



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ**

**ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**  
**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**  
**ΑΜ: 16058**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΤΕΡΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ. ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES**  
**DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES**  
**DIVISION OF OPTICS AND OPTOMETRY**

**ELECTROPHYSIOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL METHODS OF VISION**  
**INVESTIGATION. A REVIEW.**

DISSERTATION  
DOULGERIDIS NIKOLAOS  
CN: 16058

SUPERVISOR: EVANGELLOS PATERAS. ASSOCIATE PROFESSOR

ATHENS 2022

**Τίτλος εργασίας: ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ.  
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:


<b>A/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΠΑΤΕΡΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΠΛΑΚΙΤΣΗ ΑΘΗΝΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ του ΗΛΙΑ, με αριθμό μητρώου 16052 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ του Τμήματος ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών  


**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

## *ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ*

---

Με την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, κλείνει ο κύκλος της φοίτησής μου στο τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας. Κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, έλαβα πολύτιμα εφόδια, τα οποία θα με συντροφεύουν στο μέλλον.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό της σχολής, που προσπάθησε να μεταλαμπαδεύσει όλο αυτό το διάστημα, τις γνώσεις και τις εμπειρίες του σε έμενα, αλλά και στους συμφοιτητές μου.

Ιδιαιτέρως, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στον κύριο Ευάγγελο Πατέρα, ο οποίος ήταν και ο επιβλέπων καθηγητής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Η πτυχιακή εργασία που παρουσιάζεται, έχει δημιουργηθεί με στόχο την καταγραφή και παρουσίαση των ηλεκτροφυσιολογικών και ψυχοφυσικών μεθόδων διερεύνησης της όρασης. Μια πλήρης οφθαλμολογική εξέταση δεν βασίζεται μόνο στην ανατομική αξιολόγηση των δομών του οφθαλμού και της οπτικής οδού. Για την ολοκληρωμένη αποτύπωση της λειτουργίας της όρασης είναι αναγκαία η διεξαγωγή των παραπάνω εξετάσεων. Οι ηλεκτροφυσιολογικές και οι ψυχοφυσικές μέθοδοι, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι κάθε οφθαλμολογικής εξέταση. Πρόκειται για μεθόδους οι οποίες προσφέρουν στους ενδιαφερόμενους πολύτιμες πληροφορίες που συμβάλλουν καθοριστικά στην ακριβέστερη διάγνωση, μελέτη και αξιολόγηση των προβλημάτων της όρασης. Οι ηλεκτροφυσιολογικές μέθοδοι, βασίζονται στην μέτρηση συγκεκριμένων βιοχημικών μεταβολών που συμβαίνουν τόσο στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή όσο και στα νευρικά κύτταρα της οπτικής οδού, καθώς προσπίπτει στον οφθαλμό ένα φωτεινό ερέθισμα ή ένα σύνολο ερεθισμάτων. Από την άλλη, οι ψυχοφυσικές μέθοδοι έχουν ως στόχο την μελέτη του τρόπου με τον οποίο συνδυάζονται εκατοντάδες χιλιάδες νευρώνες του οπτικού συστήματος και του εγκεφάλου, έτσι ώστε να καταγράψουν μια εικόνα.

## *ABSTRACT*

---

The thesis presented has been created with the aim of recording and presenting the electrophysiological and psychophysical methods of vision investigation. A complete ophthalmological examination is not only based on the anatomical evaluation of the structures of the eye and the visual pathway. For the complete recording of the function of vision, it is necessary to perform the above examinations. Electrophysiological and psychophysical methods are an integral part of every ophthalmological examination. These are methods that offer valuable information to those interested, which contribute significantly to the more accurate diagnosis, study and evaluation of vision problems. Electrophysiological methods are based on the measurement of specific biochemical changes that occur in both retinal and optic nerve cells, as a light stimulus or a set of stimuli falls on the eye. Psychophysical methods, on the other hand, aim to study the way in which hundreds of thousands of neurons in the visual system and brain combine to capture an image.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

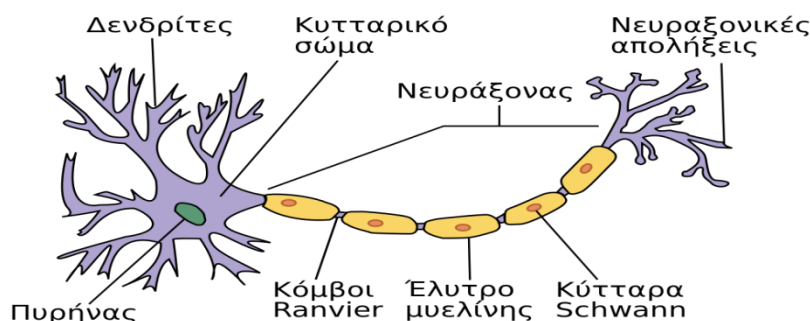
---

## Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	7
ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ.....	8
ΔΟΜΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	11
ΦΩΤΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ .....	14
ΝΕΥΡΙΚΗ ΟΔΟΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	16
ΟΠΤΙΚΗ ΟΔΟΣ .....	17
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>19</b>
ΠΡΟΚΛΗΤΟ ΑΠΟ ΔΙΑΧΥΤΟ ΦΩΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Full Field Electroretinogram - ffERG).....	19
ΕΣΤΙΑΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Focal Electroretinogram - fERG).....	22
ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Multifocal Electroretinogram - mfERG) .....	23
ΠΡΟΚΛΗΤΟ ΑΠΟ ΕΡΕΘΙΣΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Pattern Electroretinogram - PERG).....	25
ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΙΝΙΑΚΟΥ ΛΟΒΟΥ (Visual Evoked Potential - VEP) .....	26
ΗΛΕΚΤΡΟΟΦΘΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑ (electro-oculography - EOG) .....	29
ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ .....	31
<b>ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>33</b>
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ – CONTRAST SENSITIVITY .....	35
ΕΓΧΡΩΜΗ ΟΡΑΣΗ .....	36
ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΑ – ΟΠΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ .....	38
ΟΡΘΟΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΟΣ – ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΡΑΒΙΣΜΟΥ .....	38
ΧΡΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	40
ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	42

**ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ**

Το νευρικό σύστημα του ανθρώπου, αποτελείται από δισεκατομμύρια νευρώνες. Οι νευρώνες, αποτελούν τη βασική ομάδα οργάνωσης του νευρικού συστήματος. Τα περισσότερα οργανίδια ενός νευρώνα, συμπεριλαμβανομένου του πυρήνα τους, βρίσκονται στο κυτταρικό του σώμα. Ένας νευρώνας, τυπικά διαθέτει πολλές μακροσκελείς διακλαδώσεις, που ονομάζονται δενδρίτες. Οι δενδρίτες, βρίσκονται έξω από το κυτταρικό σώμα και, σε συνεργασία με αυτό, προσλαμβάνουν σήματα από άλλους νευρώνες.



*Εικόνα 1.0: Ανατομία οπτικού νεύρου*

Οι νευρώνες διαθέτουν επίσης έναν άξονα: μια επιμήκης προέκταση που μεταδίδει το σήμα στα άλλα κύτταρα. Συνήθως, ο άξονας έχει μεγαλύτερο μήκος από τους δενδρίτες. Η κωνική βάση του άξονα, ο εκφυτικός κώνος, είναι τυπικά το σημείο απ' όπου το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί, δημιουργείται. Στην άλλη άκρη του, ο νευράξονας διαιρείται σε πολλές διακλαδώσεις, που είναι υπεύθυνες για τη μετάδοση της πληροφορίας στα άλλα κύτταρα, και ονομάζονται προσυναπτικές απολήξεις. Η κάθε μια από αυτές, καταλήγει τελικώς σε έναν αριθμό "τελικών κομβίων". Οι νευράξονες πολλών νευρώνων, περιελίσσονται από ένα λιποπρωτεϊνικό σύμπλεγμα, δηλαδή έχουν ένα έλυτρο μυελίνης. Οι εμμέλοι αυτοί νευράξονες, είναι περιτυλιγμένοι από τη μυελίνη σε όλο τους το μήκος, εκτός από την απόληξή τους και τους κόμβους του Ranvier. Οι κόμβοι αυτοί, είναι περιοδικές περισφιζίες κατά μήκος του άξονα, που απέχουν μεταξύ τους 1mm και έχουν πάχος 1μm.

**ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ**

Ο ρόλος των νευρικών κυττάρων είναι σύνθετος. Αντιλαμβάνονται τα ερεθίσματα, τα επεξεργάζονται και τελικώς ενεργοποιούν την αντίδραση που θα έχει το σώμα στο ερέθισμα αυτό.

Για να συμβεί κάτι τέτοιο, απαιτείται η συνεργασία πολλών νευρικών κυττάρων, που βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα αισθητικά νευρικά κύτταρα έχουν την ιδιότητα να ανταποκρίνονται σε χημικά, ηλεκτρικά ή μηχανικά ερεθίσματα. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν δυο τύποι φυσικοχημικών μεταβολών: Τα τοπικά, μη διαδιδόμενα δυναμικά και τα διαδιδόμενα, τα λεγόμενα δυναμικά ενέργειας ή αλλιώς, οι νευρικές ώσεις. Τα αισθητικά νευρικά κύτταρα δέχονται ερεθίσματα είτε από το εξωτερικό είτε από το εσωτερικό του οργανισμού. Τα προσαγωγά αυτά σήματα, εισέρχονται στο νευρικό κύτταρο, σχεδόν πάντα με συνάψεις που βρίσκονται στο σώμα ή στους δενδρίτες του κυττάρου. Το σύνολο των προσαγωγών νευρικών και των συναπτικών συνδέσεων, μπορεί να είναι μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες. Αντίθετα, τα σήματα που στέλνονται από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) απάγονται με μόνο έναν νευράξονα. Αυτός, στη συνέχεια, μεταδίδει σε πολλούς κλάδους το σήμα σε διάφορα σημεία του νευρικού συστήματος.

Ακολούθως, η νευρική ώση, διαμέσω των κεντρομόλων νωτιαίων νεύρων εισέρχεται στο ΚΝΣ και μεταβιβάζεται σε πολλές αισθητικές περιοχές. Εκεί αναπαράγονται οι αισθήσεις. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ολόκληρο το επίπεδο του νωτιαίου μυελού, στη δικτυωτή ουσία της γέφυρας, του προμήκους και του μεσεγκεφάλου, στην παρεγκεφαλίδα, στον θάλαμο καθώς επίσης και στη σωματοαισθητική περιοχή του φλοιού του εγκεφάλου. Η ενεργοποίηση των



αισθητικών τμημάτων, οδηγεί είτε στην άμεση αντίδραση είτε στην ανάκληση κάποιας παλαιότερης ανάμνησης. Ο εγκέφαλος έχει την ικανότητα να αποθηκεύει και να ανακαλεί, όπου απαιτείται, συγκεκριμένες σωματικές αντιδράσεις.

Τέλος, νευρικά κύτταρα που εκτείνονται έξω από τον εγκέφαλο, ενεργοποιούν την αντίδραση συγκεκριμένων κυτταρικών ομάδων. Οι κινητικές λειτουργίες του νευρικού συστήματος, επηρεάζουν την λειτουργία των αδένων του οργανισμού, τη συστολή των λείων μυϊκών ινών (συμπεριλαμβανομένων και των καρδιακών μυών), που βρίσκονται στα εσωτερικά όργανα, καθώς και του συνόλου των σκελετικών μυών.

Για την αντίληψη των ερεθισμάτων, τα αισθητικά νευρικά κύτταρα διαιρούνται σε πέντε βασικούς υποδοχείς. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τους μηχανοϋποδοχείς, αλγούποδοχείς, χημειούποδοχείς, θερμοϋποδοχείς και υποδοχείς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η κάθε κατηγορία υποδοχέων, ανιχνεύει διαφορετικούς τύπους αισθητικών ερεθισμάτων. Αυτό, οφείλεται στη διαφορετική ευαισθησία που διαθέτουν στα εκάστοτε ερεθίσματα. Κάθε ένας από τους παραπάνω υποδοχείς, έχει την ικανότητα να εμφανίζει εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία σε έναν συγκεκριμένο τύπο ερεθίσματος για το οποίο έχει δημιουργηθεί, και αντίστοιχα να παραμένει σχεδόν αναισθητός στις εντάσεις των άλλων αισθητικών ερεθισμάτων.

Μολονότι διαθέτουμε πέντε διαφορετικούς υποδοχείς, όταν αυτοί ενεργοποιούνται δημιουργούν τις ίδιες νευρικές ώσεις. Η διαφορετική ερμηνεία των σημάτων αυτών, από τα νεύρα που επεξεργάζονται την πληροφορία, επιτυγχάνεται καθώς καθένα από αυτά, κατευθύνεται σε συγκεκριμένα σημεία του κεντρικού νευρικού συστήματος. Έτσι, για παράδειγμα, η ενεργοποίηση των νευρικών κυττάρων που διαθέτει ο αμφιβληστροειδής (φωτοϋποδοχείς), θα οδηγήσει στη μετάδοση της ώσης σε συγκεκριμένο τμήμα του φλοιού του εγκέφαλου (οπτικός φλοιός).

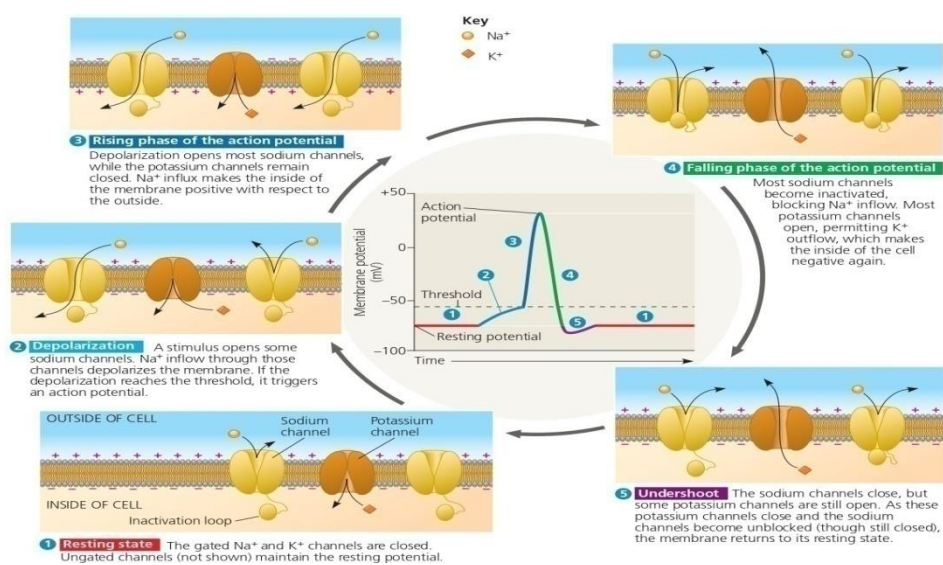
Κοινή ιδιότητα των αισθητικών υποδοχέων, ανεξάρτητα από τον τύπο τους, είναι η άμεση μεταβολή του δυναμικού μεμβράνης που διαθέτουν. Η μεταβολή αυτή, ονομάζεται δυναμικό του υποδοχέα. Το βασικό αίτιο της μεταβολής του δυναμικού της μεμβράνης σε όλες τις περιπτώσεις είναι η μεταβολή της διαπερατότητας της μεμβράνης του υποδοχέα.

Ο τρόπος μετάδοσης της νευρικής ώσης, είναι αποτέλεσμα περίπλοκων διαδικασιών που συμβαίνουν στα νευρικά κύτταρα. Τα ιόντα, έχουν σημαίνοντα ρόλο στη μετάδοση του νευρικού σήματος. Στους νευρώνες, όπως και σε άλλα είδη κυττάρων, τα ιόντα είναι άνισα κατανομημένα μεταξύ του εσωτερικού των κυττάρων και στο υγρό που τα περιβάλλει. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα, το εσωτερικό ενός κυττάρου να είναι αρνητικά πολωμένο. Σε αυτή τη διαδικασία, πρωταγωνιστικό ρόλο, έχουν τα ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και του καλίου ( $\text{K}^+$ ). Αν και είναι εύκολα αντιληπτό ότι πρόκειται για δυο θετικά ιόντα, οι διαφορετικές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται μεταξύ των δυο πλευρών της κυτταρικής μεμβράνης, δημιουργούν την διαφορά δυναμικού. Οι συγκεντρώσεις καλίου εντός του κυττάρου είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές του νατρίου και, αντίστροφα, στο εξωκυττάριο υγρό. Η διατήρηση αυτής της κλίσης, επιτυγχάνεται πρωτίστως από τις αντλίες ιόντων καλίου-νατρίου. Οι αντλίες αυτές, χρησιμοποιούν την ενέργεια από τη διάσπαση της ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη), για την ενεργή μεταφορά τριών ιόντων  $\text{Na}^+$  προς το εξωτερικό του κυττάρου και την είσοδο δυο ιόντων  $\text{K}^+$  στο εσωτερικό του κυττάρου. Επιπλέον, η κυτταρική μεμβράνη διαθέτει κανάλια «διαρροής» ιόντων, πρόκειται για πρωτεϊνικούς διαύλους που διατρέχουν τη μεμβράνη και επιτρέπουν την μετακίνηση  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$  μέσα και έξω από το κύτταρο. Οι διάυλοι αυτοί είναι συνηθέστερα διαπερατοί σε ένα μόνο είδος ιόντων. Οι διάυλοι καλίου, παραμένουν συνεχώς ανοιχτοί και μεταφέρουν ιόντα  $\text{K}^+$  στο εξωτερικό του κυττάρου, ενώ αυτοί του  $\text{Na}^+$  μεταφέρουν πολύ δυσκολότερα ιόντα.

Το δυναμικό ηρεμίας εντός των νευρικών κυττάρων κυμαίνεται μεταξύ  $-60 \text{ mV}$  και  $-90 \text{ mV}$ , δηλαδή το εσωτερικό δυναμικό της ίνας, είναι πιο ηλεκτροαρνητικό σε σύγκριση με το δυναμικό του εξωκυττάρου υγρού. Αυτός ο αριθμός, καταγράφεται, όταν οι νευρικές ίνες δεν μεταδίδουν νευρικές ώσεις.

Πέραν των υποδοχέων που αναφέραμε, η μεμβράνη των νευρικών κυττάρων, περιέχει και άλλους τύπους ιοντικών διαύλων. Κάποιοι από αυτούς είναι τασεοελεγχόμενοι και ορισμένοι είναι ελεγχόμενοι από πρόσδεμα. Τα δυναμικά ενέργειας, δημιουργούνται επειδή οι τασεοελεγχόμενοι διάυλοι, ανοίγουν και κλείνουν όταν το δυναμικό της μεμβράνης περάσει ένα συγκεκριμένο όριο, όπως προκύπτει και από την ονομασία τους. Υπάρχουν δυο τύποι: οι τασεοελεγχόμενοι διάυλοι καλίου, και οι τασεοελεγχόμενοι διάυλοι νατρίου. Έτσι, όταν ένα γεγονός, προκαλέσει την αύξηση του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης, και υπάρξει εκπόλωση, οι διάυλοι  $\text{Na}^+$  ανοίγουν, και μεταφέρουν,

ίοντα προς το εσωτερικό της μεμβράνης. Το δυναμικό ενέργειας δημιουργείται όταν η εκπόλωση, ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, που ονομάζεται ουδός. Τις περισσότερες φορές, αυτός ο αριθμός είναι γύρω στα  $-55$  mV. Η είσοδος  $\text{Na}^+$  επιφέρει τη διάνοιξη περισσότερων τασεοελεγχόμενων δίαυλων νατρίου, που οδηγούν το δυναμικό προς το 0, προκαλώντας έτσι έναν κύκλο θετικής ανατροφοδότησης. Στα μεγάλα νευρικά κύτταρα, το δυναμικό εντός του κυττάρου υπερβαίνει το 0, ενώ στα μικρότερα, μόλις που το προσεγγίζει, χωρίς να το φτάνει. Δυο γεγονότα, δεν επιτρέπουν την περαιτέρω εκπόλωση του εσωτερικού του κυττάρου: Πρώτον, μέσα σε μερικά χιλιοστά του δευτερόλεπτου (msec), οι δίαυλοι  $\text{Na}^+$  απενεργοποιούνται, σταματώντας τη ροή  $\text{Na}^+$  προς το εσωτερικό. Δεύτερον, ανοίγουν οι τασεοεξαρτώμενοι δίαυλοι  $\text{K}^+$ , επιτρέποντας την ροή ιόντων  $\text{K}^+$  προς την εξωτερική επιφάνεια των κύτταρων. Η διαδικασία αυτή, ονομάζεται επαναπόλωση του κυττάρου. Η διάνοιξη των διαύλων  $\text{K}^+$  πραγματοποιείται βραδέως, δίνοντας έτσι τον ελάχιστο χρόνο που απαιτείται, για την αλλαγή του δυναμικού ενέργειας. Σε εκείνο το χρονικό σημείο, η διαπερατότητα της μεμβράνης στο  $\text{K}^+$  είναι αυξημένη, οδηγώντας για λίγο το δυναμικό, σε χαμηλότερες τιμές από αυτές που έχει σε κατάσταση ηρεμίας. Σύντομα όμως, οι δίαυλοι καλίου απενεργοποιούνται, και επανέρχεται το δυναμικό στην αρχική του κατάσταση.



**Εικόνα 1.2:** Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας του δυναμικού ενέργειας

## ΑΡΧΗ ΟΥΔΕΝ Ή ΟΛΟΝ

Αν η ένταση του ερεθίσματος είναι ουδική, τότε αυτή προκαλεί τη διέγερση του νευρικού κυττάρου. Τα δυναμικά ενέργειας, είτε ενεργοποιούνται εξ' ολοκλήρου και μεταδίδουν την ενέργεια, είτε δεν ενεργοποιούνται καθόλου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το δυναμικό ενέργειας να έχει τον χαρακτήρα "όλον ή ουδέν".

Παραπάνω, έγινε αναφορά στο το αρχικό ερέθισμα που πυροδοτεί την μεταβολή του δυναμικού ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο σημείο του νευρικού κυττάρου. Η μετάδοσή του όμως κατά μήκος του νευρικού κυττάρου και κατά συνέπεια σε όλο το νευρικό σύστημα περιγράφεται παρακάτω. Τα θετικά ιόντα του νατρίου που εισέρχονται στο εσωτερικό του κυττάρου και θετικοποιούν προσωρινά μια μικρή περιοχή γύρω από το αρχικό σημείο. Αυτή η αλλαγή, υπερβαίνει την ουδό και, οδηγεί στην αλυσιδωτή έναρξη του δυναμικού ενέργειας που στη συνέχεια κατευθύνεται σε όλο το μήκος του κυττάρου.

## ΔΟΜΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οφθαλμός ονομάζεται το αισθητήριο όργανο της όρασης που χρησιμοποιούν οι ζωντανοί οργανισμοί. Για την λειτουργία του, απαιτείται η ενεργοποίηση διαφόρων μηχανισμών που φέρουν οι οργανισμοί.

### ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

#### Κογχική κοιλότητα

Το ανθρώπινο κρανίο διαθέτει 2 κογχικές κοιλότητες. Εντός τους, περιέχονται οι οφθαλμικοί βολβοί, οι μύες που σχετίζονται με αυτούς, αγγεία, νεύρα καθώς και μεγάλο μέρος των δακρυϊκών συσκευών. Ο οστέινος κόγχος απαρτίζεται από επτά οστά. Αυτά είναι η άνω γνάθος, το ζυγωματικό οστό, το ηθμοειδές, το σφηνοειδές, η υπερώα, το δακρυϊκό οστό και το μετωπιαίο. Όλα αυτά, σχηματίζουν ένα προστατευτικό τοίχος το οποίο έχει σχήμα πυραμίδας, με τη κορυφή της προς το εσωτερικό του κρανίου, μέσα στο οποίο βρίσκονται όλες οι δομές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα τοιχώματα της πυραμίδας διαιρούνται με τον εξής τρόπο:

A. άνω τοίχωμα (οροφή): αποτελείται από το μετωπιαίο οστό και ένα τμήμα του σφηνοειδούς οστού

B. κάτω τοίχωμα (έδαφος): αποτελείται από την κογχική επιφάνεια της άνω γνάθου, ένα μικρό μέρος του ζυγωματικού οστού καθώς και του υπερώιου.

Γ. έσω τοίχωμα: αποτελείται από τη άνω γνάθο, το ηθμοειδές οστό, το σφηνοειδές και το δακρυϊκό. Τα τοιχώματα των δυο κόγχων είναι παράλληλα μεταξύ τους.

Δ. έξω τοίχωμα: αποτελείται από δυο οστά, του ζυγωματικού και του σφηνοειδούς. Το έξω τοίχωμα κάθε κόγχου, δημιουργεί μια γωνία  $45^{\circ}$  με το έσω τοίχωμα, καθώς αυτά εκτείνονται προς το εσωτερικό του. Ο άξονας του κάθε κόγχου δημιουργεί μια γωνία  $23^{\circ}$  με τον οπτικό άξονα του βολβού.



*Εικόνα 1.3: Απεικόνιση των οστών του κόγχου. Διακρίνονται και τα τρήματά του.*

#### Τρήματα και σχισμές

Ο οφθαλμικός κόγχος, δεν είναι ένας κλειστός, και απομονωμένος χώρος του προσώπου. Ποικίλα μορφώματα εισέρχονται και εξέρχονται από αυτόν, μέσω ανοιγμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στην κορυφή του κόγχου, εκεί όπου βρίσκεται η ελάσσινα πτέρυγα του σφηνοειδούς οστού, υπάρχει το οπτικό τρήμα. Αποτελεί το σημαντικότερο άνοιγμα, καθώς μέσω αυτού, διέρχονται η οφθαλμική αρτηρία και το οπτικό νεύρο. Συνδέει την κογχική κοιλότητα με το μέσο κρανιακό βόθρο. Ακριβώς έξω και πλάγια από το οπτικό τρήμα, βρίσκεται μια τριγωνική οπή, που ονομάζεται υπερκόγχιο σχίσμα. Μέσα από το υπερκόγχιο σχίσμα περνούν το τροχλιακό νεύρο, το απαγωγό, ο άνω και κάτω κλάδος του κοινού κινητικού νεύρου, η άνω οφθαλμική φλέβα καθώς και ο δακρυϊκός, μετωπιαίος και οφθαλμορρινικός κλάδος του οφθαλμικού νεύρου. Ένα άλλο άνοιγμα που συναντάται, είναι το υποκόγχιο σχίσμα. Μέσα από το υποκόγχιο τρήμα, περνούν το άνω γναθικό νεύρο [V2] και ο ζυγωματικός κλάδος του, καθώς επίσης και η κάτω οφθαλμική φλέβα. Αρκετά μικρότερα ανοίγματα, υπάρχουν στο έσω

τοίχωμα του κόγχου. Τα πλέον χαρακτηριστικά, είναι τα ηθμοειδή τρήματα (πρόσθιο και οπίσθιο), που μέσω αυτών περνούν πρόσθια και οπίσθια ηθμοειδή νεύρα και αγγεία, που κατευθύνονται στο ηθμοειδές οστό.

## Τα Βλέφαρα

Ο κάθε κόγχος διαθέτει δυο βλέφαρα. Πρόκειται για μορφώματα, που έχουν σύνθετη δράση. Με τη σύγκλισή τους, αποτρέπουν την είσοδο έντονης ακτινοβολίας στον οφθαλμό, καθώς και την εισχώρηση αντικειμένων που μπορούν να τραυματίσουν την επιφάνειά του. Επιπρόσθετα, συμβάλουν στην ομαλή κατανομή των δακρύων στην πρόσθια επιφάνεια του οφθαλμού, και στην έξοδο αυτών, διάμεσου του αποχετευτικού συστήματος που βρίσκεται στον έσω κανθό. Από έξω προς τα μέσα, κάθε βλέφαρο απαρτίζεται από τις εξής δομές: 1. Δέρμα, 2. Υποδόριο ιστό, 3. Γραμμωτές μυϊκές ίνες του σφιγκτήρα μυ, κογχικό διάφραγμα και ταρσικά πέταλα, 5. Λείες μυϊκές ίνες και 6. Επιπεφυκότα. Το άνω βλέφαρο, διαθέτει επιπρόσθετα και την κατάφυση του ανεγκτήρα μυ του άνω βλεφάρου. Τα βλέφαρα νερώνονται τόσο με αισθητικά όσο και με κινητικά στοιχεία. Τα αισθητικά, είναι όλα κλάδοι του τριδύμου νεύρου ([V<sub>1</sub>] και [V<sub>2</sub>]), ενώ η κινητική νεύρωση προέρχεται από το προσωπικό νεύρο [VII] που νερώνει τον σφιγκτήρα των βλεφάρων, το κοινό κινητικό [III] που νερώνει τον ανεγκτήρα μυ του άνω βλεφάρου και τέλος από συμπαθητικές ίνες που νερώνουν τον άνω ταρσαίο μυ.

## Μύες

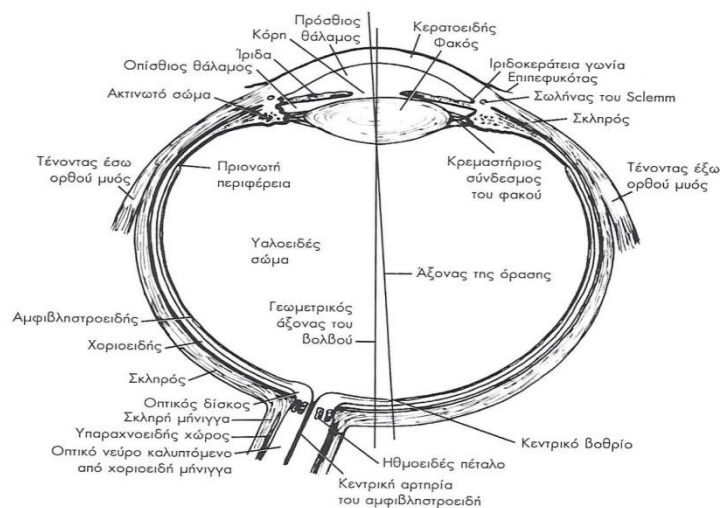
Εντός του κόγχου υπάρχουν εξωβολβικοί μύες οι οποίοι κινούν τον βολβό του ματιού προς όλες τις κατευθύνσεις. Υπάρχουν τέσσερις ορθοί μύες, ο άνω ορθός, ο κάτω ορθός, ο έξω ορθός και ο έσω ορθός. Επίσης, δυο λοξοί μύες, ο άνω λοξός και ο κάτω λοξός μυς.

## Νεύρα

Μεγάλο πλήθος νεύρων εισέρχονται στον κόγχο και νερώνουν μορφώματα που βρίσκονται στο εσωτερικό του. Το βασικότερο απ' όλα, είναι το οπτικό νεύρο [II]. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως προς τα έξω επέκταση του εγκεφάλου, και είναι υπεύθυνο για την αντίληψη της όρασης. Το κοινό κινητικό [III], ακριβώς πριν μπει στον κόγχο, διαιρείται στον άνω και κάτω κλάδο. Ο άνω κλάδος, νερώνει τον άνω ορθό μυ και τον ανεγκτήρα του άνω βλεφάρου. Στον αντίποδα, ο κάτω κλάδος, διαιρείται σε τρεις μικρότερους κλάδους και νερώνει τον έσω ορθό μυ, τον κάτω ορθό και τον κάτω λοξό. Ο τρίτος κλάδος, κατά τη διαδρομή του, δίνει τον κλάδο του ακτινωτού ή αλλιώς οφθαλμικού γαγγλίου. Η τέταρτη εγκεφαλική συζυγία [IV] ή αλλιώς τροχιακό νεύρο είναι ένα κινητικό νεύρο που νερώνει τον άνω λοξό μυ. Το τριδύμο νεύρο [V], διαιρείται σε τρεις κλάδους. Από αυτούς, ο ανώτερος και μικρότερος, είναι το οφθαλμικό νεύρο [V<sub>1</sub>]. Πρόκειται για ένα καθαρά αισθητικό νεύρο, το οποίο, πριν εισχωρήσει στον οφθαλμικό κόγχο, διαιρείται σε τρεις κλάδους: τον οφθαλμορρινικό, το δακρυϊκό και τον μετωπιαίο. Το απαγωγό νεύρο [VI], αποτελεί επίσης κινητικό νεύρο και νερώνει τον έξω ορθό μυ.

## Βολβός

Ο βολβός του οφθαλμού έχει σχεδόν σφαιρικό σχήμα, καθώς, στο πρόσθιο τμήμα του, παρατηρείται, μια προεξοχή. Το οπίσθιο τμήμα, καταλαμβάνει τα 5/6 του βολβού, και είναι αδιαφανές, με το υπόλοιπο 1/6 να αναλογεί στο αδιαφανές τμήμα του. Παρατηρώντας τον βολβό από εμπρός προς τα πίσω, μπορούμε να διακρίνουμε με τη σειρά, τον κερατοειδή, τον πρόσθιο θάλαμο, την ίριδα και την κόρη, τον οπίσθιο θάλαμο, τον φακό, το υαλοειδές υγρό και τον αμφιβληστροειδή. Ο οφθαλμικός βολβός περιβάλλεται από τρεις χιτώνες. Αυτοί από έξω προς τα μέσα είναι οι: 1) Ινώδης χιτώνας, 2) Αγγειώδης χιτώνας (ραγοειδής) και ο 3) Νεύρινος χιτώνας.



**Εικόνα 1.4:** Οριζόντια τομή του οφθαλμικού βολβού. Διακρίνονται ο γεωμετρικός άξονας και ο άξονας της όρασης

### Ινώδης χιτώνας

Ο ινώδης χιτώνας αποτελείται από ένα πρόσθιο διαφανές μέρος, τον κερατοειδή, και από ένα οπίσθιο, αδιαφανές, το σκληρό. Ο σκληρός, είναι λεπτότερος στο πρόσθιο τμήμα όπου εντοπίζονται οι καταφύσεις των ορθών μυών, και παχύνει προς τα πίσω. Πρόσθια, διακρίνεται ως το "λευκό" μέρος του οφθαλμού και καλύπτεται από τη περιοφθάλμια περιτονία και τον επιεφυκότα. Ο κερατοειδής αποτελεί το κυρίως διαθλαστικό μέσο της προσπίπτουσας στον οφθαλμό ακτίνας φωτός. Διαιρείται σε πέντε στιβάδες οι οποίες από εμπρός προς τα πίσω είναι οι: 1. Επιθήλιο, 2. Μεμβράνη του Bowman, 3. Ιδία ουσία ( στρώμα), 4. Δεσκεμέντιος μεμβράνη και 5. Το ενδοθήλιο.

### Ραγοειδής χιτώνας

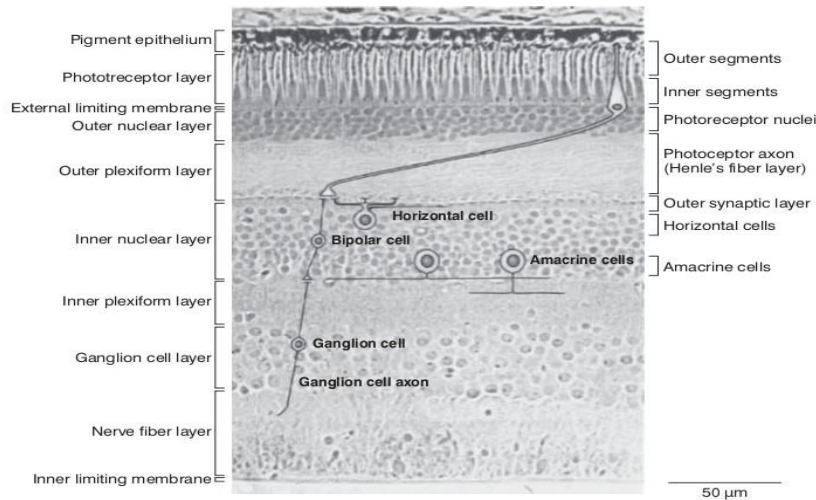
Ο μεσαίος χιτώνας του βολβού. Δομικά, φέρει πολυάριθμα, μεγάλου και μεσαίου μεγέθους, αιμοφόρα αγγεία ενώ λειτουργικά, θρέφει τις δομές του βολβού. Από εμπρός προς τα πίσω διαθέτει τρεις δομές: την ίριδα, το ακτινωτό σώμα και τον χοριοειδή. Ο χοριοειδής χιτώνας είναι λεπτός, καφεοειδής και επενδύει την εσωτερική επιφάνεια του σκληρού. Μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις στιβάδες: 1. Την αγγειώδη, 2. Την χοριοτριχοειδική και 3. του Bruch. Το ακτινωτό σώμα έχει συμμετοχή στην συγκράτηση του κρυσταλλοειδούς φακού καθώς και στην διαδικασία της προσαρμογής. Η πρόσθια επιφάνεια των ακτινοειδών προβολών είναι υπεύθυνη για την παράγωγή του υδατοειδούς υγρού. Τέλος, η ίριδα, αποτελεί ένα λεπτό διάφραγμα που περιέχει χρωστική, και που στο κέντρο της υπάρχει μια οπή, η κόρη. Η διάμετρος της κόρης κυμαίνεται μεταξύ 1-8 mm και αλλάζει ανάλογα με τη δράση των μυών της κόρης. Μύση προκαλείται καθώς δρα ο σφιγκτήρας μυς της κόρης ενώ μυδρίαση, όταν δρα ο διαστολέας μυς της κόρης.

### Νεύρινος χιτώνας

Ο αμφιβληστροειδής ή νεύρινος χιτώνας, είναι ένας λεπτός χιτώνας νευρικών κυρίως ιστών και βρίσκεται εσωτερικότερα από τους υπόλοιπους. Είναι υπεύθυνος για την δημιουργία του οπτικού ερεθίσματος, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται στον εγκέφαλο. Εξωτερικά, ο αμφιβληστροειδής αποτελείται από ένα μελαχρωματικό πέταλο ( μελάγχρουν επιθήλιο), ενώ εσωτερικά, βρίσκεται το νευροαισθητήριο πέταλο ( ιδίως αμφιβληστροειδής). Κεντρικά της οπίσθιας οπτικής μοίρας του αμφιβληστροειδή συναντάται μια υποκίτρινη ωοειδής περιοχή που ονομάζεται ωχρά κηλίδα. Μια κεντρική εμβύθιση βρίσκεται στο κέντρο της ωχράς, που ονομάζεται κεντρικό βοθρίο. Η περιοχή αυτή είναι η πλέον ευαίσθητη στο φως. Το μελάγχρουν επιθήλιο, αποτελείται από μια μονή στιβάδα κυττάρων, και εκτελεί πολλές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για την σωστή μετάδοση της εικόνας. Η πλέον βασική, είναι η απορρόφηση του φωτός, από τα κύτταρά του, αποτρέποντας έτσι την ανάκλαση, εντός του βολβού. Από την άλλη, ο ιδίως αμφιβληστροειδής, απαρτίζεται από μεγάλο αριθμό διαφορετικών νευρικών κυττάρων. Αν και δεν υφίστανται πραγματικές στιβάδες, με την στενή έννοια του όρου, παρακάτω θα αναφερθούν ως στοιβάδες, οι διαφορετικές δομές



που υπάρχουν στον ιδίως αμφιβληστροειδή, για περιγραφικούς κυρίως σκοπούς. Ο αριθμός και η ονομασία τους, ποικίλουν βιβλιογραφικά. Από το εξωτερικό μέρος του βολβού, προς το εσωτερικό έχουμε τις εξής στοιβάδες: Το μελάγχρουν επιθήλιο, τη στοιβάδα των ραβδίων και των κωνίων, η έξω αφοριστική μεμβράνη, η έξω κοκκώδη στιβάδα, η έξω δικτυωτή στιβάδα, η έσω κοκκώδης στιβάδα, η έσω δικτυωτή στιβάδα και η στιβάδα των γαγγλιακών κυττάρων.

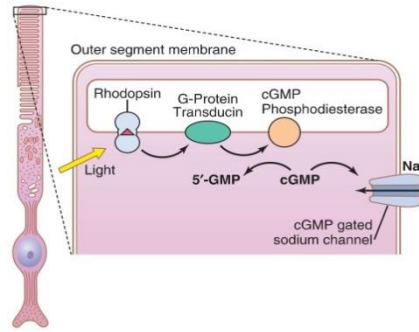


**Εικόνα 1.5:** Η διάταξη των στιβάδων στον αμφιβληστροειδή. Το φως έρχεται από το κάτω μέρος της εικόνας, προς τα πάνω.

## ΦΩΤΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ

Οι φωτοϋποδοχείς διαίρουνται σε δυο τύπους κυττάρων, τα ραβδία και τα κωνία. Τα ραβδία είναι κυρίως υπεύθυνα για την όραση σε χαμηλό φωτισμό, ενώ τα κωνία, διεγείρονται όταν το φως είναι εντονότερο. Και τα ραβδία και τα κωνία παρουσιάζουν κάποια κοινά σημεία ως προς το σχεδιασμό τους. Ένα έξω τμήμα, που βρίσκεται στην άπω επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς και εκεί συναντώνται οι φωτοευαίσθητες χημικές ουσίες των υποδοχέων. Εκεί, βρίσκεται ένας μεγάλος αριθμός δίσκων, που αποτελούν εγκοιλώσεις της κυτταρικής μεμβράνης. Ένα έσω τμήμα, που βρίσκεται εσωτερικότερα του αμφιβληστροειδούς και περιέχει τα βασικά κυτταρικά στοιχεία τους καθώς επίσης και ένα συναπτικό άκρο.

Στα ραβδία, η φωτοευαίσθητη χρωστική, είναι η ροδοψίνη, ενώ αντίστοιχα στα κωνία, η χρωστική, είναι μια από τις τρεις φωτοευαίσθητες χημικές ουσίες που αντιδρούν στα «χρώματα». Οι ουσίες αυτές, έχουν μικρές διαφορές στη χημική τους δομή. Ως εκ τούτου, ο τρόπος διέγερσής τους είναι παρόμοιος και στα δυο είδη κυττάρων. Η ροδοψίνη, αποτελείται από δυο μέρη, ένα πρωτεϊνικό, που ονομάζεται οψίνη ή σκοτοψίνη και δεν απορροφά το φως, και από ένα δεύτερο τμήμα, τη ρετινάλη, που απορροφά το φως. Στα κωνία, υπάρχουν 3 είδη οψινών, που ονομάζονται φωτοψίνες. Έτσι, εντοπίζονται φωτοχημικές ουσίες, οι οποίες ευαισθητοποιούνται επιλεκτικά, στο κυανό, το ερυθρό και το πράσινο χρώμα. Τα μήκη κύματος στα όποια εμφανίζουν τη μεγίστη απορροφητικότητα τους είναι 445 nm, 535 nm και 570 nm αντίστοιχα. Η καροτινοειδής χρωστική ρετινάλη, βρίσκεται στη μορφή 11-cis ρετινάλη, που είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς αποτελεί τη μόνη μορφή η οποία μπορεί να συνδεθεί με την οψίνη, για την δημιουργία της ροδοψίνης. Μόλις φτάσει, η εισερχόμενη από την κόρη, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο σημείο όπου βρίσκονται οι ουσίες, ενεργοποιούνται ηλεκτρόνια στο τμήμα της ροδοψίνης που περιέχει την ρετινάλη, και ξεκινά η αποδόμησή της. Μέσα σε ελάχιστο χρόνο, η cis μορφή της ρετινάλης, μετατρέπεται στιγμιαία σε όλο-trans μορφή (all-trans). Η αλλαγή αυτή, αλλάζει τις φυσικές ιδιότητες του μορίου και, από κεκαμμένο γίνεται ευθύγραμμο. Έτσι, η σκοτοψίνη δεν μπορεί να συνδεθεί πλέον με την ρετινάλη, και η ρετινάλη απομακρύνεται. Στη συνέχεια, η όλο-trans-ρετινάλη μετατρέπεται σε όλο-trans-ρετινόλη, στο έξω τμήμα των κυττάρων. Η όλο-trans-ρετινόλη, θα μεταφερθεί προς τα κύτταρα του μελάγχρουν επιθηλίου, για να μετατραπεί πάλι, σε 11-cis ρετινάλη. Η όλο-trans-ρετινόλη, αποτελεί μια μορφή της βιταμίνης A. Ο ρόλος της βιταμίνης A, στην σύνθεση της 11-cis-ρετινάλης είναι εξαιρετικά σημαντικός, καθώς με τη χρήση της βιταμίνης, μπορεί ανά πάσα ώρα, να σχηματιστεί νέα ρετινάλη.



**Εικόνα 1.6:** Σχηματική απεικόνιση του τρόπου ενεργοποίησης των διαύλων  $Na^+$

### Το δυναμικό του αισθητήρα της όρασης

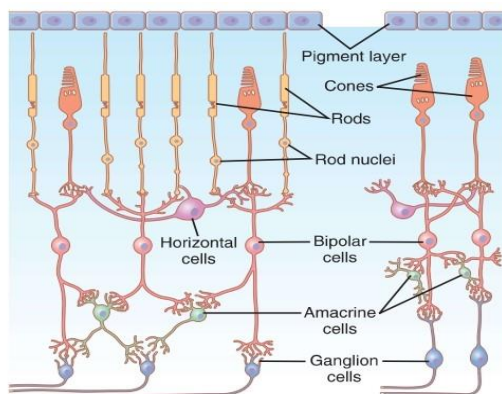
Το δυναμικό του φωτοϋποδοχέα, διαφέρει από το δυναμικό όλων των άλλων αισθητικών υποδοχέων. Όταν διεγείρονται τα ραβδία και τα κωνία, προκαλείται αύξηση της ηλεκτραρνητικότητας του δυναμικού της μεμβράνης, σε αντίθεση με τα άλλα αισθητικά κύτταρα, στα οποία προκαλείται μείωση της ηλεκτραρνητικότητας, σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω. Η διάσπαση της ροδοψίνης, έχει ως συνέπεια την μείωση της αγωγιμότητας της μεμβράνης για τα ιόντα νατρίου. Στο εσωτερικό τμήμα των ραβδίων, αντλούνται συνεχώς προς τον εξωκυττάριο χώρο ιόντα  $Na^+$ , τα οποία δημιουργούν μια ηλεκτραρνητικότητα εντός του κυττάρου. Αντίθετα, η μεμβράνη του εξωτερικού τμήματος, εκεί όπου βρίσκονται οι φωτοϋποδοκτικοί δίσκοι, όταν ο οφθαλμός βρίσκεται σε σκοτωπικές συνθήκες, εμφανίζει μια μεγάλη διαπερατότητα σε ιόντα νατρίου. Η διαρροή τους εντός του κυττάρου, πραγματοποιείται μέσω διαύλων οι οποίοι ελέγχονται από την κυκλική μονοφωσφορική γουανοσίνη (cGMP). Με αυτόν το τρόπο, διατηρεί το εσωτερικό του κυττάρου σε μια εκπόλωση, μειώνοντας (κατ' απόλυτη τιμή) το δυναμικό ηρεμίας, στα  $-40\text{ mV}$  περίπου. Με την άφιξη της φωτεινής ενεργείας στην φωτοευαίσθητη περιοχή, και την διάσπαση της ροδοψίνης προκαλείται ενεργοποίηση του ενζύμου cGMP-φωσφοδιεστεράση. Το ένζυμο καταλύει τη διάσπαση του cGMP σε 5'-GMP. Η μείωση της συγκέντρωσης της cGMP, οδηγεί στο κλείσιμο των διαύλων που ελέγχονται από το συγκεκριμένο μόριο, υπερπολώνοντας τον φωτοαισθητήρα. Η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας είναι ανάλογη με την υπερπόλωση του φωτοϋποδοχέα. Όταν αυτός φτάσει στη μέγιστη τιμή, προσεγγίζει τα  $-70\text{ mV}$  με  $-80\text{ mV}$ . Αυτό, αποτελεί και το πρώτο στάδιο της διαδικασίας της όρασης.

### Διάρκεια δυναμικού και απευαισθητοποίηση

Η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω, διαφέρει ως προς τον χρόνο που διαρκεί, ανάμεσα στα ραβδία και τα κωνία. Έτσι, μια προσπίπτουσα ακτινοβολία, προκαλεί την υπερπόλωση των ραβδίων μέσα σε  $0.3\text{ sec}$  και ολοκληρώνεται μέσα σε  $1$  δευτερόλεπτο περίπου. Στα κωνία, η διαδικασία πραγματοποιείται  $4$  φορές ταχύτερα. Με αυτό τον τρόπο, μια εικόνα που σχηματίζεται με απότομο τρόπο και για ελάχιστο χρόνο στα ραβδία, δίνει την αίσθηση ότι διαρκεί πολύ περισσότερο. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που υπάρξει μια παρατεταμένη έκθεση του οφθαλμού σε μια φωτεινή πηγή, τα κωνία, έχουν την ιδιότητα να εκπολώνονται βραδέως, διατηρώντας το δυναμικό της μεμβράνης μεταξύ  $-40\text{ mV}$  και  $-70\text{ mV}$ . Με αυτό τον τρόπο, ακόμα και μια ελάχιστη αλλαγή ως προς την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, οδηγεί στην εκ νέου υπερπόλωση των φωτοϋποδοχέων.

## ΝΕΥΡΙΚΗ ΟΔΟΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα σήματα από τα ραβδία και τα κωνία, ακολουθούν πολλούς και διαφορετικούς διαδρόμους στον αμφιβληστροειδή. Η συνδεσμολογία των διαφόρων νευρικών κυττάρων, είναι εξαιρετικά σημαντική για την σωστή μεταφορά της πληροφορίας στον εγκέφαλο. Τα ραβδία και τα κωνία, δημιουργούν το οπτικό σήμα, το οποίο μεταφέρεται στα δίπολα και οριζόντια κύτταρα. Τα δυο αυτά είδη κυττάρων, βρίσκονται στην έσω κοκκώδη στιβάδα του αμφιβληστροειδούς. Τα οριζόντια κύτταρα, μεταφέρουν τις ώσεις οριζοντίως στην έξω δικτυοειδή στιβάδα. Συνάπτονται με τα ραβδία και τα κωνία συνδέοντάς τα με τους δενδρίτες των δίπολων κυττάρων. Το εξερχόμενο σήμα των οριζόντιων κυττάρων είναι πάντα ανασταλτικό. Η πλάγια σύνδεση των συγκεκριμένων κυττάρων, δεν επιτρέπει την διέγερση μεγάλης έκτασης του αμφιβληστροειδή κατά την έκθεση των φωτοϋποδοχέων στο φως. Έτσι, με την πλάγια αναστολή, τερματίζεται η μετάδοση της ώσης στα γειτονικά κύτταρα.



**Εικόνα 1.7:** Δεξιά, η διάταξη των κυττάρων του αμφιβληστροειδή στην περιφέρεια ενώ αριστερά, η διάταξη στον οπτικό δίσκο

Τα δίπολα κύτταρα, ονομάζονται έτσι, καθώς φέρουν δυο πόλους. Αυτοί, από τη μια μεριά είναι συνδεδεμένοι με τα κωνία, τα ραβδία και τα οριζόντια κύτταρα, και από την άλλη, συνάπτονται με τα βραχύνια κύτταρα ή τα γαγγλιακά κύτταρα. Σε αντίθεση με τα οριζόντια κύτταρα, αυτά, μεταφέρουν την πληροφορία καθέτως. Τα δίπολα κύτταρα, είναι τα πρώτα κύτταρα της οπτικής οδού που έχουν κεντρικά-κυκλικά ανταγωνιστικά δεκτικά πεδία.. Τα συγκεκριμένα πεδία, είναι σημαντικά για την μετέπειτα κωδικοποίηση των χωρικών πληροφοριών που έρχονται από το περιβάλλον. Έτσι λοιπόν, υπάρχουν δυο τύποι διπολικών κυττάρων που επιδρούν στην μετάδοση, αυτά που επιδρούν διεγερτικά στην οπτική οδό και ονομάζονται υπερπολωτικά διπολικά κύτταρα και αυτά που δρουν ανασταλτικά, και ονομάζονται εκπολωτικά διπολικά κύτταρα. Συνεπώς, όταν διεγείρεται ένα υπερπολωτικό διπολικό κύτταρο, μπορεί το μισό του μέρος να υπερπολώνεται, ενώ το άλλο μισό να εκπολώνεται, και αντίστροφα. Αυτός είναι ένας δεύτερος μηχανισμός πλάγιας αναστολής, ο οποίος με τη σειρά του βοηθά στην μεγαλύτερη ευαισθησία στη φωτεινή αντίθεση. Μια ιδιαίτερη και ξεχωριστή ομάδα κυττάρων στον αμφιβληστροειδή αποτελούν τα αμακρύϊνα κύτταρα. Υπάρχουν περίπου 30 διαφορετικά είδη αμακρύϊνων κυττάρων στην έσω συναπτική μεμβράνη. Συμβάλουν στη σύνδεση μεταξύ δίπολων και γαγγλιακών κυττάρων. Το κάθε είδος κύτταρου έχει και ξεχωριστό ρόλο και η πλήρης λειτουργία τους είναι υπό διερεύνηση.

### Γαγγλιακά κύτταρα

Η τελευταία στιβάδα του αμφιβληστροειδούς, απαρτίζεται από γαγγλιακά κύτταρα. Τα συγκεκριμένα είδη νευρικών κυττάρων, μεταδίδουν την νευρική ώση, δημιουργώντας δυναμικά ενέργειας, και όχι ως βαθμιαίες αλλαγές όπως συμβαίνει στα προηγούμενα είδη κυττάρων του αμφιβληστροειδή. Οι νευρικοί άξονες των γαγγλιακών κυττάρων συνθέτουν το οπτικό νεύρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των νευραξόνων προβάλλονται στα έξω γονατώδη σώματα. Ένα όμως ποσοστό (10%) αυτών καταλήγει σε υποφλοιώδεις περιοχές που είναι υπεύθυνες για την οφθαλμική κίνηση καθώς και για την παραγωγή των αντανακλαστικών της κόρης. Τα γαγγλιακά κύτταρα διαιρούνται σε δυο διαφορετικές κατηγορίες. Αυτά, είναι τα Μ κύτταρα (μεγάλα) και τα Ρ κύτταρα (μικρά), τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους τόσο ανατομικά όσο και φυσιολογικά. Τα Μ κύτταρα αποτελούν μόλις το 10% και βρίσκονται κυρίως στην περιφέρεια. Οι βασικές διαφορές μεταξύ των δυο αυτών ειδών, είναι οι εξής:



- Τα υποδεκτικά πεδία των Ρ κυττάρων, είναι πολύ μικρότερα από αυτά των Μ.
- Οι άξονες των Μ κυττάρων μεταφέρουν πολύ πιο γρήγορα τα ερεθίσματα, σε σύγκριση με τα Ρ κύτταρα.
- Οι αποκρίσεις των Ρ κυττάρων σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα μπορούν να διαρκέσουν πολύ περισσότερο από αυτά των Μ κυττάρων, οι οποίες είναι παροδικές.
- Τα Μ κύτταρα είναι πολύ πιο ευαίσθητα από τα κύτταρα Ρ σε ασπρόμαυρα ερεθίσματα χαμηλής αντίθεσης.
- Τα Μ κύτταρα δεν είναι τόσο ευαίσθητα στα χρωματικά ερεθίσματα, σε αντίθεση με τα Ρ κύτταρα.

## ΟΠΤΙΚΗ ΟΔΟΣ

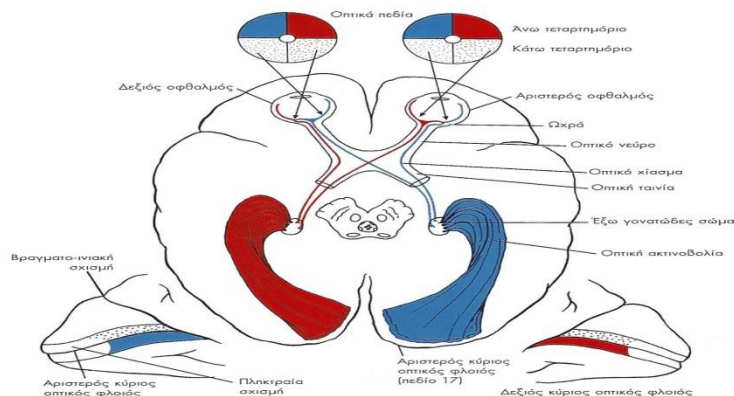
Οι παρακάτω περιοχές στο σύνολό τους, απαρτίζουν την οπτική οδό: ο αμφιβληστροειδής, το οπτικό νεύρο, το οπτικό χίασμα, οι οπτικές ταινίες, τα έξω γονατώδη σώματα, οι οπτικές ακτινοβολίες και οι περιοχές του οπτικού φλοιού του εγκεφάλου. Η οπτική οδός μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τμήμα του ΚΝΣ του ανθρώπου, το οποίο εξελικτικά επεκτάθηκε στις πρόσθιες κογχικές κοιλότητες του κρανίου. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του αμφιβληστροειδή, περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω.

### Οπτικό νεύρο

Το οπτικό νεύρο, ως μέρος του ΚΝΣ περιβάλλεται από χοριοειδή, αραχνοειδή και σκληρή μήνιγγα. Έχει συνολικό μήκος περίπου 41 mm. Μπορεί να διαιρεθεί για περιγραφικούς λόγους στα εξής τέσσερα τμήματα: ενδοφθάλμια, ενδοκογχία, ενδοουλική και ενδοκράνια. Η ενδοφθάλμια μοίρα, περιλαμβάνει το τμήμα που βρίσκεται εντός του σκληρού χιτώνα και τον οπτικό δίσκο. Το σύνολο των γαγγλιακών κυττάρων σχηματίζουν τον οπτικό δίσκο. Διαμέσω του οπτικού νεύρου, και συγκεκριμένα στην ενδοκογχία μοίρα του, εισέρχεται στο οπίσθιο μέρος του οφθαλμικού βολβού η κεντρική αρτηρία και φλέβα του αμφιβληστροειδή.

### Οπτικό χίασμα

Οι νευρικές ίνες που προέρχονται από τα ρινικό ημιμόριο του αμφιβληστροειδή, διασταυρώνονται προς την αντίθετη οπτική ταινία, στο οπτικό χίασμα. Οι κροταφικές ίνες συνεχίζουν αχίαστες προς τα πίσω στην ομόπλευρη οπτική ταινία. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι εξαιρετικά σημαντική για την διόφθαλμη όραση.



**Εικόνα 1.8:** Το σύνολο της οπτικής οδού. Δεξιά και αριστερά της κεντρικής εικόνας, διακρίνονται οι κύριοι οπτικοί φλοιοί στα δυο ημισφαίρια του εγκεφάλου

### Οπτική ταινία

Οι οπτικές ταινίες αναδύονται σαν κυλινδρικές ταινίες από τις οπίσθιες γωνίες του οπτικού χιάσματος. Καθώς αυτές κατευθύνονται προς τα πίσω, πραγματοποιούν μια έσω κυκλοστροφή κατά 90°. Με την δημιουργία των οπτικών

ταινιών, γίνεται αντιληπτό ότι έρχονται σε επαφή περιοχές των δυο αμφιβληστροειδών από λειτουργικά αντίστοιχες περιοχές.

### Έξω γονατώδες σώμα

Το έξω γονατώδες σώμα έχει σύνθετη δομή και αποτελείται από έξι στιβάδες κυττάρων. Μεταξύ τους, χωρίζονται με λευκές δέσμες νευρικών ινών και αριθμούνται από το 1 έως το 6. Κάθε έξω γονατώδες σώμα, δέχεται και από τους δυο αμφιβληστροειδείς οπτικές πληροφορίες. Επομένως, ο κάθε έξω γονατώδης πυρήνας περιέχει ένα τοπογραφικό χάρτη του αμφιβληστροειδή. Οι στιβάδες I και II περιέχουν μεγάλους νευρώνες και συγκεκριμένα, μεγάλο αριθμό που προέρχεται από τα Μ κύτταρα. Οι στιβάδες III έως VI, περιέχουν αυξημένο αριθμό μικρών-μεσαίων νευρικών κυττάρων. Σχεδόν το σύνολό τους αποτελείται από νευρώνες των Ρ κυττάρων.

### Οπτική ακτινοβολία και περιοχές οπτικού φλοιού

Οι νευρικές ίνες που προέρχονται από κύτταρα του έξω γονατώδους σώματος, ονομάζονται οπτικές ακτινοβολίες και καταλήγουν στο άνω χείλος της πληκτραίας σχισμής. Η πληκτραία σχισμή βρίσκεται στον ινιακό λοβό του εγκεφάλου. Εκεί συλλέγονται και επεξεργάζονται οι νευρικές ώσεις που προέρχονται από τη διέγερση των φωτοϋποδοχέων στον αμφιβληστροειδή. Οι περιοχές του οπτικού φλοιού, διαιρούνται σε δυο υποκατηγορίες. Πρόκειται για την κύρια οπτική περιοχή (πρωτοταγής περιοχή  $V_1$ ) και την δευτερεύουσα οπτική περιοχή (δευτεροταγής περιοχή  $V_2$ ). Η κύρια οπτική περιοχή, δέχεται πληροφορίες που προέρχονται από τις περιοχές της ωχράς κηλίδας. Καθώς η ωχρά είναι η περιοχή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση φωτοϋποδοχέων, οι νευρικές ίνες που προέρχονται από εκεί, καταλαμβάνουν το 1/3 του οπτικού φλοιού. Η δευτεροταγής περιοχή, περιβάλλει την κύρια περιοχή τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά. Φυσιολογικά, συνδυάζει και συμπληρώνει την πληροφορία που δέχεται η κύρια οπτική περιοχή. Ανώτερες συνειρμικές λειτουργίες συντελούνται σε αυτή την περιοχή που βοηθούν στην ανάκληση προηγούμενων διαδικασιών, και στην αναγνώριση των νέων εικόνων που βλέπει ο άνθρωπος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως στην ολοκληρωμένη επεξεργασία του οπτικού ερεθίσματος, εκτός από αυτές που αναφέρθηκαν, συμμετέχουν και άλλες περιοχές του εγκεφάλου.

**ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Η Νευροοφθαλμολογία, αποτελεί έναν ιδιαίτερο και ξεχωριστό κλάδο της Οφθαλμολογίας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι οφθαλμικές κινήσεις καθώς και η οπτική οδός, συνδέονται άμεσα, σχεδόν με το σύνολο του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ) του ανθρώπου. Ως εκ τούτου, ο εντοπισμός τυχών παθολογικών καταστάσεων στο οφθαλμό, αποτελεί εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο, τόσο στον εντοπισμό ασθενειών που σχετίζονται άμεσα με την οφθαλμική υγεία, όσο και για την περαιτέρω κατανόηση των προβλημάτων στο υπόλοιπο σώμα (Somlai και Kovacs, 2016). Υπάρχουν αρκετοί διαγνωστικοί μηχανισμοί, που μπορούν να εντοπίσουν τη θέση του προβλήματος και την έκτασή του. Μέσω των ηλεκτροφυσιολογικών μεθόδων διερεύνησης της όρασης, καταγράφονται οι βιοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν σε όλη την έκταση της οπτικής οδού. Αποτελούν μια αντικειμενική μέθοδο που αποτυπώνει την λειτουργία των νευρικών κυττάρων του αμφιβληστροειδή αλλά και των υπόλοιπων νευρικών κυττάρων του οπτικού συστήματος. Οι ηλεκτροφυσιολογικές εξετάσεις, είναι οι εξής: 1. Προκλητό από διάχυτο φως ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, 2. Εστιακό ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, 3. Πολυεστιακό ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, 4. Προκλητό από ερέθισμα ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, 5. Οπτικά προκλητά δυναμικά ινιακού λοβού και 6. Ηλεκτροοφθαλμογράφημα (Robson, και συν., 2018). Τα σήματα δημιουργούνται από ειδικά διαμορφωμένα φωτεινά ερεθίσματα που τοποθετούνται μπροστά από τον οφθαλμό. Μέσα από τις δομές του οφθαλμού, όπως είναι το υαλοειδές και ο πρόσθιος θάλαμος, τα παραγόμενα δυναμικά ενέργειας μεταφέρονται στον κερατοειδή. Τα δυναμικά ενέργειας καταγράφονται από ηλεκτρόδια που έχουν τοποθετηθεί στους οφθαλμούς, στο περικογχικό δέρμα ή στο τριχωτό της κεφαλής.

**ΠΡΟΚΛΗΤΟ ΑΠΟ ΔΙΑΧΥΤΟ ΦΩΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ****(Full Field Electroretinogram - ffERG)**

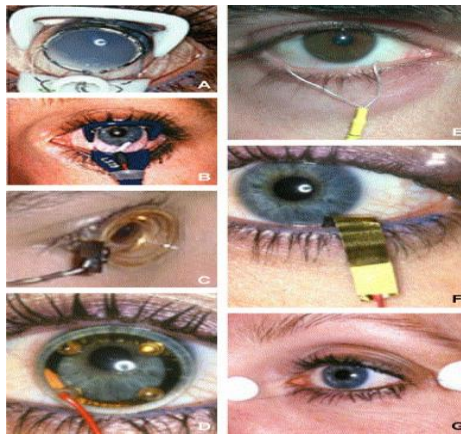
Το προκλητό από διάχυτο φως ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, συνιστά μια διαγνωστική εξέταση, η οποία καταγράφει την ηλεκτρική διέγερση του αμφιβληστροειδή σε συγκεκριμένο φωτεινό ερέθισμα. Αποτελεί τη μονή διαγνωστική εξέταση, κατά την οποία μπορεί να απομονωθεί και να καταγραφεί η δραστηριότητα που γεννιάται αποκλειστικά από τα κωνία. Για την διενέργεια της συγκεκριμένης εξέτασης, η κόρη θα πρέπει να είναι τα μέγιστα μηδριασμένη. Επειδή τοποθετείται στη οφθαλμική επιφάνεια ένα ηλεκτρόδιο, είναι απαραίτητη η χρήση αναισθητικών σταγόνων, έτσι ώστε να ελαττωθεί η αίσθηση του ξένου σώματος. Συχνά, χρησιμοποιείται και ένας βλεφαροδιαστολέας, για να μην ανοιγοκλείσει ο εξεταζόμενος τα μάτια του και μετακινηθεί το ηλεκτρόδιο από τη θέση του. Καθ' όλη τη διάρκεια της εξέτασης, και ανά τακτά χρονικά διαστήματα, θα πρέπει να γίνεται ενστάλαξη ενυδατικών σταγόνων στον οφθαλμό, μιας και αυτός βρίσκεται εκτεθειμένος στο περιβάλλον. Τέλος, είναι αναγκαίο στην αίθουσα εξέτασης να επικρατούν σκοτοπικές συνθήκες και να απουσιάζουν ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν παρεμβολές στα ηλεκτρόδια, καθώς αυτά είναι εξαιρετικά ευαίσθητα.

**Ηλεκτρόδια**

Για την καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια. Τρεις διαφορετικοί τύποι ηλεκτροδίων τοποθετούνται στον ασθενή, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένο σκοπό. Αυτά είναι: 1. Τα ηλεκτρόδια καταγραφής, 2. Τα ηλεκτρόδια αναφοράς και 3. Τα ηλεκτρόδια γείωσης.

Αρχικά, υπάρχουν τα ηλεκτρόδια που καταγράφουν το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από τις δομές του αμφιβληστροειδούς. Αυτά, τοποθετούνται στον οφθαλμό που πρόκειται να εξεταστεί και είναι συνδεδεμένα με τον

θετικό πόλο που βρίσκεται στο μηχάνημα καταγραφής. Πολλών ειδών ηλεκτρόδια έχουν αναπτυχθεί για την καταγραφή των δυναμικών. Ειδικότερα, υπάρχουν τα ηλεκτρόδια που "αγκαλιάζουν" τον κερατοειδή. Πρόκειται για ειδικά κατασκευασμένους φακούς επαφής (πχ Burian-Allen), που φέρουν το ηλεκτρόδιο. Αποτελούν την ακριβέστερη μέθοδο συλλογής των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται στον επιπεφυκότα ( πχ DTL electrodes). Τέλος, λιγότερο διαδομένα, και σαφώς μειωμένης ακρίβειας, είναι τα ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην επιδερμίδα, και συγκεκριμένα στη περιοχή του κάτω βλεφάρου. Δεν ενδείκνυνται για εξετάσεις ρουτίνας. Αντίθετα, μπορούν να έχουν καλή εφαρμογή σε νεογνά και παιδιά μικρής ηλικίας. Οι άκρες των ηλεκτροδίων, μπορεί να έχουν το σχήμα θηλιάς, μυτερού άκρου ή αναδιπλωμένου φύλλου. Συνηθίζεται να είναι κατασκευασμένα από χρυσό ή ασήμι, μιας και αυτά τα μέταλλα προσφέρουν υψηλή αγωγιμότητα. Ο επόμενος τύπος ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται, είναι τα ηλεκτρόδια αναφοράς. Αυτά, είναι συνδεδεμένα με τον αρνητικό πόλο του οργάνου καταγραφής. Πολλές φορές, τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια, είναι ενσωματωμένα στους φακούς επαφής που τοποθετούνται στον οφθαλμό, και εφάπτονται στον επιπεφυκότα. Υπάρχουν και ως ανεξάρτητα ηλεκτρόδια, που τοποθετούνται στο δέρμα του εξεταζόμενου, και συγκεκριμένα στο άνω χέιλος του κόγχου. Στην περίπτωση που τοποθετούνται δερματικά ηλεκτρόδια, θα πρέπει να αποφεύγονται περιοχές όπου βρίσκονται μύες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές. Τέλος, ο τρίτος τύπος των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται, είναι τα ηλεκτρόδια της γείωσης, τα οποία είναι ξεχωριστά δερματικά ηλεκτρόδια, που τοποθετούνται συνήθεστερα στο αυτί ή στο μέτωπο του εξεταζόμενου.



**Εικόνα 2.1:** Τα ηλεκτρόδια καταγραφής. Τα A-D αφορούν ηλεκτρόδια κερατοειδούς, ενώ τα E-G ηλεκτρόδια επιπεφυκότα.

Για τη διέγερση του οφθαλμού, χρησιμοποιείται μια στροβοσκοπική συσκευή LED ή για μεγαλύτερη ακρίβεια και ομοιόμορφη κατανομή του φωτός, ένας διεγέρτης Ganzfeld (σφαίρα ευρέως πεδίου), ο οποίος προσφέρει ομοιόμορφη κατανομή του φωτός, σε όλη την περιοχή του οπτικού πεδίου. Έτσι, παράγονται φωτεινά ερεθίσματα λευκού ή χρωματιστού φωτός, τα οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνούν σε διάρκεια τα 5ms.

Συμφώνα με το ISCEV ( International Society for Clinical Electrophysiology of Vision) η εξέταση χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες. Η πρώτη, είναι η σκοτοπική φάση της εξέτασης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι, πριν την έναρξή της, ο εξεταζόμενος να έχει παραμείνει, σε σκοτοπικές συνθήκες για τουλάχιστον 20 λεπτά. Η εξέταση στις σκοτοπικές συνθήκες (Dark Adapted conditions) χωρίζεται σε τρεις φάσεις, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- Φωτεινό ερέθισμα ισχύος  $0.01 \text{ cd s m}^{-2}$  (DA 0.01) το οποίο αποσκοπεί στην διέγερση των δίπολων κυττάρων που ενεργοποιούνται από τα ραβδία. Η ελάχιστη χρονική διάρκεια μεταξύ των αναλαμπών, είναι 2 sec.
- Φωτεινό ερέθισμα ισχύος  $3 \text{ cd s m}^{-2}$  (DA 3.0) το οποίο αποσκοπεί στην συνδυαστική διέγερση φωτούποδοχέων και δίπολων κυττάρων και από τα ραβδία και από τα κωνία. Θα πρέπει να υπάρχει ένα διάστημα τουλάχιστον 10 sec, μεταξύ των αναλαμπών.
- Φωτεινό ερέθισμα ισχύος  $10 \text{ cd s m}^{-2}$  (DA 10.0) το οποίο αποσκοπεί επίσης στην συνδυαστική απόκριση των φωτούποδοχέων. Ενισχύεται το α-κύμα, που αντικατοπτρίζει την λειτουργία τους. Θα πρέπει να υπάρχει ένα διάστημα τουλάχιστον 20 sec, μεταξύ των αναλαμπών.

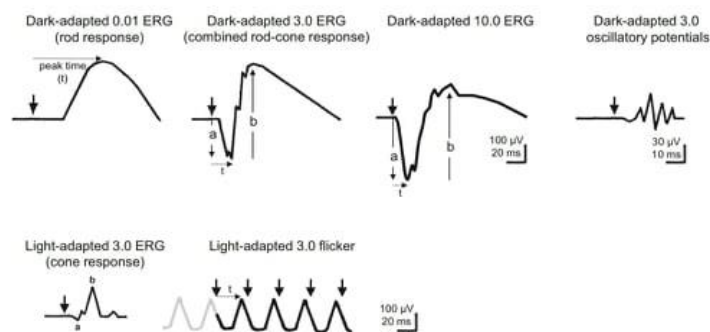
Οι λάμπες DA 3.0 και DA 10.0 όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ενεργοποιούν ερεθίσματα τόσο από τα ραβδία, όσο και από τα κωνία, παρ' όλα αυτά, σε έναν φυσιολογικό αμφιβληστροειδή, η συμβολή των ραβδίων, κυριαρχεί, στην καταγραφή της διέγερσης. Τέλος, υπάρχουν τα δυναμικά ταλάντωσης (Oscillatory Potentials - OP) τα οποία είναι συνήθως ορατά στα ανώτερα όρια του b-κύματος των DA 3.0 και DA 10.0 ερεθισμάτων. Αυτά, αντιστοιχούν στην ενεργοποίηση των αμακρυνων κυττάρων και εντοπίζονται ως μικρά συνεχή κύματα.

Ακολούθως, ο εξεταζόμενος εκτίθεται σε φωτοπικές συνθήκες για διάστημα περίπου 10 λεπτών. Η λαμπρότητα που εκπέμπει ο διεγέρτης Ganzfeld, καθ' όλη τη διάρκεια των 10 λεπτών, είναι προκαθορισμένος, και συγκεκριμένα, αντιστοιχεί σε 30 cd/m. Έπειτα, ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

- Διπλό φωτεινό ερέθισμα ισχύος  $3 \text{ cd s m}^{-2}$  (LA 3.0) το οποίο αποσκοπεί στην γενικότερη διέγερση του συστήματος λειτουργίας των κωνίων. Τα a-κύματα, προέρχονται από δυο πηγές: από τα κωνία, καθώς και από τα ανασταλτικά δίπολα κύτταρα. Από την άλλη, τα b-κύματα, προέρχονται από τα διεγερτικά και ανασταλτικά δίπολα κύτταρα.
- Στιγμιαίο τρεμόπαιγμα συχνότητας 30 Hz (LA 30) το οποίο αποσκοπεί στη διέγερση της οδού που ακολουθεί το ερέθισμα, όταν αυτό ενεργοποιείται από τα κωνία, μιας και τα ραβδία δεν ενεργοποιούνται καθόλου από αυτό το ερέθισμα. Μια φωτεινή λάμψη ισχύος  $3 \text{ cd s m}^{-2}$  που επαναλαμβάνεται με συχνότητα 30 αναλαμπών ανά δευτερόλεπτο είναι αυτή που ενεργοποιεί τα κωνία.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Τα τρία πιο σημαντικά στοιχεία που αποτυπώνονται σε ένα προκλητό από διάχυτο φως ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα είναι: το a-κύμα, το b-κύμα και το c-κύμα. Έχουν εξαιρετική σημασία στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, και δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την κλινική εικόνα του εξεταζόμενου. Πιο αναλυτικά, οι Granit και Riddell απέδειξαν ότι τα κύματα του προκλητού από διάχυτο φως ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος, αποτελούν συνιστώσες τριών δυναμικών: του P-I, P-II και P-III. Από την ανάλυση αυτή, γνωρίζουμε ότι το αρνητικό a-κύμα, είναι η αιχμή του P-III δυναμικού, το b-κύμα, αποτυπώνεται από τον συνδυασμό των P-II και P-III ενώ τέλος, το καθυστερημένο c-κύμα, είναι ο συνδυασμός των P-I και P-III. Το P-I είναι ένα βραδέως αναπτυσσόμενο δυναμικό που δημιουργείται από το αμφιβληστροειδικό μελάγχρουν επιθήλιο ενώ το P-II, είναι ένα θετικό ενδοαμφιβληστροειδικό δυναμικό που δημιουργείται κυρίως από τα δίπολα κύτταρα. Το P-III είναι το δυναμικό που πηγάζει από την λειτουργία των φωτοϋποδοχέων. Μπορεί να διααιρεθεί σε δυο επιμέρους τμήματα, ένα γρήγορο και ένα αργό. Το γρήγορο αντιστοιχεί στη χρονική διάρκεια που απαιτείται για το κλείσιμο των καναλιών  $\text{Na}^+$  που βρίσκονται στους φωτοϋποδοχείς, ενώ το αργό, αντιστοιχεί στην υπερπόλωση των κυττάρων του Muller.



**Εικόνα 2.2:** Η κυματική απεικόνιση των ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφημάτων

Στις μονοσήμαντες διεγέρσεις, το ύψος και το πλάτος των a-κυμάτων και b-κυμάτων, μετρώνται όταν αυτά αποτυπώνονται στα αποτελέσματα. Το πλάτος του a-κύματος, μετριέται (σε  $\mu\text{V}$ ) από την μέση της βασικής γραμμής που εμφανίζεται στα αποτελέσματα πριν ξεκινήσει η δημιουργία του (ισοηλεκτρική γραμμή), έως το κατώτατο σημείο του a-κύματος. Το πλάτος του b-κύματος, μετριέται από το κατώτατο όριο του a-κύματος, μέχρι το ανώτερο σημείο του επόμενου κύματος. Ο χρόνος αιχμής των δυο αυτών κυμάτων, είναι άμεσα συνδεδεμένος με την χρονική διάρκεια που

έχει το φωτεινό ερέθισμα. Στα δυναμικά ταλάντωσης (OP), η μέτρηση των κυμάτων αποτελεί αντικείμενο μεγάλης συζήτησης. Αυτό συμβαίνει, επειδή χρησιμοποιούνται διαφορετικά μοντέλα απομόνωσης των συγκεκριμένων κυμάτων, από τα υπόλοιπα του ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος. Συνήθεστερα, υπάρχουν τρία βασικά θετικά κύματα, ενώ ακολουθεί ένα τέταρτο, ελαφρώς μικρότερο. Η ερμηνεία τους, γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες που φέρει το εκάστοτε όργανο καταγραφής. Στις επαναλαμβανόμενες διεγέρσεις που συμβαίνουν κατά το τρεμόπαιγμα του φωτεινού ερεθίσματος, το πλάτος του κύματος μετριέται από το κατώτερο σημείο, έως την κορυφή του. Σε αυτή την περίπτωση, μάς δίνεται η δυνατότητα καταγραφής μεγάλου πλήθους κυμάτων, και υπολογισμού του μέσου όρου του πλάτους. Τέλος, το πηλίκο του κλάσματος b-/a- κύματος, που αντιστοιχεί τα ύψη τους, έχει επίσης σημαντική κλινική σημασία.

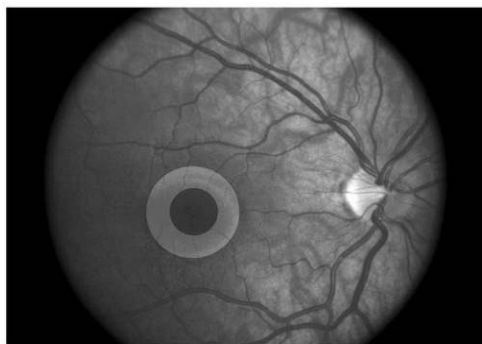
Focal ERG (fERG) - Εστιακό Ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα

Multifocal ERG (mfERG) – Πολυεστιακό Ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα

Τα συνήθη όργανα που χρησιμοποιούνται από το προκλητό από διάχυτο φως ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα (ffERG), καταγράφουν όλη την ηλεκτρική διέγερση από τη συνολική επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ανάλογα με την εξέταση, μπορεί να απομονωθεί και να καταγραφεί ξεχωριστά, η λειτουργία των κωνίων ή των ραβδίων. Η συγκεκριμένη διαδικασία, δεν παρέχει όμως τη δυνατότητα εντοπισμού τοπικής δυσλειτουργίας σε κάποιες από τις παραπάνω στιβάδες. Γι αυτό το σκοπό, έχει αναπτυχθεί το Εστιακό (fERG) και το πολυεστιακό Ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα (mfERG).

### **ΕΣΤΙΑΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Focal Electroretinogram - fERG)**

Το εστιακό ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, χρησιμοποιεί ένα εστιασμένο φωτεινό ερέθισμα με σκοπό να διεγείρει τοπικά την περιοχή που εξετάζεται. Χρησιμοποιείται κυρίως, για τον έλεγχο της λειτουργίας των κωνίων του κεντρικού βοθρίου του αμφιβληστροειδούς. Η προετοιμασία του ασθενούς πριν την εξέταση, είναι παρόμοια με αυτή που γίνεται πριν το ffERG. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται, είναι επίσης κοινά, και η θέση που τοποθετούνται είναι ακριβώς ίδια με το ffERG. Ο διεγέρτης εκπέμπει ένα φωτεινό τρεμόπαιγμα, λευκού χρώματος και κυκλικού σχήματος, με συχνότητα 30-42 Hz. Η διάρκεια έκθεσης της εξεταζόμενης περιοχής στο φωτεινό ερέθισμα, θα πρέπει να είναι τόση, ώστε να εξασφαλιστούν μερικές εκατοντάδες διεγέρσεις, καθώς η τοπική ηλεκτρική διέγερση των κωνίων, είναι εξαιρετικά χαμηλής ισχύος. Είναι σημαντικό, να μην υπάρξει διέγερση των φωτοϋποδοχέων που βρίσκονται εκτός της περιοχής που εξετάζεται. Για την αποφυγή αυτού, η κυκλική φωτεινή δέσμη, περιβάλλεται από έναν δακτύλιο φωτός, σταθερής έντασης και που έχει μεγαλύτερη ένταση από αυτή του διεγέρτη, απομονώνοντας έτσι την εξεταζόμενη περιοχή. Ένα άμεσο οφθαλμοσκόπιο, προσφέρει πλήρη εικόνα του αμφιβληστροειδούς, και επιτρέπει στον εξεταστή να κατευθύνει την πηγή εκπομπής ακριβώς πάνω από την περιοχή που εξετάζεται. Ο εξεταζόμενος εστιάζει καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας σε συγκεκριμένο σημείο. Όταν πρόκειται να εξεταστεί περιοχή της ωχράς τότε εστιάζει απευθείας στην πηγή.



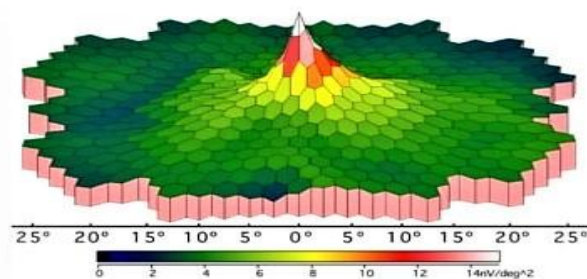
*Εικόνα 2.3: Το εστιασμένο φωτεινό τρεμόπαιγμα του fERG. Διακρίνεται ο φωτεινός δακτύλιος σταθερής έντασης*



## ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Multifocal Electroretinogram - mfERG)

Το πολυεστιακό ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, αποτελεί μια ηλεκτροφυσιολογική εξέταση. Η κύρια κλινική εφαρμογή της, επιτρέπει τον ταυτόχρονο έλεγχο πολλαπλών διακριτών περιοχών όπως η ωχρά, η περιωχρική περιοχή και ο περιφερειακός αμφιβληστροειδής και ο εντοπισμός βλαβών σε αυτές τις περιοχές. Συσχετίζοντας τα πολλαπλά ερεθίσματα που καταγράφονται από την περιοχή που εξετάζεται, δημιουργείται ένας τοπογραφικός τρισδιάστατος χάρτης. Η μέθοδος αναπτύχθηκε καθώς η κλασική fERG είναι εξαιρετικά χρονοβόρος, μιας και η fERG εξετάζει μια περιορισμένη περιοχή κάθε φορά, και ο έλεγχος του συνόλου της αμφιβληστροειδικής επιφάνειας απαιτεί πολλές μετρήσεις. Η προετοιμασία του εξεταζόμενου, είναι παρόμοια με αυτή της full-field ERG. Η κόρη θα πρέπει να έχει διασταλεί πλήρως με τη χρήση μηδριατικών, και τα διάφορα ηλεκτρόδια να έχουν τοποθετηθεί στις σωστές θέσεις καταγραφής. Ομοίως με το focal- ERG, το πολυεστιακό ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα (mfERG), καταγράφει τη δραστηριότητα του αμφιβληστροειδή, που πηγάζει από την διέγερση των κωνίων κάτω από φωτοπικές συνθήκες. Μολονότι το mfERG μπορεί να καταγράψει τη λειτουργία των ραβδίων, στην πράξη είναι δύσκολο, αφού είναι αδύνατο να διατηρηθούν σκοτοπικές συνθήκες κατά την εξέταση. Καθώς οι απαντήσεις του ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος, σε φωτοπικές συνθήκες, σταθεροποιούνται μετά από 15 λεπτά, πρέπει ο οφθαλμός να προσαρμοστεί για αυτά τα λεπτά σε συνθήκες συνήθη φωτισμού.

Με την mfERG τεχνική, συνηθέστερα 61 ή 103 ηλεκτροαμφιβληστροειδικά σήματα συλλέγονται από την στιβάδα του αμφιβληστροειδή. Πρόκειται για ερεθίσματα που προέρχονται από τα κωνία, κάτω από φωτοπικές συνθήκες και καλύπτουν ένα εύρος  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$  της περιοχής της ωχράς κηλίδας. Έτσι, γίνεται εφικτή η αποτύπωση πολλών διακριτών περιοχών του οπίσθιου πόλου του αμφιβληστροειδούς και η τοπογραφική αναπαράστασή τους. Ως εκ τούτου, εντοπίζεται με μεγάλη ακρίβεια η δραστηριότητα του αμφιβληστροειδούς σε συγκεκριμένο χώρο. Τα ερεθίσματα εμφανίζονται μέσα από 61 ή 103 εξάγωνα. Το κάθε εξάγωνο, μπορεί να φέρει δυο εικόνες: μια λευκή και μια μαύρη. Η συγκεκριμένη εναλλαγή εικόνων, γίνεται πολύ γρήγορα και είναι κατευθυνόμενη από μια προκαθορισμένη «ψευδοτυχαία» δυαδική ακολουθία ( m-ακολουθία/ m-sequence) μέσω υπολογιστή. Οι συγκεκριμένες ακολουθίες είναι παρόμοιες για κάθε ένα εξάγωνο, αλλά είναι χρονικά μετατοπισμένες μεταξύ τους και μαθηματικά πλήρως ανεξάρτητες. Στη συνέχεια, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που διασταυρώνει τον συσχετισμό της ακολουθίας λευκής/μαύρης εικόνας (m-ακολουθίας) με το καταγεγραμμένο από το μηχάνημα σήμα, επιτρέπει την εξαγωγή και αποτύπωση των αποτελεσμάτων του ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος. Καθ' όλη της διάρκεια της εξέτασης, ο αριθμός των εξαγώνων που είναι λευκοί και ο αριθμός των εξαγώνων που είναι μαύροι είναι περίπου ίσος. Αυτό, βοηθάει στη διατήρηση μιας σταθερής προσαρμογής.



*Εικόνα 2.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός φυσιολογικού πολυεστιακού ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος*

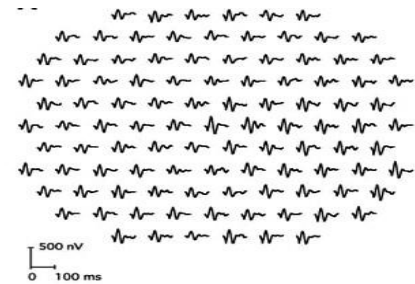
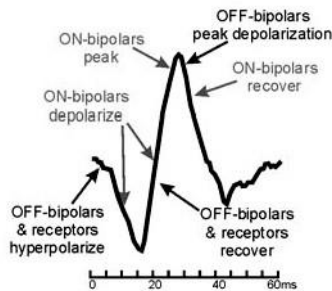
Διεγέρτης

Για τη διέγερση του οφθαλμού, χρησιμοποιείται μια ειδικά διαμορφωμένη οθόνη, η οποία εμφανίζει 61 ή 103 εξάγωνα. Συνήθως είναι οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD οθόνες), τύπου λεπτού φιλμ τρανζίστορ (TFT οθόνες) ή

οθόνες οργανικών φωτιστικών (OLED οθόνες). Ο κάθε τύπος προβολής, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική αποτύπωση των αποτελεσμάτων, αλλάζοντας το μήκος και το πλάτος των κυμάτων που καταγράφονται. Γι' αυτό το λόγο, είναι σημαντική η αναφορά της εκάστοτε οθόνης που χρησιμοποιείται για την εξέταση. Η συχνότητα εναλλαγής των εικόνων στα εξάγωνα, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 60 και 70 Hz. Είναι απαραίτητο να αναφέρεται στο μηχανήμα καταγραφής η συχνότητα αλλαγής, καθώς διαφορετικές συχνότητες, μπορούν επίσης να επιφέρουν αλλαγές στην εικόνα του ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος. Η φωτεινότητα των ερεθισμάτων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 cd/m<sup>2</sup>. Επίσης, η περιοχή που δεν εκτίθεται στο ερέθισμα, θα πρέπει να δέχεται φωτεινότητα η οποία θα ισούται με τη μέση φωτεινότητα του ερεθίσματος. Κομβικής σημασίας, είναι και το σημείο προσήλωσης. Πρόκειται για το σημείο όπου θα πρέπει να εστιάζει συνεχώς ο ασθενής. Συνήθως τα συστήματα διαθέτουν κουκίδες ή σταυρούς οι οποίοι είναι αναγκαίο να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο μέγεθος, ώστε να μην επηρεάζουν τα αποτελέσματα.

## Παράμετροι καταγραφής

**Χρονική διάρκεια:** Για την καταγραφή των αποτελεσμάτων στους πίνακες που φέρουν 61 εξάγωνα, απαιτείται χρόνος μεγαλύτερος των 4 λεπτών, ενώ για τους πίνακες που περιέχουν 103 εξάγωνα, θα πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 8 λεπτά. Τα εξάγωνα που βρίσκονται κεντρικά, είναι μικρότερα, ενώ εκείνα της περιφέρειας του σχήματος, είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος. Μολονότι η ύπαρξη μιας μικρής διαθλαστικής ανωμαλίας συνήθως δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα του mfERG, χρειάζεται σωστή διάθλαση των εξεταζόμενων πριν την έναρξη της διαδικασίας, καθώς οι στόχοι πρέπει να είναι ευδιάκριτοι.



**Εικόνα 2.4:** (α) Η προέλευση της πρώτης τάξης κυμάτων,

(β) Φυσιολογικό mfERG όπου διακρίνονται τα κύματα

## Ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, τα αποτελέσματα του mfERG δεν αποτελούν άμεσες καταγραφές των διεγέρσεων, αλλά είναι συνέπεια μαθηματικής επεξεργασίας. Η πρώτη τάξης "απόκριση", γνωστή και ως πρώτη τάξης Κέρνελ (K<sub>1</sub>) (first-order Kernel) του κάθε εξαγώνου, εξάγεται προσθέτοντας τα ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματα που έρχονται από τα λευκά σημεία, αφαιρώντας όμως όλα τα καταγεγραμμένα ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματα από τις μαύρες περιοχές. Η κυματική απεικόνιση της απόκρισης, απαρτίζεται από ένα αρχικό αρνητικό μέρος (N1), ακολουθεί ένα θετικό μέρος (P1) και στη συνέχεια ένα δεύτερο αρνητικό μέρος (N2). Η πηγή των διεγέρσεων είναι ένας συνδυασμός επικαλυπτόμενων υπερπολωτικών και εκπολωτικών δίπολων κυττάρων (On- and Off- bipolar cells). Το ύψος του N, σε κάθε μια μονάδα αμφιβληστροειδικής περιοχής, μετριέται από την ισοηλεκτρική γραμμή έως το κατώτερο σημείο που φτάνει το N1. Αντίστοιχα, σε κάθε μονάδα αμφιβληστροειδικής περιοχής, το ύψος του P1 μετριέται από το κατώτερο σημείο του N1 έως το υψηλότερο σημείο του κύματος. Οι κυματικές μορφές που αναφέρθηκαν, αν και έχουν μια σύνδεση με τα α-κύματα και β-κύματα του fERG δεν μπορούν να θεωρηθούν ταυτόσημα σήματα. Αξίζει να σημειωθεί, πως υπάρχει και η δεύτερης τάξης "απόκριση" (second-order Kernel) η οποία δεν είναι πραγματική καταγραφή, αλλά προκύπτει μέσα από μαθηματικούς υπολογισμούς και δεν έχει διερευνηθεί πλήρως η κλινική της σημασία. Στην τρισδιάστατη απεικόνιση ενός φυσιολογικού mfERG, υπάρχουν δύο σημεία που έχουν ιδιαίτερη αξία. Το πρώτο είναι το τυφλό σημείο. Είναι μια χαρακτηριστική κοίλωση που παρατηρείται σε συγκεκριμένη θέση. Το δεύτερο είναι η περιοχή που αντιστοιχεί στο κεντρικό βοθρίο του αμφιβληστροειδούς. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, καθώς διακρίνεται ως το υψηλότερο σημείο του τρισδιάστατου σχήματος.



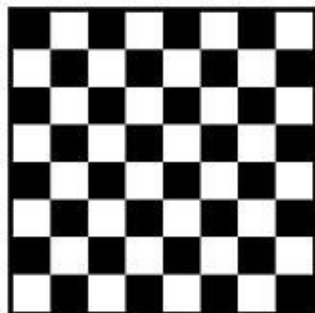
## **ΠΡΟΚΛΗΤΟ ΑΠΟ ΕΡΕΘΙΣΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΟΓΡΑΦΗΜΑ (Pattern Electroretinogram - PERG)**

Το προκλητό από ερέθισμα ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα είναι η ηλεκτροφυσιολογική απόκριση που λαμβάνεται καθώς διεγείρονται περιοχές του αμφιβληστροειδή. Ως διεγέρτης του συγκεκριμένου σήματος, χρησιμοποιείται ένα πλαίσιο που μοιάζει με μια ασπρόμαυρη σκακιέρα. Αυτό αποσκοπεί στην διατήρηση σταθερής φωτεινότητας καθ' όλη τη διάρκεια της εξέτασης. Μέσω του PERG, δίνεται η δυνατότητα καταγραφής της λειτουργίας των περιοχών της ωχράς καθώς και της λειτουργίας των γαγγλιακών κυττάρων του αμφιβληστροειδή. Το PERG μπορεί να αποτυπώσει την δραστηριότητα τόσο των φωτοϋποδοχέων, οι οποίοι ανταποκρίνονται στην αλλαγή της φωτεινότητας που προκύπτει μέσα από την εναλλαγή του πίνακα, όσο και την απόκριση των γαγγλιακών κυττάρων που δέχονται την εναλλασσόμενη αυτή απάντηση. Αντίθετα με το PERG, το ffERG καταγράφει την απόκριση που οφείλεται σε απότομη αλλαγή της φωτεινότητας που δέχεται ο αμφιβληστροειδής.

Κατά την εξέταση, ο ασπρόμαυρος πίνακας περιοδικά αναστρέφεται και τη θέση του λευκού τετραγώνου παίρνει ένα μαύρο τετράγωνο, και αντίστροφα. Ο πίνακας, δημιουργεί συγκεκριμένα ερεθίσματα που παράγονται από τη στιβάδα των γαγγλιακών κυττάρων, στα οποία φτάνει το δυναμικό που δημιουργείται στους φωτοϋποδοχείς. Καθώς ο πίνακας τοποθετείται σε τέτοια θέση, ώστε να εξετάζεται κάθε φορά συγκεκριμένη περιοχή του αμφιβληστροειδούς (σε αντίθεση με τη fERG), η PERG μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης λειτουργίας της ωχράς αλλά και της ακεραιότητας των φωτοϋποδοχέων, των δίπολων και των γαγγλιακών κυττάρων. Τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται είναι της τάξης των 2-8  $\mu\text{V}$ , καθιστώντας έτσι την καταγραφή τους εξαιρετικά δύσκολη και απαιτητική. Επίσης, το χαμηλής έντασης ερέθισμα, αναγκάζει τον εξεταστή να καταγράψει μεγάλο πλήθος μετρήσεων, έτσι ώστε να απομονωθεί η σχετική απάντηση. Η συγκεκριμένη εξέταση δεν απαιτεί διαστολή της κόρης. Ο εξεταζόμενος απαιτείται να έχει την μέγιστη δυνατή οπτική οξύτητα γι' αυτό και μπορεί να φέρει διορθωτικούς φακούς κατά την διαδικασία.

### Ηλεκτρόδια

Όπως σε κάθε ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα, έτσι και στο PERG χρησιμοποιούνται 3 είδη ηλεκτροδίων: τα ηλεκτρόδια καταγραφής, τα ηλεκτρόδια αναφοράς και τα ηλεκτρόδια της γείωσης. Εδώ, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, τα ηλεκτρόδια που υποβαθμίζουν την ποιότητα του αμφιβληστροειδούς, όπως είναι τα ηλεκτρόδια φακών επαφής, θα πρέπει να αποφεύγονται για ηλεκτρόδια καταγραφής της συγκεκριμένης εξέτασης. Επιπρόσθετα, ούτε τα ενεργά ηλεκτρόδια που εφάπτονται στην επιδερμίδα χρησιμοποιούνται ευρέως στο PERG. Ο λόγος είναι ότι τα συγκεκριμένα, θα καταγράψουν δυναμικά πολύ χαμηλότερου πλάτους, σε σύγκριση με τα ηλεκτρόδια που έρχονται σε επαφή με το μάτι. Αντ' αυτού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια που έρχονται σε επαφή με τον βολβικό επιπεφυκότα ή με την επιφάνεια του κερατοειδή. Η σωστή τοποθέτηση των εκάστοτε ηλεκτροδίων, σύμφωνα με τις οδηγίες τους, είναι εξαιρετικά σημαντική για την ορθή ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εξέτασης.



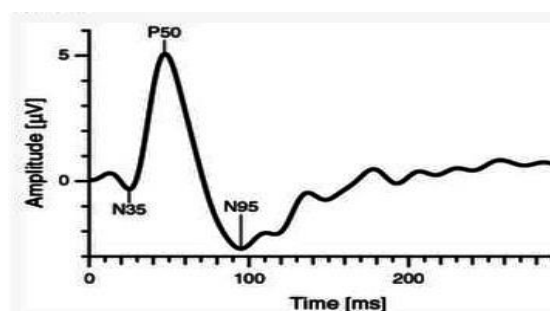
*Εικόνα 2.5: Ο πίνακας που χρησιμοποιείται ως διεγέρτης*

### Διεγέρτης

Πρόκειται για έναν πίνακα που περιέχει ισομεγέθη ασπρόμαυρα σχήματα, όμοια με αυτά μιας σκακιέρας. Το πλάτος για κάθε ένα ξεχωριστό σχήμα είναι  $0.8^\circ$  ( με μια απόκλιση  $\pm 0.2^\circ$ ) και το σχήμα, είναι τετράγωνο (με μια απόκλιση  $\pm 5\%$ ). Δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί τετράγωνο πεδίο ερεθίσματος αλλά η αναλογία των διαστάσεων που θα φέρει ο πίνακας, οφείλει να είναι μεταξύ 4:5 και 1:1. Το ερέθισμα είναι δύσκολο να αποτυπωθεί σε χαμηλά επίπεδα φωτεινότητας. Γι' αυτό το λόγο, θα πρέπει να υπερβαίνει τα  $80 \text{ cd m}^{-2}$ . Σε όλη τη διάρκεια της εναλλαγής, η μέση φωτεινότητα παραμένει σταθερή. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιούνται κλασικοί CRT διεγέρτες (Καθοδικοί Σωλήνες). Σχεδόν το σύνολο οθονών LCD (Υγρών Κρυστάλλων) είναι ακατάλληλοι για αυτή την εξέταση. Αιτία αυτού, είναι πως κατά την περιστροφή του πίνακα, συμβαίνουν αλλαγές στον συγκεκριμένο τύπο οθόνης, που αλλοιώνουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Οι συνθήκες φωτισμού στον χώρο της εξέτασης είναι ελάχιστος σημασίας. Έτσι, ο χώρος μπορεί να έχει τον συνήθη φωτισμό δωματίου, με την προϋπόθεση ότι αυτός δεν θα έρχεται σε άμεση επαφή με τον οφθαλμό του εξεταζόμενου. Η αντίθεση μεταξύ λευκών και μαύρων τετραγώνων του πίνακα θα πρέπει να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο το 100%, με ελάχιστο ποσοστό το 80%. Τέλος, ένα σημείο προσήλωσης βοηθά τον εξεταζόμενο να εστιάσει στη σωστή κατεύθυνση και να παραμείνει σταθερός.

#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Υπάρχουν δυο τύποι προκλητού από ερέθισμα ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματος: Το παροδικό PERG και το σταθερό PERG. Η κυματομορφή του PERG εξαρτάται από την χρονική συχνότητα του ερεθίσματος. Το πρότυπο PERG σύμφωνα με τον ISCEV, είναι το παροδικό. Σε αυτό, το ερέθισμα ολοκληρώνεται πριν την επόμενη αναστροφή του πίνακα. Με αυτό τον τρόπο, ο αμφιβληστροειδής έχει τη δυνατότητα να επέλθει σε κατάσταση ηρεμίας, πριν δεχτεί το επόμενο ερέθισμα. Εδώ ο ρυθμός αναστροφής είναι μεταξύ 2 και 6 αναστροφών ανά δευτερόλεπτο, κάτι που αντιστοιχεί σε  $< 3 \text{ Hz}$ . Από την άλλη, στο σταθερό PERG ο ρυθμός αναστροφής είναι 10-16 αναστροφές ανά δευτερόλεπτο δηλαδή αντιστοιχεί σε συχνότητα  $> 5 \text{ Hz}$ . Η κυματομορφή του πρότυπου PERG φυσιολογικά, αποτελείται από αρνητικά (N) στοιχεία και από θετικά (P) στοιχεία. Τρία είναι αυτά που μπορούν να αναγνωριστούν. Αρχικά, αποτυπώνεται ένα αρνητικό σημείο, το οποίο έχει χρόνο αιχμής περίπου τα 35 ms (N35). Στη συνέχεια, ακολουθεί στα 45-60 ms ένα πολύ μεγαλύτερο θετικό στοιχείο (P50) και τέλος, ένα μεγάλο αρνητικό στοιχείο, στα 90-100 ms (N95). Τα πλάτη των κυμάτων, μετρώνται συνήθως μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων σημείων. Το N35 εντοπίζεται από την έναρξη της ισοηλεκτρικής γραμμής, έως το κατώτερο σημείο του N35. Για το P50, το εύρος εντοπίζεται μεταξύ του κατώτερου σημείου του N35 και της κορυφής του P50, ενώ το εύρος του N95 εντοπίζεται μεταξύ της κορυφής του P50 και του κατώτερου σημείου του N95. Γενικά, το P50 παράγεται από τα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδή, καθώς και από άλλα κύτταρα του και το N95 κυρίως από γαγγλιακά κύτταρα. Η διαφορετική φυσιολογική προέλευση των P50 και N95 επιτρέπει στο πρότυπο PERG να εντοπίζει τη διαφορά μεταξύ των διαταραχών που οφείλονται στην ωχρά και των διαταραχών που οφείλονται στο οπτικό νεύρο. Και στις δυο περιπτώσεις παρατηρείται σημαντική μείωση του N95, αλλά στις διαταραχές της ωχράς παρατηρείται και ταυτόχρονη μείωση του P50.

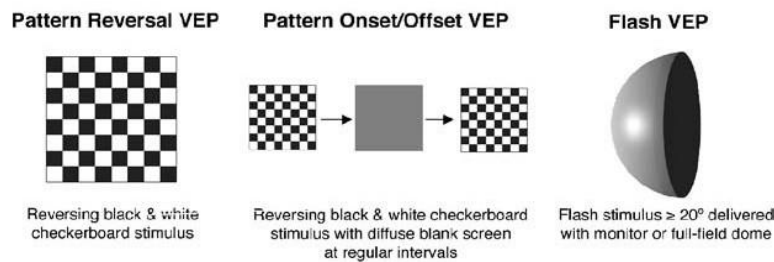


Εικόνα 2.6: Η κυματική απεικόνιση του παροδικού PERG

### **ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΙΝΙΑΚΟΥ ΛΟΒΟΥ (Visual Evoked Potential - VEP)**

Πρόκειται για τη μοναδική εξέταση που επιτρέπει την αξιολόγηση της οπτικής δραστηριότητας στην περιοχή του φλοιού του εγκεφάλου. Τα σήματα του εγκεφάλου που προκαλούνται από οπτικά ερεθίσματα καταγράφονται με τη

χρήση ειδικά διαμορφωμένων ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής και συγκεκριμένα στην ινιακή περιοχή. Παρέχονται πληροφορίες που αντικατοπτρίζουν την λειτουργία του συνόλου της οπτικής οδού. Ακριβώς αυτή η ιδιότητα, δεν επιτρέπει στο VEP να καταγράψει αλλοιώσεις που αφορούν ειδικές ανατομικές θέσεις της οδού. Τα προκλητά δυναμικά ινιακού λοβού είναι οπτικά ηλεκτροφυσιολογικά σήματα που εξάγονται από την ηλεκτροεγκεφαλογραφική δραστηριότητα στον οπτικό φλοιό. Καθώς ο οπτικός φλοιός διεγείρεται πρωτίστως από το οπτικό σύστημα, το VEP εξαρτάται από την λειτουργική ακεραιότητα της όρασης, σε όλη τη διαδρομή της: από τον αμφιβληστροειδή έως και την ταινιωτή περιοχή του οπτικού φλοιού. Το πρωτόκολλο καταγραφής σύμφωνα με τον ISCEV περιλαμβάνει ένα κανάλι-δίοδο καταγραφής με ένα ηλεκτρόδιο μέσης γραμμής. Υπάρχουν δυο βασικά είδη ερεθισμάτων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των αποτελεσμάτων. Αυτά είναι το pattern και το flash. Η κόρη του εξεταζόμενου δεν πρέπει να έχει διασταλεί με τη χρήση φαρμακευτικών ουσιών.



**Εικόνα 2.7:** Οι διεγέρτες των τριών VEP

Οι εξετάσεις που διενεργούνται, είναι οι εξής:

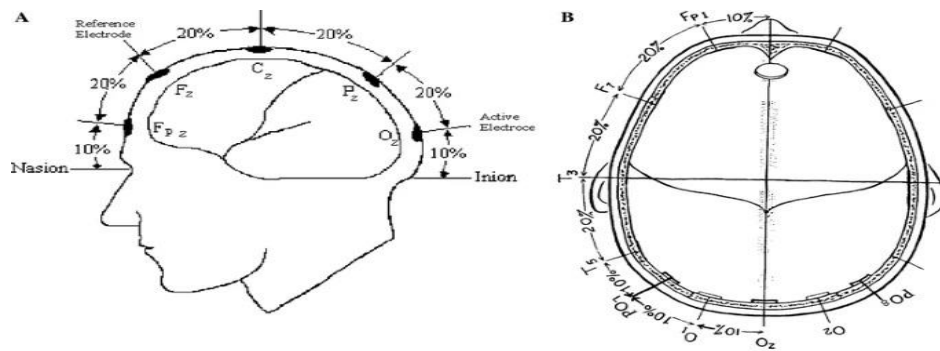
- Το pattern reversal VEP. Πρόκειται για έναν πίνακα που λειτουργεί ως διεγέρτης ο οποίος αναστρέφεται. Έχει υψηλή αντίθεση (άνω του 75%) και φωτεινότητα  $50 \text{ cd/m}^2$ . Ο πίνακας δίκην σκακιέρας αποτελείται από ίσο αριθμό ασπρόμαυρων τετραγώνων. Για την καταγραφή του VEP το μέγεθος των τετραγώνων μπορεί να είναι  $1^\circ$  και  $0.25^\circ$  και η διέγερση εμφανίζεται από μια οθόνη (CRT), η οποία τυπικά βρίσκεται σε απόσταση 50-150 cm. Η μέση φωτεινότητα της οθόνης μένει σταθερή κατά την αναστροφή. Ο αριθμός των αναστροφών είναι 2 αναστροφές ανά δευτερόλεπτο ( $\pm 0.2$  αναστροφές). Ο εξεταζόμενος πρέπει να έχει τη βέλτιστη οπτική οξύτητα με διόρθωση και να προσηλώνει σε προκαθορισμένο σταθερό σημείο πάνω στον πίνακα. Η φωτεινότητα εντός του χώρου εξέτασης, θα πρέπει να είναι παρόμοια με εκείνη που εκπέμπει ο πίνακας.
- Το pattern onset/offset VEP. Πρόκειται επίσης για έναν πίνακα που λειτουργεί ως διεγέρτης, ο οποίος αντιστρέφεται, μόνο που αυτή τη φορά, ο πίνακας διακόπτεται περιοδικά από μια κενή γκρι οθόνη. Ο πίνακας είναι ακριβώς ίδιος με αυτόν του pattern ενώ η γκρι οθόνη που εμφανίζεται έχει την ίδια φωτεινότητα με τη μέση φωτεινότητα της σκακιέρας. Για την επιτυχή εφαρμογή αυτής της διαδικασίας, οι οθόνες LCD πρέπει να είναι τροποποιημένες ενώ δυσκολία συναντούν και οι CRT οθόνες. Η χρονική διάρκεια εμφάνισης της σκακιέρας είναι 200 ms και ανακόπτεται από την εμφάνιση της γκρι οθόνης. Η διάρκεια εμφάνισης της γκρι οθόνης είναι 400 ms.
- Το flash VEP. Πρόκειται για μια στιγμιαία αύξηση φωτεινότητας που υποτονίζει ένα οπτικό πεδίο τουλάχιστον  $20^\circ$ . Η διάρκεια του φλας είναι μικρή ( $\leq 5 \text{ ms}$ ) και ο ρυθμός του φλας είναι 1 ανά δευτερόλεπτο. Η ισχύς του φωτεινού ερεθίσματος είναι  $3 \text{ cd s m}^{-2}$  που πηγάζει από έναν κλασικό διεγέρτη Ganzfeld ή μια χειροκίνητη στροβοσκοπική συσκευή. Οι συνθήκες φωτισμού εντός του εξεταστηρίου θα πρέπει να είναι χαμηλές.

Τυπικά, δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν και οι τρεις προαναφερθείσες εξετάσεις για την διάγνωση κάποιας ασθένειας. Σε πολλές περιπτώσεις, και μόνο μια από αυτές, δίνει επαρκείς ενδείξεις. Το pattern on/off VEP χρησιμοποιείται κυρίως σε ασθενείς με νυσταγμό, ενώ το flash VEP, είναι χρήσιμο σε ασθενείς με χαμηλή όραση ή σε ασθενείς με μειωμένη αντιληπτική ικανότητα.

## Ηλεκτρόδια

Για την καταγραφή των αποτελεσμάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων. Δερματικά ηλεκτρόδια, όπως τα αργύρου-χλωριούχου αργύρου ή χρυσοί δίσκοι συνιστώνται για την καταγραφή του VEP. Αξίζει να σημειωθεί πως θα πρέπει να έχει προηγηθεί κατάλληλη προετοιμασία στην περιοχή που θα τοποθετηθούν τα

ηλεκτρόδια. Η εφαρμογή ειδικής πάστας ή τζελ στην περιοχή που θα μείνει το ηλεκτρόδιο εξασφαλίζει την σταθερή και καλή ηλεκτρική σύνδεση. Τα ηλεκτρόδια του τριχωτού της κεφαλής, τοποθετούνται ανάλογα με τις ανατομικές θέσεις των οστών της κεφαλής, σύμφωνα με το μέγεθος της καθεμίας, ακολουθώντας το διεθνές σύστημα 10/20.

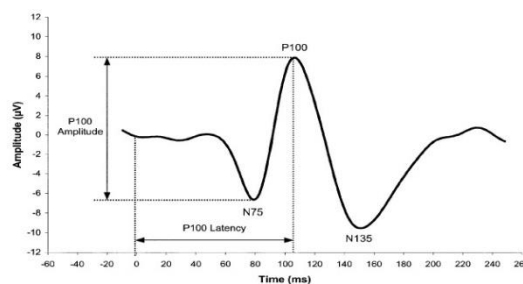


**Εικόνα 2.8:** Οι θέσεις των ηλεκτροδίων σύμφωνα με τον κανόνα 10/20.

Σημαντική παράμετρος για τη σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, είναι η καταγραφή της γραμμής που ενώνει την πρόσθια περιοχή του κρανίου με την οπίσθια. Το ενεργό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο τριχωτό της κεφαλής στην ινιακή περιοχή, πάνω στον οπτικό φλοιό (περιοχή Oz) με το ηλεκτρόδιο αναφοράς να τοποθετείται στην περιοχή Fz. Ένα ξεχωριστό ηλεκτρόδιο θα πρέπει να τοποθετηθεί και να συνδεθεί με τη γείωση. Τα συνήθη σημεία τοποθέτησης της γείωσης είναι το μέτωπο, η κορυφή Cz (βρέγμα) και οι λοβοί των αυτιών.

#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

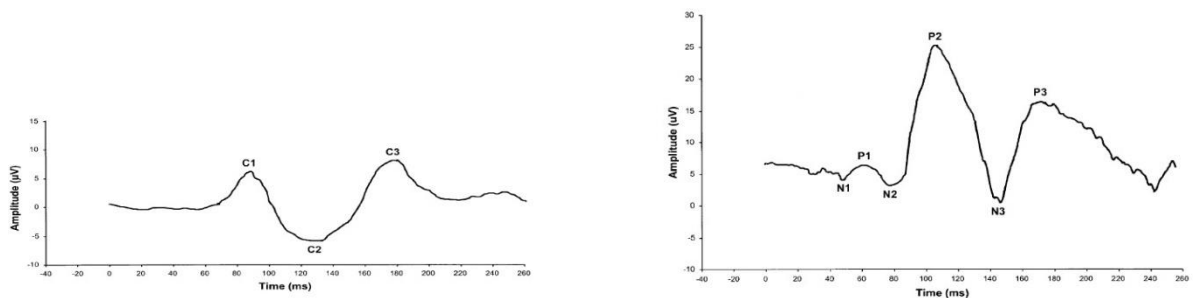
Ο ελάχιστος χρόνος ανάλυσης (διάρκεια σάρωσης μετά το ερέθισμα) στο flash και pattern reversal VEP στους ενήλικες είναι 250 ms. Για το on/off VEP η διάρκεια είναι 500 ms καθώς απαιτείται χρόνος για να αποτυπωθούν ερεθίσματα που προέρχονται τόσο από το τον πίνακα, όσο και από την γκρι οθόνη. Τα κύματα των προκλητών δυναμικών ινιακού λοβού είναι ηλικιακά εξαρτώμενα. Ως εκ τούτου, οι παρακάτω ερμηνείες, αφορούν τα τυπικά κύματα εξεταζόμενων μεταξύ 18-60 ετών. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του VEP δεν γίνεται χρήση του όρου “μήκος κύματος”, αλλά αντίστοιχα, χρησιμοποιείται ο όρος “χρόνος μέχρι την κορυφή του κύματος” ή “λανθάνων χρόνος”.



**Εικόνα 2.9:** Η κυματομορφή του pattern reversal VEP. Στην εικόνα διακρίνεται και ο τρόπος μέτρησης του λανθάνοντα χρόνου

Η κυματομορφή του pattern reversal VEP αποτελείται από τρία τμήματα θετικών (P) και αρνητικών (N) στοιχείων. Το πρώτο στοιχείο που συναντάται είναι το αρνητικό N75. Στη συνέχεια, υπάρχει ένα θετικό στοιχείο το P100. Το ύψος ενός pattern reversal VEP μετριέται μεταξύ της αρνητικής κορυφής N75 και της κορυφής του P100. Τέλος, εμφανίζεται το τελευταίο στοιχείο του κύματος, το αρνητικό N135. Ο χρόνος κορύφωσης του κάθε στοιχείου καταγράφεται από την στιγμή έναρξης της διέγερσης μέχρι το σημείο όπου καταγράφεται το έπαρμα. Η κυματομορφή του onset/offset αποτελείται από μια σειρά θετικών και αρνητικών στοιχείων εναλλάξ. Πιο συγκεκριμένα, αναγνωρίζονται με σειρά εμφάνισης, τα στοιχεία C1, C2 και C3. Η θετική κορυφή C1 έχει χρόνο κορύφωσης περίπου 75 ms, στο C2 ο χρόνος κορύφωσης είναι περίπου 125 ms και στο C3 150 ms. Το πλάτος κάθε κύματος, μετριέται από την προηγούμενη θετική

ή αρνητική κορυφή, μέχρι την επόμενη. Η εξέταση αυτή, είναι λιγότερη ευαίσθητη σε παράγοντες που δημιουργούν παρεμβολές, όπως είναι η κίνηση των ματιών ή η κακή στερέωση. Η κυματομορφή ενός τυπικού flash VEP αποτελείται από συνεχώς εναλλασσόμενα αρνητικά και θετικά στοιχεία. Το πρώτο στοιχείο, γίνεται ανιχνεύσιμο στα πρώτα 30 ms από την έναρξη του ερεθίσματος, ενώ στοιχεία συνεχίζουν να εντοπίζονται μέχρι και στα 300 ms. Οι κορυφές στο flash VEP καθορίζονται σύμφωνα με την αριθμητική τους ακολουθία. Αυτό βοηθάει στο διαχωρισμό των κυματομορφών του flash από το pattern reversal VEP. Τα πλέον αξιοσημείωτα και χαρακτηριστικά στοιχεία της συγκεκριμένης κυματομορφής, είναι τα N2 και P2. Το πλάτος του P2 λαμβάνεται από την προηγούμενη αρνητική κορυφή που είναι το N2 (στα 90 ms περίπου), έως την κορυφή του P2 (στα 120 ms). Μη φυσιολογικά VEP μπορούν να προκύψουν από πληθώρα οφθαλμολογικών ή και νευρολογικών προβλημάτων. Η ερμηνεία τους θα πρέπει να γίνεται σε σύγκριση με τα πρότυπα που έχει η κάθε εξέταση και με τα διόφθαλμα αποτελέσματα.



**Εικόνα 2.10:** (α) Η κυματική απεικόνιση του onset/offset VEP

(β) Η κυματική απεικόνιση του flash VEP

## **ΗΛΕΚΤΡΟΟΦΘΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑ (electro-oculography - EOG)**

Το ηλεκτροοφθαλμογράφημα αποτελεί μια ηλεκτροφυσιολογική εξέταση που ελέγχει την λειτουργία του μελάγχρου επιθηλίου του αμφιβληστροειδούς και της εξωτερικής στοιβάδας του αμφιβληστροειδούς. Αλλαγές στο δυναμικό του μελάγχρου επιθηλίου εντοπίζονται μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας. Πέραν όλων των άλλων λειτουργιών, το μελάγχρου επιθήλιο του αμφιβληστροειδούς είναι υπεύθυνο για την διατήρηση του δυναμικού ηρεμίας μεταξύ προσθίου και οπισθίου ημιμορίου του οφθαλμού. Το φωτεινό ερέθισμα που προσπίπτει στον οφθαλμό, επιφέρει αλλαγή στο συγκεκριμένο δυναμικό. Η αλλαγή αυτή, αποτελεί τη βάση του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος. Η διέγερση των φωτοϋποδοχέων, οδηγεί στην απελευθέρωση μιας ουσίας που αλληλεπιδρά με τη βασική μεμβράνη του μελάγχρου επιθηλίου. Συγκεκριμένα, η ουσία προκαλεί αύξηση της ενδοκυτταρικής συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου ( $Ca^{+2}$ ), το οποίο με τη σειρά του, οδηγεί στο άνοιγμα των ιοντικών διαύλων  $Cl^-$ . Δεν πρόκειται για ένα δυναμικό που παραμένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται, ακόμα και σε συνθήκες σταθερού φωτισμού. Σε συνθήκες σκότους, το δυναμικό αυτό μειώνεται για χρονικό διάστημα 8-10 λεπτών. Στα πρώτα 60-75 sec μετά την εμφάνιση του φωτεινού ερεθίσματος, καταγράφεται μια αρχική πτώση, έπειτα όμως, αντίστροφα με τις σκοτοπικές συνθήκες, το δυναμικό αυτό, αυξάνεται για χρονικό διάστημα 7-14 λεπτών. Υπάρχουν δυο διαφορετικές εξετάσεις που μπορούν να καταγράψουν το δυναμικό ηρεμίας του οφθαλμού: Το ηλεκτροοφθαλμογράφημα και αυτό της ταχείας ταλάντωσης. Οι κόρες των ματιών θα πρέπει να έχουν διασταλεί πριν την έναρξη της εξέτασης. Ο εξεταζόμενος οφείλει να γνωρίζει τη διαδικασία εξέτασης, καθώς και το γεγονός ότι θα μπορεί να κοιτάξει μόνο αριστερά και δεξιά κάθε φορά που θα ανάβει ένα από τα δυο φώτα. Ενδείκνυται η προσομοίωση των κινήσεων, κατά την σκοτοπική φάση της εξέτασης, έτσι ώστε να εξοικειωθεί ο εξεταζόμενος με την διαδικασία.

Ο ασθενής αρχικά εκτίθεται σε συνήθη φωτισμό δωματίου για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 30 λεπτών. Σε αυτή τη φάση, εξετάσεις που προϋποθέτουν υψηλής έντασης φωτισμό, καλό θα ήταν να αποφεύγονται. Έπειτα, η εξέταση χωρίζεται σε τρεις περιόδους: 1. καταγραφή σακκαδικών κινήσεων, 2. Σκοτεινή φάση και 3. Η φωτεινή φάση.

- Κατά την πρώτη φάση της εξέτασης, τα δυο φώτα προσήλωσης πρέπει να εναλλάσσονται μια φορά το δευτερόλεπτο για χρονικό διάστημα 10 δευτερολέπτων κάθε ένα λεπτό. Τα EOG δυναμικά καταγράφονται κατά τη διάρκεια κάθε μιας από τις περιόδους των 10 δευτερολέπτων. Πριν την έναρξη κάθε καταγραφής, θα πρέπει να

προηγούνται προειδοποιήσεις προς τον εξεταζόμενο για την επικείμενη έναρξη, έτσι ώστε να υπάρχει έγκαιρη προετοιμασία του.

- Για την σκοτεινή φάση της εξέτασης, είναι αναγκαίο να διατηρείται απόλυτο σκοτάδι για χρονική περίοδο 15 λεπτών. Τα μόνα φώτα που είναι διακριτά, είναι τα φώτα προσήλωσης. Οι μετρήσεις γίνονται για 10 δευτερόλεπτα κάθε λεπτό, με την ίδια διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω.
- Στην φωτεινή φάση της εξέτασης, ο οφθαλμός αρχίζει να δέχεται φως από μια προκαθορισμένη πηγή, η οποία συνεχίζει να εκπέμπει φως μέχρι την ολοκλήρωση της εξέτασης. Τα φώτα προσήλωσης εναλλάσσονται με τον ίδιο ρυθμό που αναφέρθηκε και πριν, και καταγράφονται EOG δυναμικά για χρονικό διάστημα 10 δευτερολέπτων, κάθε ένα λεπτό. Η διαδικασία καταγραφής συνεχίζεται για 15 λεπτά έτσι ώστε να εντοπιστεί η παρουσία ή η απουσία της φωτοπικής κορυφής. Στην περίπτωση που η κορυφή εντοπιστεί πριν το πέρας των 15 λεπτών, η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί. Υπάρχει η δυνατότητα παράτασης της εξέτασης και πέραν των 15 λεπτών, με σκοπό την αναγνώριση παθολογικών καταστάσεων.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου των 15 λεπτών της προσαρμογής του οφθαλμού στο σκοτάδι, παρατηρείται μια πτώση στο δυναμικό ηρεμίας, το οποίο φτάνει στο ελάχιστο όριο στα 10-12 λεπτά από την έναρξη, και ονομάζεται σκοτοπική απόκλιση (dark trough). Με την έκθεση του οφθαλμού στις φωτοπικές συνθήκες, παρατηρείται μια αύξηση του δυναμικού ηρεμίας και μετά το πέρας 7-12 λεπτών το δυναμικό φτάνει σε φωτοπική κορυφή (light peak).

### Ηλεκτρόδια

Για την καταγραφή των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται δερματικά ηλεκτρόδια. Ιδανικά, είναι τα αργύρου-χλωριούχου αργύρου και οι χρυσοί δίσκοι. Το δέρμα θα πρέπει να έχει προετοιμαστεί, καθαρίζοντάς το και αλείφοντας στις επιφάνειες που θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια, κατάλληλη κρέμα ή τζελ που θα βοηθήσει στην ομαλή και απρόσκοπτη ηλεκτρική σύνδεση. Τα ηλεκτρόδια καταγραφής, τοποθετούνται κοντά στους κανθούς των οφθαλμών (έσω και έξω). Τα ηλεκτρόδια κάθε οφθαλμού, συνδέονται με ξεχωριστά κανάλια ενός διαφορικού ενισχυτή. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρόδιο γείωσης. Οι θέσεις γείωσης περιλαμβάνουν το μέτωπο και την κορυφή της κεφαλής καθώς και τον λοβό του αυτιού.



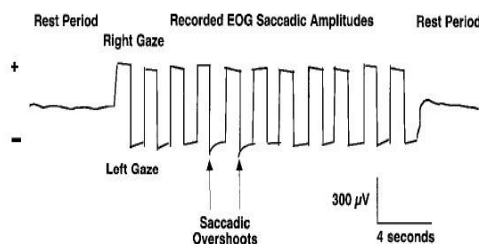
*Εικόνα 2.11: Οι θέσεις που τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια καταγραφής*

### Διεγέρτης

Για την διέγερση του οφθαλμού χρησιμοποιείται αποκλειστικά ένας διεγέρτης Ganzfeld, ο οποίος προσφέρει ομοιόμορφη κατανομή του φωτός, σε όλη την περιοχή του οπτικού πεδίου. Καθώς η περίοδος έκθεσης στο φως είναι αρκετά μεγάλη, ένα υποσιγάγωνο θα πρέπει να υπάρχει μπροστά από τον διεγέρτη, ώστε να παραμένει άνετος και σταθερός ο ασθενής. Δυο φωτεινά σημεία προσήλωσης βρίσκονται 15° δεξιά και αριστερά από το κέντρο του διεγέρτη. Οφείλουν να είναι τόσο φωτεινά, ώστε μόλις που θα είναι ορατά από τον εξεταζόμενο καθ' όλη τη διάρκεια τόσο της φωτεινής, όσο και της σκοτεινής φάσης της εξέτασης. Στη φωτεινή φάση της εξέτασης, η φωτεινότητα του διεγέρτη είναι ίση με 100 cd/m.

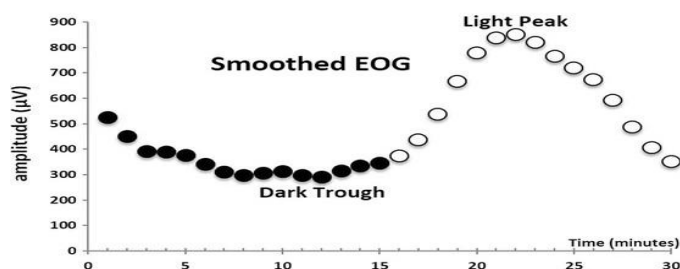
### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η ανάλυση που προκύπτει από την καταγραφή των σακκαδικών κινήσεων πρέπει να είναι αποτυπωμένη σε  $\mu V$ , είτε χειροκίνητα είτε μέσω αλγόριθμων στον υπολογιστή έπειτα από επιθεώρηση. Πρέπει να υπάρχει ειδική μέριμνα ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα όπως αυτό της υπέρβασης του στόχου (overshoot). Είναι απαραίτητη η καταγραφή του μέσου όρου των πλατών σε κάθε περίοδο εγγραφής 10 δευτερολέπτων, εξαιρώντας όμως τις ακραίες τιμές ή τις τιμές που υποδεικνύουν χαμηλή ακρίβεια στην κίνηση των οφθαλμών.



**Εικόνα 2.12:** Η κυματομορφή που προκύπτει από την ανάλυση των σακκαδικών κινήσεων

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων, για τη φωτεινή και σκοτεινή φάση του EOG γίνεται ταυτόχρονα, σε μια κυματομορφή. Το μέσο EOG πλάτος που υπολογίζεται από την κάθε 10 δευτερολέπτων καταγραφή, πρέπει να σημειώνεται. Έτσι, δημιουργείται ένας πίνακας που φέρει το σύνολο των πλατών, από όλη τη διάρκεια της εξέτασης. Ο σκοπός της φωτεινής και σκοτεινής φάσης του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος, είναι ο προσδιορισμός της φωτοπικής κορυφής (light peak) και της σκοτοπικής απόκλισης (dark trough) και όχι η αποτύπωση της χαμηλότερης και υψηλότερης τιμής που καταγράφεται στις μετρήσεις. Γι' αυτό το λόγο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί και να σχεδιαστεί η υποκείμενη φυσιολογική καμπύλη που συνδέει τις μεμονωμένες καταγραφές, προκειμένου να εξαρθούν οι αξιόπιστες μετρήσεις των δυο στοιχείων. Για τον σχεδιασμό της καμπύλης, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι προσαρμογής καμπύλων, μέσω υπολογιστή. Το πηλίκο που προκύπτει από τη διαίρεση της φωτοπικής κορυφής με τη σκοτοπική απόκλιση καλείται Arden ratio.



**Εικόνα 2.13:** Η κυματομορφή ενός φυσιολογικού EOG, έπειτα από την επεξεργασία. Διακρίνεται η σκοτοπική απόκλιση και η φωτοπική κορυφή

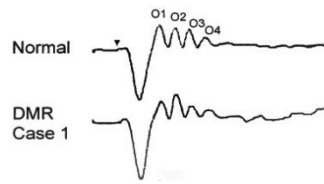
## **ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ**

Η κάθε μια από τις εξετάσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω, έχουν τη δική τους κλινική αξία. Ανάλογα με την εξέταση που πραγματοποιείται, εξάγονται διαφορετικά αποτελέσματα, που μπορούν να οδηγήσουν στο εντοπισμό των παθολογικών αιτιών. Πολλές φορές, είναι αναγκαίος ο συνδυασμός ηλεκτροφυσιολογικών εξετάσεων για τη σαφή διάγνωση των προβλημάτων που παρουσιάζονται.

### ffERG

Με τη συγκεκριμένη εξέταση γίνεται διάκριση της δυσλειτουργίας μεταξύ εσωτερικής ή εξωτερικής στιβάδας του αμφιβληστροειδή. Επιπρόσθετα, μπορούν να εντοπιστούν δυστροφίες που αφορούν τα ραβδία ή τα κωνία, η απόφραξη

οφθαλμικής αρτηρίας καθώς και η ολική αποκόλληση αμφιβληστροειδή. Διάφορα είδη αμφιβληστροειδοπαθειών μπορούν να εντοπιστούν μέσω της ffERG όπως είναι η μελαχρωστική αμφιβληστροειδοπάθεια, η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, η παρανεοπλασματική αμφιβληστροειδοπάθεια κλπ (Miyake, 2006).



**Εικόνα 2.14:** Σύγκριση δυο δυναμικών ταλάντωσης. Στην πρώτη απεικονίζεται μια φυσιολογική μέτρηση, ενώ στη δεύτερη, ασθενούς που πάσχει από διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια.

Η σοβαρότητα και η φύση των αμφιβληστροειδοπαθειών πολλές φορές δεν μπορεί να εντοπιστεί μόνο με τη χρήση της ffERG γι' αυτό και θα πρέπει να συνδυάζεται με άλλες διαγνωστικές μεθόδους.

### MfERG

Όπως αναφέρθηκε, το Πολυεστιακό αμφιβληστροειδογραφήμα, αξιολογεί κυρίως την λειτουργία της ωχράς κηλίδας του οφθαλμού. Όμως, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, το MfERG χρησιμοποιείται για την εξέταση των περιωχρικών περιοχών καθώς και περιοχών της περιφέρειας του αμφιβληστροειδή. Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν ασθένειες όπως η εκφύλιση ωχράς κηλίδας, η μελαχρωστική αμφιβληστροειδοπάθεια, η απόφραξη αμφιβληστροειδικού κλάδου καθώς και σε πλήθος άλλων ασθενειών. Τέλος, είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο σε περιπτώσεις τοξικότητας του αμφιβληστροειδούς από υδροξυχλωροκίνη (Μόσχος και συν., 2004).

### PERG

Όπως παρουσιάστηκε, το PERG αποτελεί ένα μέσο για την αξιολόγηση παθήσεων που σχετίζονται με την ωχρά και το οπτικό νεύρο. Λειτουργεί συμπληρωματικά με το ffERG στη διαφορική διάγνωση των παθήσεων που εντοπίζονται στο οπτικό νεύρο και αυτών του αμφιβληστροειδή (Robson και συν., 2018). Επιπλέον, το προκλητό από ερέθισμα αμφιβληστροειδογράφημα, έχει εφαρμογή στον εντοπισμό δυσλειτουργιών που οφείλονται στα αμφιβληστροειδικά γαγγλιακά κύτταρα, όπως είναι η οπτική νευροπάθεια, το γλαύκωμα κλπ.

### VEP

Τα προκλητά δυναμικά ινιακού λοβού προσφέρουν μια ολοκληρωμένη απεικόνιση όλης της οπτικής οδού. Αυτή η ιδιότητα, περιορίζει την ικανότητα του VEP να καταγράφει σε μεμονωμένα ανατομικά σημεία τυχών αλλοιώσεις που μπορεί να υπάρχουν. Έτσι, είναι σημαντικό η εξέταση να γίνεται συνδυαστικά με άλλες εξετάσεις. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτροαμφιβληστροειδογραφήματα, δίνουν σαφείς ενδείξεις όσον αφορά την λειτουργία των κυττάρων του αμφιβληστροειδή. (Lam, 2005). Επιπρόσθετα, θα πρέπει να πραγματοποιούνται νευροαπεικονιστικές εξετάσεις, που μπορούν να εντοπίσουν τυχών βλάβες σε συγκεκριμένα σημεία της οπτικής οδού. Ανωμαλίες στο VEP μπορούν να παρατηρηθούν σε ασυμπτωματικούς ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας, σε ασθενείς με βλάβες του οπτικού χιάσματος (όγκοι υπόφυσης), σε ασθενείς με οπτική νευροπάθεια κλπ. (Μαρκόπουλος, 2016).

### EOG

Με το ηλεκτροοφθαλμογράφημα, ο ενδιαφερόμενος συλλέγει πληροφορίες που αφορούν τη γενικευμένη λειτουργία του μελάχρου επιθήλιου. Και με αυτή την εξέταση, ο συνδυασμός ηλεκτροφυσιολογικών μεθόδων είναι αυτός που οδηγεί στην σωστή διάγνωση. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που ένα ηλεκτροαμφιβληστροειδογράφημα είναι φυσιολογικό, ένα EOG μπορεί είναι παθολογικό, όταν οι διαταραχές οφείλονται στο γονίδιο bestrophin (Robson και συν., 2018). Το EOG είναι παθολογικό σε περιπτώσεις αποκόλλησης αμφιβληστροειδή, σε δυστροφίες κωνίων-ραβδίων καθώς και στη μελαχρωστική αμφιβληστροειδοπάθεια.



## ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι ψυχοφυσικές μέθοδοι διερεύνησης της όρασης, συμβάλλουν καθοριστικά στην μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς του οφθαλμού. Πέρα από την ανατομική και νευροφυσιολογική εξέταση ενός ασθενή, μέσω των ψυχοφυσικών μεθόδων, ο εξεταστής μπορεί να εξάγει πολύτιμες πληροφορίες γύρω από την λειτουργία της όρασης, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να τεθούν σε γνώση του διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα, οι ψυχοφυσικές δοκιμασίες εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο εκατοντάδες χιλιάδες νευρώνες συνδυάζονται, με σκοπό την καταγραφή μιας εικόνας (πχ σχήμα, χρώμα, μέγεθος κλπ). Συγκρίνοντας τις παραμέτρους των ερεθισμάτων που εμφανίζονται κατά την εξέταση, με την ερμηνεία που τους δίνει ο εξεταζόμενος, εξαγάγει χρήσιμα συμπεράσματα για την κλινική εικόνα του ασθενούς. Η πλειοψηφία των ψυχοφυσικών μεθόδων έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την ανίχνευση μιας ουδού. Ως ουδός, ορίζεται η ελάχιστη τιμή ενός ερεθίσματος, που απαιτείται, για την αντίληψή του. Η ανίχνευση της ουδού, είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Στις μέρες μας, έχουν αναπτυχθεί πέντε βασικοί τρόποι, μέσω των οποίων καθορίζεται η ουδός. Αυτοί είναι οι εξής: 1. Η μέθοδος των ορίων, 2. Η μέθοδος των προκαθορισμένων τιμών, 3. Η μέθοδος της "ρύθμισης", 4. Η μέθοδος προσαρμογής και 5. Η μέθοδος της υποχρεωτικής επιλογής (Πλαϊνης,).

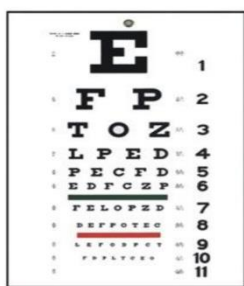
Οι ψυχοφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα διαγνωστικών πράξεων, όπου μέσω των οποίων, επιτυγχάνεται η διαφορική διάγνωση ασθενειών, η μελέτη και η κατηγοριοποίησή τους (Πλαϊνης, 2005). Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: Μέτρηση οπτικής οξύτητας, διάθλαση, μέτρηση ευαισθησίας οπτικής αντίθεσης, εξέταση έγχρωμης όρασης, περιμετρία καθώς και ορθοπτικός έλεγχος και έλεγχος στραβισμού. (Brigel και Alexander, 2009). Η χρησιμότητα των συγκεκριμένων μεθόδων, βρίσκει εφαρμογή και σε άλλες επιστήμες, όπως είναι η ψυχολογία, η ψυχιατρική κλπ. Επιπρόσθετα, συγκεκριμένοι φορείς πραγματοποιούν ψυχοφυσικές διαγνωστικές εξετάσεις, σε υποψηφίους, διαφόρων επαγγελματιών, όπως είναι οι πιλότοι, οι οδηγοί τρένων κλπ. Τέλος, δεδομένα που συλλέγονται μέσω των ψυχοφυσικών εξετάσεων, αναλύονται με σκοπό την βελτίωση συγκεκριμένων παραμέτρων που αφορούν την οδηγική συμπεριφορά, τις διαφημίσεις κλπ.

## **ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ – ΔΙΑΘΛΑΣΗ**

Η μέτρηση της οπτικής οξύτητας, αποτελεί την πλέον σημαντική εξέταση στην οποία υποβάλλεται ένας εξεταζόμενος. Η σωστή καταγραφή της, επιδρά καταλυτικά στον προσδιορισμό παθολογικών καταστάσεων, στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων θεραπευτικών σχημάτων καθώς και στην διάγνωση και αντιμετώπιση διαθλαστικών ανωμαλιών. Η μορφή ενός οποιουδήποτε αντικειμένου, για να γίνει αντιληπτή, θα πρέπει να είναι εφικτή η σαφής διάκριση από το φόντο του. Τα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς, έχουν την ικανότητα να διαχωρίσουν δυο διαφορετικά σημεία. Για να γίνει ο διαχωρισμός των δυο σημείων, θα πρέπει να ενεργοποιηθούν δυο διαφορετικά κωνία, ενώ ταυτόχρονα μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα άλλο κωνίο το οποίο παραμένει ανενεργό. Ο προσδιορισμός

της οπτικής οξύτητας βασίζεται στη τιμή της ελάχιστης δυνατής απόστασης που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των δυο κωνίων που ερεθίζονται. Για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η μεταβλητή που χρησιμοποιείται σήμερα, είναι η οπτική γωνία, αντί του μεγέθους της αμφιβληστροειδικής εικόνας. Η ελάχιστη δυνατή γωνία που οφείλει να σχηματίζει το αντικείμενο, με το μάτι, είναι 1min. Διαπιστώνεται ότι το μέγεθος της οπτικής γωνίας, δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος του αντικειμένου, αλλά και από την απόσταση που απέχει από το μάτι.

Η καταγραφή της οπτικής οξύτητας, γίνεται με τη χρήση συγκεκριμένων πινάκων, που ονομάζονται οπτότυπα. Πρόκειται για πίνακες που φέρουν προκαθορισμένα σχήματα, των οποίων το μέγεθος μειώνεται, καθώς εξετάζεται μια σειρά κάθε φορά. Ο πλέον διαδεδομένος πίνακας που χρησιμοποιείται είναι το οπτότυπο Snellen. Τα συγκεκριμένα οπτότυπα τοποθετούνται σε απόσταση 6m από το μάτι του εξεταζόμενου. Φυσιολογικά, ο ασθενής θα πρέπει να διακρίνει τα γράμματα της τελευταίας σειράς. Κάθε γράμμα του οπτότυπου, σχηματίζει μια γωνία 5min με το μάτι, πάντα σε συνάρτηση με την απόσταση. Έτσι, η μικρότερη σειρά, σχηματίζει γωνία 5min όταν αυτή παρατηρείται από απόσταση 6m, ενώ η πρώτη σειρά, σχηματίζει την ίδια γωνία, από απόσταση 60m. Υπάρχει μια πληθώρα οπτότυπων που χρησιμοποιούνται, όπως είναι οι πίνακες Balley-Lovie, οι δακτύλιοι του Landolt κλπ, το κάθε ένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του.



*Εικόνα 3.1: Το οπτότυπο Snellen*

Η επίλυση των διαθλαστικών προβλημάτων, κάνοντας χρήση υποκειμενικών μεθόδων, είναι εξαιρετικά σημαντική. Στην προσπάθεια αυτή, οι ψυχοφυσικές δοκιμασίες, συνθέτουν ένα σύνολο αποτελεσμάτων, που βοηθούν στην ακριβέστερη αντιμετώπιση των αμετροπιών. Πρωτίστως, η τοποθέτηση των φακών στον δοκιμαστικό σκελετό ή στο φορόπτερο, και η μετέπειτα αλληλεπίδραση με τον ασθενή για την εύρεση της καλύτερης δυνατής διόρθωσης. Κατά κανόνα, όταν συνυπάρχει μυωπία ή υπερμετροπία με αστιγματισμό, η εύρεση της καλύτερης δυνατής διόρθωσης του σταυρώματος προηγείται από αυτή του αστιγματισμού. Κατά τη διόρθωση του αστιγματισμού, γίνεται χρήση διαφόρων ψυχοφυσικών τεστ, που βοηθούν στην ανίχνευση του και στον προσδιορισμό του άξονά του, με γνωστότερο, τον σταυροειδή κύλινδρο Jackson. Πρόκειται για έναν σφαιροκυλινδρικό φακό που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο τόσο του άξονα, όσο και της δύναμης του κυλίνδρου. Σε αυτή την κατηγορία, ανήκει και ο αστεροειδής κύκλος. Είναι ένα οπτοτυπο, που φέρει 12 μαύρες γραμμές οι οποίες δημιουργούν έναν κύκλο, όπου η μεταξύ τους γωνία είναι σταθερή και ίση με  $30^{\circ}$ . Από απόσταση 6m ο ασθενής καλείται να απαντήσει, αν διακρίνει με την ίδια καθαρότητα όλες τις γραμμές. Στη περίπτωση που η απάντηση είναι θετική, τότε δεν υπάρχει αστιγματισμός. Σε αντίθετη περίπτωση, τοποθετείται ένας αρνητικός κύλινδρος κάθετα προς την γραμμή που βλέπει πιο καθαρά ο ασθενής. Ολοκληρώνοντας τη διαθλαστική εξέταση, χρησιμοποιείται το διχρωματικό τεστ. Εδώ, το οπτότυπο απαρτίζεται από 2 ορθογώνιους πίνακες που εφάπτονται μεταξύ τους, περιέχουν ποικίλα μεγέθη αριθμών και διαφέρουν ως προς το χρώμα, με τον έναν να είναι κόκκινος και ο άλλος πράσινος. Η επιλογή δεν είναι τυχαία, καθώς με την βέλτιστη οπτική οξύτητα, το κόκκινο χρώμα εστιάζει πιο πίσω από την επιφάνεια του αμφιβληστροειδή, το πράσινο, εστιάζει εγγύτερα από αυτόν ενώ το κίτρινο (μήκος κύματος 555 nm) εστιάζει πάνω του. Συνεπώς, η απάντηση που δίνει ο εξεταζόμενος, όσον αφορά το χρώμα που διακρίνει καλύτερα, έχει ως αποτέλεσμα την διόρθωση ή μη, του σφαιρώματος.



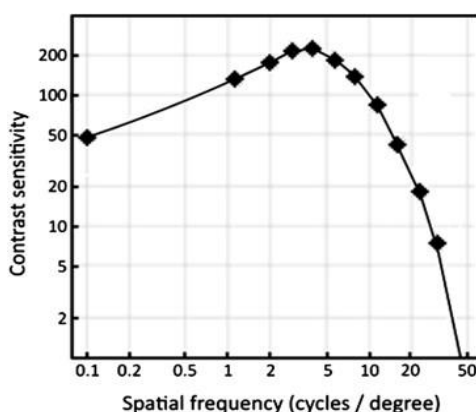
*Εικόνα 3.2: Το διχρωματικό τεστ*

Παρόμοια με την εξέταση της μακρινής όρασης, είναι και αυτή της κοντινής. Για τον εντοπισμό της δυσλειτουργίας, ο ασθενής καλείται να διαβάσει ένα ειδικά διαμορφωμένο οπτότυπο το οποίο τοποθετείται σε απόσταση περίπου 30 cm από το μάτι. Τέλος αξίζει να αναφερθεί το τεστ Amsler. Πρόκειται για ένα διαγνωστικό εργαλείο που βοηθάει στον εντοπισμό των μεταμορφωσιών.

### **ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ – CONTRAST SENSITIVITY**

Η ευαισθησία οπτικής αντίθεσης συνιστά μια εξέταση, που παρέχει στον ενδιαφερόμενο σημαντικές πληροφορίες που αφορούν την οπτική αντίληψη του εξεταζομένου. Συνήθεστερα, παρατηρούνται παράλληλες μεταβολές στην οπτική οξύτητα και στην ευαισθησία στην οπτική αντίθεση. Παρ' όλα αυτά, κάποιες παθολογικές καταστάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της ευαισθησίας, μολονότι η οπτική οξύτητα παραμένει πολύ καλή. Η αντίθεση, είναι η καταγραφή της ποσότητας φωτός ή σκότους που έχει ένα αντικείμενο σε σύγκριση με το φόντο του. Ουδός αντίθεσης, ονομάζεται η μικρότερη δυνατή διαφορά που μπορεί να εντοπιστεί, στη φωτεινότητα και στη σκοτεινότητα μεταξύ ενός αντικείμενου και του φόντου που βρίσκεται από πίσω του. Η ουδός αντίθεσης είναι ο ακριβώς αντίθετος όρος της ευαισθησίας αντίθεσης. Χρησιμοποιώντας διαφόρους τύπους, η ποσότητα της αντίθεσης μπορεί να υπολογιστεί. Οι πλέον διαδεδομένοι, είναι ο τύπος Weber και ο τύπος Michelson. Η χρήση του τύπου Weber, γίνεται όταν η φωτεινότητα του φόντου παραμένει σταθερή, ενώ αντίθετα, όταν αλλάζουν ταυτόχρονα τόσο τα φωτεινά όσο και τα σκοτεινά στοιχεία, χρησιμοποιείται ο τύπος Michelson.

Το μέγεθος του αντικείμενου που δίνεται προς παρατήρηση, είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αντίθεση που θα πρέπει να έχει, έτσι ώστε να γίνει διακριτό από το φόντο του. Κάθε μέγεθος μπορεί να αποτυπωθεί, χρησιμοποιώντας γραμμές σε κατάλληλη απόσταση οι οποίες καταλαμβάνουν μια συγκεκριμένη οπτική γωνία. Ο αριθμός των γραμμών αυτών, εντός μιας προκαθορισμένης οπτικής γωνίας, ονομάζεται διαστηματική συχνότητα ή χωρική συχνότητα. Η υψηλή χωρική συχνότητα υποδεικνύει μεγάλη συγκέντρωση γραμμών. Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα που εξάγονται από την εξέταση, καθορίζονται από τις δυο μεταβλητές: την χωρική συχνότητα και την οπτική αντίθεση. Η αποτύπωση της ελάχιστης ανιχνεύσιμης οπτικής αντίθεσης, χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο φάσμα χωρικών συχνοτήτων, κατασκευάζεται η καμπύλη ευαισθησίας στην οπτική αντίθεση.

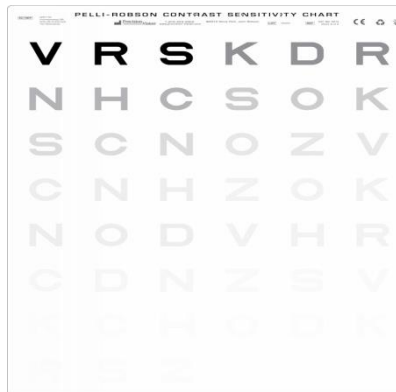


*Εικόνα 3.3: Η καμπύλη ευαισθησίας αντίθεσης*

Μέθοδοι εξέτασης

Παλαιότερα, γινόταν χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, για την εκτέλεση της εξέτασης. Μεταξύ άλλων, είχαν την δυνατότητα να παρουσιάσουν μεγάλο πλήθος εικόνων σε τυχαίο μοτίβο και να αλλάξουν την αντίθεση μεταξύ όμοιων εικόνων. Το υψηλό τους κόστος, σε συνδυασμό με την έκταση που θα καταλάμβαναν σε ένα εξεταστήριο έκανε την αγορά τους απαγορευτική για τους περισσότερους.

Οι σημερινοί μέθοδοι εξέτασης περιλαμβάνουν πίνακες που περιέχουν ημιτονοειδή διαγράμματα καθώς και πίνακες που περιέχουν γράμματα σε διαφορετικά επίπεδα αντίθεσης. Οι πλάκες Adren ήταν ένα από τα πρώτα τεστ που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή της ευαισθησίας αντίθεσης,. Πρόκειται για πλέγματα ημιτονοειδών κυμάτων που είναι τοποθετημένα σε 7 πλάκες. Οι πίνακες με γράμματα, είναι ευρέως διαδεδομένοι, καθώς είναι εύκολοι στη χρήση και κατανοητοί από τους ασθενείς. Ο πλέον γνωστός πίνακας τέτοιου τύπου, είναι ο Pelli-Robson.



*Εικόνα 3.4: Ο πίνακας Pelli-Robson*

#### Χρησιμότητα εξέτασης

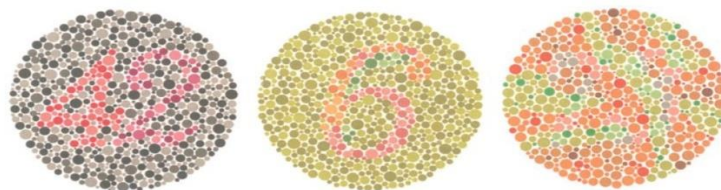
Στην πράξη, η καταγραφή της πλήρους καμπύλης της ευαισθησίας αντίθεσης δεν παρέχει στον εξεταστή ουσιαστικές πληροφορίες. Η απώλεια ευαισθησίας αντίθεσης, δεν υποδηλώνει συγκεκριμένη πάθηση, μιας και αρκετές οφθαλμικές παθήσεις οδηγούν σε αυτή την κατάσταση. Ωστόσο, η εξέταση είναι πολύτιμη στη διαφορική διάγνωση οφθαλμικών νόσων και στην κατηγοριοποίησή τους. Η εξέταση ευαισθησίας αντίθεσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασθένειες όπως ο καταρράκτης, το γλαύκωμα, η οπτική νευρίτιδα και εκφύλιση ωχράς κηλίδας. Η αξία της εξέτασης ευαισθησίας αντίθεσης, έγκειται στην ικανότητα να ανιχνεύει έγκαιρα αλλαγές που δημιουργούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

### **ΕΓΧΡΩΜΗ ΟΡΑΣΗ**

Η εξέταση της έγχρωμης όρασης, είναι μια βασική ψυχομετρική μέθοδος που θα πρέπει να χορηγείται σε κάθε εξεταζόμενο. Η ανεπάρκεια έγχρωμης όρασης, αποτελεί μια από τις συχνότερες διαταραχές της όρασης και μπορεί να οφείλεται τόσο σε επίκτητους παράγοντες όσο και σε γενετικούς. Αξίζει να αναφερθεί πως, κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν παράγοντες που πιθανόν θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα (πχ τόπος κατοικίας ασθενών). Σήμερα, υπάρχει μια πληθώρα εξετάσεων, οι οποίες μπορούν να εντοπίσουν τυχόν αλλοιώσεις στην αντίληψη των χρωμάτων. Στο σύνολό τους, τα διαγνωστικά τεστ, διεξάγονται σε συνθήκες άπλετου φωτισμού. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η εξέταση με τη χρήση φαναριών. Σε εκείνη την περίπτωση, θα πρέπει να επικρατούν σκοτωπικές συνθήκες στο εξεταστήριο. Για την καλύτερη κατανόηση των εξετάσεων, μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες.

Αρχικά, υπάρχουν οι δοκιμασίες που πραγματοποιούνται με τη χρήση πλακών. Αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα τεστ που χρησιμοποιούνται καθώς είναι άμεσες, έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και μπορούν να σημειώσουν μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει και το τεστ Ishihara. Οι ψευδοϊσοχρωματικές πλάκες Ishihara, ανιχνεύουν τις ελλείψεις στο κόκκινο και το πράσινο χρώμα. Τόσο το φόντο, όσο και το σχήμα της κάθε πλάκας, αποτελείται από κουκίδες. Οι κουκίδες διαφέρουν χρωματικά έτσι ώστε να σχηματίζονται μοτίβα, σχέδια και αριθμοί

σε κάθε πλάκα. Ανάμεσα στις πλάκες, μπορεί να παρατηρηθούν αλλαγές που αφορούν το μέγεθος και τη φωτεινότητα των κουκίδων. Η δοκιμή πραγματοποιείται σε απόσταση 66 cm από τον οφθαλμό και περιλαμβάνει την αναγνώριση 38 πλακών. Ο ασθενής έχει στη διάθεσή του τέσσερα δευτερόλεπτα να αναγνωρίσει τους αριθμούς ή τις διαδρομές που εμφανίζονται σε κάθε πλάκα. Άλλες δοκιμασίες που εφαρμόζουν παρόμοια τεχνική είναι οι πίνακες American Optical Company Hardy, Rand and Ritler και οι πίνακες αχρωματοψίας Sloan.



*Εικόνα 3.5: Οι πλάκες του τεστ Ishihara.*

Μια άλλη κατηγορία εξετάσεων που διενεργούνται με σκοπό την διάγνωση ανωμαλιών στην χρωματική αντίληψη, είναι αυτές κατά τις οποίες ο εξεταζόμενος τοποθετεί σε σειρά αντικείμενα και ονομάζονται τεστ διακονισμού. Πιο αναλυτικά, ζητείται από τον ασθενή να βάλει σε διάταξη αντικείμενα που βρίσκονται μπροστά του ανάλογα με την απόχρωση ή τον κορεσμό τους. Τα αντικείμενα έχουν τοποθετηθεί σε τυχαία σειρά και έχουν συγκεκριμένη απόχρωση. Μια από τις εξετάσεις αυτού του τύπου είναι το Διχρωματικό τεστ Farnsworth για την αχρωματοψία. Σε αυτό το τεστ, 15 χρωματιστές μάρκες βρίσκονται μπροστά στον ασθενή και σε απόσταση μισού μέτρου. Αυτός, καλείται να τοποθετήσει τις 15 μάρκες σύμφωνα με την φυσική τους χρωματική συνέχεια. Να σημειωθεί ότι η πρώτη μάρκα βρίσκεται εξ αρχής τοποθετημένη στη σωστή της θέση, ως μάρκα αναφοράς. Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας αποτυπώνονται σε ένα κυκλικό διάγραμμα. Στην ίδια κατηγορία, εντάσσονται και άλλες παρόμοιες εξετάσεις, όπως είναι η Farnsworth-Munsell δόκιμη 100 αποχρώσεων και η Lanthony New Color Test.

Το ανωμαλοσκόπιο, συνιστά ακόμα ένα μέσο αξιολόγησης της χρωματικής αντίληψης των ανθρώπων. Αν και η συνηθέστερη διαδικασία εξέτασης των ανωμαλιών κόκκινου-πράσινου χρώματος είναι το τεστ Ishihara, εντούτοις, η παραπάνω μέθοδος συμβάλλει σημαντικά στην διάγνωση. Βασικό πλεονέκτημα αυτής, είναι πως, η χρήση ηλεκτρονικών μηχανημάτων για την αξιολόγηση της χρωματικής αντίληψης, μειώνει δραστικά την επίδραση που μπορεί να έχει η υποκειμενική αξιολόγηση κάποιου άλλου τεστ, από τον εξεταστή. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται σημαντικά η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.



*Εικόνα 3.6: Εικόνα ενός ανωμαλοσκοπίου*

Τέλος, υπάρχει μια ομάδα δοκιμών, στις οποίες χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα φανάρια. Συνηθεστέρα, με αυτές τις εξετάσεις, αξιολογείται η χρωματική αντίληψη ανθρώπων, που εργάζονται σε συγκεκριμένα επαγγέλματα. Κατά την εκτέλεση της άσκησης, ζητείται από τον εξεταζόμενο να αναγνωρίσει και να ονομάσει το χρώμα των φωτεινών σημάτων που του εμφανίζονται κάθε φορά. Η ταχύτητα και η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα χρώματα, είναι καθοριστικής σημασίας για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Οι ασθενείς με ανεπάρκεια, ονομάζουν με ιδιαίτερα χαρακτηριστικό τρόπο συγκεκριμένα χρώματα. Έτσι, η διάγνωση γίνεται σύμφωνα με τις απαντήσεις που δίνουν.

## **ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΑ – ΟΠΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ**

Μια από τις πλέον σημαντικές ψυχοφυσικές μεθόδους διερεύνησης της όρασης, είναι αυτή της περιμετρίας. Μέσω της συγκεκριμένης δοκιμασίας, μπορούν να ανιχνευτούν και να χαρτογραφηθούν οι πιθανές απώλειες όρασης ενός ασθενή. Η αιτία αυτών των απωλειών βρίσκεται σε μια πληθώρα παθολογικών καταστάσεων, με τις κυριότερες να είναι το γλαύκωμα, η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια και η εκφύλιση ωχράς κηλίδας. Εξίσου πολύτιμος είναι ο ρόλος της συγκεκριμένης εξέτασης στην μελέτη της λειτουργίας της οπτικής οδού. Πιο συγκεκριμένα, νευροοφθαλμολογικές παθήσεις, όπως είναι οι ασθένειες του οπτικού χιάσματος, μπορούν να μελετηθούν με τη χρήση της περιμετρίας.

Ως προς τον τρόπο διεξαγωγής τους, οι εξετάσεις μπορούν να διαιρεθούν σε δυο κατηγορίες: στη στατική περιμετρία και στη κινητική περιμετρία. Και στις δυο περιπτώσεις, ο ασθενής προσηλώνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Στην πρώτη, ένας στόχος, κινείται σταδιακά από μη ορατές περιοχές προς το σημείο προσήλωσης. Ο στόχος παραμένει σταθερός ως προς την ένταση και το μέγεθος. Αντίθετα, στη στατική περιμετρία, οι στόχοι εμφανίζονται σε προκαθορισμένα σημεία. Σε αυτή την περίπτωση, ο στόχος μεταβάλλεται είτε ως προς την ένταση, είτε ως προς το μέγεθος, έως ότου αυτός γίνει αντιληπτός από τον εξεταζόμενο. Επιπρόσθετα, μπορούμε να διαιρέσουμε τις εξετάσεις ανάλογα με τον τρόπο που μετακινείται το ερέθισμα. Έτσι, διακρίνουμε τα μηχανήματα που μετακινούν χειροκίνητα το ερέθισμα, όπως είναι η περιμετρία Goldmann καθώς επίσης και τα μηχανήματα όπου η μετακίνηση του στόχου γίνεται αυτοματοποιημένα, όπως στον αναλυτή πεδίου Humphrey. Στις μέρες μας, τα αυτοματοποιημένα περιόμετρα αποτελούν την πλειονότητα των οργάνων που χρησιμοποιούνται στον χώρο της οφθαλμολογίας. Από αυτά, τα πλέον διαδεδομένα είναι το Octopus καθώς και το Humphrey, τα οποία μπορούν να εφαρμόσουν αυτοματοποιημένα, τόσο κινητική όσο και στατική περιμετρία.



*Εικόνα 3.7: Περίμετρο Humphrey*

## **ΟΡΘΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ – ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΡΑΒΙΣΜΟΥ**

Στα πλαίσια μιας οφθαλμολογικής εξέτασης, είναι σημαντικό να εξετάζεται η διόφθαλμη όραση του ασθενούς. Οι ανωμαλίες στην διόφθαλμη μπορεί να οφείλονται σε ποικίλες αιτίες, οι οποίες κατηγοριοποιούνται στους εξής τρεις τομείς: 1. Ανωμαλίες που οφείλονται στο οφθαλμοκινητικό σύστημα συντονισμού της κίνησης των ματιών, 2. Σε ανατομικές ανωμαλίες του οπτικού συστήματος καθώς και 3. Σε δυσλειτουργία του αισθητηριακού συστήματος μέσα από το οποίο ο εγκέφαλος, δεχόμενος τις εικόνες που αποτυπώνονται στους δυο αμφιβληστροειδείς, τις λαμβάνει και τις ενώνει σε μια. Υπάρχει μια πληθώρα διαγνωστικών εξετάσεων που οφείλουν να πραγματοποιούνται κατά τον ορθοπτικό έλεγχο. Συγκεκριμένα πρωτόκολλα εξέτασης, δίνουν τη δυνατότητα στον εξεταστή να εντοπίσει και να καταγράψει μη φυσιολογικές καταστάσεις που μπορεί να υπάρχουν. Μέσα σε αυτά τα πρωτόκολλα συγκαταλέγονται αρκετές ψυχοφυσικές μέθοδοι που βοηθούν στην ακριβέστερη αξιολόγηση της όρασης.

### **Κοντινό σημείο προσαρμογής**

Η εύρεση του κοντινού σημείου προσαρμογής, συνιστά επίσης μια ψυχοφυσική μέθοδο διερεύνησης της όρασης. Η διαδικασία, γίνεται με τη χρήση του κανόνα RAF, ο οποίος στηρίζεται στα ζυγωματικά του ασθενούς. Επάνω στον κανόνα, τοποθετείται ένα οπτότυπο κοντινής όρασης. Καθώς ο εξεταζόμενος παρατηρεί την μικρότερη σειρά που μπορεί να διακρίνει, το οπτότυπο προσεγγίζει τα μάτια του ασθενούς. Το κοντινότερο σημείο, στο οποίο ο ασθενής

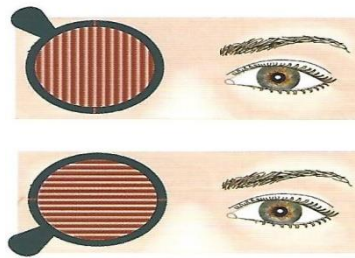


μπορεί να διατηρήσει την εστίασή του, πέρα από το οποίο θολώνει η εικόνα, αποτελεί το κοντινό σημείο προσαρμογής. Είναι χρήσιμο στη διάγνωση της ανεπάρκειας σύγκλισης.

### Έλεγχος στραβισμού και μέτρηση απόκλισης

Ο έλεγχος της κινητικότητας των οφθαλμών, πρέπει να εκτελείται κατά τη διάρκεια κάθε οφθαλμολογικής εξέτασης. Μέσω αυτής, μπορεί να παρατηρηθεί τυχόν δυσλειτουργία στην κίνηση των ματιών, η ύπαρξη μη συνεκτικού στραβισμού καθώς και η εμφάνιση νυσταγμού. Η εξέταση πραγματοποιείται, τοποθετώντας έναν μικρό φανό σε απόσταση μισού μέτρου από το μάτι του εξεταζόμενου. Στη συνέχεια ζητείται από τον ασθενή να είναι συνεχώς προσηλωμένος στο φως του φακού. Έπειτα, ο φακός μετακινείται σε προκαθορισμένες βλεματικές θέσεις, έτσι ώστε να μελετηθεί όλο το φάσμα των κινήσεων.

Ο έλεγχος του στραβισμού περιλαμβάνει τον εντοπισμό έκδηλου ή λανθάνοντος στραβισμού,. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί η ύπαρξη ενός εκ των δυο, τότε είναι αναγκαίο να μετρηθεί η γωνία του. Για το σκοπό αυτό, έχουν δημιουργηθεί τόσο αντικειμενικές μέθοδοι, όσο και υποκειμενικές. Μεγάλο μέρος των υποκειμενικών, βασίζονται πάνω στη ψυχοφυσική μελέτη της όρασης. Οι πλέον διαδεδομένοι, είναι το ραβδωτό γυαλί του Maddox και η δοκιμασία του κόκκινου φίλτρου. Κατά την εκτέλεση της πρώτης δοκιμασίας, ένας δοκιμαστικός φακός ή ένα φορητό όργανο τοποθετείται μπροστά από τον έναν οφθαλμό του εξεταζόμενου. Ο φακός ή το όργανο, αποτελείται από μια σειρά παράλληλων κόκκινων κυλίνδρων. Η δοκιμασία πραγματοποιείται, καθώς ζητείται από τον εξεταζόμενο, να παρατηρήσει μια φωτεινή πηγή που βρίσκεται σε απόσταση 6 m. Μέσω του γυαλιού, η φωτεινή πηγή αποτυπώνεται σαν φωτεινή γραμμή, η οποία είναι κάθετη προς τους άξονες των κυλίνδρων. Εάν η συγκεκριμένη γραμμή περνά ακριβώς πάνω από το σημειακό φως που διακρίνεται από τον άλλο οφθαλμό, τότε δεν υπάρχει παρέκκλιση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται διόρθωση με πρίσματα έως ότου επιτευχθεί η ταύτιση.



*Εικόνα 3.8: Το ραβδωτό γυαλί Maddox, μπροστά από το ένα μάτι*

Παρόμοιος είναι και ο τρόπος εξέτασης με τη χρήση του κόκκινου φίλτρου. Σε αυτή την περίπτωση, τοποθετείται στον έναν από τους δυο οφθαλμούς, ένας κόκκινος δοκιμαστικός φακός. Ο ασθενής και εδώ, εστιάζει σε ένα φωτεινό στόχο. Στην περίπτωση που διακρίνει σαν ένα το φως, δεν υπάρχει παρέκκλιση, ενώ αν διακρίνει δυο φώτα, ένα κόκκινο και ένα λευκό, υπάρχει. Η διόρθωση επιτυγχάνεται με τη χρήση πρισμάτων. Η χρήση των γυαλιών Maddox, προσφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού και μέτρησης πέραν των οριζόντιων και κάθετων παρεκκλίσεων, και των κυκλοστροφικών, κάτι το οποίο δεν μπορεί να κάνει η δοκιμασία με το κόκκινο φίλτρο. Πέραν αυτών των δυο, υπάρχει μια πληθώρα παρόμοιων εξετάσεων, όπως είναι η γραμμή του Maddox, η χρήση συνοπτοφόρου και το τεστ της οθόνης του Hess. Είναι σημαντικό να επισημανθεί, πως οι ασθενείς θα πρέπει να έχουν τη μέγιστη δυνατή οπτική οξύτητα, με ή χωρίς διόρθωση, πριν την έναρξη των παραπάνω εξετάσεων.

### Έλεγχος διόφθαλμων λειτουργιών

Ένα σύνολο ψυχοφυσικών τεστ, διεξάγονται κατά την μελέτη των διόφθαλμων λειτουργιών. Σε αυτά, περιλαμβάνονται η κλινική μελέτη της στερεοσκοπικής όρασης, ο προσδιορισμός του είδους της αμφιβληστροειδικής αντιστοιχίας και η εξακρίβωση της παρουσίας ή απουσίας διόφθαλμης όρασης.

Οι οφθαλμίατροι και οι οπτομέτρες, διαθέτουν πλέον πολλές μεθόδους μελέτης της στερεοσκοπικής όρασης. Ο βαθμός στερέωσης καταγράφεται σε δευτερόλεπτα του τόξου και, στερεοσκοπική οξύτητα μεγαλύτερη από 40 sec/arc,

αντιστοιχεί σε μη φυσιολογική αμφιβοθρική διόφθαλμη όραση. Ο τρόπος επιλογής του σωστού τεστ, βασίζεται στην ηλικία, στην οπτική οξύτητα και στον βαθμό του προβλήματος του ασθενούς. Μπορούμε να διακρίνουμε δυο κατηγορίες δοκιμασιών: τις ποιοτικές και τις ποσοτικές. Το τεστ των δυο μολυβιών, αποτελεί το πλέον διαδεδομένο τεστ της πρώτης κατηγορίας. Κατά την διενέργειά του, ο εξεταστής κρατάει κάθετα ένα μολύβι. Από την άλλη, ο ασθενής, κρατάει επίσης ένα μολύβι κάθετα, πάνω από αυτό του εξεταστή, και του ζητείται να το τοποθετήσει ακριβώς επάνω από αυτό του εξεταστή. Το τεστ επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, και τα αποτελέσματα καταγράφονται. Όταν υπάρχει στραβισμός, το τεστ επαναλαμβάνεται με την κάλυψη του ματιού που στραβίζει. Από τις ποσοτικές μεθόδους, η δοκιμασία Titmus είναι η πιο γνωστή. Σε αυτή, γίνεται χρήση διπλών εικόνων όπου η μεταξύ τους πόλωση διαφέρει κατά 90°. Πρόκειται για μια μύγα, εννέα ρόμβους, και τρεις σειρές ζώων. Ο εξεταζόμενος φοράει πολωτικά γυαλιά και καλείται να αντιληφτεί την αίσθηση του βάθους στις εικόνες. Εκτός από τη συγκεκριμένη δοκιμασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα τεστ που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των “διάσπαρτων κουκίδων” όπως είναι το TNO, το Frisby Test, το Lang Stereo-test, το Wirt Test και το Randot Test.



*Εικόνα 3.9: Φυσιολογική θέση μολυβιού κατά την διενέργεια της εξέτασης*

Για την μελέτη της ταύτισης, την ύπαρξη απόθησης και ανώμαλης αμφιβληστροειδικής αντιστοιχίας, χρησιμοποιείται το τεστ των 4 κηλίδων του Worth. Ο ασθενής φοράει ειδικά διαμορφωμένα γυαλιά, στα οποία ο ένας φακός φέρει κόκκινο φίλτρο ενώ ο άλλος, πράσινος. Σε αυτή τη περίπτωση, το μάτι που έχει το κόκκινο φίλτρο, δεν διακρίνει κανένα άλλο χρώμα εκτός του κόκκινου και αντίστοιχα το άλλο μάτι, δεν διακρίνει κανένα άλλο χρώμα εκτός από το πράσινο. Μπροστά από τον ασθενή τοποθετούνται 3 φωτεινές κουκίδες, από τις οποίες μια είναι κόκκινη, μια είναι λευκή ενώ οι υπόλοιπες είναι πράσινες. Στην περίπτωση όπου η διόφθαλμη όραση του ασθενούς είναι φυσιολογική, αυτός διακρίνει με το ένα μάτι τις δυο πράσινες κουκίδες, με το άλλο τη κόκκινη ενώ και με τα δυο τη λευκή. Σε αντίθετη περίπτωση, ανάλογα με τις απαντήσεις που δίνει, μπορεί να εντοπιστεί το πρόβλημα που έχει. Στην ίδια κατηγορία, εντάσσονται και η δοκιμασία με τα γυαλιά του Bagolini, και η χρήση του συνοπτοφόρου.

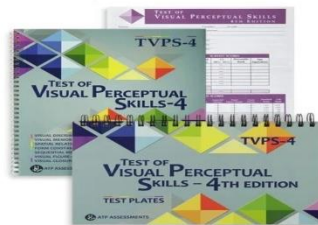
### **ΧΡΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

Η χρήση των ψυχοφυσικών μεθόδων, δεν περιορίζεται μόνο στα παραπάνω στοιχεία. Πιο αναλυτικά, οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται από επαγγελματίες διαφόρων κλάδων για τη μελέτη και την κατηγοριοποίηση των ασθενών που πάσχουν από συγκεκριμένες παθήσεις. Τα τεστ εστιάζουν στην κατανόηση, τον χρόνο δράσης και στην απόκριση των εξεταζόμενων, κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών. Ειδικότερα, εκπαιδευτικοί ειδικής αγωγής, λογοθεραπευτές και ψυχολόγοι, διεξάγουν εξειδικευμένα τεστ, ώστε να εντοπίσουν μαθησιακές δυσκολίες σε παιδιά. Σε αυτά τα τεστ, αξιολογείται μεγάλο μέρος των αισθητηριακών περιοχών του εγκεφάλου, όπως είναι οι οπτικές, οι κινητικές, οι ακουστικές και οι μνημονικές. Ενδεικτικά, το Dunlop test είναι μια μέθοδος διάγνωσης της οπτικής δυσλεξίας. Το παραπάνω τεστ, προβάλλει μέσω ενός συνοπτοφόρου, μια σταθερή εικόνα. Συνηθεστέρα, πρόκειται για ένα σπίτι με μια πόρτα, εκατέρωθεν της οποίας προβάλλονται δυο δέντρα, διαφορετικά σε μέγεθος. Αλλάζοντας τη γωνία που έχουν μεταξύ τους οι σωλήνες του συνοπτοφόρου, ο εξεταζόμενος προσπαθεί να μείνει προσηλωμένος στον στόχο. Κατά τη διάρκεια του τεστ, ο εξεταζόμενος παρατηρεί κίνηση του ενός δέντρου προς τη μεριά της πόρτας. Σε σύνολο 10 επαναλήψεων, ο ασθενής φυσιολογικά αντιλαμβάνεται την κίνηση αυτή, από την ίδια μεριά που την αντιλήφθηκε και πρώτα. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει ένδειξη ότι μπορεί να έχει κάποια μαθησιακή δυσκολία.



Ένα άλλο τεστ που όπως χρησιμοποιείται ευρέως σε παιδιά (4-18 ετών), είναι το TVPS (Test of Visual Perceptual Skills). Μέσω της συγκεκριμένης δοκιμασίας, αντλούνται πληροφορίες όσον αφορά την οπτική μνήμη, την οπτική διάκριση και τη διαδοχική μνήμη, καθώς και σχετικά με δυσκολίες που μπορεί να αντιμετωπίζει το παιδί σε όλους τους τομείς. Τέλος αξίζει να αναφερθεί το τεστ eyeRADAR, που βασίζεται στη τεχνολογία του eye-tracking. Ο ασθενής καλείται να διαβάσει τα κείμενα που εμφανίζονται μπροστά από μια οθόνη, ενώ παράλληλα, εξειδικευμένες κάμερες καταγράφουν τις κινήσεις των ματιών.

Η ανάπτυξη των ψυχοφυσικών μεθόδων, αξιοποιείται καθοριστικά και στην αξιολόγηση ψυχιατρικών και ψυχολογικών προβλημάτων από συγκεκριμένες επαγγελματικές κατηγορίες όπως ψυχίατρος και ψυχολόγος. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και τα τεστ που ανιχνεύουν οφθαλμοκινητικές διαταραχές σε ασθενείς που πάσχουν από σχιζοφρένεια, και συγκεκριμένα η μελέτη των σακκαδικών κινήσεων. Κατά την δοκιμασία σακκαδικής μνήμης, προβάλλονται μπροστά από τον ασθενή δυο στίχοι, με τον έναν, να αποτελεί τον στόχο στον οποίο προσηλώνει. Μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα ο περιφερικός στόχος εξαφανίζεται. Στη συνέχεια, εξαφανίζεται και ο στόχος προσηλώσης και ο ασθενής καλείται να προσηλώσει στη θέση που βρισκόταν ο περιφερικός στόχος, χρησιμοποιώντας σακκαδικές κινήσεις. Σε αυτή την περίπτωση καταγράφεται ο χρόνος αντίδρασης κατά την εκτέλεση των σακκαδικών κινήσεων.



*Εικόνα 3.10: το Test of Visual Perceptual Skills*

### **ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ ΨΥΧΟΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

Οι παραπάνω ψυχοφυσικές μέθοδοι, προσφέρουν στον εξεταστή χρήσιμες πληροφορίες για την λειτουργία της όρασης του ασθενούς. Η ανατομική αξιολόγηση σε συνδυασμό με την χρήση των παραπάνω μεθόδων, μπορούν να εντοπίσουν τυχόν προβλήματα.

#### **Οπτική οξύτητα**

Η βασικότερη οφθαλμολογική εξέταση, στην οποία υποβάλλεται κάθε εξεταζόμενος είναι η μέτρηση της οπτικής οξύτητας. Η καταγραφής της, συμβάλλει στον εντοπισμό των διαθλαστικών προβλημάτων του ασθενούς. Επιπρόσθετα, σχεδόν το σύνολο των οφθαλμικών προβλημάτων, έχουν σαν συνέπεια την μείωση της οπτικής οξύτητας. Συνεπώς η ακριβής μέτρησή της, είναι καθοριστικής σημασίας για την ορθή αντιμετώπιση του προβλήματος.

#### **Ευαισθησία οπτικής αντίθεσης**

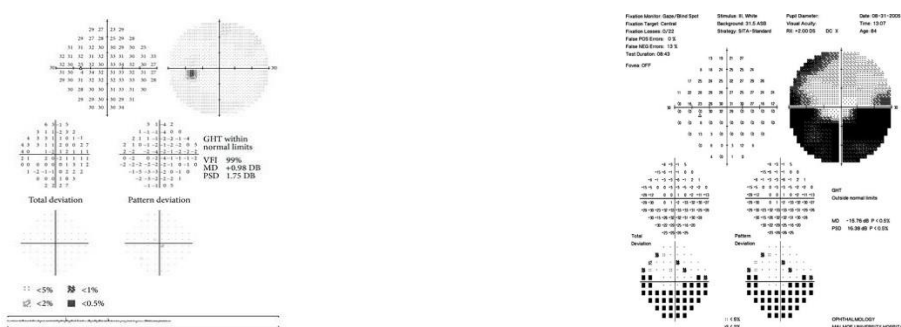
Η εξέταση της ευαισθησίας οπτικής αντίθεσης, δεν αποτελεί μέθοδο εντοπισμού κάποιας οφθαλμικής νόσου, καθώς αρκετές παθολογικές καταστάσεις στον οφθαλμό, μπορούν να οδηγήσουν σε παρόμοια αποτελέσματα. Παρά ταύτα, αποτελεί πολύτιμη μέθοδο στον προσδιορισμό μιας παθολογικής κατάστασης όπως επίσης και στην σωστή επιλογή της θεραπείας της. Η μέτρηση της ευαισθησίας οπτικής αντίθεσης, συμπληρώνει τα αποτελέσματα που συλλέγονται από άλλες εξετάσεις, σε παθήσεις όπως είναι ο καταρράκτης, η ηλικιακή εκφύλιση ωχράς κηλίδας και το γλαύκωμα (Anjali και συν. 2003) (Kaene και συν. 2010)

#### **Έγχρωμη όραση**

Όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο, οι παθήσεις που οδηγούν σε χρωματική ανεπάρκεια μπορεί να οφείλονται τόσο σε γενετικές μεταλλάξεις όσο και σε επίκτητους παράγοντες. Με τις μεθόδους διερεύνησης της έγχρωμης όρασης, μπορεί να γίνει σαφής διάκριση των γενετικών ανωμαλιών και κατηγοριοποιούνται σε ανώμαλη τριχρωματοψία, διχρωματοψία και μονοχρωματοψία και μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω, ανάλογα με τον τύπο των κωνίων που επηρεάζονται (Simunovic, 2010). Επιπλέον, ο έλεγχος της χρωματικής αντίληψης, λειτουργεί επικουρικά και στην παρακολούθηση επίκτητων ασθενειών, όπως είναι η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια και το γλαύκωμα (Fong και συν. 1999).

### Οπτικά πεδία – Περιμετρία

Τα οπτικά πεδία, έχουν σημαίνοντα ρόλο στην παρακολούθηση των γλαυκωματικών ασθενών. Μη φυσιολογικά οπτικά πεδία που οφείλονται στο γλαύκωμα, μπορούν να διαιρεθούν ανάλογα με τη θέση, το σχήμα και το μέγεθος που παρουσιάζουν. Ο ρόλος των οπτικών πεδίων δεν περιορίζεται μόνο στο γλαύκωμα. Η καταγραφή τους, είναι σημαντική σε ασθένειες με ηλικιακή εκφύλιση ώχρας κηλίδας, με εγκεφαλικό επεισόδιο, πάσχοντες από προβλήματα της οπτικής οδού κλπ.



**Εικόνα 3.11:** Σύγκριση δυο οπτικών πεδίων με το ένα να προέρχεται από φυσιολογικό οφθαλμό (αριστερά), ενώ το άλλο από γλαυκωματικό (δεξιά)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hall, J., 2016. *Guyton and Hall Ιατρική Φυσιολογία*. Αθήνα: Επιστημονικές εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ
2. Campbell, N., Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P. and Jackson, R. 2015. *Biology A Global Approach*. UK: PEARSON
3. Barrett, K., Barman, S., Boitano, S. and Brooks, H. 2014. *Ganong's Ιατρική Φυσιολογία*. Αθήνα: εκδόσεις Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
4. McCulloch, D., Marmor, M., Brigell, M., Hamilton R., Holder G., Tzekov R. and Bach M. 2015. ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update). *Documenta Ophthalmologica*. [e-journal]. 130, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10633-014-9473-7>

5. Carpi, F., Tomei, F., 2016. Non-invasive electroretinography. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. [e-journal]. 60 (8), 375-379. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2006.07.002>
6. Hoffmann, M.B., Bach, M., Kondo, M. *et al.* 2021. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). *Documenta Ophthalmologica* [e-journal]. 142, 5–16. <https://doi.org/10.1007/s10633-020-09812-w>
7. Robson, A.G., Nilsson, J., Li, S. *et al.* 2018. ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. *Documenta Ophthalmologica* [e-journal]. 136, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s10633-017-9621-y>
8. Μαρκόπουλος, Ι., 2016. *Ηλεκτροφυσιολογική μελέτη της οπτικής οδού σε ασθενείς με νόσο Alzheimer*. Διδακτορική διατριβή [Online]. Αθήνα: Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο στο: <https://pergamos.lib.uoa.gr/>
9. Πλαϊνής, Σ., Τσιλιμπάρης, Μ., Παλλήκαρης, Ι.Γ., 2007. ‘*Νευροφυσιολογία του αμφιβληστροειδή και των οπτικών οδών*’. *Οφθαλμολογία*. 19: 269-283. Διαθέσιμο στο: [http://www.ivo.gr/files/items/3/329/ophthalmologia\\_visual\\_pathways\(2007\).pdf](http://www.ivo.gr/files/items/3/329/ophthalmologia_visual_pathways(2007).pdf)
10. Perlman, I., *The electroretinogram: ERG by Ido Perlman*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://webvision.med.utah.edu/book/electrophysiology/the-electroretinogram-erg/> [Επίσκεψη στις 22/03/2022]
11. Adler, F., Levin, L., Kaufman, P. and 2011. *Adler's physiology of the Eye: Clinical Application*. Edinburgh: SAUNDERS
12. Nadeen, A. and Ansari, M. W., 2016. *Atlas of Ocular Anatomy*. Springer International Publishing
13. Lam, B., 2005. *Electrophysiology of Vision*. USA: Dramroo
14. Bach, M., Brigell, M.G., Hawlina, M., Holder, G., Johnson, M., McCulloch, D., Meigen, T. and Viswanathan, S., 2013. ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update. *Documenta Ophthalmologica* [e-journal]. 126, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s10633-012-9353-y>
15. Holder, G., 2001. Pattern Electroretinography (PERG) and an Integrated Approach to Visual Pathway Diagnosis. *Progress in Retinal and Eye Research*, [e-journal]. 20(4), 531-561. [https://doi.org/10.1016/S1350-9462\(00\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S1350-9462(00)00030-6)
16. Bhatt, D., 2013. Electrophysiology for ophthalmologist (A practical approach). *Journal of Clinical Ophthalmology & Research* [e-journal]. 1: 45-54. Επίσκεψη στις 19/03/2022. Διαθέσιμο στο: <https://www.jcor.in/text.asp?2013/1/1/45/106287>
17. Robson, A., Nilsson, J., Li, S., Jalali, S., Fulton, A., Tormene, A. P., Holder, G. and Brodie, S., 2018. ISCEV standard to visual electrodiagnostic procedures. *Documenta Ophthalmologica* [e-journal]. 136:1–26. <https://doi.org/10.1007/s10633-017-9621-y>
18. Miyake, Y., 2006. *Electrodiagnosis of Retinal Diseases*. Ιαπωνία: Springer
19. Gerth, C., Zawadzki, R.J., Werner, J.S. and Heon, E. 2009. Detailed analysis of retinal function and morphology in a patient with autosomal recessive bestrophinopathy (ARB). *Doc Ophthalmologica*. 118, 239–246. <https://doi.org/10.1007/s10633-008-9154-5>
20. Moschos, M., Moschos, M., Apostolopoulos, M., Mallias, J., Bouros, C. and Theodossiadis, G., 2014. Assessing hydroxychloroquine toxicity by the multifocal ERG. *Documenta Ophthalmologica*. 108, 47-53. <https://doi.org/10.1023/b:doop.0000018385.99215.0d>
21. Ramkumar, H. 2022. Electrooculogram. *EyeWiki*. Διαθέσιμο από <https://eyewiki.org/Electrooculogram> (Επίσκεψη στις 12/05/2022)
22. Wikipedia, *Νευρώνας*. [online] Διαθέσιμο από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%8E%CE%BD%CE%B1%CF%82> [Επίσκεψη στις 22/03/2022]
23. Somlai, J. and Kovacs, T., 2016. *Neuro-Ophthalmology*. Springer International Publishing
24. Odom, J.V., Bach, M., Brigell, M., Holder, G., McCulloch, D., Mizota, A., Tormene, A. P. and ISCEV. 2018. ISCEV standard for clinical visual evoked potentials: (2016 update). *Documenta Ophthalmologica*. [e-journal]. 133, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10633-016-9553-y>
25. Drake, R., Vogl, W., and Mitchell, A., 2006. *GRAY'S Ανατομία*. Αθήνα: εκδόσεις Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
26. Snell, R. and Lemp, Michael A., 2006. *Κλινική ανατομία του ΟΦΘΑΛΜΟΥ*. Αθήνα: εκδόσεις Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
27. Πατέρας, Ε., 2021. Εγχειρίδιο Κλινικής Οπτομετρίας [Εργαστηριακός Οδηγός]. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <http://hdl.handle.net/11419/8014>
28. Arden, G. and Consable, P., 2006. The electro-oculogram. *Progress in Retinal and Eye Research*. [e-journal]. 25(2), 207-248 <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2005.11.001>
29. Constable, P.A., Bach, M., Frishman, L.J., Jeffrey, B. and Robson, A., 2017. ISCEV Standard for clinical electro-oculography (2017 update). *Documenta Ophthalmologica*. [e-journal]. 134, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10633-017-9573-2>

30. Richman, J., Spaeth, G. and Wirostko, B., 2013. Contrast sensitivity basics and a critique of currently available tests. *Journal of Cataract and & Refractive Surgery*. [e-journal]. 39(7), 1100-1106  
<https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.05.001>
31. Melamud, A., Hagstrom, S., and Traboulsi, E., 2004. Color vision testing, *Ophthalmic Genetics*. [e-journal]. 25(3), 159-187 <https://doi.org/10.1080/13816810490498341>
32. Simunovic, M. 2010. Color vision deficiency. *Eye*. 24, 747-755. <https://doi.org/10.1038/eye.2009.251>
33. Πατέρας, Ε., 2010. *Οπτομετρία ΙΙ*. Αθήνα: Εκδόσεις Έλλην
34. Πατέρας, Ε. 2010. *Οπτομετρία Ι*. Αθήνα: Εκδόσεις Έλλην
35. Hasrod, N. and Rubin, A., 2015. A review of Cambridge Colour Test and other colour testing methods. *Afr Vision Eye Health*. [e-journal]. 74(1), art No 23 <http://dx.doi.org/10.4102/aveh.v74i1.23>
36. Chandrinos, A., 2020. *Aspects of Automated Perimetry*. LAB LAMBERT Academic Publishing
37. Ophthalmology Web, 2022. *OCULUS HMC Anomaloscope from OCULUS*. [online] Διαθέσιμο από: <https://www.ophthalmologyweb.com/5853-Visual-Testing-Systems/52569-Oculus-HMC-Heidelberg-Multi-Color-Anomaloscope/> [ Πρόσβαση στις 17/05/2022]
38. Παπακωνσταντίνου, Δ., 2021. *Τα οπτικά πεδία στο γλαύκωμα*. Πανεπιστημιακή Οφθαλμολογική κλινική Αθηνών
39. Wikipedia, *Humphrey visual field analyser*. [online]. Διαθέσιμο από: [https://en.wikipedia.org/wiki/Humphrey\\_visual\\_field\\_analyser](https://en.wikipedia.org/wiki/Humphrey_visual_field_analyser) [ Επίσκεψη στις 27/05/22]
40. Δαμανάκης, Α., 2004. *Στραβισμοί και οφθαλμοκινητικές διαταραχές*. Αθήνα: ιατρικές εκδόσεις Λίτσας
41. Stain, J., 2004. Dyslexia: the Role of Vision and Visual Attention. *Current Developmental Disorders Reports*. [e-journal]. 1, 267-280. <https://doi.org/10.1007/s40474-014-0030-6>
42. Scheiman, M. and Wick, B., 2014. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
43. Alsons, A. and Davis H., 2014. *Diagnosis and Management of Ocular Motility Disorders*. Wiley Blackwell
44. Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Selimis, V., Kalaitzakis, M, Bavhourou, Th., Kaloutsakis, G., Kymionis, D., Smirnakis, S. and Aslanidis, I., 2017. RADAR: A novel fast-screening method of reading difficulties with special focus on dyslexia. *PLoS ONE*. 12(8), e0182597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182597>
45. Δαμανάκης, Α., 2011. *Διάθλαση*. Αθήνα: Χ.Π. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
46. Stain, J., Riddell, P. and Fowler, M., 1986. The Dunlop test and reading in primary school children. *British Journal of Ophthalmology*. 70, 317-320
47. Καραντινός, Θ., 2013. Οφθαλμοκινητικότητα και σχιζοφρένεια: Νευροφυσιολογική διερεύνηση των διαταραχών των οφθαλμικών κινήσεων σε ασθενείς με σχιζοφρένεια και συναφείς ψυχώσεις. Διδακτορική διατριβή. [online]. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο στο: <https://www.didaktorika.gr/eadd/>
48. Πλατή, Μ. Χ., 2016. *Οπτικοκινητικός συντονισμός σε παιδιά με νοητική υστέρηση: Μια πιλοτική παρέμβαση*. [online]. Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Διαθέσιμο στο: <https://dspace.uowm.gr/xmlui/>
49. Brown, T. and Peres, L. 2008. An overview and critique of the Test of Visual Perception Skills - fourth edition (TVPS-4). *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*. [e-journal]. 31(2), 59-68. <https://doi.org/10.1177%2F1569186118793847>
50. Martin, A. 2017. (TVPS-4) Test of Visual Perception Skills 4th Edition. Διαθέσιμη εικόνα από: <https://www.wpspublish.com/tvps-4-test-of-visual-perception-skills-4th-edition> (Επίσκεψη στις 12/05/2022)
51. Alexander, K. and Brigell, M., 2015. Chapter 9 Psychophysical Techniques. *Handbook of Clinical Neurophysiology*. [e-journal]. 5, 167-188. [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(09\)70206-0](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(09)70206-0)
52. Bailay, I. and Lovie-Kitchin, J. 2013. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. *Vision Research*. [e-journal]. 90, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.05.004>
53. Πλαϊνής, Σ. Εισαγωγή στις Ψυχοφυσικές μεθόδους. *Ψυχοφυσικές μέθοδοι*. 1, 1-9. Διαθέσιμο στο: [http://www.ivo.gr/files/items/1/109/psychophysical\\_methods\(notes\).pdf](http://www.ivo.gr/files/items/1/109/psychophysical_methods(notes).pdf) .(Επίσκεψη στις 12/05/2022)
54. Kaene, P., Patel, P., Ouyang, Y., Chen, F., Ikeji, F., Walsh, A., Tufail, A. and Sadda, S. 2010. Effects of Retinal Morphology on Contrast Sensitivity and Reading Ability in Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 51, 5431-5437. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-4846>
55. Anjali, H., Janet, S., Ziba, A., Kenneth, A. and Jacob, W. 2003. Comparison of Contrast Sensitivity, Visual Acuity, and Humphrey Visual Field Testing in Patients with Glaucoma. *Journal of Glaucoma*. 12(2), 134-138

56. Fong, D., Barton, F. and Bresnick, G. 1999. Impaired color vision associated with diabetic retinopathy: Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Report No. 151. *American Journal of Ophthalmology*. [e-journal]. 128(5), 612-617. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(99\)00227-5](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(99)00227-5)
57. Πλαϊνής, Σ. 2005. *Διακριτική ικανότητα οφθαλμού*. Εργαστήριο Οπτικής και Όρασης Πανεπιστημίου Κρήτης. Διαθέσιμο από: <https://eclass.uniwa.gr/modules/video/file.php?course=OPT109&id=209>
58. Bologhini, N. and Vallar, G. 2020. Chapter 19 - Hemianopia, spatial neglect, and their multisensory rehabilitation. *Multisensory Perception*. [e-journal]. 423-447
59. Salmon, G. 2019. Glaucoma. *Kanski's Clinical Ophthalmology*. 11, 345-422
60. Bengtsson, B. and Heijl, A. 2007. A Visual Field Index for Calculation of Glaucoma Rate of Progression. *American Journal of Ophthalmology*. [e-journal]. 145(2), 343-353.
61. Mastropasqua, R., Agnifili, L., Mattei, P., Caulo, M., Fasanella, V., Navarra, R., Mastropasqua, L. and Marchini, G., 2015. Advanced Morphological and Functional Magnetic Resonance Techniques in Glaucoma. *BioMed Research International*. 2015, 1-7.