφθαλμό. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, η χειρουργική διατομή του οπτικού νεύρου ή ο φαρμακολογικός αποκλεισμός της αγωγής των δυναμικών ενέργειας προς το οπτικό νεύρο, δεν αποτρέπουν την εμφάνιση μυωπίας λόγω αποστέρησης του ερεθίσματος. Το φαινόμενο της form-deprivationμυωπίας , καθώς και η αντιστάθμιση οπτικά προκλητού διαθλαστικού σφάλματος, λαμβάνουν χώρα ακόμα και στην περίπτωση περιορισμού εισόδου στον οφθαλμό των πρωτογενών

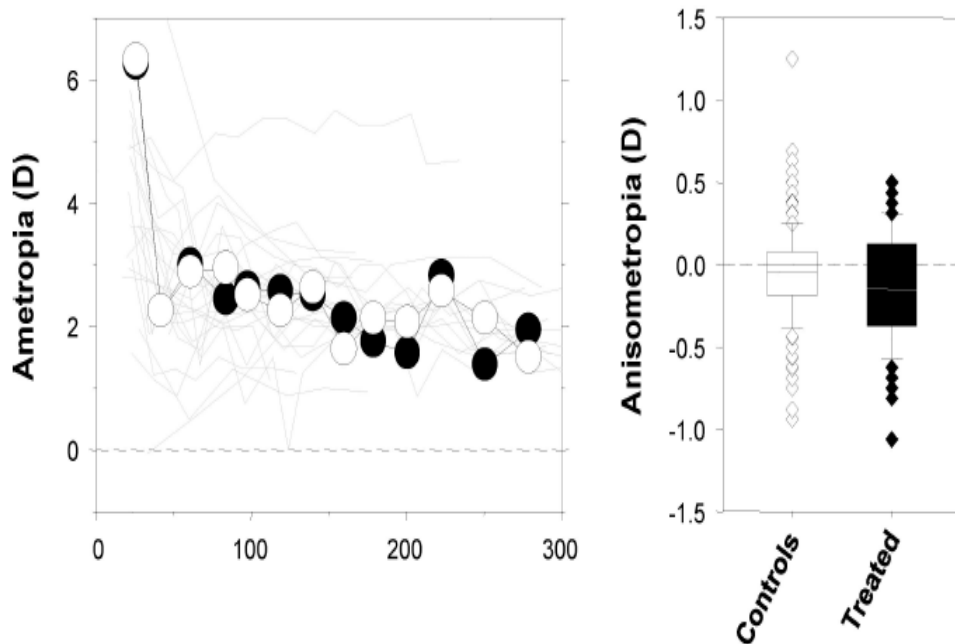
δεδομένων της συμπαθητικής και παρασυμπαθητικής οδού. Επιπρόσθετα, η διακοπή της μεταβίβασης σημάτων στο οπτικό νεύρο δεν ,αναιρεί ούτε την δυνατότητα αντιρρόπησης της μυωπίας που προκαλεί η αποστέρωση ερεθίσματος, μήτε την ικανότητα αντιστάθμισης ως απόκριση σε τεχνητά εισαγόμενη αφεστίαση. Στην περίπτωση της αντιστάθμισης είναι δυνατόν ,όμως, να παρατηρηθούν εξασθενημένες αποκρίσεις και μία τάση προς την εμμετροποίηση με τη διακοπή εφαρμογής του τροποποιητικού οπτικού μέσου.²²¹⁻²²⁶

Εν κατακλείδι, τα πειράματα στα ζώα ,εισηγούμενα την διατήρηση του δυναμικού Εμμετροποίησης ακόμα και παρουσία βλάβης στο οπτικό νεύρο ή άλλα ανώτερα κέντρα, παρέχουν ,αναμφισβήτητα, υποστήριξη στην αντίληψη ότι τοπικοί αμφιβληστροειδικοί μηχανισμοί είναι επαρκής για την αδρή ρύθμιση της διαθλαστικής κατάστασης. Βέβαια, η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της Εμμετροποίησης , είναι υψηλότερη, όταν το οπτικό νεύρο και τα ανώτερα κέντρα απαρτίωσης είναι άθικτα. Το ανώτερα τμήματα του νευρικού συστήματος, επομένως, είναι αυτά που φέρνουν εις πέρας την εκλεπτυσμένη πτυχή της διαθλαστικής ρύθμισης, χωρίς να είναι, όμως, αναγκαία για τον επιφανειακό , μη <<ραφιναρτισμένο>> έλεγχο της διαθλαστικής εξέλιξης. Αξίζει δε να επισημανθεί η διαπίστωση των Wildsoet και Wallman (1995): Προέβησαν σε διατομή του οπτικού νεύρου σε κοτόπουλα και εν συνεχείαεφάρμοσαν φακούς χειρισμού στους αντίστοιχους οφθαλμούς. Παρατήρησαν ότι μετά την διατομή του νεύρου ,παρουσία αρνητικών φακών ,οι οποίοι μετακινώντας οπισθίως το εστιακό επίπεδο σε άθικτους οφθαλμούς πυροδοτούν την αξονική επιμήκυνση και την μυωπική μετατόπιση, παρεμποδίστηκε η εμφάνιση μυωπίας. Αντιθέτως, σε εφαρμογή φακών diffusersανεπτύχθη μυωπία. Κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι η αντιστάθμιση του οπτικά εισαγόμενου διαθλαστικού σφάλματος, στην περίπτωση της υπερμετρωπίας απαιτεί το κεντρικό νευρικό σύστημα, χωρίς να επαρκούν οι ρυθμιστικοί μηχανισμοί στο επίπεδο του αμφιβληστροειδούς.²²⁷

Δ) ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ FOVEA ΣΤΗΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Ιστορικά, έχει διατυπωθεί η αληθοφανής θεωρία για έναν κυρίαρχο ρόλο των οπτικών σημάτων από την fovea όσον αφορά τον καθορισμό της διαθλαστικής κατάστασης.²²⁸ Επιχείρημα υπέρ μίας τέτοιας θεώρησης, είναι η επίτευξη της ανώτερης οπτικής ανάλυσης στην fovea. Αποτελεί, επιπλέον, το πιο ευαίσθητο τμήμα του αμφιβληστροειδούς αναφορικά με την οπτική αφεστίαση και τα οπτικά σήματα που προέρχονται από αυτήν είναι, κατά κύριο λόγο, υπεύθυνα για την λειτουργία της Προσαρμογής. Τα ανωτέρω δεδομένα είχαν στρέψει μέχρι πρότινος το ενδιαφέρον της διερεύνησης για την συσχέτιση των οπτικών βιωμάτων με την εμφάνιση μυωπίας, αποκλειστικά στην Κεντρική όραση. Επιπρόσθετα, οι θεραπευτικές στρατηγικές οπτικής διόρθωσης, εστιάστηκαν με την σειρά τους, στην επίτευξη ευκρινούς όρασης υψηλής ποιότητας και διαθλαστικής διόρθωσης αποκλειστικά στην fovea.³²

Παρ' όλα αυτά, αποδεικνύεται ότι τα οπτικά σήματα από την fovea, δεν αποτελούν αναγκαίες προϋποθέσεις για ποικίλες πτυχές, της εξαρτώμενης από τα οπτικά βιώματα, διαθλαστικής εξέλιξης. Η αποστέρηση, δηλαδή, των οπτικών σημάτων από την fovea δεν επιφέρει αξιόλογες μεταβολές στις διαδικασίες που καθοδηγούνται από την οπτική περιβαλλοντική σηματοδότηση. Συγκεκριμένα, πειράματα σε βρέφη πιθήκων (εικόνα 22), στα οποία έγινε παύση των οπτικών δεδομένων από την fovea μέσω φωτοεκτομής με laser, κατέδειξαν απουσία σημαντικής διαφοροποίησης της φυσιολογικής Εμμετροποιητικής διαδικασίας σε σύγκριση με τον άθικτο οφθαλμό. Παρατηρήθηκε, λοιπόν, κατά φύση χρονική διάρκεια, σημείο διαμόρφωσης της διάθλασης, αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της Εμμετροποίησης. Επιπρόσθετα, η παρεμφερής πορεία που ακολούθησε η Εμμετροποιητική διαδικασία στους οφθαλμούς του κάθε πιθήκου, μεταξύ των φυσιολογικών πιθήκων και αυτών που έλαβαν μέρος στο πείραμα, αποτελεί μία ακόμα ένδειξη ότι η fovea δεν είναι σε θέση να μεταβάλει συστηματικά την φυσιολογική διαθλαστική εξέλιξη.²²⁹ Η φωτοεκτομή πραγματοποιήθηκε με την χρήση θερμικού laser και αφορούσε τις 10-12 μοίρες του κεντρικού αμφιβληστροειδούς. Πραγματοποιήθηκε μονόφθαλμα, στις 3 εβδομάδες ζωής, κατά την έναρξη της περιόδου παρατήρησης, και δεν γινόταν κάποια παρέμβαση με οπτικά μέσα στην όραση των πιθήκων (unrestricted vision).⁴



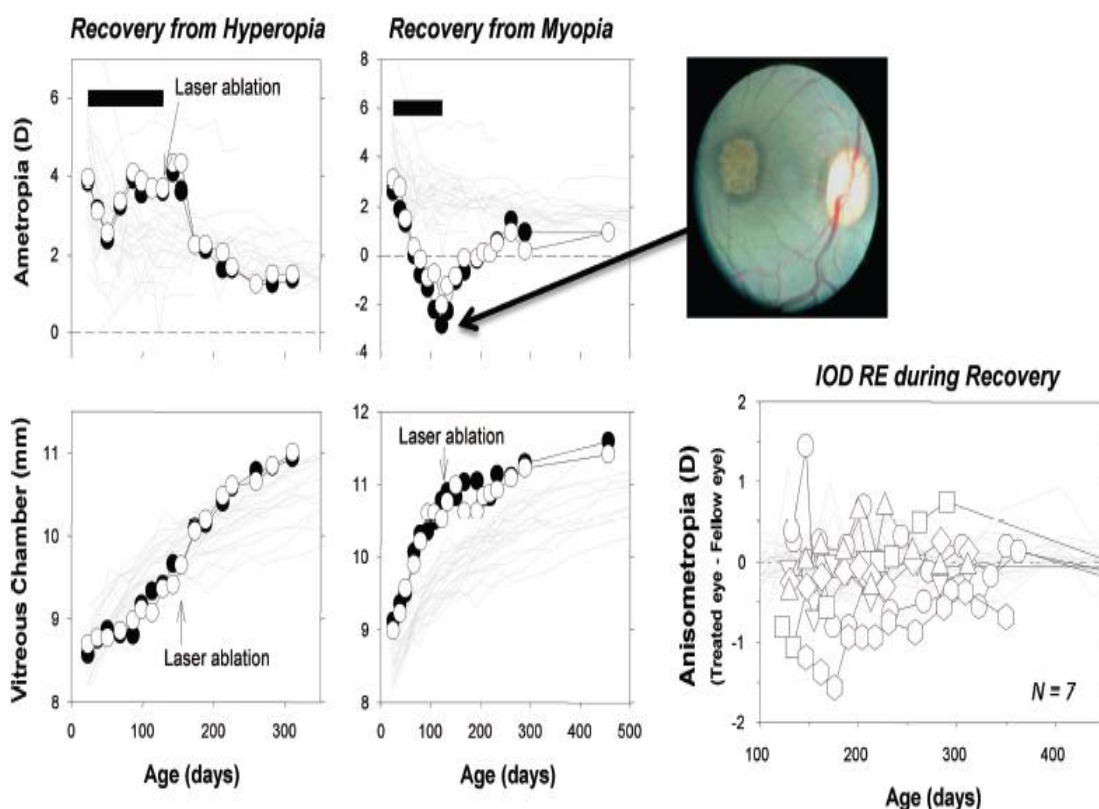
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΑΠΟΥΣΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΟΝΕΑΛΕΚΤΟΜΗΣ ΣΤΗΝ ΕΜΜΕΤΡΩΠΟΙΗΣΗ ³²

Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την διαθλαστική κατάσταση των οφθαλμών συναρτήσει των ημερών ζωής. Διαπιστώνεται φυσιολογική διαδικασία της εμμετροποίησης στους οφθαλμούς που έγινε εκτομή της fovea (μαύροι κύκλοι), σύμφωνη με την διαδικασία στον έτερο άθικτο οφθαλμό (λευκοί κύκλοι). Και στις 2 κατηγορίες η αρχική νεογνική υπερμετρωπία μειώνεται, ώστε να καταστούν οι οφθαλμοί εμμέτρωπες ή ελαφρώς υπερμέτρωπες, όπως επιβάλλει η αρχή της Εμμετροποίησης. Η δεξιά εικόνα συγκρίνει την διαθλαστικές διαφορές ανάμεσα στους 2 οφθαλμούς του κάθε πιθήκου, βασιζόμενη σε στοιχεία που ελήφθησαν καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου παρατήρησης. Αναπαρίστανται 5 πιθήκοι υποβληθέντες σε θερμική φωτοεκτομή (Treated) και 24 υγιείς όμοιας ηλικίας με τους πρώτους (Controls). Παρατηρείται μεγάλου βαθμού ταύτιση των ευρημάτων στις 2 ομάδες που εξετάστηκαν.

Πέραν της φυσιολογικής εμμετροποίησης, και το φαινόμενο εμφάνισης μυωπίας λόγω αποστέρησης του οπτικού ερεθίσματος (form-deprivation myopia), συμβαίνει εν τη απουσία των οπτικών σημάτων της fovea.²²⁹ Συγκριμένα, έλαβε χώρα αξονική επιμήκυνση του οφθαλμού κατά την περίοδο παύσης της περιβαλλοντικής σηματοδότησης, παρά το γεγονός ότι στην έναρξη αυτής της περιόδου πραγματοποιήθηκε εκτομή της fovea. Άξια αναφοράς είναι, βέβαια, μία μη-σημαντική ροπή στον οφθαλμό με την εκτομή να παρουσιάζει μια χαμηλότερου βαθμού μυωπία κατά την αποστέρηση του οπτικού ερεθίσματος, συγκριτικά με τον άθικτο οφθαλμό. Η παρατήρηση αυτή είναι λογική, καθώς είναι αναμενόμενη η συνεισφορά της fovea στην συνολική σήμανση που καθορίζει την οφθαλμική ανάπτυξη. Μπορεί, δηλαδή, να μην διαθέτει το δυναμικό να αναστείλει το φαινόμενο του form-deprivation myopia, όμως, έστω και σε περιορισμένο βαθμό, δύναται να εξασθενήσει την ισχύ του. Συμπερασματικά, το κρίσιμο στοιχείο έγκειται στην ευκρινώς αποδεκτή θεώρηση, ότι τα οπτικά σήματα που άγονται από την

fovea, δεν διαθέτουν κάποιο ειδικό ή απαραίτητο γνώρισμα που να τα καθιστά αναγκαία για την εμφάνιση μυωπίας λόγω αποστέρησης ερεθίσματος.³²

Επιπροσθέτως, πειράματα σε πιθήκους καταδεικνύουν ανεπίπληκτη διατήρηση του δυναμικού ανάκαμψης του οφθαλμού από οπτικά εισαγόμενο διαθλαστικό σφάλμα, όταν η οπτική σηματοδότηση από την fovea αναστέλλεται.²³⁰ Το στοιχείο αυτό υπογραμμίζει την δυναμική σημαντικότητα της Περιφερικής όρασης, στην καθοδηγούμενη από την οπτική ανάδραση, διαδικασία ανάκαμψης. Ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ότι η Περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, διαθέτει το δυναμικό να ανιχνεύσει από μόνη της την παρουσία ενός διαθλαστικού σφάλματος και να κατευθύνει την οφθαλμική ανάπτυξη κατά τρόπον ώστε να το περιορίσει. Αναλυτικά, σε πειράματα του 2005 (εικόνα 23) έγινε χρήση φακών χειρισμού για την μεταβολή της διαθλαστικής κατάστασης των 2 οφθαλμών σε διαφορετικές ομάδες πιθήκων. Συγκεκριμένα, στην πρώτη κατηγορία έγινε εφαρμογή αμφοτερόπλευρα φακών θετικής ισχύος, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί με τον οπτικό χειρισμό μυωπική αφεστίαση και να επιβραδυνθεί η φυσιολογική αξονική επιμήκυνση. Επομένως, με το πέρας της διαδικασίας εφαρμογής των φακών οι 2 οφθαλμοί καθίσταντο υπερμετρωπικοί σε παρόμοιο βαθμό. Στην δεύτερη ομάδα, αντιθέτως, χρησιμοποιήθηκαν αρνητικής διαθλαστικής δύναμης φακοί χειρισμού. Με τον τρόπο αυτόν εισήχθη οπτικά υπερμετρωπία και επήλθε επιτάχυνση της αξονικής επιμήκυνσης των οφθαλμών. Έτσι, μετά την αφαίρεση της οπτικής παρέμβασης, οι οφθαλμοί είχαν καταστεί μυωπικοί. Μετά το πέρας της εφαρμογής των φακών και στις 2 ομάδες έγινε εκτομή της fovea στον ένα οφθαλμό κάθε πιθήκου. Κατά την διαδικασία της εμμετρωποποίησης που ακολούθησε, έλαβε χώρα η ανάκαμψη από το εισαγόμενο διαθλαστικό σφάλμα, ενώ δεν πραγματοποιήθηκε κάποια παρέμβαση με οπτικά μέσα (unrestricted vision). Στην κατηγορία των πιθήκων που είχαν καταστεί υπερμέτρωπες, και στους 2 οφθαλμούς η εμμετρωποποίηση επέβαλε μία επιτάχυνση στην αύξηση των διαστάσεων του υαλοειδούς (vitreous chamber growth), με αποτέλεσμα να ανακάμψουν σε ελαφρώς υπερμετρωπική κατάσταση. Σε αντιδιαστολή, οι μύωπες πίθηκοι εμφάνισαν αμφοτερόπλευρα, έναν αξιοπρόσεκτο περιορισμό της αύξησης του υαλοειδούς εν συγκρίσει με το φυσιολογικό. Επιπλέον, και το εστιακό επίπεδο μετακινήθηκε κατά την οφθαλμική ανάπτυξη οπισθίως, προσεγγίζοντας τον αμφιβληστροειδή και συμβάλλοντας στον περιορισμό της μυωπίας. Αυτή η οπίσθια μετατόπιση επιβάλλεται από την γενετικά προκαθορισμένη φυσική επιλογή, καθώς, όπως έχει ήδη γίνει μνεία, κατά την ανάπτυξη επέρχεται φυσιολογικά εξασθένιση της διαθλαστικής ισχύος του κερατοειδούς και του κρυσταλλοειδούς φακού. Ιδιαίτερης σπουδαιότητας αποτελεί η διαπίστωση ενός σχεδόν ταυτόσημου χαρακτήρα της εμμετρωποποιητικής διαδικασίας που λαμβάνει χώρα κατά την διαδικασία ανάκαμψης, ανάμεσα στον άθικτο οφθαλμό και σε αυτόν με την εκτομή της fovea στον ίδιο πίθηκο.³²



ΕΙΚΟΝΑ 23: ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΟΜΗ ΤΗΣ ΦΟΝΕΑ³²

Αναπαριστάται η διαδικασία ανάκαμψης στις κατηγορίες των πιθήκων που καθίστανται υπερμέτρωπες και μύωπες αντίστοιχα, μετά τους οπτικούς χειρισμούς. Οι μαύροι κύκλοι αντιστοιχούν στον οφθαλμό που πραγματοποιήθηκε εκτομή της φονεα, ενώ οι λευκοί κύκλοι στον έτερο φυσιολογικό οφθαλμό του πιθήκου. Οι μαύρες μπάρες απεικονίζουν την διάρκεια εφαρμογής των φακών χειρισμού. Παρουσιάζεται, ακόμα, η εικόνα του μυωπικού βυθού. Το πλέον σημαντικό, όμως, δεδομένο καταγράφεται στην κάτω δεξιά εικόνα. Μελετώνται οι 2 οφθαλμοί 7 πιθήκων (τί σημαίνει το RE πάνω από τον τίτλο μήπως να το βγάλω ?). Διαπιστώνεται ταυτόσημη εξέλιξη της εμμετροποίησης στον ίδιο πίθηκο μεταξύ του άθικτου και του οφθαλμού που υπέστη εκτομή της fovea (IODRE: Interocular Differences In Refractive Error). Οι αμυδρές γκριζες γραμμές, τέλος, αναπαριστούν δεδομένα από τους πιθήκους αναφοράς (control monkeys).

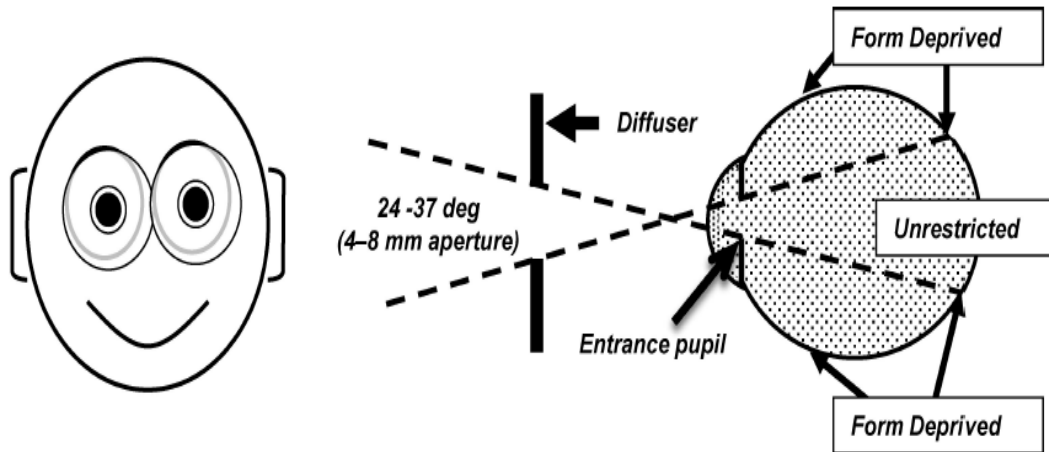
Σαφέστατα, η fovea, η περιοχή του αμφιβληστροειδούς με την μέγιστη οπτική ευκρίνεια και την ελάχιστη παραμόρφωση της εικόνας, κατέχει έναν εξέχοντα ρόλο στα πρωτεύοντα. Το γεγονός αυτό, ίσως, καθιστά σε θεωρητικό επίπεδο, δύσκολη την εμπέδωση της αντίληψης, για απουσία άμεσου ελέγχου της διαθλαστικής εξέλιξης από την fovea. Πράγματι, όμως, ενδελεχώς αναλύθηκε ανωτέρω, η περιορισμένη επίδραση των οπτικών σημάτων της fovea στην εξέλιξη μίας σειράς αναπτυξιακών φαινομένων. Είναι, λοιπόν, κρίσιμη η υπογράμμιση στην κατεύθυνση αυτή ορισμένων οικουμενικών διαπιστώσεων: Έχει καταδειχτεί ότι οι μηχανισμοί που ρυθμίζουν την διαθλαστική εξέλιξη μέσω των οπτικών βιωμάτων, αναπτύχθηκαν και σε είδη που δεν διαθέτουν fovea, όπως τα ψάρια, και τα οποία

χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη σημαντικότητα της πανοραμικής όρασης συγκριτικά με την κεντρική. Επιπροσθέτως, οι ανωτέρω μηχανισμοί ρύθμισης διατηρούν το δυναμικό αποτελεσματικής λειτουργικότητας, ακόμα και σε είδη των οποίων οι οφθαλμοί παρουσιάζουν χαμηλή χωρική ανάλυση (π.χ. κοτόπουλα, ινδικά χοιρίδια, είδη πτηνών). Τέλος, αποτυπώνεται μία καθολική φύση διατήρησης ,ανάμεσα στα είδη, των λειτουργικών ιδιοτήτων αυτών των μηχανισμών. Αποτελεί, επομένως, λογικό επακόλουθο, ο περιφερικός αμφιβληστροειδής να διαδραματίζει έναν σημαίνοντα ρόλο στον καθορισμό της οφθαλμικής ανάπτυξης και του διαμορφούμενου οφθαλμικού σχήματος. Επιδίωξη της δράσης του είναι η βελτιστοποίηση της διαθλαστικής κατάστασης κατά μήκος του οπτικού πεδίου.³²

Ε) ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΗ

Πεδίο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος αποτελεί η αποσαφήνιση του ισοζυγίου που διαμορφώνεται αναφορικά με την κεντρική διαθλαστική εξέλιξη, στην περίπτωση παρουσίας αντίρροπων σημάτων από τον κεντρικό και περιφερικό αμφιβληστροειδή. Η συνεισφορά των οπτικών σημάτων από μία συγκεκριμένη θέση του αμφιβληστροειδούς στην συνολική οφθαλμική ανάπτυξη, εξαρτάται από την εκκεντρότητα η οποία καθορίζει ορισμένους κρίσιμους παράγοντες. Σε αυτούς εμπεριέχονται ο απόλυτος αριθμός, η πυκνότητα και η ευαισθησία των αμφιβληστροειδικών νευρώνων σε κρίσιμα οπτικά ερεθίσματα στην δεδομένη τοποθεσία. Ακόμα, τα εστιακά βιολογικά χαρακτηριστικά του Χοριοειδούς και του Σκληρού. Η προφανής θεώρηση που προκρίνεται από τα ανατομικά χαρακτηριστικά του αμφιβληστροειδούς, υπαγορεύει υπερίσχυση της προερχόμενης από την φoveασηματοδότησης ,έναντι των οπτικών δεδομένων που πηγάζουν από έκκεντρες θέσεις.⁴ Συγκεκριμένα, όπως γνωρίζουμε, η μέγιστη πυκνότητα των κωνίων (περίπου 200.000 κωνία/mm² στο κεντρικό βοθρίο), που είναι υπεύθυνα για την όραση υψηλής ανάλυσης και για την διεκπεραίωση της έγχρωμης όρασης ,των γαγγλιακών κυττάρων και άλλων νευρώνων απαντάται στον κεντρικό αμφιβληστροειδή, ενώ μειώνεται δραματικά με την αύξηση της εκκεντρότητας (Ενδεικτικά, στα 3mm από το κεντρικό βοθρίο, η πυκνότητα των κωνίων προσεγγίζει τα 7.000 κωνία/mm²).²³¹

Οι Smith et al., κατέδειξαν, όμως, με τα πειράματά τους ότι τα οπτικά σήματα από τον Περιφερικό αμφιβληστροειδή διαθέτουν την ισχύ να υπερνικήσουν έναντι των επιταγών του Κεντρικού αμφιβληστροειδούς και να τροποποιήσουν την διαθλαστική εξέλιξη της κεντρικής περιοχής. Η στρατηγική που ακολούθησαν περιελάμβανε την τοποθέτηση σε φυσιολογικούς πιθήκους διόφθαλμων γυαλιών (diffuserspectacles), τα οποία ήταν σχεδιασμένα κατά τρόπο ώστε να επιτρέπουν την όραση (unrestricted) μόνο μέσω κεντρικών διαφραγμάτων 4 ή 8 mm κεντραρισμένων στην κόρη κάθε οφθαλμού.²³⁰ Με την ανωτέρω μέθοδο (εικόνα 24), οπτικά σήματα λαμβάνονται αποκλειστικά σε ένα εύρος 24 έως 37 μοιρών από τον κεντρικό αμφιβληστροειδή, ενώ ο περιφερικός αμφιβληστροειδής υφίστατο αποστέρηση ερεθίσματος (formdeprived). Η διάταξη αυτή επέφερε τις ακόλουθες επιδράσεις στην διαθλαστική εξέλιξη του αντίστοιχου αμφιβληστροειδικού τμήματος. Συγκεκριμένα, στην κεντρική περιοχή έλαβε χώρα η φυσιολογική εμμετροποίηση. Αντιθέτως, στην περιφέρεια, που απέκτησε μία απλή υπερμετροπική αφεστίαση του σφαιρώματος λόγω της αποστέρησης του οπτικού ερεθίσματος, η φυσιολογική απόκριση επέβαλλε επιμήκυνση και κεντρική μυωπική μετατόπιση. Το διακύβευμα, επομένως, αποτέλεσε η παρατήρηση της διαμόρφωσης της κεντρικής διάθλασης, από την συνισταμένη δράση των αλληλοσυγκρουόμενων δυνάμεων μεταξύ κέντρου και περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς. Πράγματι, με το πέρας της περιόδου εφαρμογής της οπτικής παρέμβασης, 8 από τους 12 πιθήκους που έλαβαν μέρος, παρουσίασαν κεντρική διάθλαση λιγότερο υπερμετροπική ή περισσότερο μυωπική, συγκριτικά με τους φυσιολογικούς πιθήκους, οφειλόμενη σε αυξημένο αξονικό μήκος του υαλοειδούς. Συμπερασματικά, παρά το γεγονός ότι τα σήματα τα οποία διαμορφώνονταν στον κεντρικό τομέα του αμφιβληστροειδούς ήταν σύμφωνα με εστιασμένη (in-focus) απεικόνιση του ειδώλου ή ελαφρώς μυωπική αφεστίαση (σήματα, δηλαδή, και στις 2 περιπτώσεις που αποτελούν ερέθισμα για αναστολή περαιτέρω αξονικής επιμήκυνσης), δεν ήταν ικανά να αποτρέψουν την αξονική επιμήκυνση του οφθαλμού και την κεντρική μυωπική μετατόπιση που εισηγείτο η αποστέρηση του οπτικού ερεθίσματος στον περιφερικό αμφιβληστροειδή. Επομένως, υποδεικνύεται ένας επικρατής χαρακτήρας των οπτικών σημάτων περιφερικής προέλευσης.³²



ΕΙΚΟΝΑ 24: ΑΠΟΣΤΕΡΗΣΗ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟ ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ³²

Απεικονίζεται σχηματικά η διάταξη στο πείραμα του Smith. Κατεδείχθη ο σημαίνων ρόλος που διαδραματίζουν οι οπτικές πληροφορίες από την περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς στην διαμόρφωση της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης. Τα ειδικά σχεδιασμένα γυαλιά με τις οπές επέτρεπαν μόνο κεντρική θέαση, ενώ απέκοπταν οπτικά τις περιφερικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς. Το αποτέλεσμα ήταν μία μυωπική μετατόπιση της κεντρικής διαθλαστικής κατάστασης.

Ζωτικής σημασίας για την αφομοίωση, κατά το δυνατόν, της κυριαρχίας του περιφερικού αμφιβληστροειδούς, είναι η ενδεδειγμένη ερμηνεία της δυναμικής προέλευσης αυτής της επικράτησης. Σύμφωνα με τους Wallman και Winaver (2004), εάν κατά μήκος του Οπισθίου Πόλου λαμβάνει χώρα μία άθροιση ή ενσωμάτωση των σημάτων οφθαλμικής ανάπτυξης, ίσως, παράγοντες χωρικής Άθροισης (Spatial Summation – η διαδικασία χωρικής άθροισης των αποκρίσεων των φωτοϋποδοχέων) είναι αυτοί που προσδίδουν στον περιφερικό αμφιβληστροειδή το δυναμικό να καθορίσει με κυρίαρχο τρόπο την κεντρική διαθλαστική εξέλιξη.²²⁷ Μελετώντας την ομοιότητα της οφθαλμικής ανάπτυξης, κατέδειξαν ότι τα σήματα αφεστίασης δύνανται να έχουν μεγαλύτερη ισχύ στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς συγκριτικά με το κέντρο. Τα χαρακτηριστικά της φυσιολογίας στα οποία βασίστηκε η θεώρηση τους ήταν, αφενός μεν ο μεγαλύτερος αριθμός νευρώνων στην περιφέρεια, αφετέρου δε, η δυναμική πυροδότηση οφθαλμικής επιμήκυνσης και ρύθμιση της κεντρικής μυωπικής διάθλασης, από την σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Η υπόθεση αυτή δε αποκτά μία πιο στέρεα υπόσταση, στην περίπτωση που η ισχύς των σημάτων προαγωγής ή αναστολής της οφθαλμικής ανάπτυξης, εξαρτάται από τον απόλυτο αριθμό των εκάστοτε εξειδικευμένων νευρώνων σηματοδότησης. Δύναται, λοιπόν, παρά το γεγονός ότι η πυκνότητα πολλών νευρώνων είναι μέγιστη στον κεντρικό αμφιβληστροειδή, ο απόλυτος αριθμός τους να είναι χαμηλός, καθώς η κεντρική περιοχή του αμφιβληστροειδούς αντιπροσωπεύει ένα σχετικά μικρό τμήμα της συνολικής του έκτασης. Συγκεκριμένα, με όρους ανατομίας και φυσιολογίας, η διάμετρος της foveae και της

parafovea, περιοχές που ,όπως έχει αναφερθεί ,χαρακτηρίζονται από την μέγιστη πυκνότητα κωνίων και γαγγλιακών κυττάρων, είναι μόλις 2,5mm. Το ανωτέρω μέγεθος αντιπροσωπεύει το περιορισμένο τμήμα των κεντρικών 8 – 9 μοιρών και λιγότερο από το 0,5% του συνολικού αμφιβληστροειδούς.²³² Επομένως, η ερμηνεία του πολύ μεγαλύτερου απόλυτου αριθμού των αμφιβληστροειδικών νευρώνων στην περιφέρεια ,έγκειται στην προφανή διαπίστωση για κολοσσιαίες διαστάσεις του περιφερικού αμφιβληστροειδούς εν συγκρίσει με την fovea. Η ανωτέρω παρατήρηση είναι ιδιαίτερος αληθής για ορισμένες κατηγορίες νευρώνων, όπως τα Ντοπαμινεργικά Αμακρινικά Κύτταρα (Stoneetal-1989), τα οποία παρουσιάζουν ομοιόμορφη πυκνότητα κατά μήκος του αμφιβληστροειδούς και πολύ μεγαλύτερους απόλυτους αριθμούς έκκεντρα.²³¹ Χαρακτηρίζονται δε, από άμεση εμπλοκή,στον εξαρτώμενο από τα οπτικά βιώματα, βιοχημικό καταρράκτη που ρυθμίζει την διαθλαστική εξέλιξη.²³³ Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι η βέλτιστη οπτική ποιότητα απεικόνισης του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή καθώς και η νευρωνική χωρική ανάλυση εξασθενούν με την εκκεντρότητα, δεν αποτελούν τροχοπέδη για τον δυνητικό ρόλο του περιφερικού αμφιβληστροειδούς. Αποδεικνύεται, δηλαδή, από μελέτες σε πτηνά, πραγματοποίηση Εμμετρωποίησης και η ύπαρξη δυνατότητας ανίχνευσης της αφεστίασης, ακόμα και όταν είναι διαθέσιμες πληροφορίες ,μόνο, πολύ χαμηλής χωρικής συχνότητας.¹⁸³ Ηοetalμε την έρευνά τους το 2012 για τις ηλεκτρικές αποκρίσεις του ανθρώπινου αμφιβληστροειδούς, παρέχουν στήριξη για την σημαντικότητα του ρόλου του περιφερικού αμφιβληστροειδούς. Διαπίστωσαν ότι αποκρίσεις είναι ευαίσθητες στην αφεστίαση, με τον έκκεντρο αμφιβληστροειδή να παρουσιάζει πιο σθεναρή αντίδραση στην οπτική θόλωση συγκριτικά με την κεντρική περιοχή.²³⁴

Μία εναλλακτική προσέγγιση πηγάζει από την γεωμετρία του οφθαλμικού βολβού. Δύναται, δηλαδή, ο περιφερικός αμφιβληστροειδής να ασκεί την επίδρασή του στο κεντρικό αξονικό μήκος και ,κατ' επέκταση, στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη, βασιζόμενος σε περιφερικούς μηχανισμούς τοπικά εκλεκτικής δράσης.²³⁵ Πειράματα σε ζώα αποκαλύπτουν το μοντέλο σύμφωνα με το οποίο οι οπτικές περιβαλλοντικές πληροφορίες, ρυθμίζουν τις μηχανικές ιδιότητες του Σκληρού.³² Συγκεκριμένα, τα οπτικά σήματα που προάγουν ή αναστέλλουν την οφθαλμική ανάπτυξη, επιφέρουν με την σειρά τους επέκταση στον Σκληρό ή αντίσταση στο <<τέντωμά>> του, σε μία εφαπτομενική διεύθυνση.²³⁶ Άρα, σήματα, όπως η υπερμετρωπική αφεστίαση, που πυροδοτούν την οφθαλμική ανάπτυξη, θα οδηγούσαν σε εφαπτομενική επέκταση στον περιφερικό αμφιβληστροειδή. Το γεγονός αυτό ,όμως, θα επέφερε με την σειρά του ,τροποποίηση στην αξονική θέση του οπίσθιου αμφιβληστροειδούς και , κατ' επέκταση, θα επιδρούσε στην κεντρική διαθλαστική κατάσταση.

Ολοκληρώνοντας, την διερεύνηση των δυνατικών επεξηγήσεων της υπερίσχυσης της περιφερικής σήμανσης έναντι της κεντρικής, άξια αναφοράς είναι μία θεωρία που εμπλέκει την χωροταξική κατανομή των μηχανισμών ρύθμισης της οφθαλμικής ανάπτυξης και της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης. Υποστηρίζει ότι οι ρυθμιστικοί μηχανισμοί, οι οποίοι όπως αναλύθηκε ανωτέρω, εξαρτώνται από τα οπτικά ερεθίσματα και χαρακτηρίζονται από ενδοφθάλμια εντόπιση, είναι κατανεμημένοι κατά μήκος του αμφιβληστροειδούς με ένα πρότυπο που ευνοεί την περιφέρεια. Μία σειρά πρόσφατων ερευνών παρέχει ενθαρρυντικά δεδομένα υπέρ μίας τέτοιας θεώρησης. Η αντίληψη που καθολικά κυριαρχεί, υιοθετεί την άποψη ότι τα κωνία κατά κύριο λόγο, εμπλέκονται στην ανίχνευση των οπτικών σημάτων που συνεισφέρουν στην οφθαλμική ανάπτυξη. Έρευνα, όμως, του 2010 σε αναισθητοποιημένα ποντίκια, εισηγείται ότι τα ραβδία, που απαντώνται κυρίως στην μέση περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς (Η μέγιστη πυκνότητα, 175.000 ραβδία/mm², απαντάται στις 20 μοίρες ρινικά και κροταφικά του κεντρικού βοθρίου, ενώ απουσιάζουν από μία κεντρική περιοχή μέσης οριζόντιας διαμέτρου 0,350mm), είναι σημαντικά για την ανίχνευση των σημάτων που εμπλέκονται στην διαδικασία της Εμμετροποίησης και στο φαινόμενο της μυωπίας λόγω αποστέρησης του ερεθίσματος.²³⁷ Επιπρόσθετα, μελέτη του 2008 σε κοτόπουλα, διερεύνησε τους επονομαζόμενους Μαστιγωτούς νευρώνες (Bullwhipneurons). Πρόκειται για αραιό πληθυσμό νευρώνων, κατανεμημένο κυρίως στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς. Απεδείχθη ότι διαθέτουν την ικανότητα ρύθμισης της οφθαλμικής ανάπτυξης κατά μήκος του ισημερινού, με ένα μοντέλο εξαρτώμενο από τα οπτικά βιώματα.²³⁸

Η απόκτηση, όμως, μίας σφαιρικής αντίληψης προϋποθέτει την παράθεση στο σημείο αυτό και του αντιλόγου. Συγκεκριμένα, οι Schippert και Schaefel διαπίστωσαν ότι κοτόπουλα τα οποία εξετράφησαν με φακούς οι οποίοι διέθεταν κεντρικό διάφραγμα επιτρέποντας κεντρική όραση, παρέμειναν εμμετροπικά. Κατά συνέπεια, δεν παρατηρήθηκε αποτυχία λειτουργίας της εμμετροποιητικής διαδικασίας, παρά το γεγονός ότι επήλθε εισαγόμενη μεταβολής της περιφερικής διάθλασης (μέσω των φακών χειρισμού η περιφέρεια απέκτησε μία απλή υπερμετροπική αφεστίαση αναφορικά με την διαθλαστική συνιστώσα του σφαιρώματος). Η ερμηνεία που δίνεται για τα φαινομενικώς αλληλοσυγκρουόμενα δεδομένα που απορρέουν από τις έρευνες, είναι ότι αντανακλούν τις διαφορές ανάμεσα στα είδη. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, η οπτική ανάλυση στα πρωτεύοντα εξασθενεί πολύ ταχύτερα με την αύξηση της εκκεντρότητας, εν συγκρίσει με τα πτηνά. Είναι δε αναγκαίο να αποσαφηνιστεί ότι ο Smith στα πειράματά του για την διερεύνηση της επίδρασης της περιφερικής διάθλασης, στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη, επέβαλε στον περιφερικό αμφιβληστροειδή μία απλή σφαιρική υπερμετροπική αφεστίαση. Στους ανθρώπινους οφθαλμούς, δύναται το μέσο σφαιρικό διαθλαστικό σφάλμα να είναι υπερμετροπικό, υπάρχει, όμως,

επιπρόσθετα σημαντικός περιφερικός αστιγματισμός. Ο ανωτέρω αστιγματισμός προσεγγίζει τον λοξό (oblique) και το μέγεθος του ποικίλει συναρτήσει περίπου του τετραγώνου της γωνίας πεδίου.^{183,239}

Z) ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ

Μία πληθώρα ερευνών στο ανθρώπινο γένος, εισηγείται έναν σημαίνοντα ρόλο του προτύπου της περιφερικής διάθλασης στην εξέλιξη της εμμετροποίησης στην fovea και ,κατ' επέκταση, στην έναρξη και πρόοδο της μυωπίας. Η δυναμικά σημαντική διαφοροποίηση της περιφερικής διάθλασης του αμφιβληστροειδούς εν συγκρίσει με την κεντρική, είναι απότοκος της μεταβολής με την εκκεντρότητα, των οπτικών σημάτων που καθορίζουν την οφθαλμική ανάπτυξη και διαθλαστική εξέλιξη στον εκάστοτε αμφιβληστροειδικό τομέα. Παρομοίως, με την αύξηση της εκκεντρότητας επέρχεται αλλαγή του περιφερικού αστιγματισμού, και συγκεκριμένα αύξηση. Επιπρόσθετα, καταγράφονται διαφορετικά μοντέλα περιφερικής διάθλασης, ανάλογα με την διαπιστούμενη κεντρική διαθλαστική κατάσταση. Οφθαλμοί με κεντρική αξονική μυωπία, λοιπόν, παρουσιάζουν πιο prolateή λιγότερο oblateσχήματα, συγκριτικά με του εμμέτρως και τους υπερμέτρως. Η παραπάνω διαμόρφωση, οδηγεί, όπως έχει γίνει μνεία (εικόνα 13), όλα τα μοντέλα αμφιβληστροειδικής επέκτασης στην μυωπία, σε εμφάνιση σχετικής περιφερικής υπερμετροπίας στον οριζόντιο μεσημβρινό.³² Η περιφέρεια, δηλαδή ,είναι σε χαμηλότερο βαθμό μυωπική σε σύγκριση με το κέντρο του αμφιβληστροειδούς, καθώς στην περιφέρεια οι φωτοϋποδοχείς βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση οπισθίως του εστιακού επιπέδου. Μάλιστα, η σχετική περιφερική υπερμετροπία αυξάνεται σε μέγεθος , με την αύξηση της κεντρικής μυωπίας.²⁴⁰⁻²⁴³

Ένας, επιπρόσθετος παράγοντας, όμως, υπεισέρχεται, στον αντίκτυπο της σχετικής περιφερικής υπερμετροπίας των οφθαλμών με prolateσχήμα. Η κεντρική όραση είναι αυτή που καθορίζει την Προσαρμοστική απόκριση και ανιχνεύει το επίπεδο προσήλωσης (fixation).^{227,230} Επομένως, κατά την διάρκεια της προσαρμοστικής διαδικασίας, η αντίδραση θα είναι κατάλληλου μεγέθους ώστε να επιτευχθεί ευκρινής απεικόνιση του ειδώλου στην fovea. Δηλαδή, καθώς με την εγγύτητα ενός αντικειμένου μετακινείται το εστιακό επίπεδο οπισθίως του αμφιβληστροειδούς, η προσαρμογή θα επιφέρει πρόσθια μετατόπισή του, τέτοια ώστε να ταυτιστεί με την fovea. Στον περιφερικό αμφιβληστροειδή , όμως, το εστιακό επίπεδο θα συνεχίσει να βρίσκεται οπισθίως του, λόγω του prolateσχήματος του οφθαλμού ,που προσδίδει στον περιφερικό αμφιβληστροειδή μία πιο πρόσθια θέση σε σύγκριση με τον κεντρικό. Άρα, ο περιφερικός

αμφιβληστροειδής θα υφίσταται κατά την προσαρμογή υπερμετρωπική αφεστίαση, ένα ερέθισμα που δύναται να πυροδοτεί την έναρξη και πρόοδο της μυωπίας.

Η) ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΥΠΕΡΜΕΤΡΩΠΙΑ: ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΔΟΣ ΜΥΩΠΙΑΣ

Μία ιδιαίτερη πτυχή της δυναμικής σχέσης ανάμεσα στην περιφερική υπερμετρωπία και στην μυωπία, αποτελεί η αποσαφήνιση της χρονικής ροής των γεγονότων. Μία σειρά ερευνών στους ανθρώπους καταδεικνύει, ότι συχνά τα πρότυπα της περιφερικής διάθλασης προχρονολογούνται της εμφάνισης κεντρικής μυωπίας και δύνανται, επομένως, να αποτελούν παράγοντα κινδύνου για την έναρξη και εξέλιξη της μυωπίας. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, ο Hoogerheide με τις ευρέως γνωστές μελέτες του (1971) σε νεαρούς εκπαιδευόμενους πιλότους, διαπίστωσε ότι οι εμμέτρωτες με περιφερική υπερμετρωπική διάθλαση τόσο για το εφαπτομενικό, όσο και για το οβελιαίο <<σκελετό>> του ειδώλου, είχαν αξιοπρόσεκτα μεγαλύτερη πιθανότητα να αναπτύξουν κεντρική μυωπία κατά την διάρκεια της εκπαίδευσής τους, συγκριτικά με τους εμμέτρωτες που εμφάνιζαν στην περιφέρεια απλό μυωπικό αστιγματισμό.¹⁹¹ Πιο πρόσφατα ο Schmid(2011), εξακρίβωσε μία σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην αυξημένη κυρτότητα του αμφιβληστροειδούς (steepness), που μεταφράζεται σε πιο prolate σχήμα οφθαλμού, και σε κεντρική μυωπική μετατόπιση στα παιδιά. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η στατιστική σημαντικότητα της ανωτέρω σχέσης περιοριζόταν αποκλειστικά στον κροταφικό αμφιβληστροειδή.²⁴⁴ Αντιθέτως, ο Mutti (2011) μελετώντας την περιφερική διάθλαση του κροταφικού αμφιβληστροειδούς σε παιδιά από την βάση δεδομένων της CLEERESTUDY, δεν κατόρθωσε να επιβεβαιώσει την επίδραση της περιφερικής υπερμετρωπίας στην έναρξη της μυωπίας. Συγκεκριμένα, αν και κατέγραψε μία σημαντική συσχέτιση μεταξύ του βαθμού της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας και της προόδου της μυωπίας, η συνολική επιρροή της περιφερικής υπερμετρωπικής διαθλαστικής κατάστασης στην κεντρική διάθλαση ήταν περιορισμένη.¹⁹⁴

ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΣΧΕΣΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Η αλματώδης ερευνητική πρόοδος που έχει λάβει χώρα τις τελευταίες δεκαετίες, έχει, αναμφισβήτητα παράσχει σημαντικές πληροφορίες για τον ρόλο που διαδραματίζει στους ανθρώπους η περιφερική υπερμετρωπία αναφορικά με τη έναρξη και την πρόοδο της κεντρικής μυωπίας. Παρ' όλα αυτά, αρκετές πτυχές του μηχανισμού δράσης παραμένουν συγκεχυμένες. Κυρίως, απομένει να αποκρυσταλλωθεί η υφή της αλληλεπίδρασης μεταξύ κεντρικής και περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης. Όπως κατέδειξαν οι Atchisonetal (2006), στους μυωπικούς οφθαλμούς είναι συνήθης η παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού άξονα, ενώ δεν ταυτοποιείται κάτι ανάλογο στον κατακόρυφο άξονα.²⁰⁰ Σύμφωνα με αυτήν την θεώρηση, επομένως, ακόμα και ο περιφερικός αμφιβληστροειδής δεν παράγει ένα καθολικά ομοιόμορφο σήμα ,αλλά, αντιθέτως, διαμορφώνονται αλληλοσυγκρουόμενες εντολές επίδρασης στην οφθαλμική ανάπτυξη και διάθλαση, κατά μήκος των διαφορετικών τμημάτων της περιφέρειας. Πρέπει να συνυπολογιστεί δε, ότι οι μελέτες στους ανθρώπους έχουν διερευνήσει έναν ,ιδιαιτέρως περιορισμένο αριθμό, σημείων της περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς. Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να επιστήσουμε το ενδιαφέρον μας σε ένα χαρακτηριστικό που διέπει την αρχή θεραπευτικών στρατηγικών της μυωπίας και δεν τυγχάνει της δέουσας προσοχής. Τα παραδοσιακά γυαλιά που χρησιμοποιούνται είναι σχεδιασμένα κατά τρόπο, ώστε να διορθώσουν το κεντρικό διαθλαστικό σφάλμα, επιτυγχάνοντας μέγιστη ευκρίνεια απεικόνισης του ειδώλου στην fovea.^{245,246} Συγκεκριμένα, μετατοπίζουν, μέσω της αρνητικής τους ισχύος, οπισθίως το εστιακό επίπεδο ,ώστε να ταυτιστεί με τον κεντρικό αμφιβληστροειδή. Αγνοούν, κατ' ουσία, τον περιφερικό αμφιβληστροειδή, ο οποίος κατέχοντας πιο πρόσθια θέση από τον κεντρικό, υφίσταται λόγω της αλλαγής που επιφέρουν τα γυαλιά στο εστιακό επίπεδο, υπερμετρωπική αφεστίαση.

Πρόσθετα στοιχεία για την ιδιόζουσα φύση της συσχέτισης μεταξύ κεντρικής και περιφερικής και κεντρικής διάθλασης, απορρέουν από την επιβολή συνθηκών αποστέρησης του ερεθίσματος (deprivation). Μελέτες σε βρέφη πιθήκων, κατέδειξαν ότι πέραν της κεντρικής αξονικής μυωπίας, η παύση των οπτικών βιωμάτων, μεταβάλλει την διάθλαση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, οδηγώντας σε σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Διαπιστώθηκαν δε, ορισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αναφορικά με την απορρέουσα σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Έτσι, ο βαθμός της αυξάνεται με την αύξηση της κεντρικής αξονικής μυωπίας, αλλά το μέγεθος αυτού του φαινομένου διακυμαίνεται συναρτηθεί της εκκεντρότητας. Επιπρόσθετα, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις έντασης της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, ανάμεσα στο κροταφικό και ρινικό οπτικό πεδίο. Οι αναφερόμενες μεταβολές στην περιφερική διάθλαση είναι απότοκος των βιομετρικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα στον οφθαλμό, κατά την αποστέρηση

του ερεθίσματος. Συγκεκριμένα, οι οφθαλμοί στους οποίους διακόπτονται οι οπτικές προσλαμβάνουσες, κατά την ανάπτυξη της μυωπίας (form-deprivationμυωπία), καθίστανται πιο prolateσε σχήμα λόγω εγγενών βιολογικών περιορισμών που διέπουν την οφθαλμική ανάπτυξη. Η σημαντικότητα των ανωτέρω δεδομένων στην εξακρίβωση της διαθλαστικής συσχέτισης κέντρου και περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς, έγκειται στην συνεπαγωγή ότι η σχέση μεταξύ σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας και κεντρική μυωπίας, δεν έχει πάντοτε αιτιολογικό χαρακτήρα. Στο πείραμα με τους πιθήκους, δηλαδή, ακόμα και αν η σχετική περιφερική υπερμετρωπία είχε παρατηρηθεί προγενέστερα της έναρξης κεντρικής μυωπίας, δεν θα ήταν σε θέση να διαδραματίσει ρόλο στην έναρξη ή πρόοδο της αξονικής μυωπίας. Και ο λόγος είναι προφανής, καθώς αποστερώντας τα οπτικά ερεθίσματα (μέσω των diffusersπου χρησιμοποιήθηκαν), παρεμποδίζεται ,ταυτοχρόνως, η παρουσία σημάτων αφεστίασης (defocus) στον περιφερικό αμφιβληστροειδή. Διαθέτει, επομένως, η περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς το <<ανατομικό>> υπόβαθρο για να δράσει ως δυνητικός παράγοντας μυωπικής μετατόπισης, αναιρείται , όμως ,το ανώτερο δυναμικό λόγω της αδυναμίας λήψης οπτικών πληροφοριών από το περιβάλλον. Εν κατακλείδι, η ερμηνεία που προκρίνεται στην μελέτη των πιθήκων, υπαγορεύει έναν σημαίνοντα ρόλο της έμφυτης βιολογικής επιταγής που καθοδηγεί την οφθαλμική ανάπτυξη, η οποία οδηγεί στην διαμόρφωση ενός πιο prolateσχήματος κατά την ανάπτυξη της form-deprivationμυωπίας.³²

Συνεχίζοντας την αποκωδικοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από το ανωτέρω αναφερθέν πείραμα οπτικής αποστέρησης στους πιθήκους, άξια αναφοράς είναι μία επιπρόσθετη παρατήρηση. Συγκεκριμένα, η δυνητική εξάρτηση της περιφερικής διάθλασης από την βάση αναφοράς του μεγέθους μυωπικού σφάλματος (baseline) καθιστά δυσχερή την αποσαφήνιση της συνεισφοράς της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας στην πρόοδο της μυωπίας. Επομένως, ανατρέχοντας στα δεδομένα της έρευνας στους πιθήκους, λογική υπόθεση θα ήταν η εικασία ότι οι υψηλοί μύωπες χαρακτηριζόμενοι, κατ' επέκταση από μεγαλύτερου βαθμού περιφερική υπερμετρωπία εν συγκρίσει με τους αυτούς με χαμηλό μυωπικό σφάλμα, θα παρουσίαζαν, καθ' αντιστοιχία, και ταχύτερη πρόοδο της μυωπίας. Η ύπαρξη της ανωτέρω δυναμικής σχέσης θα ήταν δυνατόν ,όμως , να αποκρυφτεί, ως αποτέλεσμα συγχυτικών παραγόντων δυνάμενων να ασκήσουν επιρροή στην διαθλαστική κατάσταση ενός ατόμου. Εφόσον, βέβαια, γίνει αποδεκτή η θεώρηση για την ύπαρξη επίδρασης του σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος στην πρόοδο της μυωπίας. Ακόμα, ένας επιπλέον παράγοντας που δυσχεραίνει την αποτίμηση της επιρροής του βαθμού της περιφερικής υπερμετρωπίας στην πρόοδο της μυωπίας, αποτελεί η αξιόπρόσεκτη διακύμανση μεταξύ των πειραματόζων στην αξονική επιμήκυνση την οφειλόμενη σε οπτικά ερεθίσματα. Μία σειρά πειραμάτων αποστέρησης του ερεθίσματος σε

πιθήκους, λοιπόν, καταγράφει μία καθολική τάση για εμφάνιση αξονικής μυωπίας, η οποία, όμως, κυμαίνεται μεταξύ των πιθήκων σε ένα εύρος που προσεγγίζει τις 10D. Μάλιστα, ένας αριθμός πειραματόζων ανέπτυξε υπερμετρωπία. Επομένως, η δυνατότητα συνυπολογισμού των συγχυτικών παραμέτρων που πηγάζουν από τις εξατομικευμένες διαφοροποιήσεις στο εκάστοτε πειραματόζωο, κατά την αξιολόγηση της επίδρασης της περιφερικής υπερμετρωπίας, είναι σε μεγάλο βαθμό περιορισμένη.³²

2.3.ΑΦΕΣΤΙΑΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η υλοποίηση της φυσιολογικής εμμετρωποιητικής διαδικασίας απαιτεί την συνεισφορά συστατικών τόσο του κεντρικού, όσο και του περιφερικού αμφιβληστροειδούς. Ο αμφιβληστροειδής ανιχνεύοντας την τοπική θόλωση (defocus), αποκρίνεται παράγοντας μία σειρά από βιοχημικά σήματα για τον καθορισμό της οφθαλμικής ανάπτυξης.²⁴⁷

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΕΤΑΓΡΑΦΗΣ ZENK ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Στην έσω συναπτική μεμβράνη απαντώνται οι ποικίλες κατηγορίες, διαφορετικής ανατομικής και μορφολειτουργικής φύσης, των Αμακρύινων κύτταρων του αμφιβληστροειδούς. Πρόκειται για κύτταρα χωρίς νευρίτη, τα οποία διαμορφώνουν, μέσω ενός πλαγίου μοντέλου μεταφοράς των πληροφοριών, τις μεταξύ τους διασυνδέσεις, αλλά και αυτές ανάμεσα στα Δίπολα και στα Γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς. Πειράματα σε κοτόπουλα (2002), κατέδειξαν ότι σχετικά χαμηλά επίπεδα εισαγόμενης από φακούς θόλωσης, είναι σε θέση να επηρεάσουν την έκφραση του παράγοντα μεταγραφής ZENK στα Γλυκαγονο-Ανοσο-Αντιδρώντα Αμακρύινα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς των πειραματόζων. Συγκεκριμένα μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος 40 λεπτών εφαρμογής των φακών κατεγράφησαν τα ακόλουθα δεδομένα: Η παρέμβαση με φακούς θετικής ισχύος (μυωπική αφεστίαση), οδηγούσε σε αύξηση του αριθμού των κυττάρων που εξέφραζαν τον παράγοντα ZENK. Σε αντιδιαστολή, η εφαρμογή φακών αρνητικής διαθλαστικής δύναμης (υπερμετρωπική αφεστίαση), είχε ως επακόλουθο την μείωση του πληθυσμού των κυττάρων με δυναμικό έκφρασης του παράγοντα μεταγραφής ZENK. Μάλιστα, οι μεταβολές στην έκφραση του ZENK ήταν σιγμοειδής συνάρτηση της ισχύος του εφαρμοζόμενου φακού, σχέση η οποία υφίστατο κορεσμό για αφεστίαση περί τις ± 7 D.²⁴⁸ Το διακύβευμα έγκειται ακριβώς στο

γεγονός, ότι η έκφραση του παράγοντα μεταγραφής εξαρτάται από την φύση της θόλωσης. Επομένως, προτείνεται ότι η σχετική περιφερική υπερμετρωπία, ίσως πυροδοτεί ένα σήμα για την οφθαλμική ανάπτυξη. Επιπρόσθετα, αναφορικά με τις κυτταρικές σειρές, υπάρχουν ευρήματα που υποδεικνύουν τροποποίηση της δραστηριότητας των Δίπολων (συνδέουν μέσω των δύο πόλων που διαθέτουν, τους φωτοϋποδοχείς με τα Γαγγλιακά κύτταρα) και των Αμακρύινων κυττάρων συναρτήσει της αφεστίασης.²⁴⁹ Πιο πρόσφατα (2009), έρευνες σε ποντίκια απεκάλυψαν νευρωνικά κυκλώματα στον αμφιβληστροειδή ευαίσθητα στην παραμορφωμένη εστίαση της εικόνας, με πιθανό, άρα, ρόλο στην λειτουργία των μηχανισμών αποκατάστασης της ευκρίνειας.²⁵⁰

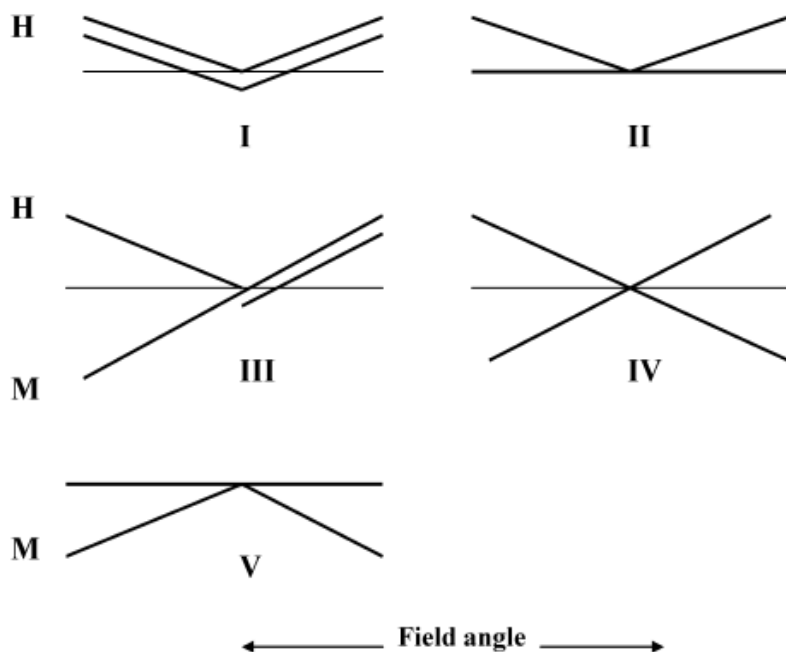
ΓΛΥΚΑΓΟΝΗ

Τα α-κύτταρα του παγκρέατος στα νησίδια του Langerhans, παράγουν την ορμόνη Γλυκαγόνη. Αυξάνει την συγκέντρωση της Γλυκόζης στο αίμα, μέσω της διάσπασης του Γλυκογόνου του ήπατος και της προαγωγής της γλυκονεογένεσης στο ήπαρ. Διαδραματίζει, δηλαδή, αντίστροφο ρόλο από την Ινσουλίνη. Αναζητώντας το βιοχημικό μονοπάτι που ρυθμίζει την οφθαλμική ανάπτυξη και την διαθλαστική εξέλιξη, η Γλυκαγόνη προτείνεται ως ένα σημαίνων συστατικό του που δρα μέσω δύο μηχανισμών. Πειράματα σε κοτόπουλα, κατέδειξαν ότι η Γλυκαγόνη αναστέλλει, σε σημαντικό βαθμό, την εμφάνιση μυωπίας λόγω αποστέρησης του οπτικού ερεθίσματος. Επιπρόσθετα, προκαλούσε πάχυνση στον Χοριοειδή των οφθαλμών που πραγματοποιήθηκαν οι χειρισμοί. Η υπόθεση που προκύπτει από τα ανωτέρω ευρήματα, λοιπόν, εισηγείται έναν πιθανό ρόλο της Γλυκαγόνης στην οπτική ρύθμιση της διαθλαστικής κατάστασης, μέσω της αναχαίτισης της ανάπτυξης του Σκληρού και της διέγερσης της Χοριοειδικής πάχυνσης.²⁵¹ Επιπλέον, έρευνες στην αρχή της δεκαετίας του 1990 σε κοτόπουλα, απέδειξαν ότι μία σειρά φαρμάκων δρώντα στο επίπεδο του αμφιβληστροειδούς, είναι ικανά να περιορίσουν την αξονική επιμήκυνση στην περίπτωση πειραματικά εισαγόμενης μυωπίας.^{252,253}

Εν κατακλείδι, αποσαφηνίζοντας την ανίχνευση κατεύθυνσης της αφεστίασης, ίσως, ορισμένες από τις ανωτέρω βιοχημικές συνιστώσες παρέχουν κάποια συνεισφορά, και κατ' επέκταση διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο στην ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης. Παρά ταύτα, ο πρωταρχικός μηχανισμός ανίχνευσης της κατεύθυνσης θόλωσης παραμένει ασαφής, και εικάζεται ότι αρκετοί πιθανοί μηχανισμοί, όπως η μέθοδος <<Δοκιμής και Σφάλματος>> (trialanderror), οι χρωματικές και μονοχρωματικές εκτροπές, δρουν από κοινού.¹⁸³

2.4.ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ: ΠΙΘΑΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Η έρευνα σταθμός στο άνθρωπο γένος, που επιχείρησε να συσχετίσει το μοντέλο της περιφερικής διάθλασης με την εμφάνιση έστω ορισμένων περιπτώσεων μυωπίας στον άνθρωπο, διενεργήθηκε το 1971 από τους Hoogerheide και Rempt. Εξετάστηκαν νεαροί εκπαιδευόμενοι πιλότοι, των οποίων η εκπαίδευση ξεκινούσε μεταξύ 18 και 20 ετών. Η διάθλαση υπολογίστηκε σε ένα εύρος 60 κεντρικών μοιρών, κατά μήκος του οριζοντίου κροταφικού και ρινικού οπτικού πεδίου (Retinoscopy). Προέκυψαν 5 διαφορετικά μοντέλα διάθλασης (skiagrams), συναρτήσεως των εκάστοτε μεταβολών στην διάθλαση κατά μήκος του οπτικού πεδίου (εικόνα 25). Η έρευνα κατέδειξε ένα συγκεκριμένο πρότυπο σκιαγράμματος για τους πιλότους που αρχικά εμφάνιζαν χαμηλή υπερμετρωπία ή ήταν εμμέτρως και ανέπτυξαν μυωπία στα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα, τόσο η τοξοειδής (sagittal), όσο και η εφαπτομενική (tangential) λοξή αστιγματική επιφάνεια του ειδώλου, είτε στον ένα είτε και στους δύο οριζόντιους μεσημβρινούς των ημιπεδίων, παρουσίαζαν σχετική υπερμετρωπία εν συγκρίσει με την αξονική διάθλαση. Άρα, συνεπάγεται ότι η επιφάνεια του ειδώλου που αντιστοιχεί στο μέσο σφαιρικό ισοδύναμο ή στην βέλτιστη διόρθωση σφαιρώματος, ήταν σχετικά υπερμετρωπική. Στα ανωτέρω άτομα (I και III εικόνας 25), η πιθανότητα ανάπτυξης μυωπίας κυμαινόταν στο 40%. Σε αντιδιαστολή, εξεταζόμενοι των οποίων το αρχικό πρότυπο περιφερικής διάθλασης, χαρακτηριζόταν από την παρουσία, είτε σε μία είτε και στις δύο λοξές αστιγματικές επιφάνειες του ειδώλου, σχετικής μυωπίας ή εμμετρωπίας συγκριτικά με την αξονική διάθλαση (σκιαγράμματα II, IV και V), ο μυωπικός κίνδυνος διέφερε. Η πιθανότητα εμφάνισης μελλοντικής μυωπίας προσέγγιζε μόλις το 4%.¹⁸³

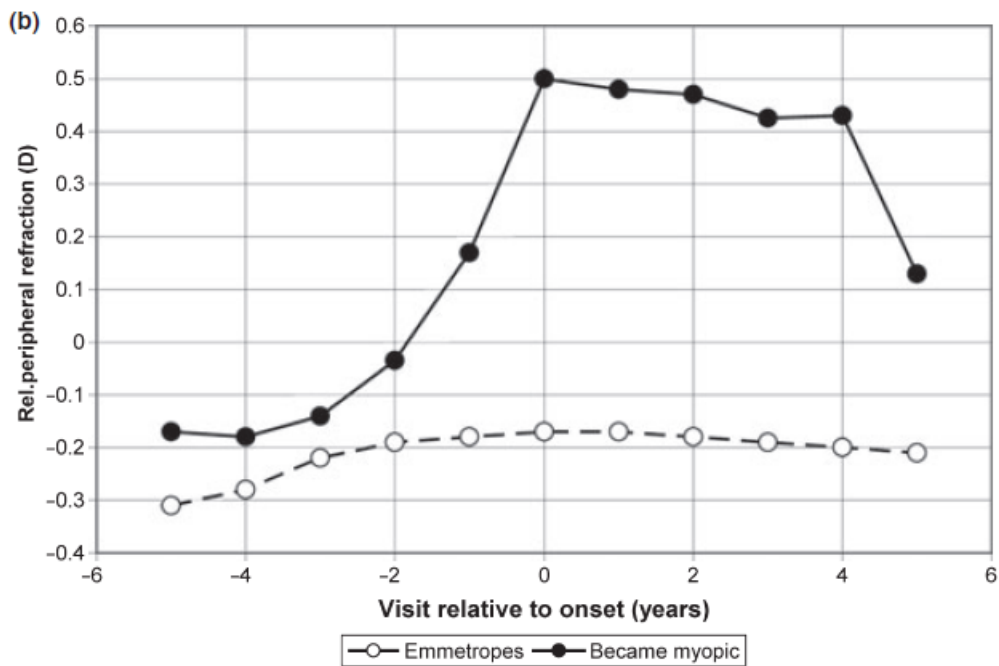
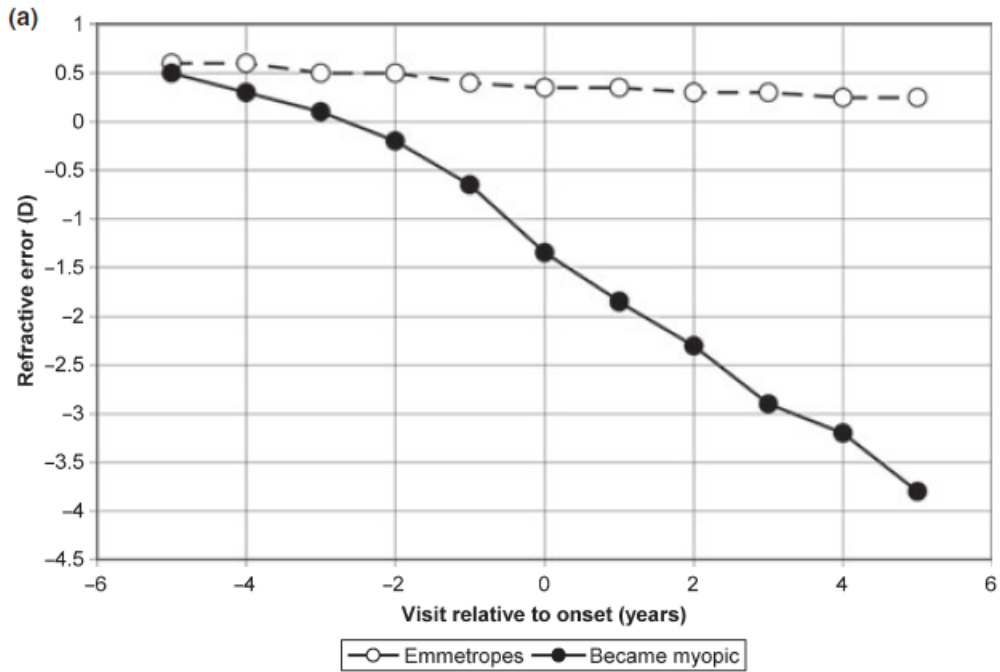


ΕΙΚΟΝΑ 25: ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΜΕΣΗΜΒΡΙΝΟΥ¹⁸³

Το σχήμα απεικονίζει τα αρχικά μοντέλα περιφερικής διάθλασης στους εκπαιδευόμενους πιλότους της έρευνας του 1971. Σε κάθε σκιάγραμμα, οι παχύς γραμμές αντιπροσωπεύουν τις 2 λοξές αστιγματικές επιφάνειες απεικόνισης κατά μήκος του οριζοντίου οπτικού πεδίου. Τα σύμβολα H (Hyperopic) και M (Myopic), υποδεικνύουν εάν τα κροταφικά και τα ρινικά ημιπεδία, είναι υπερμετρωπικά ή μυωπικά εν συγκρίσει με την αξονική διάθλαση. Κάθε αξονικός αστιγματισμός έχει διορθωθεί. Επιπρόσθετα, κάθε λεπτή οριζόντια γραμμή αναπαριστά μία σχετική κατάσταση εμμετρωπίας κατά μήκος του οπτικού πεδίου. Αυτό κατέστη εφικτό μέσω της διόρθωσης των αξονικών διαθλαστικών σφαλμάτων του σφαιρώματος.

Είναι, όμως, κρίσιμο να αναφερθούν ορισμένοι ερευνητικοί παράμετροι. Έτσι, το μεσοδιάστημα μέσα στο οποίο, με γνώμονα αναφοράς το αρχικό μοτίβο περιφερικής διάθλασης, έλαβε χώρα η διαθλαστική εξέλιξη, δεν ήταν σαφώς καθορισμένο. Πιθανότατα, επρόκειτο για την περίοδο λίγων ετών που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης ως πιλότου. Μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι, επιπλέον, το γεγονός ότι στην μελέτη γίνεται λόγος για την ανάπτυξη μυωπίας μετά την ηλικία των 18 ετών. Κατά συνέπεια, αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε η μυωπίας Όψιμης ενάρξεως (Late-onsetmyopia). Αναφορικά με τους μυωπικούς οφθαλμούς Πρώιμης ενάρξεως (Early-onsetmyopia), χαρακτηρίζονται από ένα ευκρινέστερο πρότυπο διαφοροποίησης της περιφερικής από την κεντρική διάθλαση. Συγκεκριμένα, εμφανίζουν την τάση να υπόκεινται σε δομικές αλλαγές, με αποτέλεσμα η καμπύλη οφθαλμικής τους ανάπτυξης να διαφέρει αξιοπρόσεκτα από την αντίστοιχη των εμμετρωπικών οφθαλμών. Με ένα τέτοιο μοντέλο, δύνανται να προκύψουν περαιτέρω μεταβολές στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση.¹⁸³

Μεταγενέστερα ο Mutti (2007), πραγματοποιώντας μελέτη σε παιδιά ηλικίας 6 έως 14 ετών (η ενδιάμεση από τις 3 έρευνές του) ,διερεύνησε μεταξύ των άλλων, και την οφθαλμική παράμετρο του σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος (RelativePeripheralRefractiveError – RPRE). Προσδιόρισε το RPRE ως την διαφορά στην διάθλαση ανάμεσα στις 30 μοίρες του κροταφικού οπτικού πεδίου και στο κέντρο του αμφιβληστροειδούς. Κατώφλι της μυωπίας ορίστηκαν για όλους του μεσημβρινούς οι -0,75 D. Το γενικό πλαίσιο των ευρημάτων ταυτιζόταν με τα δεδομένα που προέκυψαν από την μελέτη του 1971. Συγκεκριμένα (εικόνα 26) ,κατεγράφη ότι τα παιδιά που ανέπτυξαν μυωπία, χαρακτηρίζονταν από πιο σχετικό υπερμετρωπικό περιφερικό σφάλμα σε ένα χρονικό διάστημα εκτεινόμενο 2 έτη πριν την έναρξη της μυωπίας μέχρι και 5 χρόνια μετά την εμφάνισή της ,συγκριτικά με τα παιδιά που παρέμειναν εμμετρωπικά ($p < 0,002$ για κάθε χρόνο). Διακρίνεται, επιπλέον, στα άτομα που ανέπτυξαν μυωπία και μία αξιοσημείωτη αύξηση της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας πριν την έναρξη της μυωπίας.¹⁹³ Η τελευταία διαπίστωση θα μπορούσε να οδηγήσει στην υπόθεση για την ύπαρξη κάποιας ουδού σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, η υπέρβαση της οποίας πυροδοτεί την εμφάνιση της μυωπίας. Σαν να υπάρχει δηλαδή, ένα ανώτατο όριο διαφοροποίησης της περιφερικής από την κεντρική διάθλαση, το οποίο όταν ξεπεραστεί αναπτύσσεται μυωπία. Επιπρόσθετοι παράγοντες που προσδιορίστηκε ότι δύνανται να συνεισφέρουν στην πρόβλεψη ανάπτυξης μυωπίας, αποτέλεσαν η παρουσία πιο αρνητικής διαθλαστική κατάσταση, μακρύτερων αξονικών μηκών και ταχύτερου ρυθμού αλλαγής των ανωτέρω μεταβλητών.

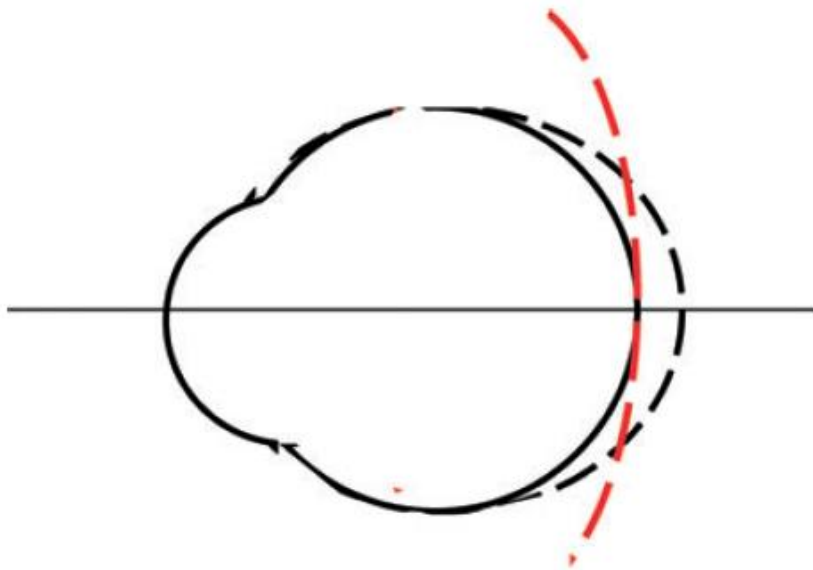


ΕΙΚΟΝΑ 26: ΑΞΟΝΙΚΟΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΙ RPREΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ¹⁸³

Απεικονίζονται οι μεταβολές με τον χρόνο της κεντρικής διάθλασης (a) και της σχετικής περιφερικής διάθλασης (b) στα παιδιά που συμμετείχαν στην έρευνα του Mutti (2007). Το χρονικό σημείο 0 αντιστοιχεί στην έναρξη της μυωπίας. Στο σχήμα (a) σκιαγραφείται η διαθλαστική εξέλιξη των παιδιών που δεν ανέπτυξαν διαθλαστικό σφάλμα και αυτών που κατέστησαν μυωπικά. Το διάγραμμα (b) αναπαριστά την αυξημένη παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας στα παιδιά που ανέπτυξαν μυωπία, χρόνια πριν έως και χρόνια μετά την εμφάνισή της, συγκριτικά με αυτά που παρέμειναν εμμετρωπικά και παρουσίασαν αμελητέα επίπεδα RPRE. Ενδιαφέρον εύρημα δε, αποτελεί η ολοένα αυξανόμενη κύρτωση της καμπύλης του RPRE στα παιδιά που ανέπτυξαν μυωπία, καθώς προσέγγιζαν τον χρόνο που παρουσιάστηκε η μυωπία.

2.5.ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ RPRE ΣΕ ,ΑΡΧΙΚΩΣ, ΑΞΟΝΙΚΑ ΕΜΜΕΤΡΩΠΙΚΟ ΟΦΘΑΛΜΟ

Κρίσιμη είναι η ανάλυση του μηχανισμού που πυροδοτεί η παρουσία υπερμετρωπικού σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος (RPRE), όταν ο οφθαλμός ενδιαφέροντος χαρακτηρίζεται αρχικά από εμμετρωπική κεντρική διαθλαστική κατάσταση. Σε ένα τέτοιο μοντέλο, το εστιακό επίπεδο για περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, θα βρίσκεται οπισθίως του αμφιβληστροειδούς, ενώ το είδωλο θα απεικονίζεται ευκρινώς (in-focus) στο κέντρο. Προχωρώντας σε αξιολόγηση των δεδομένων που απορρέουν από τις ανωτέρω έρευνες των Hoogerheide (1971) και Mutti (2007) στους ανθρώπους, σε συσχέτιση με τις διαπιστώσεις από μία σειρά πειραμάτων στα ζώα^{216,229,230}, που έχουν ήδη αναφερθεί, προκύπτουν κρίσιμα συμπεράσματα. Αξιώνοντας, λοιπόν, ότι η κατάσταση εστίασης της εικόνας στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς καθορίζει έστω, εν μέρει, την διαθλαστική εξέλιξη, προκύπτει ότι ύπαρξη περιφερικής υπερμετρωπίας επιδρά στην οφθαλμική ανάπτυξη, πυροδοτώντας μία τάση αύξησης του αξονικού μήκους, μέχρι να ταυτιστεί ο περιφερικός αμφιβληστροειδής με το εστιακό επίπεδο και να επιτευχθεί εστίαση του ειδώλου στην περιφέρεια (εικόνα 27). Επιπροσθέτως, περιορισμοί στο μοτίβο σύμφωνα με το οποίο δύναται να επέλθει μεταβολή του οφθαλμικού σχήματος, γίνεται σαφές, ότι μπορεί να διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο. Παράγοντες, δηλαδή όπως η ενδοφθάλμια πίεση και οι μηχανικές ιδιότητες του Σκληρού, είναι δυνατόν να επιβάλλουν τέτοιο μοντέλο οφθαλμικού ανασχηματισμού και ανάπτυξης κατά την διαδικασία εστίασης του ειδώλου στην περιφέρεια στην περίπτωση ύπαρξης RPRE, που να προκρίνει την ανάπτυξη μυωπίας στην fovea. Συνοψίζοντας τα καίρια σημεία του ανωτέρου μηχανισμού, παρουσία, λοιπόν, περιφερικής υπερμετρωπίας, το είδωλο στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς βρίσκεται οπισθίως του αμφιβληστροειδούς, γεγονός που πιθανότατα δημιουργεί ένα τοπικό αμφιβληστροειδικό σήμα, το οποίο με την σειρά του πυροδοτεί την κατάλληλη αύξηση στην ανάπτυξη ώστε να επιτευχθεί η εστίαση στην περιφέρεια. Στο σημείο αυτό, όμως, υπεισέρχονται περιορισμοί στο οφθαλμικό σχήμα, οι οποίοι προδιαθέτουν για την παράλληλη αύξηση του αξονικού μήκους και την εμφάνιση αξονικής μυωπίας. Διατυπώνεται, τέλος, η υπόθεση ότι ένας ποιοτικά ταυτόσημος μηχανισμός με αυτόν στους νεαρούς πιλότους, δύναται να βρίσκει εφαρμογή στα παιδιά.¹⁸³



ΕΙΚΟΝΑ27:ΕΠΙΔΡΑΣΗΤΗΣΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΥΠΕΡΜΕΤΡΩΠΙΑΣΣΕ ΕΜΜΕΤΡΩΠΙΚΟ ΟΦΘΑΛΜΟ¹⁸³

Αποτυπώνεται το σχηματικό διάγραμμα της επιρροής που ασκεί η περιφερική υπερμετρωπική αφεστίαση στην οφθαλμική ανάπτυξη και διαθλαστική εξέλιξη ενός οφθαλμού που εκκινεί ως κεντρικά εμμετρωπικός. Λαμβάνει χώρα ανάπτυξη του οφθαλμού και αξονική επιμήκυνση (μαύρη διακεκομμένη γραμμή), κατά τρόπο ώστε να επιτευχθεί εστίαση του ειδώλου σε κάποιο έκκεντρο σημείο του αμφιβληστροειδούς. Απότοκος της ανωτέρω διαδικασίας είναι η πρόκληση αξονικής μυωπίας. (από εδώ και πέρα δικό μου, δεν είμαι πολύ σίγουρος?). Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά την επιφάνεια του ειδώλου για την βέλτιστη διόρθωση (best-sphere) της σφαιρικής αμετρωπίας της fovea. Καταδεικνύεται η υπερμετρωπική αφεστίαση στην περιφέρεια, παρουσία ευκρινούς ειδώλου στην fovea.

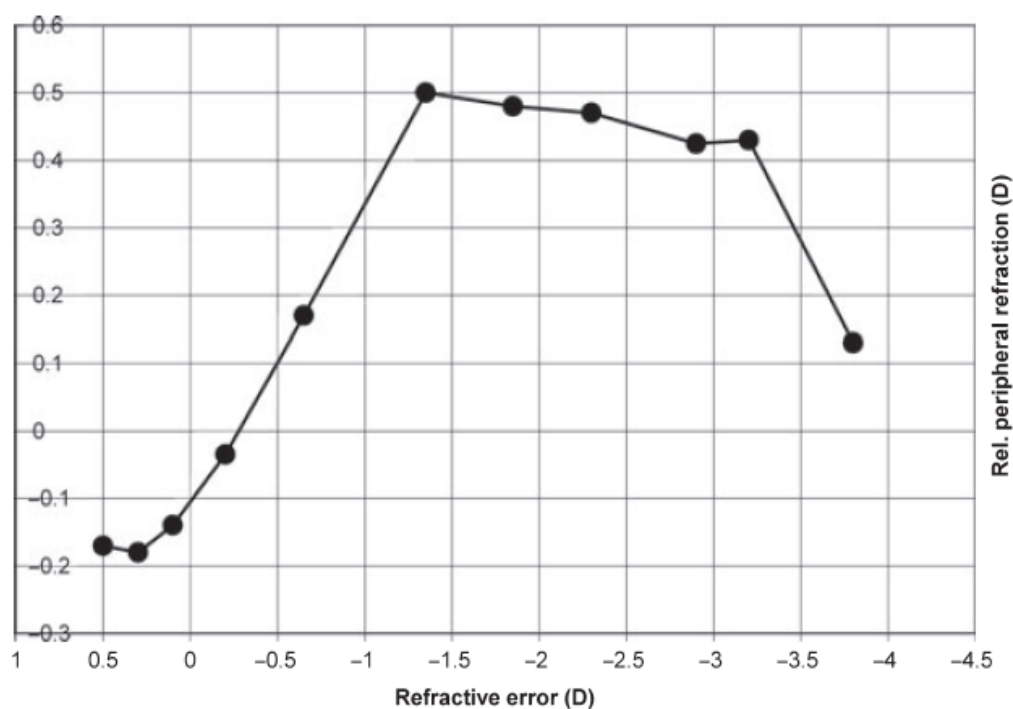
Είναι κρίσιμο δε να επισημανθεί σε κάθε περίπτωση, ότι το εκάστοτε πρότυπο που αξιοποιείται για την επεξήγηση του μηχανισμού δράσης του RPRE, οφείλει να υιοθετεί υποθέσεις όσον αφορά την σημαντικότητα του περιφερικού αμφιβληστροειδούς στον έλεγχο της οφθαλμικής ανάπτυξης και της διαθλαστικής εξέλιξης, συγκριτικά με την ισχύ του κεντρικού τμήματος. Ανάλογοι ισχυρισμοί επιβάλλονται και για τους πάσης φύσεως περιορισμούς στην αναπτυξιακή διαμόρφωση που μπορεί να λάβει ο οφθαλμός (π.χ. μηχανικές ιδιότητες). Καταλήγοντας σε μία γενίκευση επικεντρώνοντας στο δυναμικό και τα χαρακτηριστικά της οφθαλμικής ανάπτυξης, είναι δυνατό να διατυπωθεί η άποψη, ότι κατά την ανάπτυξη του οφθαλμού, δεν θεωρείται πιθανό να καταστεί εφικτή η ταυτόχρονη εστίαση του ειδώλου, κατά μήκος ολόκληρου του οπτικού πεδίου. Η θεωρία αυτή εισηγείται ότι η οριστική αύξηση στο αξονικό μήκος, ίσως, βασίζεται σε κάποιον Σταθμικό Μέσο των σημάτων αφεστίασης που πηγάζουν από διαφορετικά μέρη του αμφιβληστροειδούς. Από το ανωτέρω μοντέλο προκύπτουν δύο πιθανολογούμενα σενάρια: Στην περίπτωση που κυριαρχεί η ευκρινής απεικόνιση του ειδώλου στον κεντρικό αμφιβληστροειδή, η διαθλαστική κατάσταση στην περιφέρεια θα ασκεί αμελητέα επίδραση στην οφθαλμική ανάπτυξη και

διαθλαστική εξέλιξη. Σε αντιδιαστολή, εάν η περιφερική κατάσταση εστίασης του ειδώλου έχει ,έστω εν μέρει, βαρύνουσα σημασία στον καθορισμό της οριστικής συνολικής εστίασης, καθίσταται εφικτή η ερμηνεία των ευρημάτων που ήλθαν στο φως από τις μελέτες τις ανωτέρω μελέτες του 1971 και του 2007.¹⁸³ Ιδιαίτερα δε ενδιαφέρουσα, είναι η παρατήρηση της διαθλαστικής εξέλιξης, στην περίπτωση όπου σε έναν οφθαλμό, που σύμφωνα με το ανωτέρω μοντέλο αν και εκκίνησε ως εμμετρωπικός στηνφονεακατέστη αξονικά μυωπικός λόγω της περιφερικής υπερμετρωπικής αφεστίασης, επιχειρηθεί διόρθωση της προκύπτουσας αξονικής μυωπίας ,είτε με την χρήση γυαλιών ,είτε με την εφαρμογή φακών επαφής. Ο διορθωτικός φακός ο οποίος θα όφειλε να ήταν αρνητικής διαθλαστικής ισχύος, θα αποκαθιστούσε ναι μεν την εστίαση στον κεντρικό αμφιβληστροειδή μετακινώντας οπισθίως το εστιακό επίπεδο, θα επανέφερε δε τη υπερμετρωπική αφεστίαση στην περιφέρεια. Το τελικό αποτέλεσμα, θα ήταν περαιτέρω αθέμιτη αξονική επιμήκυνση και μυωπική μετατόπιση, σύμφωνα με την αναλυθέν πρότυπο δράσης του υπερμετρωπικού RPRE.

2.6.Η ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΥΠΕΡΜΕΤΡΩΠΙΑ ΩΣ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΟ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Μία διαφορετική προσέγγιση ως αντίλογος εμφανίζεται, όμως, ικανή να ανατρέψει τον ,ποιοτικώς ,εύλογο ρόλο της περιφερικής υπερμετρωπίας στην οφθαλμική ανάπτυξη και διαθλαστική εξέλιξη. Τα απαραίτητα στοιχεία πηγάζουν από μία ενδελεχέστερη αξιολόγηση της έρευνας του Mutti.¹⁹³ Συγκεκριμένα, από την άμεση αλληλοσυσχέτιση αυτήν την φορά, της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης με την αξονική διαθλαστική εξέλιξη στους εξεταζόμενους που εμφάνισαν κεντρική μυωπία (εικόνα 28). Κάθε σύμβολο στην εικόνα, αντιπροσωπεύει δεδομένα από έναν ετήσιο έλεγχο, με την χρονική ροή να είναι από αριστερά προς τα δεξιά. Αρχικά, η κάθε παράμετρος είχε αποτιμηθεί ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου (εικόνα 26). Προκύπτει, λοιπόν, από την εκ νέου μελέτη των δεδομένων, ότι είναι πιθανό στην πραγματικότητα, η πρόοδος προς την μυωπία, να προηγείται της ανάπτυξης σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας. Διατυπώνεται, επομένως, μία ισχυρή υπόθεση, σύμφωνα με την οποία, η ανάπτυξη αξιοπρόσεκτης σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, λαμβάνει χώρα, μόνο, αρκετά χρόνια μετά την έναρξη της μυωπικής προόδου. Αποτυπώνεται, δηλαδή, πλέον, η σχετική περιφερική υπερμετρωπία ως συνέπεια, παρά ως αιτία της μυωπικής εμφάνισης. Βέβαια, οφείλουν να ληφθούν υπ' όψιν ορισμένες επιφυλάξεις, που προέρχονται από την δυσκολία στάθμισης μεγάλων ποσοτήτων ατομικών δεδομένων. Άξια επισήμανσης είναι, τέλος , μία παρατηρηθείσα διαφοροποίηση στο προφίλ του σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος, ανάμεσα στις μελέτες των Hoogerheideetal και Mutti et al. Η ερευνητική ομάδα του 1971, εισηγήθηκε ότι η

γενική εμφάνιση του αρχικού μοντέλου περιφερικής διάθλασης (skigram) είναι έμφυτη στους ενήλικες που εξετάστηκαν και παραμένει, σε μεγάλο βαθμό, αμετάβλητη κατά την διάρκεια της ζωής, ειδικά όσον αφορά τον τύπο της (περιφερική υπερμετρωπία ή περιφερική μυωπία). Αντιθέτως, οι μελετητές του 2007, εξετάζοντας παιδιά, διαπίστωσαν αξιοπρόσεκτες μεταβολές της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης προϋόντος του χρόνου (εικόνα 26(b)). Μάλιστα, στα παιδιά που ανέπτυξαν μυωπία, γίνεται καταφανής, μία κορύφωση της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, στο χρονικό διάστημα που προηγείται της μυωπικής εμφάνισης.¹⁸³



ΕΙΚΟΝΑ 28: ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ¹⁸³

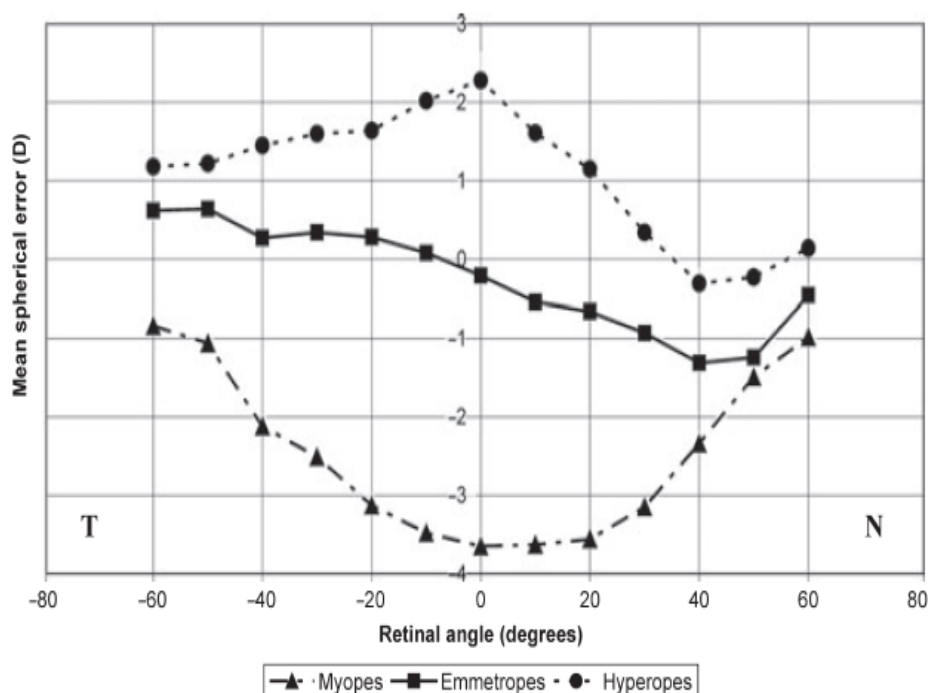
Το διάγραμμα αναπαριστά το σχετικό περιφερικό διαθλαστικό σφάλμα συναρτήσει της αξονικής διάθλασης στην ροή του χρόνου. Πρόκειται για δεδομένα που αντιστοιχούν στα παιδιά της έρευνας του Mutti (2007) τα οποία ανέπτυξαν μυωπία. Το κρίσιμο εύρημα έγκειται στην παρατήρηση ότι σημαντικά επίπεδα περιφερικής υπερμετρωπίας, παρατηρούνται, μόνο, μεταγενέστερα από την έναρξη της μυωπικής μετατόπισης. Μάλιστα, διακρίνεται εκκίνηση της προόδου προς την κατεύθυνση της μυωπίας, παρουσία στην περιφέρεια σχετικής μυωπίας.

Αναμφίβολα, οι έρευνες των Hoogerheide και Mutti στο ανθρώπινο γένος, συνηγορούν υπέρ μιας ισχυρής συσχέτισης μεταξύ της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας και της ανάπτυξης αξονικής μυωπίας. Η θεώρηση, όμως, που χρήζει περαιτέρω επαλήθευσης, είναι ο δυνητικός αιτιολογικός ρόλος επί την εμφάνιση της μυωπίας, που αποδίδεται στην σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Θα ήταν δυνατόν, η ανωτέρω περιφερική διαθλαστική κατάσταση σε οφθαλμούς που εμφανίζουν, εντέλει, κεντρική μυωπία, να παρουσιάζεται, αμιγώς, λόγω των ανατομικών χαρακτηριστικών του οφθαλμού. Η σχετική περιφερική υπερμετρωπία, δηλαδή, δύναται να συνοδεύει ένα πιο prolate ή ένα λιγότερο oblate οφθαλμικό σχήμα. Αυτό το πρότυπο σχήματος του οφθαλμού, είναι πιθανό με την σειρά του, λόγω, ίσως, μηχανικών οφθαλμικών παραμέτρων, να καταστήσει έναν αρχικά εμμετρωπικό οφθαλμό πιο ευάλωτο σε επαυξημένη οφθαλμική επιμήκυνση και, κατ' επέκταση, σε ανάπτυξη αξονικής μυωπίας.¹⁸³

2.7.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΕ ΠΡΟΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΑΜΕΤΡΩΠΙΑ

Επιδιώκοντας την διερεύνηση της φύσης του ρόλου της περιφερικής διάθλασης παρουσία διαθλαστικού σφάλματος, αξίζει να επισημανθεί η κοινή πεποίθηση, ότι το μοντέλο της περιφερικής διάθλασης παρουσιάζει διαφοροποιήσεις στους ενήλικες, ανάμεσα στις διαφορετικές αμετρωπικές ομάδες. Το 1981 απαντάται η έρευνα του Millodot σε ομάδες ενηλίκων, διαφορετικής κατηγορίας διαθλαστικού σφάλματος. Διαπιστώθηκε ότι για γωνίες πεδίου σε ένα εύρος το ελάχιστο έως 30 μοίρες εκκεντρότητας, οι υπερμετρωπικοί οφθαλμοί παρουσίαζαν μία ροπή προς σχετική περιφερική μυωπία εν συγκρίσει με την αξονική διάθλαση, και στις δύο λοξές αστιγματικές επιφάνειες του ειδώλου. Σε αντιδιαστολή, οι μυωπικοί οφθαλμοί έτειναν προς την σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Στην εμμετρωπική ομάδα, τέλος, παρατηρήθηκε ότι οι δύο αστιγματικές επιφάνειες απεικόνισης κείτονταν σε αντίθετες πλευρές του αμφιβληστροειδούς. Αποτυπώνοντας τα δεδομένα της μελέτης με όρους μέσης ισοδυναμίου σφαιρικής διόρθωσης (MeanEquivalentSphericalCorrection), δηλαδή βέλτιστης διόρθωσης σφαιρώματος, διαμορφώνεται η γραφική παράσταση της εικόνας 29. Απεικονίζει το μέσο διαθλαστικό σφάλμα συναρτήσεως της αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας, για τις 3 διαθλαστικές ομάδες οι οποίες αναφέρθησαν ανωτέρω. Στο σχήμα γίνονται διακριτά ορισμένα στοιχεία που χρήζουν ιδιαίτερης αναφοράς: Καταδεικνύεται, λοιπόν, μία ασυμμετρία στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση, ανάμεσα στον κροταφικό και ρινικό αμφιβληστροειδή. Επιπροσθέτως, καθίσταται ευδιάκριτη μία τάση σύγκλισης των διαφορετικών, ανάμεσα στις 3 ομάδες, προτύπων περιφερικής διάθλασης, τόσο κροταφικά, όσο και ρινικά, καθώς η γωνία πεδίου αυξάνεται. Επισημαίνεται, επιπλέον, ότι για εκκεντρότητα < 10 μοίρες, το σχετικό περιφερικό

σφάλμα βρίσκεται σε ασήμαντα επίπεδα.¹⁸³ Τα αποτελέσματα μίας σειράς ερευνών είναι σύμφωνα με τα δεδομένα που απορρέουν από την μελέτη του Millodot. Ορισμένες, μάλιστα, κατέγραψαν διαφοροποιήσεις στο μοτίβο της περιφερικής διάθλασης κατά μήκος διαφορετικών μεσημβρινών.^{254,255}



ΕΙΚΟΝΑ 29: ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ¹⁸³

Σκιαγραφούνται οι μεταβολές στο μέσο σφαιρικό διαθλαστικό σφάλμα που επέρχονται με την αλλαγή της γωνίας πεδίου, στις 3 ομάδες διαφορετικής αξονικής διάθλασης. Στην μελέτη του Millodot η διαθλαστική κατάσταση ορίσθηκε ως ακολούθως: Μυωπία, -1,00 έως -7,87 D. Εμμετρωπία, -0,99 έως +0,74 D. Υπερμετρωπία, +0,75 έως +4,50 D. Διακρίνεται η παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας εν συγκρίσει με την κεντρική διάθλαση στην μυωπική ομάδα και σχετικής περιφερικής μυωπίας στους υπερμέτρωπες. N (Nasal): ρινικός και T (Temporal): κροταφικός αμφιβληστροειδής.

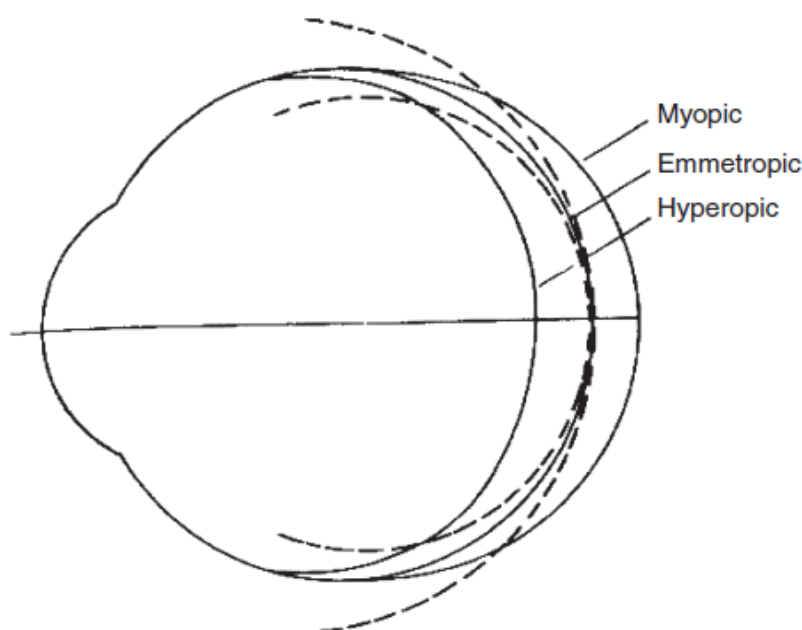
Οι εξελίξεις στα τεχνολογικά διαθέσιμα μέσα, προσφέρουν, επιπλέον, πληροφορίες. Σε έρευνα του 2009 (Taberner και Schaeffel), χρησιμοποιήθηκε φωτοδιαθλασίμετρο σάρωσης (scanning photorefractor), για να επιτευχθεί η συνεχής καταγραφή των μοντέλων περιφερικής διάθλασης κατά μήκος του κατακόρυφου μεσημβρινού της κόρης. Απεδείχθη ότι οι μύωπες, ακόμα και αυτοί που εμφανίζουν μετρίου βαθμού διαθλαστικό σφάλμα, παρουσιάζουν πιο ακανόνιστο σχήμα στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς. Ένα σημαντικό και ενδιαφέρον εύρημα του Taberner, για το οποίο έχει γίνει ήδη μνεία αναλυτικά, είναι η αλλαγή που επέρχεται στην περιφερική διάθλαση, όταν επιχειρείται οπτική διόρθωση της μυωπίας με συμβατικά γυαλιά, που φέρουν φακούς αρνητικής διαθλαστικής ισχύος. Η ανωτέρω παραδοσιακή θεραπευτική στρατηγική οδηγεί

στην εισαγωγή στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς σημαντικού μεγέθους σχετικής υπερμετρωπίας.²⁵⁶ Να σημειωθεί δε , ότι υπήρξε και μία έρευνα του 2007 (Calver), η οποία είναι η μοναδική που δεν κατέδειξε ισχυρές διαφοροποιήσεις στο πρότυπο της περιφερικής διάθλασης, ανάμεσα σε ομάδες διαφορετικής διαθλαστικής κατάστασης (υπερμέτρωπες, μύωπες και εμμέτρωπες). Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί ότι στην ανωτέρω μελέτη, για την διόρθωση της μυωπίας, έγινε χρήση κατασκευασμένων κατά παραγγελία δοκιμαστικών φακών.²⁰²

ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΩΝ CHARMANKAIJENNINGS

Το διακύβευμα εντέλει της αναλυθείσας διαφοροποίησης στα μοντέλα περιφερικής διάθλασης ανάμεσα σε ομάδες διαφορετικής αξονικής διαθλαστικής κατάστασης, έγκειται στο πώς μεταφράζονται αυτά τα διακριτά πρότυπα επί υπάρχουσας αμετρωπίας. Προμηνύουν, δηλαδή, επικείμενη διαθλαστική μεταβολή (σύμφωνα με την εισήγηση του Hoogerheide)ή ,αντιθέτως, αποτελούν χαρακτηριστικό ανατομικό γνώρισμα οφθαλμών, οι οποίοι ήδη έχουν αποπερατώσει την διαθλαστική τους ανάπτυξη. Κατ' ουσία, πρόκειται για το θεμελιώδες ερώτημα, εάν η περιφερική διαθλαστική κατάσταση αποτελεί παράγοντα πυροδότησης της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης ή , σε αντιδιαστολή, εμφανίζεται ως συνέπεια του εκάστοτε μοτίβου αξονικής διάθλασης. Οι Charmankai Jennings,μόλις ένα χρόνο μετά από την έρευνα του Millodot (1981), εισήγαγαν ένα ιδιαίτερος απλοϊκό μοντέλο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της.²⁵⁷ Εφαλτήριο του μοτίβου που πρότειναν ,αποτελέσει η θεμέλιος γνώση , ότι , κατά κανόνα , η ύπαρξη αμετρωπίας συνοδεύεται από μεταβολές στο αξονικό μήκος του οφθαλμού²⁵⁸ (μικρότερα οφθαλμικά αξονικά μήκη στην υπερμετρωπία, μακρύτεροι οφθαλμοί στην μυωπία). Σύμφωνα με το πρότυπό τους (εικόνα 30) ,λοιπόν, το πρόσθιο τμήμα του αμφιβληστροειδούς έως περίπου τον ισημερινό, δεν παρουσίαζε εξάρτηση από την αμετρωπία. Ανεξάρτητα από το διαθλαστικό σφάλμα, ήταν και οι αστιγματικές απεικονίσεις του ειδώλου μαζί με το <<καλούπι>> της εικόνας του ειδώλου που απορρέει από το μέσο σφαίρωμα . Αντιθέτως, το οπίσθιο τμήμα του οφθαλμού, διαφοροποιείτο συναρτήσει του αξονικού μήκους. Συγκεκριμένα, στους εμμέτρωπες αντιστοιχούσε σε σφαίρα ($Q = 0$), στους μύωπες σε prolateελλειψοειδές ($-1 < Q < 0$) και στους υπερμέτρωπες σε oblateελλειψοειδές ($Q < 0$). Τα τρία ,επομένως, μοντέλα οφθαλμού χαρακτηρίζονταν από ταυτόσημα πρόσθια διαθλαστικά συστατικά, αλλά διαφορετικά αξονικά μήκη.²⁵⁷ Συνηγορητικές υπέρ της ανωτέρω πρότασης των Charmankai Jennings για την οφθαλμική διαμόρφωση, υπήρξαν μεταγενέστερες έρευνες ,βασιζόμενες στην μαγνητική τομογραφία συντονισμού.¹⁸³

Βέβαια, χρήζουν της προσοχής, οι διαπιστώσεις στις οποίες κατέληξε ο Atchison, αξιοποιώντας την MRI. Παρατήρησε ότι είναι πιθανές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο μεσημβρινό. Το πλέον δε αξιοπρόσεκτο, ήταν η θεώρηση που διατύπωσε, σύμφωνα με την οποία, το σχήμα του αμφιβληστροειδούς, τόσο στους εμμέτρους σε μεγαλύτερο βαθμό, όσο και στους μύopes σε μικρότερο, είναι στην πραγματικότητα, oblate.¹⁵⁹ Το περιγραφέν υπόδειγμα των Charman και Jennings, παρέχει, επιπροσθέτως, όπως καθίσταται ευκρινές στην εικόνα 30, φυσική ερμηνεία του φαινομένου σύγκλισης των περιφερικών προτύπων διάθλασης στις ομάδες διαφορετικής αξονικής αμετρίας, το οποίο λαμβάνει χώρα με την αύξηση της εκκεντρότητας. Το κρίσιμο στοιχείο, εν κατακλείδι, στο ανωτέρω θεωρητικό μοντέλο, είναι ότι προκρίνει περισσότερο την θεωρία της ύπαρξης μίας συσχέτισης της περιφερικής διάθλασης με την αξονική, παρά την αντίληψη για αιτιολογική επίδραση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη.¹⁸³



ΕΙΚΟΝΑ 30: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΩΝ ATCHISON ΚΑΙ JENNINGS¹⁸³

Το σχήμα απεικονίζει τα 3 θεωρητικά οφθαλμικά πρότυπα, που διαφοροποιούνται, μόνο, ως προς το αξονικό μήκος, ενώ τα πρόσθια διαθλαστικά χαρακτηριστικά είναι ταυτόσημα. Διακρίνονται οι λοξές αστιγματικές επιφάνειες του ειδώλου (διακεκομμένες γραμμές), οι οποίες συμπίπτουν για τις 3 οφθαλμικές κατηγορίες. Να επισημανθεί ότι, κατά κανόνα, η εφαπτομενική επιφάνεια (tangential), κείται προσθίως της οβελιαίας (sagittal). Παρά την ταύτιση, όμως, των διαθλαστικών συστατικών, τα διαφορετικά αξονικά μήκη δεν επιτρέπουν την ταύτιση του εστιακού επιπέδου με τον αμφιβληστροειδή στα μοτίβα με το μακρύτερο και το βραχύτερο αξονικό μήκος, οδηγώντας σε μυωπία και υπερμετρωπία αντίστοιχα. Παρατηρείται, επιπροσθέτως, σε μεγάλες γωνίες πεδίου σύγκλιση των 3 αμφιβληστροειδικών προτύπων, με αποτέλεσμα στις ανωτέρω περιοχές, να συμπίπτουν οι περιφερικές διαθλαστικές τους καταστάσεις

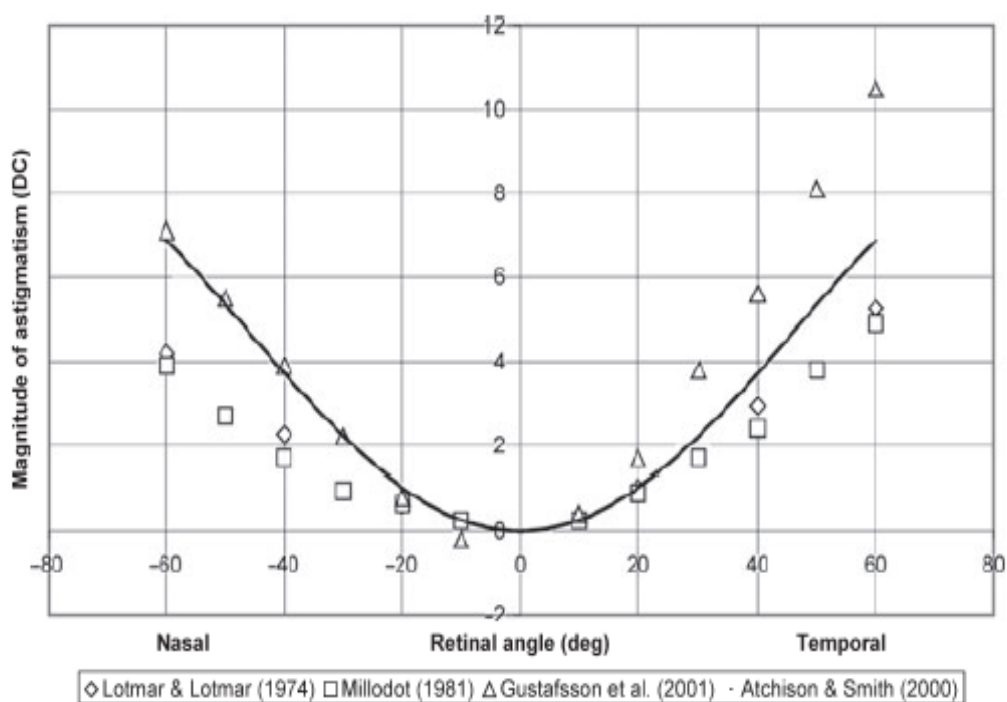
Διευρύνοντας την αναζήτηση δεδομένων για την αιτιολογική ή μη φύση του μηχανισμού με τον οποίον η περιφερική διάθλαση σχετίζεται με την αξονική διαθλαστική εξέλιξη, χρήσιμη είναι η παράθεση ορισμένων εικασιών. Εάν, λοιπόν, η παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας συνεπαγόταν πάντοτε κεντρική μυωπική μετατόπιση, η διόρθωση της αξονικής μυωπίας θα οδηγούσε σε μία αέναη διαδικασία αύξησης της μυωπίας, τουλάχιστον έως την έναρξη της ενήλικης ζωής. Θα δημιουργείτο, δηλαδή, ένας φαύλος κύκλος, καθώς η οπτική αξονική διόρθωση, θα επέφερε εκ νέου στην περιφέρεια την παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας και το μοντέλο θα διαιωνιζόταν επ' άπειρον. Επιπλέον, υπάρχουν στοιχεία που αποδεικνύουν, ότι ένας ,ιδιαιτέρως, περιορισμένος αριθμός εμμετρωπικών και μυωπικών οφθαλμών με σχετική περιφερική υπερμετρωπία ,θα εμφανίσουν ,τελικά, αξονική μυωπική εξέλιξη. Παραδείγματος χάριν, το ανωτέρω μέγεθος κυμάνθηκε στην έρευνα του Hoogerheide στους εκπαιδευόμενους πιλότους, περίπου στο 10% επί του συνόλου των εμμετρωπικών και μυωπικών οφθαλμών.¹⁸³ Η θεωρία που προκρίνεται, επομένως, κάνει λόγο για την ύπαρξη μία ειδικής υποκατηγορίας εντός των εμμετρωπικών και μυωπικών οφθαλμών , η οποία χαρακτηρίζεται από ένα, πιο prolate ή σε μικρότερο βαθμό oblate, οφθαλμικό σχήμα. Η συγκεκριμένη υποκατηγορία οφθαλμών, είναι αυτή που αντιμετωπίζει τον μεγαλύτερο κίνδυνο ανάπτυξης μυωπίας. Μάλιστα, όταν επέλθει η μυωπική μετατόπιση, η αξονική επιμήκυνση ,εν συνεχεία, επιβραδύνεται.

2.8.Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΥ

Οι γενικές μορφές των προτύπων περιφερικής διάθλασης που συνοδεύουν την αξονική διαθλαστική κατάσταση παρουσία αμετρωπίας, πηγάζουν από την διερεύνηση της διαθλαστικής συνιστώσας του σφαιρώματος (μυωπία, υπερμετρωπία). Για την απόκτηση μίας πιο ολοκληρωμένης αντίληψης, κρίσιμη είναι και η αποσαφήνιση της κυλινδρικής παραμέτρου (αστιγματισμός) της διάθλασης. Μάλιστα, πειράματα σε ζώα υπογραμμίζουν την σημασία της μελέτης του μοντέλου διαμόρφωσης του αστιγματισμού κατά μήκος του οπτικού πεδίου, καθώς απεδείχθη, τουλάχιστον σε ορισμένες μελέτες ότι η εισαγωγή κυλινδρικού σφάλματος είναι σε θέση να επιδράσει στην διαθλαστική εξέλιξη. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογή κυλινδρικών φακών σε οφθαλμούς αναπτυσσόμενων κοτόπουλων απέφερε συγκεχυμένες πληροφορίες. Αναλυτικά, σε πειραματική έρευνα του 1995, διαπιστώθηκε μία μερική αντισταθμιστική ανάπτυξη αστιγματισμού. Μάλιστα, το δυναμικό της αντιστάθμισης, παρουσίαζε διαφοροποίηση συναρτήσει του προσανατολισμού του άξονα του κυλινδρικού φακού. Σε αντιδιαστολή, μελέτη του 1997 δεν κατέδειξε αστιγματική αντιρρόπηση στον αναπτυσσόμενο οφθαλμό. Κατεγράφη πραγματοποίηση της εμμετρωποιοτικής διαδικασίας για τα κοτόπουλα, στον μεσημβρινό με την μεγαλύτερη μυωπική αφεστίαση, ανεξαρτήτως του κυλινδρικού άξονα. Άξιο επισημάνσης είναι ,τέλος, το γεγονός, ότι στο σύνολο των μελετών που έγινε χρήση κυλινδρικών φακών, η διακύμανση ανάμεσα στα πειραματόζωα ήταν μεγαλύτερη εν συγκρίσει με τα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν σφαιρικοί φακοί.¹⁸³

Αν και η επιρροή του αστιγματισμού καθορίζεται από τον βαθμό του αξονικού αστιγματισμού, ο περιφερικός αστιγματισμός προσεγγίζει τον λοξό, με τις δύο εστιακές γραμμές (κάθετες μεταξύ τους), να είναι πάντοτε ακτινικές (radial) ή εφαπτόμενες (tangential) ως προς τον άξονα. Το μέγεθος του αστιγματισμού $A(\theta)$ είναι δυνατόν να προσεγγισθεί για ένα εύρος εκκεντρότητας έως 60 μοίρες , μέσω της ακόλουθης εξίσωσης η οποία εισήχθη το 2000 και θεμελιώθηκε από πειραματικές μελέτες: $A(\theta) = 2,66 \times 10^{-3} \theta^2 - 2,09 \times 10^{-7} \theta^4$, με το $A(\theta)$ να αντιπροσωπεύει διοπτρίες κυλινδρικού σφάλματος (DC), ενώ το θ να αντιστοιχεί σε μοίρες γωνίας πεδίου. Το αξιοσημείωτο στοιχείο που προκύπτει από την ανωτέρω εξίσωση, έγκειται στην επικράτηση του όρου δευτέρας τάξεως που διέπει το μεγαλύτερο τμήμα του αμφιβληστροειδούς. Απότοκος αυτής της κυριαρχίας είναι μία σταθερή αύξηση του αστιγματισμού έως μία τιμή περί τις 7 DC, η οποία απαντάται όταν η γωνία πεδίου ισούται με 60 μοίρες ($\theta = 60$ degrees). Σύμφωνα με την εξίσωση, επομένως, καθώς η εκκεντρότητα αυξάνει, και ο αστιγματισμός, με την σειρά του, αυξάνεται σε μέγεθος, ακολουθώντας ,σχεδόν, ένα μοντέλο παραβολής. Επιπροσθέτως, δεν υπάρχει μοναδική επιφάνεια του ειδώλου στην οποία να είναι εφικτό να τεθεί σε εφαρμογή κάποια τοπική διαδικασία εμμετρωποίησης.²⁵⁹ O Millodot, εξάλλου, είχε εισηγηθεί από το 1981, ότι η

αμετρωπία επιφέρει αμελητέες διαφοροποιήσεις στο μέγεθος του αστιγματισμού. Αναφορικά με την συσχέτιση σφαιρώματος και κυλίνδρου, έχουν διατυπωθεί ορισμένες απόψεις. Συγκεκριμένα, δεδομένα από πειράματα σε ζώα, προκρίνουν ένα πρότυπο οφθαλμικής ανάπτυξης που να ευνοεί την πιο μυωπική, εφαπτομενική επιφάνεια του ειδώλου (tangentialfocalline), παρά την ισοδύναμη απεικόνιση σφαιρώματος. Προτείνουν, επίσης, ότι η ύπαρξη αστιγματισμού δύναται να καταστήσει ευμετάβλητη την οριστική διαθλαστική κατάσταση.^{260,261} Τέλος, υπό την προϋπόθεση ότι η οφθαλμική ανάπτυξη λαμβάνει χώρα κατά τρόπο ώστε, η, πιο περιστροφικά συμμετρική, Συνάρτηση Διασποράς Σημείου(PointSpreadFunction–αντιπροσωπεύει την κατανομή της σχηματιζόμενης στον αμφιβληστροειδή φωτεινής κηλίδας κατά την παρατήρηση μίας σημειακής πηγής) να ταυτιστεί με τον αμφιβληστροειδή, εξάγεται μία επιπλέον πληροφορία. Δηλαδή, λόγω της ελλειπτικότητας της off-axisκόρης, δύναται η ανωτέρω ταύτιση να επιτυγχάνεται σε ένα ελαφρώς διαφορετικό επίπεδο ειδώλου, συγκριτικά με αυτό που υποδεικνύεται από το μέσο σφαιρικό ισοδύναμο.²⁶²

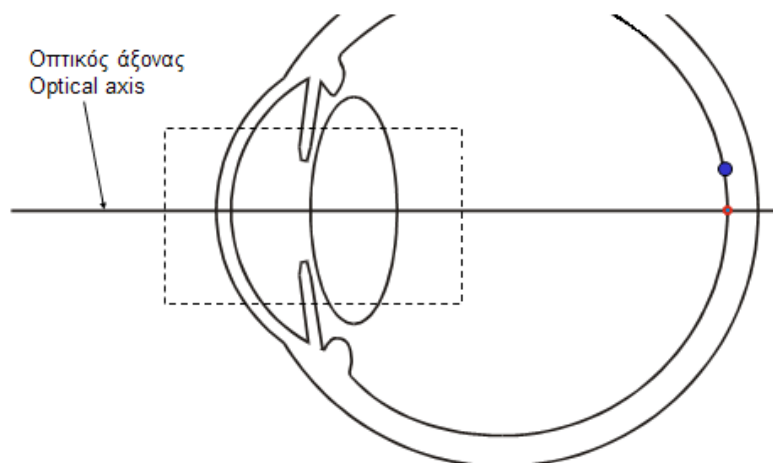


ΕΙΚΟΝΑ 31: ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΥ¹⁸³

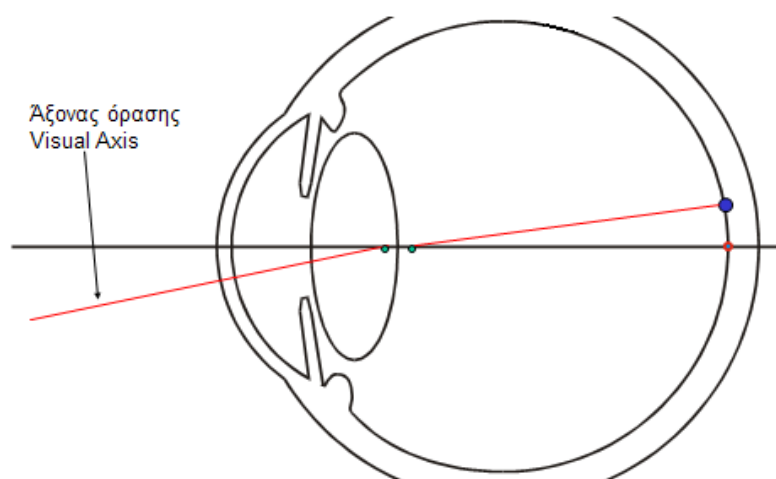
Η γραφική παράσταση αποτυπώνει το μέγεθος του αστιγματισμού κατά μήκος του οριζόντιου μεσημβρινού, συναρτήσει της εκκεντρότητας του αμφιβληστροειδούς. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται αποτελούν τον μέσο όρο, που προέρχεται από ξεχωριστές μελέτες. Συγκεκριμένα, την έρευνα των Lotmar και Lotmar σε 363 οφθαλμούς ενηλίκων αμετρικών αρρένων, την μελέτη του Millodot σε 62 αμετρικούς ενήλικους οφθαλμούς, και, τέλος, την έρευνα του Gustafsson σε 20 εμμέτρους ενήλικες. Η συνεχής καμπύλη αποτελεί την απεικόνιση που αντιστοιχεί στην εξίσωση των Atchison και Smith για τον αστιγματισμό η οποία έχει παρατεθεί και εξηγηθεί ανωτέρω. Διακρίνεται από το διάγραμμα, το γενικό μοντέλο της συμμετρικής αύξησης του μεγέθους του αστιγματισμού, που συνοδεύει την αντίστοιχη αύξηση της γωνίας πεδίου. Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση της ύπαρξης ελαφρώς υψηλότερων τιμών του αστιγματισμού στον κροταφικό αμφιβληστροειδή και, κατ' επέκταση, στο ρινικό οπτικό πεδίο.

Το γενικευμένο πρότυπο για την κατανομή του αστιγματισμού (εικόνα 31), εισηγείται την ύπαρξη συμμετρίας ως προς τον Άξονα της Όρασης. Στην πραγματικότητα, όμως, παρατηρούνται αποκλίσεις από το μοντέλο συμμετρίας, οι οποίες ποικίλουν συναρτήσει των διαφορετικών μεσημβρινών. Πιθανότατα, οι παράμετροι της εξατομικευμένης αξονικής διάθλασης και της ηλικίας διαδραματίζουν, επιπροσθέτως, έναν ρόλο στην ασύμμετρη διαμόρφωση του αστιγματισμού.²⁶³ Η ερμηνεία των ανωτέρω παρεκκλίσεων θα καθίστατο εφικτή, εάν το οπτικό σύστημα του οφθαλμού είναι περιστροφικά συμμετρικό γύρω από τον Οπτικό Άξονα (Optical Axis). Περιλαμβάνει τα κέντρα καμπυλότητας των επιφανειών και αποτελεί κατά βέλτιστη προσέγγιση τον άξονα συμμετρίας του οπτικού συστήματος. Στην εικόνα 32 διακρίνεται η τομή του οπτικού άξονα με τον αμφιβληστροειδή λίγες μοίρες ρινικότερα και ανώτερα από την fovea, στην οποία διασταυρώνεται ο αμφιβληστροειδής με τον Άξονα της Όρασης (Visual Axis). Ο Άξονας της Όρασης διέρχεται από το αντικείμενο ενδιαφέροντος και κατευθύνεται στο κεντρικό βοθρίο μέσω των δεσμικών σημείων.²⁶⁴

A)



B)



ΕΙΚΟΝΑ 32: ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

Στο σχήμα A απεικονίζεται ο Οπτικός Άξονας, ο οποίος αποτελεί τον άξονα συμμετρίας του οπτικού συστήματος του οφθαλμού. Ο Άξονας Όρασης (B) διέρχεται από το αντικείμενο ενδιαφέροντος, καθώς και από τα δεσμικά σημεία του οφθαλμού. Οι δύο άξονες διαφέρουν, επιπροσθέτως, και ως προς το σημείο διατομής του αμφιβληστροειδούς. Ο Άξονας Όρασης τον τέμνει στο κεντρικό βοθρίο, κροταφικά και κάτω, συγκριτικά με το σημείο διασταύρωσης του Οπτικού Άξονα με τον αμφιβληστροειδή.

Στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, η παρουσία λοξού αστιγματισμού, αποτελεί ένα ακανόνιστο στοιχείο οπτικού σφάλματος (odd-error cue), δυνάμενου να συνεισφέρει στο σήμα της αφεστίασης.²⁶⁵ Επιπρόσθετοι παράμετροι που είναι δυνατόν να παρέχουν οπτικές πληροφορίες για την υποκίνηση της θόλωσης στην περιφέρεια, αποτελούν οι μονοχρωματικές (π.χ. κόμη, σφαιρική εκτροπή, καμπύλωση πεδίου, παραμόρφωση) και χρωματικές εκτροπές (πιο πρόσθια εστίαση των ακτινών με μικρότερα μήκη κύματος, λόγω του μεγαλύτερου δείκτη διάθλασης που έχουν). Σε κάθε περίπτωση, η δυνητική συμβολή του λοξού αστιγματισμού σε πιθανολογούμενους γενεσιουργούς μηχανισμούς της μυωπίας που εμπλέκουν τον περιφερικό αμφιβληστροειδή, μένει να αποσαφηνιστεί. Μάλιστα, διακρίνεται ευκρινώς στην εικόνα 31, ότι το μέγεθος του αστιγματισμού για γωνίες εκκεντρότητας 30 μοιρών, προσεγγίζει, ήδη, τις 2 DC (DioptersCylinder – Κυλινδρικές Διοπτρίες). Προκύπτει, επομένως, η σημαντική διαπίστωση ότι στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, λόγω της παρουσίας υψηλού αστιγματισμού, θα όφειλε να υπάρχει, πάντοτε, αξιοπρόσεκτη θόλωση της εικόνας, ανεξαρτήτως του επιπέδου εστίασης (δηλαδή, ανεξαρτήτως της σφαιρικής αμετρωπίας). Εάν ευσταθεί η ανωτέρω θεώρηση, γίνεται καταφανές, ότι εξασθενεί η υπόθεση για έναν κυρίαρχο ρόλο του περιφερικού αμφιβληστροειδούς, στην ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης και της αξονικής διαθλαστικής εξέλιξης. Τα πειραματικά δεδομένα, τέλος, δεν καταδεικνύουν σημαντική διαφοροποίηση στο μέγεθος του λοξού αστιγματισμού, ανάμεσα σε διαφορετικές διαθλαστικές ομάδες.¹⁸³ Στα

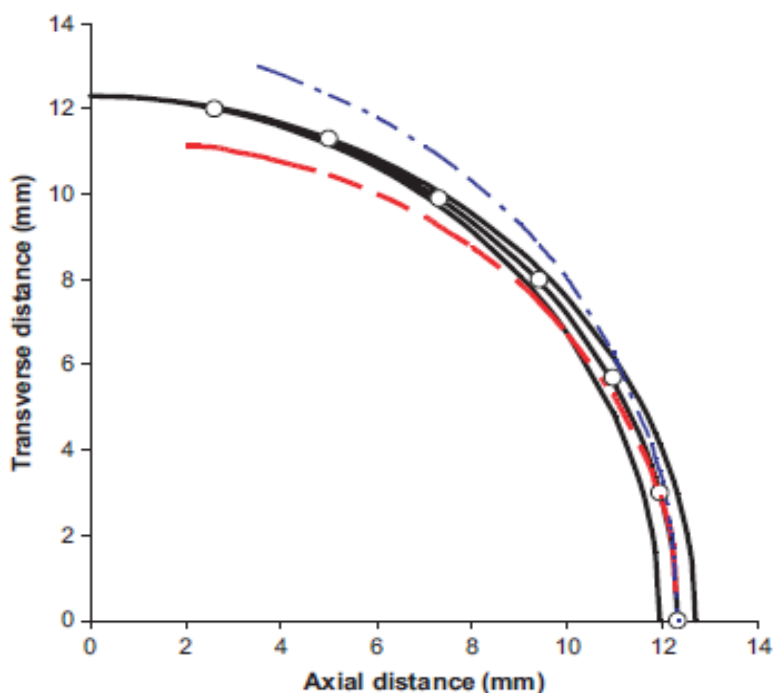
παιδιά, όμως, έχει καταγραφεί σε έρευνα του 2000, η ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ του υψηλού αξονικού αστιγματισμού και της ανάπτυξης μυωπίας.²⁶⁶

Η ΕΙΣΗΓΗΣΗ ΤΟΥ HOWLAND

Κομβικό σημείο στην αποτίμηση της περιφερικής διάθλασης συναρτήσει της αστιγματικής συνιστώσας, αποτελεί η αποκαλούμενη <<Εισηγήση του Howland>> (Howland's suggestion - 2010), σύμφωνα με την οποία τα σήματα για την υλοποίηση της κατάλληλης οφθαλμικής ανάπτυξης, δύναται να εξάγονται από τον οφθαλμικό λοξό αστιγματισμό (όταν οι δύο κύριοι μεσημβρινοί, με την μέγιστη και την ελάχιστη διαθλαστική ισχύ, κάθετοι μεταξύ τους, προσεγγίζουν τις 45 και 135 μοίρες). Ο Howland, λοιπόν, αναπτύσσοντας το σκεπτικό του, επισήμανε, ότι οι οφθαλμοί παρουσιάζουν το καθολικό χαρακτηριστικό των οπτικών συστημάτων, υποφέρουν, δηλαδή, από λοξό αστιγματισμό. Από την εξίσωση των Atchison και Smith, μάλιστα, είναι δυνατόν να ληφθούν πληροφορίες για το διοπτρικό μέγεθος του λοξού αστιγματισμού. Συγκεκριμένα, διακυμαίνεται συναρτήσει του τετραγώνου της γωνίας πεδίου και ανέρχεται περίπου στις 7 DC για εκκεντρότητα 60 μοιρών. Επομένως, για κάθε σημείο στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς δεν υπάρχει μοναδική επιφάνεια του ειδώλου, αλλά, αντιθέτως, διαμορφώνονται δύο επιφάνειες. Η πρόσθια αντιστοιχεί στην εφαπτόμενη (tangential), εστιακή γραμμή του ειδώλου ακτινική οβελιαία (radial or sagittal) εστιακή γραμμή του ειδώλου, ενώ η οπίσθια επιφάνεια αντιπροσωπεύει την ακτινική οβελιαία (radial or sagittal) εστιακή γραμμή του ειδώλου. Χρήζει επισήμανσης δε το γεγονός, ότι, παρ' όλο που, για λόγους διευκόλυνσης, γίνεται, συχνά, συμβατική χρήση των όρων σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας και μυωπίας, οι ανωτέρω έννοιες αντιστοιχούν στο σφαιρικό ισοδύναμο της διάθλασης, χωρίς να υποδηλώνουν την ύπαρξη μοναδικής επιφάνειας του ειδώλου.²⁶⁷

Ο Howland, βασιζόμενος στα ανωτέρω δεδομένα, εισηγήθηκε ότι η Εμμετροποιητική διαδικασία, υπό φυσιολογικές συνθήκες, κάνει χρήση της σχετικής θέσης ως προς τον αμφιβληστροειδή, των δύο αστιγματικών επιφανειών του ειδώλου, για να ρυθμίσει, καταλλήλως, την οφθαλμική ανάπτυξη.²⁶⁷ Ακόμα, σύμφωνα με την έρευνα του Passaglia το 2002 αφορούσα την επιλεκτικότητα στον προσανατολισμό των Γαγγλιακών κυττάρων στους αμφιβληστροειδείς των πρωτεύοντων, έκανε αποδεκτή την παρουσία στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, νευρώνων συντονισμένων στον προσανατολισμό της δομής του ειδώλου. Υπέθεσε, επομένως, ότι υπάρχει ένα λεπτομερές αμφιβληστροειδικό κύκλωμα, το οποίο καθιστά εφικτή την τοπική σύγκριση των εξαγόμενων δεδομένων, ανάμεσα στους νευρώνες οι οποίοι είναι συντονισμένοι στις άκρες ή σε δομές προσανατολισμένες ακτινικά και στους νευρώνες τους συντονισμένους σε εφαπτομενικές δομές (κάθετες στον μεσημβρινό του πεδίου).²⁶⁸

Η εικόνα 33 αποσαφηνίζει το ανωτέρω θεωρητικό μοντέλο. Απεικονίζεται η συσχέτιση των δύο αστιγματικών επιφανειών του ειδώλου, συναρτήσει των τόξων του οριζόντιου ρινικού αμφιβληστροειδούς για τρεις διαφορετικούς οφθαλμούς. Σε αυτούς περιλαμβάνεται ένας οφθαλμός εμμετρικός (σφαιρικός αμφιβληστροειδής), ένας υπερμετρικός κατά 1 D (μειωμένο αξονικό μήκος) και ,τέλος, ένας οφθαλμός με 1 D μυωπία. Αξιώνεται ότι και οι τρεις οφθαλμοί έχουν ταυτόσημη εγκάρσια (transverse) ημιδιάμετρο. Επομένως, το οπίσθιο τμήμα του βολβού θα αντιπροσωπεύει για τον μυωπικό (μακρύ) οφθαλμό ένα prolateελλειψοειδές, ενώ για τον υπερμετρικό (βραχύ) οφθαλμό ένα oblateελλειψοειδές. Επιπροσθέτως, γίνεται η παραδοχή ότι τα πρόσθια οπτικά στοιχεία των οφθαλμών παραμένουν αμετάβλητα και, κατ' επέκταση, και οι διαμορφούμενες επιφάνειες του ειδώλου. Επίσης, οι δύο αστιγματικές επιφάνειες αντιστοιχούν στις προκύπτουσες από την εξίσωση για τον λοξό αστιγματισμό των Atchison και Smith, ενώ οι κενοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν γωνιακές διατομές του σφαιρικού αμφιβληστροειδούς, μεσοδιαστήματος 10 μοιρών. Αναλύοντας το γράφημα, καταδεικνύεται ότι στην περίπτωση του υπερμετρικού οφθαλμού, για ένα εύρος γωνιών πεδίου, η εφαπτομενική (tangential) επιφάνεια του ειδώλου, θα βρίσκεται εγγύτερα της οβελιαίας (sagittal), με αποτέλεσμα την υπερίσχυση των νευρώνων που είναι συντονισμένοι σε δομές προσανατολισμένες εφαπτομενικά. Παρουσία μίας τέτοιας διαμόρφωσης θα επέρχεται επιτάχυνση της οφθαλμικής ανάπτυξης. Το εκ διαμέτρου αντίθετο θα λάβει χώρα στον μυωπικό οφθαλμό, με τον αμφιβληστροειδή να παρουσιάζει μεγαλύτερη εγγύτητα ως προς την οβελιαία επιφάνεια του ειδώλου, γεγονός που συνεπάγεται την επικράτηση των sagittalνευρώνων έναντι των tangential. Η διάθρωση αυτή θα οδηγούσε, με την σειρά της, στην επιβράδυνση της οφθαλμικής ανάπτυξης. Μόνο όταν οι δύο αστιγματικές επιφάνειες του ειδώλου περιβάλλουν συμμετρικά, κατά προσέγγιση, τον αμφιβληστροειδή, θα λάβει χώρα η φυσιολογικού ρυθμού οφθαλμική ανάπτυξη και ο οφθαλμός θα διατηρηθεί εμμετρικός.³⁰ Εξάγεται, λοιπόν, το συμπέρασμα, ότι το μέσο σφαιρικό σφάλμα, όπως άλλωστε έχει διαπιστωθεί στην πράξη, οφείλει να είναι μηδενικό ή ,σχεδόν, μηδενικό κατά μήκος του οπτικού πεδίου των εμμετρικών οφθαλμών.²⁶⁹



ΕΙΚΟΝΑ 33: ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ ΤΟΥ HOWLAND³⁰

Το σχήμα απεικονίζει την εφαπτομενική (κόκκινη γραμμή) και την οβελιαία (μπλε γραμμή) επιφάνεια του ειδώλου, σε σχέση με το σχήμα του οριζόντιου ρινικού αμφιβληστροειδούς σε έναν εμμετρικό, έναν υπερμετρικό και έναν μυωπικό οφθαλμό. Ο βραχύς, υπερμετρικός οφθαλμός, αντιπροσωπεύεται από οβλατελλειψοειδές σχήμα αμφιβληστροειδούς, ενώ ο μακρύς, μυωπικός οφθαλμός αντιστοιχεί σε προλατελλειψοειδές αμφιβληστροειδικό σχήμα. Ο αμφιβληστροειδής του εμμετρικού οφθαλμού αποτυπώνεται ως σφαίρα. Οι κύκλοι αποτελούν γωνιακές διατομές του σφαιρικού αμφιβληστροειδούς, αντιστοιχούσες στις 0, 10, 20, 30, 40, 50 και 60 μοίρες του πεδίου. Αναλόγως με το ποια από τις δύο αστιγματικές επιφάνειες του ειδώλου βρίσκεται εγγύτερα στον αμφιβληστροειδή του οφθαλμού της εκάστοτε διαθλαστικής κατηγορίας (μυωπία, υπερμετρωπία), υπερσχύει ο αντίστοιχος πληθυσμός νευρώνων, ο συντονισμένος στις δομές με τον επικρατή προσανατολισμό. Συναρτήσει της έκβασης της <<μάχης>> ανάμεσα στους tangential και sagittal νευρώνες, πυροδοτείται, ακολούθως, η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση του ρυθμού της οφθαλμικής ανάπτυξης. Στην περίπτωση δε, που οι δύο αστιγματικές επιφάνειες περιβάλλουν συμμετρικά τον εκάστοτε αμφιβληστροειδή, λαμβάνει χώρα φυσιολογικού ρυθμού οφθαλμική ανάπτυξη, με αποτέλεσμα την εμμετρωπία του οφθαλμού.

Το προτεινόμενο μοντέλο του Howland, όμως, δεν σταθμίζει την παράμετρο της δυνητικής διαφοροποίησης της βαρύτητας με την οποία επιδρούν οι διαφορετικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς στην ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης και της διαθλαστικής κατεύθυνσης. Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, για μία σταθερή αύξηση της γωνίας πεδίου, η δακτυλιοειδής περιοχή του αμφιβληστροειδούς αυξάνεται γραμμικά συναρτήσει της γωνίας. Το γεγονός αυτό εισηγείται, ότι οι πιο περιφερικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς, δύναται να είναι οι πλέον σημαντικές. Επιπροσθέτως, η υιοθέτηση μίας απλουστευτικής λογικής, σύμφωνα με την οποία, αποκλειστικά το οπίσθιο τμήμα του οφθαλμικού βολβού διαφοροποιείται με την ανάπτυξη, ενώ το πρόσθιο παραμένει αμετάβλητο σε

μορφή, οδηγεί σε υποβάθμιση της σημαντικότητας των πιο ακραίων περιοχών της περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς. Συγκεκριμένα, η αποδοχή του ανωτέρω απλοϊκού σκεπτικού, συνεπάγεται ότι η Χωρική Θέση των ακραίων περιφερικών αμφιβληστροειδικών περιοχών, παραμένει ανεπηρέαστη από την διάθλαση και για αυτόν τον λόγο οι παραπάνω περιοχές δεν είναι σε θέση να συμμετέχουν στον καθορισμό της οφθαλμικής ανάπτυξης και της οριστικής διάθλασης. Μάλιστα, μελετώντας το διάγραμμα της εικόνας 33, καταδεικνύεται ότι η αναφερόμενη έλλειψη ευαισθησίας στα ακρότερα τμήματα της περιφέρειας, καταγράφεται πιθανότατα για γωνίες πεδίου ≥ 50 μοιρών. Ακόμα, διαπιστώνεται από το σχήμα αναφορικά με το μέγεθος του λοξού αστιγματισμού, ότι κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα για γωνίες πεδίου ≤ 15 μοιρών. Τα ανωτέρω στοιχεία συνηγορούν υπέρ της θεώρησης, ότι η μέγιστη αποτελεσματικότητα του υποθετικού μηχανισμού ρύθμισης της οφθαλμικής ανάπτυξης από τα σήματα του λοξού αστιγματισμού που πρότεινε ο Howland, αναμένεται να απαντάται στο εύρος γωνιών πεδίου μεταξύ 15 και 50 μοιρών.²⁶⁹⁻²⁷¹ Μέσα σε αυτό το γωνιακό εύρος, το μέγεθος του λοξού αστιγματισμού κυμαίνεται ανάμεσα στις 1 και 5 DC. Μάλιστα, είναι πιθανό, στο κέντρο του γωνιακού διαστήματος 15 – 50 μοιρών, να παρουσιάζει την πλέον βαρύνουσα σημαντικότητα ο προτεινόμενος μηχανισμός οφθαλμικής ανάπτυξης. Σε αντιδιαστολή με την προκύπτουσα, στον ανωτέρω συλλογισμό, απουσία επίδρασης της άκρας περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς, τα ήδη αναλυθέντα πειράματα του Smith, κατέδειξαν την σημαντικότητα των ακραίων περιοχών αμφιβληστροειδικής περιφέρειας. Κατεγράφη, δηλαδή, ότι στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, είτε η αποστέρηση του ερεθίσματος, είτε η πρόκληση με φακούς χειρισμού υπερμετρικής αφεστίασης, είχε ως αποτέλεσμα μη-φυσιολογική διαθλαστική ανάπτυξη, ακόμα και εν τη παρουσία άθικτου κεντρικού οπτικού πεδίου διαμέτρου έως, κατά προσέγγιση, 40 μοιρών.³⁰

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ HOWLAND ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ HOOGERHEIDE

Ο Hoogerheide, ως γνωστόν, εισηγήθηκε, εξετάζοντας νεαρούς εκπαιδευόμενους πιλότους, ότι εμμέτρως που παρουσίαζαν αρχικά περιφερική υπερμετρωπία, ήταν προδιατεθειμένοι για μετέπειτα εμφάνιση μυωπίας. Το ενδιαφέρον εύρημα, είναι η ερμηνεία που προσλαμβάνει η πρόταση του Hoogerheide, υπό το πρίσμα αποδοχής ορισμένων αξιώσεων. Έτσι, η υιοθέτηση της απλουστευτικής αντίληψης ότι όλοι οι νεαροί πιλότοι είχαν ταυτόσημα πρόσθια οπτικά στοιχεία, οδηγεί στην λογική συνεπαγωγή, ότι, θα είχαν, επιπροσθέτως, και όμοιες αστιγματικές επιφάνειες ειδώλου. Επομένως, η παρουσία σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας συνεπάγεται, ότι ο αντίστοιχος εμμετρωπικός οφθαλμός θα είχε αρχικά ένα πιο prolate σχήμα εν συγκρίσει με τους οφθαλμούς που χαρακτηρίζονταν από την ύπαρξη σχετικής περιφερικής μυωπίας (πιο oblate σχήμα).²⁷²⁻²⁷⁴ Εν κατακλείδι,

ακόμα και αν έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η φυσιολογική οφθαλμική ανάπτυξη (μέσω της εμμετροποιητικής διαδικασίας) για έναν ενήλικο οφθαλμό, η παρουσία υπερμετρωπικής αφεστίασης στην περιφέρεια, πιθανότατα, δύναται να πυροδοτήσει περεταίρω ανάπτυξη (επιμήκυνση). Αντιθέτως, η ύπαρξη σχετικής περιφερικής μυωπίας, δεν διαθέτει το δυναμικό αναστροφής της ανάπτυξης που ήδη έχει λάβει χώρα (δηλαδή, δεν δύναται να μειώσει το ήδη οριστικοποιημένο οφθαλμικό μήκος, που καθορίζεται με την ολοκλήρωση της οφθαλμικής ανάπτυξης).³⁰

2.9.ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΦΕΣΤΙΑΣΗΣ

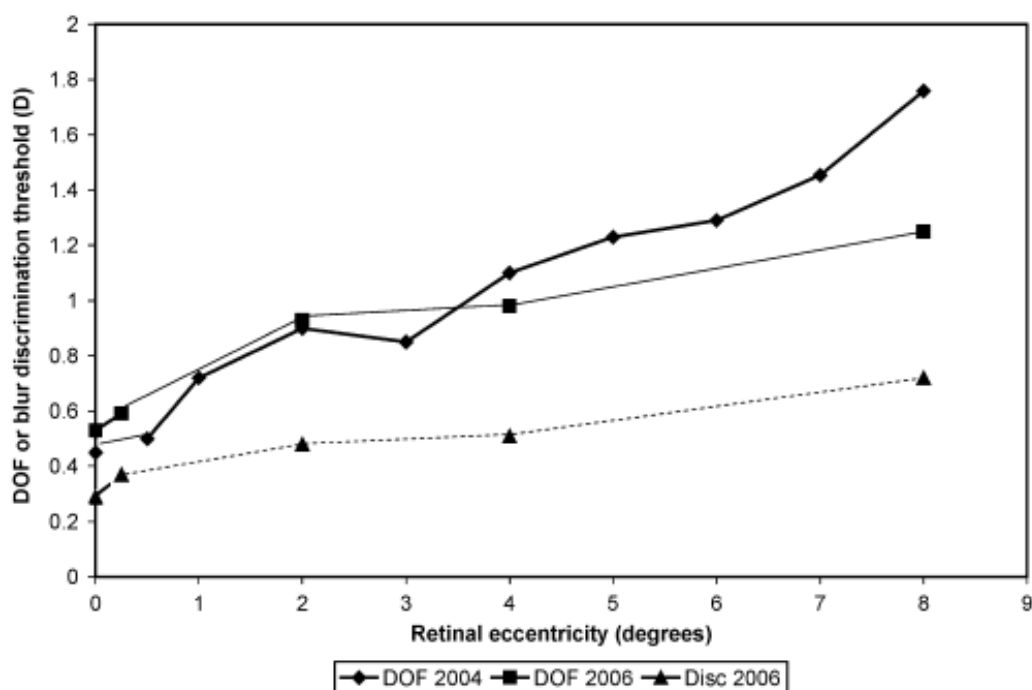
Σε κάθε περίπτωση, για να ευσταθεί ο δυναμικός ρόλος της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη ενός σήματος αφεστίασης το οποίο θα πηγάζει από την περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς και θα διαθέτει την αναγκαία ισχύ, ώστε να πυροδοτήσει μεταβολές στην οφθαλμική ανάπτυξη και, κατ' επέκταση, στην αξονική διαθλαστική εξέλιξη. Εγείρεται, επομένως, ως φυσικό επακόλουθο, το ερώτημα αναφορικά με το δυναμικό ευαισθησίας του περιφερικού οπτικού συστήματος, να ανιχνεύει και να αποκρίνεται σε σήματα θόλωσης (blur). Στα ζώα έχουν διεξαχθεί πειράματα, όπως έχει αναφερθεί για την διερεύνηση της διαθλαστικής εξέλιξης, παρουσία βλάβης στο οπτικό νεύρο. Στο ανθρώπινο γένος, όμως, δεν υπάρχουν διαθέσιμες παρεμφερείς μελέτες. Ίσως, θα είχε κλινική σημαντικότητα, η υλοποίηση έρευνας σε ασθενείς με συγγενείς ανωμαλίες του οπτικού νεύρου (π.χ. ανωμαλίες μεγέθους και διαταραχές διάπλασης), σε, κατά τα άλλα, φυσιολογικούς οφθαλμούς. Επομένως, δεν είναι εφικτή στον ανθρώπινο αμφιβληστροειδή, η άμεση αποτίμηση της ευαισθησίας που παρουσιάζει σε σήματα αφεστίασης, σε εστιακό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά, τα πειράματα στα ζώα καταδεικνύουν, ότι τα ανώτερα κέντρα απαρτίωσης της οπτικής πληροφορίας στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ρυθμίζουν έστω και δευτερευόντως, στο επίπεδο του εξειδικευμένου, πιο εκλεπτυσμένου, ελέγχου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, την οριστική διαθλαστική εξέλιξη. Άρα, κρίσιμη είναι και η στροφή του ενδιαφέροντος προς την κατεύθυνση, της εκτίμησης της ολικής ευαισθησίας του οπτικού συστήματος στην θόλωση της εικόνας.¹⁸³

1.ΒΑΘΟΣ ΕΣΤΙΑΣ (DEPTH-OF-FOCUS): ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΘΟΛΩΣΗ

Η αποτίμηση του Βάθους Εστίας (Depth-of-Focus), αποτελεί την κλασσική μέθοδο αξιολόγησης της ευαισθησίας του οπτικού συστήματος στην αφεστίαση της εικόνας. Ορίζεται ως η απαραίτητη διοπτρική μεταβολή στην εστίαση του σφαιρώματος, ώστε να προκληθεί μόλις ανιχνεύσιμη θόλωση, σε μία αρχικά εστιασμένη εικόνα. Ένας εναλλακτικός ορισμός προσδιορίζει το Ολικό Βάθος Εστίας, ως το διοπτρικό διάστημα ανάμεσα στην θετική και αρνητική εστιακή θέση, για μόλις ανιχνεύσιμη αφεστίαση. Κατ' ουσία, δηλαδή, το Βάθος Εστίας αντιπροσωπεύει την διοπτρικό διάστημα από την βέλτιστη εστίαση έως την εστίαση στην οποία η θόλωση είναι μόλις ανιχνεύσιμη. Διερευνώντας την περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, πρέπει να επισημανθεί, ότι απαντάται σημαντικού μεγέθους αστιγματισμός, ο οποίος, μάλιστα, όπως υποδεικνύει η ανωτέρω περιγραφείσα εξίσωση των Atchison και Smith, αυξάνει περίπου συναρτήσεως του τετραγώνου της γωνίας εκκεντρότητας (παραβολική καμπύλη). Επομένως, θα ήταν εφικτή η ανίχνευση της θόλωσης της εικόνας στην περιφέρεια. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχουν επαρκή πειραματικά δεδομένα για την εκτίμηση της παραμέτρου του αστιγματισμού, καθώς και άλλων εκτροπών, που είναι δυνατόν να διαδραματίζουν κάποιον ρόλο στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς.¹⁸³

Επιχειρώντας, τώρα, να αξιολογήσουμε τον δείκτη Βάθος Εστίας (DOF) στην περιφέρεια, συναντάμε περιορισμένο αριθμό ερευνητικών προσπαθειών. Μελέτη του 1975 προσδιόρισε σημαντικό μέγεθος διοπτριών για τον DOF σε ένα εύρος εκκεντρότητας εκτεινόμενο από τις 7 έως τις 60 μοίρες. Όμως, η έρευνα πραγματοποιήθηκε με στόχους που αναβόσβηναν, αντιστοιχώντας περισσότερο σε μία διαδικασία ανίχνευσης, παρά σε αξιολόγηση της θόλωσης της εικόνας.²⁷⁵ Επιπλέον, την περασμένη δεκαετία, οι Wang και Ciuffreda (2004), διερεύνησαν το Βάθος Εστίας, τόσο στο κέντρο, όσο και στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς (εικόνα 34). Χρησιμοποίησαν το λευκό χείλος ενός κυκλικού μαύρου διαφράγματος, η ακτίνα του οποίου κυμαινόταν από 0,5 έως 8 μοίρες. Η διάμετρος της κόρης ήταν 5 mm και ο περιβάλλων χώρος σκοτεινός. Διαπίστωσαν ότι Ολικό Βάθος Εστίας, δηλαδή περίπου το διπλάσιο του δυνάμενου να ανιχνευθεί σφάλματος εστίασης, κυμαινόταν σε 0,9D στην fovea, έως 3,5 D για την γωνία πεδίου των 8 μοιρών. Με την αύξηση της εκκεντρότητας, δηλαδή, αυξάνεται η διοπτρική απόσταση από την βέλτιστη εστίαση έως την εστίαση που καθιστά εφικτή μόλις ανιχνεύσιμη την θόλωση. Προσδιόρισαν δε, ακολουθώντας παρεμφερή μεθοδολογία (2006), την ουδό ανίχνευσης της θόλωσης (blur detection) και, επιπροσθέτως, διερεύνησαν την ικανότητα ανίχνευσης, αυτήν την φορά, αλλαγών στην θόλωση (blur discrimination). Κατέγραψαν τόσο για την ουδό της blur detection, όσο και για αυτήν της blur discrimination, μία αύξηση κατά ένα παράγοντα που προσέγγιζε το 2, κατά μήκος του εύρους πεδίου που εξετάστηκε (0 έως 8 μοίρες). Μάλιστα, η ουδός

ανίχνευσης της θόλωσης, δηλαδή το ήμισυ των διοπτριών του Ολικού Βάθους Εστίας, ανερχόταν για την γωνία εκκεντρότητας 8 μοιρών περίπου στις 1,25 D. Τα ανωτέρω δεδομένα συνηγορούν υπέρ του ακόλουθου συμπεράσματος: Καθίσταται, δηλαδή, εμφανές ότι η ανίχνευση, σε συνειδητό επίπεδο, της αφεστίασης στα όρια των στόχων, είναι πιθανότατα ανεπαρκής για εκκεντρότητες που υπερβαίνουν τις 10 μοίρες, καθώς θα αξίωνε ένα κατώφλι ανίχνευσης ανώτερο των 1,25 D. Η πλέον ιδιάζουσα πληροφορία, όμως, που απορρέει από τις ανωτέρω έρευνες των Wang και Ciuffreda, έγκειται στην διαπίστωση, ότι η ουδός για την blur discrimination είναι χαμηλότερη από την ουδό για την blur detection. Όπως αποτυπώνεται και στην εικόνα 34 δηλαδή, το διοπτρικό κατώφλι ανίχνευσης αλλαγής στην αφεστίαση, είναι χαμηλότερο από το από το διοπτρικό σφάλμα εστίασης, που απαιτείται για να καταστεί μόλις ανιχνεύσιμη η αφεστίαση. Το ανωτέρω εύρημα εισηγείται, ότι διοπτρικές μεταβολές στην εστίαση, ακόμα και χαμηλότερου βαθμού από τις τυπικές διοπτρικές απαιτήσεις του Βάθους Εστίας, θα ήταν δυνατόν να είναι ανιχνεύσιμες, υπό την προϋπόθεση ότι η εικόνα θα είναι, ήδη, ελαφρώς αφεστιασμένη.²⁷⁶⁻²⁷⁸



ΕΙΚΟΝΑ34: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ¹⁸³

Το διάγραμμα αναπαριστά τον δείκτη Βάθους Εστίας για εκκεντρότητες έως 8 μοίρες. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στις έρευνες των Wang και Ciuffreda, στα οποία έγινε χρήση κυκλικού διαφράγματος. Οι συνεχείς γραμμές απεικονίζουν την αύξηση του DOF συναρτήσει της εκκεντρότητας. Απαιτείται, επομένως, μεγαλύτερη διοπτρική μεταβολή από την βέλτιστα εστιασμένη εικόνα, στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς εν συγκρίσει με τον κεντρικό, ώστε να είναι δυνατή μόλις ανιχνεύσιμη θόλωση (blur detection). Η διακεκομμένη γραμμή, αντιπροσωπεύει την ουδό ανίχνευσης μεταβολών στην θόλωση (blur discrimination). Διακρίνεται ειδικά στην γραφική παράσταση, η άνοδος στο κατώφλι την blur discrimination, με την αύξηση της εκκεντρότητας, το οποίο παραμένει, όμως, χαμηλότερο από το αντίστοιχο για την blur detection.

Δυνητικές προεκτάσεις αναφορικά με την ευαισθησία στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, προκύπτουν και από την εξέταση της ευαισθησίας στην περιοχή της fovea. Συγκεκριμένα, στα τέλη της δεκαετίας του 1980, οι Walsh και Charman εισηγήθησαν ότι η ευαισθησία σε αλλαγές της εστίασης στην fovea, είναι πιθανό να κυριαρχείται από αρκετά χαμηλές Χωρικές Συχνότητες, οι οποίες προσεγγίζουν τους 5 cycles/degree (ένας κύκλος εκτείνεται για 360 μοίρες χωρικής φάσης). Οι Χωρικές Συχνότητες αποτελούν το χαρακτηριστικό του οπτικού κόσμου, στο οποίο ανταποκρίνονται περισσότερο οι νευρώνες στην οπτική οδό και στον ινιακό φλοιό. Προτείνεται, λοιπόν, ότι ακόμα χαμηλότερες Χωρικές Συχνότητες, δύνανται να διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο στην εγγύς περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς.²⁷⁹ Μάλιστα, οι Gu και Legge, διατύπωσαν το 1987 την αντίληψη, ότι η Χωρική Συχνότητα είναι πιθανό να προσεγγίζει ακόμα και τους 0,5 cycles/degree, για γωνία εκκεντρότητας 30 μοιρών.²⁸⁰ Μία σειρά μελετών, τέλος, στις οποίες υπήρχε διακύμανση στην διαθλαστική κατάσταση του περιφερικού αμφιβληστροειδούς, κατέδειξαν ότι στο εύρος εκκεντρότητας 10 έως 60 μοιρών, οι μεταβολές στην εστίαση του σφαιρώματος σε φυσιολογικά άτομα, διαθέτουν περιορισμένο δυναμικό επιρροής στην ικανότητα ανάλυσης της περιφέρειας. Διατυπώθηκε, όμως, η άποψη, ότι η ισχύς τους, ίσως, ενισχύεται σε εξεταζομένους με ελλείμματα του κεντρικού πεδίου.²⁸¹⁻²⁸⁴

Συνοψίζοντας, τα ανωτέρω στοιχεία υποδηλώνουν μία σχετική έλλειψη ευαισθησίας του περιφερικού αμφιβληστροειδούς στην ανίχνευση των σημάτων αφεστίασης. Μία τέτοια θεωρία θα κατέρριπτε τον δυνητικό ρόλο της περιφέρειας στην ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης και στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη, καθώς ο τελευταίος προϋποθέτει την αναγνώριση της θόλωσης της εικόνας από τον περιφερικό αμφιβληστροειδή και την απόκριση μέσω της δημιουργίας κατάλληλων σημάτων ελέγχου της ανάπτυξης του οφθαλμού. Μία πληθώρα μελετών, όμως, εκκινώντας ήδη από το 1971, διατυπώνουν την αντίληψη, ότι η ανίχνευση μοτίβων, κινήσεων και ερεθισμάτων που τρεμοσβήνουν, ίσως, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, από διοπτρικές αλλαγές στην εστίαση, μεγέθους έως μόλις 0,5 D, ακόμα και για εκκεντρότητες 20 – 30 μοιρών.^{285,286} Καταλήγουμε, επομένως, στο συμπέρασμα ότι σε πραγματικές συνθήκες, ένα μεγάλο εύρος οπτικών περιβαλλοντικών ερεθισμάτων, δύναται να παράσχει πληροφορίες εστίασης για τον περιφερικό αμφιβληστροειδή. Η ανωτέρω ουδός ευαισθησίας, μάλιστα, για την ανίχνευση της θόλωσης (0,5 D), προσεγγίζει το διοπτρικό μέγεθος της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπικής αφεστίασης στις 30 μοίρες εκκεντρότητας για τα παιδιά που εμφάνισαν μυωπία στην μελέτη του Mutti (2007). Άρα, θα ήταν εφικτή η επίτευξη της ουδού ανίχνευσης της θόλωσης στον περιφερικό αμφιβληστροειδή και η επακόλουθη παραγωγή σημάτων στην περιφέρεια για την ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης.¹⁸³

2.Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΩΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΘΟΛΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Σύμφωνα με την φυσιολογία του μηχανισμού της προσαρμογής, κατά την θέαση ενός εγγύς αντικειμένου από έναν νεανικό οφθαλμό, το σήμα αφεστίασης στην fovea, ενεργοποιεί την σύσπαση του ακτινωτού σώματος και την επακόλουθη χαλάρωση των ινών της Ζιννείου Ζώνης. Η προσαρμογή είναι φαινόμενο, δηλαδή αντανακλαστικό (φλοιώδες), και εκλύεται όταν η αμφιβληστροειδική απεικόνιση δεν είναι ευκρινής. Σκοπός η αύξηση της διοπτρικής ισχύος του οπτικού συστήματος, μέσω της σφαιρικότερης διαμόρφωσης του κρυσταλλοειδούς φακού, της αύξησης του πάχους στο κέντρο του και της αύξησης της καμπυλότητας των επιφανειών του, ώστε να επιτευχθεί η εκ νέου ευκρινής απεικόνιση του ειδώλου, κατά την προσήλωση σε κοντινό στόχο ενδιαφέροντος. Διερευνώντας, τώρα, την περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, εγείρεται το ζήτημα, εάν η περιφέρεια διαθέτει το δυναμικό, ώστε ερεθίσματα, αφεστιασμένοι δηλαδή στόχοι κοντινής θέασης, που πέφτουν κατά μήκος του περιφερικού πεδίου πεδίου, να πυροδοτούν προσαρμοστική απόκριση. Στην περίπτωση που η ανωτέρω εικασία ήταν αληθής, θα παρείχε μία απόδειξη ότι ο περιφερικός αμφιβληστροειδής είναι σε θέση να ανιχνεύει τα σήματα αφεστίασης και να συνεισφέρει αποφασιστικά στην ρύθμιση της οφθαλμικής ανάπτυξης και της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης (σύμφωνο και με την θεώρηση του Hoogerheide).

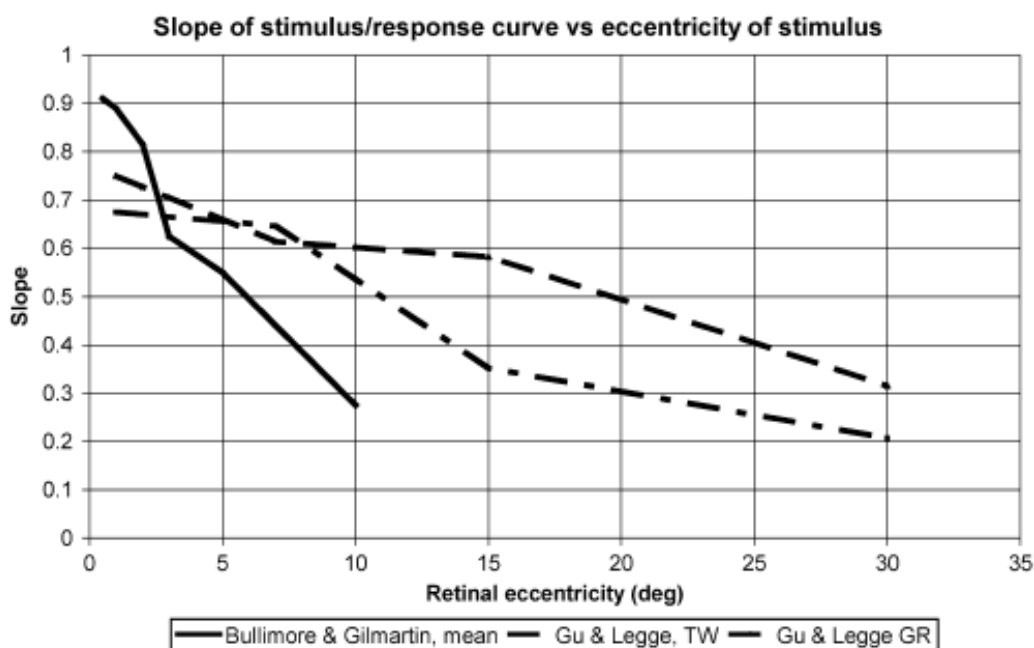
Τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα, αναφορικά, με την πιθανολογούμενη δυνατότητα του περιφερικού αμφιβληστροειδούς να εγείρει την λειτουργία της προσαρμογής, είναι διφορούμενα. Η πλειοψηφία των πρώιμων μελετών, εισηγούνται ότι η κεντρική περιοχή της fovea, αντιστοιχούσα σε 1 μοίρα Γωνίας Όρασης (η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ ειδώλου/αντικειμένου και των κομβικών σημείων του φακού), ελέγχει καθ' ολοκληρία τον μηχανισμό της προσαρμογής. Μόνο ερεθίσματα, δηλαδή, που εμπίπτουν στο ανωτέρω εύρος, είναι ικανά να ενεργοποιήσουν την προσαρμογή. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, το 1954 ο Campbell, διερεύνησε την ουδό φωτεινότητας για την έκλυση προσαρμοστικής απόκρισης. Κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι η προσαρμοστική λειτουργία καθοδηγείται από τα κωνία της fovea, ενώ τα ερεθίσματα στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς δεν είναι σε θέση να προκαλέσουν προσαρμοστική αντίδραση.²⁶⁵ Επιπρόσθετα, ο Fincham στην έρευνά του, διαπίστωσε ότι οι εξεταζόμενοι ενεργοποιούσαν την προσαρμογή για έναν λευκό στόχο διαμέτρου 10 arcmin (50 μm), μόνο όταν η απόκλιση της διεύθυνσης του βλέμματος τους από το αντικείμενο, ήταν μικρότερη από την διάμετρο του δίσκου.²⁸⁷ Παρεμφερείς, τέλος, απόψεις για τον αποκλειστικό ρόλο που διαδραματίζει η κεντρική περιοχή της fovea στην έκλυση της προσαρμογής, διατύπωσαν οι Cranek και Toates.^{288,289} Μάλιστα, η πλειοψηφία των ερευνών για την περιφερική διάθλαση, υποδεικνύουν ότι κατά μήκος των κεντρικών 10 degrees μεταβολή της

διαθλαστικής κατάστασης επέρχεται με βραδύ ρυθμό και είναι αυτή η περιοχή, εντός της οποίας, τα ερεθίσματα προσαρμογής παρουσιάζουν την μέγιστή τους επίδραση.¹⁸³

Διερευνώντας, εν συνεχεία, τον επιστημονικό αντίλογο, ένας αξιοπρόσεκτος αριθμός μελετών, παρέχει δεδομένα που συνηγορούν υπέρ της υπόθεσης, ότι και ερεθίσματα πέραν της κεντρικής περιοχής της fovea, είναι ικανά να ενεργοποιήσουν την προσαρμοστική διαδικασία. Η πρώτη από την σειρά των ερευνών, απαντάται το 1957. Ο Whiteside, για την μελέτη των προσαρμοστικών αποκρίσεων, χρησιμοποίησε ως ερεθίσματα στενούς λευκούς δακτυλίους σε σκοτεινό περιβάλλοντα χώρο. Παρατήρησε, ότι καθώς προσήλυναν οι εξεταζόμενοι στο κέντρο των δακτυλίων, επήλθε ενεργοποίηση της προσαρμογής για ακτίνες δακτυλίου έως, το ελάχιστο, 2,5 μοίρες.²⁹⁰ Μεταγενέστερα το 1987, οι Bullimore και Gilmartin, διεξήγαγαν μία πιο εκτεταμένη μελέτη. Συγκεκριμένα, οι στόχοι ως προς τους οποίους διερεύνησαν τις αποκρίσεις της προσαρμογής, αποτελούνταν από ομοιόμορφους λευκούς δίσκους έναντι μαύρου υποστρώματος, ενώ οι ακτίνες των δίσκων περιελάμβαναν γωνίες σε ένα εύρος 0,5 έως 10 μοιρών. Σύμφωνα με την μεθοδολογία που ακολούθησαν, οι εξεταζόμενοι καλούνταν να εστιάσουν στο κέντρο του κάθε δίσκου. Το μέγεθος που προσδιόρισαν, ήταν η κλίση της καμπύλης Προσαρμοστική Απόκριση \ Ερέθισμα, για ένα εύρος ερεθισμάτων 0 έως 4 D. Καθόρισαν, δηλαδή, των λόγο του μεγέθους της προσαρμογής που έλαβε χώρα για τις διάφορες γωνίες του χείλους των δίσκων, προς τις διοπτρικές προσαρμοστικές απαιτήσεις του εκάστοτε ερεθίσματος. Όσο μεγαλύτερη, επομένως, η παραπάνω αναλογία, τόσο ισχυρότερη η αντίστοιχη προσαρμοστική απόκριση. Κατέγραψαν μία διακύμανση της κλίσης από την μέγιστη τιμή του 0,9 (καθαρός αριθμός), αντιστοιχούσα σε αμφιβληστροειδική εκκεντρότητα στόχου 0,5 μοίρες για το χείλος του δίσκου, έως την ελάχιστη του 0,25 για εκκεντρότητα 10 μοιρών. Επιπλέον, διαπιστώθηκε σχεδόν γραμμική ταύτιση της κλίσης, με την Ελάχιστη Γωνία Ευκρίνειας (Minimum Angle of Resolution: η μικρότερη γωνία που επιτρέπει σε δύο σημεία στον χώρο να γίνονται αντιληπτά ως ξεχωριστά), για την ανάλογη τοποθεσία του αμφιβληστροειδούς στην οποία αντιστοιχούσε το περίγραμμα του χείλους του εκάστοτε δίσκου. Τα εξαγόμενα δεδομένα, που είναι ενδεικτικά της ισχύς του περιφερικού αμφιβληστροειδή, όσον αφορά την ανίχνευση της αφεστίασης, είναι δε συμβατά και με τα προαναφερθέντα στοιχεία που απορρέουν από την μελέτη του Βάθους Εστίας.^{291,292}

Την ίδια εποχή, οι Guck και Legge, επεδίωξαν, με την σειρά τους, την διερεύνηση της φυσιολογίας του μηχανισμού της προσαρμογής. Η διαφοροποίηση στο πείραμά τους, αφορούσε την χρήση μαύρων δίσκων, ακτίνας 1, 7, 15 και 30 μοιρών, ως στόχων έναντι ομοιόμορφου λευκού υποβάθρου, καθώς και η μεταβολή των διοπτρικών προσαρμοστικών ερεθισμάτων με την εφαρμογή αρνητικών φακών, οι οποίοι αύξαναν τις διοπτρικές προσαρμοστικές απαιτήσεις. Κατεδείχθη η παρουσία

προσαρμοστικής απόκρισης για όλους τους δίσκους, ακόμα και για γωνία αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας του χείλους του δίσκου, 30 μοιρών.²⁸⁰ Η εικόνα 35, συνοψίζει τα ανωτέρω δεδομένα που προέκυψαν από τις ερευνητικές προσπάθειες των Bullimore – Gilmartin και Gu – Legge. Τέλος, ένας περιορισμένος αριθμός δυναμικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την δεκαετία του 1980, εισηγήθηκαν ότι μία ταχεία προσαρμοστική απόκριση, δύναται να εκλυθεί, μόνο στην περίπτωση που η γωνία εκκεντρότητας του περιγράμματος του στόχου, δεν υπερβαίνει περίπου τις 10 μοίρες.¹⁸³



ΕΙΚΟΝΑ 35: ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ/ΕΡΕΘΙΣΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ¹⁸³

Η γραφική παράσταση απεικονίζει την κλίση της καμπύλης της αναλογίας του μεγέθους της προσαρμοστικής απόκρισης προς το διοπτρικό ερέθισμα προσαρμογής, καθώς αυξάνεται η εκκεντρότητα. Η συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο 7 ατόμων από την έρευνα των Bullimore και Gilmartin (στόχοι λευκοί δίσκοι σε μαύρο υπόστρωμα). Οι διακεκομμένες γραμμές, αντιστοιχούν στα δεδομένα 2 ατόμων, της σύγχρονης με την παραπάνω αναφερθείσα, μελέτη των Gu και Legge (ερεθίσματα μαύροι δίσκοι σε λευκό υπόβαθρο). Διακρίνεται στα αποτελέσματα και των 2 ερευνητικών ομάδων, η μείωση του μεγέθους της προσαρμοστικής απόκρισης συναρτήσει της αύξησης της εκκεντρότητας. Το κρίσιμο στοιχείο, όμως, που χρήζει ιδιαίτερης μνείας, είναι η καταγραφή προσαρμοστικής αντίδρασης, έστω εξασθενημένης, ακόμα και για τις πλέον έκκεντρες γωνίες του αμφιβληστροειδούς.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΥΔΟΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣ

Στρέφοντας το επίκεντρο της προσοχής, στην σύγκριση των δεικτών της Προσαρμογής και του Βάθους Εστίας, ως δυναμικών μέτρων του δυναμικού του περιφερικού αμφιβληστροειδούς να ανιχνεύει σήματα αφεστίασης, δεδομένα προκύπτουν από την μελέτη του κεντρικού αμφιβληστροειδούς. Όσον αφορά την όραση στην fovea (Άξονας Όρασης), έχει καταδειχθεί, ήδη, από τον Ludlam το 1968, ότι προσαρμοστική απόκριση δύναται να πυροδοτηθεί από αλλαγές μικρότερου διοπτρικού μεγέθους, εν συγκρίσει με την ουδό που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί μόλις ανιχνεύσιμη θόλωση της εικόνας. Η αναγκαία διοπτρική μεταβολή του ερεθίσματος για να ενεργοποιηθεί η προσαρμογή, προσδιορίσθηκε στις 0,1 D.²⁹³ Το ανωτέρω εύρημα, υποδηλώνει ότι ο αμφιβληστροειδής δύναται να αποκριθεί παρουσία επιπέδων αφεστίασης, σημαντικά χαμηλότερων, από αυτά που εκλύουν την συνειδητή αντίληψη της θόλωσης. Μάλιστα, οι Kotularkai Schor το 1986, προχώρησαν σε μία, επιπλέον, επισήμανση. Κατέδειξαν ότι για ένα ερέθισμα του οποίου η ισχύς μεταβαλλόταν ημιτονοειδώς, με χωρική συχνότητα 1 Hz και με πλάτος, μόλις, 0,12 D, η απαιτούμενου μεγέθους προσαρμοστική απόκριση λάμβανε χώρα. Δηλαδή, ένα ερέθισμα μέγιστου μεγέθους 0,12 D, ήταν επαρκές ώστε να υπερβεί την ουδό ενεργοποίησης της προσαρμογής και να εκλυθεί η απόκριση. Σε αντιδιαστολή, υπό κυκλοπληγία, δηλαδή υπό παράλυση του Ακτινωτού Μυός και, κατά συνέπεια, της Προσαρμογής, το αναγκαίο πλάτος του ερεθίσματος, για να υπερκεραστεί το κατώφλι και να επιτευχθεί αντιληπτή αναγνώριση της αφεστίασης, ανήλθε σε 0,18 D.²⁹⁴ Με βάση τα ανωτέρω ευρήματα, δύναται να διατυπωθεί η θεώρηση, ότι η περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, διαθέτει ανώτερη ευαισθησία στην θόλωση, συγκριτικά με αυτήν που υποδεικνύει η παράμετρος του Βάθους Εστίας.

Πρόσθετες μελέτες, παρέχουν την δυνατότητα αξιολόγησης της ευαισθησίας στην αφεστίαση και της δυναμικής προσαρμογής που λαμβάνει χώρα στον περιφερικό αμφιβληστροειδή, υπό ένα διαφορετικό πρίσμα. Πρόκειται για έρευνες της δεκαετίας του 1970. Συγκεκριμένα, οι Henessy και Leibowitz (1971) παρατήρησαν την προσαρμοστική απόκριση, κατά την θέαση από την fovea (κατά μήκος του άξονα της όρασης) ενός στόχου σταθερής απόστασης, μέσω ενός κυκλικού διαφράγματος μεταβαλλόμενης θέσης, σε ένα σκοτεινό περιβάλλον. Σκοπός της διάταξης ήταν η ενδεχόμενη δημιουργία συγχυτικών ερεθισμάτων προσαρμογής. Πράγματι, διαπιστώθηκε διακύμανση του μεγέθους ενεργοποίησης της προσαρμογής επί του στόχου κεντρικής θέασης, συναρτήσει της απόστασης του διαφράγματος. Μάλιστα, όσο εγγύτερα βρισκόταν το διάφραγμα προς τον οφθαλμό, προσομοιώνοντας κοντινότερη αποστολή θέασης, τόσο ισχυρότερη προσαρμοστική απόκριση εκλύονταν (π.χ. μεγαλύτερου μεγέθους αντίδραση προσαρμογής για διάφραγμα 1 μοίρας, συγκριτικά με διάφραγμα απόστασης 4 μοιρών).²⁹⁵

Επεκτείνοντας το πειραματικό πεδίο ο Henessy το 1975, χρησιμοποίησε δακτυλιοειδείς σχηματισμούς σε διαφορετικές αποστάσεις, για να επιτύχει συγχυτικές πληροφορίες προσαρμογής, ως προς κεντρικό στόχο θέασης. Η εσωτερική διάμετρος των δακτυλίων ήταν 5 ή 8 μοίρες και η εξωτερική 11,9 μοίρες. Επίσης οι δακτύλιοι, είτε ήταν μαύροι, είτε είχαν διαμόρφωση σκακιάρας με λευκά και μπλε τετράγωνα. Το ψηφιδωτό μοτίβο, παρατηρήθηκε να ασκεί ιδιαίτερως εντονότερη επίδραση επί της προσαρμογής στον κεντρικό στόχο, εν συγκρίσει με το μαύρο ομογενές μοντέλο. Η πιθανή ερμηνεία έγκειται, στην χωροδιάταξη των τετραγώνων εναλλασσόμενου χρώματος, η οποία παρέχει μεγαλύτερο πλήθος ορίων φωτεινότητας για την διεκπεραίωση αποστολών εστίασης.²⁹⁶ Εισηγήθηκε, δηλαδή, ο Henessy, ότι η το δυναμικό επιρροής των περιφερικών περιοχών του αμφιβληστροειδούς επί της προσαρμογής στον κεντρικό στόχο, ενισχύεται παρουσία περισσοτέρων περιγραμμάτων φωτεινότητας. Στον φυσικό κόσμο, μάλιστα τέτοια περιγράμματα, πιθανότατα, απαντώνται για όλες τις εκκεντρότητες του αμφιβληστροειδούς. Το προτεινόμενο μοντέλο, είναι σύμφωνο με την διατυπωθείσα αντίληψη, επικυρωμένη από την πλειοψηφία των μελετών, η οποία κάνει λόγο για πιθανή επίδραση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης επί της αξονικής εστίασης (κεντρικής διαθλαστικής κατάστασης), το ελάχιστο κατά μήκος των κεντρικών 10 degrees του οπτικού πεδίου. Η μέθοδος που ακολούθησε, ήταν η μεταβολή της απόστασης του ψηφιδωτού δακτυλίου ως προς τον κεντρικό στόχο προσήλωσης, με τον δακτύλιο και τον στόχο, επομένως, να αποτελούν ερεθίσματα διαφορετικών προσαρμοστικών απαιτήσεων. Κατέδειξε, ότι η ανωτέρω αλλαγή της θέσης του δακτυλίου, τροποποιούσε την προσαρμοστική απόκριση επί του κεντρικού στόχου. Μάλιστα, προσδιόρισε περίπου σε 1 D, το μέγεθος της, επιβαλλόμενης από τον δακτύλιο μεταβολής της προσαρμοστικής απόκρισης επί του κεντρικού στόχου, όταν οι απαιτήσεις προσαρμογής του δακτυλίου και του κεντρικού στόχου, διέφεραν κατά 3 D (μεγαλύτερη η προσαρμοστική απαίτηση για το ερέθισμα του δακτυλίου, καθώς βρίσκεται εγγύτερα του οφθαλμού από ότι ο κεντρικός στόχος).¹⁸³

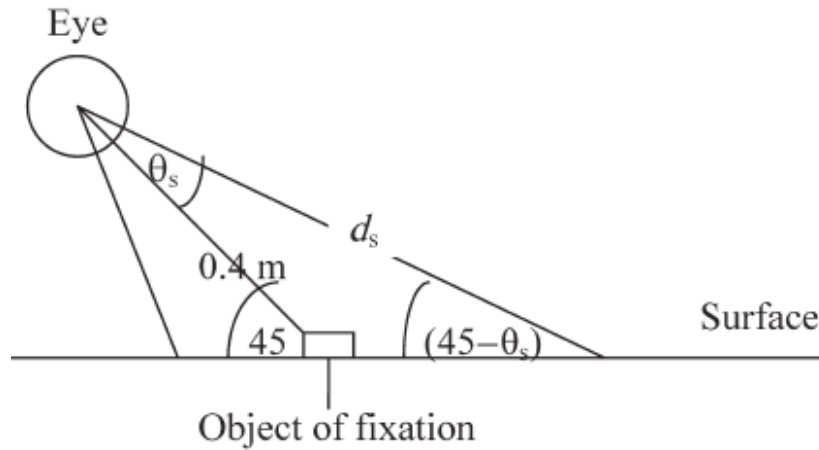
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗ

Μια διαφορετική, τέλος, προσέγγιση για την αποτίμηση της συνεισφοράς του περιφερικού αμφιβληστροειδούς στον μηχανισμό της Προσαρμογής και ,κατ' επέκταση, την ευαισθησία του στην θόλωση, πηγάζει από την μελέτη του φαινομένου της Προσαρμοστικής Σύγκλισης (Accommodative Convergence). Πρόκειται για την Σύγκλιση των οφθαλμών, που εισάγεται από την δράση της Προσαρμογής, ως συστατικό του Αντανακλαστικού της Εγγύς Οράσεως (πρόκειται για μία συνκίνησια που αποτελείται από Προσαρμογή, Σύγκλιση και Μύση - <<εγγύς τριάδα>> - και ενεργοποιείται κατά την αλλαγή της θέασης από έναν μακρινό σε έναν κοντινό στόχο ενδιαφέροντος). Η μονάδα μέτρησης είναι οι Πρισματικές Διοπτρίες (Δ), και επέρχεται αύξηση του μεγέθους, με την αύξηση των Διοπτριών της Προσαρμογής. Δυναμικές μετρήσεις, λοιπόν, της Προσαρμοστικής Σύγκλισης το 1978, κατέδειξαν ότι ένα κατάλληλο ερέθισμα αφεστίασης είναι σε θέση να πυροδοτήσει απόκριση Προσαρμοστικής Σύγκλισης, για γωνίες εκκεντρότητας του αμφιβληστροειδούς, το ελάχιστο, 6 μοιρών. Πρέπει να επισημανθεί, βέβαια, ότι το μέγεθος της απόκρισης στην ανωτέρω γωνία εκκεντρότητας, είναι εξασθενημένο κατά το ήμισυ, εν συγκρίσει με την αντίδραση που εκλύεται από ένα ερέθισμα θόλωσης στην fovea.²⁹⁷

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ

Κατά την μετάβαση, όμως, από το θεωρητικό επίπεδο, στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στον φυσικό κόσμο, είναι αναγκαία μία κρίσιμη επισήμανση. Γίνεται, λοιπόν, ευκρινές ότι για μία πληθώρα φυσικών περιβαλλοντικών βιωμάτων, η ύπαρξη μίας σημαντικής επιρροής στην προσαρμοστική απόκριση από ερεθίσματα που απαντώνται σε μεγάλες γωνίες εκκεντρότητας, θα αποτελούσε μειονέκτημα παρά πλεονέκτημα. Η ανωτέρω θεώρηση γίνεται κατανοητή μέσω του ακόλουθου παραδείγματος. Στην διάταξη ένα ερέθισμα εγγύς θέασης βρίσκεται σε απόσταση 0,4 m (απαιτούμενη προσαρμογή δηλαδή $1/0,4 = 2,5 D$) επί μίας επίπεδης επιφάνειας, όπως ένα τραπέζι, και σε γωνία 45 μοιρών ως προς τον Άξονα της Όρασης (εικόνα 36). Στο κατακόρυφο αυτό τμήμα, η διοπτρική ισχύς του ερεθίσματος προσαρμογής, μεταβάλλεται διαρκώς συναρτήσει της διεύθυνσης του πεδίου. Μελετώντας αντιπροσωπευτικά το ανώτερο οπτικό πεδίο, ορίζουμε ως Θστις γωνίες του και dστην απόσταση του ερεθίσματος κατά μήκος του ανώτερου οπτικού πεδίου. Εν συνεχεία, γίνεται αξιοποίηση του Νόμου των Ημιτόνων, σύμφωνα με τον οποίο, οι πλευρές κάθε τριγώνου είναι ανάλογες προς τα ημίτονα των απέναντι γωνιών του. Προκύπτει, επομένως, η παράσταση: $ds/\eta\mu(135) = 0,4/\eta\mu(45-\Theta_s)$. Άρα, η διοπτρική προσαρμοστική απαίτηση του ερεθίσματος του ανώτερου οπτικού πεδίου (Ss), θα δίνεται από τον τύπο: $Ss = \eta\mu(45-\Theta_s)/0,4\eta\mu(135)$,

καθώς η απαιτούμενη προσαρμογή (Διοπτρίες) ισούται με το αντίστροφο της απόστασης του αντικειμένου (Μέτρα). Δηλαδή, $S_s = 1/d_s$.¹⁸³

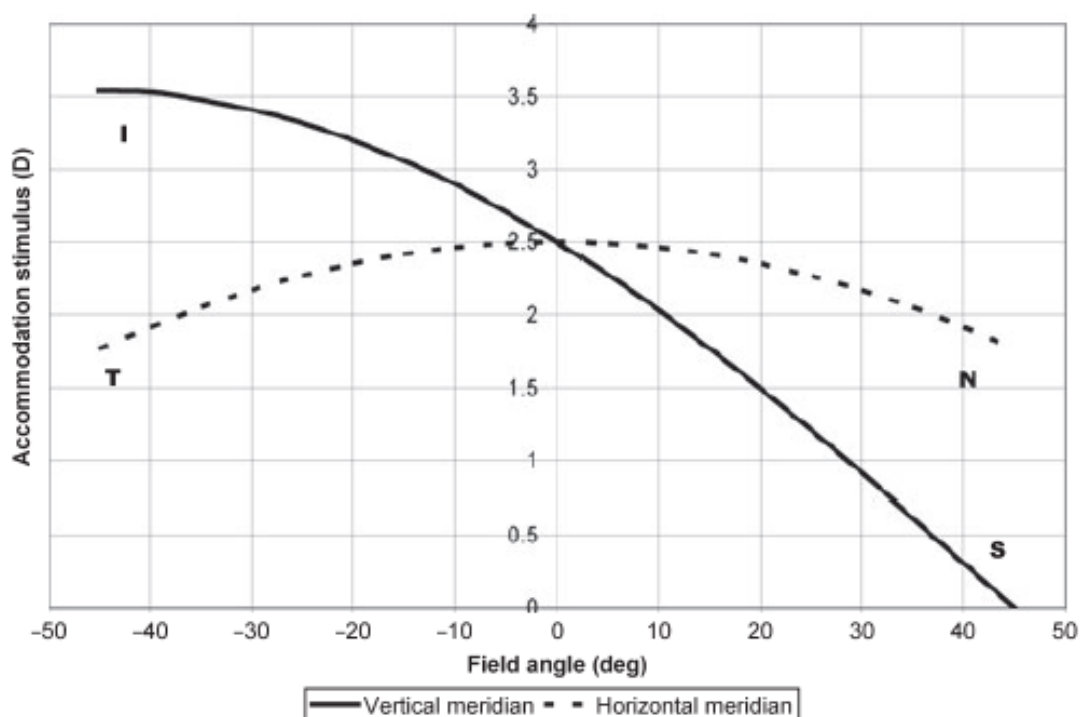


ΕΙΚΟΝΑ 36: ΧΩΡΟΔΙΑΤΑΞΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΩΝ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΓΓΥΣ ΣΤΟΧΟ ΘΕΑΣΗΣ¹⁸³

Το σχήμα περιγράφει την γεωμετρία των ερεθισμάτων προσαρμογής για έναν στόχο κοντινής θέασης, που βρίσκεται σε γωνία 45 μοιρών ως προς τον Άξονα Όρασης. Απεικονίζεται η μεταβαλλόμενη γωνία θ_s κατά μήκος του ανώτερου οπτικού πεδίου, καθώς και η μεταβλητή απόσταση d_s του ερεθίσματος. Από τον Νόμο των Ημιτόνων, προκύπτει η προσαρμοστική απαίτηση του ερεθίσματος για τις διάφορες γωνίες του ανώτερου οπτικού πεδίου.

Πρέπει να επισημανθεί, βεβαίως, ότι η συνεχής μεταβλητότητα των ερεθισμάτων προσαρμογής στον περιφερικό αμφιβληστροειδή, δεν είναι ίδιον γνώρισμα, αποκλειστικά του κατακόρυφου μεσημβρινού, αλλά απαντάται, επιπλέον, κατά μήκος του οριζόντιου και άλλων μεσημβρινών (εικόνα 37). Η ακριβής διαμόρφωση των προσαρμοστικών ερεθισμάτων καθορίζεται από παραμέτρους, όπως η χωροδιάταξη του οπτικού περιβάλλοντος και η απόσταση εργασίας. Στον βαθμό μάλιστα, που το ανωτέρω θεωρητικό μοντέλο, αντανακλά προσεγγιστικά μία πληθώρα φυσικών περιβαλλόντων με τα οποία έρχεται σε επαφή ο άνθρωπος, εισηγείται ένα πρότυπο διάθλασης που θα προσέδιδε πλεονέκτημα. Ίσως, δηλαδή, κατά μήκος του οριζόντιου μεσημβρινού, η παρουσία αξονικής μυωπίας και σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας είναι, εντέλει, επωφελής. Σε κάθε περίπτωση, εάν η αρχή που διέπει την λειτουργία του οπτικού συστήματος, επιτάσσει την ύπαρξη της απαιτούμενης προσαρμοστικής απόκρισης ως προς τον στόχο προσήλωσης και, επιπλέον, τόσο ο αμφιβληστροειδής, όσο και η περιφερική διαθλαστική κατάσταση χαρακτηρίζονται από περιστροφική συμμετρία ως προς τον Άξονα Όρασης, καταλήγουμε σε μία σημαντική διαπίστωση. Συνεπάγεται, δηλαδή, αναφορικά με την σύγκριση της ισχύος των ερεθισμάτων προσαρμογής στον κεντρικό έναντι του περιφερικού αμφιβληστροειδούς, ότι το κυρίαρχο σήμα για τον

καθορισμό της τελικής προσαρμογής που θα εκλυθεί, πηγάζει από το κεντρικό ερέθισμα (στην fovea).¹⁸³ Σύμφωνα με τις θεωρήσεις, έχουν βρει, ήδη, εφαρμογή κατά την δεκαετία του 1980. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν στην προσπάθεια ερμηνείας του μοντέλου οφθαλμικής ανάπτυξης και διαθλαστικής κατάστασης, που παρουσιάστηκε σε υπογείως ανατραφέντα (ground-feeding) πτηνά ζώα, τα οποία διατηρούν, κατά προσέγγιση, σταθερή στάση σώματος ως προς το περιβάλλον τους και χαρακτηρίζονται από την παρουσία σχετικά σταθερής οπτικής οξύτητας κατά μήκος του οπτικού πεδίου. Διαπιστώθηκε ότι ανέπτυξαν <<κεκλιμένους>> αμφιβληστροειδείς και μυωπία στο κατώτερο οπτικό πεδίο.^{298,299}



ΕΙΚΟΝΑ 37: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΟΥΣ ΜΕΣΗΜΒΡΙΝΟΥΣ¹⁸³

Η γραφική παράσταση απεικονίζει την διοπτρική μεταβολή της προσαρμοστικής απόκρισης που εκλύεται από το ερέθισμα, συναρτήσει της αμφιβληστροειδικής εκκεντρότητας και του μεσημβρινού του οπτικού πεδίου. Πραγματοποιείται αποτίμηση κατά μήκος του οριζόντιου (διακεκομμένη γραμμή - ρινικός και μετωπικός τομέας) και κατακόρυφου μεσημβρινού (συνεχής γραμμή - ανώτερος και κατώτερος τομέας). Διακρίνεται ότι τα ισχυρότερα ερεθίσματα προσαρμογής απαντώνται κατά μήκος του κατώτερου οπτικού πεδίου, ενώ τα ασθενέστερα στο ανώτερο οπτικό πεδίο. Κατά μήκος του οριζόντιου μεσημβρινού παρατηρείται μία συμμετρική εξασθένηση της ισχύος του προσαρμοστικού ερεθίσματος στο κροταφικό και ρινικό ημιπεδίο, με την αύξηση της εκκεντρότητας. Τομείς: S (Superior - ανώτερος), I (Inferior - κατώτερος), N (Nasal - ρινικός), T (Temporal - κροταφικός).

ΣΥΝΟΨΗ

Η ανωτέρω παράθεση των διαφόρων πτυχών της λειτουργικής φυσιολογίας του Προσαρμοστικού μηχανισμού, επιτρέπει την συμπύκνωση των δεδομένων για την προσαρμοστική απόκριση στην περιφέρεια, σε δύο καίριες επισημάνσεις. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, ότι ερεθίσματα που απαντώνται στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς διαθέτουν το δυναμικό να τροποποιήσουν την προσαρμοστική διαδικασία του οφθαλμού. Βέβαια, πρέπει να επισημανθεί η προοδευτική εξασθένηση της αποδοτικότητας εισαγωγής προσαρμοστικής απόκρισης από τα ερεθίσματα, καθώς επέρχεται αύξηση της εκκεντρότητας. Διευρύνοντας δε περαιτέρω το πεδίο μελέτης, κατεδείχθη, ότι τα ερεθίσματα στον περιφερικό αμφιβληστροειδή είναι, επιπροσθέτως, σε θέση να επιδράσουν στην απόκριση προσαρμογής επί αξονικού στόχου προσήλωσης. Παρ' όλα αυτά, δεν έχει καταστεί εφικτή η ολοκληρωμένη αποσαφήνιση της λειτουργίας της Προσαρμογής στην περιφέρεια. Κυρίως, παραμένει ελλιπής η ερμηνεία, του δυναμικού μηχανισμού με τον οποίον ερεθίσματα προσαρμογής που πέφτουν σε διαφορετικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς, δύνανται έχουν αθροιστική επίδραση στο ολικό μέγεθος της εκλυόμενης προσαρμοστικής απόκρισης του οφθαλμού.¹⁸³

2.10.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Μία ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα και διαφορετική προσέγγιση, παρατίθεται ακολούθως, αφορούσα μια εναλλακτική πτυχή στην σύνδεση μεταξύ της λειτουργίας της Προσαρμογής και της διάθλασης στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς. Επί παρουσίας σχετικής περιφερικής υπερμετρωπικής αφεστίασης, λοιπόν, η ευκρίνεια απεικόνισης του ειδώλου στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς κατά την μακρινή θέαση θα ήταν δυνατόν να βελτιωθεί, μέσω της ενεργοποίησης της διαδικασίας της Προσαρμογής, έτσι ώστε η πρόσθετη διοπτρική ισχύς να επιτρέψει την μετακίνηση του εστιακού επιπέδου προσθίως και την ταύτιση του με τον περιφερικό αμφιβληστροειδή. Αποτέλεσμα, θα ήταν η εστίαση της εικόνας στην περιφέρεια και, ταυτοχρόνως, εάν η πρότερη αξονική διαθλαστική κατάσταση ήταν η εμμετρωπία, επακόλουθο θα ήταν η κεντρική μυωπική αφεστίαση. Κατά συνέπεια, η έκλυση μίας προσαρμοστικής απόκρισης σύμφωνης με την περιγραφείσα φύση, θα μπορούσε να αποτελεί έναν ξεχωριστό παράγοντα συνεισφοράς στην ανάπτυξη της μυωπίας. Μάλιστα, οι Walker και Mutti, κατέδειξαν σε έρευνα του 2002, ότι η παρουσία ισχυρότερης απόκρισης προσαρμογής, έχει ως απότοκο, η περιφερική διαθλαστική κατάσταση να εμφανίζει μία υπερμετρωπική μετατόπιση, με αποτέλεσμα επί προϋπάρχουσας σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, να καθίσταται η περιφέρεια ακόμα πιο

υπερμετρική εν συγκρίσει με το κέντρο του αμφιβληστροειδούς. Επομένως, θα δημιουργείτο και θα διαιωνιζόταν ένας φαύλος κύκλος ανάμεσα στην σχετική περιφερική υπερμετρωπία και στην προσαρμοστική απόκριση, έως ότου ,πλέον, αναπτυσσόταν αξονική μυωπία. Τότε το εστιακό επίπεδο, σύμφωνα με το ανωτέρω μοντέλο, θα ταυτιζόταν, λόγω της αξονικής επιμήκυνσης του οφθαλμού, με τον περιφερικό αμφιβληστροειδή και θα επέρχετο η εστίαση του ειδώλου στην περιφέρεια. Επομένως, δεν θα ήταν περαιτέρω αναγκαία η έκλυση προσαρμοστικής απόκρισης για την εστίαση της εικόνας στην περιφέρεια κατά την μακρινή θέαση.³⁰⁰ Βάσει της παραπάνω ανάλυσης, δύναται να διατυπωθεί η θεώρηση, ότι άτομα που είναι ευάλωτα στην ανάπτυξη μυωπίας, παρουσιάζουν, συγχρόνως, και μία αυξημένη προδιάθεση για εμφάνιση περιφερικής υπερμετρωπίας με την προσαρμογή.

Ανατρέχοντας στα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με την φύση της επίδρασης της Προσαρμογής στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση υπό το πρίσμα της προϋπάρχουσας αξονικής διάθλασης, οι εξαγόμενες πληροφορίες αλληλοσυγκρούονται. Αναλυτικά, ο Calver το 2007, μελέτησε την περιφερική διάθλαση για 2 καταστάσεις προσαρμογής διαφορετικής απόστασης ,σε εμμετρικούς και μυωπικούς οφθαλμούς. Διαπίστωσε αύξηση του περιφερικού αστιγματισμού συναρτήσει της αύξησης της εκκεντρότητας, χωρίς, όμως, διακριτή διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο διαθλαστικές ομάδες, με εξαίρεση τις 30 μοίρες εκκεντρότητας στον κροταφικό αμφιβληστροειδή. Η σημαντικότητα έγκειται στο γεγονός, ότι η επίδραση της παραμέτρου της μεταβολής της κατάστασης προσαρμογής στον αστιγματισμό ή στο μέσο σφαιρικό ισοδύναμο σφάλμα, ήταν σχεδόν ταυτόσημη ανάμεσα στους εμμέτρους και στους μύωπες.²⁰² Επιπροσθέτως ,έρευνα του 2009 που ακολούθησε παρεμφερή μεθοδολογία κατέληξε στις ακόλουθες διαπιστώσεις: Έτσι, οι μύωπες συγκριτικά με του εμμέτρους εμφάνιζαν χαμηλότερη σχετική περιφερική μυωπία. Επιπλέον, χαρακτηρίζονταν από μεγαλύτερη ασυμμετρία στην αφεστίαση της εικόνας κατά μήκος του οπτικού πεδίου. Αναφορικά, τέλος, με την συσχέτιση περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης και προσαρμοστικής απόκρισης, η περιφερική διάθλαση , δεν παρουσίαζε μεταβολή ή μείωση με την προσαρμογή. Σε αντιδιαστολή, στους εμμέτρους, το μέγεθος τους σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος, ενισχυόταν με την προσαρμοστική απόκριση.³⁰¹ Επομένως, κατά την κοντινή θέαση, η οποία επάγει την έκλυση ισχυρότερης προσαρμοστικής απόκρισης, οι διαφοροποιήσεις στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση ανάμεσα σε εμμέτρους και μύωπες, θα εντείνονται. Για την ερμηνεία αυτού ευρήματος, δεν επαρκεί η απλή αναπαραγωγή του σχήματος του αμφιβληστροειδούς , που διαφέρει στους οφθαλμούς των εμμετρών και των μύωπων, αλλά, αντιθέτως, χρειάζεται περαιτέρω διεύρυνση της ακολουθούμενης μεθοδολογίας.¹⁸³

Συγκεκριμένα, οι Taberner και Schaeffel, με την βοήθεια ενός φωτοαμφιβληστροειδοσκοπίου (photoretinoscope) ταχείας σάρωσης, προσδιόρισαν την περιφερική διάθλαση συναρτήσει της Προσαρμογής και κατέδειξαν ότι σε εμμετρικούς οφθαλμούς, η Προσαρμογή επιφέρει ομοιόμορφη μεταβολή της διάθλασης, κατά μήκος των κεντρικών 90 μοιρών του οπτικού πεδίου. Το μηχάνημα παρείχε ταχείς μετρήσεις (4sec), λαμβάνοντας δεδομένα με ένα συνεχές μοντέλο, μέσω υψηλής Γωνιακής Ανάλυσης 0,4 μοιρών, ενώ ο εξεταζόμενος προσήλυνε σε κεντρικό ερέθισμα. Οι αποστάσεις θέασης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα 25, τα 50 και τα 200cm. Αξιοσημείωτη δε, είναι η δυνατότητα λήψης μετρήσεων και για πρότυπα τριών διαστάσεων.³⁰² Συγχρόνως, οι Davies και Mallen, κατέγραψαν παρεμφερή αποτελέσματα, τόσο σε εμμέτρους, όσο και σε μύωπες.³⁰³ Την ίδια χρονιά (2009), ο Whatman, κατέδειξε ασήμαντη μυωπική μετατόπιση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης στους μύωπες, επί της παρουσίας προσαρμοστικής απόκρισης. Η ανωτέρω μελέτη, όμως, προσέφερε πολύτιμες πληροφορίες προς την κατεύθυνση αποσαφήνισης της υπόθεσης, του κατά πόσο οι μεταβολές στην περιφερική διάθλαση με την προσαρμογή, είναι σε θέση να διαδραματίσουν έναν εξέχοντα ρόλο, στην πρόοδο της μυωπίας. Επέλεξε την παράμετρο της Υστέρησης της Προσαρμογής (Lag) κατά την κοντινή θέαση, την ανεπαρκή, δηλαδή, προσαρμοστική απόκριση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα κατά την διεκπεραίωση κάποιας εγγύς αποστολής, την δημιουργία υπερμετρωπικής αφεστίασης, που δρα σύμφωνα με την αρχή της Εμμετροποίησης ως ερέθισμα για αξονική επιμήκυνση και ανάπτυξη μυωπίας. Το κρίσιμο εύρημα, ήταν η διαπίστωση ότι η αύξηση στην Υστέρηση της προσαρμογής (Lag), συνοδεύουσα την αύξηση της προσαρμογής, ασκεί κύρια επίδραση στην πραγματική περιφερική διαθλαστική κατάσταση εστίασης. Παρατηρήθηκε ότι το είδωλο βέλτιστου σφαιρώματος (best-sphere), δηλαδή με την βέλτιστη διόρθωση της σφαιρικής αμετρωπίας, κείται οπισθίως του αμφιβληστροειδούς, κατά μήκος ολόκληρου του πεδίου των κεντρικών 90 μοιρών της οριζοντίου διαμέτρου που εξετάστηκε (δηλαδή, υπερμετρωπική αφεστίαση καθ' όλο το μήκος του περιφερικού αμφιβληστροειδούς), για όλα τα επίπεδα προσαρμοστικής απαίτησης, κυμαινόμενα από 0 έως 3,3 D. Άρα, καθίσταται εφικτή η προέκταση επί του περιφερικού αμφιβληστροειδούς, της θεωρίας, που έχει διατυπωθεί, ήδη, από το 1993 (Gwiazda et al) και ενοχοποιεί την αξονική Υστέρηση της προσαρμογής για την ανάπτυξη μυωπίας.³⁰⁴ Στην αντίπερα όχθη, σε μελέτη του 2008, δεν κατεγράφη σημαντική σύνδεση, ανάμεσα στην πρόοδο της μυωπίας και στην Υστέρηση της Προσαρμογής (lag) κατά την εγγύς θέαση, σε παιδιά με ήπια και προοδευτική μυωπία.³⁰⁵ Σε κάθε περίπτωση, το επιστημονικό πεδίο της επιρροής της προσαρμογής επί της περιφερικής διάθλασης, δικαιολογεί, αναμφισβήτητα, την απρόσκοπτη συνέχιση των ερευνητικών προσπαθειών, στρέφοντας ιδίως την προσοχή, προς την αποτίμηση διαφορετικών εθνοτήτων, καθώς και ατόμων με προοδευτική μυωπία.

2.11.ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΜΥΩΠΙΚΟΥ ΕΠΙΠΟΛΑΣΜΟΥ

Επιχειρώντας να διερευνήσουμε την σημαντικότητα της παρουσίας σχετικής περιφερική υπερμετρωπίας υπό το πρίσμα των μοτίβων μυωπικού επιπολασμού που επικρατούν ανά τον κόσμο, προβαίνουμε σε μία σύντομη ανασκόπηση των δημογραφικών στοιχείων που έχουν αναλυθεί διεξοδικά παραπάνω. Στις εθνότητες ,λοιπόν, της Άπω Ανατολής ,απαντώνται επιδημικές διαστάσεις της μυωπίας. Ενδεικτικά, στην Ταϊβάν κατά το έτος 2000, το ποσοστό εμφάνισης της μυωπίας σε εφήβους 16 έως 18 ετών, κυμαινόταν στο 84%. Ακόμα, στην Σιγκαπούρη των 80% των νεαρών ενηλίκων είναι μύωπες. Εξίσου υψηλά μεγέθη επιπολασμού της μυωπίας, καταγράφονται και σε παιδιά ηλικίας 15 ετών σε αστικούς πληθυσμούς στην Κίνα, όπου το ποσοστό εμφάνισης της μυωπίας υπερβαίνει το 70%. Στις αγροτικές περιοχές της Κίνας, τα επίπεδα επιπολασμού κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα, φαινόμενο αποδιδόμενο στην συσχέτιση της μυωπίας με τις παραμέτρους που συνοδεύουν την αστικοποίηση, και ιδίως, την συμμετοχή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Στον υπόλοιπο κόσμο, ο επιπολασμός της μυωπίας παρουσιάζεται σημαντικά χαμηλότερος, διακυμαινόμενος βάσει της εθνικότητας, σε ένα εύρος μεταξύ 11 και 27%. Συσχετίζοντας, τώρα, τα ανωτέρω μοντέλα μυωπικού επιπολασμού με την περιφερική διαθλαστική κατάσταση, θα αναμενόταν ένας μεγαλύτερος πληθυσμός ατόμων στις εθνότητες με τους υψηλότερους επιπολασμούς, να παρουσιάζουν σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Η έρευνα του Logan (2004) ,όμως, δεν συνάδει με την ανωτέρω εικασία. Συγκεκριμένα, μελέτησε το περίγραμμα του αμφιβληστροειδούς σε ανισομυωπικούς οφθαλμούς , ατόμων Ταϊβανέζικης-Κινέζικης καταγωγής. Παρατήρησε ότι ο οφθαλμός με τους υψηλότερους βαθμούς μυωπίας μία μεγαλύτερη, αλλά και πιο ομοιόμορφη επέκταση της οπίσθιας αμφιβληστροειδικής επιφάνειας, εν συγκρίσει με τον έτερο οφθαλμό. Ένα τέτοιο μοντέλο οφθαλμικής μυωπικής ανάπτυξης , όμως, δεν είναι συμβατό με την πυροδότηση της μυωπικής εξέλιξης από την σχετική περιφερική υπερμετρωπία. Στην περίπτωση, δηλαδή, που η περιφερική υπερμετρωπία θα ήταν ο αιτιολογικός παράγων της μυωπικής εμφάνισης, ο πλέον μυωπικός οφθαλμός, θα χαρακτηριζόταν από υψηλότερα επίπεδα σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, γεγονός που θα οδηγούσε σε συγκριτικά πιο ανομοιόμορφο πρότυπο οφθαλμικής επέκτασης ως προς τον λιγότερο μυωπικό οφθαλμό. Κατά συνέπεια, ο παρατηρούμενος επιδημικός επιπολασμός της μυωπίας στις εθνικότητες που έλαβαν μέρος στην μελέτη, δεν δύναται, ίσως, να αποδοθεί άμεσα στην περιφερική διαθλαστική τους κατάσταση ή στο οφθαλμικό τους σχήμα.^{45,57,65,306-309}

2.12.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Μία σειρά υποκειμενικών και αντικειμενικών μεθόδων, δύνανται να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος. Αντιπροσωπευτικές τεχνικές αποτελούν το Αυτόματο Διαθλασίμετρο Ανοιχτού Πεδίου (Open-field), οπτικά συστήματα Διπλής Διέλευσης (Double-pass) και εκτροπόμετρα Hartmann-Shack.³¹⁰ Το στοιχείο που πρέπει να επισημανθεί, είναι ότι η πλειοψηφία των ανωτέρω διατάξεων, δεν κατασκευάστηκε προσβλέποντας, εξ αρχής, στον καθορισμό της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης. Κατά συνέπεια, για να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις, οι εξεταζόμενοι συχνά απαιτείται να τροποποιούν την βλεμματική τους θέση. Για να διεκπεραιωθεί, λοιπόν, η εξέταση, ακολουθούνται δύο μεθοδολογίες: α) είτε στρέφεται ο εξεταζόμενος οφθαλμός για να προσηλώσει μία σειρά από οριζόντια/κατακόρυφα διατεταγμένους στόχους, β) είτε για να επιτευχθεί η θέαση των ανωτέρω στόχων, στρέφεται η κεφαλή, με ταυτόχρονη διατήρηση της κεντρικής προσήλωσης και τον οφθαλμό ευρισκόμενο στην πρωταρχική βλεμματική του θέση. Αναφορικά με το Αυτοδιαθλασίμετρο Ανοιχτού Πεδίου, έχει καταδειχθεί ότι παρέχει παρεμφερείς μετρήσεις, για την πραγματοποίηση της εξέτασης με στροφή οφθαλμού και στροφή της κεφαλής.^{311,312} Πρόσφατα δε (2009), όπως έχει γίνει ανωτέρω μνεία, οι Taberner και Schaeffel, εισήγαγαν το Φωτοδιαθλασίμετρο Σάρωσης (ScanningPhotorefractor). Το μηχάνημα παρέχει την δυνατότητα να υπερκεραστεί η ανάγκη για τροποποίηση στον προσανατολισμό της κεφαλής ή στην προσήλωση. Όμως, καθιστά εφικτή την μέτρηση του περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος, αποκλειστικά κατά μήκος του κατακόρυφου μεσημβρινού της κόρης.³⁰²

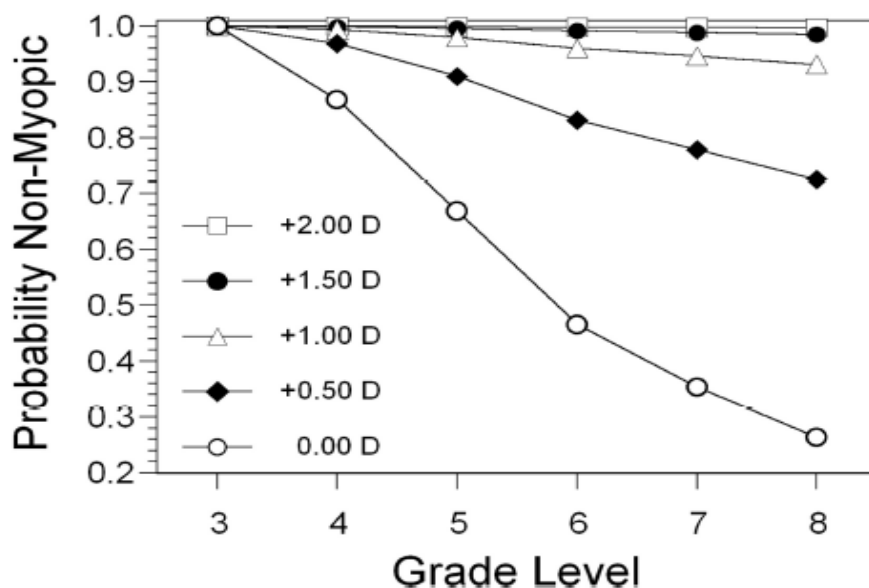
2.13.ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ MUTTI (2011)

Η μελέτη του Mutti είχε διττή στόχευση στην αποτίμηση της σημαντικότητας της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης. Χρησιμοποίησε τα δεδομένα της έρευνας CLEERE, για να αξιολογήσει, αφενός μεν την ύπαρξη υψηλότερου κινδύνου εμφάνισης μυωπίας σε μη-μυωπικά παιδιά με μεγαλύτερο βαθμό σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας, αφετέρου δε την ταχύτερη μυωπική πρόοδο σε μυωπικά παιδιά με υψηλότερα επίπεδα σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας. Η έρευνα CLEERE(cohortstudy) έλαβε χώρα μεταξύ του 1995 και του 2007, μελετώντας τα οφθαλμικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης και τους παράγοντες κινδύνου για την εμφάνιση μυωπίας σε παιδιά διαφόρων εθνικών προελεύσεων. Εφαλτήριο για την υλοποίηση της μελέτης του Mutti αποτέλεσαν δεδομένα προερχόμενα από πειραματικούς χειρισμούς εκτομής και αποστέρησης σε πρωτεύοντα. Η διαπίστωση, δηλαδή, ότι η περιφερική διαθλαστική κατάσταση με τα προκύπτοντα σήματα περιφερικής αφεστίασης, δύνανται να ορίζουν πέραν της ανάπτυξης στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς και την αξονική ανάπτυξη και ,κατ' επέκταση, την κεντρική διαθλαστική κατάσταση.¹⁹⁴

Υπό το πρίσμα της ανατομικής φυσιολογίας, οι μύωπες εμφανίζουν σε μεγαλύτερη συχνότητα σχετική περιφερική υπερμετρωπία εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες διαθλαστικές ομάδες, λόγω του σχετικά λιγότερο oblateοφθαλμικού τους σχήματος. Κατά μέσο όρο, η έκθεση στα σήματα σχετικής περιφερικής αφεστίασης, εμφανίζεται περί τα 2 έτη προτού την έναρξη της μυωπίας. Ο Mutti επεδίωξε να ποσοτικοποιήσει τον βαθμό του κινδύνου μυωπικής εμφάνισης που απορρέει από την περιφερική υπερμετρωπία, ειδικότερα δε, μέσα σε ένα πλαίσιο ποικίλων εθνολογικών καταβολών. Η διαθλαστική κατάσταση στην fovea, καθώς και η σχετική περιφερική διάθλαση στις 30 μοίρες του ρινικού οπτικού πεδίου, υπολογίζονταν σε ετήσια βάση παρακολούθησης με την χρήση αυτόματου διαθλασιμέτρου, κατόπιν κυκλοπληγίας.^{313,314} Σύμφωνα με την διάταξη που χρησιμοποιήθηκε, ο εξεταζόμενος, ευρισκόμενος στην πρωταρχική βλεμματική θέση, αρχικά προσηλώνει σε έναν μειούμενο στόχο Snellen, μέσω ενός φακού Badal + 4,00 D. Λαμβάνονται 10 μετρήσεις με το αυτόματο διαθλασίμετρο. Εν συνεχεία, η διάταξη μετακινείται άμεσα, έτσι ώστε ο στόχος να περιστραφεί κατά 30 μοίρες, τοποθετούμενος εμπροσθεν ενός κατόπτρου μπροστινής επιφανείας (frontsurfacemirror) στα δεξιά του εξεταζομένου. Ο άξονας του αυτόματου διαθλασιμέτρου, δηλαδή, έχει διεύθυνση 30 μοιρών στο ρινικό οπτικό πεδίο του δεξιού οφθαλμού του εκάστοτε εξεταζομένου. Στην περιφερική βλεμματική θέση, γίνεται λήψη 5 μετρήσεων αυτόματης διαθλασιμετρίας. Στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ,το σχετικό περιφερικό διαθλαστικό σφάλμα (RPRE) στον δεξιό οφθαλμό, υπολογίστηκε ως το Σφαιρικό Ισοδύναμο της μέσης διάθλασης στην πρωταρχική βλεμματική θέση (primarygaze), αφαιρούμενο από το Σφαιρικό Ισοδύναμο του μέσου διαθλαστικού σφάλματος στις 30 μοίρες κροταφικής βλεμματικής θέσης. Οι αξονικές διαστάσεις του οφθαλμού αποτιμήθηκαν με την χρήση A-scanυπερηχογραφίας. Το κατώφλι, τέλος, της μυωπίας ορίσθηκε η παρουσία το ελάχιστο -0,75 D διαθλαστικού σφάλματος σε κάθε κύριο μεσημβρινό.¹⁹⁴

ΕΘΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ RPRE ΣΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΜΥΩΠΙΑΣ

Αναφορικά με την πτυχή της έρευνας που αποσκοπούσε στην εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης μυωπίας, ο Muttieξέτασε 2043 μη-μυωπικά παιδιά που φοιτούσαν στην τρίτη τάξη. Από το ανωτέρω δείγμα μαθητών, 324 εμφάνισαν μυωπία έως την όγδοη τάξη. Οι παράγοντες κινδύνου που διερευνήθηκαν ήταντο διαθλαστικό σφάλμα στην foveaκαι η διαθλαστική κατάσταση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς (RPRE). Τα μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά αποτελούσαν το φύλο, η εθνικότητα και η τάξη φοίτησης. Προσδιορίσθηκαν, επιπροσθέτως, τα μεγέθη της πιθανότητας κινδύνου και της πιθανότητας επιβίωσης. Η Πιθανότητα Κινδύνου (hazardprobability), ορίζεται ως η πιθανότητα ενός παιδιού να καταστεί μυωπικό σε μία συγκεκριμένη τάξη, υπό τον όρο ότι δεν εμφάνιζε μυωπία πριν από την εν λόγω τάξη. Η Πιθανότητα Επιβίωσης (survivalprobability) με την σειρά της, αποτελεί την πιθανότητα ότι ένα παιδί δεν θα εμφανίσει μυωπία έως μία δεδομένη τάξη, περιοριστικό όριο που συμπεριλαμβάνει και την συγκεκριμένη τάξη. Επομένως, το ρίσκο ένα παιδί να καταστεί μυωπικό προγενέστερα της ανωτέρω τάξης ισούται με το μέγεθος : $1 - \text{Πιθανότητα Επιβίωσης}$. Οι μετρήσεις κατέδειξαν ότι το μέσο διαθλαστικό σφάλμα στην foveαστα παιδιά της τρίτης τάξης ήταν ελαφρώς υπερμετρωπικό (+1,05 \pm 0,97 D), ενώ η μέση διαθλαστική κατάσταση στην περιφέρεια ήταν ελαφρώς μυωπική (-0,43 \pm 0,99 D). Οι ανωτέρω μέσοι όροι των μεγεθών, διαφοροποιούνταν με την μεταβολή της εθνικότητας, όχι όμως, και συναρτήσε του φύλου. Ανάμεσα στις διάφορες εθνικές ομάδες, λοιπόν, διαπιστώθηκε ότι οι λευκοί και οι αυτόχθονες αμερικανοί, χαρακτηρίζονταν, κατά μέσο όρο, από μία πιο υπερμετρωπική διαθλαστική κατάσταση στην foveaκαι από ένα πιο μυωπικό σχετικό περιφερικό διαθλαστικό σφάλμα εν συγκρίσει με τις άλλες εθνότητες. Στην αντίπερα όχθη, αντίστροφα ήταν τα ευρήματα αναφορικά με τις σχετικές συσχετίσεις των ασιατών, των λατίνων και των αφροαμερικανών. Η μελέτη της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea (hazardprobability), οδήγησε στην διαπίστωση για την ύπαρξης ενός ισχυρού προστατευτικού ρόλου, κάθε υπερμετρωπικής διοπτρίας κεντρικού διαθλαστικού σφάλματος, έναντι της εμφάνισης μυωπίας (εικόνα 38). Όσο μεγαλύτερου βαθμού η υπερμετρωπία στην fovea δηλαδή, τόσο χαμηλότερος ο κίνδυνος μετέπειτα εμφάνισηςκεντρικής μυωπίας. Δεν διαπιστώθηκε ανάλογο εύρημα για την περιφερική διάθλαση. Παρατηρήθηκε, επιπλέον, ότι η παρουσία χαμηλότερης κεντρικής υπερμετρωπίας ήταν συνδεδεμένη με την ύπαρξη υψηλότερης περιφερικής υπερμετρωπίας. Η στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ της διάθλασης στην foveaκαι του RPRE, μεταφραζόταν σε 0,5 Dχαμηλότερου υπερμετρωπικού σφάλματος στην fovea, παρουσία υπερμετρωπικού RPREσυγκριτικά με την απουσία από την περιφέρεια σχετικής υπερμετρωπίας.¹⁹⁴



ΕΙΚΟΝΑ 38: ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΜΥΩΠΙΚΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ¹⁹⁴

Το διάγραμμα απεικονίζει την πιθανότητα των παιδιών που εξετάστηκαν, να μην καταστούν μυωπικά, συναρτήσει της τάξης φοίτησης. Βάση αναφοράς είναι η τρίτη τάξη και η παρακολούθηση ολοκληρώνεται στην όγδοη. Η παράμετρος που επιφέρει τις διαφοροποιήσεις είναι η διαφορετική διαθλαστική κατάσταση της fovea στην τρίτη τάξη. Διακρίνεται ότι όσο πιο υπερμετρωπικό είναι το κεντρικό διαθλαστικό σφάλμα (μέγιστο +2,00 D), τόσο ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης της μυωπίας. Σε αντιδιαστολή, όσο η υπερμετρωπία αναφοράς στην fovea είναι χαμηλότερη και η κεντρική διαθλαστική κατάσταση προσεγγίζει την εμμετρωπία (0,00 D), τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα μυωπικής εκκίνησης με το πέρασμα των ετών. Μάλιστα, παρατηρείται ότι επί κεντρικής έλλειψης υπερμετρωπικού σφάλματος στην τρίτη τάξη, η πιθανότητα αποφυγής της μυωπικής εμφάνισης μέχρι την ογδόη τάξη, περιορίζεται δραματικά.

Ένα επιπλέον εύρημα άξιο αναφοράς στην κατεύθυνση της εξαγωγής δεδομένων για τις διαφυλετική μεταβλητότητα, είναι η καταγραφή στατιστικά σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ της εθνικότητας και της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea. Παρουσιάζεται, δηλαδή, καθολικά στις εθνότητες, όπως έγινε μνεία ανωτέρω, η προστατευτική δράση ,έναντι της μυωπικής εμφάνισης, μιας πιο υπερμετρωπικής διαθλαστικής κατάστασης εκκίνησης της fovea, όμως, το μέγεθος του φαινομένου ποικίλει αναλόγως την εθνικότητα προέλευσης. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη προστατευτική ισχύς απαντάται στους αυτόχθονες αμερικανούς, ενώ η χαμηλότερη στους ασιάτες. Προσαρμόζοντας δε για την παράμετρο κινδύνου της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea, διαπιστώθηκε ότι για το δείγμα ως σύνολο, η σχετική περιφερική διάθλαση δεν αποτελούσε σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση μυωπίας. Η ανωτέρω προκύπτουσα έλλειψη επίδρασης του RPRE επί του συνόλου, ήταν δε απότοκος της παρουσίας ενός υψηλότερου κινδύνου μυωπικής εμφάνισης για κάθε διοπτρία πιο υπερμετρωπικού RPRE στους ασιάτες, ενός χαμηλότερου κινδύνου στα παιδιά αφροαμερικάνικης καταγωγής, και, τέλος, της απουσία αξιοπρόσεκτης αύξησης του κινδύνου για τους λατίνους, του αυτόχθονες αμερικανούς και τους λευκούς.¹⁹⁴ Διευρύνοντας την συγκριτική μελέτη των δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών εθνοτήτων, διαπιστώθηκε μία συχνότερη έκθεση των παιδιών ασιατικής καταγωγής, προγενέστερα της μυωπικής εμφάνισης, σε μία πιο υπερμετρωπική περιφερική

διαθλαστική κατάσταση, συγκριτικά με τις υπόλοιπες εθνότητες. Σε αντιδιαστολή, τα παιδιά αφροαμερικανικής καταγωγής, ήταν τα μόνα στα οποία, το μέσο RPRE 3 ή λιγότερα έτη προτού εμφανιστεί η μυωπία, ήταν σε μικρότερο βαθμό υπερμετρωπικό εν συγκρίσει με τα παιδιά που παρέμειναν εμμετρωπικά.¹⁹⁶ Δεδομένου, όμως, ότι η επίδραση που ασκεί η περιφερική διαθλαστική κατάσταση στην οφθαλμική ανάπτυξη και στην κεντρική διαθλαστική εξέλιξη πηγάζει από τα σήματα αφεστίασης της περιφέρειας, θα ήταν ριψοκίνδυνο να αποδοθεί στην εκάστοτε εθνότητα, είτε μία αιτιολογική, είτε μία προστατευτική ερμηνεία, αναφορικά με την αλληλεπίδραση της περιφερικής διάθλασης και της εθνότητας. Η εισήγηση που προκρίνεται εντέλει για τον ρόλο που διαδραματίζει η εθνότητα προέλευσης αναφορικά με την περιφερική διάθλαση και την μυωπία, συνηγορεί υπέρ μίας, κατά κύριο λόγο, ιδιοσυγκρασιακής παρά αιτιολογικής επίδρασης, των εθνολογικών καταβολών.¹⁹³

ΜΥΩΠΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ

Για την αποτίμηση της έτερης κατεύθυνσης ενδιαφέροντος, δηλαδή την αξιολόγηση της συσχέτισης ανάμεσα στην πρόοδο της μυωπίας στην φoveακαι στην σχετική περιφερική διαθλαστική κατάσταση, ο Muttieξέτασε 774 μυωπικά παιδιά. Προϋπόθεση για να συμπεριληφθεί ο εκάστοτε εξεταζόμενος, αποτελούσε η ύπαρξη τουλάχιστον μίας καταγραφής του RPREκατά την έναρξη ενός μονοετούς μεσοδιαστήματος μυωπικής προόδου. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν αξιοπρόσεκτα ευρήματα. Στο δείγμα μελέτης ως ολότητα, ο μέσος ετήσιος ρυθμός προόδου της μυωπίας κυμάνθηκε σε $-0,38 \pm 0,33$ Dανά έτος. Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι τα κορίτσια παρουσίαζαν μία ταχύτερη εξέλιξη της μυωπίας, κατά $-0,090$ Dανά έτος συγκριτικά με τα αγόρια. Κάθε έτος αύξησης της ηλικίας, επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι επιβράδυνε την μυωπική πρόοδο κατά $0,033$ ανά έτος. Όσον αφορά δε το καίριο ζήτημα της εξάρτησης της μυωπικής εξέλιξης από την διαθλαστική κατάσταση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, κατεδείχθη ότι η παρουσία υψηλότερου βαθμού υπερμετρωπικού RPRE, ήταν συνυφασμένη με έναν ταχύτερο ρυθμό μυωπικής προόδου. Παρ' όλα αυτά, το μέγεθος της ανωτέρω συσχέτισης ήταν ιδιαιτέρως χαμηλό. Συγκεκριμένα, για κάθε διοπτριά υπερμετρωπικού σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος (RPRE), η αύξηση της μυωπικής προόδου ανά έτος, διαμορφωνόταν μόλις στις $-0,024$ D. Επιπλέον, το RPREκατά την έναρξη ενός μεσοδιαστήματος ενός έτους, δεν είχε επίδραση στον ρυθμό της μυωπικής προόδου, στοιχείο παρατηρηθέν στο σύνολο των εθνοτήτων. Επιπροσθέτως, δεν κατεγράφη, στατιστικά σημαντική, αλληλεπίδραση μεταξύ του χρόνου από την εμφάνιση της μυωπίας και του μέσου RPRE.¹⁹⁴

Αποτιμώντας τις βιομετρικές διαστάσεις του οφθαλμού, λαμβάνοντας υπόψη το εξετασθέν μυωπικό δείγμα στο σύνολό του, η μέση αύξηση του αξονικού μήκους

ανήλθε σε $0,20 \pm 0,20$ mm. Η επεξεργασία των στοιχείων , απέφερε παρεμφερή ,με την ανάλυση της μυωπικής προόδου, συμπεράσματα. Έτσι, παρατηρήθηκε ταχύτερη αξονική επιμήκυνση στα κορίτσια εν συγκρίσει με τα αγόρια, κατά 0,024mm. Επίσης, κάθε έτος αύξησης της ηλικίας, επιβράδυνε την αύξηση του αξονικού μήκους κατά 0,046 mmανά έτος. Κατεδείχθη ,εντέλει, απουσία επίδρασης της σχετικής περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης στην αξονική επιμήκυνση, καθώς το μέσο RPREδεν παρουσίαζε συσχέτιση με τον βαθμό αύξησης του αξονικού μήκους, ούτε υπήρχε ένα πιο υπερμετρωπικό RPREκατά την έναρξη ενός μεσοδιαστήματος ενός έτους. Μάλιστα, η έλλειψη επίδρασης χαρακτήριζε το σύνολο των εθνοτήτων προέλευσης ,καθώς και το σύνολο των ετών από την έναρξη της μυωπίας.¹⁹⁴

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ MUTTI

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΓΕΙΡΟΜΕΝΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Άξιο επισήμανσης είναι το γεγονός ότι στην μελέτη του Mutti, υλοποιήθηκε αποτίμηση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης, μόνον, σε ένα σημείο 30 μοιρών στον κροταφικό αμφιβληστροειδή. Δηλαδή αξιολογήθηκε το κροταφικό τεταρτημόριο (ρινικό οπτικό πεδίο), έτσι ώστε να αναλυθεί η επίδραση της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας στον κίνδυνο εμφάνισης ή στον ρυθμό προόδου της μυωπίας. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η περιφερική αφεστίαση δύναται να διαφοροποιείται στα εκάστοτε τεταρτημόρια του αμφιβληστροειδούς. Μάλιστα, η παραλλαγή μπορεί να είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε η μέση διαθλαστική κατάσταση στον κατακόρυφο μεσημβρινό να είναι μυωπική. Επιπροσθέτως, δεν πρέπει να παραβλεφθεί ότι ο προσδιορισμός του σχετικού περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος ,πραγματοποιήθηκε χωρίς την χρήση διορθωτικών γυαλιών. Μελέτες του 2009 και του 2010, καταδεικνύουν ότι οι χαμηλού βαθμού μυωπικές διορθώσεις παρουσιάζουν περιορισμένη επίδραση στο RPRE. Σε αντιδιαστολή όμως, μετρίου βαθμού οπτικές διορθώσεις της μυωπίας με γυαλιά, της τάξης των -3,00 Dή και περισσότερο, οδηγούν σε αύξηση της σχετικής περιφερικής υπερμετρωπίας κατά 0,75 Dτο ελάχιστο.^{315,316} Το μέγεθος της επίδρασης της οπτικής διόρθωσης στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση ,εξαρτάται από την εκκεντρότητα και το τεταρτημόριο του αμφιβληστροειδούς. Η λογική συνεπαγωγή, επομένως, είναι η αναμενόμενη απουσία επίδρασης της χρήσης γυαλιών στον ρυθμό προόδου της μυωπίας για την διαθλαστική ομάδα των χαμηλών μυώπων. Σε αντίθεση, η οπτική διόρθωση στους μετρίου και υψηλού βαθμού μύωπες, δυνητικά επιταχύνει τα επίπεδα μυωπικής εξέλιξης. Στην έρευνα του Muttiθεωρήθηκε ελάχιστη συνεισφορά της χρήσης γυαλιών για την διόρθωση μέτριας μυωπίας, στον ρυθμό μυωπικής προόδου. Τέλος ,το διοπτρικό όριο καθορισμού της μυωπίας (-0,75 Dσε κάθε κύριο μεσημβρινό), θέτει ,με την σειρά του, ορισμένα πλαίσια στην

μελέτη. Έτσι, χαμηλώνοντας την ουδό ύπαρξης μυωπίας ,θα καθίστατο εφικτή, η πρωιμότερη ανίχνευση παιδιών με τάση μυωπικής μετατόπισης, συμπεριλαμβάνοντας ,όμως, ταυτοχρόνως, έναν αυξημένο αριθμό παιδιών που δεν θα ανέπτυσσαν ,εντέλει, μυωπία. Εάν ,αντιθέτως, το κατώφλι γινόταν πιο αυστηρό, θα περιοριζόνταν οι εσφαλμένα θετικές περιπτώσεις, θα περιοριζόταν, όμως, και η ισχύς ανίχνευσης νέων περιστατικών χαμηλού βαθμού μυωπίας.¹⁹⁴

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ: ΑΠΟΥΣΙΑ ΡΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ RPRE

Η μελέτη δεν προκρίνει ,εντέλει, μία κυρίαρχη επίδραση της σχετικής περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης, στην εμφάνιση ή στην πρόοδο της μυωπίας. Ενδεικτική δε είναι, η διαφοροποίηση του μεγέθους της μυωπικής εξέλιξης σε συσχέτιση με την περιφερική διάθλαση. Οι -0,024 Dπρόσθετης μυωπικής προόδου ανά έτος, που κατεγράφησαν, για κάθε αύξηση 1 Dτου υπερμετρωπικού RPRE, αποτελεί ιδιαίτερος περιορισμένη επιρροή. Συγκεκριμένα, θα απαιτείτο χρονικό διάστημα 10 ετών για να επέλθει αξιοπρόσεκτη μεταβολή στην κεντρική διάθλαση ,αποδοτέα στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση. Επιπρόσθετα δεδομένα, αναφερθέντα παραπάνω, συνηγορούν υπέρ της διαπίστωσης από τα ερευνητικά αποτελέσματα για μία μικρή σημαντικότητας επιρροής της περιφερική διάθλασης: Κατεγράφη απουσία επίδρασης στον ρυθμό μυωπικής προόδου, της ύπαρξης ενός μεγαλύτερου βαθμού σχετικής περιφερική υπερμετρωπίας κατά την εκκίνηση ενός μεσοδιαστήματος προόδου ενός έτους. Ακόμα, δεν κατεδείχθη στατιστικά σημαντική επιρροή της περιφερικής διάθλασης στον ρυθμό αξονικής επιμήκυνσης.^{194,317,318}

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ HOOGERHEIDE

Τα ερευνητικά αποτελέσματα της έρευνας του Mutti, που υποβαθμίζουν τον ρόλο της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης στον καθορισμό της οφθαλμικής ανάπτυξης και της κεντρικής διαθλαστικής εξέλιξης, εναρμονίζονται με τα αποτελέσματα μίας σειράς μελετών της δεκαετίας του 2000. Στην αντίπερα όχθη, έρχονται σε αντίθεση με την εισήγηση της πρωτοπόρου έρευνας του 1971, σύμφωνα με την οποία, οι νεαροί εκπαιδευόμενοι πιλότοι, που χαρακτηρίζονταν από μεγαλύτερου βαθμού σχετική περιφερική υπερμετρωπία, βρίσκονταν υπό αυξημένο κίνδυνο μυωπικής εμφάνισης. Πιθανή ερμηνεία της εν λόγω διαφοροποίησης, έγκειται στην διαφορετική ηλικιακή ομάδα που εξετάστηκε στις 2 έρευνες. Η μελέτη του Mutti πραγματοποιήθηκε σε παιδιά, ενώ του Hoogerheide σε νεαρούς ενήλικες. Θα ήταν δυνατόν, δηλαδή, η σημαντικότητα της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης ως παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση μυωπίας, να μεταβάλλεται συναρτήσει του εκάστοτε εξεταζόμενου ηλικιακού δείγματος. Τέλος, κρίσιμη είναι η επισήμανση ότι στην μελέτη του Mutti, πραγματοποιήθηκε στην μεθοδολογία προσαρμογή για τον παράγοντα κινδύνου της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea, στοιχείο που απουσίαζε από την έρευνα του 1971. Η δυνητική σπουδαιότητα της ανωτέρω παρατήρησης, έγκειται στο γεγονός ότι ο κίνδυνος που αποδόθηκε στην περιφερική διαθλαστική κατάσταση από τον Hoogerheide, δύναται στην πραγματικότητα να πρόκειται για τον κίνδυνο που οφείλεται στην κεντρική διάθλαση (fovea) και η υπερμετρωπική σχετική περιφερική διάθλαση να σχετίζεται (δηλαδή να είναι απότοκος) με την παρουσία χαμηλότερου βαθμού υπερμετρωπίας στην fovea.¹⁹⁴

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ RPRE- ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗΣ ΑΦΕΣΤΙΑΣΗΣ

Από το 1987 (Wallman), έχει θεμελιωθεί η θεωρία η οποία εισηγείται ότι τοπικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς ελέγχουν την τοπική οφθαλμική ανάπτυξη και ,κατ' επέκταση, την αντίστοιχη διαθλαστική εξέλιξη στο τμήμα του αμφιβληστροειδούς.³¹⁹ Επομένως, διαφοροποιήσεις των οπτικών περιβαλλοντικών βιωμάτων σε ένα τμήμα του οπτικού πεδίου, θα επιφέρει μεταβολές , αποκλειστικά στην περιοχή του αμφιβληστροειδούς την υπεύθυνη για την αντίληψη του εν λόγω τμήματος του οπτικού πεδίου. Βέβαια, οι ανωτέρω θεωρήσεις , έρχονται σε σύγκρουση με την ύπαρξη δυναμικού των σημάτων αφεστίασης από τα εκάστοτε τμήματα της περιφέρειας του αμφιβληστροειδούς, να επηρεάζουν την οφθαλμική ανάπτυξη και την διαθλαστική εξέλιξη, όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε απώτερους αμφιβληστροειδικούς τόπους, συμπεριλαμβανομένης της fovea. Ο Atchison το 2006, μελετώντας την διάθλαση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς κατά μήκος του οριζόντιου και κατακόρυφου οπτικού πεδίου στην μυωπία, κατέδειξε ότι είναι ,κατά κανόνα, σύμφωνη με μονοτονικές συναρτήσεις, γεγονός που παρέχει πληροφορίες για την χωροδιάταξη της σχετικής περιφερική υπερμετρωπίας. Εισηγείται ,δηλαδή, ότι το υπερμετρωπικό RPREδεν περιορίζεται αποκλειστικά σε μία τοποθεσία, αλλά ,αντιθέτως, ξεκινά παρακείμενα της fovea και αυξάνεται σε μέγεθος με την αύξηση της εκκεντρότητας του αμφιβληστροειδούς.¹⁹⁷ Επίσης, τα πειραματικά δεδομένα από έρευνες σε νεογέννητους πιθήκους, κατέδειξαν ότι η αποστέρηση του ερεθίσματος σε εκκεντρότητα μεγαλύτερη των 18,5 μοιρών, καθώς και η οπτικά εισαγόμενη αφεστίαση σε γωνία πεδίου μεγαλύτερη των 15,5 μοιρών, ήταν επαρκείς για την τροποποίηση της κεντρικής διαθλαστικής κατάστασης. Στην παρούσα έρευνα η εκκεντρότητα που επιλέχθηκε για την αξιολόγηση της περιφερικής διαθλαστικής κατάστασης ήταν οι 30 μοίρες στο κροταφικό τμήμα του αμφιβληστροειδούς, ήταν σύμφωνη (υπερέβαινε), δηλαδή, με την ανωτέρω ουδό της γωνίας πεδίου, για την άσκηση επίδρασης της περιφερικής διάθλασης στην κεντρική.^{230,318}

Παρ' όλα αυτά, παραμένει πεδίο έρευνας στον άνθρωπο ,το μέγεθος της αφεστίασης που απαιτείται να υφίσταται στην δυνητικά κατάλληλη αμφιβληστροειδική εκκεντρότητα, ώστε να επέλθει μεταβολή της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea. Αναφορικά με την παράμετρο του επιπέδου αφεστίασης, οι υπάρχουσες έρευνες παρέχουν μία σειρά χρήσιμων δεδομένων. Έτσι, η παρουσία αφεστίασης στην fovea της τάξης μεγέθους των 0,50 D εν συγκρίσει με τους εμμέτρωπες, λόγω Υστέρησης στην Προσαρμογή (Lag), προτείνεται ότι προάγει την αξονική επιμήκυνση και την μυωπική μετατόπιση. Βέβαια, εάν θεωρηθεί αποδεκτή η αξίωση για τον δυνητικό ρόλο της περιφερικής διάθλασης, αναμένεται η απαιτούμενη ουδός αφεστίασης στην περιφέρεια για να επέλθει οφθαλμική ανάπτυξη και κεντρική διαθλαστική μεταβολή, να υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγεθος αφεστίασης που απαιτείται στην fovea. Πειραματικά δεδομένα, καταγράφουν ότι ένα μέγεθος περιφερικής αφεστίασης της τάξης των 3 D, είναι επαρκές για να

τροποποιήσει την διαθλαστική κατάσταση στην fovea. Στην έρευνα του Mutti, το μέγεθος της περιφερικής αφεστίασης ήταν περιορισμένο, της τάξης των 2 D. Κατ' επέκταση, η απουσία επίδρασης του περιφερικού διαθλαστικού σφάλματος στην κεντρική διαθλαστική κατάσταση, δύναται να οφείλεται σε ανεπαρκή ποσότητα του μεγέθους της περιφερικής αφεστίασης.¹⁹⁴

Η έρευνα μελέτησε επιπροσθέτως του σχετικού περιφερικού σφαιρικού ισοδυνάμου, ορισμένα ακόμα επίπεδα εστίασης. Διερεύνησε τον πιο υπερμετρωπικό, καθώς και τον λιγότερο υπερμετρωπικό περιφερικό μεσημβρινό, διαπιστώνοντας ότι δεν παρουσίαζαν σημαντική επίδραση στον κίνδυνο μυωπικής εμφάνισης. Ακόμα, κάθε μεσημβρινός επηρέαζε αξιολογούμενα την ρυθμό πρόοδου της μυωπίας, αλλά τα αποτελέσματα ήταν αντιφατικά. Συγκεκριμένα, η παρουσία μεγαλύτερου βαθμού υπερμετρωπίας στον πιο υπερμετρωπικό μεσημβρινό κατά την έναρξη ενός μεσοδιαστήματος συσχετιζόταν με μικρότερη μυωπική πρόοδο κατά 0,02 Δανά έτος. Όμως, η διαθλαστική κατάσταση στον πιο υπερμετρωπικό μεσημβρινό σταθμισμένη για όλα τα μεσοδιαστήματα δεν παρουσίαζε σύνδεση με την πρόοδο της μυωπίας. Αντιθέτως, ενώ η ύπαρξη μεγαλύτερου υπερμετρωπικού σφάλματος στον λιγότερο υπερμετρωπικό μεσημβρινό κατά την έναρξη ενός μεσοδιαστήματος δεν συνοδευόταν από συσχέτιση με τον βαθμό μυωπικής εξέλιξης, η παρουσία επαυξημένης υπερμετρωπίας στον λιγότερο υπερμετρωπικό αστιγματισμό σταθμισμένη για το σύνολο των μεσοδιαστημάτων, συνδεόταν με ταχύτερη πρόοδο της μυωπίας κατά 0,03 ανά έτος. Αναφορικά με την κυλινδρική συνιστώσα στην περιφέρεια, ο περιφερικός κύλινδρος δεν συσχετιζόταν με τον κίνδυνο εμφάνισης μυωπίας. Παρουσίαζε, όμως, σημαντική σύνδεση με τον ρυθμό της μυωπικής πρόοδου, αν και στην περίπτωση αυτή, όπως και για τους περιφερικούς μεσημβρινούς, τα εξαγόμενα δεδομένα ήταν ευμετάβλητα. Μικρότερου βαθμού κύλινδρος στην περιφέρεια, είτε κατά την έναρξη ενός μεσοδιαστήματος, είτε μετά από στάθμιση για όλα τα μεσοδιαστήματα, συνοδευόταν από συσχέτιση με ταχύτερη πρόοδο της μυωπίας. Όμως, η παρατηρούμενη επιτάχυνση του ρυθμού μυωπικής εξέλιξης, ήταν, μόλις, 0,03 ανά έτος. Αναμφισβήτητα, τα ανωτέρω δεδομένα, είναι ενδεικτικά απουσίας συνεπούς επίδρασης της περιφερικής αφεστίασης, είτε στον κίνδυνο μυωπικής εμφάνισης, είτε στον βαθμό πρόοδου της μυωπίας.¹⁹⁴

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η αναλυθείσα προσέγγιση των διαφόρων πτυχών της περιφερικής διάθλασης και της περιφερικής αφεστίασης παρέχουν ένα αληθοφανές πλαίσιο για την κατανόηση κρίσιμων στοιχείων για την μυωπία. Διερευνά όψεις της εμμετροποιητικής διαδικασίας, καθώς και μία σειρά πιθανών παραγόντων από τα περιβαλλοντικά βιώματα (π.χ. οι απαιτήσεις θέασης συναρτήσει του σύγχρονου εκπαιδευτικού συστήματος), οι οποίοι δύνανται να εμπλέκονται στην καταγραφόμενη αύξηση του μυωπικού επιπολασμού. Παρ' όλα αυτά δεν πρέπει να υποβαθμιστεί το γεγονός, ότι το μοντέλο ερμηνείας που βασίζεται στην διαθλαστική κατάσταση στην περιφέρεια του αμφιβληστροειδούς, δεν αποσαφηνίζει ξεκάθαρα, έναν αριθμό καίριων εγείρομενων ζητημάτων. Σε αυτά περιλαμβάνεται η προέλευση και η επίδραση των διαφόρων ασυμμετριών, όπως η πιθανή ρινική – κροταφική και κάθετη – οριζόντια ασυμμετρία. Επιπροσθέτως, ο πιθανολογούμενος ρόλος που διαδραματίζει ο αξονικός αστιγματισμός, καθώς, επίσης, και το φαινομενικά πιο ανώμαλο οφθαλμικό σχήμα στους μύωπες συγκριτικά με τους εμμέτρωπες όπως εισηγήθηκαν οι Taberner και Schaeffel. Μία ακόμα παράμετρο δε, αποτελούν οι δυνητικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα ,στην παρουσία γενετικής προδιάθεσης που καθιστά τον οφθαλμό ευάλωτο στην μυωπία, και στα οπτικά του οφθαλμού. Αντιπροσωπευτικά αναφέροντας, για τον παράγοντα της αμφιβληστροειδικής ασυμμετρίας δύνανται να διατυπωθεί η εισήγηση, ότι η οι επιδράσεις της εμμετροποιητικής διαδικασίας σε διαφορετικούς μεσημβρινούς, δέχονται την επιρροή α) της απουσίας περιστροφικής συμμετρίας γύρω από την fovea. Ακόμα, β) η αποκέντρωση ή η παρουσία κεκλιμένων (tilted) αμφιβληστροειδικών συστατικών, καθώς και γ) περιορισμοί στην ανάπτυξη επιβαλλόμενοι , είτε από τον κόγχο, είτε από εξοφθάλμιους μύες, είναι δυνατόν να διαδραματίζουν κάποιον ρόλο. Τέλος, δ) η ασυμφωνία μεταξύ του Άξονα της Όρασης και του Οπτικού Άξονα, δύνανται να παρουσιάζει σημαντικότητα όσον αφορά την εξεταζόμενη ασυμμετρία.

Εν κατακλείδι, δεν είναι επαρκώς στοιχειοθετημένη η εισήγηση, ότι η σχετική περιφερική υπερμετροπία αποτελεί αιτιολογικό παράγοντα της εμφάνισης αξονικής μυωπίας, ενώ, αντιθέτως, η παρουσία σχετικής περιφερικής μυωπίας δρα ανασταλτικά. Ο απώτερος σκοπός της εν λόγω διερεύνησης, έγκειται στην εξακρίβωση εάν το μοντέλο της περιφερικής διάθλασης δύνανται να προβλέψει την πιθανότητα μελλοντικής μυωπικής εμφάνισης. Μάλιστα, υπάρχουν αξιοσημείωτα δεδομένα συνηγορούντα υπέρ μίας πιθανής επίδρασης της κατάστασης εστίασης στον περιφερικό αμφιβληστροειδή στην κεντρική εστίαση και διαθλαστική κατάσταση. Δεν χωρά αμφιβολία, ότι επιπρόσθετες ερευνητικές προσπάθειες στην κατεύθυνση αποτίμησης της συσχέτισης μεταξύ της περιφερικής διάθλασης και της ανάπτυξης αξονικής αμετροπίας, είναι <<εκ των ων ουκ άνευ>>. Και αν πράγματι εξακριβωθεί η υπόθεση για την επιβαρυντική επίδραση της σχετικής περιφερικής

υπερμετρωπίας επί της μυωπίας, το επόμενο στρατηγικό βήμα αποτελεί η οπτική εξουδετέρωσή της.

Στο ανθρώπινο γένος, τα υπάρχοντα δεδομένα, συνηγορούν, εντέλει, υπέρ μίας αντίληψης, ότι το μοντέλο της περιφερικής διάθλασης, αποτελεί, κατά κύριο λόγο, μία συνέπεια της κεντρικής διάθλασης, παρά έναν καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης της διαθλαστικής κατάστασης στην fovea. Σε κάθε περίπτωση, εξέχουσα θέση διατηρεί η υπόθεση, για έναν δυνητικό ρόλο του αμφιβληστροειδικού σχήματος στον έλεγχο της μυωπικής ανάπτυξης. Η επίδραση αυτή είναι πιθανό να ασκείται μέσω βιομηχανικών παραμέτρων, εμπλέκοντας, ιδίως, τον Σκληρό Χιτώνα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Siegwart J, Norton T. Perspective: How Might Emmetropization and Genetic Factors Produce Myopia in Normal Eyes?. *Optom Vis Sci.* 2011;88:E365–E372.
2. Siegwart JT Jr, Norton TT. Regulation of the mechanical properties of tree shrew sclera by the visual environment. *Vision Res.* 1999;39:387–407.
3. Siegwart JT Jr, Norton TT. Selective regulation of MMP and TIMP mRNA levels in tree shrew sclera during minus lens compensation and recovery. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:3484–92.
4. Shen W, Sivak JG. Eyes of a lower vertebrate are susceptible to the visual environment. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:4829–37.
5. Smith EL III, Hung LF, Harwerth RS. Effects of optically induced blur on the refractive status of young monkeys. *Vision Res.* 1994;34:293–301.
6. Gilmartin B. Myopia: precedents for research in the twenty-first century. *Clinical and Experimental Ophthalmology.* 2004;32: 305–324.
7. Larsen JS. The sagittal growth of the eye. IV. Ultrasonic measurement of the axial length of the eye from birth to puberty. *Acta Ophthalmol.* 1971;49:873–86.
8. Gernet H, Hollwich F. Oculometry of infantile glaucoma. *Ber Zusammenkunft Dtsch Ophthalmol Ges.* 1969;69:341–8.
9. Cook RC, Glasscock RE. Refractive and ocular findings in the newborn. *Am J Ophthalmol.* 1951;34:1407–13.
10. Goldschmidt E. Refraction in the newborn. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1969;47:570–8.
11. Zonis S, Miller B. Refractions in the Israeli newborn. *J Pediatr Ophthalmol.* 1974;11:77–81.
12. Santodomingo-Rubido J, Mallen EAH, Gilmartin B, Wolffsohn JS. A new non-contact device for ocular biometry. *Br J Ophthalmol.* 2002; 86: 458–62.
13. Stenstrom S. Investigation of the variation and the correlation of the optical elements of human eyes. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1948;25:496–504.
14. Sorsby A, Leary GA, Fraser GR. Family studies on ocular refraction and its components. *J Med Genet.* 1966;3:269–73.

15. Sorsby A, Benjamin B, Sheridan M, Stone J, Leary GA. Refraction and its components during the growth of the eye from the age of three. *Med Res Council Annu Rep.* 1961;301(special):1–67.
16. Zadnik K, Manny RE, Yu JA, Mitchell GL, Cotter SA, Quiralte JC, Shipp M, Friedman NE, Kleinstein RN, Walker TW, Jones LA, Moeschberger ML, Mutti DO. Ocular component data in schoolchildren as a function of age and gender. *Optom Vis Sci.* 2003;80:226–36.
17. Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA, Friedman NE, Frane SL, Lin WK, Moeschberger ML, Zadnik K. Axial growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:3074–80.
18. Norton TT, McBrien NA. Normal development of refractive state and ocular component dimensions in the tree shrew (*Tupaia belangeri*). *Vision Res.* 1992;32:833–42.
19. Bradley DV, Fernandes A, Lynn M, Tigges M, Boothe RG. Emmetropization in the rhesus monkey (*Macaca mulatta*): birth to young adulthood. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999;40:214–29.
20. Sorsby A, Benjamin B, Sheridan M. Refraction and its Components During the Growth of the Eye from the Age of Three. Medical Research Council Special Report Series no. 301. London: HMSO, 1961.
21. Sorsby A, Leary GA. A Longitudinal Study of Refraction and its Components During Growth. Medical Research Council Special Report Series no. 309. London: HMSO 1970.
22. Mayer DL, Hansen RM, Moore BD, Kim S, Fulton AB. Cycloplegic refractions in healthy children aged 1 through 48 months. *Arch Ophthalmol.* 2001;119:1625–8.
23. Wallman J, Adams JI. Developmental aspects of experimental myopia in chicks: susceptibility, recovery and relation to emmetropization. *Vision Res.* 1987;27:1139–63.
24. Meyer C, Mueller MF, Duncker GI, Meyer HJ. Experimental animal myopia models are applicable to human juvenile-onset myopia. *Surv Ophthalmol.* 1999;44(suppl 1):S93–102.
25. Rabin J, Van Sluyters RC, Malach R. Emmetropization: a visiondependent phenomenon. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1981;20:561–4.
26. von Noorden GK, Lewis RA. Ocular axial length in unilateral congenital cataracts and blepharoptosis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1987;28:750–2.

27. Sherman SM, Norton TT, Casagrande VA. Myopia in the lidsutured tree shrew (*Tupaia glis*). *Brain Res.* 1977;124:154–7.
28. Wiesel TN, Raviola E. Myopia and eye enlargement after neonatal lid fusion in monkeys. *Nature.* 1977;266:66–8.
29. Hirsch MJ. Predictability of refraction at age 14 on the basis of testing at age 6 – interim report from the Ojai longitudinal study of refraction. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1964; 41: 567–573.
30. Charman WN. Myopia, posture and the visual environment. *OphthalmicPhysiol Opt.* 2011;31(5):494-501.
31. Fledelius HC. Prevalences of astigmatism and anisometropia in adult Danes. *Acta Ophthalmol.* 1984; 62: 391–400.
32. Smith EL 3rd. Prentice Award Lecture 2010: A case for peripheral optical treatment strategies for myopia. *OptomVisSci.* 2011;88(9):1029-44.
33. SankaridurgP, HoldenB, SmithE 3rd, NaduvilathT, ChenX, delaJaraPL, MartinezA, KwanJ, HoA, FrickK, GeJ. Decrease in rate of myopia progression with a contact lens designed to reduce relative peripheral hyperopia: one-year results. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(13):9362-7.
34. Anstice NS, Phillips JR. Effect of dual-focus soft contact lens wear on axial myopia progression in children. *Ophthalmology.* 2011;118(6):1152-61.
35. Chung K, Mohidin N, O’Leary DJ. Undercorrection of myopia enhances rather than inhibits myopia progression. *Vision Res.* 2002;42:2555–9.
36. Yang Z, Lan W, Ge J, et al. The effectiveness of progressive addition lenses on the progression of myopia in Chinese children. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2009;29:41– 8.
37. Hasebe S, Ohtsuki H, Nonaka T, et al. Effect of progressive addition lenses on myopia progression in Japanese children: a prospective, randomized, double-masked, crossover trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:2781–9.
38. Gwiazda J, Hyman L, Hussein M, et al. A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44:1492–500.
39. Edwards MH, Li RW, Lam CS, et al. The Hong Kong progressive lens myopia control study: study design and main findings. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43:2852– 8.

40. Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ, et al. An intervention trial on efficacy of atropine and multi-focal glasses in controlling myopic progression. *Acta Ophthalmol Scand.* 2001;79:233–6.
41. Lin LL et al. *Acta Ophthalmol. Suppl.* 1988; 185: 29–33.
42. Lin LL et al. *Optom. Vis. Sci.* 1999; 76: 275–81.
43. Seet B et al. *Br. J. Ophthalmol.* 2001; 85: 521–6.
44. Tay MT et al. *Ann. Acad. Med. Singapore* 1992; 21: 785–91.
45. Saw SM et al. *Epidemiol. Rev.* 1996; 18: 175–87.
46. Lin, L. L., Shih, Y. F., Hsiao, C. K. and Chen, C. J. (2004) Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983–2000. *Ann. Acad. Med. Singapore* 33, 27–33.
47. Wu, M. M. and Edwards, M. H. (1999) The effect of having myopic parents: an analysis of myopia in three generations. *Optom. Vis. Sci.* 76, 387–392.
48. Villarreal, M. G., Ohlsson, J., Abrahamsson, M., Sjostrom, A. and Sjostrand, J. (2000) Myopisation: the refractive tendency in teenagers. Prevalence of myopia among young teenagers in Sweden. *Acta Ophthalmol. Scand.* 78,177–181.
49. Goldschmidt, E. (1968) [On the etiology of myopia. An epidemiological study]. *Acta Ophthalmol. (Copenh)* 98 (Suppl.), 91.
50. Laatikainen, L. and Erkkila, H. (1980) Visual screening of school children. *Acta Ophthalmol. (Copenh)* 58, 137–143.
51. Mantyjarvi, M. (1983) Incidence of myopia in a population of Finnish school children. *Acta Ophthalmol. (Copenh)* 61,417–423.
52. Zadnik, K.. (1997) The Glenn A. Fry Award Lecture (1995). Myopia development in childhood. *Optom. Vis. Sci.* 74,603–608.
53. Zadnik K. *Optom. Vis Sci.* 1997; 74: 603–8.
54. 82) Mutti DO, Zadnik K. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2000; 41:2103–7.
55. Rose K et al. *Clin. Exp. Ophthalmol.* 2001; 29: 116–20.
56. Saw S-M, Katz J, Schein OD, Chew SJ, Chan TK. Epidemiology of myopia. *Epidemiol Rev.* 1996; 18: 175–87.

57. Lin LL-K, Shih Y-F, Tsai C-B et al. Epidemiologic study of ocular refraction among school children in Taiwan in 1995. *Optom Vis Sci.* 1999; 76: 275–81.
58. Barnes M, Williams C, Lumb R et al. The prevalence of refractive errors in a UK birth cohort of children aged 7 years. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001; 42: E–Abstract 2096.
59. Villarreal MG, Ohlsson J, Abrahamsson M, Sjoström A, Sjostrand J. Myopisation: the refractive tendency in teenagers. Prevalence of myopia among young teenagers in Sweden. *Acta Ophthalmol Scand.* 2000; 78: 177–81.
60. Saw S-M, Carkeet A, Chia K-S, Stone RA, Tan DTH. Component dependent risk factors for ocular parameters in Singapore Chinese children. *Ophthalmology.* 2002; 109:2065–71.
61. Junghans B, Keily PM, Crewther DP, Crewther SG. Referral rates for functional vision screening among a large cosmopolitan sample of Australian children. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2002; 22: 10–25.
62. Lam CSY, Goldschmidt E, Edwards MH. Prevalence of myopia in local and international schools in Hong Kong. In: *Myopia: Strategies for the 21st Century. Abstract Book from the 9th International Conference on Myopia, Hong Kong and Guangzhou, 10–14 November 2002*; 15.
63. Rose K, Younan C, Morgan I, Mitchell P. Prevalence of undetected ocular conditions in a pilot sample of school children. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2003; 31: 237–40.
64. Rose K, Smith W, Morgan I, Mitchell P. The increasing prevalence of myopia: implications for Australia. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2003; 29: 116–20.
65. Zadnik K, Manny RE, Yu JA et al. Ocular component data in schoolchildren as a function of age and gender. *Optom Vis Sci.* 2003; 80: 226–36.
66. Kleinstein RN, Jones LA, Hullet S et al. Refractive error and ethnicity on children. *Arch Ophthalmol.* 2003; 121: 1141–7.
67. Young FA, Leary GA, Baldwin WR, West DC, Box RA, Harris E, Johnson C. The transmission of refractive errors within Eskimo families. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1969;46:676–85.
68. Verlee DL. Ophthalmic survey in the Solomon Islands. *Am J Ophthalmol.* 1968;66:304–19.
69. Garner LF, Kinnear RF, McKellar M, Klinger J, Hovander MS, Grosvenor T. Refraction and its components in Melanesian schoolchildren in Vanuatu. *Am J Optom Physiol Opt.* 1988;65:182–9.

70. Taylor HR. Racial variations in vision. *Am J Epidemiol.* 1981;113:62–80.
71. Garner LF, Owens H, Kinnear RF, Frith MJ. Prevalence of myopia in Sherpa and Tibetan children in Nepal. *Optom Vis Sci.* 1999;76:282–5.
72. Thorn E, Cruz AA, Machado AJ, Carvalho RA. Refractive status of indigenous people in the northwestern Amazon region of Brazil. *Optom Vis Sci.* 2005;82(4):267-72.
73. Beltrao O, Beltrao F. Enciclopedia da Amazonia Brasileira Amazonas. Manaus: Ed. Atlas. 1996;1:357–65.
74. Cunho MC. Historia dos indios do Brasil, 2nd ed. Sao Paulo: Companhia da Letras. 1998:1–30.
75. Kempen JH, Mitchell P, Lee KE, Tielsch JM, Broman AT, Taylor HR, Ikram MK, Congdon NG, O'Colmain BJ; Eye Diseases Prevalence Research Group. The prevalence of refractive errors among adults in the United States, Western Europe, and Australia. *Arch Ophthalmol.* 2004;122(4):495-505.
76. Kleinstei RN, Jones LA, Hullett S, Kwon S, Lee RJ, Friedman NE, Manny RE, Mutti DQ, Yu JA, Zadnik K; Collaborative Longitudinal Evaluation of Ethnicity and Refractive Error Study Group. Refractive error and ethnicity in children. *Arch Ophthalmol.* 2003 ;121(8):1141-7.
77. Grosvenor T. A review and suggested classification of myopia on the basis of age-related prevalence and age of onset. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987; 64: 545–54.
78. Edwards MH. Myopia: definitions, classifications and economic implications. In: Rosenfield M, Gilmartin B, eds. *Myopia and Nearwork.* Oxford: Butterworth Heinemann. 1998; 1–12.
79. Curtin BJ. *The Myopias: Basic Science and Clinical Management.* Philadelphia: Harper & Row. 1985.
80. Ciuffreda KJ, Vasudevan B. Nearwork-induced transient myopia (NITM) and permanent myopia--is there a link? *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008 ;28(2):103-14.
81. Guggenheim JA et al. *J. Med. Genet.* 2000; 37: 227–31.
82. Saw SM et al. *Ann. Acad. Med. Singapore.* 2000; 29: 290–97.
83. Goss DA et al. *J. Am. Optom. Assoc.* 1988; 59: 875–84.

84. Hoyt CS et al. *Am. J. Ophthalmol.* 1981; 91: 197–200.
85. Maumenee IH. *Arch. Ophthalmol.* 1992; 110: 472–3.
86. Ahmad NN et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 1991; 88: 6624–7.
87. Glass IA et al. *J. Med. Genet.* 1993; 30: 1044–50.
88. Sertie AL et al. *Hum. Mol. Genet.* 1996; 5: 843–7.
89. Bech-Hansen NT et al. *Hum. Genet.* 1998; 103: 124–30.
90. Rose KA, Morgan IG, Smith W, Mitchell P. High heritability of myopia does not preclude rapid changes in prevalence. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2002;30(3):168-72.
91. Crow J. *Basic Concepts in Population, Quantitative and Evolutionary Genetics.* New York: WH Freeman. 1986.
92. Wu MM, Edwards MH. *Optom. Vis. Sci.* 1999; 76: 387–92.
93. Pacella R, McLellan J, Grice K et al. Role of genetic factors in the etiology of juvenile-onset myopia based on a longitudinal study of refractive error. *Optom Vis Sci.* 1999; 76: 381–6.
94. Young TL, Ronan SM, Alvear AB et al. A second locus for familial high myopia maps to chromosome 12q. *Am J Hum Genet.* 1998; 63: 1419–24.
95. Naiglin L, Gazagne C, Dallongeville F et al. A genome wide scan for familial high myopia suggests a novel locus on chromosome 7q36. *J Med Genet.* 2002; 39: 118–24.
96. Lam DSC, Lee WS, Leung YF et al. TGF beta induced factor: a candidate gene for high myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003; 44: 1012–15.
97. Mutti DO, Semina E, Marazita M, Cooper M, Murray JC, Zadnik K. Genetic loci for pathological myopia are not associated with juvenile myopia. *Am J Med Genet.* 2002; 112:355–60.
98. Lyhne N, Sjolie AK, Kyvik KO, Green A. The importance of genes and environment for ocular refraction and its determiners: a population based study among 20–45 year old twins. *Br J Ophthalmol.* 2001; 85: 1470–76.
99. Hammond CJ, Snieder H, Gilbert CE, Spector TD. Genes and environment in refractive error: The Twin Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001; 42: 1232–6.

100. Lim CSS, Frick KD. The economics of myopia. In: Beuerman RW, Saw SM, Tan DTH, Wong TY, eds. *Myopia: Animal Modelsto Clinical Trials*. Singapore: World Scientific; 2011:63–80.
101. Sherwin JC, Hewitt AW, Coroneo MT, Kearns LS, Griffiths LR, Mackey DA. The association between time spent outdoors and myopia using a novel biomarker of outdoor light exposure. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2012;53(8):4363-70.
102. Wu PC, Tsai CL, Hu CH, Yang YH. Effects of outdoor activities on myopia among rural school children in Taiwan. *Ophthalmic Epidemiol*. 2010;17:338–342.
103. Deng L, Gwiazda J, Thorn F. Children’s refractions and visual activities in the school year and summer. *Optom Vis Sci*. 2010;87:406–413.
104. Dirani M, Tong L, Gazzard G, et al. Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children. *Br J Ophthalmol*. 2009;93:997–1000.
105. Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology*. 2008;115:1279–1285.
106. Jones LA, Sinnott LT, Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Zadnik K. Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:3524–3532.
107. McCarthy CS, Megaw P, Devadas M, Morgan IG. Dopaminergic agents affect the ability of brief periods of normal vision to prevent form-deprivation myopia. *Exp Eye Res*. 2007;84:100–107.
108. Ashby RS, Schaeffel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51:5247–5253.
109. 110) Smith EL III, Hung LF, Huang J. Protective effects of high ambient lighting on the development of form-deprivation myopia in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53:421–428.
110. Ashby R, Ohlendorf A, Schaeffel F. The effect of ambient illuminance on the development of deprivation myopia in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009;50:5348–5354.
111. Ashby RS, Schaeffel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51:5247–53.
112. Prepas SB. Light, literacy and the absence of ultraviolet radiation in the development of myopia. *Med Hypotheses*. 2008;70:635–637.

113. Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology*. 2008;115:1279–1285.
114. Morgan I, Rose K. How genetic is school myopia? *Prog Retin Eye Res*. 2005;24:1–38.
115. Li T, Troilo D, Glasser A, Howland HC. Constant light produces severe corneal flattening and hyperopia in chickens. *Vision Res* 1995;35:1203–9.
116. Li T, Howland HC, Troilo D. Diurnal illumination patterns affect the development of the chick eye. *Vision Res*. 2000;40:2387–93.
117. Cohen Y, Belkin M, Yehezkel O, Avni I, Polat U. Light intensity modulates corneal power and refraction in the chick eye exposed to continuous light. *Vision Res*. 2008;48:2329–35.
118. Gwiazda J, Hyman L, Hussein M, et al. A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003;44:1492–500.
119. Saw SM, Carkeet A, Chia KS, et al. Component dependent risk factors for ocular parameters in Singapore Chinese children. *Ophthalmology* 2002;109:2065–71.
120. Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, et al. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43:3633–40.
121. Saw SM, Gazzard G, Au Eong KG, Tan DT. Myopia: attempt to arrest progression. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:1306–11.
122. Gwiazda J, Hyman L, Hussein M, et al. A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003;44:1492–500.
123. Gwiazda JE, Hyman L, Norton TT, et al. Accommodation and related risk factors associated with myopia progression and their interaction with treatment in COMET children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45:2143–51.
124. Chua WH, Balakrishnan V, Chan YH, et al. Atropine for the treatment of childhood myopia. *Ophthalmology*. 2006;113:2285–91.
125. McBrien NA, Moghaddam HO, Reeder AP. Atropine reduces experimental myopia and eye enlargement via a nonaccommodative mechanism. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34:205–15.

126. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, Mitchell P. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. Ophthalmology.2008;115(8):1279-85.
127. Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron*. 2004;43:447– 68.
128. Rose KA, Morgan IG, Smith W, Burlutsky G, Mitchell P, Saw SM. Myopia, lifestyle, and schooling in students of Chinese ethnicity in Singapore and Sydney. Arch Ophthalmol. 2008;126(4):527-30.
129. Central Intelligence Agency. The World Factbook. Dulles, VA: Potomac Books Inc; 2006.
130. Saw SM, Nieto FJ, Katz J, Schein OD, Levy B, Chew SJ. Familial clustering and myopia progression in Singapore school children. *Ophthalmic Epidemiol*.2001;8(4):227-236.
131. Cordain L, Eaton SB, Brand-Miller J, Lindeberg S, Jensen C. An evolutionary analysis of the aetiology and pathogenesis of juvenile-onset myopia. *Acta Ophthalmol Scand*. 2002;80:125-135.
132. Singapore Ministry of Education. Education Statistics Digest. Singapore: Ministry of Education; 2004.
133. Steering Committee for the Review of Government Service Provision. Report on Government Services. Melbourne: Australian Productivity Commission; 2006.
134. Saw SM, Carkeet A, Chia KS, Stone RA, Tan DT. Component dependent risk factors for ocular parameters in Singapore Chinese children. *Ophthalmology*.2002;109:2065-2071.
135. Dirani M, Tong L, Gazzard G, Zhang X, Chia A, Young TL, Rose KA, Mitchell P, Saw SM. Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children. Br J Ophthalmol.2009;93(8):997-1000.
136. Jacobsen N, Jensen H, Goldschmidt E. Does the level of physical activity in university students influence development and progression of myopia? A 2-year prospective cohort study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49:1322–7.
137. Sherwin JC, Hewitt AW, Ruddle JB, Mackey DA. Genetic isolates in ophthalmic diseases. *Ophthalmic Genet*. 2008;29:149–161.

138. Bellis C, Hughes RM, Begley KN, et al. Phenotypical characterization of the isolated Norfolk Island population focusing on epidemiological indicators of cardiovascular disease. *Hum Hered*. 2005;60:211–219.
139. Friedlaender MH. Ultraviolet radiation and the external eye. *Int Ophthalmol Clin*. 2005;45:49–54.
140. Gatton DD, Lichter H, Avisar I, Slodovinic D, Solomon AS. Lymphocytic reaction to ultraviolet radiation on rabbit conjunctiva. *Ann Ophthalmol (Skokie)*. 2007;39:128–133.
141. Ng J, Coroneo MT, Wakefield D, Di Girolamo N. Ultraviolet radiation and the role of matrix metalloproteinases in the pathogenesis of ocular surface squamous neoplasia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49:5295–5306.
142. Oliva MS, Taylor H. Ultraviolet radiation and the eye. *Int Ophthalmol Clin*. 2005;45:1–17.
143. Lucas RM, McMichael AJ, Armstrong BK, Smith WT. Estimating the global disease burden due to ultraviolet radiation exposure. *Int J Epidemiol*. 2008;37:654–667.
144. Deng L, Gwiazda J. Birth season, photoperiod, and infancy refraction. *Optom Vis Sci*. 2011 ;88:383-7.
145. Mandel Y, Grotto I, El-Yaniv R, Belkin M, Israeli E, Polat U, Bartov E. Season of birth, natural light, and myopia. *Ophthalmology*. 2008;115:686–92.
146. McMahon G, Zayats T, Chen YP, Prashar A, Williams C, Guggenheim JA. Season of birth, daylight hours at birth, and high myopia. *Ophthalmology*. 2009;116:468–73.
147. Quinn GE, Shin CH, Maguire MG, Stone RA. Myopia and ambient lighting at night. *Nature* 1999;399:113–4.
148. Czepita D, Goslawski W, Mojsa A, Muszynska-Lachota I. Role of light emitted by incandescent or fluorescent lamps in the development of myopia and astigmatism. *Med Sci Monit*. 2004;10:CR168–71.
149. Plainis, S., Tzatzala, P., Orphanos, Y. and Tsilimbaris, M. K. (2007) A modified ETDRS visual acuity chart for Europeanwide use. *Optom. Vis. Sci.* 84, 647–653.
150. Plainis S, Moschandreas J, Nikolitsa P, Plevridi E, Giannakopoulou T, Vitanova V, Tzatzala P, Pallikaris IG, Tsilimbaris MK. Myopia and visual acuity impairment: a comparative study of Greek and Bulgarian school children. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2009;29:312-20.

151. Mavracanas, T. A., Mandalos, A., Peios, D., Golias, V., Megalou, K., Gregoriadou, A., Delidou, K. and Katsougiannopoulos, B. (2000) Prevalence of myopia in a sample of Greek students. *Acta Ophthalmol. Scand.* 78, 656–659.
152. Konstantopoulos, A., Yadegarfar, G. and Elgohary, M. (2008) Near work, education, family history, and myopia in Greek conscripts. *Eye* 22, 542–546.
153. Saw SM, Cheng A, Fong A, Gazzard G, Tan DT, Morgan I. School grades and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007;27:126-9.
154. Quek, T. P. L., Chua, C. G., Chong, C. S., Chong, J. H., Hey, H. W., Lee, J., Lim, Y. F. and Saw, S. M. (2004) Prevalence of refractive errors in teenage high school students in Singapore. *Ophthalmol. Physiol. Opt.* 24, 47–55.
155. Rosner, M. and Belkin, M. (1987) Intelligence, education, and myopia in males. *Arch. Ophthalmol.* 105, 1508–1511.
156. Williams, S. M., Sanderson, G. F., Share, D. L. and Silva, P. A. (1988) Refractive error, IQ and reading ability: a longitudinal study from age seven to 11. *Dev. Med. Child Neurol.* 30, 735–742.
157. Mutti, D. O., Mitchell, G. L., Moeschberger, M. L., Jones, L. A. and Zadnik, K. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2002;43: 3633–3640.
158. Verkicharla PK, Mathur A, Mallen EA, Pope JM, Atchison DA. Eye shape and retinal shape, and their relation to peripheral refraction. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32(3):184-99.
159. Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL et al. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 46: 2698–2707.
160. Strang NC, Winn B & Bradley A. The role of neural and optical factors in limiting visual resolution in myopia. *Vision Res.* 1998; 38: 1713–1721.
161. Deller JF, O'Connor AD & Sorsby A. X-ray measurement of the diameters of the living eye. *Proc R Soc Med.* 1947;134: 456–467.
162. Vohra SB & Good PA. Altered globe dimensions of axial myopia as risk factors for penetrating ocular injury during peribulbar anaesthesia. *Br J Anaesth* 2000; 85: 242–245.

163. Fledelius HC & Goldschmidt E. Eye shape and peripheral visual field recording in high myopia at approximately 54 years of age, as based on ultrasonography and Goldmann kinetic perimetry. *Acta Ophthalmol.* 2010; 88: 521–526.
164. Zhou XD, Wang FR, Zhou SZ & Shi JS. A computed tomographic study of the relation between ocular axial biometry and refraction. In: *Myopia Updates: Proceedings of the 6th international conference on myopia*. New York, 1998, (Tokoro T, editor), pp. 112–115.
165. Song HT, Kim YJ, Lee SJ & Moon YS. Relations between age, weight, refractive error and eye shape by computerized tomography in children. *Korean J Ophthalmol.* 2007;21: 163–168.
166. Chen JF, Elsner AE, Burns SA et al. The effect of eye shape on retinal responses. *Clin Vis Sci.* 1992; 7: 521–530.
167. Cheng HM, Singh OS, Kwong KK et al. Shape of the myopic eye as seen with high-resolution magnetic resonance imaging. *Optom Vis Sci.* 1992; 69: 698–701.
168. Miller JM, Wildsoet CF, Guan H, Limbo M & Demer JL. Refractive error and eye shape by MRI. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45: E–Abstract.
169. Deller JF, O'Connor AD & Sorsby A. X-ray measurement of the diameters of the living eye. *Proc R Soc Med.* 1947;134: 456–467.
170. Atchison DA, Jones CE, Schmid KL et al. Eye shape in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45: 3380–3386.
171. Singh KD, Logan NS & Gilman B. Three-dimensional modeling of the human eye based on magnetic resonance imaging. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47: 2272–2279.
172. Moriyama M, Ohno-Matsui K, Hayashi K et al. Topographic analyses of shape of eyes with pathologic myopia by high-resolution three-dimensional magnetic resonance imaging. *Ophthalmology.* 2011; 118: 1626–1637.
173. Lim LS, Yang X, Gazzard G et al. Variations in eye volume, surface area, and shape with refractive error in young children by magnetic resonance imaging analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52: 8878–8883.
174. Zhou XD, Wang FR, Zhou SZ & Shi JS. A computed tomographic study of the relation between ocular axial biometry and refraction. In: *Myopia Updates: Proceedings of the 6th international conference on myopia*. New York, 1998, (Tokoro T, editor), pp. 112–115.

175. Ishii K, Iwata H & Oshika T. Quantitative evaluation of changes in eyeball shape in emmetropization and myopic changes based on elliptic Fourier descriptors. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52: 8585–8591.
176. Schmid GF. Axial and peripheral eye length measured with optical low coherence interferometry. *J Biomed Opt.* 2003;8: 655–662.
177. Schmid GF. Variability of retinal steepness at the posterior pole in children 7–15 years of age. *Curr Eye Res.* 2003; 27:61–68.
178. Schmid GF. Association between retinal steepness and central myopic shift in children. *Optom Vis Sci.* 2011; 88: 684–690.
179. Mallen EAH & Kashyap P. Technical note: measurement of retinal contour and supine axial length using the Zeiss IOLMaster. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007; 27: 404–411.
180. Atchison DA & Charman WN. Can partial interferometry be used to determine retinal shape? *Optom Vis Sci.* 2011;88: 601–607.
181. Dunne MCM. A computing scheme for determination of retinal contour from peripheral refraction, keratometry and A-scan ultrasonography. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1995;15: 133–143.
182. Logan NS, Gilmartin B, Wildsoet CF & Dunne MCM. Posterior retinal contour in adult human anisomyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004; 45: 2152–2162.
183. Charman WN, Radhakrishnan H. Peripheral refraction and the development of refractive error: a review. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2010;30(4):321-38.
184. Young T. On the mechanism of the eye. *Philos Transact.* 1801; 91: 23–88.
185. Ames JA & Proctor CA. Dioptrics of the eye. *J Opt Soc Am.* 1921; 5: 22–83.
186. Ferree CE, Rand G & Hardy C. Refraction for the peripheral field of vision. *Arch Ophthalmol.* 1931; 5: 717–731.
187. Ferree CE, Rand G & Hardy C. Refractive asymmetry in the temporal and nasal halves of the visual field. *Am J Ophthalmol.* 1932; 15: 513–522.
188. Ferree CE & Rand G. Interpretation of refractive conditions in the peripheral field of vision. *Arch Ophthalmol.* 1933; 9: 925–938.
189. Ferree CE, Rand G & Hardy C. An important factor in space perception in the peripheral field of vision. *Am J Psychol.* 1933; 45: 228–247.

190. Rempt F, Hoogerheide J & Hoogenboom WP. Peripheralretinoscopy and the skigram. *Ophthalmologica*. 1971; 162:1–10.
191. Hoogerheide J, Rempt F & Hoogenboom WP. Acquiredmyopia in young pilots. *Ophthalmologica*. 1971; 163: 209–215.
192. Mutti DO, Sholtz RI, Friedman NE & Zadnik K. Peripheralrefraction and ocular shape in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000; 41: 1022–1030.
193. Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL et al. Refractive error,axial length and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia.*Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007; 48: 2510–2519.
194. Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL et al. Relative peripheralrefractive error and the risk of onset and progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol VisSci*. 2011; 52: 199–205.
195. Sng CC, Lin XY, Gazzard G et al. Change in peripheralrefraction over time in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52: 7880–7887.
196. Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am J Optom Physiol Opt*. 1981; 58: 691–695.
197. Charman WN & Radhakrishnan H. Peripheral refraction and thedevelopment of refractive error: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2010; 30:321338.
198. Druault A. Astigmatisme des rayons pe´ne´trant obliquement dans l’oeil. Application de la skiascopie (1). *Arch D’Ophtalmologie*. 1900; 20: 21–28.
199. Lotmar W & Lotmar T. Peripheral astigmatism in the human eye:Experimental data and theoretical model predictions. *J Opt Soc Am*. 1974; 64: 510–513.
200. Atchison DA, Pritchard N & Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res*. 2006; 46: 1450–1458.
201. Walker TW & Mutti DO. The effect of accommodation on ocular shape. *Optom Vis Sci*. 2002; 79: 424–430.
202. Calver R, RadhakrishnanH,Osuobeni E & O’Leary D. Peripheralrefraction for distance and near vision in emmetropes and myopes. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007; 27: 584–593.
203. Davies LN & Mallen EAH. Influence of accommodationand refractive status on the peripheral refractive profile. *Br J Ophthalmol*. 2009; 93: 1186–1190.

204. Whatham A, Zimmermann F, Martinez A et al. Influence of accommodation on off-axis refractive errors in myopic eyes. *J Vis.* 2009; 9: 14.
205. Ma L, Atchison DA & Charman WN. Off-axis refraction and aberrations following conventional laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2005; 31: 489–498.
206. Charman WN, Mountford J, Atchison DA & Markwell EL. Peripheral refraction in orthokeratology patients. *Optom Vis Sci.* 2006; 83: 641–648.
207. Queiro's A, González-Meijome JM, Jorge J, Villa-Collar C & Gutiérrez AR. Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology. *Optom Vis Sci.* 2010;87: 323–329.
208. Kang P & Swarbrick H. Peripheral refraction in myopic children wearing orthokeratology and gas-permeable lenses. *Optom Vis Sci.* 2011; 88: 476–482.
209. 212) Sankaridurg P, Holden B, Smith E et al. Decrease in rate of myopia progression with a contact lens designed to reduce relative peripheral hyperopia: one-year results. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52: 9362–9367.
210. 213) Sankaridurg P, Donovan L, Varnas S et al. Spectacle lenses designed to reduce progression of myopia: 12-month results. *Optom Vis Sci.* 2010; 87: 631–641.
211. Guyton DL, Greene PR, Scholz RT. Dark-rearing interference with emmetropization in the rhesus monkey. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1989;30:761–4.
212. Wallman J, Adams JI. Developmental aspects of experimental myopia in chicks: susceptibility, recovery and relation to emmetropization. *Vision Res.* 1987;27:1139–63.
213. Qiao-Grider Y, Hung LF, Kee CS, Ramamirtham R, Smith EL, III. Recovery from form-deprivation myopia in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45:3361–72.
214. Schaeffel F, Glasser A, Howland HC. Accommodation, refractive error and eye growth in chickens. *Vision Res.* 1988;28:639–57.
215. Schaeffel F, Howland HC. Properties of the feedback loops controlling eye growth and refractive state in the chicken. *Vision Res.* 1991;31:717–34.
216. Smith EL, III, Hung LF. The role of optical defocus in regulating refractive development in infant monkeys. *Vision Res.* 1999;39: 1415–35.
217. Hung LF, Crawford ML, Smith EL, III. Spectacle lenses alter eye growth and the refractive status of young monkeys. *Nat Med.* 1995;1:761–5.
218. Howlett MH, McFadden SA. Spectacle lens compensation in the

- pigmented guinea pig. *Vision Res.* 2009;49:219–27.
219. Shaikh AW, Siegwart JT, Jr., Norton TT. Effect of interrupted lenswear on compensation for a minus lens in tree shrews. *Optom Vis Sci.* 1999;76:308–15.
220. Huang J, Hung LF, Ramamirtham R, Blasdel TL, Humbird TL, Bockhorst KH, Smith EL, III. Effects of form deprivation on peripheralrefractions and ocular shape in infant rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50:403344.
221. Norton TT, Essinger JA, McBrien NA. Lid-suture myopia in treeshrews with retinal ganglion cell blockade. *Vis Neurosci.* 1994;11:143–53.
222. Troilo D, Wallman J. The regulation of eye growth and refractivestate: an experimental study of emmetropization. *Vision Res* 1991;31:1237–50.
223. Wildsoet C, Wallman J. Choroidal and scleral mechanisms of compensation for spectacle lenses in chicks. *Vision Res* 1995;35:1175–94.
224. Wildsoet C. Neural pathways subserving negative lens-induced emmetropization in chicks—insights from selective lesions of the opticnerve and ciliary nerve. *Curr Eye Res.* 2003;27:371–85.
225. Schaeffel F, Troilo D, Wallman J, Howland HC. Developing eyesthat lack accommodation grow to compensate for imposed defocus.*Vis Neurosci.* 1990;4:177–83.
226. Schmid KL, Wildsoet CF. Effects on the compensatory responses to positive and negative lenses of intermittent lens wear and ciliarynerve section in chicks. *Vision Res.* 1996;36:1023–36.
227. Wallman J & Winawer J. Homeostasis of eye growth andthe question of myopia. *Neuron.* 2004; 43: 447–468.
228. Stone RA, Flitcroft DI. Ocular shape and myopia. *Ann Acad MedSingapore.* 2004;33:7–15.
229. Smith EL, III, Ramamirtham R, Qiao-Grider Y, Hung LF, HuangJ, Kee CS, Coats D, Paysse E. Effects of foveal ablation on emmetropizationand form-deprivation myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:3914–22.
230. Smith EL, III, Kee CS, Ramamirtham R, Qiao-Grider Y, Hung LF. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys.*Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:3965–72.
231. Rodieck RW. *The First Steps in Seeing.* Sunderland, MA: Sinauer Associates; 1998.

232. Bishop PO. Binocular vision. In: Moses RA, Hart WM, eds. *Adler's Physiology of the Eye: Clinical Application*, 8th ed. St. Louis, MO: Mosby;1987:61989.
233. Stone RA, Lin T, Laties AM, Iuvone PM. Retinal dopamine and form-deprivation myopia. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1989;86:704–6.
234. Ho WC, Wong OY, Chan YC et al. Sign-dependent changes in retinal electrical activity with positive and negative defocus in the human eye. *Vision Res*. 2012; 52: 47–53.
235. Seidemann A, Schaeffel F, Guirao A, Lopez-Gil N, Artal P. Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J Opt Soc Am (A)*. 2002;19:2363–73.
236. Siegwart JT, Jr., Norton TT. Regulation of the mechanical properties of tree shrew sclera by the visual environment. *Vision Res*. 1999; 39:387–407.
237. Jabbar SB, Faulkner AE, Schmid GF, Schaeffel F, Abey J, Iuvone PM, Pardue MT. Rod photoreceptor contributions to refractive development and form deprivation myopia in mice. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51:E-abstract 1726.
238. Fischer AJ, Ritchey ER, Scott MA, Wynne A. Bullwhip neurons in the retina regulate the size and shape of the eye. *Dev Biol*. 2008;317:196–212.
239. Schippert, R. and Schaeffel, F. (2006) Peripheral defocus does not necessarily affect central refractive development. *Vision Res*. 46, 3935–3940.
240. Atchison DA, Jones CE, Schmid KL, Pritchard N, Pope JM, Strugnell WE, Riley RA. Eye shape in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45:3380–6.
241. Logan NS, Gilmartin B, Wildsoet CF, Dunne MC. Posterior retinal contour in adult human anisomyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45:2152–62.
242. Ferree CE, Rand G. Interpretation of refractive conditions in the peripheral field of vision: a further study. *Arch Ophthalmol*. 1933;9:925–38.
243. Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am J Optom Physiol Opt*. 1981;58:691–5.
244. Schmid GF. Association between retinal steepness and central myopic shift in children. *Optom Vis Sci*. 2011;88:684–90.
245. Lin Z, Martinez A, Chen X, Li L, Sankaridurg P, Holden BA, Ge J. Peripheral defocus with single-vision spectacle lenses in myopic children. *Optom Vis Sci*. 2010;87:4–9.

246. Taberbero J, Vazquez D, Seidemann A, Uttenweiler D, Schaeffel F. Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision Res.* 2009;49:2176–86.
247. Crewther, D. P. (2000) The role of photoreceptors in the control of refractive state. *Prog. Ret. Eye Res.* 19, 421–457.
248. Bitzer, M. and Schaeffel, F. (2002) Defocus-Induced changes in ZENK expression in the chicken retina. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 43, 246–252.
249. Zhong, X., Ge, J., Smith, E. L. and Stell, W. K. (2004) Image defocus modulates activity of bipolar and amacrine cells in macaque retina. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 45, 2065–2074.
250. Münch, T. A., da Silveira, R. A., Siegert, S., Viney, T. J., Awatramani, G. B. and Roska, B. (2009) Approach sensitivity in the retina processed by a multifunctional neural circuit. *Nat. Neurosci.* 12, 1308–1316.
251. Vessey, K. A., Lencses, K. A., Rushforth, D. A., Hruby, V. J. and Stell, W. K. (2005) Glucagon receptor agonists and antagonists affect the growth of the chick eye: a role for glucagonergic regulation of emmetropization? *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 46, 3922–3931.
252. McBrien, N. A., Moghaddam, H. O. and Reeder, A. P. (1993) Atropine reduces experimental myopia and eye enlargement via a nonaccommodative mechanism. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34, 205–215.
253. Leech, E. M., Cottrill, C. L. and McBrien, N. A. (1995) Pirenzepine prevents form deprivation myopia in a dose dependent manner. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 15, 351–356.
254. Love, J., Gilmartin, B. and Dunne, M. C. M. (2000) Relative peripheral refractive error in adult myopia and emmetropia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. Suppl.* 41, 1592 (ARVO abstract).
255. Seidemann, A., Schaeffel, F., Guirao, A., Lopez-Gil, N. and Artal, P. (2002) Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J. Opt. Soc. Am. A* 19, 2363–2373.
256. Taberbero, J. and Schaeffel, F. (2009b) More irregular eye shape in low myopia than in emmetropia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 50, 4516–4522.
257. Charman, W. N. and Jennings, J. A. M. (1982) Ametropia and peripheral refraction. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 59, 922–923.
258. Stenström, S. (1948) A Dissertation for the MD degree in Ophthalmology at the University of Uppsala, 1946, Investigation of the Variation and Correlation of the

- Optical Elements of Human Eyes., trans. Woolf D, Am. J. Optom. Arch. Am. Acad. Optom. 25, 218–232, 286–299, 340–350, 388–397, 438–451, 496–505.
259. Atchison, D. A. and Smith, G. (2000) Optics of the Human Eye. Butterworth-Heinemann, Oxford, 147–150.
260. Schmid, K. L. and Wildsoet, C. F. (1997) Natural and imposed astigmatism and their relation to emmetropization in the chick. *Exp. Eye Res.* 64, 837–847.
261. Kee, C.-S., Hung, L.-F., Qiao-Grider, Y., Roorda, A. and Smith, E. L. (2004) Effects of optically-imposed astigmatism on emmetropization in infant monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 45, 1647–1659.
262. Charman, W. N. and Atchison, D. A. (2008) Optimal spherical focus in the peripheral retina. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 28, 269–276.
263. Atchison, D. A. and Markwell, E. L. (2008) Aberrations of emmetropic subjects at different ages. *Vision Res.* 48, 2224–2231.
264. Charman, W. N. and Atchison, D. A. (2009) Decentred optical axes and aberrations along principal visual field meridians. *Vision Res.* 49, 1869–1876.
265. Campbell, F. W. and Westheimer, G. (1959) Factors influencing accommodation responses of the human eye. *J. Opt. Soc. Am.* 49, 568–571.
266. Gwiazda, J., Grice, K., Held, R., McLellan, J. and Thorn, F. (2000) Astigmatism and the development of myopia in children. *Vision Res.* 40, 1019–1026.
267. Howland HC. A possible role for peripheral astigmatism in the emmetropization of the eye. Paper presented at the 13th International Myopia Conference, Tübingen, Germany, July 26–29, 2010.
268. Passaglia CL, Troy JB, Rüttiger L & Lee BB. Orientation selectivity of ganglion cells in primate retina. *Vision Res.* 2002; 42: 683–694.
269. Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am J Optom Physiol Opt.* 1981; 58: 691–695.
270. Lotmar W. Theoretical eye model with aspherics. *J Opt Soc Am.* 1971; 61: 1522–1529.
271. Escudero-Sanz I & Navarro R. Off-axis aberrations of a wide angle schematic eye model. *J Opt Soc Am A.* 1999; 16: 1881–1891.
272. Atchison DA, Jones CE, Schmidt KL et al. Eye shape in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004; 45: 3380–3386.

273. Logan NS, Gilmartin B, Wildsoet CF & Dunne MCM. Posterior retinal contour in adult human anisometropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004; 45: 2152–2162.
274. Singh K, Logan NS & Gilmartin B. Three-dimensional modeling of the human eye based on magnetic resonance imaging. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47: 2272–2279.
275. Ronchi, L. and Molenesi, G. (1975) Depth of focus in peripheral vision. *Ophthalmic Res.* 7, 152–157.
276. Wang, B. and Ciuffreda, K. J. (2004) Depth-of-focus of the human eye in the near retinal periphery. *Vision Res.* 44, 1115–1125.
277. Wang, B. and Ciuffreda, K. J. (2005) Blur discrimination of the human eye in the near retinal periphery. *Optom. Vis. Sci.* 81, 52–58.
278. Wang, B., Ciuffreda, K. J. and Irish, T. (2006) Equiblur zones at the fovea and near retinal periphery. *Vision Res.* 46, 3690–3698.
279. Walsh, G. and Charman, W. N. (1988) Visual sensitivity to temporal change in focus and its relevance to the accommodation response. *Vision Res.* 28, 1207–1221.
280. Gu, Y. and Legge, G. E. (1987) Accommodation to stimuli in peripheral vision. *J. Opt. Soc. Am. A* 4, 1681–1687.
281. Low, F. M. (1943) Studies on peripheral visual acuity. *Science* 97, 586–587.
282. Anderson, R. S., McDowell, D. R. and Ennis, F. A. (2001) Effect of localized defocus on detection thresholds for different sized targets in the fovea and periphery. *Acta Ophthalmol. Scand.* 79, 60–63.
283. Lundström, L., Manzanera, S., Prieto, P. M., Gorceix, N., Gustaffson, J., Unsbo, P. and Artal, P. (2007a) Effect of optical correction and remaining aberrations on peripheral resolution acuity in the human eye. *Optics Express* 15, 12654.
284. Lundström, L., Gustaffson, J. and Unsbo, P. (2007b) Visual evaluation of eccentric refractive correction. *Optom. Vis. Sci.* 84, 1046–1052.
285. Ronchi, L. (1971) Absolute threshold before and after correction of oblique-ray astigmatism. *J. Opt. Soc. Am.* 61, 1705–1709.
286. Fankhauser, F. and Enoch, J. M. (1962) The effects of blur on perimetric thresholds. *Arch. Ophthalmol.* 68, 240–251.
287. Fincham, E. F. (1951) The accommodation reflex and its stimulus. *Br. J. Ophthalmol.* 35, 381–393.

288. Crane, H. D. (1966) A theoretical analysis of the visual accommodation system in humans. Stanford Res. Instit., California. NASA CR-606, September 1966.
289. Toates, F. M. (1972) Accommodation function of the human eye. *Physiol. Rev.* 52, 828–863.
290. Whiteside, T. C. D. (1957) *The Problems of Vision in Flight at High Altitudes.* Butterworths, London, 98–100.
291. Bullimore, M. A. and Gilmartin, B. (1987a) Retinal eccentricity and the accommodation response. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 64, 644–645.
292. Bullimore, M. A. and Gilmartin, B. (1987b) The influence of the retinal area stimulated on the accommodation response. In: *Advances in Diagnostic Visual Optics* (eds A. Fiorentini, D. L. Guyton and I. M. Siegel), Springer Verlag, Berlin, pp.181–185.
293. Ludlam, W. M., Wittenberg, S., Giglio, E. J. and Rosenberg, R. (1968) Accommodative responses to small changes in dioptric stimulus. *Am. J. Optom. Arch. Am. Acad. Optom.* 45, 483–506.
294. Kotulak, J. C. and Schor, C. M. (1986) The accommodative response to subthreshold blur and to perceptual fading during the Troxler phenomenon. *Perception.* 15, 7–15.
295. Hennessy, R. T. and Leibowitz, H. W. (1971) The effect of peripheral stimuli on accommodation. *Perception Psychophys.* 10, 129–132.
296. Hennessy, R. T. (1975) Instrument myopia. *J. Opt. Soc. Am.* 65, 1114–1120.
297. Semmlow, J. L. and Tinor, T. (1978) Accommodative convergence response to off-foveal images. *J. Opt. Soc. Am.* 68, 1497–1501.
298. Fitzke, F., Hayse, B. P., Hodos, W., Holden, A. L. and Low, J. C. (1985) Refractive sectors in the visual field of the pigeon eye. *J. Physiol. (London)* 369, 33–44.
299. Hodos, W. and Erichsen, J. T. (1990) Lower-field myopia in birds: an adaptation that keeps the ground in focus. *Vision Res.* 30, 653–657.
300. Walker, T. W. and Mutti, D. O. (2002) The effect of accommodation on ocular shape. *Optom. Vis. Sci.* 79, 424–430.
301. Lundström, L., Mira-Agudelo, A. and Artal, P. (2009) Peripheral optical errors and their changes with accommodation differ between emmetropic and myopic eyes. *J. Vision.* 9, 17, 1–11.
302. Taberner, J. and Schaeffel, F. (2009a) Fast scanning photoretinoscope

for measuring peripheral refraction as a function of accommodation.
J. Opt. Soc. Am. A, 26, 2206–2210.

303. Davies, L. N. and Mallen, E. A. H. (2009) Influence of accommodation and refractive status on the peripheral refractive profile. *Br. J. Ophthalmol.* 93, 1186–1190.

304. Whatham, A., Zimmermann, F., Martinez, A., Delgado, S., de la Jara, P. L., Sankaridurg, P. and Ho, A. (2009) Influence of accommodation on off-axis refractive errors in myopic eyes. *J. Vision.* 9, 14, 1–13.

305. Weizhong, L., Zhikuan, L., Xiang, C. and Jian, J. (2008) A longitudinal study on the relationship between myopia development and near accommodation lag in myopic children. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 28, 57–61.

306. Norton, T. T., Manny, R. and O'Leary, D. J. (2005) Myopia: global problem, global research. *Optom. Vis. Sci.* 82, 223–225.

307. He, M., Zeng, J., Liu, Y., Xu, J., Pokharel, G. P. and Ellwein, L. B. (2004) Refractive error and visual impairment in urban children in southern China. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 45, 793–799.

308. He, M., Zeng, J. and Xiang, F. (2009) Prevalence of myopia in urban and rural children in mainland China. *Optom. Vis. Sci.* 86, 40–44.

309. Logan, N. S., Gilmartin, B., Wildsoet, F. and Dunne, M. C. M. (2004) Posterior retinal contour in adult human anisometropia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 45, 2152–2162.

310. Fedtke, C., Ehrmann, K. and Holden, B. A. (2009) A review of peripheral refraction techniques. *Optom. Vis. Sci.* 86, 429–446.

311. Radhakrishnan, H. and Charman, W. N. (2008) Peripheral refraction measurement: does it matter if one turns the eye or the head? *Ophthalmic Physiol. Opt.* 28, 73–82.

312. Mathur, A., Atchison, D. A., Kasthurirangan, S., Dietz, N. A., Luong, S., Chin, S. P., Lin, W. L. and Hoo, S. W. (2009) The influence of oblique viewing on axial and peripheral refraction for emmetropes and myopes. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 29, 155–161.

313. McBrien NA, Millodot M. Clinical evaluation of the Canon Autorefractometer R-1. *Am J Optom Physiol Opt.* 1985;62:786–792.

314. Davies LN, Mallen EA, Wolffsohn JS, Gilmartin B. Clinical evaluation of the Shin-Nippon NVision-K 5001/Grand Seiko WR-5100K autorefractor. *Optom Vis Sci.* 2003;80:320–324.
315. Lin Z, Martinez A, Chen X, et al. Peripheral defocus with single vision spectacle lenses in myopic children. *Optom Vis Sci.* 2010;87:4–9.
316. Taberner J, Vazquez D, Seidemann A, Uttenweiler D, Schaeffel F. Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision Res.* 2009;49:2176–2186.
317. Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA, et al. Accommodation, acuity, and their relationship to emmetropization in infants. *Optom Vis Sci.* 2009;68:666–676.
318. Smith EL, Hung LF, Huang J. Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys. *Vision Res.* 2009;49:2386–2392.
319. Wallman J, Gottlieb MD, Rajaram V, Fugate-Wentzek LA. Local retinal regions control local eye growth and myopia. *Science.* 1987;237:73–77.