



Co-funded by
the European Union

Διδακτική ενότητα: Ο μηχανισμός της όρασης: Από το φως στον εγκέφαλο

DiFC - Πανεπιστήμιο του Παλέρμο



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





Περιεχόμενα

1. Ο μηχανισμός της όρασης: Από το φως στον εγκέφαλο	3
Βιολογία της όρασης και της οπτικής· μεταγωγή σήματος· από τον βολβό του ματιού στον οπτικό φλοιό	3
2. Εξερεύνηση Ενότητας	6
Φάση εμπλοκής	6
Δραστηριότητες καταιγισμού ιδεών στην τάξη	7
Βασικό Επίπεδο	8
Φυσική και Οπτική της Όρασης	8
Από τη φυσική στη φυσιολογία: φωτοϋποδοχείς και σήμα.	9
Χωρική κατανομή και οπτική οξύτητα.	10
Από τον αμφιβληστροειδή στον εγκέφαλο: υποχρεωτικά στάδια.	10
Από τη θεωρία στα καθημερινά αντικείμενα.	11
Πόροι που βασίζονται στο διαδίκτυο	11
Προχωρημένο επίπεδο	11
Ανεστραμμένη Μάθηση:	12
3. Μονάδα Λειτουργίας	12
Βασικό Επίπεδο	12
Προχωρημένο επίπεδο	14
Δραστηριότητες:	15
4. Αναφορές	15





Γενικό θέμα της μαθησιακής διαδρομής	Ο μηχανισμός της όρασης: Από το φως στον εγκέφαλο
Συγκεκριμένη ονομασία της μαθησιακής μονάδας	Βιολογία της όρασης και της οπτικής· μεταγωγή σήματος· από τον βολβό του ματιού στον οπτικό φλοιό
Ηλικία των χρηστών-στόχων	17–19 ετών
Απαιτήσεις για τον εκπαιδευόμενο	Βασικές γνώσεις βιολογίας (ανατομία του οφθαλμού, νευρικοί ιστοί), φυσικής (γεωμετρική οπτική: ανάκλαση, διάθλαση, εστίαση) και εισαγωγικά στοιχεία ηλεκτροφυσιολογίας.
Περιγραφή της μαθησιακής μονάδας	Η ενότητα καθοδηγεί μαθητές και εκπαιδευτικούς σε μια διεπιστημονική πορεία που ενσωματώνει τη βιολογία και τη φυσική, ώστε να κατανοήσουν πώς το φως που ανακλάται από τα αντικείμενα εστιάζεται στον αμφιβληστροειδή, μετατρέπεται από φωτοϋποδοχείς (κωνία και ραβδία) σε ηλεκτρικά σήματα και μεταδίδεται κατά μήκος του οπτικού νεύρου στις φλοιώδεις περιοχές που είναι υπεύθυνες για την όραση. Η χρήση ψηφιακών εργαλείων και εργαλείων επταυξημένης πραγματικότητας (AR) έχει ως στόχο να καταστήσει ορατές τις κατά τα άλλα αόρατες διαδικασίες (ενεργοποίηση φωτοχρωστικών, δρομολόγηση νευρωνικών σημάτων), συνδέοντας με σαφήνεια και προοδευτικά τις ανατομικές δομές με τις φυσικές αρχές.
Θέμα: Εμπλεκόμενα μέρη	Βιολογία, Νευροεπιστήμη, Φυσική (Οπτική), Τεχνολογία (οπτικοποίηση/AR)





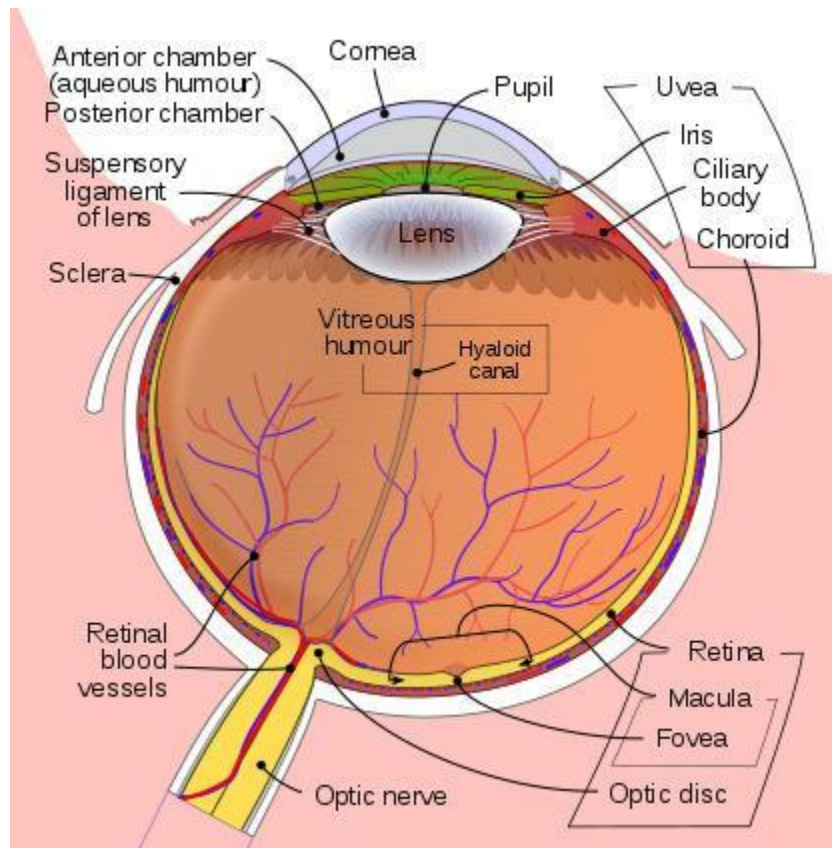
Λέξεις-κλειδιά	Όραση; Αμφιβληστροειδής χιτώνας; Κώνια και ραβδία; Μεταγωγή σήματος; Οπτικό νεύρο; Διάθλαση; Εστίαση; Οπτικός φλοιός; Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR); Μάθηση βασισμένη σε σκηνές
Βασικά προσόντα, δεξιότητες και γνώσεις που μπορούν να αποκτηθούν	• Συλλογιστική και επίλυση προβλημάτων σε ολοκληρωμένες βιοφυσικές διεργασίες • Σχεδιαστική σκέψη εφαρμοσμένη σε διαδοχικές και οπτικές αναπαραστάσεις (σκηνές) • Πρακτικές γνώσεις: γεωμετρική οπτική, οφθαλμική ανατομία, οπτικές οδοί • Δεξιότητες ψηφιακής/επαυξημένης πραγματικότητας: τρισδιάστατη απεικόνιση, ενημερωτικές επικαλύψεις, πλοήγηση σε σκηνές
Χρησιμοποιήθηκαν πόροι και διδακτικά βοηθήματα	Πλατφόρμες επαυξημένης πραγματικότητας (π.χ., Delightex Studio – Spaces, Marker), αξιόπιστοι διαδικτυακοί πόροι και εκπαιδευτικά βίντεο, επιστημονικά άρθρα και βάσεις δεδομένων, τρισδιάστατα μοντέλα (μάτι, αμφιβληστροειδής/φωτοϋποδοχείς, οπτικό νεύρο) και επικαλύψεις κειμένου για βασικά δεδομένα.
Κριτήρια αξιολόγησης και αξιολόγηση	Αξιολόγηση γνώσεων (οπτική-βιολογική-νευρωνική αλληλουχία), δεξιοτήτων (σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ οπτικών φαινομένων και βιολογικών αποκρίσεων) και ικανοτήτων (συνειδητή χρήση εργαλείων επαυξημένης πραγματικότητας, διεπιστημονική ολοκλήρωση).

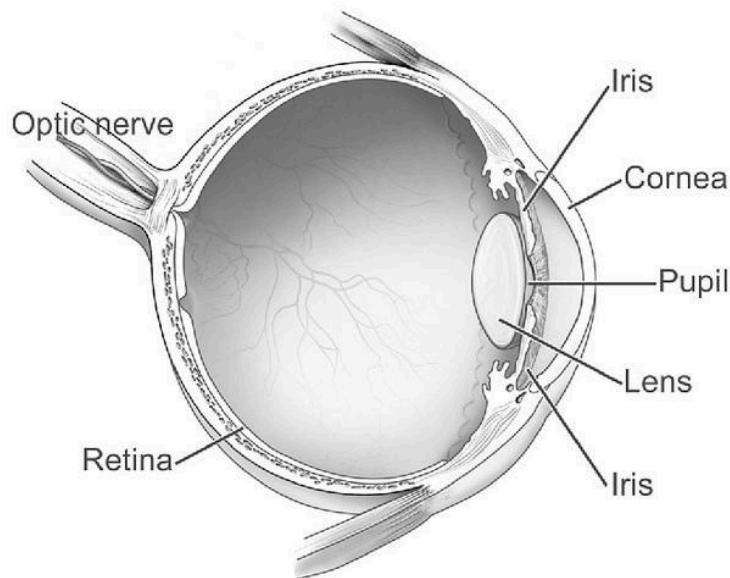


1. Ο μηχανισμός της όρασης: Από το φως στον εγκέφαλο

Βιολογία της όρασης και της οπτικής· μεταγωγή σήματος· από τον βολβό του ματιού στον οπτικό φλοιό

Η όραση προκύπτει από τη διασταύρωση φυσικών φαινομένων και βιολογικών διεργασιών. Το φως που ανακλάται από τα αντικείμενα διέρχεται από το διαφανές μέσο του ματιού, διαθλάται και εστιάζεται στον αμφιβληστροειδή. Εδώ, οι φωτοϋποδοχείς μετατρέπουν τη φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρικά σήματα που ταξιδεύουν κατά μήκος του οπτικού νεύρου στις φλοιώδεις περιοχές που είναι υπεύθυνες για την οπτική επεξεργασία. Η όραση δεν σημαίνει παθητική καταγραφή μιας εικόνας, αλλά ανασύνθεσή της από σήματα που ο εγκέφαλος ερμηνεύει και ενσωματώνει.



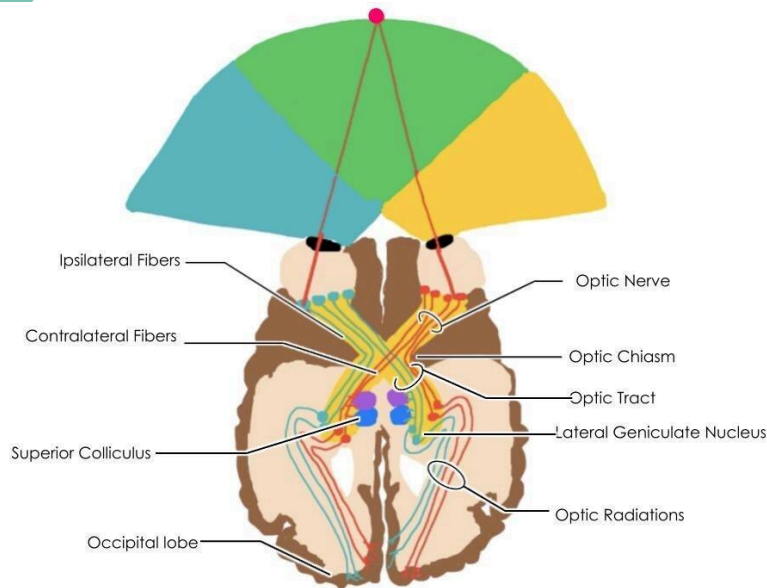


Η εστίαση εξαρτάται από την καμπυλότητα των επιφανειών και από τους δείκτες διάθλασης του οφθαλμικού μέσου. Γεωμετρικές ή οπτικές αλλοιώσεις οδηγούν σε καταστάσεις όπως η μυωπία ή η υπερμετρωπία, στις οποίες το εστιακό σημείο βρίσκεται μπροστά ή πίσω από το επίπεδο του αμφιβληστροειδούς. Ο κρυσταλλοειδής φακός συμβάλλει στην προσαρμογή, αλλάζοντας ελαφρώς την καμπυλότητά του για να διατηρήσει την ευκρίνεια σε διαφορετικές αποστάσεις.

Ο αμφιβληστροειδής είναι ένας εξειδικευμένος νευρικός ιστός. Τα ραβδία, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, υποστηρίζουν την όραση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, ενώ τα κωνία, λιγότερο ευαίσθητα, επιτρέπουν την αντίληψη των χρωμάτων και την ευκρινή όραση στο φως της ημέρας. Η φωτομεταγωγή ξεκινά όταν οι φωτοχρωστικές απορροφούν φωτόνια και ενεργοποιούν μια βιοχημική καταρράκτη που ρυθμίζει το δυναμικό της μεμβράνης των φωτοϋποδοχέων και των επακόλουθων νευρώνων του αμφιβληστροειδούς (διπολικά, γαγγλιακά και μεσονευρώνες).

Από τον αμφιβληστροειδή, οι άξονες των γαγγλιακών κυττάρων σχηματίζουν το οπτικό νεύρο. Οι ίνες διασταυρώνονται μερικώς στο οπτικό χiasmα, διασφαλίζοντας ότι το δεξί οπτικό πεδίο επεξεργάζεται κυρίως από το αριστερό ημισφαίριο και αντίστροφα. Το σήμα προχωρά κατά μήκος της οπτικής οδού προς το πλάγιο γονατώδες σώμα (θάλαμος) και στη συνέχεια φτάνει στον πρωτεύοντα οπτικό φλοιό (V1), όπου, μαζί με τις συνειρμικές περιοχές, αναλύεται και ενσωματώνεται για να εξαχθούν χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, το βάθος, η κίνηση και το χρώμα.





Η αντίληψη επηρεάζεται από μηχανισμούς προσαρμογής και από επαγωγικές διαδικασίες. Η προσαρμογή επιτρέπει στο οπτικό σύστημα να διατηρεί την ευαισθησία σε ένα ευρύ φάσμα επιπέδων φωτεινότητας, ενώ οι οπτικές ψευδαισθήσεις δείχνουν ότι ο εγκέφαλος ερμηνεύει ερεθίσματα με βάση το πλαίσιο και την εμπειρία, ολοκληρώνοντας μερικές πληροφορίες για να ανακατασκευάσει μια συνεκτική σκηνή.

Η διόφθαλμη όραση παρέχει ενδείξεις απόκλισης απαραίτητες για την εκτίμηση του βάθους, ενώ οι μονοφθάλμιες ενδείξεις - όπως το σχετικό μέγεθος, η προοπτική, η απόφραξη και η σκίαση - συμβάλλουν στην τρισδιάστατη αντίληψη ακόμη και όταν χρησιμοποιείται μόνο το ένα μάτι.

Από εκπαιδευτική άποψη, είναι κρίσιμο να διευκρινιστεί η ακολουθία των γεγονότων: (1) το φως εστιάζεται στο επίπεδο του αμφιβληστροειδούς· (2) οι φωτοϋποδοχείς μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικά σήματα· (3) το δίκτυο του αμφιβληστροειδούς προεπεξεργάζεται το σήμα· (4) το σήμα ταξιδεύει κατά μήκος του οπτικού νεύρου και των θαλαμικών σταθμών· (5) ο οπτικός φλοιός ενσωματώνει τις πληροφορίες για να παράγει μια αντιληπτική αναπαράσταση. Η παρουσίαση αυτών των βημάτων με οργανωμένο τρόπο βοηθά τους μαθητές να συνδέσουν τις φυσικές αιτίες και τα βιολογικά αποτελέσματα.

Η στοχευμένη χρήση ψηφιακών εργαλείων και εργαλείων επαυξημένης πραγματικότητας καθιστά δυνατή την απεικόνιση κατά τα άλλα αόρατων διεργασιών, όπως η διαδρομή του φωτός μέσω των οφθαλμικών μέσων, η ενεργοποίηση των φωτοϋποδοχέων και η μετάδοση σημάτων κατά μήκος των οπτικών οδών. Η οπτικοποίηση σκηνή προς σκηνή διευκολύνει την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ ανατομικών δομών και φυσικών αρχών.





Ας αναλογιστούμε μαζί.

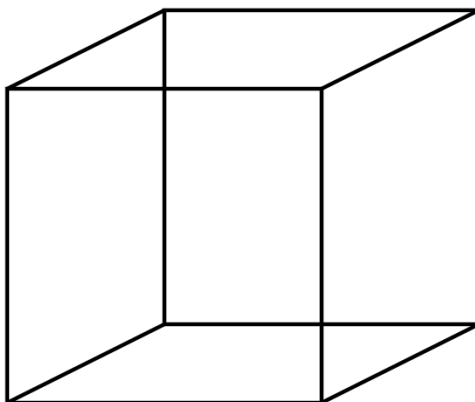
Γιατί δεν βλέπουμε απουσία φωτός; Πώς επηρεάζουν η καμπυλότητα του κρυσταλλοειδούς φακού και οι δείκτες διάθλασης των οφθαλμικών μέσων την ευκρίνεια της εικόνας; Σε ποιο βαθμό συμβάλλει η φλοιώδης ερμηνεία στην αντίληψή μας για το χρώμα και την κίνηση; Αυτά τα ερωτήματα βοηθούν στη σύνδεση των παρατηρήσιμων φαινομένων με τους υποκείμενους μηχανισμούς.

2. Εξερεύνηση Ενότητας

Φάση εμπλοκής

Κατευθυντήρια ερώτηση. *Βλέπουμε με τα μάτια μας ή με τον εγκέφαλό μας;*

Το μάθημα ξεκινά με ένα σύντομο οπτικό ερέθισμα: μια εικόνα στην οποία η ίδια επιφάνεια φαίνεται να έχει διαφορετικά χρώματα ανάλογα με το περιβάλλον πλαίσιο ή μια ψευδαίσθηση φωτεινότητας. Ο σκοπός δεν είναι να «εξαπατηθούν» οι μαθητές, αλλά να εισαχθεί η ιδέα ότι η όραση δεν είναι μια απλή οπτική καταγραφή - είναι μια ερμηνεία των φυσικών σημάτων που εκτελούνται από βιολογικές δομές.



Αρχικά ερεθίσματα (βίντεο και σύντομοι πόροι)

Πώς λειτουργούν τα μάτια – Εθνικό Ινστιτούτο Οφθαλμολογίας (NEI): μια σαφή εικόνα των κύριων τμημάτων του ματιού και της διαδρομής του φωτός μέσω του οφθαλμικού μέσου.

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Τα Μάτια μας – Η Όρασή μας – Κέντρο Μάθησης Επιστημών: Μια προσβάσιμη περίληψη της νευρικής οδού από τον αμφιβληστροειδή → το οπτικό νεύρο → τον εγκέφαλο.

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>





PhET – Γεωμετρική Οπτική (φακοί/εικόνες):Μια σύντομη διαδραστική εξερεύνηση σχετικά με τη διάθλαση και την εστίαση.

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

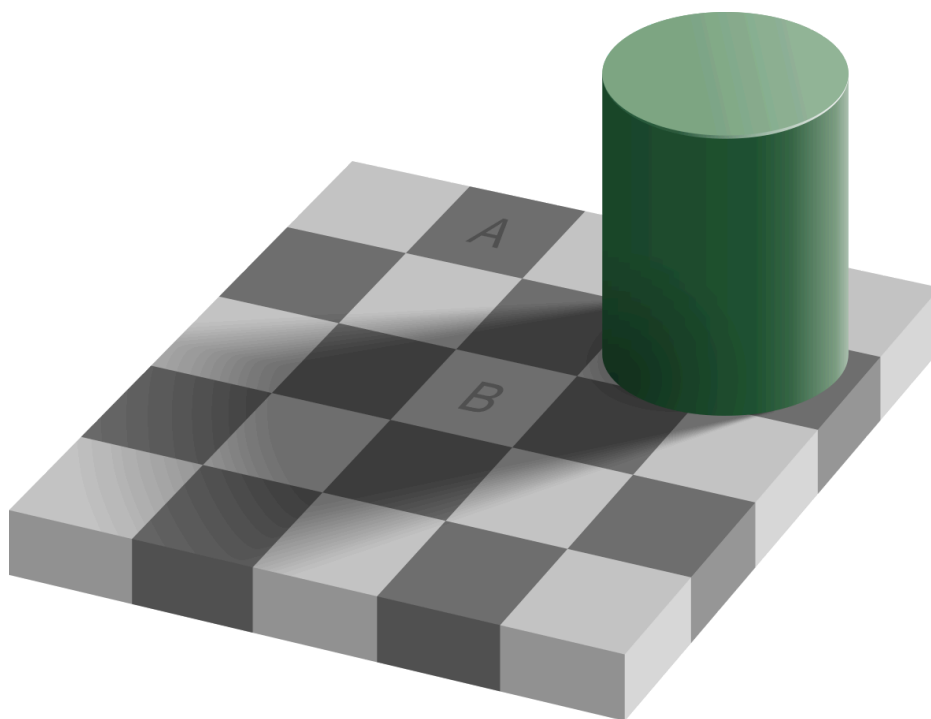
Εναρκτήρια δραστηριότητα (5–10 λεπτά).

Μια γρήγορη προβολή μιας οπτικής ψευδαίσθησης ή ένα σύντομο βίντεο κλιπ καλεί τους μαθητές να ρωτήσουν: «Γιατί βλέπουμε κάτι που δεν υπάρχει;»

Στόχος είναι να τονιστεί ότι το όραμα είναι μία **ερμηνευτική διαδικασία που** καθοδηγείται από τον εγκέφαλο, όχι απλώς μια οπτική «είσοδο».

Προτεινόμενο βίντεο: *Πώς λειτουργεί η όραση* (Ακαδημία Επιστημών – Περίεργος)

<https://www.science.org.au/curious/video/vision>



Δραστηριότητες καταιγισμού ιδεών στην τάξη

Κύριο ερώτημα. Χωρίς φως, δεν υπάρχει όραση: τι συμβαίνει στο φως καθώς ταξιδεύει μέσα από το μάτι και πώς γίνεται ηλεκτρικό σήμα που ερμηνεύεται από τον εγκέφαλο;

Ερωτήσεις που προκαλούν

Τι καθορίζει την εστίαση της εικόνας στον αμφιβληστροειδή;

Διάθλαση στον κερατοειδή και τον κρυσταλλοειδή φακό· η κόρη ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός· η προσαρμογή του φακού διατηρεί την ευκρίνεια σε διαφορετικές αποστάσεις.





Γιατί αντιλαμβανόμαστε άσχημα τα χρώματα στο σκοτάδι;

Επειδή η δραστηριότητα των ραβδίων υπερισχύει (υψηλή ευαισθησία αλλά καμία διάκριση χρωμάτων), ενώ τα κώνια απαιτούν περισσότερο φως για να διακρίνουν τα μήκη κύματος.

«Καταγράφει» ο αμφιβληστροειδής μια έτοιμη εικόνα;

Όχι· ο αμφιβληστροειδής εκτελεί προεπεξεργασία (αντίθεση, κίνηση, κατεύθυνση) και στη συνέχεια το σήμα ταξιδεύει στον θάλαμο και τον οπτικό φλοιό, όπου ενσωματώνονται οι πληροφορίες.

Γιατί κάποια αντικείμενα είναι ευκρινή σε μια δεδομένη απόσταση και θολά σε μια άλλη;

Επειδή το εστιακό επίπεδο εξαρτάται από τη γεωμετρία και τους δείκτες διάθλασης, όταν το επίπεδο εικόνας δεν συμπίπτει με τον αμφιβληστροειδή, η εικόνα είναι εκτός εστίασης (μυωπία/υπερμετρωπία).

Μικρο-εργασία.

Επισημάνετε τα μέρη του ματιού (κερατοειδής χιτώνας, κόρη, ίριδα, φακός, αμφιβληστροειδής, οπτικό νεύρο) χρησιμοποιώντας ένα φύλλο εργασίας ή έναν διαδραστικό πόρο.

Προτεινόμενος πόρος: Επισήμανση του Ματιού– Κέντρο Μάθησης Επιστημών

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3007-labelling-the-eye>

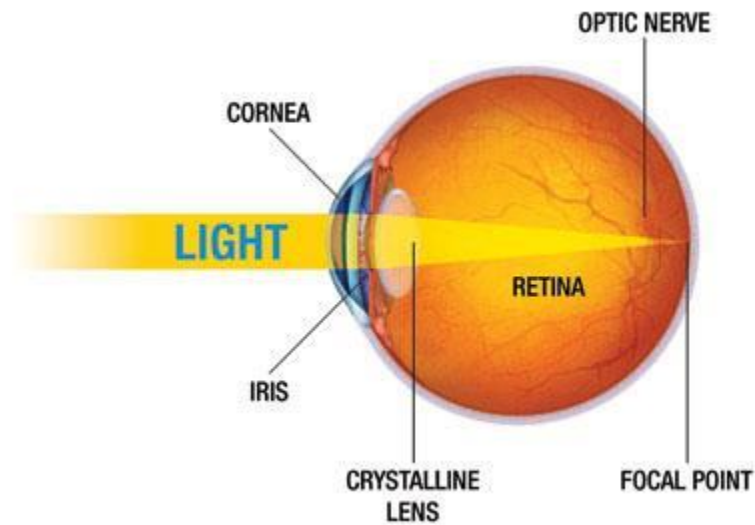
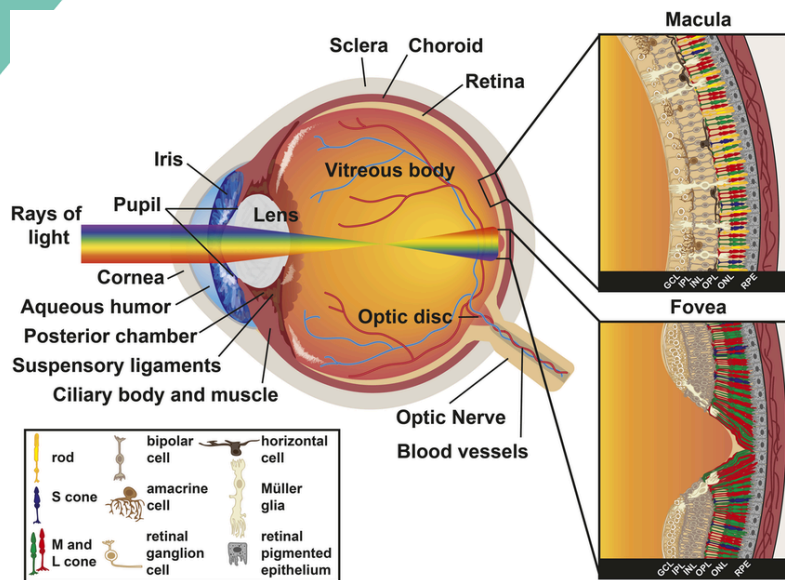
Βασικό Επίπεδο

Φυσική και Οπτική της Όρασης

Φως, διάθλαση και σχηματισμός εικόνας.

Η όραση ξεκινά όταν το φως που ανακλάται από τα αντικείμενα εισέρχεται στο μάτι και διέρχεται από ένα φυσικό οπτικό σύστημα: τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, τον κρυσταλλοειδή φακό και το υαλοειδές σώμα. Σε κάθε διεπαφή, το φως διαθλάται σύμφωνα με τις διαφορές στον δείκτη διάθλασης. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η **εστίαση της εικόνας** στο επίπεδο του αμφιβληστροειδούς. Η ποιότητα της εικόνας εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες: τη γεωμετρία της επιφάνειας (καμπυλότητα), τους δείκτες διάθλασης και τη διάμετρο της κόρης που ελέγχει το βάθος πεδίου. Εάν το φως συγκλίνει **προτού** ο αμφιβληστροειδής (μυωπία) ή **πέρα**(υπερμετρωπία), η εικόνα εμφανίζεται θολή· ο κρυσταλλοειδής φακός αντισταθμίζει μέσω **κατάλυμα** εντός φυσιολογικών ορίων.

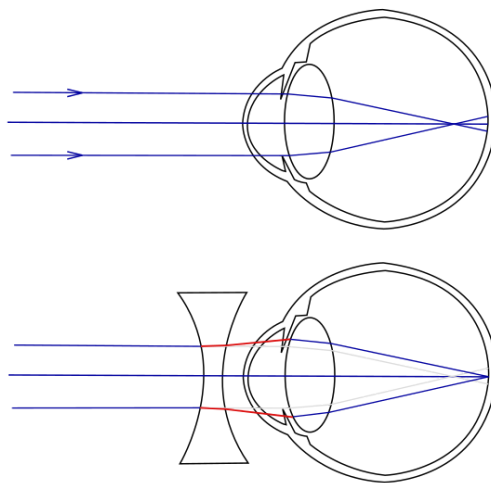




Τι καθορίζει πού θα δοθεί έμφαση;

Η ισορροπία μεταξύ οπτικής καμπυλότητας και απόστασης αντικειμένου: όσο πιο κοντά είναι το αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη είναι η καμπυλότητα που απαιτείται για να διατηρηθεί μια ευκρινής εικόνα στον αμφιβληστροειδή.





Από τη φυσική στη φυσιολογία: φωτοϋποδοχείς και σήμα.

Στον αμφιβληστροειδή, η ανεστραμμένη εικόνα δεν είναι ένα τελικό «στιγμιότυπο»: είναι το φυσικό ερέθισμα που πυροδοτεί **μεταγωγή σήματος**. Οι φωτοϋποδοχείς (ραβδία και κώνοι) περιέχουν φωτοχρωστικές ουσίες που, κατά την απορρόφηση φωτονίων, αλλάζουν κατάσταση και ενεργοποιούν μια βιοχημική καταρράκτη. Το προκύπτον σήμα δεν είναι ένα δυναμικό δράσης «όλα ή τίποτα», αλλά ένα διαβαθμισμένο δυναμικό που μεταδίδεται σε διπολικά και γαγγλιακά κύτταρα. Οι άξονες των γαγγλιακών κυττάρων σχηματίζουν το **οπτικό νεύρο**, το κανάλι εξόδου που μεταφέρει πληροφορίες στον εγκέφαλο.

Γιατί μπορούμε να διακρίνουμε μεγάλα σχήματα στο σκοτάδι αλλά όχι χρώματα;

Επειδή τα ραβδία είναι πιο ευαίσθητα και ενεργά σε σκοτοπικές (χαμηλού φωτισμού) συνθήκες αλλά δεν μπορούν να ανιχνεύσουν χρώμα, τα κωνία, που είναι υπεύθυνα για το χρώμα και την οξύτητα, απαιτούν υψηλότερα επίπεδα φωτεινότητας.

Χωρική κατανομή και οπτική οξύτητα.

Οι κώνοι είναι πυκνότεροι στο **βοθρίο**, όπου η οπτική οξύτητα είναι μέγιστη και οι συνδέσεις είναι πιο άμεσες, οι ράβδοι κυριαρχούν στην περιφέρεια, ευνοώντας την ανίχνευση της κίνησης και των διακυμάνσεων του φωτός. Αυτή η αντιστάθμιση εξηγεί γιατί η ανάγνωση απαιτεί άμεση σταθεροποίηση του βοθρίου, ενώ η περιφερειακή όραση είναι πιο αποτελεσματική για την ανίχνευση κίνησης.

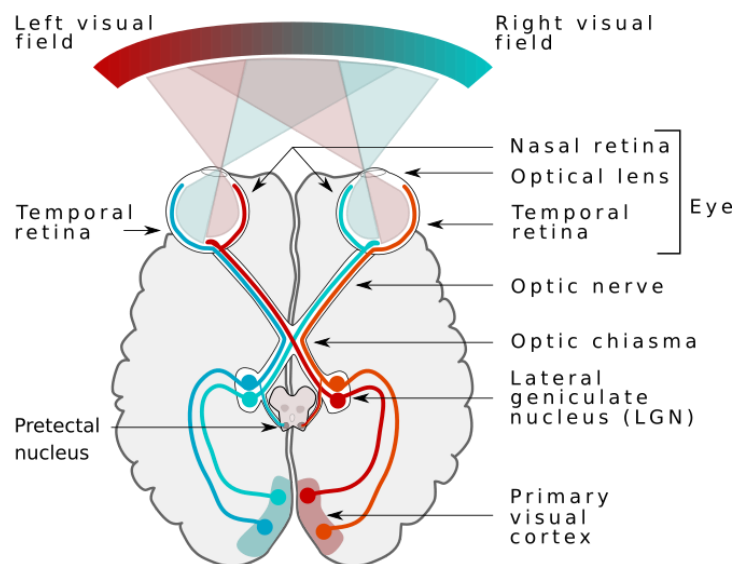
Γιατί τα γράμματα γίνονται λιγότερο έντονα όταν εστιάζουμε σε ένα μόνο;

Επειδή η πυκνότητα των κώνων μειώνεται μακριά από το βοθρίο και η νευρωνική σύγκλιση αυξάνεται: η ευαισθησία βελτιώνεται, αλλά η χωρική ανάλυση μειώνεται.



Από τον αμφιβληστροειδή στον εγκέφαλο: υποχρεωτικά στάδια.

Το σήμα φεύγει από το μάτι μέσω του **οπτικού νεύρου**, περνάει μέσα από το **οπτικό χιάσμα** (μερική συζήτηση), συνεχίζεται στο **οπτική οδό** προς το **πλευρικός γονιδιωματικός πυρήνας** (θάλαμος), και τελικά φτάνει στο **πρωτογενής οπτικός φλοιός (V1)**. Εδώ —και σε περιοχές ανώτερης τάξης— οι πληροφορίες αποσυντίθενται σε χαρακτηριστικά (προσανατολισμός, χωρικές συχνότητες, κίνηση, χρώμα) και στη συνέχεια ανασυντίθενται σε μια συνεκτική αντίληψη. Ο εγκέφαλος δεν «βλέπει» φωτόνια — ανακατασκευάζει νόημα από τα πρότυπα νευρωνικής δραστηριότητας.



Αν ο αμφιβληστροειδής λαμβάνει μια εικόνα ανάποδα, γιατί δεν βλέπουμε τον κόσμο ανάποδα;

Επειδή η αντίληψη παράγεται στον εγκέφαλο: ο φλοιός ερμηνεύει και ανακατασκευάζει τις πληροφορίες ανεξάρτητα από τον αρχικό οπτικό προσανατολισμό.

Από τη θεωρία στα καθημερινά αντικείμενα.

Οι ίδιες αρχές που λειτουργούν στο μάτι βρίσκονται και στο **γυαλιά και φακοί επαφής** (διόρθωση εστίασης), **κάμερες και smartphones** (φακοί, διαφράγματα, αισθητήρες) και **Ακουστικά εικονικής/επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR)** (οπτικά για εστίαση κοντά στην οθόνη). Η εξαγωγή της φυσικής από το εργαστήριο βοηθά στην κατανόηση όχι μόνο πως ένας φακός λειτουργεί, αλλά όταν και Γιατί Η οπτική διόρθωση είναι αποτελεσματική.

Ας αναλογιστούμε μαζί.

Η βελτιστοποίηση του αμφιβληστροειδούς δεν είναι αρκετή: η αντίληψη εξαρτάται από την επακόλουθη επεξεργασία. Αν το φυσικό φως παραμένει το ίδιο, γιατί το πλαίσιο και η αντίθεση αλλάζουν αυτό που βλέπουμε; Τι σημαίνει πραγματικά να «βλέπουμε με τον εγκέφαλο»;





Πόροι που βασίζονται στο διαδίκτυο

Πώς λειτουργούν τα μάτια - Εθνικό Ινστιτούτο Οφθαλμολογίας (NEI)

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Διαδραστική εξήγηση της οφθαλμικής ανατομίας και της φωτεινής διαδρομής μέσω διαφανών μέσων.

Φωτοϋποδοχείς: ραβδία και κώνοι - Khan Academy

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Βίντεο-μάθημα για τους φωτοϋποδοχείς και τις διαφορές μεταξύ σκοτοπικής και φωτοπικής όρασης.

Γεωμετρική Οπτική - Διαδραστικές Προσομοιώσεις PhET, Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, Boulder

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Διαδραστική προσομοίωση: παρατηρήστε πώς η εστίαση και η μεγέθυνση ποικίλλουν ανάλογα με την απόσταση και την καμπυλότητα του φακού· συνδέστε τα αποτελέσματα με τη μυωπία, την υπερμετρωπία και την προσαρμογή.

Προχωρημένο επίπεδο

Φωτομεταγωγή και προσαρμογή.

Η καταρράκτης που συμβαίνει μέσα στους φωτοϋποδοχείς (ενεργοποίηση της φωτοχρωστικής, της τρανσδουκίνης, διαμόρφωση της cGMP και των ιοντικών καναλιών) εξηγεί πώς το φως μετατρέπεται σε ρεύμα. **Προσαρμογή** (σε φως και σκοτάδι) επαναβαθμονομεί την ευαισθησία του συστήματος, επιτρέποντας τη λειτουργία σε πολλαπλές τάξεις μεγέθους φωτεινότητας.

Ανάλυση και αντίθεση.

Η οξύτητα δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την οπτική: τα κυκλώματα του αμφιβληστροειδούς και του φλοιού επιλέγουν χωρικές **συχνότητες και προσανατολισμούς**, ενισχύοντας την αντίθεση του περιγράμματος. Οι διαφορετικές οδοί (παρβοκυτταρικές/μαγνητοκυτταρικές) δίνουν προτεραιότητα λεπτομέρεια/χρώμα ή κίνηση.

Οπτικές οδοί και ενσωμάτωση.

Πέρα από το V1, η επεξεργασία χωρίζεται σε δίκτυα που δίνουν έμφαση **"Τι"** (μορφή, χρώμα) και **"πού/πώς"** (χώρος, δράση). Η αντίληψη χρώματος προκύπτει από την ενσωμάτωση των αποκρίσεων του κώνου L/M/S και των χρωματικών αντιθέσεων, ενώ η αντίληψη κίνησης απαιτεί χρονική ενσωμάτωση και διοφθαλμική απόκλιση για το βάθος.





Γιατί αντιλαμβανόμαστε την κίνηση καλύτερα από τις μικρές λεπτομέρειες σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού;

Επειδή στη σκοτοτοπική όραση, κυριαρχούν οι οδοί που είναι ευαίσθητες στις παγκόσμιες και χρονικές διακυμάνσεις, με μειωμένη χωρική ανάλυση.

Γιατί μπορεί μερικές φορές μια μικρή κόρη να βελτιώσει την ευκρίνεια;

Επειδή μειώνει τις εκτροπές και αυξάνει το βάθος πεδίου (εντός των ορίων περιθλασης).

Ανεστραμμένη Μάθηση:

Σκοπός. Προετοιμαστείτε για συζήτηση στην τάξη κατανοώντας την ακολουθία *φως* → *αμφιβληστροειδής* → *οπτικό νεύρο* → *φλοιός* και οι συνδέσεις φυσικής/βιολογίας.

Εργασίες (προς υποβολή ως έκθεση 1–2 σελίδων ή 6–8 διαφάνειες):

1. **Σύντομη ανάγνωση** στην ανατομία του ματιού και την πορεία του φωτός. Κύρια σημεία: κερατοειδής χιτώνας, κόρη/ίριδα, φακός, αμφιβληστροειδής, οπτικό νεύρο.
2. **Φύλλο εργασίας «Κώννοι vs. Ράβδοι»:** συμπληρώστε έναν πίνακα με *ευαισθησία, ρόλος στο χρώμα/οξύτητα, συνθήκες φωτισμού (σκοτοτικό/φωτοτικό), κατανομή του αμφιβληστροειδούς*.
3. **Προσομοίωση Γεωμετρικής Οπτικής (λεπτός φακός):** δημιουργήστε δύο στιγμιότυπα οθόνης —
 - a. *Εστιασμένη εικόνα* (εστίαση στον «αμφιβληστροειδή») με σχολιασμένες παραμέτρους.
 - b. *Εικόνα εκτός εστίασης* (προσομοίωση μυωπίας/υπερμετρωπίας) με σημειώσεις για το πώς οι φακοί προσαρμογής ή οι διορθωτικοί φακοί αποκαθιστούν την εστίαση.
4. **Σύντομη σύνθεση (μέγιστο 120 λέξεις):** εξηγήστε με δικά σας λόγια πώς ο αμφιβληστροειδής δεν «καταγράφει» έτοιμες εικόνες αλλά **μετατρέπει και προεπεξεργάζεται** σήματα που πρέπει να αποσταλούν στον εγκέφαλο.
5. **Τρεις ερωτήσεις απολογισμού:** ένα στην οπτική (διάθλαση/εστίαση), ένα στη βιολογία (φωτομετατροπή), ένα στην αντίληψη (γιατί δεν βλέπουμε τον κόσμο ανάποδα;).

Υποβολή. Ανεβάστε το PDF ή τις διαφάνειες στο κανάλι της τάξης πριν από το μάθημα.

3. Μονάδα Λειτουργίας

Βασικό Επίπεδο

Η κατανόηση της οπτικής διαδικασίας μπορεί να εμβαθύνει μέσα από μια σειρά πρακτικών δραστηριοτήτων που επιτρέπουν στους μαθητές να παρατηρούν τόσο οπτικά όσο και βιολογικά φαινόμενα που εμπλέκονται στον μηχανισμό της όρασης. Στόχος αυτής της ενότητας είναι να





εφαρμόσει, με καθοδηγούμενο τρόπο, τις έννοιες της διάθλασης, της εστίασης και της μεταγωγής σήματος που μελετήθηκαν στο θεωρητικό μέρος, συνδέοντας τα **φυσική της οπτικής με τη βιολογία του ανθρώπινου ματιού**.

Όταν το φως διέρχεται από μέσα με διαφορετική οπτική πυκνότητα, η τροχιά του αλλάζει κατεύθυνση—ένα φαινόμενο γνωστό ως **διάθλαση**. Ο κερατοειδής και ο κρυσταλλοειδής φακός, που αποτελούν τους φυσικούς φακούς του ματιού, λειτουργούν ως διαθλαστικά στοιχεία που κάμπτουν τις ακτίνες φωτός για να σχηματίσουν μια ευκρινή εικόνα στον αμφιβληστροειδή. Οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν αυτή τη συμπεριφορά χρησιμοποιώντας ένα απλό πείραμα: βυθίστε μερικώς ένα μολύβι σε ένα ποτήρι νερό και παρατηρήστε πώς το αντικείμενο φαίνεται «σπασμένο» στη διεπαφή μεταξύ αέρα και νερού. Αυτό το οπτικό εφέ καταδεικνύει άμεσα πώς το φως αποκλίνει στο οφθαλμικό μέσο και εισάγει την αρχή της διάθλασης που διέπει την εστίαση της εικόνας του αμφιβληστροειδούς.

Το φαινόμενο στη συνέχεια εξερευνάται σε ένα εικονικό περιβάλλον μέσω της διαδραστικής προσομοίωσης **Γεωμετρική Οπτική**, διαθέσιμο στο **Πλατφόρμα PhET – Πανεπιστήμιο του Κολοράντο στο Μπόλντερ**:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Μέσω της προσομοίωσης, οι μαθητές μπορούν να μεταβάλλουν την απόσταση μεταξύ αντικειμένου και φακού και να τροποποιήσουν την καμπυλότητα των επιφανειών, παρατηρώντας πώς αλλάζει η θέση του εστιακού σημείου και η ευκρίνεια της εικόνας. Αυτή η δραστηριότητα βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν πώς ο ανθρώπινος κρυσταλλικός φακός αλλάζει την καμπυλότητά του για να διατηρήσει την εικόνα εστιασμένη στον αμφιβληστροειδή - μια διαδικασία γνωστή ως **κάταλυμα**.

Από αυτές τις παρατηρήσεις προκύπτουν ουσιαστικά ερωτήματα: ποια είναι η σχέση μεταξύ του σχήματος του φακού και της απόστασης εστίασης; Γιατί οι υπερβολικές ή ανεπαρκείς καμπυλότητες οδηγούν σε καταστάσεις όπως η μυωπία ή η υπερμετρωπία; Η σύγκριση του φυσικού φακού στην προσομοίωση με τον βιολογικό κρυσταλλικό φακό διευκρινίζει πώς οι διακυμάνσεις στη διαθλαστική ισχύ επηρεάζουν τη θέση του εστιακού σημείου και, κατά συνέπεια, την οπτική ποιότητα.

Στη συνέχεια, η εστίαση μετατοπίζεται στον αμφιβληστροειδή, τη λεπτή αισθητήρια μεμβράνη στο πίσω μέρος του ματιού που μετατρέπει την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρικά σήματα. Οι μαθητές αναλύουν τη διάταξη των φωτοϋποδοχέων—κώνοι και ραβδία—και οι συμπληρωματικοί τους ρόλοι: οι ραβδία είναι εξειδικευμένες για τη νυχτερινή όραση και αντιλαμβάνονται τις αλλαγές στη φωτεινότητα, ενώ οι κώνοι παρέχουν αντίληψη χρωμάτων και υψηλή οξύτητα στο έντονο φως. Η υψηλή πυκνότητα των κώνων στο βοθρίο εξηγεί την κεντρική ευκρίνεια, ενώ η επικράτηση των ραβδίων στην περιφέρεια ενισχύει την ανίχνευση κίνησης.

Η συζήτηση στην τάξη συνεχίζεται αναλύοντας τη συμπεριφορά των φωτοϋποδοχέων σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Γιατί τα χρώματα φαίνονται ξεθωριασμένα το σούρουπο; Η





απάντηση έγκειται στην υψηλότερη ευαισθησία των ραβδίων, τα οποία επιτρέπουν την όραση σε αμυδρό φως, αλλά δεν μπορούν να διακρίνουν τα μήκη κύματος που ευθύνονται για το χρώμα. Αυτή η συλλογική αναστοχασμός βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν πώς ο εγκέφαλος ενσωματώνει πληροφορίες από διαφορετικά αισθητήρια κύτταρα για να δημιουργήσει μια συνεκτική οπτική αναπαράσταση.

Στη συνέχεια, οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν το ανθρώπινο μάτι με καθημερινές οπτικές συσκευές όπως κάμερες ή smartphones. Ο κρυσταλλοειδής φακός συμπεριφέρεται σαν συγκλίνων φακός, η κόρη λειτουργεί ως διάφραγμα, ο αμφιβληστροειδής λειτουργεί ως ψηφιακός αισθητήρας και ο εγκέφαλος παίζει τον ρόλο του επεξεργαστή εικόνας. Μέσω αυτής της αναλογίας, η όραση επανερμηνεύεται ως ένα φυσικό μοντέλο που συνδέει την τεχνολογία και τη βιολογία.

Ας αναλογιστούμε μαζί. Η όραση είναι μια σύνθετη διαδικασία που συνδυάζει τη γεωμετρική οπτική και τη νευροβιολογία. Πώς περιορίζει η φυσική την ποιότητα της αντιληπτής εικόνας; Ποιες στρατηγικές έχει αναπτύξει ο εγκέφαλος για να αντισταθμίσει τις ατέλειες του ματιού και να διασφαλίσει μια σταθερή και συνεχή αντίληψη του εξωτερικού κόσμου;

Προχωρημένο επίπεδο

Το προχωρημένο επίπεδο εμβαθύνει τη σύνδεση μεταξύ της μεταγωγής του αμφιβληστροειδούς και της διάδοσης του σήματος κατά μήκος των νευρικών οδών προς τον οπτικό φλοιό. Οι μαθητές παρατηρούν πώς η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα εντός των φωτοϋποδοχέων και πώς αυτά τα ερεθίσματα μεταδίδονται μέσω των διπολικών και γαγγλιακών κυττάρων στο οπτικό νεύρο.

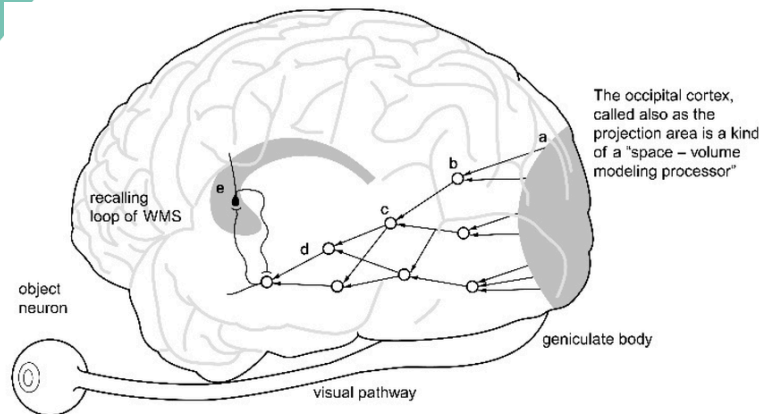
Για να κατανοήσουμε την ακολουθία των γεγονότων, την έννοια του φωτομεταφορά Εισάγεται η διαδικασία: η απορρόφηση ενός φωτονίου από ένα μόριο ροδοψίνης πυροδοτεί μια διαμορφωτική αλλαγή που ενεργοποιεί μια βιοχημική αλληλουχία. Αυτή η αλληλουχία μειώνει την κυκλική GMP, κλείνει τα ιοντικά κανάλια και κατά συνέπεια υπερπολώνει το κύτταρο. Το αποτέλεσμα είναι ο μετασχηματισμός της φωτεινής ενέργειας σε διακυμάνσεις του ηλεκτρικού δυναμικού.

Η διάδοση του σήματος κατά μήκος του οπτικού νεύρου και η διαδρομή του προς τον οπτικό φλοιό απεικονίζεται μέσω ενός Προσομοίωση **Επαυξημένης Πραγματικότητας Αναπτύχθηκε με Delight Studio – Χώροι (Δείκτης):**

<https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>

Χρησιμοποιώντας κινητές συσκευές, οι μαθητές εξερευνούν ένα τρισδιάστατο μοντέλο του ανθρώπινου ματιού, παρατηρούν την ενεργοποίηση των φωτοϋποδοχέων, ακολουθούν το σήμα κατά μήκος του οπτικού νεύρου, οπτικοποιούν τη διασταύρωση των ινών στο οπτικό χίασμα και τέλος βλέπουν την προβολή των σημάτων στον πλάγιο γονιδιακό πυρήνα και στον πρωτογενή οπτικό φλοιό.





Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας, προτείνονται καθοδηγητικές ερωτήσεις:

- Σε ποιο σημείο του αμφιβληστροειδούς το φως μετατρέπεται σε ηλεκτρική ώθηση;
- Γιατί ορισμένες ίνες διασταυρώνονται στο οπτικό χιάσμα ενώ άλλες παραμένουν αδιασταυρούμενες;
- Πώς διακρίνει ο οπτικός φλοιός το σχήμα, το χρώμα και την κίνηση;

Οι απαντήσεις προκύπτουν μέσω ομαδικής συζήτησης και σύγκρισης μεταξύ ανατομικών μοντέλων και φυσικών διεργασιών.

Το μάθημα ολοκληρώνεται με μια αναστοχαστική εξέταση της εξέλιξης των συστημάτων τεχνητής όρασης. Οι μαθητές συγκρίνουν τη λειτουργία του ανθρώπινου ματιού με αυτή μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής, επισημαίνοντας αναλογίες και διαφορές. Ενώ η κάμερα καταγράφει εικόνες μέσω ενός αισθητήρα, ο εγκέφαλος ανακατασκευάζει την αντίληψη ενσωματώνοντας πληροφορίες από πολλαπλές αισθητηριακές πηγές και συσχετίζοντάς τις με προηγούμενες εμπειρίες.

Ας αναλογιστούμε μαζί. Μιμούνται πράγματι οι σύγχρονες τεχνολογίες τεχνητής όρασης τους μηχανισμούς της βιολογικής όρασης ή απλώς αναπαράγουν το οπτικό της στοιχείο, ενώ αναθέτουν την ερμηνεία σε λογισμικό; Μήπως μια μηχανή...βλέπω ή απλώς καταγράφει;

Δραστηριότητες:

Οι καταληκτικές δραστηριότητες στοχεύουν στην εμπέδωση της μάθησης και στην ενθάρρυνση της συνεργασίας μεταξύ των μαθητών. Οι μαθητές δημιουργούν ένα εννοιολογικός **χάρτης που** αντιπροσωπεύει την πλήρη ακολουθία της όρασης, από το φως έως την συνειδητή αντίληψη, υποδεικνύοντας για κάθε φάση το φυσικό φαινόμενο, την ανατομική δομή που εμπλέκεται και τον τύπο του σήματος (φωτεινό, ηλεκτρικό ή χημικό).

Στη συνέχεια, σε μικρές ομάδες, σχεδιάζουν ένα μίνι **εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιώντας Delight Studio – Χώροι (Δείκτης)** Κάθε ομάδα απεικονίζει μια συγκεκριμένη φάση της οπτικής διαδικασίας, προσθέτοντας σύντομα επεξηγηματικά κείμενα, ετικέτες και απλές





κινούμενες εικόνες. Στο τέλος, οι σκηνές συνδέονται σε ακολουθία για να ανακατασκευάσουν ολόκληρη την οπτική πορεία.

Για να επαληθεύσουν την κατανόηση, οι μαθητές συμπληρώνουν ένα διαδραστικό **κουίζ στην AR** που αποτελείται από ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής σχετικά με τα στάδια του οπτικού μηχανισμού.

Η ενότητα κλείνει με ένα συζήτηση **στην ολομέλεια στο** οποίο οι μαθητές αναλύουν κριτικά τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, συγκρίνουν τις εμπειρίες τους και αναλογίζονται τις αναλογίες μεταξύ βιολογικών και τεχνητών συστημάτων όρασης.

Αναμενόμενη απόδοση

Στο τέλος της Ενότητας Λειτουργιών, οι φοιτητές θα πρέπει να είναι σε θέση να περιγράψουν σε επιστημονική γλώσσα την πλήρη πορεία της όρασης, να συνδέσουν τις αρχές της γεωμετρικής οπτικής με νευροβιολογικές διεργασίες, να χρησιμοποιούν ψηφιακά εργαλεία και εργαλεία AR για την αναπαράσταση σύνθετων φαινομένων και να αναπτύξουν μια κριτική προσέγγιση στις τεχνολογίες τεχνητής όρασης.

4. Αναφορές

Εθνικό Ινστιτούτο Οφθαλμολογίας (NEI), Πώς λειτουργούν τα μάτια. Υπουργείο Υγείας και Ανθρωπίνων Υπηρεσιών των ΗΠΑ. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Ακαδημία Khan, Φωτοϋποδοχείς: ραβδία και κώνοι. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, Boulder - Διαδραστικές Προσομοιώσεις PhET, Γεωμετρική Οπτική. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Κέντρο Μάθησης Επιστημών (Νέα Ζηλανδία), Τα Μάτια μας - Το Όραμά μας. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>

Delightex Studio - Spaces (Marker), Εκπαιδευτική πλατφόρμα επαυξημένης πραγματικότητας (AR) για τη δημιουργία διαδραστικών σκηνών. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:

<https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>





Φόρμες Google (2025), Κουίζ Όρασης - Έργο Επαυξημένης Σύναψης. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmXunTg8-vIIU_FyBsFppkFIhtSUJYgjUS-T3cfWnGUF70_Q/viewform?usp=dialog

Ακαδημία Khan, Ο Καταρράκτης Φωτομεταφοράς. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:
<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/the-phototransduction-cascade>

Εθνικά Ινστιτούτα Υγείας (ΗΠΑ), Όραση και Εγκέφαλος: Κατανόηση της Οπτικής Επεξεργασίας. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <https://www.nih.gov/news-events/nih-research-matters/vision-brain>

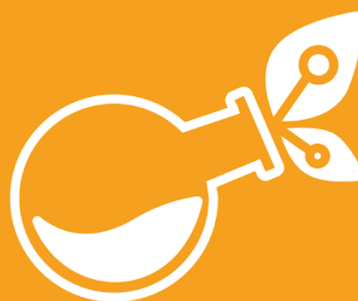
Περίεργος - Ακαδημία Επιστημών, Πώς Λειτουργεί η Όραση (βίντεο). Διαθέσιμο στη διεύθυνση:
<https://www.youtube.com/watch?v=lrXuyxDt5jo>

Πηγές εικόνας: Wikimedia Commons (CC BY-SA / Δημόσιος Τομέας), Εθνικό Ινστιτούτο Οφθαλμολογίας (NEI) και εκπαιδευτικοί πόροι ResearchGate - εκπαιδευτική χρήση.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.