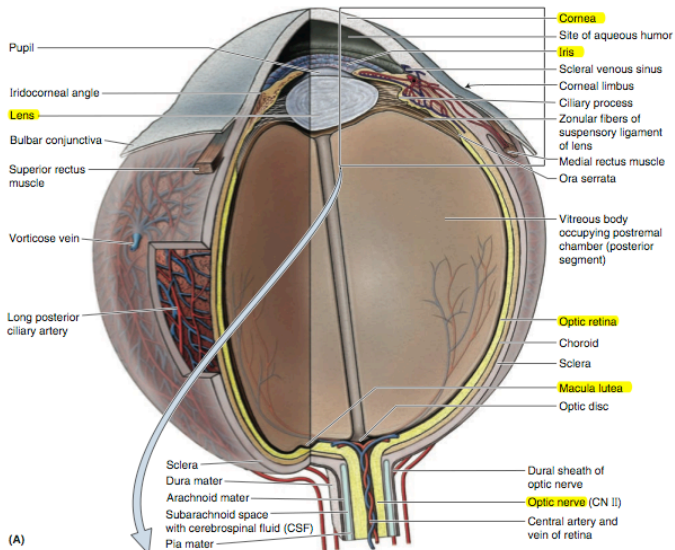


Άσκηση 5: Προσομοίωση Αμφιβληστροειδούς

① Αμφιβληστροειδής: Δομή και λειτουργία

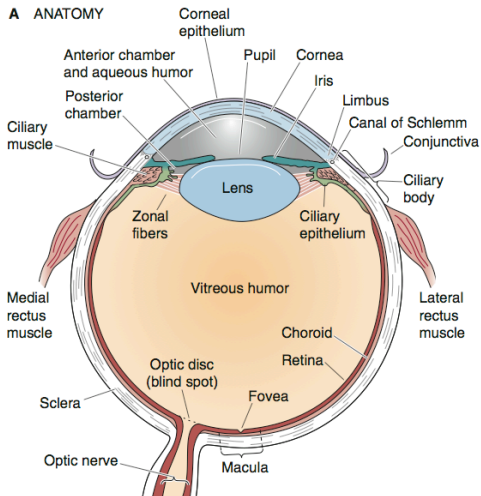
② Προσομοίωση Αμφιβληστροειδούς

Ο Οφθαλμός



Εντοπίζουμε στο μάτι δύο συστήματα που συμμετέχουν στην λειτουργία της όρασης:

- ❶ Ένα σύστημα οπτικής, για την σωστή εστίαση των ειδώλων (φακός και άλλα διαθλαστικά μέσα)
- ❷ Ένα αισθητηριακό σύστημα, για την αντίληψη των οπτικών ερεθισμάτων



Απλοποιημένη άποψη των βασικών δομών του ματιού

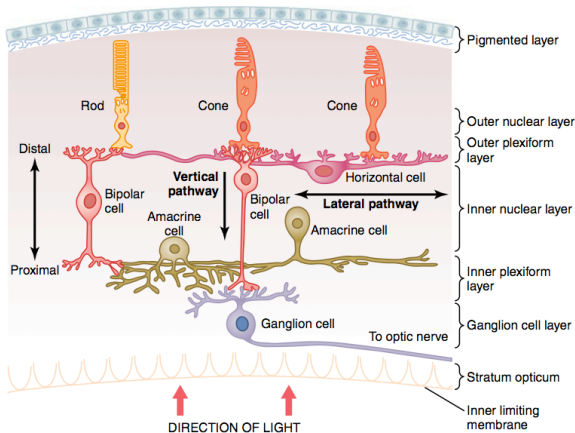
Αμφιβληστροειδής: Θέση και λειτουργία

Ο αμφιβληστροειδής είναι ένας πολύ μικρού πάχους ($200\mu m$) χιτώνας

- βρίσκεται στο *οπίσθιο* τμήμα του οφθαλμού
- είναι η μοναδική *φωτοευαίσθητη* δομή
- ανήκει στο *κεντρικό νευρικό σύστημα*.

Μετατρέπει το προσπίπτον φως σε νευρικά σήματα και επεξεργάζεται με σύνθετο τρόπο την οπτική πληροφορία πριν την μεταδώσει στον εγκέφαλο.

Κύτταρα αμφιβληστροειδούς



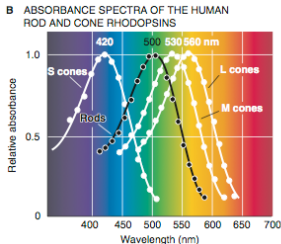
Κάθε τύπος κυττάρου συνδέεται με συγκεκριμένους άλλους κυτταρικούς τύπους.

Φωτοϋποδοχείς

Οι Φωτοϋποδοχείς (Photoreceptors-PR) είναι τα κύτταρα που μετατρέπουν φωτεινά ερεθίσματα σε ηλεκτρικά δυναμικά.

Οι PRs μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων σε χημική ενέργεια και τελικά σε συναπτικά σήματα που μεταδίδουν σε νευρικά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς

Σκοτοπική (ραβδία) και φωτοπική (κονία) όραση

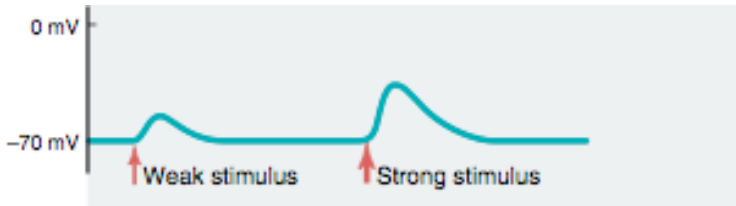


Στον άνθρωπο διακρίνουμε 4 διαφορετικούς PRs: 3 είδη κόνιων και τα ραβδία. Κάθε είδος PR έχει διαφορετική καμπύλη ευαισθησίας-μήκους κύματος.

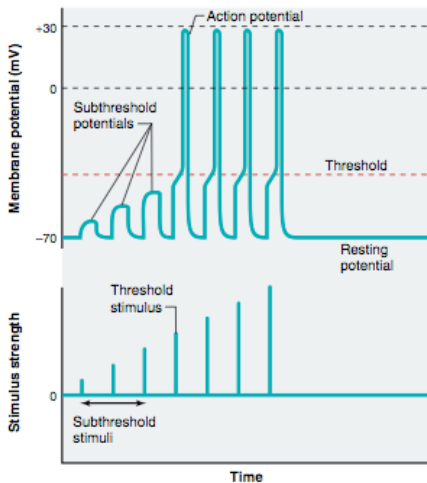
Νευρικά κύτταρα

- Horizontal: Ρυθμίζουν την απόκριση του αμφιβληστροειδούς ώστε να είναι ανεξάρτητη από την μέση φωτεινότητα
- Bipolar: Συγκρίνουν την τοπική με την μέση φωτεινότητα
- Amacrine: Εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία και συνδέουν απομακρυσμένα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς
- Ganglion: Σχηματίζουν την έξοδο του αμφιβληστροειδούς που μεταφέρεται προς τον εγκέφαλο με το οπτικό νεύρο

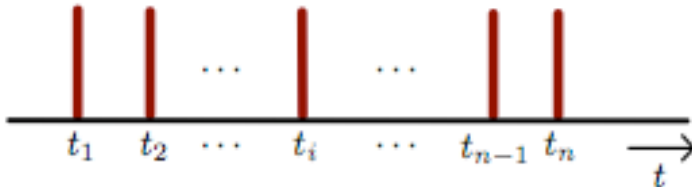
Νευρικά δυναμικά



Βαθμωτά δυναμικά: Ισχυρότερα ερεθίσματα οδηγούν σε μεγαλύτερη απόκριση. Στον αμφιβληστροειδή παρατηρούνται στα PR, HC, BC, AC



Δυναμικά ενέργειας: απόκριση όλο ή ουδέν (all or nothing). Στον αμφιβληστροειδή, αποτελούν την έξοδο των GCs.



Αναπαράσταση δυναμικών ενέργειας ενός GC.
Κάθε αιχμή συμβολίζει ένα δυναμικό ενέργειας.

① Αμφιβληστροειδής: Δομή και λειτουργία

② Προσομοίωση Αμφιβληστροειδούς

Virtual Retina software

- Πρόγραμμα σε C++ για την προσομοίωση του αμφιβληστροειδούς
- Μετά την εγκατάσταση, χρησιμοποιείται σαν εργαλείο (εκτελέσιμο) από την γραμμή εντολών (command line tool)
- Η περιγραφή της προσομοίωσης γίνεται με αρχείο xml

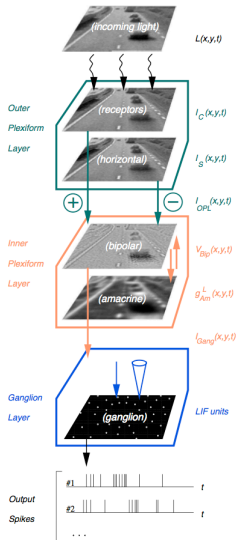
Περιγραφή προσομοίωσης (xml)

- Αριθμός κυττάρων (GCs)
- Θέσεις κυττάρων (συντεταγμένες) στις εικόνες εισόδου
- Χαρακτηριστικά των κυττάρων: χρονικές και χωρικές σχέσεις

Υλοποίηση προσομοιωτή

Εφαρμογή σε διαδοχικά στάδια, χωρικών και χρονικών φίλτρων, στην ακολουθία εικόνων εισόδου. Τα στάδια του προσομοιωτή βρίσκονται σε αντιστοιχία με την οργάνωση του αμφιβληστροειδούς σε κυτταρικές στιβάδες.

Στάδια Virtual Retina



- Outer plexiform layer: PR+HC, γραμμικά, Γκαουσιανά χωρικά φίλτρα.
Center-surround ανταγωνισμός
- Inner plexiform layer: BC+AC, τα AC δίνουν σήμα ανάδρασης στα BCs (contrast gain control), χωρικό (AC) και χρονικό (AC+BC) φιλτράρισμα
- GC: spike generation με ΔΕ 1ης τάξης:

$$\dot{V} = I_p - gV + \eta_n$$

spikes όταν $V(t) > 1$

Ευχαριστούμε για την προσοχή σας

- [AL⁺01] J Arthur, Dorothy-Sherman Luciano, et al., *Human physiology. the mechanisms of body function*, 8th ed., Boston, MA: McGraw-Hill Higher Education, 2001, 2001.
- [BB04] Walter F Boron and Emile L Boulpaep, *Medical physiology, 1e updated edition e-book*, Elsevier Health Sciences, 2004.
- [S⁺09] Leonel Augusto Sousa et al., *Bioelectronic vision: retina models, evaluation metrics, and system design*, vol. 3, World Scientific, 2009.
- [WK09] Adrien Wohrer and Pierre Kornprobst, *Virtual retina: a biological retina model and simulator, with contrast gain control*, *Journal of computational neuroscience* **26** (2009), no. 2, 219–249.
- [Woh10] Adrien Wohrer, *Virtual retina - tutorial*, 2010.