



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΙΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΓΧΡΩΜΗ ΟΡΑΣΗ. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ»**

ΟΝΟΜΑΤΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ

ΣΕΝΤΗΛΑ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΟΥΤΣΟΘΕΟΔΩΡΗΣ ΟΠΤΙΚΟΣ

ΑΙΓΙΟ, 2013

Ευχαριστίες

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον εισηγητή και εποπτεύον καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας τον κύριο Θεόδωρο Κουτσοθεοδωρή. Χάρης την υπομονή τις γνώσης και την σωστή του καθοδήγηση καταφέραμε να φέρουμε εις πέρας την εργασία μας. Δεν ήταν εύκολες οι συνθήκες στις οποίες έγινε η εργασία μας αφού λόγω επαγγελματικών υποχρεώσεων έγινε μέσω internet και συνεχής τηλεφωνικής επικοινωνίας. Τελικά αποδείχθηκε πως ακόμα και με τόσα χιλιόμετρα να μας χωρίζουν, μπορεί να γίνει μια πολύ καλή εργασία και να βγει ένα σωστό αποτέλεσμα αρκεί να υπάρχει σωστή εποπτεία. Φυσικά τίποτα δεν θα γινόταν άμα στο πλευρό μας δεν είχαμε άτομα να μας στηρίζουν. Ιδικά η ψυχολογική στήριξη αυτό τον καιρό από φίλους και συγγενής ήταν πολύ σημαντική αφού το άγχος μας ήταν μεγάλο. Τους ευχαριστούμε ένα ένα ξεχωριστά για όσα μας προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. Η φύση του Φωτός.....	2
1.1. Διάδοση του φωτός	2
1.2. Θεωρίες για τη φύση του φωτός	3
2. Χρώματα.....	6
2.1. Κωδικοποίηση χρώματος	8
2.2. Μοντέλα Χρωμάτων	9
2.2.1. Μοντέλο RGB	9
2.2.2. Χρωματικό μοντέλο YIQ	11
2.2.3. Χρωματικό Μοντέλο YCbCr.....	12
2.2.4. Χρωματικό Μοντέλο YUV	13
2.2.5. Χρωματικό Μοντέλο CMY ή CMYK.....	14
2.2.6. Χρωματικά Μοντέλα HSI	15
2.2.7. Χρωματικά μοντέλα HSB-HSL.....	17
3. Ανθρώπινη Όραση	18
3.1. Ο μηχανισμός της Όρασης.....	18
3.2. Τα φωτοευαίσθητα κύτταρα (Φωτουποδοχείς).....	20
4. Θεωρία Έγχρωμης Όρασης - Αντίληψη Χρωμάτων	23
4.1. Θεωρίες Έγχρωμης Όρασης.....	23
4.2. Τριχρωματική Θεωρία της Όρασης	24
4.3. Θεωρία Χρωματικής Ανταγωνιστικότητας.....	26
5. Διακριτική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα.....	28
5.1. Περιοριστικοί παράγοντες της διακριτικής ικανότητας του οφθαλμού.....	29
5.1.1. Περίθλαση	30
5.1.2. Διαθλαστικά Σφάλματα	31
5.1.3. Όρια Κωνίων	32
5.1.4. Οφθαλμικές Εκτροπές Υψηλής Τάξης.....	33

5.1.5. Η Επίδραση της Κόρης.....	33
5.2. Όραση και Φωτισμός	35
5.3. Αντίθεση.....	35
5.4. Θάμβωση.....	35
5.5. Χρώμα και Φωτισμός.....	35
6. Χρωματική Αντίληψη	36
6.1. Διαταραχές στην Αντίληψη των Χρωμάτων.....	36
6.1.1. Συγγενείς διαταραχές.....	37
6.1.2. Επίκτητες ανωμαλίες.....	39
6.2. Διάγνωση Διαταραχών Χρωματικής Αντίληψης	40
6.2.1. Τεστ Ισιχάρα.....	42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα αποτελεί ένα πολύπλοκο φυσικό φαινόμενο, η ερμηνεία του οποίου επιχειρήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες φιλόσοφους (Πυθαγόρας, Πλάτωνας, Αριστοτέλης) διατυπώνοντας θεωρίες σχετικές με τη φύση των χρωμάτων και την αντίληψη των φωτεινών ερεθισμάτων. Οι πρόδρομες θεωρίες που αναπτύχθηκαν, κυριάρχησαν για αρκετούς αιώνες μέχρι την εμφάνιση μεταγενέστερων διανοητών και επιστημόνων (Newton, 1676; Goethe, 1810; Maxwell, 1850; Helmholtz, 1911; Hering, 1920). Οι πρωτοπόρες θεωρίες και πειραματικές προσεγγίσεις που εισήγαγαν, οδήγησαν στην ενδελεχή διερεύνηση των φυσικών ιδιοτήτων του χρώματος και στην ανάπτυξη μιας σειράς θεωρημάτων και εξισώσεων που σχετίζονται με τα χρωματικά φαινόμενα. Η σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου του χρώματος, επιχειρείται μέσω της κατανόησης της χρωματικής αντίληψης ως φυσιολογικής ανθρώπινης εγκεφαλικής διεργασίας, με πρακτική εφαρμογή σε ποικίλα επιστημονικά πεδία, όπως στα επαγγέλματα υγείας, στην εκπαίδευση και στις τέχνες.

Στο χώρο της οφθαλμολογίας, η μελέτη του χρώματος καταλαμβάνει ένα ευρύ πεδίο έρευνας και πραγματοποιείται στη μέτρηση της αντίληψης των χρωμάτων από το ανθρώπινο μάτι. Το χρώμα δεν αποτελεί μια έμφυτη ιδιότητα των αντικειμένων ούτε μια φυσική ιδιότητα του φωτός. Το χρώμα ενός αντικειμένου που αντιλαμβανόμαστε εξαρτάται από το φασματικό περιεχόμενο του φωτός που απορροφάται από τους φωτουποδοχείς της όρασης, (τις τρεις ομάδες κωνίων) από όπου ξεκινά μια σειρά νευροφυσιολογικών «αντιδράσεων» (πολύ σημαντικών για την αντίληψη των χρωμάτων) στον αμφλίστροειδή, στις προ-φλοιώδες οδούς και σε ανώτερα στάδια, επεξεργασίας στον οπτικό φλοιό.

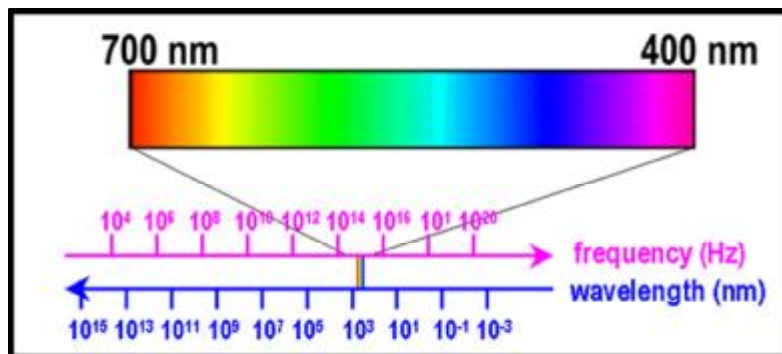
Η μέτρηση αντίληψης χρωμάτων στο τομέα της οφθαλμολογίας γίνεται τη χρήση του τεστ Ισιχάρα. Αποτελεί ένα διαγνωστικό τεστ όρασης με στόχο τη διάγνωση της σωστής αντίληψης των χρωμάτων και κυρίως του κόκκινου και του πράσινου και πήρε το όνομά του από τον Ιάπωνα γιατρό Σινόμπου Ισιχάρα, καθηγητή στο πανεπιστήμιο του Τόκιο, ο οποίος πρώτος δημοσίευσε το τεστ αυτό το 1917.

1. Η φύση του Φωτός

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης.

Όμως η αντίληψη αυτή του "ορατού" φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου).

Το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο μόνο σε ένα μικρό εύρος αυτού του συνεχούς μήκους, στα 400 έως 700 νανόμετρα (nm), (1 νανόμετρο είναι ίσον με 1 δισεκατομμυριοστό του μέτρου). Μέγιστη ευαισθησία παρουσιάζει γύρω στα 550 (nm), πράσινο φως. (Εικόνα 1.1)



Εικόνα 1.1 Ανάλυση Ορατού Φάσματος

1.1. Διάδοση του φωτός

Η διάδοση του φωτός στο χώρο γενικά ακολουθεί τις εξής αρχές:

1. Η αρχή του Ήρωνος ή αρχή του ελαχίστου δρόμου και διατυπώνεται ως εξής : «Ο δρόμος τον οποίο ακολουθεί μια φωτεινή ακτίνα κατά τη διέλευσή της μεταξύ δύο σημείων , είναι ο συντομότερος δυνατός » ή πιο απλά το φως ακολουθεί , κατά τη διάδοσή του τη διαδρομή ελαχίστου μήκους. . Η αρχή του Ήρωνος διατυπώθηκε σαν αποτέλεσμα δύο παρατηρήσεων α) ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα, σε ομογενές

και ισότροπο μέσο αι ότι β) η συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο σημείων είναι η ευθεία (αξίωμα της γεωμετρίας). (Λόντος, 2004)

2. Το φως σε ένα ισότροπο μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα. Πρέπει δηλαδή το φως να διέρχεται και από χώρο με μη έντονη διαβάθμιση της βαρύτητας ή καμπύλωσης του χωροχρόνου.
3. Αρχή του ελαχίστου χρόνου. «Κατά τη μετάβασή του από ένα σημείο σε ένα άλλο , το φως επιλέγει να ακολουθήσει το δρόμο εκείνο που καθιστά το χρόνο της διαδρομής ελάχιστο». Πρόκειται για την "αρχή του Ήρωνα" εκπεφρασμένη από τον Fermat (1662) στην έννοια του χρόνου. (Λόντος, 2004)
4. Αρχή της αντίστροφης πορείας. Όταν το φως διαδίδεται προς ορισμένο δρόμο προς μια φορά είναι δυνατόν ν' ακολουθήσει τον ίδιο κατ' αντίθετη φορά.

1.2. Θεωρίες για τη φύση του φωτός

Ένα από τα σκοτεινότερα αλλά και ελκυστικότερα θέματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο ήταν και η φύση του φωτός. Η έρευνα γύρω από το πρόβλημα αυτό σύνδεσε μεγάλα ονόματα της επιστήμης. Πρώτος ο Ισαάκ Νεύτων (1643-1737) και στη συνέχεια ο φυσικός Ολλανδός Κρίστιαν Χόυχενς (1629-1695) ανέπτυξαν θεωρίες που για πολλά χρόνια αντιμάχονταν. σε μεγάλο βαθμό. Το μεγάλο κύρος του πρώτου απέτρεπε κάθε ένσταση ή άλλη πρόταση ακόμη και συμβιβασμούς. Όταν όμως μια θεωρία δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε όλο το εύρος της τότε αυτή πάσχει. Έτσι κλονίζεται και παραχωρεί την θέση της σε άλλη. Αυτό συνέβει και με τη θεωρία του Νεύτωνα που δεν μπόρεσε ν' αντέξει ελέγχους και παρατηρήσεις που είχαν να κάνουν και από τις μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός. Όμως το τελειωτικό κτύπημα δόθηκε από τον Γάλλο φυσικό Αυγουστίνo Φρενέλ (1788-1827) όταν ανακάλυψε το φαινόμενο της συμβολής ή αλληλοτυπίας του φωτός όπου φως προστιθέμενο σε φως άλλοτε γεννά εντονότερο και άλλοτε ασθενέστερο ακόμη και σκότος. Έτσι σύμφωνα μ' αυτά το φως χαρακτηρίζεται από κύματα και έτσι εδραιώθηκε η πεποίθηση της κυματικής φύσεως του φωτός. Στη συνέχεια οι Φυσικοί προχώρησαν στην ερμηνεία των φαινομένων της διάθλασης, της περίθλασης και της πόλωσης του φωτός. Τότε όμως πρόβαλε μια άλλη δυσκολία που αφορούσε τη φύση του μέσου αν πάλλεται και πως πάλλεται και διαδίδει το φως. Και

αυτή η δυσκολία παραμερίστηκε όταν ο Άγγλος φυσικός Τζέιμς Μάξγουελ απέδειξε θεωρητικά το 1870 ότι τα φωτεινά κύματα είναι κύματα ηλεκτρομαγνητικά περιοδικώς μεταβλητά κατά χρόνο και τόπο και ότι στην ουσία το μέσο διάδοσης είναι το ίδιο το κύμα, όπου πρακτικά η ηλεκτρική συνιστώσα ταξιδεύει πάνω στη μαγνητική και αντίστροφα. Τέλος όταν η θεωρία του Μάξγουελ επαληθεύτηκε στα πειράματα του Χερτζ το 1888 δεν έμεινε πλέον καμία αμφιβολία ότι τα κύματα του φωτός έχουν ηλεκτρομαγνητική φύση.

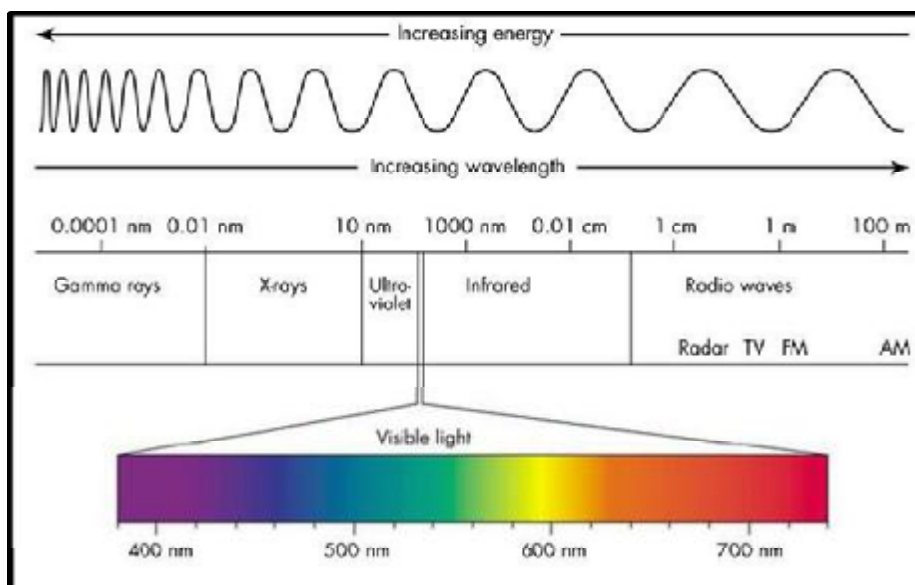
Έτσι είχαν τα πράγματα μέχρι το τέλος του αιώνα όταν ξεπρόβαλε νέα δυσκολία ακολουθίας της τελευταίας θεωρίας που ήταν πιο έντονη και που αφορούσε ένα φαινόμενο που ήταν αδύνατον να ερμηνεύσει η κυματική. Ήταν το "φωτοηλεκτρικό" όπως ονομάστηκε. Παρατηρήθηκε δηλαδή πως όταν φωτεινή δέσμη μικρού μήκους κύματος προσπέσει σε μεταλλική πλάκα αποσπώνται απ' αυτή ηλεκτρόνια και μάλιστα αμέσως όσο ασθενές κι αν είναι το φως. Βέβαια για ν' αποσπασθεί ένα ηλεκτρόνιο απαιτείται κάποια ενέργεια. Αν επομένως το φως είναι κύμα, που έχει το χαρακτηριστικό της συνέχειας, θα έπρεπε να πέραγε κάποιος χρόνος μέχρι αυτό το ηλεκτρόνιο ν' απορροφήσει ενέργεια για ν' αποσπασθεί λαμβανομένου υπ' όψη ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι ίδια όση απόσταση κι αν παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και πετάσματος. Οι παρατηρήσεις αυτές έφεραν σε πολύ δύσκολη θέση τους φυσικούς. Πως να συμβιβάσουν την θεωρία με την παρατήρηση; Έτσι αν τα πειράματα ήταν ορθα θα έπρεπε ν' αναζητηθεί άλλη βάση της υφής του φωτός που να ερμηνεύει και το νέο πλέον παρατηρούμενο φαινόμενο. Στη δύσκολη αυτή θέση των Φυσικών στις 14 Δεκεμβρίου του 1900 ο φυσικός και καθηγητής του Πανεπιστημίου του Βερολίνου Μαξ Πλανκ (1858-1947) έκανε μια καταπληκτική ανακοίνωση που αποτέλεσε τη βάση της θεωρίας των κβάντα με την οποία και ανατράπηκε η μέχρι τότε αντίληψη περί της συνέχειας της ακτινοβολίας.

Οι δηλώσεις αυτές του Πλανκ πράγματι συγκλόμισαν όπως ήταν επόμενο τους φυσικούς που την αποδέχθηκαν στην αρχή με επιφυλάξεις και σκεπτικισμό. Στις επιφυλάξεις εκείνες που διέκοψαν τις περαιτέρω έρευνες το 1905 ακούστηκε η επιδοκιμαστική φωνή του Αϊνστάιν που προχώρησε και σε πέρα των αρχικών θέσεων του Πλανκ και έδωσε την απόδειξη με την "κβαντική σύσταση του φωτός". Έτσι οι δισταγμοί υποχώρησαν και οι

τότε φυσικοί εξοικειώθηκαν με την σύγχρονη αντίληψη. Με την ανάπτυξη ακόμη της "μικροφυσικής" νέα ακόμη φαινόμενα ανακαλύφθηκαν που ήταν εξηγήσιμα με τη κυματική θεωρία αλλ' όμως με την κβαντική ερμηνεύονταν καλλίτερα. Έτσι μέσα απ' αυτόν τον υπέροχο δρόμο της έρευνας πραγματοποιείται η σύνθεση της θεωρίας του Νεύτωνα και της κυματικής του Χόυγκενς, αφού το φωτόνιο του Πλανκ είναι κάτι και από τα δύο δηλαδή "σωμάτιο και κύμα".

2. Χρώματα

Το χρώμα είναι το αποτέλεσμα της αλληλοεπίδρασης της ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα διάφορα υλικά, γίνεται αντιληπτό από το αισθητήριο της όρασης και σχετίζεται άμεσα με την ευαισθησία της όρασης του παρατηρητή (Εικόνα 2.1). Γίνεται λοιπόν αμέσως αντιληπτό πως η αντίληψη του χρώματος είναι υποκειμενική και είναι επιτακτική ανάγκη να αντικεμενοποιηθεί η αντίληψη αυτή με τη βοήθεια της χρωματομετρίας. Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το μέγεθος που τη χαρακτηρίζει είναι η ισχύς $c(x,y,t,\lambda)$ και μετριέται σε watts. Εάν θεωρήσουμε x,y,t σταθερά τότε η ισχύς c είναι συνάρτηση μόνο του μήκους κύματος λ : $c(\lambda)$. Η κατανομή αυτή της ισχύος $c(\lambda)$ είναι η αποκλειστική αιτία της δημιουργίας ενός συγκεκριμένου χρώματος.



Εικόνα 2.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με εμφανή την ορατή περιοχή

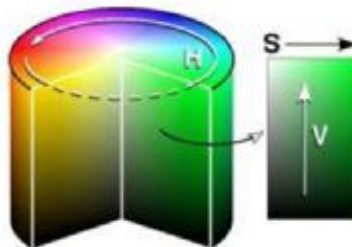
Η υποκειμενική αίσθηση ενός χρώματος εξαρτάται από το μήκος κύματος της ορατής ακτινοβολίας ή από τη συμβολή των μήκων κύματος των διαφόρων ακτινοβολιών του ηλιακού φάσματος που δέχεται ο οφθαλμός. Κάθε έγχρωμο αντικείμενο απορροφά ένα ή περισσότερα από τα εννέα χρώματα του ηλιακού φάσματος και η συνισταμένη των υπολειπόμενων ανακλώμενων ακτινοβολιών δίνει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του

ματιού την αίσθηση του συμπληρωματικού χρώματος αυτού που απορροφήθηκε. Το μήκος κύματος της απορροφούμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τη χημική δομή του έγχρωμου συστατικού – χρώμα, ενώ η ένταση της απορρόφησης και από την ποσότητά του.

Οι λεπτομερής και πλήρης χαρακτηρισμός ενός χρώματος προκύπτει από τη συμβολή τριών ιδιοτήτων (Εικόνα 2.2.):

1. Τη χροιά (Hue) που αναφέρεται κοινώς σε ένα χρώμα,
2. Τη φωτεινότητα (lightness, value), που χαρακτηρίζει ένα χρώμα ως φωτεινό ή σκοτεινό και διακρίνει το λευκό από το γκρι και μαύρο.
3. Τον κορεσμό (chroma, saturation), που φανερώνει την προσέγγιση της έντασης (καθαρότητα, δύναμη) του χρώματος προς το συσχετιζόμενο φασματικό χρώμα.

Ο χώρος που προκύπτει δεν αποτελεί και χρωματικό σύστημα γιατί δεν είναι βαθμονομημένος αλλά μας παρουσιάζει την τρισδιάστατη αντίληψη από το ανθρώπινο μάτι του χρώματος ως βάση στην οποία στηρίζονται όλα τα συστήματα ταξινόμησης.



Εικόνα 2.2. Τρισδιάστατη παρουσίαση των χρωμάτων (H= χροιά, S=κορεσμός, V=φωτεινότητα)

Το χρώμα λοιπόν είναι μια φυσική ιδιότητα των σωμάτων η οποία γίνεται κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από τον ανθρώπινο οφθαλμό, δεν είναι όμως δυνατό να μετρηθεί. Η ακρίβεια της αντίληψης της ιδιότητας εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων του παρατηρητή αλλά και από τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης (Gardner J.L., 2000). Η μεγάλη ποικιλία των χρωμάτων που ερεθίζει τον ανθρώπινο οφθαλμό τόσο στην φύση όσο και στην τέχνη, έντυπα και

βιομηχανικές εφαρμογές, δημιούργησαν την ανάγκη κατάταξής τους σε συστήματα ταξινόμησης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν ως μοντέλα που δίνουν την δυνατότητα καθορισμού και αναπαραγωγής των χρωμάτων στο χώρο των γραφικών τεχνών, της τηλεόρασης, της φωτογραφίας, της κλωστοϋφαντουργίας, της αυτοκινητοβιομηχανίας και των πλαστικών. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχούν κωδικοί αριθμοί (C.I., Color Index, 1975) , που διευκολύνουν την ταξινόμηση τους σε ορισμένο σύστημα. Οι αριθμοί αυτοί προκύπτουν από τη μέτρηση έγχρωμου δείγματος με εξειδικευμένα όργανα. Για να συμπεριληφθεί οποιοδήποτε χρώμα σε κάποιο σύστημα πρέπει αφενός να καθορίζεται με τρεις παραμέτρους ή κωδικούς και αφετέρου ο τρισδιάστατος χώρος να είναι βαθμονομημένος και στις τρεις διαστάσεις του.

Η εμφάνιση του χρώματος ενός αντικειμένου ή ενός διαλύματος απαιτεί από φυσική άποψη την ύπαρξη:

1. Μιας φωτεινής πηγής (light source)
2. Αντικειμένου (object) που να αντιδρά με την προσπίπτουσα ακτινοβολία.
3. Παρατηρητή (observer) που θα προσλάβει και θα επεξεργαστεί την ακτινοβολία

Για τον άνθρωπο αυτός ο παρατηρητής είναι ο εγκέφαλος και ο οφθαλμός ένα όργανο π.χ. ένα φασματοφωτόμετρο ένας ανιχνευτής.

2.1. Κωδικοποίηση χρώματος

Τα διάφορα αντικείμενα που υπάρχουν στην φύση, αποτελούνται από υλικά που ανακλούν ένα ποσό του φωτός που δέχονται, και ταυτόχρονα απορροφούν και ένα μέρος της φωτεινότητας που αντιστοιχεί σε κάποια χρώματα. Επομένως το χρώμα ενός αντικειμένου που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος είναι οι συχνότητες του φωτός που δεν απορρόφησε το αντικείμενο.

Κάθε χρώμα αναπαρίσταται ως συνδυασμός τριών βασικών χρωμάτων. Επιλέγεται ώστε η μια συνιστώσα να είναι η φωτεινότητα και οι άλλες δύο να αποτελούν τις χρωματικές συνιστώσες. Η φωτεινότητα είναι ένα υποκειμενικό μέγεθος που περιγράφει το πόσο φωτεινό φαίνεται ένα αντικείμενο ως προς την εκπομπή και την αντανάκλαση του φωτός.

Οι χρωματικές συνιστώσες, αναφέρονται στην φασματική περιγραφή του χρώματος. Οι συνιστώσες αυτές είναι δυνατόν να μεταδίδονται με μικρότερη ακρίβεια

2.2. Μοντέλα Χρωμάτων

Τα χρωματικά μοντέλα έχουν σκοπό να συνδέσουν τα χρώματα με μεταβλητές ή αριθμούς έτσι ώστε να περιγραφεί κάθε χρώμα με ακρίβεια. Οι χρωματικοί χώροι είναι οι βάσεις της διαχείρισης του χρώματος. Περιλαμβάνουν ομάδες διαφορετικών χρωμάτων τα οποία περιγράφονται από χρωματικά μοντέλα. Οι ομάδες αυτές μπορεί να βασίζονται σε ορισμένα βασικά χρώματα από τον συνδυασμό των οποίων σε συγκεκριμένες ποσότητες προκύπτουν τα υπόλοιπα ή να βασίζονται σε μεταβλητές τις οποίες χρησιμοποιούν χρωματικά μοντέλα. Θα εξετάσουμε τα πιοσημαντικά χρωματικά μοντέλα.

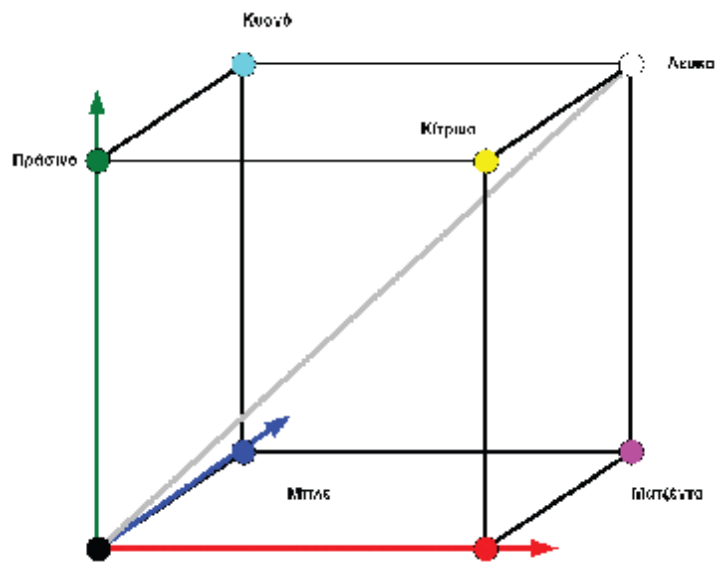
2.2.1. Μοντέλο RGB

Με το μοντέλο RGB περιγράφεται η χρωματική ένταση κάθε κουκίδας χρησιμοποιώντας τρία χρωματικά κανάλια.

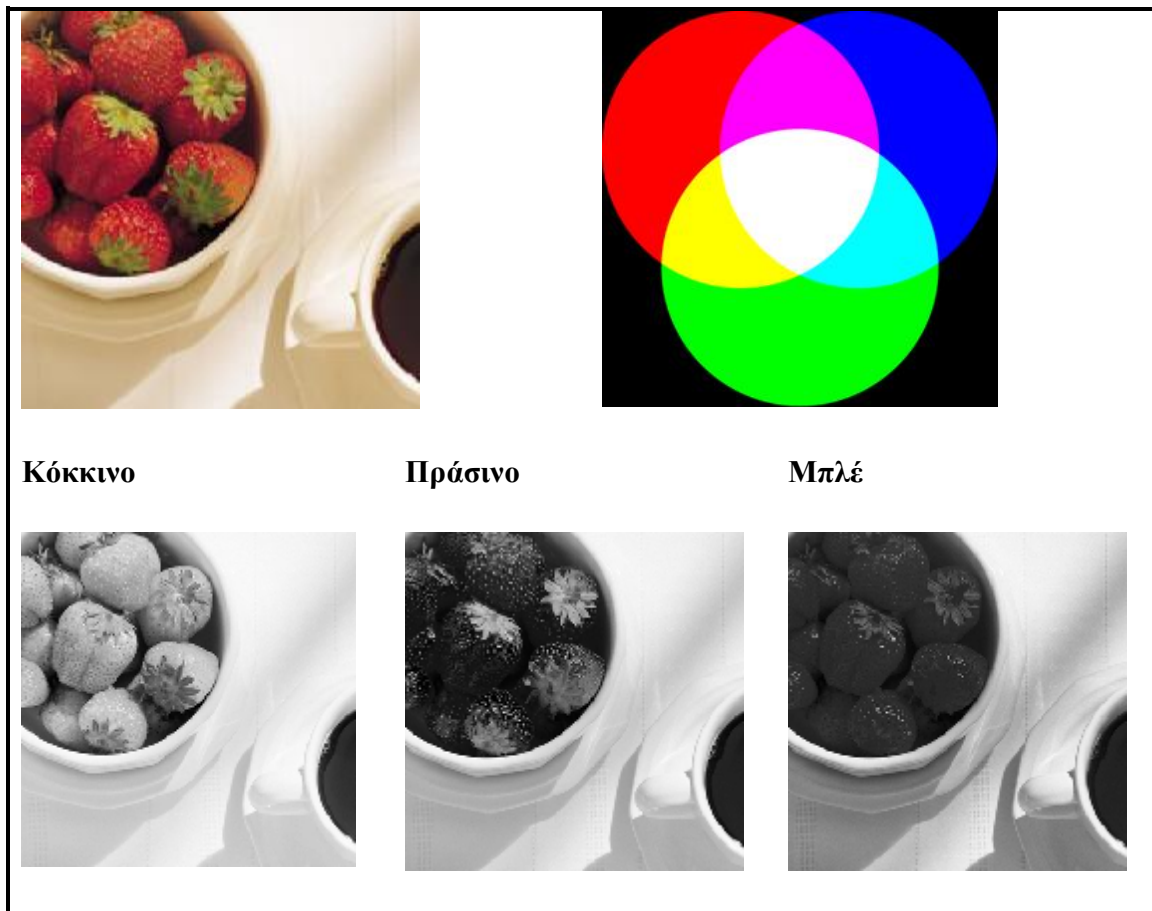
Έχει βρεθεί ότι οποιοδήποτε χρώμα μπορεί να συντεθεί ανακατεύοντας όχι περισσότερα από τρία άλλα χρώματα. Η τριάδα των χρωμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί δεν είναι μοναδική. Βασικός κανόνας είναι κάθε ένα από αυτά τα χρώματα δεν πρέπει να έχει παραχθεί από τα υπόλοιπα δύο.

Τα βασικά χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (Red, Green, Blue – RGB). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε βασικού χρώματος ορίζεται στο διάστημα από 0 (μαύρο) έως 255 (λευκό) ή ανάλογα 65535 στο τρισδιάστατο RGB.

Το μοντέλο βασίζεται στο καρτεσιανό σύστημα και αναπαριστάται με τον RGB κύβο (Εικόνα 2.3) και χρησιμοποιείται στην απεικόνιση χρωμάτων στις οθόνες και γενικά στα συστήματα απεικόνισης. Παράδειγμα εικόνας με το μοντέλο RGB φαίνεται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.3. Σύστημα Συντεταγμένων RGB.



Εικόνα 2.4. Η εικόνα αποτελείται από 3 υπο-εικόνες, μία για κάθε βασικό χρώμα

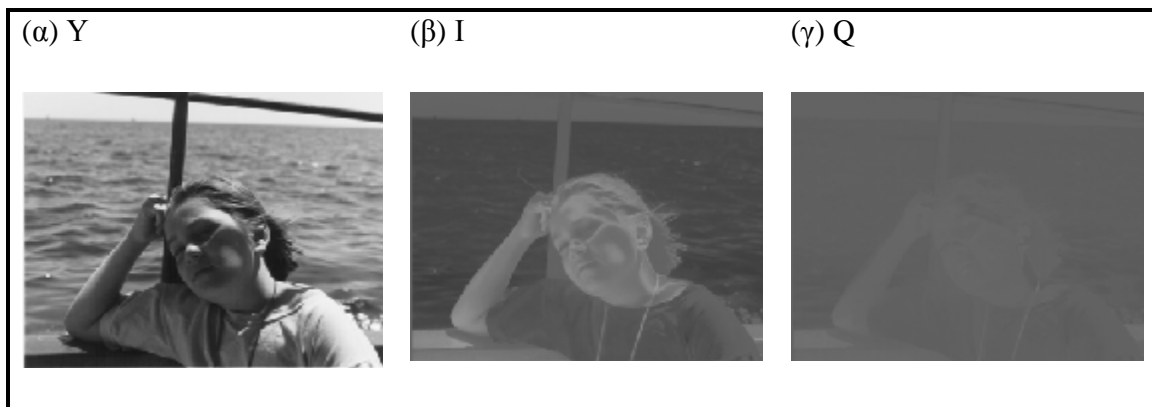
2.2.2. Χρωματικό μοντέλο YIQ

Στο χρωματικό μοντέλο YIQ τα τρία βασικά χαρακτηριστικά είναι η φωτεινότητα (Y), η απόχρωση και η χρωματική καθαρότητα (I,Q).

Χρησιμοποιείται κυρίως στην έγχρωμη τηλεοπτική μετάδοση. Στην ουσία είναι μια επανακωδικοποίηση του μοντέλου RGB, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης και τη συμβατότητα με την ασπρόμαυρη τηλεόραση. Η συμβατότητα αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η ασπρόμαυρη τηλεόραση «αντιλαμβάνεται» μόνο τον παράγοντα Y της εκπομπής, ο οποίος περιέχει σχετική πληροφορία φωτεινότητας. Αυτός ο παράγοντας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της εκπομπής κατά την τηλεοπτική μετάδοση. Συγκεκριμένα το Y κυμαίνεται [0,1], ο I από [-0.523,0.523] και ο Q από [-0.596,0.596]. Επίσης, το ανθρώπινο οπτικό σύστημα είναι περισσότερο ευαίσθητο σε μεταβολές της φωτεινότητας, από τις μεταβολές στην απόχρωση και τη χρωματική καθαρότητα. Με άλλα λόγια η ικανότητά μας να διακρίνουμε χρωματικές πληροφορίες είναι πολύ πιο μικρή από το να διακρίνουμε μονόχρωμες. Για τους παραπάνω λόγους το μοντέλο RGB μετασχηματίζεται με έναν απλό μετασχηματισμό πινάκων σε YIQ, στον οποίο το βασικό ρόλο παίζει ο παράγοντας Y, ο οποίος είναι σημαντικότερος για το ανθρώπινο μάτι. (Εικόνα 2.5).

Ο μετασχηματισμός του RGB σε YIQ ορίζεται ως εξής :

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & 0.275 & 0.321 \\ 0.212 & 0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



Εικόνα 2.5.: Ανάλυση μιας εικόνας στα συστατικά της κατά το μοντέλο YIQ.

2.2.3. Χρωματικό Μοντέλο YCbCr

Ο χρωματικός χώρος YCbCr δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες της ψηφιακής επεξεργασίας video. Είναι ένα ψηφιακό μοντέλο χρωμάτων και ανήκει στην οικογένεια των συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην τηλεοπτική μετάδοση. Η δημιουργία του κάλυψε ουσιαστικά την ανάγκη προσθήκης της πληροφορίας του χρώματος στο ήδη υπάρχον ασπρόμαυρο τηλεοπτικό σήμα. Είναι πολύ χρήσιμο σε εφαρμογές συμπίεσης, αλλά δεν απεικονίζει τα χρώματα σύμφωνα με τον τρόπο που τα αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι. Η συνιστώσα Y περιγράφει τη φωτεινότητα (Luminance) και οι Cb, Cr τις πληροφορίες χρώματος (Chrominance).

Συγκεκριμένα, το Cb εκφράζει τη χρωματική διαφορά ως προς το μπλε και το Cr τη χρωματική διαφορά ως προς το κόκκινο. Υπάρχουν δύο λόγοι που καταφεύγουμε σε αυτόν το μετασχηματισμό. Ο πρώτος αφορά την ανθρώπινη όραση, το γεγονός δηλαδή ότι η ανθρώπινη όραση είναι πολύ πιο ευαίσθητη στη φωτεινότητα της εικόνας παρά στα χρώματα. Μετασχηματίζοντας το RGB σήμα σε ένα σήμα φωτεινότητας και δύο άλλα που μεταφέρουν τη χρωματική πληροφορία, μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας. Τα δύο χρωματικά σήματα μπορούν να παρασταθούν και μεταδοθούν με μικρότερη ακρίβεια από ότι το σήμα φωτεινότητας, κάνοντας έτσι οικονομία του διαθέσιμου bandwidth. Ο δεύτερος λόγος είναι η διατήρηση της συμβατότητας με τα παλαιότερα συστήματα τηλεόρασης. Μια μαυρόασπρη τηλεόραση θα αγνοήσει τα χρωματικά σήματα και θα απεικονίσει μόνο τη φωτεινότητα.

Η μετατροπή του RGB χρωματικού χώρου στον YCbCr γίνεται βάσει της παρακάτω σχέσης:

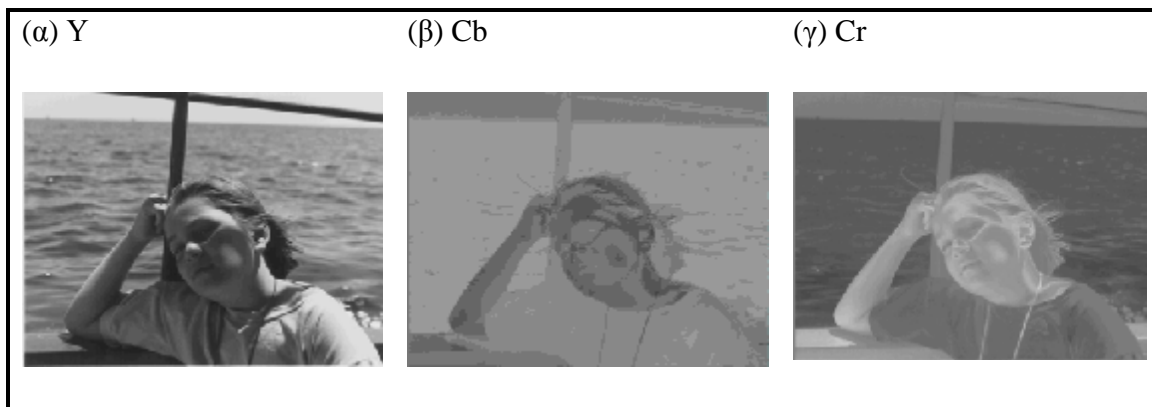
$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 & 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ 128 & 37.797 & 74.203 & 112 \\ 128 & 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Στην παραπάνω σχέση οι RGB τιμές θεωρούνται ότι βρίσκονται στο διάστημα [0,1]. Με τις προϋποθέσεις αυτές η μεταβλητή Y κυμαίνεται στο διάστημα [16,235] και οι Cb, Cr στο διάστημα [16,240].

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός, δεδομένου ότι $R, G, B \in [0,1]$, προκύπτει από τη σχέση :

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \begin{vmatrix} 0.00456621 & 0 & 0.00625893 \\ 0.00456621 & -0.00153632 & -0.00318811 \\ 0.00456621 & 0.00791071 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{matrix} \begin{vmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{vmatrix}$$

Στην Εικόνα 2.6. δίνονται οι τρεις συνιστώσες της εικόνας στο σύστημα YCbCr.



Εικόνα 2.6 Ανάλυση μιας εικόνας στα συστατικά της κατά το μοντέλο YIQ.

2.2.4. Χρωματικό Μοντέλο YUV

Στο χρωματικό μοντέλο YUV, ο όρος Y αναπαριστά την φωτεινότητα και τα χρωματικά συστατικά «περιέχονται» στα U και V. Κατά κόρον χρησιμοποιείται στη μετάδοση τηλεοπτικού σήματος PAL συστήματος. Ο αντίστοιχος μετασχηματισμός είναι ο ακόλουθος :

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Ο παραπάνω πίνακας περιγράφει αριθμητικά τον τρόπο που μοιράζονται τα bits της πληροφορίας σε κάθε ομάδα pixels.

Θα υπενθυμίσουμε για ακόμη μια φορά ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι πιο ευαίσθητος στην φωτεινότητα παρά στο χρώμα. Σύμφωνα λοιπόν με τη μέθοδο YUV, δίνεται προτεραιότητα στην απόδοση της σωστής φωτεινότητας και λιγότερο στο χρώμα.

Συγκεκριμένα, το “Y” αποδίδει την φωτεινότητα (luminance), ενώ τα άλλα δύο (U, γνωστό και ως Cr, και το V, γνωστό και ως Cb), αποδίδουν την χρωματική πληροφορία.

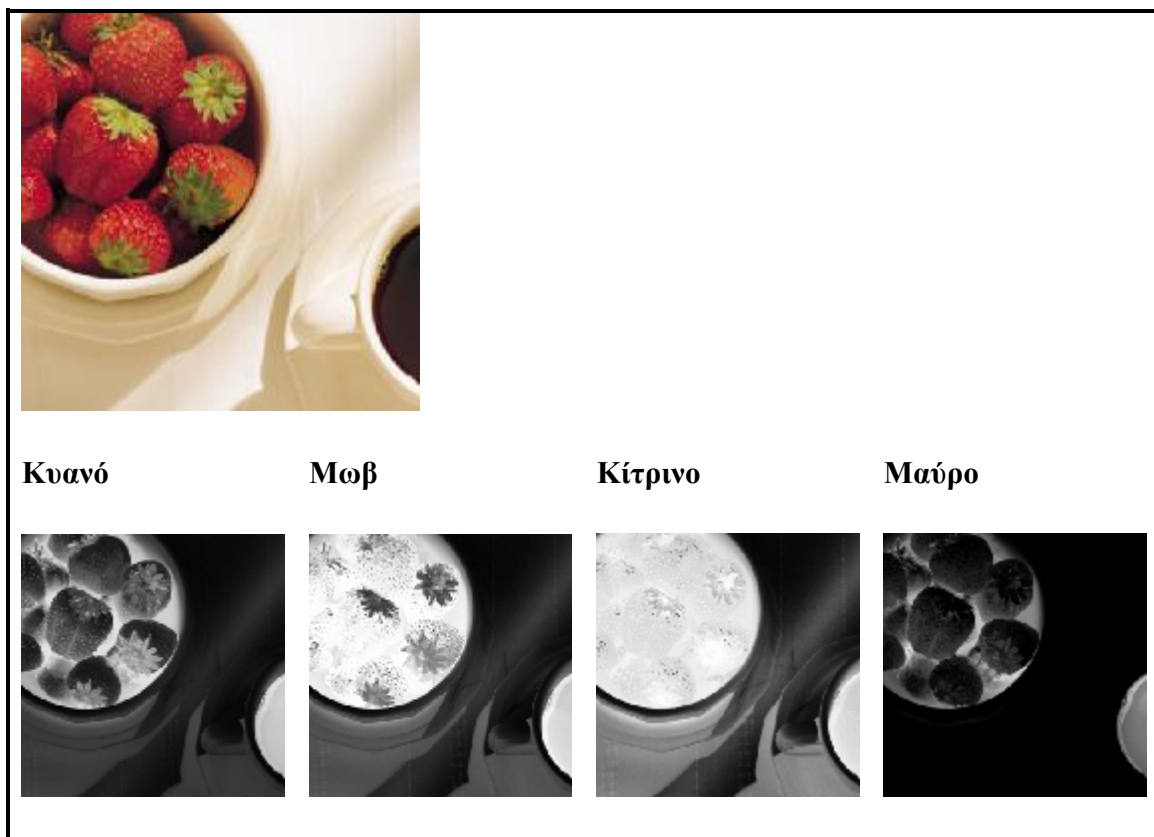
Το αυθεντικό YUV λέγεται και 4:2:2, καθώς για κάθε ομάδα των 4 pixels, η απόδοση της φωτεινότητας γίνεται και στα 4 pixels, ενώ του χρώματος μόνο στα 2. Έτσι η ποιότητα δε μειώνεται σε αισθητό επίπεδο, ενώ από την άλλη εξοικονομούνται 30% bits σε σχέση με το RGB. Υπάρχουν αρκετές τροποποιήσεις του YUV, η σημαντικότερη από τις οποίες είναι η YV12 (4:2:0). Ακόμη είναι αρκετά γρηγορότερο κατά την κωδικοποίηση καθώς και κατά την αναπαραγωγή. Το μόνο ενδεχομένως αρνητικό σημείο είναι ότι πρέπει να υποστηρίζεται από την κάρτα γραφικών για την αναπαραγωγή. Ωστόσο είναι αρκετά διαδεδομένο και σχεδόν καμία κάρτα πλέον δεν είναι ασύμβατη.

2.2.5. Χρωματικό Μοντέλο CMY ή CMYK

Το χρωματικό μοντέλο 'CMY' σχετίζεται με το RGB, γιατί πρόκειται στην ουσία για συμπληρωματικά μοντέλα με τις ίδιες βασικές αρχές και ιδιότητες. Το CMY επινοήθηκε για τις ανάγκες των εκτυπωτών στους οποίους και χρησιμοποιείται. Η διαφορά με το RGB είναι ότι στο CMY η επιφάνεια που αναπαράγονται/εκτυπώνονται τα χρώματα είναι πια το χαρτί, το οποίο είναι άσπρο σε αντίθεση με την μαύρη οθόνη των υπολογιστών. Έτσι οποιαδήποτε αναπαραγωγή χρωμάτων ξεκινά έχοντας ως βάση το λευκό και όχι το μαύρο. Με άλλα λόγια η αρχή των αξόνων (0,0,0) στο CMY είναι το λευκό και όχι το μαύρο χρώμα όπως στο RGB. Κατά συνέπεια, όλος ο χρωματικός κύβος αντιστρέφεται, ώστε το λευκό που πριν ήταν (1,1,1) να πάει στη θέση (0,0,0), με αποτέλεσμα οι κύριοι άξονες του χρωματικού χώρου να μην αντιστοιχούν στα βασικά χρώματα κόκκινο, πράσινο, μπλε, αλλά στα κυανό (Cyan), ματζέντα (Magenta), κίτρινο (Yellow), από τα οποία και προέρχεται το ακρωνύμιο CMY. Οι περισσότερες εκτυπωτικές έγχρωμες συσκευές (εκτυπωτές, φωτοτυπικά) τροφοδοτούνται με τις τρεις παραμέτρους του μοντέλου αυτού ή εκτελούν μετασχηματισμό του RGB σε CMY (Θεοχάρης Θ., κ.α. 2010)

Θεωρητικά είναι δυνατόν να δημιουργηθεί κάθε χρωματική απόχρωση χρησιμοποιώντας τα RGB και CMY μοντέλα χρώματος. Στην πράξη όμως, τα τρία βασικά χρώματα γαλάζιο, μωβ και κίτρινο δεν υπάρχουν διαθέσιμα ως αμιγή χρώματα, αλλά είναι πάντοτε

«λερωμένα» με μια συγκεκριμένη αναλογία χρώματος από τα άλλα βασικά χρώματα. Το αποτέλεσμα είναι ότι δεν είναι δυνατό να τυπωθεί καθαρό μαύρο και περιορίζεται ο αριθμός των ικανών για εκτύπωση χρωμάτων. Με σκοπό να υπερπηδηθεί αυτό το πρόβλημα, το χρωματικό μοντέλο CMY έχει επεκταθεί για να σχηματίσει το μοντέλο CMYK. Η διαφορά μεταξύ των δυο μοντέλων CMY και CMYK είναι ελάχιστη. Στην πράξη όμως το αποτέλεσμα είναι σημαντικό. Επιπρόσθετα, στα τρία βασικά χρώματα κυανό, ματζέντα και κίτρινο, το μοντέλο χρωμάτων CMYK επίσης περιέχει το μαύρο. Παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου CMYK φαίνεται στην εικόνα 2.7.

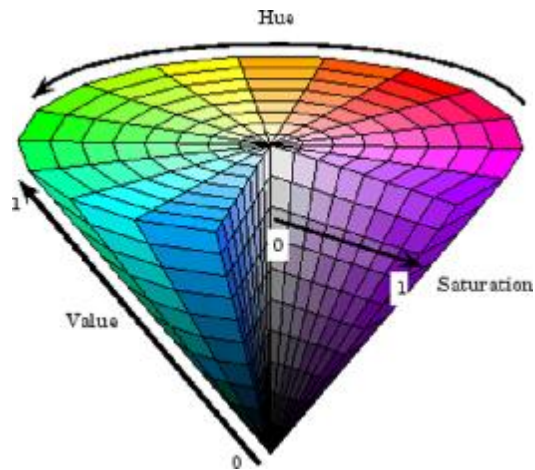


Εικόνα 2.7. Η παραπάνω έγχρωμη εικόνα αποτελείται από τέσσερις (4) υπο-εικόνες.

2.2.6. Χρωματικά Μοντέλα HSI

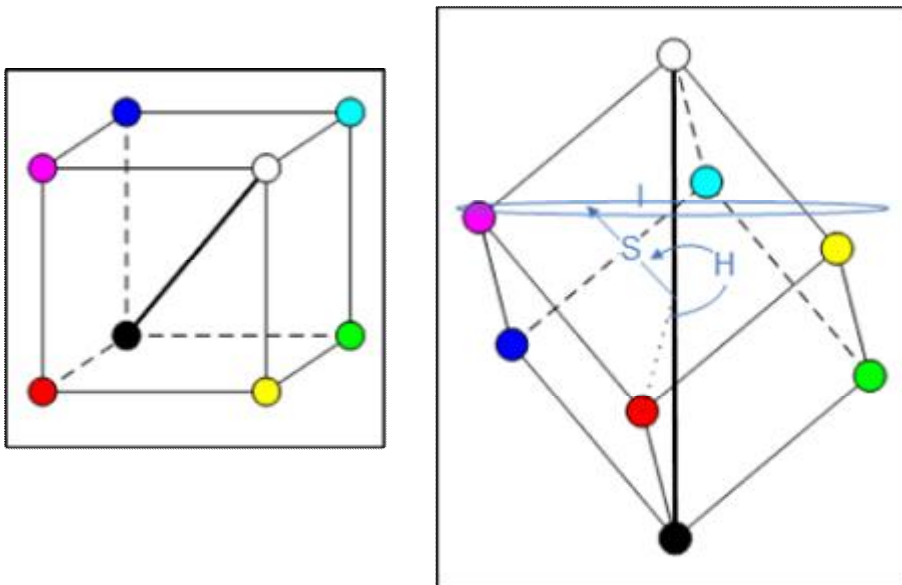
Στο HSI μοντέλο, τα χρώματα αναπαριστώνται από δύο χρωματικούς παράγοντες (Hue & Saturation) και την φωτεινότητά (Intensity). (Εικόνα 2.8.)

Χρησιμοποιείται για την περιγραφή των χρωμάτων με βάση την ανθρώπινη αντίληψη.



Εικόνα 2.8. Μοντέλο HSI

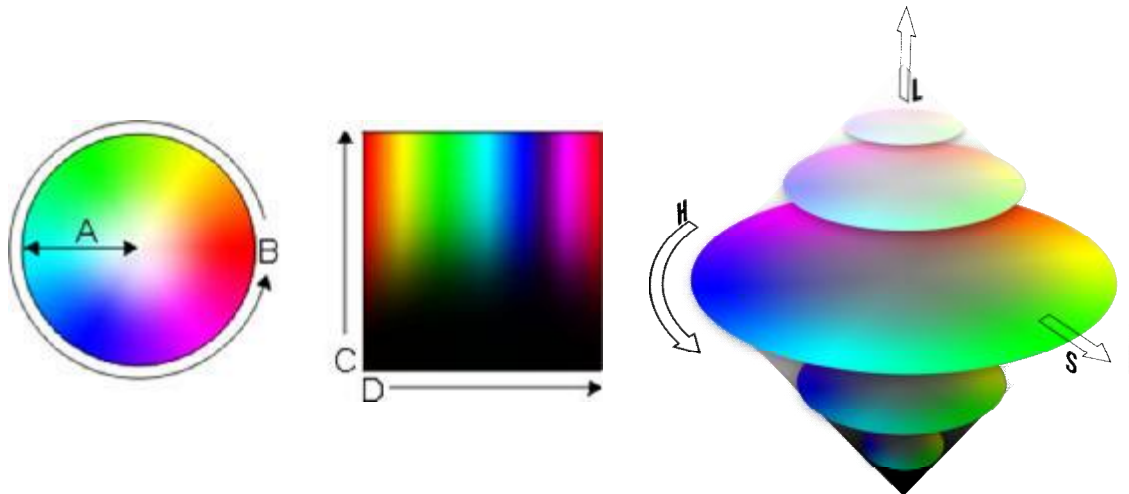
Μία πρακτική οπτική αναπαράσταση για το HSI σύστημα, επιτυγχάνεται εάν περιστρέψουμε τον RGB κύβο έτσι ώστε στον κάθετο άξονα να βρίσκεται η ευθεία που ενώνει τις γωνίες του μαύρου και του άσπρου. (Εικόνα 2.9)



Εικόνα 2.9. Αριστερά είναι ο κύβος RGB και δεξιά η περιστροφή του κύβου, όπου στον κάθετο άξονα βρίσκεται η ευθεία που ενώνει τις γωνίες του μαύρου και του άσπρου.

2.2.7. Χρωματικά μοντέλα HSB-HSL

Με τις μεθοδολογίες HSB (Hue, Saturation, Brightness) και HSL (Hue, Saturation, Lightness) μπορούμε να καθορίσουμε την απόχρωση (hue) με γωνιακούς όρους (0 – 360ο) και τις παραμέτρους κορεσμού (saturation) και φωτεινότητας (brightness) ή (lightness) ως ποσοστά (%). (Εικόνα 2.10)



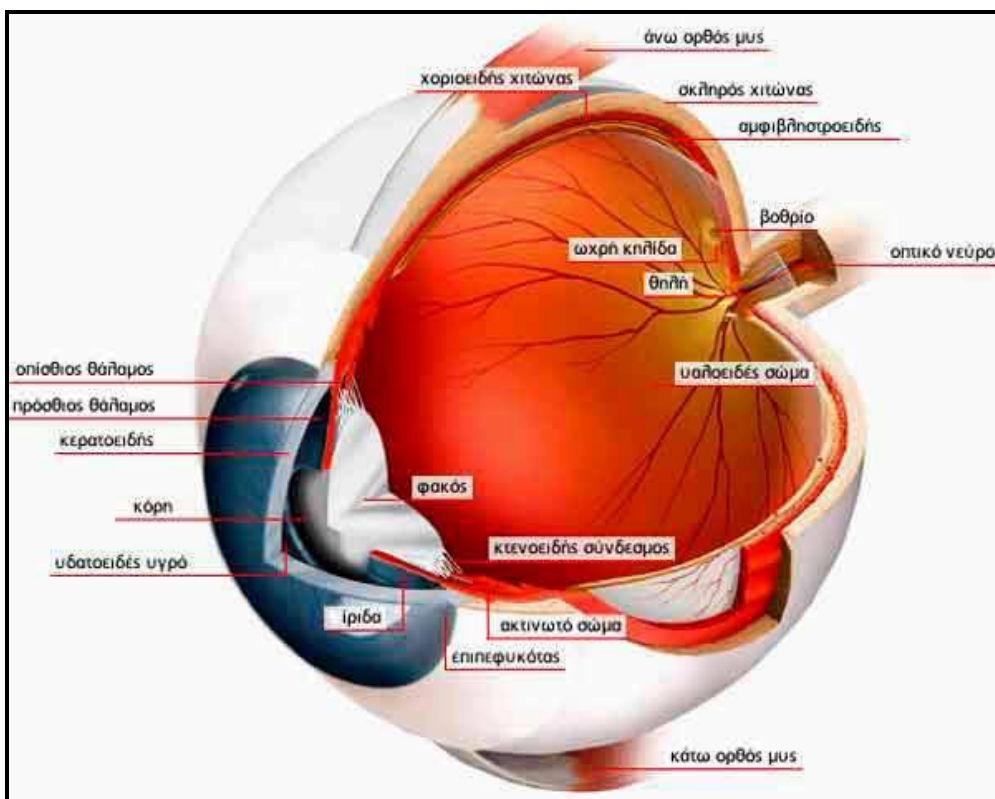
Εικόνα 2.10. Χρωματικά μοντέλα HSB-HSL

3. Ανθρώπινη Όραση

Η όραση είναι μια δυναμική διαδικασία που μας επιτρέπει να συλλέγουμε και να επεξεργαζόμαστε πληροφορίες από το περιβάλλον που ζούμε και στη συνέχεια να προγραμματίζουμε και να εκτελούμε τις κινήσεις μας (αντίδραση) μέσα σε αυτό. Το 80% των πληροφοριών που δεχόμαστε καθημερινά λαμβάνονται από το οπτικό μας σύστημα.

3.1. Ο μηχανισμός της Όρασης

Κάθε οφθαλμικός βολβός είναι χονδρικά σφαιρικός, με διάμετρο περίπου 2,5 εκατ. και βρίσκεται προφυλαγμένος μέσα στον οφθαλμικό κόγχο, που σχηματίζουν τα οστά του κρανίου. Ο βολβός του ματιού αποτελείται από τρία στρώματα: τον ινώδη χιτώνα (σκληρός + κερατοειδής) μπροστά από την κόρη, τον χοριοειδή χιτώνα (αγγειακός) και τον αμφιβληστροειδή χιτώνα (νευρικός).. (Εικόνα 3.1)

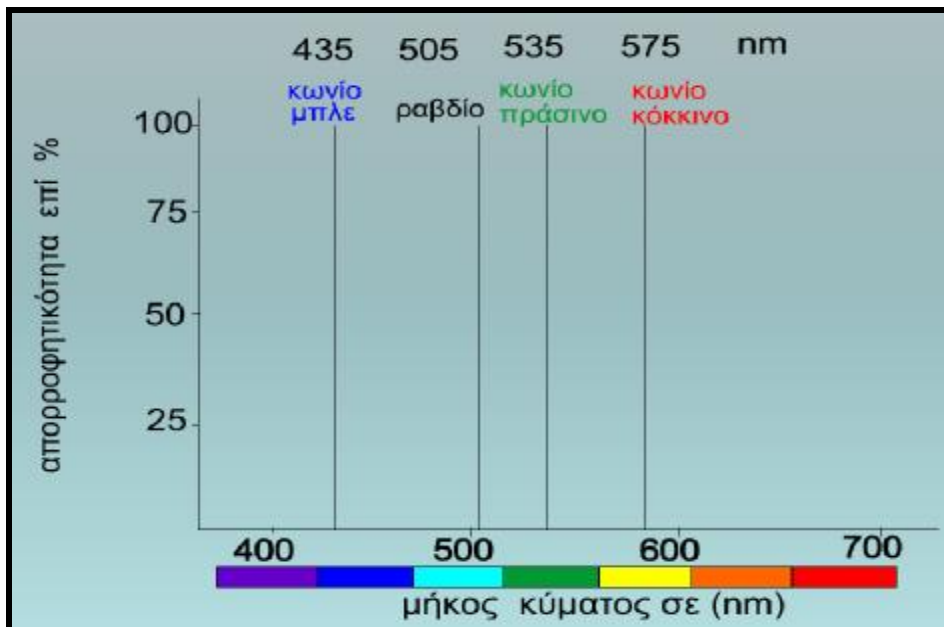


Εικόνα 3.1 Ανατομία Οφθαλμού

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας καλύπτει εσωτερικά τον χοριοειδή και περιέχει δύο ειδών φωτοευαίσθητα κύτταρα: τα ραβδία, τα οποία είναι υπεύθυνα για την όραση σε αμυδρά φωτιζόμενους χώρους και τα κωνία, τα οποία χρησιμεύουν για την όραση στο φως και την αντίληψη των χρωμάτων.

Στα ραβδία και κωνία περιέχονται χρωστικές ουσίες οι οποίες όταν εκτεθούν στο φως αποσυντίθενται και έτσι δημιουργούνται νευρικές ώσεις, οι οποίες μέσω των νευρικών ινών καταλήγουν στο οπτικό κέντρο. Η χημική ουσία των ραβδίων ονομάζεται ροδοψίνη, ενώ η σύσταση των αντίστοιχων χρωστικών των τριών κωνίων πολύ λίγο διαφέρει από τη σύνθεση της ροδοψίνης. Συγκεκριμένα η μόνη τους διαφορά βρίσκεται στα πρωτεϊνικά τμήματα των φωτοχρωστικών (φωτοψίνες).

Η ροδοψίνη αποτελείται από ένα παράγωγο της βιταμίνης Α την ρετινίνη (ρετινάλη) και μια πρωτεΐνη την οψίνη (σκοτοψίνη). Η ροδοψίνη μόλις απορροφήσει φωτεινή ενέργεια αρχίζει να αποσυντίθεται σε οψίνη και ρετινίνη. Κατά τη διαδικασία της διάσπασης διεγείρονται τα ραβδία και παράγονται νευρικές ώσεις. Αντίστοιχο φαινόμενο συμβαίνει και με τα κωνία. Παράδειγμα του μηχανισμού της όρασης φαίνεται στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2. Η όραση των χρωμάτων

3.2. Τα φωτοευαίσθητα κύτταρα (Φωτουποδοχείς)

Σε κάθε μάτι υπάρχουν περίπου 7 εκατομμύρια κωνία, πυκνά τοποθετημένα στην περιοχή της ωχράς κηλίδας (κεντρικό σημείο του αμφιβληστροειδή), τα οποία είναι ευαίσθητα σε υψηλά επίπεδα φωτός και είναι υπεύθυνα για την όραση κατά την διάρκεια της ημέρας. Απορροφώντας επιλεκτικά το φως το οποίο φθάνει σε αυτά, έχουν την ικανότητα να βελτιώνουν την ποιότητα της εικόνας και είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος της οπτικής μας οξύτητας. Για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή οπτική οξύτητα είναι αναγκαίο, η ένταση του φωτός να φθάνει πάνω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Τα κωνία είναι επίσης υπεύθυνα για την αντίληψη των χρωμάτων. Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη κωνίων, καθένα από τα οποία είναι εξειδικευμένο να ανιχνεύει επιλεκτικά το μπλέ, το πράσινο και το κόκκινο φως του φάσματος. Όταν η ένταση του φωτός είναι χαμηλή τα κωνία δεν διεγείρονται, μειώνοντας έτσι δραματικά την ικανότητα των ματιών να «διακρίνουν» τα χρώματα. Τότε ενεργοποιούνται τα ραβδία.

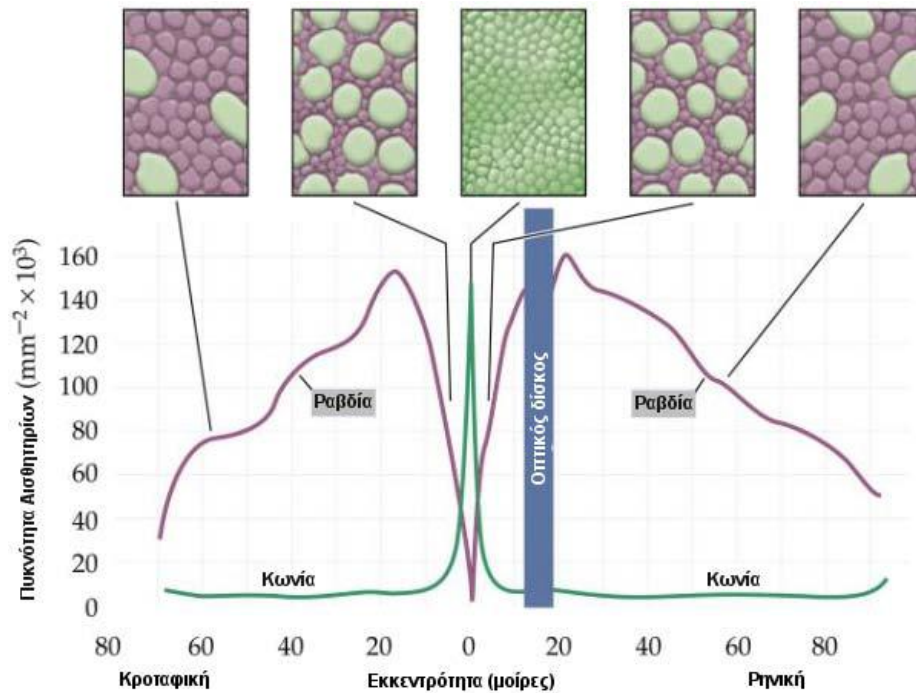
Υπάρχουν περίπου 120 εκατομμύρια ραβδία κατανομημένα σε όλη την επιφάνεια του αμφιβληστροειδή χιτώνα τα οποία περιέχουν την χημική ουσία ροδοψίνη (παράγωγο της βιταμίνης Α) η οποία είναι ευαίσθητη σε πολύ χαμηλά επίπεδα έντασης του φωτός. Κατά την διάρκεια της ημέρας που τα επίπεδα του φωτός είναι υψηλά η ροδοψίνη απενεργοποιείται (αποχρωματίζεται) προκαλώντας έτσι μία καθυστέρηση στην προσαρμογή των ματιών στο σκοτάδι μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την ευαισθησία τους σε χαμηλά επίπεδα φωτός.

Τα κωνία και τα ραβδία αντιδρούν στο φως με βραδείες, κλιμακωτές αλλαγές του δυναμικού της μεμβράνης τους. Τα ραβδία αντιδρούν αργά έτσι ώστε φωτόνια που απορροφούνται σε χρονικό διάστημα 100 ms, να αθροίζονται. Αυτό επιτρέπει την ανίχνευση ακόμα και πολύ μικρών ποσοτήτων φωτός φωτοευαίσθητων οπτικών χρωστικών όπως η ροδοψίνη (ραβδία) η ιωδοψίνη (κωνία) κ.α. στους φωτουποδοχείς του αμφιβληστροειδή που διασπώνται στο φως και ανασυντίθενται στο σκοτάδι. Τα ραβδία έχουν την οπτική χρωστική ροδοψίνη ενώ τα κωνία 3 χρωστικές ευαίσθητες σε διαφορετικά μήκη κύματος. **(Πίνακας 3.1)**

Πίνακας 3.1. Σύγκριση των Ραβδίων και Κωνίων. Πηγή: Ρούμπος Κ., 2008

Ραβδία	Κωνία
Ασπρόμαυρη όραση	Έγχρωμη όραση
Νυκτόβια όραση	Ημερόβια όραση
Ένας τύπος χρωστικής	Τρεις τύποι χρωστικών
20 φορές περισσότερα από τα κωνία στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (~90 εκατομ.)	~4.5 εκατομμύρια
Περιέχουν περισσότερη ποσότητα χρωστικών και μπορούν, έτσι, να ανιχνεύσουν χαμηλότερα επίπεδα φωτός	Απαιτούν περισσότερο φως για τη δημιουργία εικόνων λόγω μικρότερης ποσότητας χρωστικών
Αργή απόκριση στο φως, αύξηση της ευαισθησίας με το χρόνο	Γρήγορη απόκριση στο φως, αντίληψη περισσότερο απότομων μεταβολών
Δεν υπάρχουν στο βοθρίο της ωχράς κηλίδας	Σε μεγάλη συγκέντρωση στο βοθρίο της ωχράς κηλίδας
Χαμηλή οπτική ευκρίνεια	Υψηλή ευκρίνεια, καλύτερη ανάλυση
Απώλεια → νυκτόβια τύφλωση	Απώλεια → τύφλωση
Πολύ ευαίσθητα στο φως και το διεσπαρμένο φως	Όχι πολύ ευαίσθητα στο φως, ευαίσθητα σε απευθείας έκθεση στο φως
Χρήση σκοτοπικής όρασης	Χρήση φωτοπικής όρασης
Μικρή οπτική οξυδέρκεια	Μεγάλη οπτική οξυδέρκεια – Μεγαλύτερη χωρική ανάλυση
Ανομοιόμορφα καταναμημένα στον αμφιβληστροειδή	Συγκεντρωμένα στην ωχρή κηλίδα
Μόνο ένας τύπος κυττάρων	Υπάρχουν τρεις τύποι κυττάρων
Ευθύνονται για την αχρωματική όραση	Ευθύνονται για την έγχρωμη όραση

Πιο κάτω φαίνεται (Εικόνα 3.3) ο αμφιβληστροειδής και η πυκνότητα φωτουποδοχέων (ραβδία + κωνία) κατά μήκος του οριζόντιου άξονα στον αμφιβληστροειδή.



Εικόνα 3.3. Ο αμφιβληστροειδής και η συγκέντρωση σε κωνία και ραβδία. Πηγή: Osterberg, 1935

4. Θεωρία Έγχρωμης Όρασης - Αντίληψη Χρωμάτων

4.1. Θεωρίες Έγχρωμης Όρασης

Έγχρωμη όραση είναι η ικανότητα αντίληψης διαφορετικών χρωμάτων. Ως χρώμα ορίζεται η ορατή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκεκριμένους μήκους κύματος. Η ανθρώπινη όραση είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να αποκωδικοποιεί κάθε ακτινοβολία και να δημιουργεί το αίσθημα χρώματος. Συνεπώς, το χρώμα εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Ορατά είναι τα χρώματα από το ιώδες (380nm) ως το ερυθρό (750nm).

Όταν προσπίπτουν στον οφθαλμό μας ακτινοβολίες με διαφορετικά μήκη κύματος, τα χρώματα μπορούν να συντίθενται και να δημιουργούν την αντίληψη άλλου χρώματος. Το λευκό φως προκύπτει από τη σύνθεση όλων των ορατών ακτινοβολιών. Έχει βρεθεί μετά από πειράματα ότι με μίξη 3 χρωμάτων μπορούμε να δημιουργήσουμε όλα τα χρώματα της ίριδας.

Η έγχρωμη όραση εξαρτάται από τη λειτουργία των κωνίων του αμφιβληστροειδούς. Για να μπορούμε να βλέπουμε όλα τα χρώματα, χρειαζόμαστε 3 τύπους κωνίων που να αποκωδικοποιούν ένα χρώμα ο καθένας. Αυτή είναι η βάση της Τρι-χρωματικής Θεωρίας. Αυτή η θεωρία αναπτύχθηκε στο 18ο αιώνα, όταν ο Thomas Young πρότεινε ότι το αίσθημα χρώματος ήταν ένα αποτέλεσμα τριών διαφορετικών φωτοδεκτών. Ο Hermann von Helmholtz επεκτάθηκε αργότερα στις ιδέες του Young χρησιμοποιώντας πειράματα που έδειξαν ότι οι άνθρωποι με φυσιολογική όραση χρειάστηκαν τρία μήκη κύματος για να δημιουργήσουν την κανονική σειρά των χρωμάτων. Κάθε ένας από τους τρεις τύπους κωνίων περιέχει έναν διαφορετικό τύπο φωτοευαίσθητης χρωστικής ουσίας, η οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε ένα ορισμένο μήκος κύματος του φωτός.

Κατά συνέπεια, η έγχρωμη όραση επιτυγχάνεται με το συνδυασμό των αισθητηριακών αποκρίσεων των 3 τύπων κωνίων που διαθέτουμε.

Υπολογίζεται ότι η απόκριση καθενός από τους τρεις τύπους κωνίων μπορεί να πάρει περίπου 100 διαφορετικές διαβαθμίσεις. Έτσι, ο εγκέφαλος, συνδυάζοντας αυτές τις

αποκρίσεις παρέχει τη δυνατότητα ώστε ο μέσος άνθρωπος να μπορεί να διακρίνει περίπου ένα εκατομμύριο διαφορετικά χρώματα. (Κουτσοθεοδωρής Θ., 2012)

Οι σημαντικότερες θεωρίες της χρωματικής αντίληψης συνοψίζονται παρακάτω: (Ρούμπος Κ., 2008)

1. Αριστοτέλης: το χρώμα υπάρχει με την μορφή ακτινών που έστελναν οι Θεοί από τον ουρανό.
2. Isaac Newton (1660): όταν μια δέσμη ηλιακού φωτός διαπεράσει το γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε ένα συνεχές φάσμα χρωμάτων.
3. Helmholtz (1852): Τριχρωματική Θεωρία
4. Hering (1872): Τετραχρωματική θεωρία ή θεωρία των αντιθέτων χρωμάτων.

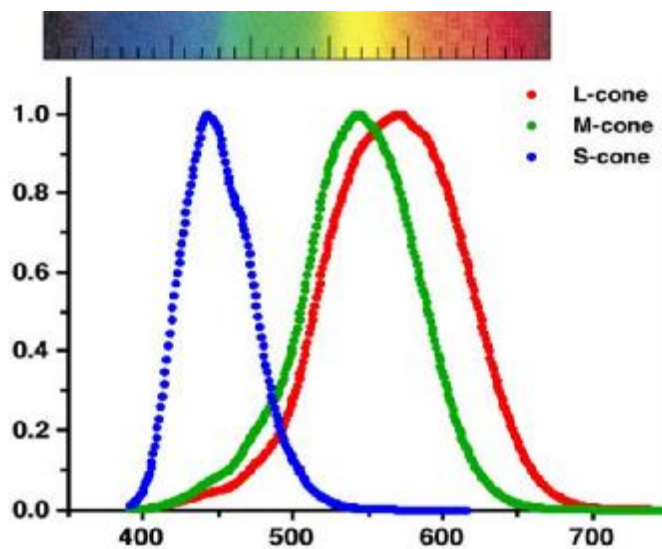
Η σύγχρονη αντίληψη είναι ότι ο μηχανισμός της αντίληψης των χρωμάτων μπορεί να εξηγηθεί με το συνδυασμό των δύο τελευταίων θεωριών.

4.2. Τριχρωματική Θεωρία της Όρασης

Η τριχρωματική θεωρία της έγχρωμης όρασης προτάθηκε από τον Thomas Young το 1802 (Young, T., 1802), ο οποίος πρότεινε ότι για την επίτευξη οποιασδήποτε απόχρωσης απαιτείται προσθετική ανάμιξη τριών βασικών χρωμάτων. Αυτά τα τρία βασικά χρώματα είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Αυτή η θεωρία αναβιώθηκε αργότερα από τον Helmholtz (Helmholtz, H., 1852), ο οποίος διαπίστωσε ότι υπάρχουν τρεις τύποι φυσιολογικών «μηχανισμών» υπεύθυνοι για την αντίληψη όλων των χρωμάτων.

Είναι σήμερα παγκοσμίως αναγνωρισμένο ότι αυτούς τους τρεις μηχανισμούς τους αποτελούν οι τρεις τύποι κωνίων που βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή των ανώτερων θηλαστικών, οι οποίοι αποκρίνονται κατά προτίμηση σε διαφορετικά μήκη κύματος ενός φωτεινού ερεθίσματος. Ο κάθε τύπος κωνίων περιέχει μια οπτική χρωστική (φωτοχρωστική), ευαίσθητη σε διαφορετικό τμήμα του χρωματικού φάσματος, από όπου προκύπτει και η ονομασία τους: τα S-κωνία (ευαίσθητα σε φωτόνια μικρού μήκους κύματος –Short wavelength), τα M-κωνία (ευαίσθητα σε φωτόνια μέσου μήκους

κύματος- Medium wavelength) και τα L-κωνία (ευαίσθητα σε φωτόνια μεγάλου μήκους κύματος-Long wavelength). Οι χρωστικές των κωνίων αποτελούνται από μια πρωτεΐνη, την οψίνη, και μια φωτοευαίσθητη ουσία, τη ρετινάλη. Καθεμία από τις τρεις χρωστικές των κωνίων περιέχει διαφορετική οψίνη. Στην εικόνα 4.1. παριστάνονται οι καμπύλες φασματικής ευαισθησίας των τριών φωτοχρωστικών, οι οποίες καθορίζουν την πιθανότητα απορρόφησης ενός φωτονίου ως συνάρτηση του μήκους κύματός του. Από τη στιγμή που απορροφηθούν κάποια φωτόνια (και μετατρέπουν μέσω μιας σύνθετης φωτοχημικής αντίδρασης σε ηλεκτρική απόκριση), η απόκριση του κωνίου εξαρτάται από τον συνολικό αριθμό των φωτονίων που απορροφήθηκαν και όχι από το μήκος κύματος των απορροφημένων φωτονίων, μια αρχή γνωστή ως univariance (Rushton, W. A. H., 1972). Αυτό συνεπάγεται ότι, μια αύξηση του αριθμού των φωτονίων είναι πιθανόν να προκληθεί είτε από αύξηση της έντασης του φωτεινού ερεθίσματος, είτε από αλλαγή της έντασης του φωτεινού ερεθίσματος, είτε από αλλαγή του μήκους κύματος, είτε και από τα δύο (π.χ. αύξηση της απόκρισης ενός L-κωνίου σημαίνει ότι το μήκος κύματος του φωτεινού ερεθίσματος πλησίασε την «κορυφή» του φάσματος απορρόφησης του L-κωνίου ή ότι το ερέθισμα αυξήθηκε σε φωτεινότητα ή και τα δύο).



Εικόνα 3. Φασματικές καμπύλες ευαισθησίας των τριών φωτοχρωστικών όπως μετρήθηκαν από τους Stockman και Sharpe (Stockman, A., & Sharpe, L. T., 2000). Φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος παρουσιάζουν διαφορετικές πιθανότητες να απορροφηθούν από τις τρεις κατηγορίες κωνίων. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα φάσματα απορρόφησης παρουσιάζουν μεγάλο εύρος (οι καμπύλες των M- και L- κωνίων

εκτείνονται σε όλο το ορατό φάσμα), ενώ τα L- κωνία παρουσιάζουν μέγιστη απορροφητικότητα σε μήκη κύματος που «φαίνονται» κίτρινα. Γι' αυτό προτείνεται να αποφεύγεται η κατηγοριοποίηση των κωνίων ως «μπλε, πράσινα και κόκκινα».

Αν και τα φάσματα απορροφητικότητας των φωτοχρωστικών των S-, M- και L- κωνίων επικαλύπτονται αρκετά, παρουσιάζουν τη μέγιστη απορροφητικότητα τους σε διαφορετικές περιοχές του ορατού φάσματος: 419, 531 και 559 nm αντίστοιχα (οι τιμές αυτές παρουσιάζουν μικρές διαφορές, ανάλογα με τις πειραματικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για να τις υπολογίσουν).

4.3. Θεωρία Χρωματικής Ανταγωνιστικότητας

Η θεωρία της Χρωματικής Ανταγωνιστικότητας (colour opponent theory) διατυπώθηκε από τον Ewald Hering το 1872 λαμβάνοντας υπόψη του ότι οι πιο κοινές μορφές αχρωματοψίας είναι αυτές στο κόκκινο-πράσινο και στο κίτρινο-μπλε. Τα κυριότερα στοιχεία της θεωρίας είναι τα εξής:

1. Η όραση βασίζεται σε ένα σύστημα ανταγωνισμού των χρωμάτων.
2. Υπάρχουν 6 βασικά χρώματα που σχηματίζουν 3 ζεύγη: κόκκινο-πράσινο, κίτρινο-μπλε και άσπρο –μαύρο.
3. Η οπτική πληροφορία περιγράφεται από την ανταγωνιστικότητα των παραπάνω χρωμάτων.

Τα ηλεκτρικά σήματα (που σχετίζονται με την έγχρωμη όραση) μεταδίδονται από τους τρεις τύπους κωνίων στις επόμενες στιβάδες αμφιβληστροειδικών κυττάρων, στα οριζόντια και στα γαγγλιακά κύτταρα, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρουν τις πληροφορίες μέσω του οπτικού νεύρου στον έξω γονατώδη πυρήνα (LGN) και στον οπτικό φλοιό. Ο Hering, το 1878, πρότεινε ότι, μετά από το στάδιο επεξεργασίας του χρώματος στους φωτοϋποδοχείς, υπάρχει ένα δεύτερο στάδιο χρωματικής επεξεργασίας στο οποίο οι αποκρίσεις των κωνίων συνδυάζονται («κωδικοποιώντας» το άθροισμά ή την διαφορά τους). Αυτή η θεωρία έγινε γνωστή ως «θεωρία χρωματικής ανταγωνιστικότητας» (colour opponent theory) η οποία βασίζεται στον ανταγωνισμό που παρουσιάζεται στην αντίληψη μεταξύ κόκκινου-πράσινου, και μπλε-κίτρινου χρώματος.

Οι DeValois et al., 1966 ήταν οι πρώτοι που περιέγραψαν κύτταρα στην οπτική οδό ανώτερων θηλαστικών, τα οποία, για παράδειγμα, «αναστέλλονταν» από το κόκκινο και «διεγείρονταν» από το πράσινο φως. Ηλεκτροφυσιολογικές και ψυχοφυσικές μελέτες αργότερα επιβεβαίωσαν τις αρχικές παρατηρήσεις.

Στον άνθρωπο και άλλα ανώτερα θηλαστικά έχουν διαπιστωθεί τρεις «παράλληλες οδοί» που μεταβιβάζουν τις οπτικές πληροφορίες από τον αμφιβληστροειδή στο φλοιό μέσω του οπτικού νεύρου. Η κωδικοποίηση στο οπτικό νεύρο είναι πολύ αποτελεσματική, κυρίως επειδή τα ηλεκτρικά σήματα που μεταφέρονται στις οδούς είναι καλά διαχωρισμένα το ένα από το άλλο. Οι τρεις "οδοί" περιέχουν εξειδικευμένους νευρώνες για την επεξεργασία:

- της φωτεινότητας
- της κοκκίνο vs. πρασίνης χρωματικότητας
- της μπλε vs. κίτρινης χρωματικότητας

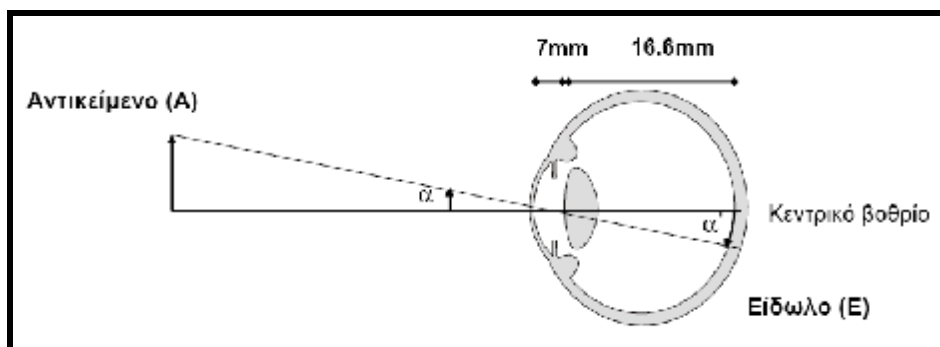
Μπορεί επομένως να διατυπωθεί ότι στα αρχικά στάδια της οπτικής οδού, στον αμφιβληστροειδή και στο LGN λαμβάνει χώρα βασική επεξεργασία για την αντίληψη της έγχρωμης όρασης. Οι χρωματικοί ανταγωνιστικοί μηχανισμοί που περιγράφονται ανωτέρω θέτουν τους σημαντικότερους περιορισμούς για τις βασικές επεξεργασίες του χρώματος όπως είναι η αντίληψη και η αναγνώριση, αλλά ο συσχετισμός των φυσιολογικών χαρακτηριστικών με την αντίληψη των χρωμάτων τους δεν είναι άμεσος. Αυτό, αν συνέβαινε, θα προκαλούσε έκπληξη, επειδή είναι γνωστό ότι στην συνέχεια οι χρωματικές πληροφορίες υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία στον οπτικό φλοιό, όπου το σήμα υποβάλλεται σε μετασχηματισμούς σχετικούς με την τελική αντίληψη των χρωμάτων των οπτικών ερεθισμάτων. Η χρωματική ανταγωνιστικότητα που χαρακτηρίζει τα γαγγλιακά κύτταρα και τα κύτταρα του LGN δεν υφίσταται στους νευρώνες του φλοιού. Έχει διαπιστωθεί ότι τα κύτταρα αυτά είναι συντονισμένα (παρουσιάζοντας μικρό εύρος φάσματος απορρόφησης) σε διαφορετικά χρώματα.

5. Διακριτική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία της ανθρώπινης όρασης είναι η δημιουργία ενός ευκρινούς ειδώλου στον αμφιβληστροειδή. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνουν τα διάφορα διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού όπως: 1) Η πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδούς, 2) Η οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδούς, 3) Η πρόσθια επιφάνεια του φακού και 4) Η οπίσθια επιφάνεια του φακού.

Ως χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) ορίζεται η μικρότερη χωρική λεπτομέρεια (π.χ. γράμμα) που μπορεί να ανιχνευθεί (ικανότητα ανίχνευσης – detection), αναγνωριστεί (ικανότητα αναγνώρισης – recognition) ή διακριθεί (ικανότητα διάκρισης – choice) (Πλαΐνης Σ., κ.α. 2009).

Το μέγεθος των ειδώλων που σχηματίζονται στον αμφιβληστροειδή εξαρτάται όχι μόνο από το μέγεθος των αντικειμένων (π.χ. των συμβόλων στα οπτότυπα) αλλά και από την απόστασή τους από τον οφθαλμό, αφού το σχετικό μέγεθος ενός αντικειμένου αυξάνεται όσο αυτό μας πλησιάζει. Επομένως για τον υπολογισμό της διακριτικής ικανότητας είναι απαραίτητη η χρήση ενός σταθερού μεγέθους. Τέτοιο αποτελεί η οπτική γωνία (visual angle), η οποία εκφράζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αντικειμένου/ειδώλου και των κομβικών σημείων του φακού (angular subtense) (Εικόνα 5.1). (Πλαΐνης Σ., κ.α. 2009)



Εικόνα 5.1: Οπτική γωνία (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αντικειμένου/ειδώλου και των κομβικών σημείων του φακού. Αντικείμενα με την ίδια οπτική γωνία έχουν το ίδιο μέγεθος στον αμφιβληστροειδή. Ως μονάδα μέτρησης

χρησιμοποιείται η μοίρα ($^{\circ}$) με υποδιαιρέσεις τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα του τόξου ($1\text{deg}=60' \text{ arc}=3600'' \text{ arc}$). Πηγή: Πλαΐνης Σ., κ.α. 2009

Η συσχέτιση της οπτικής γωνίας (α) με το πραγματικό μέγεθος του αντικειμένου (A) και του ειδώλου (A') προσδιορίζεται ως εξής:

$\epsilon\phi\alpha = A / \text{απόσταση κομβικού σημείου από αντικείμενο}$

$\epsilon\phi\alpha = A' / \text{απόσταση κομβικού σημείου από είδωλο (στο «απλό» μοντέλο οφθαλμού ίση με 16,6mm)}$

Επομένως για οπτική γωνία 1 μοίρες έχουμε:

$\epsilon\phi 1 = A' / 16,6\text{mm} \Rightarrow A' = 0,290 \text{ mm}$, δηλαδή 1° αντιστοιχεί σε $0,290\text{mm}$ ($\sim 300 \mu\text{m}$)

5.1. Περιοριστικοί παράγοντες της διακριτικής ικανότητας του οφθαλμού

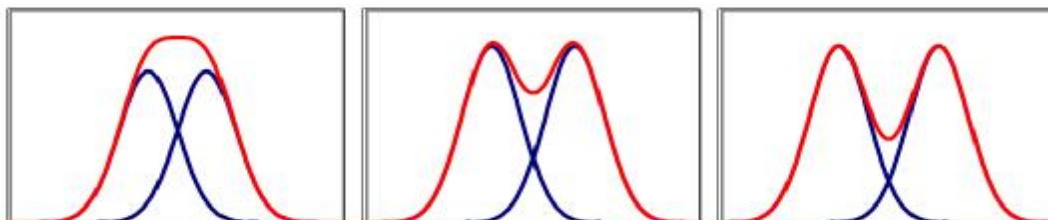
Είναι γνωστό ότι ο ορισμός της οπτικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τους αστρονόμους για να καθορίσει αν το φωτεινό είδωλο των τηλεσκοπικών οργάνων προέρχεται από ένα ή περισσότερους γειτονικούς αστέρες. Ως αποτέλεσμα της παρατήρησης ότι η διάμετρος του τηλεσκοπικού ειδώλου μιας φωτεινής πηγής συσχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το «άνοιγμα» του τηλεσκοπίου οδήγησε στην κατασκευή τηλεσκοπίων μεγάλων διαστάσεων (με μικρότερη περίθλαση και επομένως καλύτερη ανάλυση).

Ανάλογα, η ποιότητα της εικόνας που σχηματίζεται στον αμφιβλιστροειδή εξαρτάται από το μέγεθος της κόρης του οφθαλμού. Η διακριτική ικανότητα καθορίζεται από την ποιότητα του ειδώλου που σχηματίζεται στον αμφιβλιστροειδή, αλλά επίσης εξαρτάται από ανατομικούς και φυσιολογικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα την πυκνότητα και το μέγεθος των φωτοϋποδοχέων στο κεντρικό βοθρίο (1°) του αμφιβληστροειδή, τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των γαγγλιακών κυττάρων της οπτικής οδού και την νευρωτική επεξεργασία σε ανώτερα στάδια της οπτικής οδού (η οποία κυρίως ευθύνεται για τη «αποκωδικοποίηση» των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των εικόνων, π.χ. φωτεινότητα, χρωματικότητα, περίγραμμα, προσανατολισμός). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διακριτική ικανότητα του οφθαλμού αποτελούν η χρωματική εκτροπή, οι οφθαλμικές κινήσεις και η σταθερότητα και ακρίβεια της προσαρμοστικής ικανότητας του φακού. (Πλαΐνης Σ., 2005)

5.1.1. Περίθλαση

Το φαινόμενο της περίθλασης στα όρια της κόρης ενός οπτικού συστήματος εμφανίζεται ακόμα και στην περίπτωση ενός τέλει οπτικού συστήματος (απαλλαγμένου από εκτροπές). Λόγω του φαινομένου της περίθλασης το αμφιβληστροειδικό είδωλο μιας σημειακής φωτεινής πηγής δεν είναι σημειακό, αλλά κατανέμεται σε μια κυκλική επιφάνεια, η οποία παρουσιάζει έναν κεντρικό δακτύλιο μέγιστης φωτεινότητας, περιβαλλόμενο από αμυδρότερους δακτυλίους. Το 84% της φωτεινής ενέργειας κατανέμεται σε μια περιοχή που καλείται δίσκος του Airy (Airy Disc). Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του δίσκου του Airy τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του αμφιβληστροειδικού ειδώλου. (Πλαΐνης Σ., 2005)

Ωστόσο για να γίνουν αντιληπτές δυο παρακείμενες σημειακές φωτεινές πηγές είναι απαραίτητο οι δίσκοι του Airy να διαχωρίζονται από μια ελάχιστη απόσταση ίση με το μισό της διαμέτρου τους (κριτήριο Rayleigh), διαφορετικά οι δίσκοι του Airy αλληλεπικαλύπτονται και σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή μια φωτεινή κηλίδα μεγαλύτερης διαμέτρου (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Διακριτική ικανότητα, όπως ορίζεται από την περίθλαση. α) οι δίσκοι του Airy των δύο ειδώλων (μπλε καμπύλες) είναι τόσο κοντά μεταξύ τους (αλληλοεπικαλύπτονται), με αποτέλεσμα οι δύο φωτεινές σημειακές πηγές να μην είναι διακριτές, αλλά να σχηματίζουν ένα είδωλο (μία κηλίδα) μεγαλύτερης φωτεινότητας (κόκκινη καμπύλη), β) οι δίσκοι διαχωρίζονται από μια απόσταση όση με το μισό της διαμέτρου τους (ελάχιστη γωνία ευκρίνειας- Rayleigh criterion), όριο διάκρισης των δύο σημειακών πηγών. γ) η απόσταση μεταξύ των δύο δίσκων του Airy είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη γωνία ευκρίνειας. Πηγή: Πλαΐνης Σ., 2005

Η ελάχιστη απόσταση δυο παρακείμενων σημειακών πηγών (σύμφωνα με το κριτήριο Rayleigh), ώστε να γίνουν διακριτές ως δυο ξεχωριστά σημεία αντιστοιχεί σε μια ελάχιστη γωνία ευκρίνειας Θ_{\min} , η οποία βάσει του νόμου της περίθλασης, δίνεται από την εξίσωση :

$$\Theta_{\min} = 1,22 \times \lambda/d = 4,19 \times 10^{-3} \lambda/d \text{ arcmin}$$

Όπου λ το μήκος κύματος της φωτεινής πηγής και d η διάμετρος της κόρης. Είναι φανερό ότι για δεδομένο μήκος κύματος λ , όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της κόρης, τόσο μικρότερη είναι και η οπτική γωνία δίνοντας ευκρινέστερο είδωλο στον αμφιβληστροειδή.

5.1.2. Διαθλαστικά Σφάλματα

Το σφάλμα μετατόπισης παρουσιάζεται όταν ένα οπτικό σύστημα (όπως ο ανθρώπινος οφθαλμός) δεν εστιάζει μια παράλληλη φωτεινή δέσμη στην προβλεπόμενη θέση. Στον οφθαλμό όταν η εστίαση γίνεται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή, η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως μυωπία, ενώ όταν γίνεται πίσω από αυτόν (θεωρητικά) ως υπερμετροπία. Η δραματική μείωση στην διακριτική ικανότητα λόγω των σφαλμάτων μετατόπισης αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην μείωση της ευαισθησίας φωτεινής αντίθεσης (CSF). (Πλαΐνης Σ., 2005)

Τα διαθλαστικά σφάλματα του οφθαλμού είναι τα παρακάτω (Εικόνα 5.3):

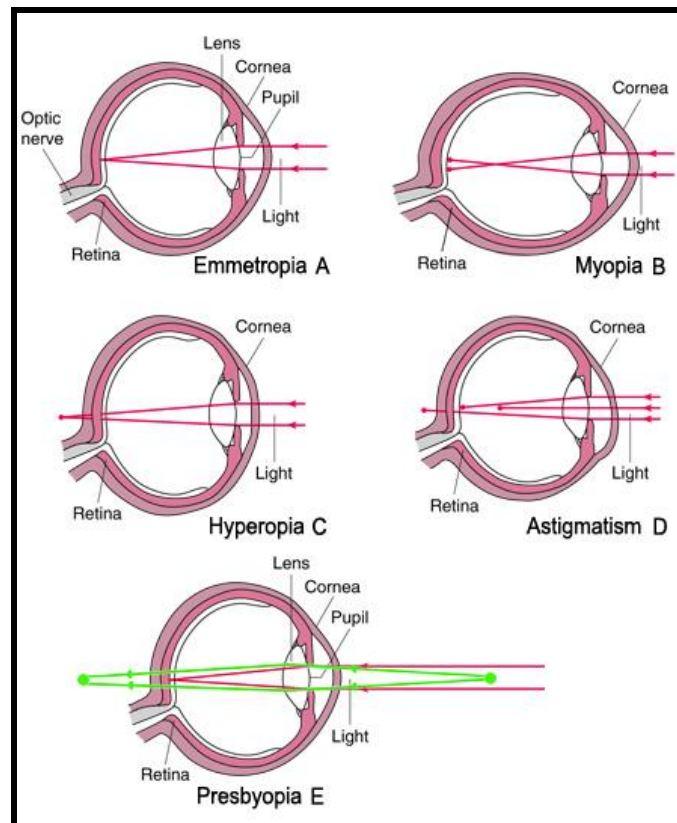
Μυωπία. Η μακρινή όραση επηρεάζεται όταν το αξονικό μήκος του ματιού είναι μεγάλο σε σχέση με την καμπυλότητα και τη διαθλαστική δύναμη του κερατοειδούς. Οι ακτίνες που εισέρχονται στο μάτι εστιάζουν μπροστά από τον αμφιβληστροειδή (Εικόνα 5.3.B).

Υπερμετροπία. Στην κατάσταση αυτή επηρεάζεται κυρίως η κοντινή όραση (αλλά και σε κάποιο βαθμό και η μακρινή) επειδή το αξονικό μήκος του ματιού είναι κοντό σε σχέση με την καμπυλότητα και τη διαθλαστική δύναμη του κερατοειδούς. Η εστίαση των ακτίνων του φωτός γίνεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή (Εικόνα 5.3.C).

Αστιγματισμός. Όταν ο κερατοειδής δεν είναι στρογγυλός αλλά περισσότερο ελλειπτικός, το φως εστιάζει σε πολλά σημεία στον αμφιβληστροειδή με αποτέλεσμα θολή μακρινή και κοντινή όραση. Ο αστιγματισμός μπορεί να συνυπάρχει τόσο με μυωπία όσο και με υπερμετροπία (Εικόνα 5.3.D).

Πρεσβυωπία. Η κατάσταση αυτή αφορά όλους τους ανθρώπους ηλικίας άνω των 40-45 ετών. Σχετίζεται με προοδευτική μείωση της κοντινής όρασης και οφείλεται σε αλλαγές

και φθορά του κρυσταλλοειδούς φακού του ματιού που χάνει την ικανότητα να προσαρμόζει για κοντά. Η σύγχρονη τεχνολογία δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτές τις αλλαγές στην προσαρμοστικότητα του φυσικού μας φακού αλλά είναι σε θέση να προσφέρει ουσιαστική βοήθεια σε αρκετές περιπτώσεις με διάφορες εναλλακτικές λύσεις που εξατομικεύονται σε κάθε περίπτωση. (Εικόνα 5.3.Ε)

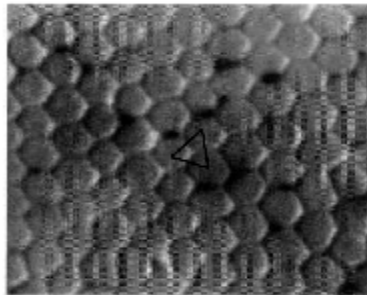


Εικόνα 5.3: Α) Φυσιολογικός οφθαλμός όπου η εικόνα εστιάζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή. Β) Μυωπικός οφθαλμός όπου οι εικόνες εστιάζονται μπροστά από την αναμενόμενη θέση. Γ) Υπερμετρικός οφθαλμός, η εστίαση γίνεται θεωρητικά πίσω από τον αμφ/δή. Δ) Αστιγματικός Φακός και Ε) Πρεσβυωπικός φακός.

5.1.3. Όρια Κωνίων

Όπως είναι γνωστό τα κωνία στον αμφιβληστροειδή είναι υπεύθυνα για την αντίληψη της λεπτομέρειας (ανάλυση υψηλών χωρικών συχνοτήτων). Επομένως ακόμα κι αν απουσιάζουν οι άλλοι παράγοντες που περιορίζουν την οπτική οξύτητα (τέλειο οπτικό σύστημα), η τελική διακριτική ικανότητα του οφθαλμού καθορίζεται από την χωρική κατανομή (πυκνότητα) των κωνίων στον αμφιβληστροειδή. Έχει υπολογιστεί ότι η

απόσταση μεταξύ δυο παρακείμενων κωνίων στον μέσο οφθαλμό είναι περίπου $\delta = 2.5$ μm αντιστοιχώντας σε μία γωνία όρασης $\Theta \approx 2.5$ arcmin. Ωστόσο εάν συνυπολογίσουμε την τριγωνική διάταξη των κωνίων στον αμφιβληστροειδή (Εικόνα 5.4), η παραπάνω γωνία γίνεται $\Theta = (\sqrt{3}/2) * 2.5$ arcmin. Τέλος λαμβάνοντας υπ'οψιν και το γεγονός ότι είναι απαραίτητος ο ερεθισμός τριων παρακείμενων κωνίων («ανερέθιστο» κωνίο ενδιάμεσα), παίρνουμε μια ελάχιστη γωνία ευκρίνειας $\Theta_{\text{min}} = 2 * \sqrt{3}/2 * \Theta \approx 0,86$ arcmin. (Πλαϊνης Σ., 2005)



Εικόνα 5.4: Η τριγωνική δικτυωτή διάταξη των κωνίων στον ανθρώπινο αμφιβληστροειδή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η χωρική ανάλυση εκφράζεται σε κύκλους ανα μοίρα (cycles/deg) που αντιστοιχούν σε 2 arcmin ελάχιστη γωνία όρασης.

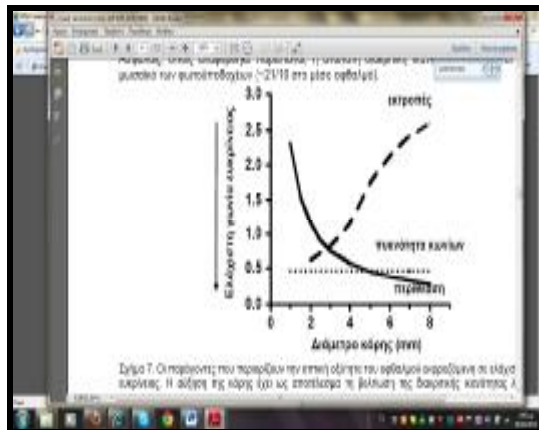
5.1.4. Οφθαλμικές Εκτροπές Υψηλής Τάξης

Ο ανθρώπινος οφθαλμός εκτός από τα γνωστά διαθλαστικά σφάλματα (μυωπία, υπερμετροπία, αστιγματισμός) που περιορίζουν δραματικά την διακριτική του ικανότητα, παρουσιάζει και πληθώρα μονοχρωματικών εκτροπών με κυριότερες την σφαιρική εκτροπή και το κόμμα. Οι εκτροπές υψηλής τάξης επηρεάζουν την διακριτική ικανότητα ακόμα και αν διορθωθεί το υπάρχον διαθλαστικό σφάλμα. (Πλαϊνης Σ., 2005)

5.1.5. Η Επίδραση της Κόρης

Η ελάχιστη γωνία ευκρίνειας άρα και η μέγιστη διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού περιορίζεται από τους παραπάνω παράγοντες σε συνάρτηση πάντα με την διάμετρο της κόρης. Συγκεκριμένα η μεγάλη διάμετρος κόρης ($>4\text{mm}$), παρόλη την αύξηση του φωτισμού (retinal illuminance), ενισχύει την επίδραση των οφθαλμικών εκτροπών, αφού ευρύτερο μέρος του κερατοειδούς συμμετέχει στην διαθλαστική δύναμη

του οφθαλμού. Είναι φανερό ότι σε μεσοπικές συνθήκες φωτισμού (π.χ. βραδινές ώρες) ο περιορισμός της οπτικής οξύτητας λόγω των εκτροπών εντείνεται. Εξάλλου η μικρή διάμετρος κόρης (<2mm) οδηγεί σε μείωση της οπτικής οξύτητας λόγω του φαινομένου της περίθλασης. Η ιδανική διάμετρος κόρης όπου παρατηρείται η μέγιστη οπτική οξύτητα είναι περίπου 2-3 mm (Εικόνα 5.5) (Πλαϊνής Σ., 2005)



Εικόνα 5.5: Οι παράμετροι που περιορίζουν την οπτική οξύτητα του οφθαλμού εκφραζόμενη σε ελάχιστη γωνία ευκρίνειας. Η αύξηση της κόρης έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της διακριτικής ικανότητας ρόλο της μείωσης του ρόλου της περίθλασης, αλλά ταυτόχρονα τη μείωση της λόγω της αύξησης των μονοχρωματικών εκτροπών. Το βέλτιστο μέγεθος της κόρης είναι 3mm. Πηγή: Πλαϊνής Σ., 2005

Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι τα 2-3 mm ως ιδανική διάμετρο κόρης, όπου επιτυγχάνεται η μέγιστη διακριτική ικανότητα, προϋποθέτει την απουσία υψηλού μυωπικού διαθλαστικού σφάλματος (η καλά διορθωμένου). Κι αυτό γιατί παρουσία μη διορθωμένου υψηλού μυωπικού σφάλματος η μέγιστη οξύτητα «εξασφαλίζεται» με μικρότερη διάμετρο κόρης (περίπου 1mm). Ταυτόχρονα για χαμηλά επίπεδα μυωπίας <1,50 dpt η ιδανική διάμετρος κόρης εξακολουθεί να είναι 2-3 mm (David A., et al., 1979)

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η διάμετρος της κόρης αποτελεί μια σημαντική παράμετρο, που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν σε μελέτες σχετικά με την οπτική απόδοση του ανθρώπινου οφθαλμού.

5.2. Όραση και Φωτισμός

Ο καλός φωτισμός είναι απαραίτητος για την σωστή και άνετη εκτέλεση οποιασδήποτε εργασίας. Ο καλός φωτισμός επιτρέπει στους ανθρώπους να μπορούν να διακρίνουν τις λεπτομέρειες. Το κατάλληλο επίπεδο φωτισμού για καλή εργασιακή απόδοση παραδείγματος χάριν, εξαρτάται από τη φύση του εργασιακού καθήκοντος, την διακριτική ικανότητα του εργαζομένου και το περιβάλλον στο οποίο εκτελείται η συγκεκριμένη εργασία

5.3. Αντίθεση

Η αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και υποβάθρου επηρεάζει την διακριτική ικανότητα. Η αντίθεση δημιουργείται από διαφορές στην φωτεινότητα μεταξύ αντικείμενου και του υποβάθρου του.

5.4. Θάμβωση

Θάμβωση είναι η μείωση της διακριτικής ικανότητας που προκύπτει από πηγές που εκπέμπουν φως απευθείας στα μάτια ή που δημιουργούν αντανακλάσεις στο αντικείμενο εργασίας.

Σε μερικές περιπτώσεις, ειδικά όταν ο φωτισμός του χώρου είναι έντονος, η θάμβωση δημιουργεί ενόχληση και αποσπά απλώς την προσοχή. Αυτό δεν σημαίνει ότι μειώνει αισθητά την διακριτική ικανότητα, αλλά καλό είναι να αποφευχθεί. Και οι θαμβώσεις είναι δυνατόν να αποφευχθούν, με μείωση της αντίθεσης ανάμεσα στις φωτεινές πηγές και στον περιβάλλοντα χώρο.

5.5. Χρώμα και Φωτισμός

Ο τεχνητός φωτισμός προτιμάται από τον φυσικό λόγω των διακυμάνσεων του φυσικού φωτός, διότι είναι απαραίτητη η διατήρηση ίδιας ποσότητας και ποιότητας φωτισμού όλες τις ώρες.

6. Χρωματική Αντίληψη

Η ικανότητα αντίληψης χρωμάτων εμπλουτίζει τον οπτικό μας κόσμο, παρέχοντας τη δυνατότητα να απολαμβάνουμε ηλιοβασιλέματα και όμορφα τοπία. Ο κύριος λόγος που γεννηθήκαμε με έγχρωμη όραση είναι ότι μας παρέχει πληροφορίες για τον εντοπισμό και την αναγνώριση αντικειμένων στο οπτικό μας πεδίο (π.χ. διάφορα λουλούδια ή καρπούς) που ειδάλλως δεν θα ήταν αντιληπτά. Ένα αρπακτικό ζώο με έγχρωμη όραση μπορεί πιο εύκολα να «διασπάσει» πιθανή παραλλαγή (καμουφλάρισμα) του θηράματός του, ένα πλεονέκτημα πολύ σημαντικό για την επιβίωση. (Πλαϊνής Σ., Παλλήκαρης, ΙΓ, 2006).

Το χρώμα δεν αποτελεί μια έμφυτη ιδιότητα των αντικειμένων ούτε μια φυσική ιδιότητα του φωτός. Το χρώμα ενός αντικειμένου που αντιλαμβανόμαστε εξαρτάται από το φασματικό περιεχόμενο του φωτός που απορροφάται από τους φωτουπόδοχούς της όρασης (τις τρεις ομάδες κωνίων), και από μια σειρά νεύρο-φυσιολογικών αντιδράσεων στον αμφιβληστροειδή, στις προ-φλοιώδεις οδούς και σε ανώτερα στάδια επεξεργασίας στον οπτικό φλοιό. (Πλαϊνής Σ., Παλλήκαρης, ΙΓ, 2006).

6.1. Διαταραχές στην Αντίληψη των Χρωμάτων

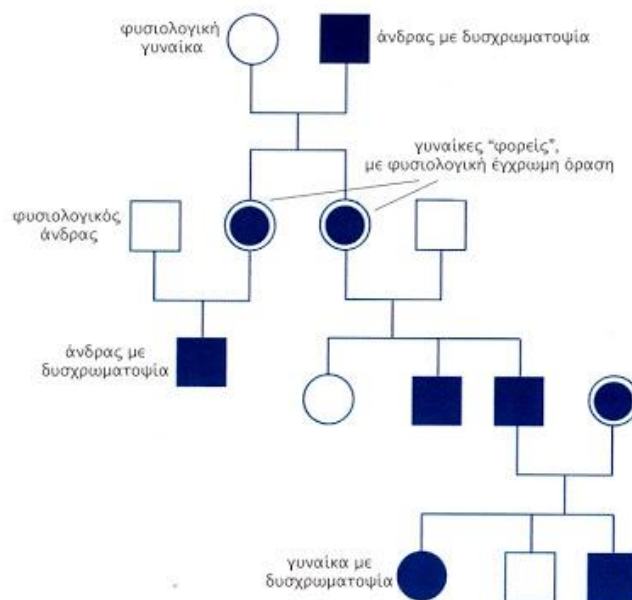
Ένα σημαντικό ποσοστό των ανθρώπων παρουσιάζει κάποιο βαθμό ανεπάρκειας στην αντίληψη των χρωμάτων. Υπάρχει διαφορετική άποψη μεταξύ της οφθαλμολογικής και της οπτομετρικής ελληνικής κοινότητας σχετικά με τις διαταραχές στην αντίληψη των Χρωμάτων. Η χρήση του όρου "αχρωματοψία" είναι εσφαλμένη, γιατί οδηγεί στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι οι "πάσχοντες" δεν αντιλαμβάνονται καθόλου χρώματα. Αντιθέτως, οι περισσότεροι από αυτούς αντιλαμβάνονται μεγάλο εύρος χρωμάτων, και μάλιστα έχουν την ικανότητα να διακρίνουν αποχρώσεις που δεν "βλέπουν" οι άνθρωποι με φυσιολογική όραση. (Πλαϊνής Σ., 2007).

Η απώλεια ενός από τους τύπους των κωνίων, η συνηθέστερη περίπτωση, όπως εμφανίζεται σε ορισμένες κληρονομικές διαταραχές, μειώνει την αντίληψη της έγχρωμης όρασης σε δύο διαστάσεις, οδηγώντας στον διχρωματισμό (Dalton John, 1798).

Η απώλεια δύο τύπων κωνίων, πολύ σπάνια, οδηγεί στην μονοχρωματική όραση, ενώ η απώλεια και των τριών τύπων κωνίων (που καλείται "ράβδιο-μονοχρωματική όραση") εξαφανίζει την αντίληψη χρωμάτων και ως κατάληξη η όραση περιορίζεται στην λειτουργία των ραβδίων. Βασικά υπάρχουν δύο κατηγορίες διαταραχών στη έγχρωμη όραση, οι συγγενείς και οι επίκτητες. (Πλαϊνης Σ., 2007).

6.1.1. Συγγενείς διαταραχές

Η προέλευση αυτών των «ανωμαλιών» είναι γενετική, και οφείλεται σε μεταλλάξεις που συμβαίνουν σε γονίδια (υπεύθυνα για τον σχηματισμό της οψίνης) που βρίσκονται στο X-χρωμόσωμα. Επειδή τα γονίδια που σχετίζονται με τις διαταραχές στην αντίληψη των χρωμάτων είναι φυλοσύνδετα και υπολειπόμενα, κληρονομούνται από τον πατέρα που εμφανίζει δυσχρωματοψία στις κόρες και μέσω αυτών στους εγγονούς. Οι κόρες είναι φορείς και έχουν φυσιολογική έγχρωμη όραση. Η μόνη περίπτωση να "εκφραστεί" το γονίδιο στις γυναίκες να το κληρονομήσουν και από τους δύο γονείς. Για αυτό είναι αναμενόμενο οι συγγενείς «διαταραχές» να εμφανίζονται πολύ συχνότερα στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. (Εικόνα 6.2) (Πλαϊνης Σ., 2007).



Εικόνα 6.2. Διάγραμμα Ροής για τις συγγενείς διαταραχές της Χρωματικής Αντίληψης.

Αυτοί οι τύποι χρωματικών ατελειών προκύπτουν είτε από την έλλειψη μιας φωτοχρωστικής ουσίας, είτε από την παρουσία μιας υβριδικής φωτοχρωστικής ουσίας με διαφορετικό (από το φυσιολογικό) φάσμα απορρόφησης (πιο ήπια μορφή). Είναι αξιοσημείωτη η διαπίστωση ότι 3nm διαφορά στο μέγιστο του φάσματος απορρόφησης μεταξύ των φωτοχρωστικών L/M προκύπτει από διαφορές σε αμινοξέα σε 3 θέσεις. (Πλαϊνης Σ., 2007).

Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα ένα άτομο να μην διαθέτει κανέναν τύπο κωνίων (ραβδίο μονοχρωματική όραση), ή να μην έχουν ραβδία (κωνίο-μονοχρωματική όραση). Όταν απουσιάζει τελείως μια χρωστική ουσία (δηλαδή, ένας τύπος κωνίων) η όραση τότε ονομάζεται διχρωματική (δυσχρωματοψία). Όταν απουσιάζει η φωτοχρωστική υπεύθυνη για τα το μακρά μήκη κυματος (L) είναι τότε η «ανωμαλία» ονομάζεται πρωτανοπία. Όταν το φάσμα απορρόφησης της μακρών κυμάτων χρωστικής ουσίας είναι ανώμαλο ή ανεπαρκές ο όρος πρωτανομαλία χρησιμοποιείται. Σε αυτή την περίπτωση το φάσμα απορρόφησης της χρωστικής (L) είναι μετατοπισμένο σε μικρότερα μήκη κύματος, πιο κοντά στην (M). Παρόμοια ορολογία χρησιμοποιείται για τις άλλες δύο κατηγορίες «διαταραχών»: δευτερ- είναι η ρίζα όταν οι φωτοχρωστικές των κωνίων M είναι ελαττωματικές (μετατοπισμένες σε μεγαλύτερα μήκη κύματος) και τριταν- είναι η ρίζα όταν οι φωτοχρωστικές των κωνίων S είναι ελαττωματικές (πολύ πιο σπάνια περίπτωση) (Εικόνα 6.3). Όλες οι κατηγορίες των διαταραχών καθώς επίσης και τα ποσοστά εμφάνισής τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 6.1. (Πλαϊνης Σ., 2007).

Πίνακας 6.1. Κατηγορίες διαταραχών και Ποσοστά Εμφάνισής τους

Όραση	Υποδιαίρεση	Τύποι Κωνίων	Ποσοστό στον πληθυσμό (%)	
			Άνδρες	Γυναίκες
Κανονική Τριχρωματική		3	92	99,5
	Πρωτανομαλία	3	1	0,02
Ανώμαλη Τριχρωματική	Δευτερονομαλία	3	5	0,40
	Τριτανομαλία	3	άγνωστο	
	Πρωτανοπία	2	1	0,02
Διχρωματική	Δευτερονοπία	2	1	0,001
	Μονοκωνία (σπάνια)	1	άγνωστο	
Μονοχρωματική	Μονοραβδία	1	0,003	0,003

Αν και οι επιπτώσεις των διαφορετικών κατηγοριών στην αντίληψη των διαφόρων χρωμάτων διαφέρουν αρκετά μεταξύ των πασχόντων, έχουν γίνει προσπάθειες εξομοίωσης των αντιλαμβανόμενων χρωμάτων που στηρίζονται σε ψυχοφυσικά δεδομένα. Επίσης η σοβαρότητα αυτών των διαταραχών δεν μεταβάλλεται με την ηλικία, ενώ σε καμιά περίπτωση δεν επηρεάζεται η οπτική οξύτητα ή άλλες λειτουργίες της όρασης των ασθενών.



Εικόνα 6.3: Συγκριτική αξιολόγηση των συγγενών διαταραχών της χρωματικής αντίληψης. Όταν απουσιάζει η φωτοχρωστική υπεύθυνη για τα το μακρά μήκη κυματος (L) τότε η «ανωμαλία» ονομάζεται πρωτανοπία. Αντίστοιχα όταν οι φωτοχρωστικές των κωνίων M είναι ελαττωματικές τότε η «ανωμαλία» ονομάζεται δευτερανοπία και τέλος όταν οι φωτοχρωστικές των κωνίων S είναι ελαττωματικές (πολύ πιο σπάνια περίπτωση) τότε η «ανωμαλία» ονομάζεται τριτανοπία.

6.1.2. Επίκτητες ανωμαλίες

Αυτές εμφανίζονται είτε παροδικά είτε μόνιμα κυρίως λόγω παθολογικών αλλαγών, αλλά μπορεί επίσης να εμφανιστούν ως αποτέλεσμα φυσιολογικών διαδικασιών γήρανσης (π.χ ο καταρράκτης αλλάζει το φάσμα απορρόφησης του φακού), και προκληθείσών από

φάρμακα αλλαγών. Διαταραχές στην μπλε/κίτρινη οδό είναι πιο συχνές στην παθολογία (π.χ. πυρηνικός καταρράκτης, χοριοαμφιβληστροειδικές φλεγμονές, διαβήτης, ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς, οίδημα οπτικής θηλής, οπτικές νευρίτιδες, γλαύκωμα). Οι επίκτητες «διαταραχές» στην κόκκινη-πράσινη οδό εμφανίζονται σπανιότερα (π.χ. δυστροφίες της ωχράς και παθήσεις του οπτικού νεύρου, όπως νευρίτιδες, ατροφία του οπτικού νεύρου, δυσμορφίες του δίσκου, όγκοι του οπτικού νεύρου ή του χιάσματος) και συνήθως συνδέονται με άλλες προφανέστερες απώλειες της λειτουργίας της όρασης, όπως μειωμένη οπτική οξύτητα, μη φυσιολογικά οπτικά πεδία. Οι επίκτητες διαταραχές μπορεί να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής, μόνον στον ένα ή και στους δύο οφθαλμούς ταυτόχρονα. Προσβάλλει τους άνδρες και τις γυναίκες στο ίδιο ποσοστό (Πλαΐνης Σ., 2007).

6.2. Διάγνωση Διαταραχών Χρωματικής Αντίληψης

Επειδή η αχρωματοψία μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στη ζωή ενός ατόμου, είναι σημαντικός ο εντοπισμός του προβλήματος το συντομότερο δυνατό. Στα παιδιά, προβλήματα στην αντίληψη χρωμάτων μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητα μάθησης και της ανάγνωσης καθώς και της ίδιας της ανάπτυξής του. Μπορεί να περιορίσουν τις επιλογές σταδιοδρομίας. Οι περισσότεροι ειδικοί συνιστούν διαγνωστικές εξετάσεις για τα παιδιά μεταξύ των ηλικιών 3 και 5. Οι δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση των διαταραχών της χρωματικής αντίληψης είναι: (Connor M., Ferguson - Smith M., 2004).

1. Η ανιχνεύεται με ειδικούς χρωματικούς πίνακες Ishihara Test. Σε κάθε πίνακα υπάρχει ένας αριθμός που σχηματίζεται από χρωματικές κηλίδες. Ο ασθενής πρέπει να αναγνωρίσει τον αριθμό του πίνακα που κρατάει στα χέρια του κάτω από καλό φωτισμό. Μόλις τεθεί η διάγνωση της χρωματικής διαταραχής τότε μπορεί να γίνει πιο λεπτομερής έλεγχος του χρωματικού προβλήματος.
2. Το ανωμαλοσκόπιο χρησιμοποιείται επίσης στη διάγνωση της ανώμαλης τριχρωματοψίας. Αποτελεί το χρυσό κανόνα για την ακριβή διάγνωση. Είναι το πιο ακριβές εργαλείο για την ταξινόμηση των αχρωματοψία. Το κλασικό ανωμαλοσκόπιο αποτελείται από δύο διαφορετικές πηγές φωτός που πρέπει να

συμπληρωθούν. Μια πηγή είναι μια κίτρινη λάμπα η οποία μπορεί να ρυθμιστεί σε φωτεινότητα του. Το άλλο είναι κατασκευασμένο από ένα μίγμα από ένα κόκκινο και ένα πράσινο φανό, ενώ το μίγμα μεταξύ των δύο αυτών χρωμάτων μπορούν να βαθμολογηθούν.

3. Εκτός από το τεστ χρώμα Ishihara, το Ναυτικό των ΗΠΑ και του Στρατού των ΗΠΑ, επίσης, επέτρεψε τη δοκιμή με το Farnsworth Lantern Test . Η δοκιμή αυτή επιτρέπει το 30% των ατόμων με έλλειψη χρώματος, των οποίων η έλλειψη δεν είναι πάρα πολύ σοβαρό, για να περάσει. Έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι γρήγορο, απλό και αποτελεσματικό στον εντοπισμό ευρείας κατηγορίας αχρωματοψίας. Στις ακαδημαϊκές μελέτες της αχρωματοψίας, από την άλλη πλευρά, υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ευέλικτων δοκιμών για να συλλέξουν λεπτομερή σύνολα δεδομένων.
4. Εξειδικευμένες εξετάσεις έγχρωμης όρασης μπορεί να εντοπίσουν εύκολα ελαττώματα στην έγχρωμη όραση. Οι ψευδοχρωματικές πλάκες συνήθως χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό κληρονομικών ελαττωμάτων στην έγχρωμη όραση. Στην ομάδα αυτών των δοκιμών, ένα μοτίβο χρωματιστές τελείες με μορφές, αριθμούς ή γράμματα σε ένα πλαίσιο άλλων χρωματιστών τελείων. Τα άτομα με φυσιολογική αντίληψη των χρωμάτων μπορούν να διακρίνουν αυτά τα σχέδια, αλλά εκείνοι που πάσχουν από αχρωματοψία αδυνατούν.
5. Ένα ακόμη είδος δοκιμής της όρασης: Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της σοβαρότητας των κληρονομικών ελαττωμάτων στην αντίληψη των χρωμάτων και για τη δοκιμή για τα κεκτημένα ελαττώματα χρώματος. Το πρόσωπο που δοκιμάζεται πρέπει να οργανώσει σύμφωνα με το χρώμα μάρκες κατά σειρά ομοιότητας.
6. Ένα τελευταίο αναλυτικό εργαλείο είναι Titmus II Vision Tester Color. Το θέμα φαίνεται σε μια στερεοσκοπική μηχανή. Το ερέθισμα, πιο συχνά χρησιμοποιείται σε επαγγελματικά γραφεία, περιλαμβάνει έξι διαφορετικά σχέδια ή αριθμούς σε μαύρο φόντο, που πλαισιώνονται από ένα κίτρινο περίγραμμα. Μπορούν να δοκιμάσουν ένα μάτι κάθε φορά. Ωστόσο, η αξία του είναι περιορισμένη, διότι

μπορεί να εντοπίσει μόνο κόκκινο / πράσινο ελλείψεις και δεν είναι ιδιαίτερα ακριβές.

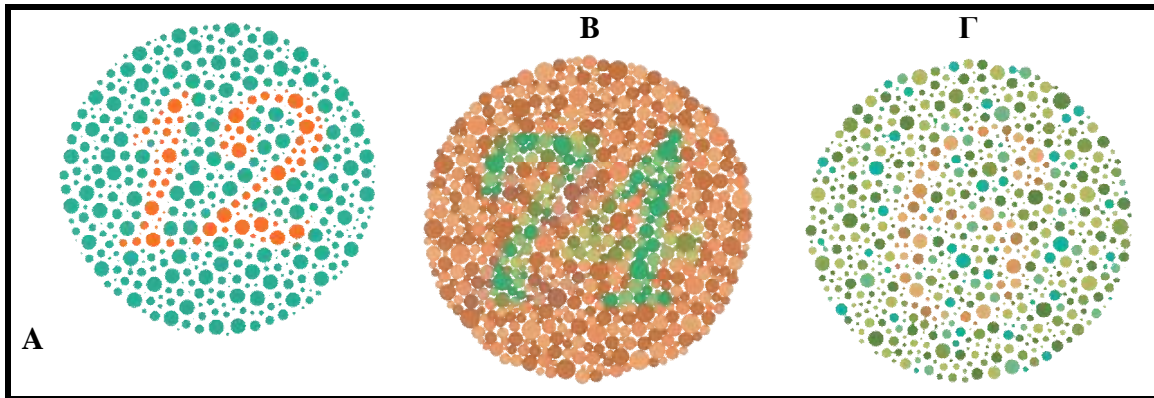
6.2.1. Τεστ Ισιχάρα

Το τεστ Ισιχάρα είναι ένα διαγνωστικό τεστ όρασης με στόχο τη διάγνωση της σωστής αντίληψης των χρωμάτων και κυρίως του κόκκινου και του πράσινου. Πήρε το όνομά του από τον Ιάπωνα γιατρό Σινόμπου Ισιχάρα, καθηγητή στο πανεπιστήμιο του Τόκιο, ο οποίος πρώτος δημοσίευσε το τεστ αυτό το 1917.

Το τεστ συνίσταται συχνά για τη διάγνωση ελλείψεων στο κόκκινο – πράσινο χρώμα. Ένα ποσοστό (συνήθως ένα ή περισσότερα αραβικά ψηφία) είναι ενσωματωμένη στην εικόνα ως αριθμός των κηλίδων σε ένα ελαφρώς διαφορετικό χρώμα, και μπορεί να δει με φυσιολογική αντίληψη των χρωμάτων, αλλά όχι με ένα συγκεκριμένο ελάττωμα χρώματος. Το πλήρες σύνολο των δοκιμών που έχει μια ποικιλία από αριθμητικούς χρωματικούς συνδυασμούς επιτρέπει τη διάγνωση διαφόρων ειδών αχρωματοψίας. Επειδή η δοκιμή Ishihara περιέχει μόνο αριθμούς, δεν μπορεί να είναι χρήσιμη στη διάγνωση μικρών παιδιών, που δεν έχουν ακόμα μάθει να χρησιμοποιούν αριθμούς. Προς το συμφέρον της αναγνώρισης αυτών των προβλημάτων από νωρίς στη ζωή, εναλλακτικές δοκιμές αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας μόνο σύμβολα (τετράγωνο, κύκλος, αυτοκίνητο).

Η πλήρης δοκιμή αποτελείται από 38 πλάκες, αλλά η ύπαρξη της χρωματικής ανεπάρκειας στην όραση γίνεται συνήθως σαφής μετά από μερικές πλάκες. Οι δοκιμές τις πρώτες 24 πλάκες δίνει μία πιο ακριβή διάγνωση της σοβαρότητας του προβλήματος.

Οι συνηθισμένες πλάκες περιλαμβάνουν έναν κύκλο με τελείες σε αποχρώσεις του πράσινου και του μπλε, με διαφοροποιημένο σχήμα σε αποχρώσεις του καφέ, ή έναν κύκλο από τελείες σε αποχρώσεις του κόκκινου, πορτοκαλί και κίτρινου χρώματος, με ένα ποσοστό σε αποχρώσεις του πράσινου. Η πρώτη δοκιμή προορίζεται για την αδυναμία διάκρισης του κόκκινου και η δεύτερη του πράσινου χρώματος. Στην έρευνά μας θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο αυτή και θα την εφαρμόσουμε σε παιδιά γυμνασίου. Παραδείγματα καρτελών του τεστ Ισιχάρα φαίνονται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4. **A)** Ο αριθμός 12 γίνεται αντιληπτός από όλους τους ανθρώπους, είτε με φυσιολογική στα χρώματα όραση, είτε πάσχουν από δυσχρωματοψία (δαλτονισμό), είτε από αχρωματοψία, **B)** Ο αριθμός 74 γίνεται αντιληπτός από τους ανθρώπους με φυσιολογική στα χρώματα όραση. Οι πάσχοντες από δυσχρωματοψία (δαλτονισμό) διακρίνουν το 21, ενώ οι πάσχοντες από αχρωματοψία δεν διακρίνουν κανέναν αριθμό, **Γ)** Ο αριθμός 6 γίνεται αντιληπτός από τους ανθρώπους με φυσιολογική στα χρώματα όραση. Οι πάσχοντες από δυσχρωματοψία (δαλτονισμό) και από αχρωματοψία δεν διακρίνουν κανέναν αριθμό.

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ ΤΟΥ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Colour Index, 1975.** 3rd Edition, The Society of Dyers and Colourists, American Association of Textile Chemists and Colourists, Bradford, (6 τόμοι); 3rd Edition, 4th Revision, 1997
- David A., Smith, George, & Efron, Nathan (1979)** The effect of pupil size on visual acuity in uncorrected and corrected myopia. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 56(5), pp. 315-323.
- De Valois, R. L., Abramov, L & Jacobs, G. H. (1966).** Analysis of response patterns of LGN cells. *Journal of the Optical Society of America*, 56, 966–977.
- Gardner J.L. 2000.** *Color Research and Application*, 25, 349
- Helmholtz, H. (1852),** Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben. *Ann. Phys.*, 163: 45–66. doi: 10.1002/andp.18521630904
- Hering, E. (1872).** *Outlines of a Theory of the Light Sense.* Harvard University Press, Cambridge, Mass., USA (1964).
- Rushton, W. A. H. (1972).** "Pigments and signals in colour vision". *The Journal of physiology*, London.
- Stockman, A., & Sharpe, L. T. (2000).** Spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. *Vision Research*, 40, 1711-1737

Young, T., 1802. Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 92:12-48. doi: 10.1098/rstl. 1802.0004

Θεοχάρης Θ., Πλατής Ν., Παπαϊωάννου Γ., Πατρικαλάκης Ν., 2010. Σύγγραμμα «Γραφικά και Οπτικοποίηση».

Λόντος Χ., (2004). Σημειώσεις Μαθήματος Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής: Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής.

Πλαϊνης Σ, Γιαννακοπούλου Τ, Τσιλιμπάρης Μ, Παλλήκαρης, ΙΓ (2009). Οπτική Οξύτητα: είναι ακριβής ο τρόπος αξιολόγησής της στην κλινική πράξη; Οφθαλμολογικά Χρονικά, 2: 133-145

Πλαϊνης Σ., 2005. Σημειώσεις στην «Διακριτική Ικανότητα του Οφθαλμού- Οπτική Οξύτητα».

Πλαϊνης Σ., Παλλήκαρης, ΙΓ (2006). Η αντίληψη της έγχρωμης όρασης. Οφθαλμολογικά Χρονικά, 16: 332-340 (pdf)

Dalton John (1798) Extraordinary Facts Relating to the Vision of Colours, with Observations. Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester V:I, 28-45. London, Cadell and Davies.

Connor Michael, Ferguson-Smith Malcolm (2004). «Βασικές αρχές ιατρικής γενετικής». Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης : 188-189

Πλαϊνης Σ, (2007). Αρχείο Ιστολογίου 29 Σεπτεμβρίου 2007. Διαταραχές στην αντίληψη των χρωμάτων. http://optics-optometry.blogspot.gr/2007/08/blog-post_3171.html