

# Φυσική των οφθαλμών και της όρασης

Σοφία Κόττου

Καθηγήτρια  
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής ΕΚΠΑ

1

Η αίσθηση της όρασης  
πραγματοποιείται με τη λειτουργία  
τριών κυρίων συνιστωσών:

- (1) των οφθαλμών, που εστιάζουν μια εικόνα του εξωτερικού κόσμου στον φωτοευαίσθητο αμφιβληστροειδή
- (2) του συστήματος ενός εκατομμυρίου νευρικών ινών που μεταφέρει την πληροφορία στο εσωτερικό του εγκεφάλου, και
- (3) της οπτικής περιοχής του φλοιού του εγκεφάλου όπου συναρμολογείται η εικόνα – είδωλο. Αν κάποια από τις τρεις συνιστώσες της όρασης δεν λειτουργεί έχουμε τύφλωση.

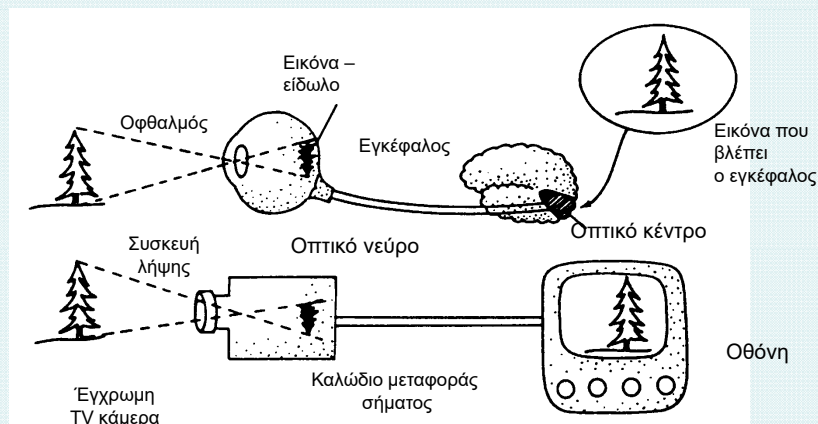
2



Όταν το φως είναι δυνατό, βλέπουμε τα πράγματα σε ‘πραγματικό’ ‘ζωντανό’ χρώμα.

- Σε αμυδρό φως ο οφθαλμός λειτουργεί σαν μια υπερευαίσθητη ασπρόμαυρη συσκευή λήψης και μας επιτρέπει να βλέπουμε τα αντικείμενα ακόμα και με φως λιγότερο από το 0,1% του φωτός του απαιτείται για την έγχρωμη όραση.
- Αυτή η σημαντική διαφορά στην ευαισθησία είναι ανάλογη με τη διαφορά μεταξύ ενός υψηλής ταχύτητας, μεγάλης ευαισθησίας ασπρόμαυρου φιλμ και ενός λιγότερο ευαίσθητου έγχρωμου φιλμ που χρησιμοποιούμε στις φωτογραφικές μηχανές. <sup>5</sup>

- Η αίσθηση της όρασης λειτουργεί παρόμοια με ένα κλειστό κύκλωμα έγχρωμης τηλεόρασης.
- Υπερέχει σε όλα τα επίπεδα εκτός της δυσκολίας στην συναρμολόγηση!



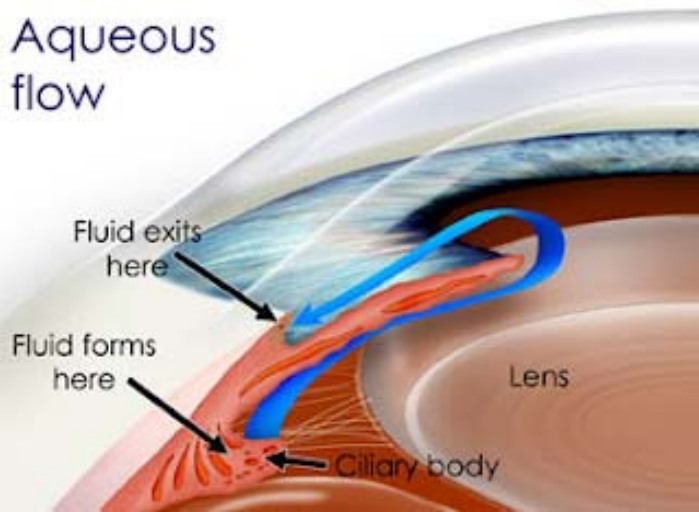
6

- Ο οφθαλμός μπορεί να παρατηρεί αντικείμενα μέσα σε μια **πολύ μεγάλη οπτική γωνία**, ενώ κοιτάει επισταμένως ένα αντικείμενο που βρίσκεται απέναντί του
- Το **ανοιγοκλείσιμο του οφθαλμού και των βλεφάρων** καθαρίζει και λιπαίνει τον **«πρόσθιο φακό» (κερατοειδής)** με τη βοήθεια ειδικού ενσωματωμένου συστήματος. (Τα βλέφαρα μπορούν να κλείνουν το ένα ανεξάρτητα από το άλλο, για επικοινωνία με το αντίθετο φύλο!)
- Ένα **γρήγορο σύστημα αυτόματης εστίασης** επιτρέπει τη μια στιγμή να βλέπουμε αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά, μέχρι 20 cm και την επόμενη, αντικείμενα που βρίσκονται μακριά. Σε κατάσταση ηρεμίας, η εστίαση ενός φυσιολογικού οφθαλμού είναι ρυθμισμένη για «το άπειρο» (μακρινή όραση)

7

- Ο οφθαλμός μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε ένα **εύρος έντασης φωτός** 10 δισεκατομμυρίων προς ένα ( $10^{10}:1$ ), από το εκθαμβωτικό φως της ημέρας μέχρι το βαθύ σκοτάδι της νύχτας.
- Ο οφθαλμός διαθέτει ένα **αυτόματο διάφραγμα** (την ίριδα)
- Ο κερατοειδής διαθέτει ένα **ενσωματωμένο σύστημα ίασης** πιθανών αμυχών. Παρόλο που δεν έχει παροχή αίματος, αποτελείται από ζωντανά κύτταρα και μπορεί να επιδιορθώνει τις τοπικές βλάβες
- Ο οφθαλμός έχει ένα σύστημα **αυτο-ρύθμισης της εσωτερικής πίεσης** στα 1,6 kPa (12 mmHg) περίπου, διατηρώντας με τον τρόπο αυτό το σχήμα του. Ακόμη και αν πιεστεί, ο οφθαλμός ταχύτητα επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα.

8

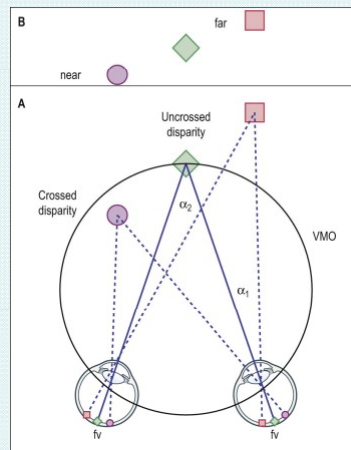
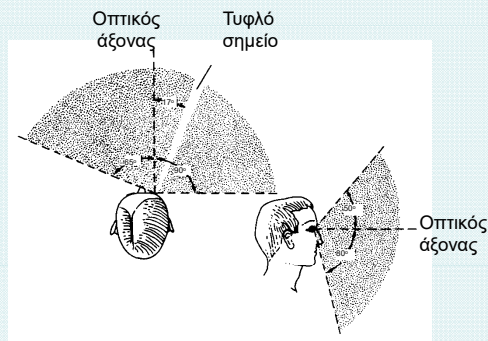


9

- Οι οφθαλμοί περιβάλλονται από **οστέινη θήκη**, τον οφθαλμικό κόγχο, που τους προστατεύει και κάθε οφθαλμός καλύπτεται από **λιπώδες στρώμα**, που εξασθενεί τους οξείς κραδασμούς
- Η εικόνα εμφανίζεται **ανεστραμμένη** στον φωτοευαίσθητο αμφιβληστροειδή στο πίσω μέρος του οφθαλμικού βολβού, αλλά ο **εγκέφαλος την επανορθώνει** αυτόματα
- Ο εγκέφαλος συνδυάζει τις εικόνες από τους δύο οφθαλμούς, παρέχοντάς μας **καλή αντίληψη του βάθους** και πραγματική τρισδιάστατη απεικόνιση. Αν χαθεί η όραση από τον έναν οφθαλμό, η όραση από τον άλλο είναι επαρκής για τις περισσότερες των αναγκών μας

10

## Το εύρος του οπτικού πεδίου και η διοφθάλμια (στερεοσκοπική) όραση

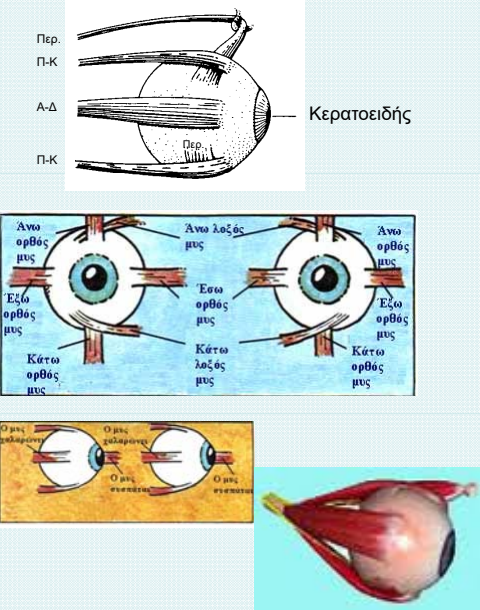


(<https://entokey.com/binocular-vision-3/>)

11

- Οι **μύες** του οφθαλμού επιτρέπουν την ευέλικτη κίνησή του προς τα **πάνω, κάτω, πλαγίως και διαγωνίως**.
- Με λίγη εξάσκηση, οι οφθαλμοί μπορούν να εκτελούν ακόμη και κυκλικές κινήσεις.

12



✓ Οι έξι μύες του δεξιού οφθαλμού επιτρέπουν μια μεγάλη ποικιλία κινήσεων

✓ Οι μύες δουλεύουν ανά ζεύγη: ένα ζεύγος ελέγχει την κίνηση προς πάνω και κάτω (Π – Κ), ένα ζεύγος ελέγχει την κίνηση αριστερά και δεξιά (Α – Δ) και ένα ζεύγος ελέγχει την περιστροφή (Περ.)

✓ Οι μύες της περιστροφής περνούν από οστέινες θηλίες. Και οι έξι μύες συνδέονται με τον οστέινο κόγχο πίσω από τον οφθαλμό

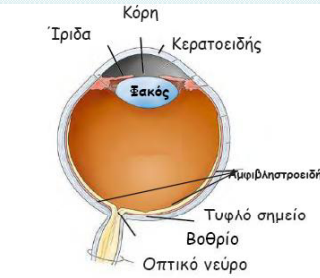
13

- Λαμβάνοντας υπόψη το πόσο πολύπλοκος είναι ο μηχανισμός του οφθαλμού, ένα **εντυπωσιακά μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων έχει καλή όραση.**
- Οι άνθρωποι αυτοί ονομάζονται **εμμέτρωτες!**
- Οι υπόλοιποι έχουν αισθητές ατέλειες στην όραση και ονομάζονται **αμέτρωτες.**
- Αν θεωρήσουμε ότι εμμέτρωτας είναι όποιος χρειάζεται διόρθωση στους οφθαλμούς μικρότερη από 0,5 D (διοπτρίες), το 25% των νεαρών ενηλίκων εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία.
- Το 65% χρειάζεται διόρθωση της τάξης της 1 D.
- Η **διοπτρία** είναι η μονάδα μέτρησης της **εστιακής ικανότητας (ισχύς) του φακού.** Αριθμητικά ισούται με το αντίστροφο της εστιακής απόστασης του φακού σε m.

14

Τα **δύο κύρια μέρη εστίασης** του οφθαλμού, στα οποία γίνεται η εστίαση είναι:

- Ο **κερατοειδής**, που είναι το διαφανές κύρτωμα στο πρόσθιο μέρος του οφθαλμού και ευθύνεται για τα δύο τρίτα περίπου της εστίασης,
- και ο **φακός**, που ευθύνεται για την τελική εστίαση.



Ο **κερατοειδής** είναι σταθερός σε σχήμα, ενώ ο **φακός** μπορεί να αλλάζει το σχήμα του, ώστε να μπορεί να εστιάζει αντικείμενα που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις.

15

Ο κερατοειδής και ο φακός εστιάζουν **διαθλώντας** τις φωτεινές ακτίνες

- Ο βαθμός διάθλασης **εξαρτάται από την καμπυλότητα των επιφανειών τους και την ταχύτητα του φωτός σε αυτούς, σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός στα γύρω υλικά (σχετικός δείκτης διάθλασης).**
- Ο δείκτης διάθλασης του κερατοειδούς καθώς και άλλων διαφανών τμημάτων του οφθαλμού δίνονται στον Πίνακα:

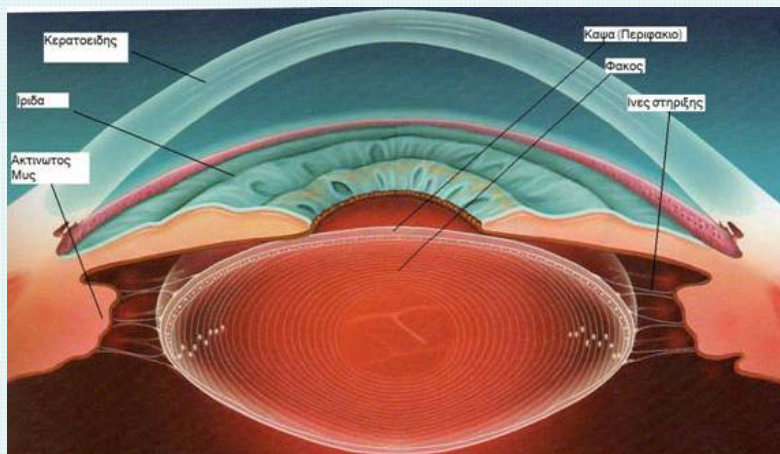
16



Πίνακας: **Οι δείκτες διάθλασης** του κερατοειδούς και των άλλων οπτικών στοιχείων του οφθαλμού

| Οπτικά στοιχεία οφθαλμού | Δείκτης Διάθλασης |
|--------------------------|-------------------|
| Κερατοειδής              | 1,34              |
| Υδατοειδές υγρό          | 1,33              |
| Εξωτερικός φλοιός φακού  | 1,38              |
| Εσωτερικό φακού          | 1,41              |
| Υαλοειδές υγρό           | 1,34              |

17



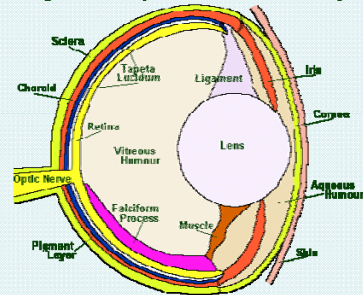
18

## Διάθλαση

- Όταν ο **κερατοειδής** βρίσκεται **μέσα στο νερό**, χάνει το μεγαλύτερο μέρος της εστιακής του ικανότητας-ισχύος,
- επειδή ο συντελεστής διάθλασης του νερού (1,33) δεν διαφέρει πολύ από τον συντελεστή διάθλασης του κερατοειδούς (1,34).

(Τα ψάρια έχουν παρόμοιο πρόβλημα όταν βρίσκονται **έξω** από το νερό)

A Diagrammatic Representation of a Teleost Eye



19

Ο δείκτης διάθλασης είναι περίπου σταθερός για όλους τους κερατοειδείς,

αλλά η **καμπυλότητα του κερατοειδούς** ποικίλει σημαντικά από άτομο σε άτομο και έχει την ευθύνη για τις περισσότερες περιπτώσεις **ελαττωματικής όρασης**.

- ❖ Αν ο κερατοειδής παρουσιάζει μεγαλύτερη καμπυλότητα, ο οφθαλμός είναι **μυωπικός**.
- ❖ Αν παρουσιάζει μικρότερη καμπυλότητα, ο οφθαλμός είναι **υπερμετρικός**,
- ❖ ενώ η μη ομοιόμορφη καμπυλότητα προκαλεί **αστιγματισμό**.

20

Τα ζωντανά κύτταρα του κερατοειδούς δεν προμηθεύονται οξυγόνο από το αίμα, αλλά λαμβάνουν το οξυγόνο από τον αέρα

Η ύπαρξη αιμοφόρων αγγείων στον κερατοειδή δεν θα βοηθούσε την όρασή μας!

Τα θρεπτικά συστατικά παρέχονται στα κύτταρα του κερατοειδούς από το υδατοειδές υγρό που βρίσκεται σε επαφή με την οπίσθια επιφάνειά του

Το υδατοειδές υγρό περιέχει όλα τα συστατικά του αίματος εκτός από τα κύτταρα του αίματος

21

Αν ο κερατοειδής τραυματισθεί ελαφρά θα επουλωθεί **μόνος του**, αλλά κάποιες άλλες βλάβες μπορεί να είναι **μόνιμες**

Μερικά είδη ακτινοβολιών (υπεριώδης, νετρόνια, ακτίνες Χ, κτλ.) είναι δυνατό να προκαλέσουν **θολερότητα του κερατοειδούς**, με αποτέλεσμα το φως να μην μπορεί να τον διαπεράσει

Είναι δυνατό να γίνει **μεταμόσχευση κερατοειδούς** χρησιμοποιώντας κερατοειδείς που λαμβάνονται από δότες λίγο μετά τον θάνατό τους

Λόγω του ότι τα κύτταρα του κερατοειδούς έχουν χαμηλό ρυθμό μεταβολισμού, **συνήθως το μόσχευμα δεν απορρίπτεται** από τον οργανισμό, όπως στην περίπτωση μεταμόσχευσης άλλων οργάνων

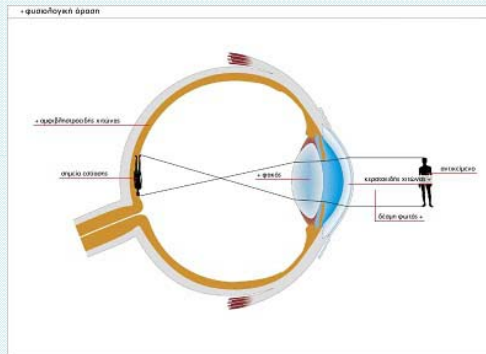
Οι πρώτες μεταμοσχεύσεις που έγιναν ήταν του κερατοειδούς χιτώνα

22

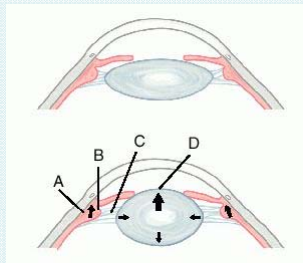
# Εστίαση

Η εστίαση στον φακό γίνεται τόσο στην πρόσθια όσο και στην οπίσθια επιφάνειά του

Ο φακός παρουσιάζει μεγαλύτερη κυρτότητα στην οπίσθια επιφάνεια από ότι στην πρόσθια



23



# Εστίαση

Ο φακός προσαρμόζει την εστιακή του απόσταση μεταβάλλοντας την κυρτότητά του

Η ικανότητα εστίασης (ισχύς) του φακού είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή του κερατοειδούς εξαιτίας του γεγονότος ότι ο δείκτης διάθλασης των ουσιών που περιβάλλουν τον φακό είναι παρόμοιος με τον δικό του. Ο ενεργός δείκτης διάθλασης του φακού δεν είναι μεγαλύτερος από 1,07

24

## απώτερο-εγγύτερο

Το **πιο μακρινό σημείο** από τον οφθαλμό, από όπου **εστιάζονται** τα μακρινά αντικείμενα, όταν ο ακτινωτός μυς βρίσκεται σε ηρεμία, καλείται **απώτερο σημείο όρασης**

Για ένα μύωπα, το απώτερο σημείο όρασης μπορεί να βρίσκεται αρκετά κοντά στον οφθαλμό

Αντίστοιχα, το **κοντινότερο** σημείο προς τον οφθαλμό, από όπου μπορεί ένα αντικείμενο να εστιάζεται με σαφήνεια πάνω στον αμφιβληστροειδή, καλείται **εγγύτερο σημείο όρασης**

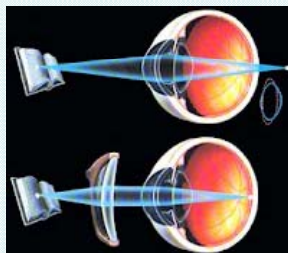
Ο φακός στην περίπτωση αυτή αποκτά τη μεγαλύτερη του ικανότητα εστίασης

25

## πρεσβυωπία

Με την πάροδο της **ηλικίας**, οι φακοί χάνουν μέρος της **ικανότητας προσαρμογής** τους

Η **πρεσβυωπία** (η όραση των ηλικιωμένων) είναι αποτέλεσμα της βαθμιαίας απώλειας της προσαρμογής από το φακό του οφθαλμού



26

# Φακός

Ο φακός, όπως και ο κερατοειδής, μπορεί να υποστεί βλάβη από την υπεριώδη ή άλλης μορφής ακτινοβολία. Μπορεί να δημιουργηθεί *καταρράκτης*, που καταστρέφει τη διαύγειά του

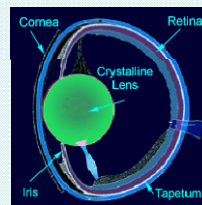
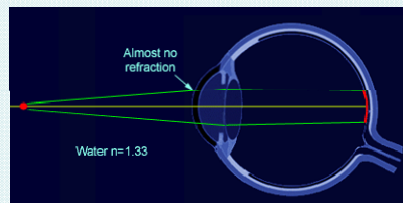
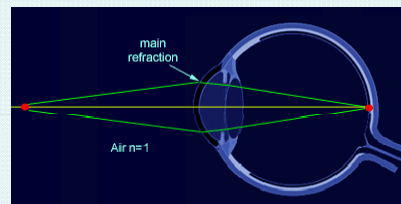
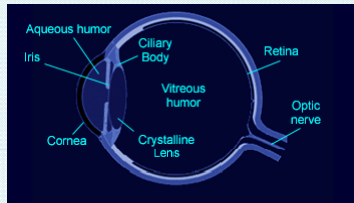
Υπάρχει δυνατότητα ο καταστραμμένος φακός να αφαιρεθεί με χειρουργική επέμβαση

Στη θέση του μπορεί να τοποθετηθεί *πλαστικός φακός*

Αν για κάποιο λόγο αυτό δεν είναι δυνατό, προστίθεται επιπλέον διόρθωση της όρασης με ισχυρότερους φακούς, ώστε να αντισταθμιστεί η έλλειψη του «εσωτερικού» φακού

Βέβαια, *καμία προσαρμογή δεν είναι πλέον δυνατή* και απαιτείται η χρήση *διπλοεστιακών φακών*

27

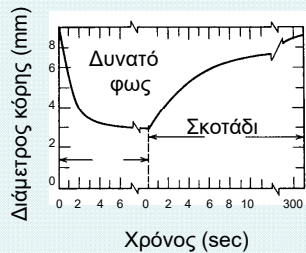
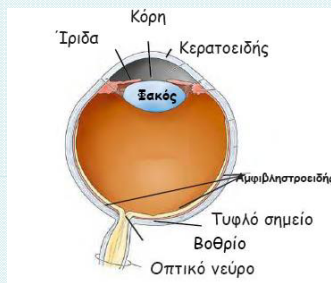


28

## κόρη-ίριδα

- Η **κόρη** είναι το άνοιγμα που βρίσκεται στο **κέντρο της ίριδας**, από όπου το φως εισέρχεται στο φακό.
- Φαίνεται μαύρη, επειδή σχεδόν **όλο το φως** που εισέρχεται, **απορροφάται** στο εσωτερικό του οφθαλμού.
- Υπό συνθήκες μετρίου φωτός, το άνοιγμα-κόρη έχει **διάμετρο περίπου 4 mm**.
- Αλλάζει δε διάμετρο **από 3 mm** περίπου στο έντονο φως **μέχρι 8 mm** περίπου στο αμυδρό φως.
- Ο λόγος, **από την πλευρά της φυσιολογίας**, για τον οποίο η διάμετρος του ανοίγματος αλλάζει, δεν είναι σαφής.
- Η **μεταβολή** μέχρι και **7 φορές** της επιφάνειας του ανοίγματος **δεν φαίνεται αρκετή** για να καλύψει το **τεράστιο εύρος εντάσεων φωτός**, στο οποίο ο οφθαλμός μπορεί να αντεπεξέλθει =>  $10^{10}:1$

29



## κόρη-ίριδα

Η κόρη **δεν** ανοίγει ή κλείνει **γρήγορα**.

Παρατήρησε ότι ο οφθαλμός πρέπει να βρεθεί **περισσότερα από 10-15 λεπτά στο σκοτάδι** για να επιτευχθεί το μέγιστο άνοιγμα.

30

## κόρη-ίριδα

Πιστεύεται ότι η ίριδα βοηθάει τον οφθαλμό, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ένταση του προσπίπτοντος φωτός στον αμφιβληστροειδή, μέχρι οι φωτοϋποδοχείς να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες.

Επιπλέον, υπό συνθήκες δυνατού φωτός, παίζει σημαντικό ρόλο στη **μείωση των ατελειών του φακού**, με τον περιορισμό της διαμέτρου της.

31

## υδατοειδές υγρό

Το **υδατοειδές υγρό** γεμίζει τον χώρο μεταξύ του φακού και του κερατοειδούς.

Το υγρό αυτό, που κυρίως αποτελείται από νερό, **παράγεται συνεχώς**, και η περίσσειά του διαφεύγει από ένα σωλήνα παροχέτευσης => **το κανάλι του Schlemm**.

**Απόφραξη του** καναλιού αυτού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης στον οφθαλμό.

Η κατάσταση αυτή καλείται **γλαύκωμα**.

32



## υαλοειδές υγρό και σκληρός χιτώνας

Το **υαλοειδές υγρό**, είναι μια διαυγής ουσία με μορφή **πηκτής (ζελέ)** που γεμίζει τον ευρύ χώρο μεταξύ του φακού και του αμφιβληστροειδούς.

Βοηθάει στη **διατήρηση του σχήματος του οφθαλμού** και είναι ουσιαστικά μόνιμο. Συχνά καλείται **υαλοειδές σώμα**.

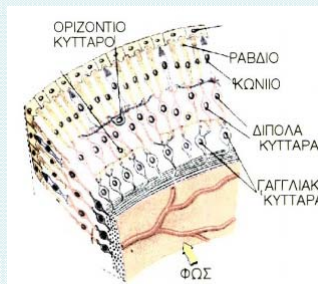
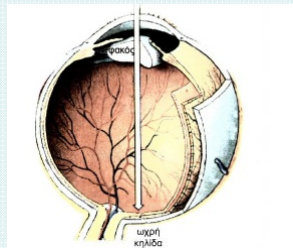
Ο **σκληρός χιτώνας** είναι το **σκληρό, λευκό** και αρκετά **σφιχτό περίβλημα** που αγκαλιάζει ολόκληρο τον οφθαλμό εκτός από την περιοχή του κερατοειδούς.

Το **εκτεθειμένο** μέρος του σκληρού χιτώνα προστατεύεται από μια **λεπτή και διάφανη επίστρωση-μεμβράνη** που ονομάζεται **επιπεφυκότας**.

33

## αμφιβληστροειδής

Ο **αμφιβληστροειδής**, το **φωτοευαίσθητο τμήμα** του οφθαλμού, **μετατρέπει τις φωτεινές εικόνες σε ηλεκτρικές νευρικές ώσεις** για να μεταφερθούν **στον εγκέφαλο**.



Παρόλο που ο ρόλος του αμφιβληστροειδούς είναι παρόμοιος με το ρόλο του φιλμ σε μια φωτογραφική μηχανή, ο αμφιβληστροειδής προσομοιάζεται καλύτερα με το φωτοευαίσθητο τμήμα - οθόνη μιας τηλεόρασης.

34

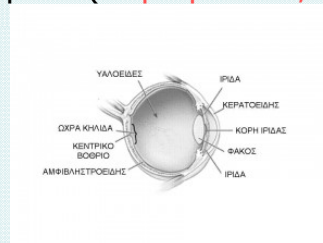
- Η απορρόφηση ενός φωτονίου φωτός από τους φωτοϋποδοχείς προκαλεί τη δημιουργία δυναμικού δράσης που 'εκπέμπεται' προς τον εγκέφαλο.
- Η ενέργεια του φωτονίου είναι περίπου 3 eV, ενώ η ενέργεια του δυναμικού αυτού είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη.
- Το φωτόνιο της ορατής ακτινοβολίας φαίνεται πως προκαλεί φωτοχημική αντίδραση στον φωτούποδοχέα, στον οποίο, με κάποιον τρόπο, προκαλείται η δημιουργία του δυναμικού δράσης.
- Για να προκληθεί η αντίδραση, η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μια ελάχιστη τιμή.
- Φωτόνια που βρίσκονται στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, έχουν ανεπαρκή ενέργεια και για το λόγο αυτό δεν είναι ορατά.
- Τα φωτόνια που βρίσκονται στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος έχουν αρκετή ενέργεια, αλλά απορροφώνται πριν φτάσουν στον αμφιβληστροειδή και για το λόγο αυτό επίσης δεν είναι ορατά.

## αμφιβληστροειδής

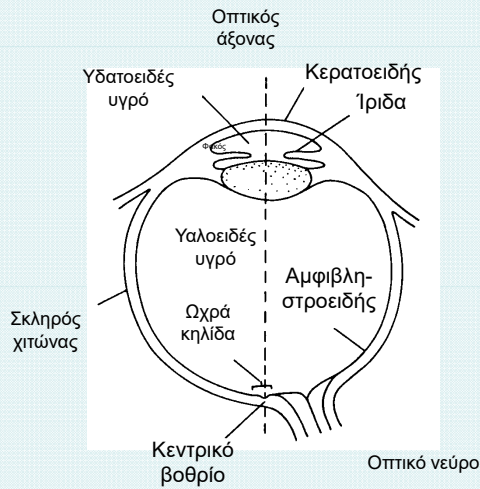
Ο αμφιβληστροειδής καλύπτει το οπίσθιο μέρος του βολβού, περίπου κατά το ήμισυ.

Παρόλο που αυτή η μεγάλη έκταση του επιτρέπει την αίσθηση της όρασης σε ευρεία γωνία, το μεγαλύτερο μέρος της κανονικής όρασης περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή του αμφιβληστροειδούς που καλείται *ωχρά κηλίδα*.

Ο μηχανισμός της ευκρινούς όρασης λαμβάνει χώρα σε μια πολύ μικρή περιοχή μέσα στην ωχρά κηλίδα (διαμέτρου ~0,3 mm), που ονομάζεται *κεντρικό βοθρίο*.



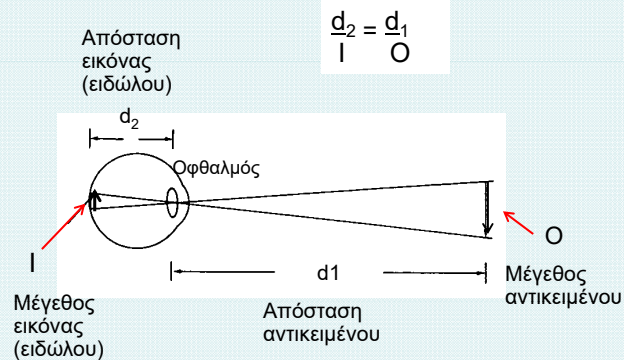
## αριστερός οφθαλμός



**Οριζόντια διατομή** του αριστερού οφθαλμού όπως αυτός φαίνεται από πάνω.

37

## Σχηματισμός του Ειδώλου => Γεωμετρία



$$\frac{d_2}{I} = \frac{d_1}{O}$$

Υπάρχει μια απλή σχέση που συνδέει το μέγεθος του αντικειμένου με το μέγεθος του ειδώλου και τις αποστάσεις στις οποίες βρίσκονται. Το είδωλο στον αμφιβληστροειδή είναι μικρό λόγω της μικρής απόστασης της εικόνας από τον φακό (περίπου 2 cm).

38

## κωνία και ραβδία

Υπάρχουν δύο είδη φωτούποδοχέων στον αμφιβληστροειδή: τα κωνία και τα ραβδία.

Στο μεγαλύτερο μέρος του αμφιβληστροειδούς, τα κωνία και τα ραβδία, δεν βρίσκονται στην επιφάνειά του, αλλά πίσω από μερικά στρώματα νευρικού ιστού, τα οποία το φως πρέπει να διαπεράσει.

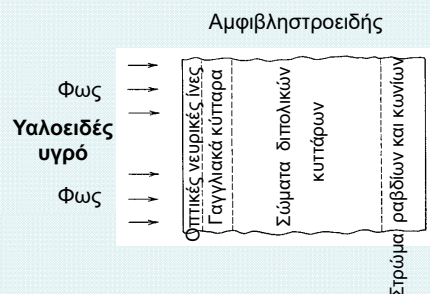
Στο κεντρικό βοθρίο όμως ο νευρικός αυτός ιστός λεπταίνει αισθητά και σχηματίζεται μια μικρή λακκούβα (βοθρίο).

Αυτό το μειωμένο στρώμα του νευρικού ιστού βοηθάει, ώστε η όραση να γίνει περισσότερο ευκρινής στη συγκεκριμένη περιοχή που, σημειωτέον, περιέχει μόνον κωνία.

39

## κωνία και ραβδία

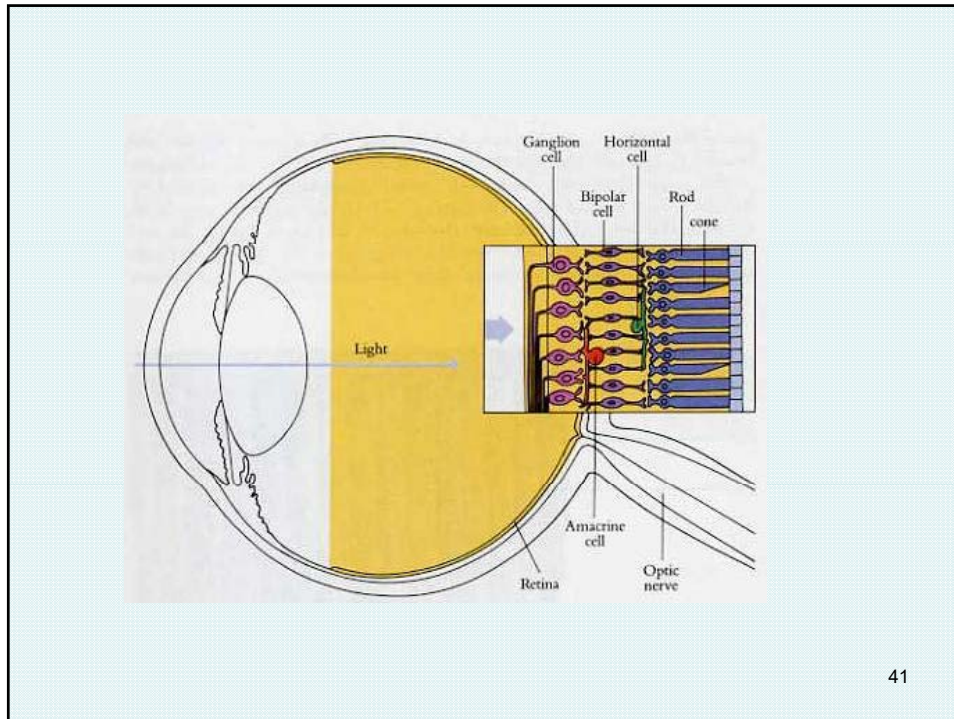
Το φως πρέπει να διαπεράσει διάφορες στιβάδες κυττάρων για να καταλήξει στα κωνία και τα ραβδία.



Στο κεντρικό βοθρίο, οι στιβάδες αυτές είναι λεπτότερες, επιτρέποντας πιο ευκρινή όραση στην περιοχή αυτή.

Τα αιμοφόρα αγγεία εμποδίζουν επίσης το φως να φθάσει σε μερικά κωνία και ραβδία.

40



41

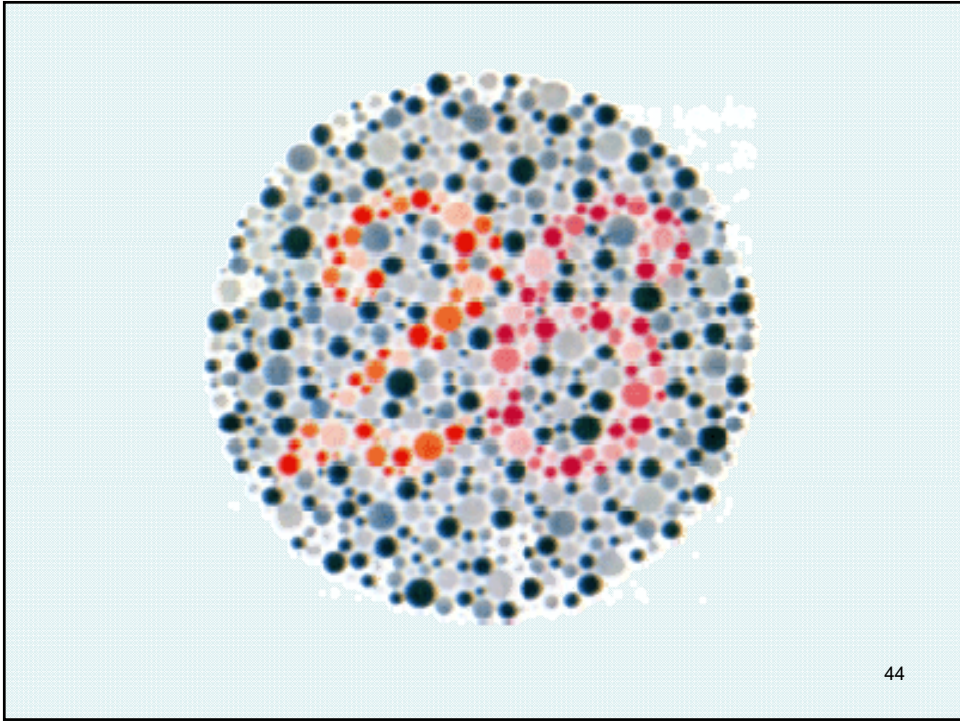
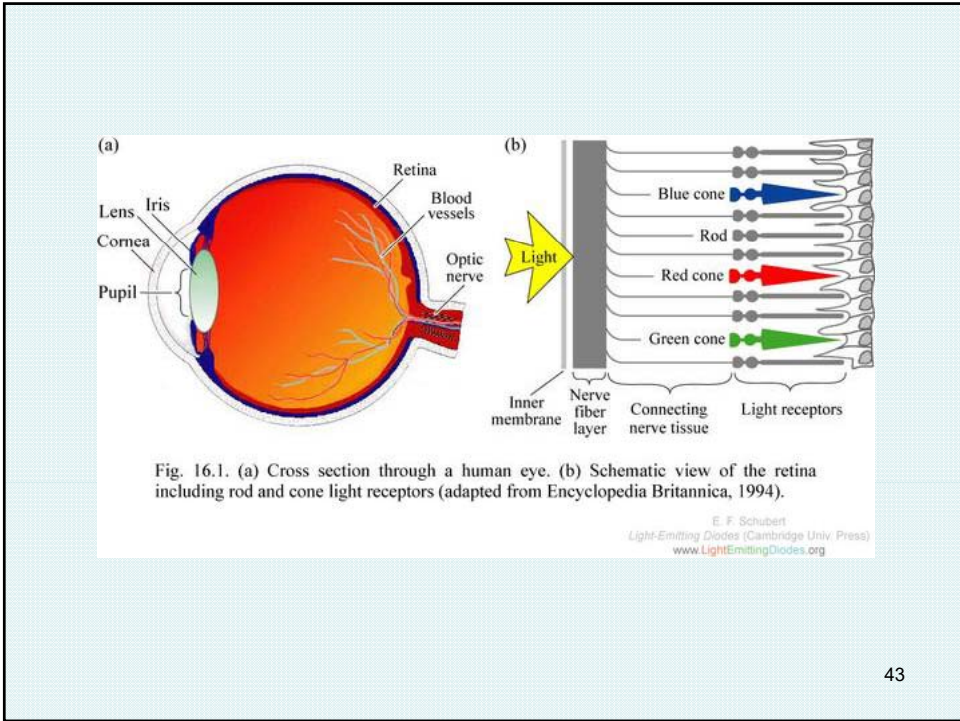
## ***κωνία και ραβδία***

Στον υπόλοιπο αμφιβληστροειδή τα κωνία και τα ραβδία κατανέμονται **συμμετρικά προς όλες τις κατευθύνσεις** γύρω από τον οπτικό άξονα, **εκτός από μια ακόμα περιοχή – το τυφλό σημείο ή οπτική θηλή** (που δεν περιέχει ούτε κωνία, ούτε ραβδία).

Τα **κωνία** (περίπου 6,5 εκατομμύρια σε κάθε οφθαλμό) λειτουργούν κατά την όραση υπό το φως της ημέρας ή **την φωτοπική όραση**.

Με τα κωνία, μπορούμε να δούμε τις **λεπτομέρειες** και να αναγνωρίσουμε διαφορετικά **χρώματα**. Τα κωνία βρίσκονται κυρίως στην περιοχή του κεντρικού βοθρίου, αλλά κάποια βρίσκονται διασκορπισμένα και στην ευρύτερη περιοχή του αμφιβληστροειδούς.

42

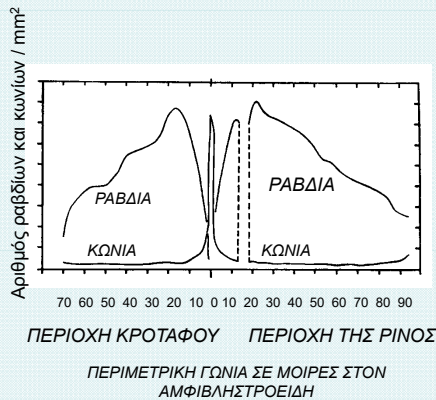


## κωνία και ραβδία

Η **κατανομή** των ραβδίων και των κωνίων στον αμφιβληστροειδή του αριστερού οφθαλμού.

Παρατήρησε ότι στο **τυφλό σημείο** δεν υπάρχουν υποδοχείς.

Η περιμετρική γωνία των **30°** υποδεικνύει τη θέση στον αμφιβληστροειδή μιας φωτεινής πηγής που βρίσκεται σε γωνία 30° αριστερά ή δεξιά όταν ο οφθαλμός κοιτάει ευθεία απέναντι.



(Από M.H. Pirenne, *Vision and the Eye*, 2nd Ed., Chapman & Hall, Ltd., London, 1967, p.32, όπως σχεδιάστηκε από τα δεδομένα του Osterberg, *Acta Ophthal*, Suppl. 6, 1935.)

45

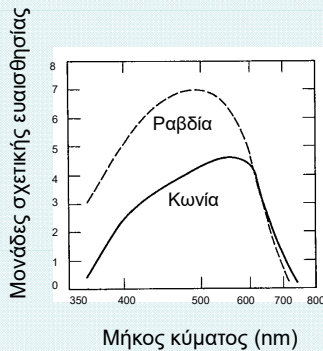
## κωνία και ραβδία

Τα **κωνία** δεν είναι το ίδιο ευαίσθητα σε όλα τα χρώματα, αλλά παρουσιάζουν **μέγιστη ευαισθησία** περίπου στα 550 nm, στη περιοχή του **κίτρινου – πράσινου**.

Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί αρκετά καλά με το **μέγιστο του ηλιακού φάσματος** στην επιφάνεια της γης.

46

## κωνία και ραβδία



Τα ραβδία είναι πολύ πιο ευαίσθητα (1000 φορές) από τα κωνία.

Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε λογαριθμική κλίμακα.

Κάθε υποδιαίρεση αντιστοιχεί σε παράγοντα 10 της ευαισθησίας.

Τα κωνία παρουσιάζουν μέγιστη ευαισθησία περίπου στα 550 nm, ενώ τα ραβδία περίπου στα 510 nm.

47

## κωνία και ραβδία

Τα ραβδία λειτουργούν περισσότερο κατά τη νυχτερινή ή σκοτοπική όραση, όπως επίσης για την περιφερική όραση.

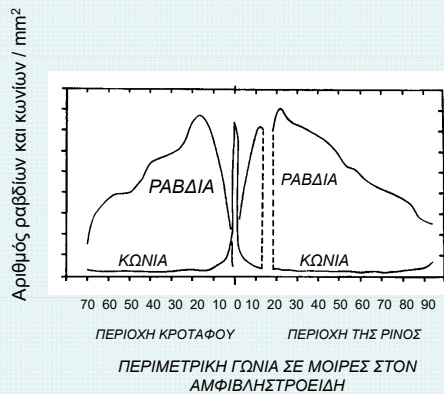
Είναι πολύ περισσότερα από τα κωνία (περίπου 120 εκατομμύρια σε κάθε οφθαλμό) και καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του αμφιβληστροειδούς.

Δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στον αμφιβληστροειδή και σε γωνία περίπου 20° έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα.

48



## κωνία και ραβδία



Η **κατανομή** των ραβδίων και των κωνίων στον αμφιβληστροειδή του αριστερού οφθαλμού.

Παρατήρησε ότι στο τυφλό σημείο δεν υπάρχουν υποδοχείς.

Η περιμετρική γωνία των 30° υποδεικνύει τη θέση στον αμφιβληστροειδή μιας φωτεινής πηγής που βρίσκεται σε γωνία 30° αριστερά ή δεξιά όταν ο οφθαλμός κοιτάει ευθεία απέναντι.

(Από M.H. Pirenne, *Vision and the Eye*, 2nd Ed., Chapman & Hall, Ltd., London, 1967, p.32, όπως σχεδιάστηκε από τα δεδομένα του Osterberg, *Acta Ophthalmol*, Suppl. 6, 1935.)

49

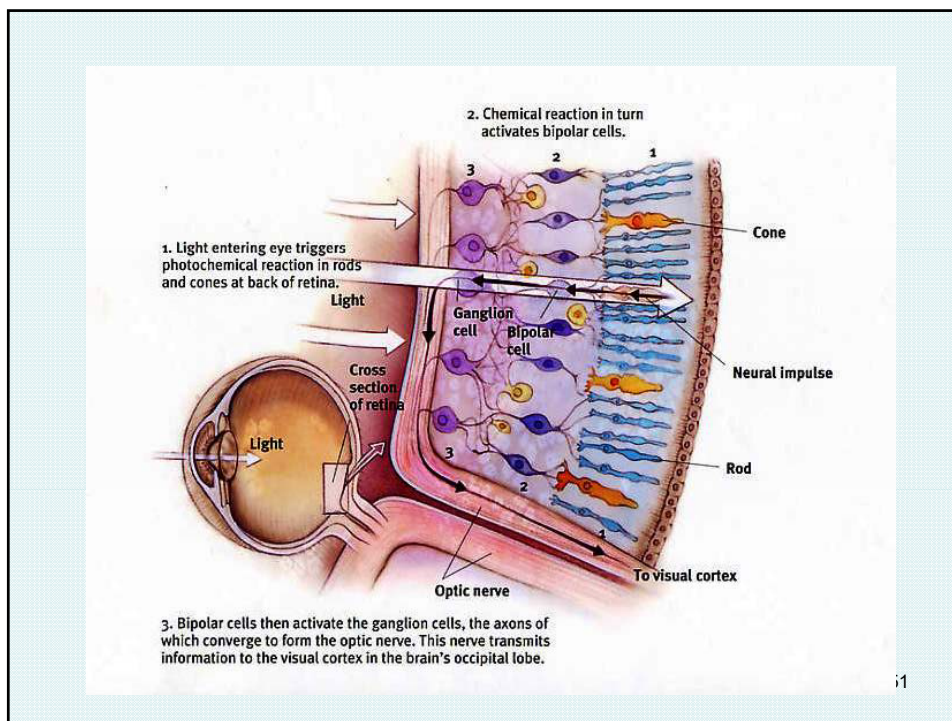
## κωνία και ραβδία

Ιστολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι μέχρι και **εκατοντάδες ραβδία** στέλνουν τις πληροφορίες τους στην **ίδια νευρική ίνα**.

Αυτό σημαίνει ότι στην περιφερική όραση, **η ικανότητα να διακριθούν δύο φωτεινές πηγές** που βρίσκονται αρκετά **κοντά** μεταξύ τους, είναι **μικρή**.

Από την άλλη μεριά **όμως, η υψηλή ευαισθησία** των ραβδίων, καθώς και η μεγάλη επιφάνεια που καλύπτουν στον αμφιβληστροειδή, μας επιτρέπουν να αναγνωρίσουμε ένα **αντικείμενο που πλησιάζει από τα πλάγια**, ενώ εμείς κοιτάμε ευθεία μπροστά.

50



## κωνία και ραβδία

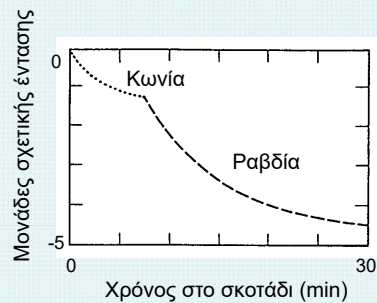
Η **προσαρμογή στο σκοτάδι** είναι προφανώς ο χρόνος που απαιτείται, ώστε το σώμα να **αυξήσει την ποσότητα των φωτοευαίσθητων χημικών στα ραβδία και τα κωνία**.

Τα **κωνία** προσαρμόζονται **γρηγορότερα**: μετά την πάροδο 5 min, το κεντρικό βοθρίο έχει αποκτήσει τη μέγιστή του ευαισθησία.

Τα **ραβδία** συνεχίζουν την προσαρμογή στο σκοτάδι για 30 – 60 min, παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος της προσαρμογής γίνεται τα πρώτα 15 min.

# κωνία και ραβδία

Ο οφθαλμός προσαρμόζεται **στο σκοτάδι** σε **δύο** φάσεις.

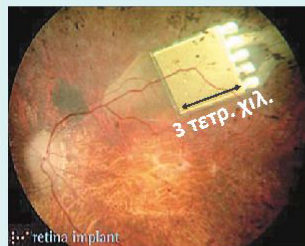


Η φάση για την προσαρμογή των **κωνίων** ολοκληρώνεται σε **5 με 10 min**, ενώ η αντίστοιχη φάση των **ραβδίων** διαρκεί **πάνω από 30 min**.

Η ευαισθησία όμως αυξάνεται πάνω από 10.000 φορές.

53

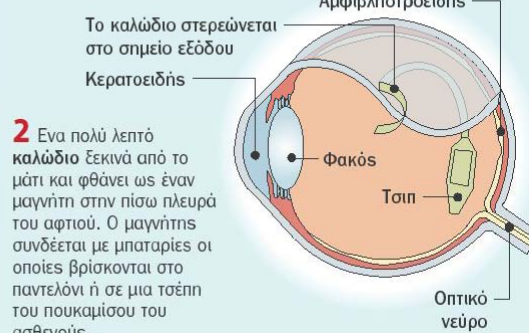
## Η διαδικασία τοποθέτησης του τσιπ που χαρίζει το φως



Το τσιπ εμφυτεύεται πίσω από τον αμφιβλοστροειδή

**1** Το τσιπ, που είναι λεπτό όσο ένα φύλλο πυριτίου, έχει επιφάνεια τριών τετραγωνικών χιλιοστών. Φέρει **1.500 αισθητήρες φωτός** και εμφυτεύεται στο πίσω μέρος του οφθαλμού κατά τη διάρκεια επέμβασης που διαρκεί τεσσσερισήμισι ώρες.

Πηγή: Retina Implant AG



**2** Ένα πολύ λεπτό καλώδιο ξεκινά από το μάτι και φθάνει ως έναν μαγνήτη στην πίσω πλευρά του αφτιού. Ο μαγνήτης συνδέεται με μπαταρίες οι οποίες βρίσκονται στο παντελόνι ή σε μια τσέπη του πουκαμίσου του ασθενούς.

**3** Οι αισθητήρες φωτός μετατρέπουν το φως που φθάνει στο μάτι σε ηλεκτρικά σήματα. Τα σήματα αυτά φθάνουν στον εγκέφαλο προκειμένου να γίνει επεξεργασία τους και να μετατραπούν σε εικόνα.

**4** Μετά την εμφύτευση οι ασθενείς είναι σε θέση να αναγνωρίζουν πρόσωπα σε απόσταση μεγαλύτερη των πέντε μέτρων και να αποφεύγουν εμπόδια που βρίσκονται μέσα σε κάποιον χώρο.

## ερώτημα

Το αρχικό ερώτημα που τέθηκε από τους Hecht et al. είναι: Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός φωτονίων που δημιουργεί την αίσθηση της όρασης στο 60% τουλάχιστον των περιπτώσεων;

Για να επιτύχουν τον ελάχιστο αριθμό φωτονίων, οι Hecht et al έπρεπε να βελτιστοποιήσουν τις συνθήκες του πειράματος. Έπρεπε να καθορίσουν:

- (1) το βέλτιστο χρώμα μιας φωτεινής δέσμης – λάμπης που έπρεπε να χρησιμοποιήσουν
- (2) την περισσότερο ευαίσθητη περιοχή στον αμφιβληστροειδή,
- (3) τη βέλτιστη διάμετρο της φωτεινής δέσμης, και
- (4) τη βέλτιστη χρονική διάρκεια της φωτεινής δέσμης.

55

Κατέληξαν στις εξής απαντήσεις:

- (1) τα ραβδία είναι περισσότερο ευαίσθητα στα 510 nm,
- (2) τα ραβδία είναι περισσότερα (αριθμός ανά επιφάνεια αμφιβληστροειδούς) σε γωνία 20° περίπου από τον οπτικό άξονα,
- (3) η ικανότητα ανίχνευσης της φωτεινής δέσμης είναι ανεξάρτητη της διαμέτρου της για τόξα μέχρι 10' (αντιστοιχεί περίπου στην περιοχή που καλύπτει το σύμβολο των μοιρών στον αριθμό «20»), ενώ για μεγαλύτερα τόξα απαιτείται περισσότερο φως για την ανίχνευσή της, και
- (4) για λάμψη φωτός που διαρκεί μέχρι 0,1 s (100 ms), η χρονική διάρκεια της λάμπης δεν επηρεάζει την ικανότητα ανίχνευσης, αλλά για λάμπεις μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας απαιτείται περισσότερο φως.

56

## άλλο ερώτημα

Ίσως να αναρωτιέσαι **γιατί δεν μπορούμε να δούμε ένα φωτόνιο.**

Διάφοροι παράγοντες εμπλέκονται, αλλά ο κύριος περιορισμός οφείλεται στην **τυχαία ενεργοποίηση δυναμικών δράσης** που ονομάζουμε **ηλεκτρικό θόρυβο.**

Ο αμφιβληστροειδής παράγει συνεχώς τέτοιο θόρυβο. **Κάθε ραβδί στέλνει ένα τυχαίο δυναμικό δράσης** περίπου **κάθε 5 λεπτά.**

Με 120 εκατομμύρια ραβδία σε κάθε οφθαλμό, δημιουργούνται περίπου **3 δισεκατομμύρια** τυχαίοι παλμοί θορύβου **την ώρα.**

Το **φωτεινό σήμα πρέπει να είναι μεγαλύτερο** από τους τυχαίους παλμούς για να γίνει ορατό.

Τα **κωνία, προφανώς δημιουργούν περισσότερους τυχαίους** παλμούς και απαιτείται πολύ μεγαλύτερο φωτεινό σήμα για να γίνει αντιληπτό από το κεντρικό βοθρίο. 57

Ίσως να μείνεις έκπληκτος μαθαίνοντας ότι, **ενώ 90 φωτόνια εισέρχονται στο μάτι,** **10 ή λιγότερα** απορροφούνται τελικά από τους **φωτοϋποδοχείς.**

Τι συμβαίνει στα υπόλοιπα;

Περίπου το **3% ανακλώνται** στην επιφάνεια του κερατοειδούς και **περίπου το 50% απορροφούνται από τους ιστούς** που παρεμβάλλονται (κερατοειδής, φακός, υγρά).

Από αυτά που φτάνουν στην περιοχή των ραβδίων, **μόνο το 20% περίπου** (περίπου το 10% του αρχικού αριθμού) απορροφούνται από τα ραβδία.

Τα φωτόνια που δεν απορροφώνται ούτε στα ραβδία, **απορροφώνται στο «πίσω μέρος» του οφθαλμού.** 58

Στα μάτια μερικών ζώων, όπως οι γάτες, υπάρχει ένας ανακλαστικός χιτώνας πίσω από τα ραβδία, παρέχοντας στα ραβδία μια δεύτερη ευκαιρία να απορροφήσουν τα φωτόνια που «ξέφυγαν».

Τα μάτια των ζώων αυτών «λάμπουν στο σκοτάδι» όταν το φως πέσει πάνω τους.



Το ανακλώμενο φως, όμως, μειώνει τη διακριτική ικανότητα.

59

## Περίθλαση

Η φωτεινή ακτινοβολία, ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα, υφίσταται περίθλαση όταν περνά μέσα από ένα μικρό άνοιγμα.

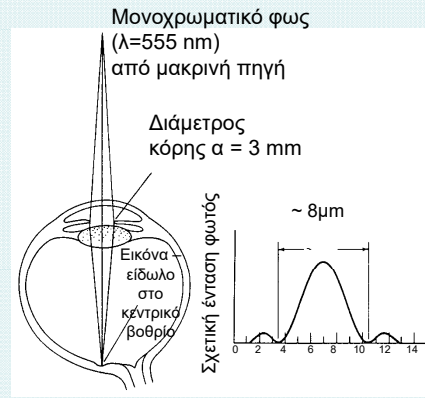
Με τον τρόπο αυτό, η ίριδα δημιουργεί ένα σχέδιο περίθλασης στον αμφιβληστροειδή.

Για φυσιολογικό άνοιγμα της κόρης ( $\sim 4 \text{ mm}$ ) το φαινόμενο αυτό δεν έχει πρακτικές συνέπειες στην καθημερινή όραση.

Εντούτοις, αν η κόρη γίνει πολύ μικρότερη, για παράδειγμα  $2,0 \text{ mm}$ , το φαινόμενο της περίθλασης επηρεάζει σημαντικά την οξύτητα της όρασης.

60

# Περίθλαση



Απόσταση κατά μήκος του αμφιβληστροειδούς  
σε μονάδες διαμέτρου κωνίων

(α)

(β)

61

(α) Μονοχρωματικό φως από μια μακρινή σημειακή πηγή εστιάζεται στο κεντρικό βοθρίο του αμφιβληστροειδούς.

(β) Το είδωλο της πηγής στον αμφιβληστροειδή, όταν οι φωτεινές ακτίνες έχουν υποστεί περίθλαση από την κόρη διαμέτρου 3 mm, έχει τη μορφή ενός κεντρικού φωτεινού κυκλικού δίσκου, διαμέτρου 8 μm, που περιβάλλεται από ένα φωτεινό δαχτυλίδι φωτός μειωμένης έντασης.

# Σφάλματα φακών

Όλοι οι φακοί έχουν σφάλματα (παραμορφώσεις).

Η επίδραση τέτοιων παραμορφώσεων μειώνεται όταν το άνοιγμα του φακού γίνει μικρότερο. Στον οφθαλμό, η μικρή κόρη βελτιώνει την οπτική οξύτητα.

Εντούτοις, αν η κόρη γίνει πολύ μικρή, η οξύτητα υποβαθμίζεται λόγω των φαινομένων περίθλασης.

Υπάρχει βέλτιστο μέγεθος για την διάμετρο της κόρης.

Η καλύτερη οξύτητα για έναν εμμετρικό οφθαλμό προκύπτει για διάμετρο κόρης μεταξύ 3 και 4 mm – το φυσιολογικό της μέγεθος σε συνθήκες καλού φωτισμού.

62

## πάλι η Περίθλαση

Μια σημειακή πηγή φωτός δεν θα εστιαστεί σε ένα μόνο κωνίο, λόγω των φαινομένων περίθλασης.

Η γωνιακή απόκλιση,  $2\theta$ , του κεντρικού φωτεινού δίσκου που θα σχηματιστεί στον αμφιβληστροειδή, για φως μήκους κύματος  $\lambda = 555 \text{ nm}$  και κόρη διαμέτρου  $a = 3,0 \text{ mm}$ , υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$2\theta = 2(1,22)(\lambda/a) = 2(1,22)(555 \times 10^{-9}/3 \times 10^{-3}) = 4,5 \times 10^{-4} \text{ ακτίνια.}$$

[Το ακτίνιο είναι μονάδα μέτρησης των γωνιών στο σύστημα SI και υπολογίζεται από το λόγο  $s/r$ , όπου  $r$  είναι η ακτινική απόσταση ενός αντικειμένου και  $s$  είναι το τόξο που καθορίζει το μέγεθος του αντικειμένου, κάθετο σε αυτήν την ακτίνα]

[ $180^\circ = \pi$  ακτίνια (radians) ή  $1^\circ = 17,45 \text{ mrad}$ ]

63

## Οπτική Οξύτητα

- Οι γνωστοί σε όλους οπτικοί χάρτες που χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί αν χρειαζόμαστε διορθωτικούς φακούς, ελέγχουν την ιδιότητα των οφθαλμών μας που καλείται οπτική οξύτητα.
- Ένας φυσικός ονομάζει την οπτική οξύτητα ως διακριτική ικανότητα των οφθαλμών.

64



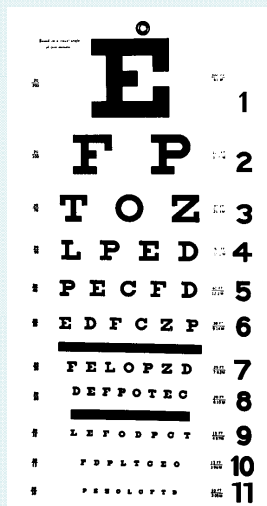
## ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Οι οφθαλμίατροι χρησιμοποιούν συνήθως το **πίνακα Snellen** για να ελέγξουν την οξύτητα της όρασης.

Αν από τον έλεγχο προκύψει ότι έχεις όραση **6/6**, αυτό σημαίνει ότι μπορείς να δεις **λεπτομέρειες από απόσταση 6 μέτρων**, τις οποίες ένα άτομο με καλή όραση μπορεί να δει από αυτήν την απόσταση.

65

## ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ



Ο χάρτης-πίνακας του Snellen για τον έλεγχο της όρασης συνήθως τοποθετείται σε απόσταση **20 ft** ή **6 m**.

Η **8η σειρά** αντιστοιχεί στην βαθμολογία **20/20**.

Στην Ευρώπη, που χρησιμοποιείται το «μετρ»-ικό σύστημα, το **20/20** ισοδυναμεί με **6/6**, δηλαδή ότι είσαι ικανός να διαβάσεις τη σειρά 8 από απόσταση **6 m**.

Στη σειρά αυτή, οι γραμμές που σχηματίζουν τα γράμματα έχουν **γωνιακό εύρος τόξου 1'** στα **20 ft**.

Μερικά γράμματα (π.χ. το L) αναγνωρίζονται πιο εύκολα από άλλα (π.χ. B και H).

66

## ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

- Η **οπτική οξύτητα** ή η διακριτική ικανότητα του οφθαλμού καθορίζεται κυρίως **από τα χαρακτηριστικά των κωνίων στο βοθρίο**.
- Ένας κοινός τρόπος για τον έλεγχο της διακριτικής ικανότητας είναι η χρήση ενός σχεδίου με εναλλασσόμενες μαύρες και άσπρες γραμμές που σιγά - σιγά λεπταίνουν.
- Ο **συνδυασμός μιας άσπρης και μιας μαύρης γραμμής** καλείται **ζεύγος γραμμών** (line pair – lp).
- **Υπό βέλτιστες συνθήκες**, ο οφθαλμός μπορεί να διακρίνει δύσκολα ως ξεχωριστές τις γραμμές σε ένα σχήμα με **30 lp/mm περίπου**.
- Αν ο οφθαλμός απομακρυνθεί στην **διπλάσια** απόσταση, θα μπορεί να διακρίνει **15 lp/mm**.

67

## ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ ή ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η **διακριτική ικανότητα** εκφράζεται **συχνά και από τη γωνία που ξεκινά από τον οφθαλμό** (και έχει άνοιγμα όσο το μέγεθος του αντικειμένου).

Η γωνία είναι λίγο – πολύ ανεξάρτητη της απόστασης από την οποία βλέπουμε. Η ελάχιστη γωνία μεταξύ δύο μαύρων γραμμών που μπορούν να αναγνωριστούν ως ξεχωριστές, είναι περίπου **0,3 mrad**.

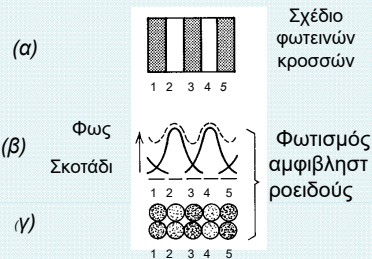
Για να διαχωρίζονται **δύο παράλληλες μαύρες γραμμές**, θα πρέπει το είδωλό τους να πέφτει **πάνω σε δύο παράλληλες σειρές κωνίων**, αφήνοντας όμως **ενδιάμεσα μια κενή παράλληλη σειρά** που θα δεχθεί το είδωλο της άσπρης γραμμής.

68

## διακριτική ικανότητα

Για να δεις τις **λευκές** παράλληλες γραμμές- λωρίδες του (α) ως **ξεχωριστές**,

είναι **απαραίτητο** τα **είδωλα** των γραμμών να «πέφτουν» πάνω σε παράλληλες σειρές **κωνίων**, όπως φαίνεται σχηματικά στα (β) και (γ), έχοντας όμως μεταξύ τους μια σειρά κωνίων **χωρίς είδωλο**.



Όλα τα κωνία λαμβάνουν κάποιο φως, αλλά το μεγαλύτερο μέρος του φωτός πέφτει στα κωνία που αντιστοιχούν στις άσπρες λωρίδες.

(Προσαρμοσμένο από Ruch, T. C. στο T. C. Ruch and H.D. Patton, Eds., *Physiology and Biophysics*, 19th Ed., © W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1965, p.428.)

69

## διακριτική ικανότητα

Η **μικρότερη μαύρη κουκκίδα** που μπορείς να δεις σε άσπρο φόντο, κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες, είναι  **$2,3 \times 10^{-6}$  radians**.

Η **διακριτική ικανότητα** όμως **μειώνεται με γρήγορο ρυθμό** όσο το **είδωλο απομακρύνεται από το κεντρικό βοθρίο**.

Σε  **$0,175$  radians ( $10^\circ$ )** από το βοθρίο, η οξύτητα υποβαθμίζεται **κατά παράγοντα 10**.

Αν ο φωτισμός δεν είναι ο βέλτιστος, η διακριτική ικανότητα υποβαθμίζεται περισσότερο.

70

## διακριτική ικανότητα

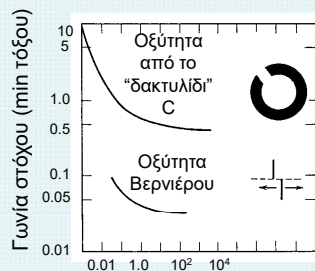
Ένα **τεστ για την οξύτητα**, που συχνά χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες, είναι η **ευθυγράμμιση** από τον εξεταζόμενο **των άκρων δύο παράλληλων γραμμών**, έτσι ώστε να εμφανίζονται ως μία συνεχής γραμμή.

Η διαπίστωση – μέτρηση το βαθμού της ευθυγράμμισης απαιτεί τη χρήση ενός μετρητικού οργάνου που καλείται κλίμακα του Βερνιέρου.

Είναι δυνατό, ένα εκπαιδευμένο άτομο να ευθυγραμμίσει δύο λεπτές γραμμές, υπό βέλτιστες συνθήκες, σε γωνία  **$9 \times 10^{-6}$  radians**, γωνία **πολύ μικρότερη από τα  $3 \times 10^{-4}$  radians** που γενικά **απαιτούνται** για τον διαχωρισμό δύο γραμμών.

71

## διακριτική ικανότητα και φωτεινότητα



Φωτισμός υποβάθρου (background) (mL)

Η **οξύτητα** της όρασης βελτιώνεται με καλύτερη **φωτεινότητα**.

Η πάνω καμπύλη δείχνει την οξύτητα με ένα δακτυλίδι **Landolt C**, όπου πρέπει να αναγνωριστεί η κατεύθυνση του ανοίγματος.

Η οξύτητα του **Βερνιέρου** (η ικανότητα να ευθυγραμμίσεις δύο γραμμές) αντιστοιχεί σε μικρότερες γωνίες 'στόχου' από όσο η οξύτητα Landolt C.

Απαιτούμενη τιμή της φωτεινότητας για ανάγνωση είναι περίπου τα 100 mLamberts (mL). Με **λιγότερη φωτεινότητα** η **οξύτητα μειώνεται** αισθητά.

72

## διακριτική ικανότητα

Η διακριτική ικανότητα του οφθαλμού στην περίπτωση άσπρων γραμμάτων σε μαύρο φόντο είναι περίπου  $10^{-3}$  radians,

ενώ στην περίπτωση μαύρων γραμμάτων σε άσπρο φόντο είναι  $3 \cdot 10^{-4}$  radians.

Αυτό σημαίνει ότι ένα υγιές οφθαλμός θα έβλεπε μόνο 20/60 στον πίνακα του Snellen, αν τα γράμματα του πίνακα ήταν άσπρα σε μαύρο φόντο!

Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη πρακτική σημασία, ειδικά όταν ετοιμάζουμε τις διαφάνειες για την παράδοση ενός μαθήματος!

Ανοιχτού χρώματος γράμματα σε σκούρο φόντο, δεν διαβάζονται τόσο εύκολα, όσο τα παραδοσιακά γράμματα σκούρου χρώματος σε ανοιχτό φόντο.

73

## Αντίθεση - Contrast

Η ικανότητα του οφθαλμού να διαχωρίζει δύο γραμμές ως χωριστές εξαρτάται επίσης και από το πόσο μαύρες ή άσπρες είναι.

Η διακριτική ικανότητα υποβαθμίζεται όταν οι δύο γραμμές έχουν διαφορετικές αποχρώσεις του γκρι, από όσο όταν η μια είναι άσπρη και η άλλη μαύρη.

Η αντίθεση (contrast)  $C$  μεταξύ δύο (γειτονικών) περιοχών ορίζεται ως  $C = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ , όπου  $I_1$  και  $I_2$  αντιστοιχούν στην ένταση του φωτός στις δύο περιοχές.

Η μικρή αντίθεση μεταξύ δύο γειτονικών περιοχών ενδιαφέροντος σε μια ακτινογραφία, συχνά περιορίζει σημαντικά τη διαγνωστική αξία της ακτινογραφίας.

74

## Αντίθεση - Contrast

Πριν αναπτύξουμε αναλυτικότερα το μέγεθος της αντίθεσης, πρέπει να καθορίσουμε τη μονάδα μέτρησης της πυκνότητας αμαύρωσης (ή αδιαφάνειας) ενός ακτινογραφικού film ή άλλου απορροφητή φωτός.

Η οπτική πυκνότητα (optical density) OD ενός απορροφητή ορίζεται ως  $OD = \log_{10}(I_0/I)$ , όπου  $I_0$  είναι η ένταση του φωτός χωρίς τον απορροφητή και  $I$  είναι η ένταση του φωτός μετά τον απορροφητή.

Για παράδειγμα, αν από ένα φιλμ διαπερνά το 10% του προσπίπτοντος φωτός, το φιλμ έχει οπτική πυκνότητα  $\log_{10}(1/0,1) = \log_{10}10 = 1,0$ .

Ένα φιλμ που απορροφά το 99% του προσπίπτοντος φωτός έχει  $I_0/I = 100$ , και  $OD = \log_{10}(10^2) = 2,0$ .

Οπτική πυκνότητα  $OD = 3$  σημαίνει ότι μόνο το 0,1% του φωτός διαπερνά το φιλμ.

Το φως πρέπει να είναι ιδιαίτερα έντονο για να γίνει ορατό διαμέσου φίλτρου  $OD = 3$ .

75

## contrast και ένταση φωτός

Αν δύο φιλμ τοποθετηθούν το ένα δίπλα στο άλλο, θα πρέπει να υπάρχει διαφορά στην οπτική τους πυκνότητα για να μπορέσουν οι οφθαλμοί να τα ξεχωρίσουν ως διαφορετικά (το φιλμ παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και παρατηρητή).

Η διαφορά αυτή εξαρτάται από την ένταση του φωτός.

Για φως χαμηλής έντασης, όταν χρησιμοποιούμε τα ραβδία μας, απαιτείται διαφορά στην ένταση του φωτός της τάξεως του 2.

Στη βέλτιστη ένταση φωτός, διαφορές της τάξης 1% ή 2% είναι ανιχνεύσιμες.

76

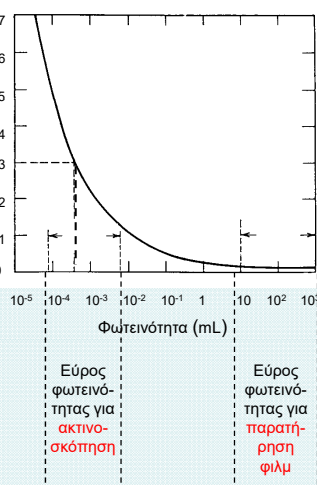
## contrast και ένταση φωτός

- Στις **ακτινογραφίες**, δυο περιοχές συνήθως δεν διαχωρίζονται από σαφές περίγραμμα. Η **οπτική πυκνότητα αλλάζει βαθμιαία** από τη μια περιοχή στην άλλη.
- Ακόμη και κάτω από βέλτιστες συνθήκες, μπορεί να απαιτείται **διαφορά έως και 20% στην ένταση του φωτός** για να αναγνωριστούν δυο γειτονικές περιοχές ως διαφορετικής πυκνότητας.

77

## Αντίθεση (C) και ένταση φωτός

Κλασματική μεταβολή έντασης φωτός για την ανίχνευση αντίθεσης C από τον προσομοιωμένο στο σκοτάδι σφεραλίμο

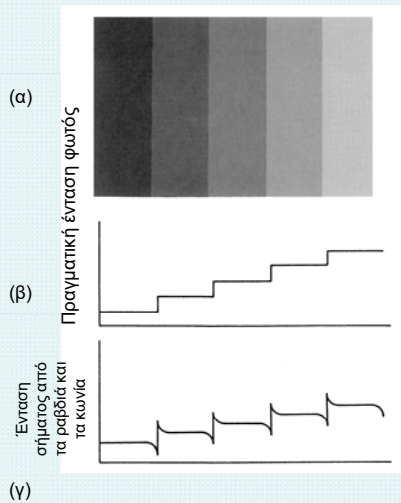


Το διάγραμμα παρουσιάζει την **αντίθεση (C)** που απαιτείται για να γίνουν αντιληπτές δύο διαφορετικές οπτικές πυκνότητες σε μια εικόνα, κάτω από διαφορετικά **επίπεδα φωτεινότητας**.

Στο επίπεδο φωτεινότητας που χρησιμοποιείται συνήθως στην **ακτινοσκόπηση**, απαιτείται μεταβολή της τάξης του 30% στην ένταση του φωτός για να ανιχνευθούν οι απαιτούμενες για τη διάγνωση μεταβολές της οπτικής πυκνότητας

78

## αντίθεση (C) και ένταση φωτός

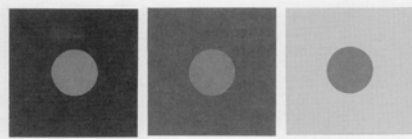


Λωρίδες με διαφορετικές αποχρώσεις του γκρι (α), που είναι ομοιόμορφα χρωματισμένες όπως φαίνεται από τις πραγματικές φωτεινές εντάσεις (β),

γίνονται αντιληπτές από τα ραβδία και κωνία ως σκοτεινότερες κοντά σε ανοιχτόχρωμη λωρίδα και περισσότερο φωτεινές κοντά σε μια σκοτεινότερη λωρίδα (λωρίδες Mach) (γ).

79

## αντίθεση και υπόβαθρο



Το πόσο σκοτεινή αντιλαμβανόμαστε μια εικόνα

εξαρτάται

από το πόσο σκοτεινό είναι το υπόβαθρο (background).

Και οι τρεις κύκλοι είναι της ίδιας απόχρωσης του γκρι.

80



## αυτοματισμοί - επιδιορθώσεις

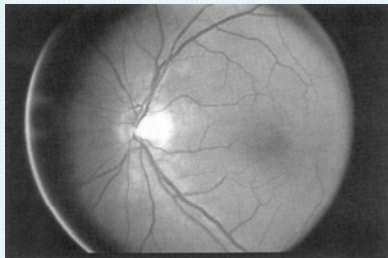
Αν παρατηρούσες το μάτι σου με τη βοήθεια οφθαλμοσκοπίου θα διέκρινες **πολλά αιμοφόρα αγγεία** στον αμφιβληστροειδή .

Αυτά τα αιμοφόρα αγγεία εμποδίζουν το φως να φτάσει στα ραβδία και τα κωνία που βρίσκονται πίσω από αυτά.

Ο λόγος για τον οποίο φυσιολογικά **δεν βλέπουμε τα αγγεία** αυτά, είναι ότι δημιουργούν σκιές πάνω **στα ίδια πάντα ραβδία και κωνία** και το σταθερό αυτό σήμα εξαφανίζεται σε μερικά μόνο δευτερόλεπτα αφού ανοίξουμε τα μάτια μας το πρωί.

81

Τα **αιμοφόρα αγγεία** στον αμφιβληστροειδή.



Αυτά τα αιμοφόρα αγγεία δεν είναι ορατά κατά τη φυσιολογική όραση γιατί οι σκιές τους «πέφτουν» πάντα πάνω στα ίδια ραβδία και κωνία και το σήμα τους εξασθενεί γρήγορα.

82

## φωτοψία

Όλοι, κάποια στιγμή, είχαμε την εντύπωση ότι βλέπουμε φως με τα μάτια μας κλειστά.

Το φως αυτό καλείται **φωτοψία** (*phosphene*) και μπορεί να προκληθεί **πιέζοντας** το μάτι με τα δάκτυλα ή κλείνοντας το μάτι πολύ σφικτά.

Οι φωτοψίες παράγονται από τη **διέγερση κάποιων** από τους φυσιολογικούς **φωτοϋποδοχείς**.

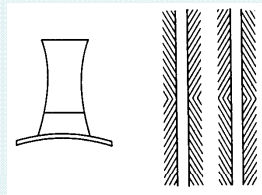
Ο εγκέφαλος μεταφράζει ως φως οποιοδήποτε σήμα λαμβάνει από το οπτικό νεύρο.

Δεν μπορεί να διαχωρίσει τις διαφορετικές πηγές σημάτων που φθάνουν σε αυτόν με το οπτικό νεύρο.

83

## οφθαλμαπάτες

(α) Η οφθαλμαπάτη πλάτους – ύψους. Η βάση έχει το ίδιο μήκος με το ύψος.



(α)

(β)

(β) Η οφθαλμαπάτη ευθείας γραμμής. Τα γύρω σχέδια παρουσιάζουν τις ευθείες γραμμές σαν καμπύλες.

84

## Τι μπορεί να κάνει ο εγκέφαλός μας ...

‘ Οφθαλμαπάτες ‘

ή

‘ Όταν οι νευρώνες ερμηνεύουν αυτά  
που βλέπουν τα μάτια ‘

Αλλά, τι βλέπουν τα μάτια μας;

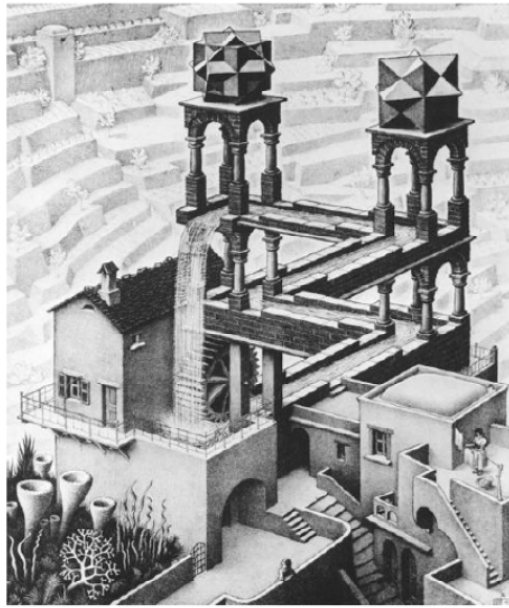
85

*Αυτό μόνο ξέρει να κάνει ο εγκέφαλός μας !  
Διάβαζε και ας σου φαίνεται παράξενο !*

Σωφνυμα με μετελη Αγκιλγου Πεπανησιμοτου η  
σρια των γωραματμν σε μια λξηη δεν εεχι  
σαιμησα, ατυο που μρετα εαيني το πωτρο και το το  
τλευτιαεο γμαρμα. Τα υλιοποττα μοπορουν να εαيني  
σε οηπιδτοε σρια και μεριπτος αοκμα να δαεζιαβις  
χριως πβηρλμοα.

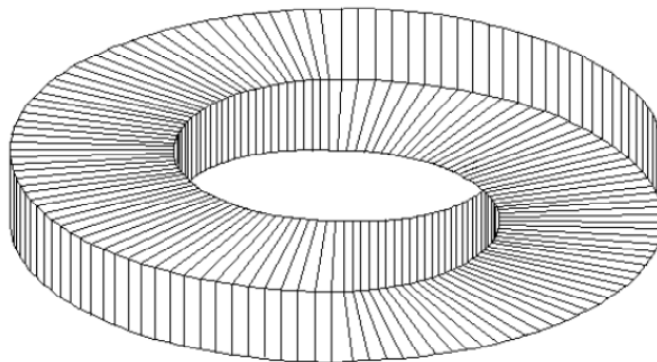
86

Ο αεικίνητος  
νερόμυλος

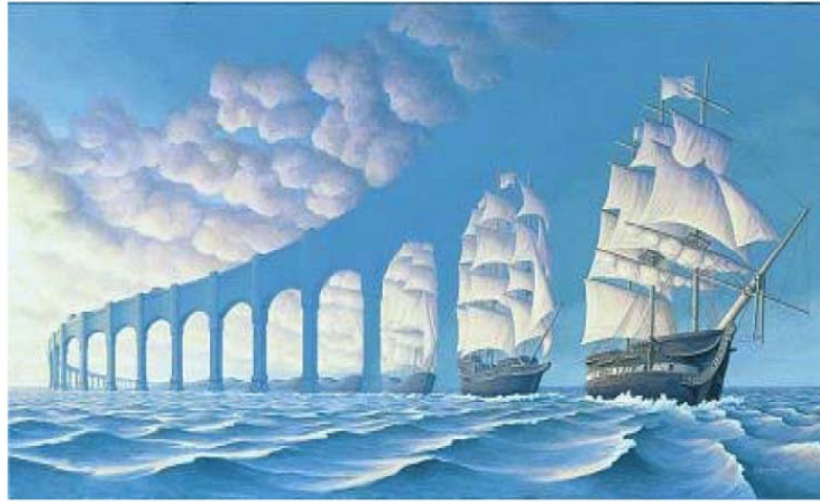


87

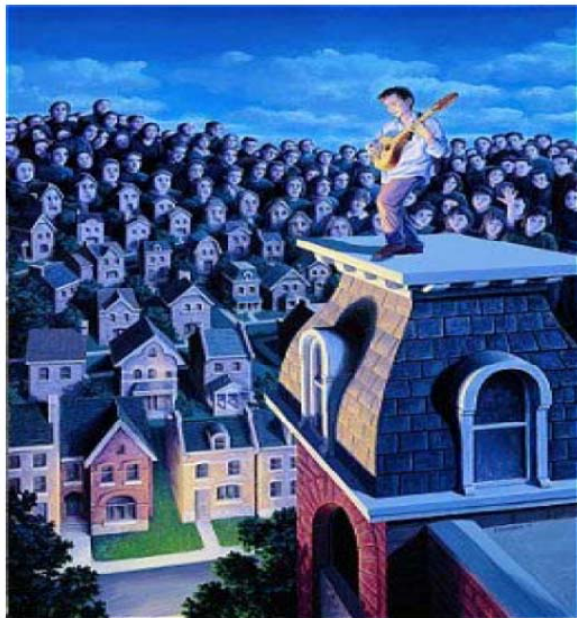
Τα πάνω-κάτω



88



89



90

Κοίταζε τις χρωματιστές λέξεις και λέγε μεγαλόφωνα το χρώμα και όχι την λέξη

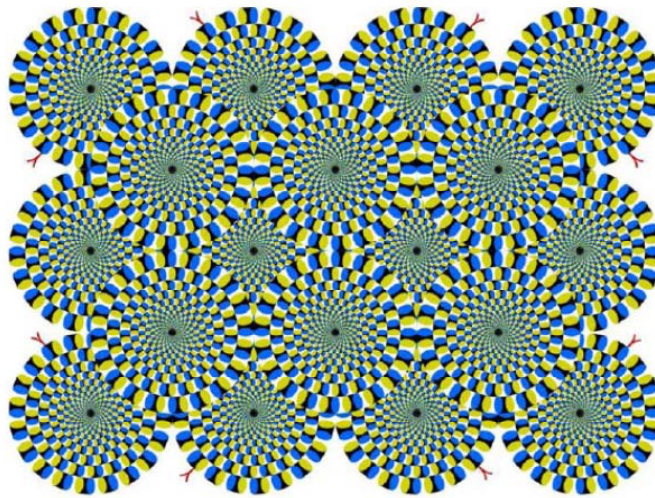
**ΚΙΤΡΙΝΟ ΜΠΛΕ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ**  
**ΜΑΥΡΟ ΚΟΚΚΙΝΟ ΠΡΑΣΙΝΟ**  
**ΚΑΦΕ ΚΙΤΡΙΝΟ ΚΟΚΚΙΝΟ**  
**ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΠΡΑΣΙΝΟ ΜΑΥΡΟ**  
**ΜΠΛΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΚΑΦΕ**  
**ΠΡΑΣΙΝΟ ΜΠΛΕ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ**

**Διαμάχη δεξιού – αριστερού**

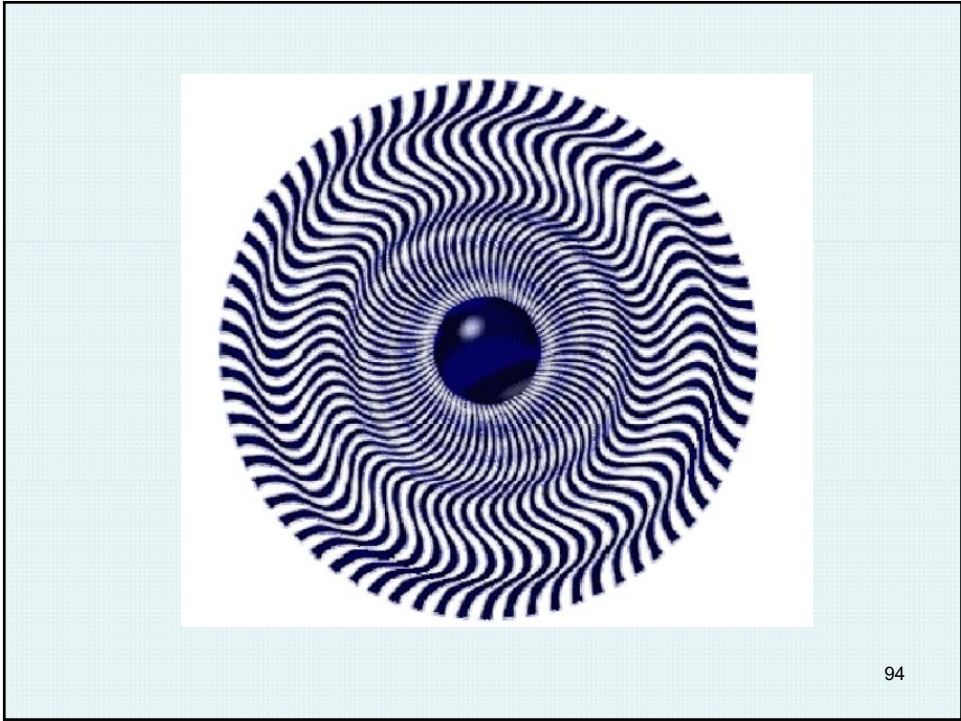
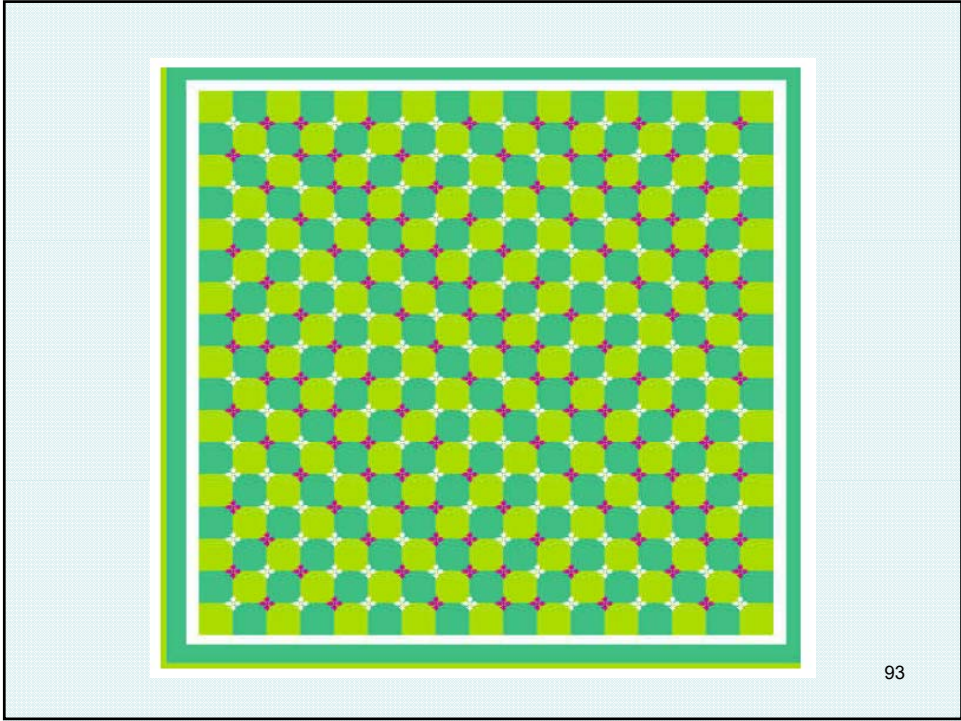
Η δεξιά πλευρά του εγκεφάλου σου προσπαθεί να πει το χρώμα αλλά η αριστερή επιμένει να διαβάζει την λέξη,

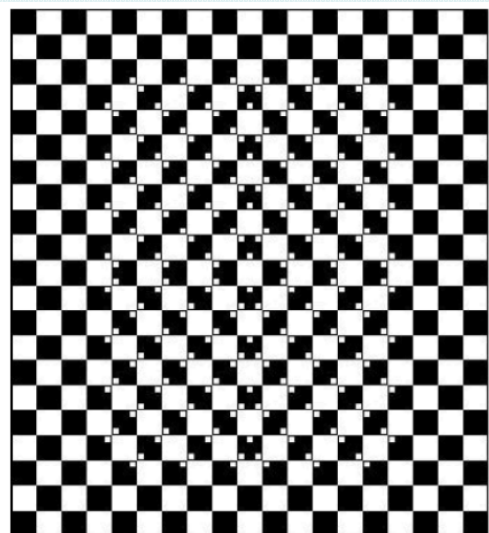
91

Αν βλέπεις κάτι να γυρίζει, τρέξε στον οφθαλμίατρο !  
Τίποτα δεν κουνιέται όπως μπορείς να διαπιστώσεις βάζοντας το χέρι σου μπροστά στην εικόνα !



92



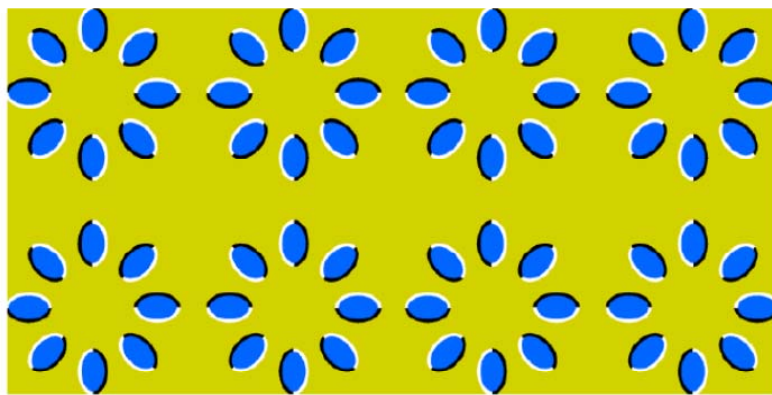


Les lignes sont droites ou pas ? Elles le sont.  
(Traduction : <http://perso.wanadoo.fr/nhe.sourire>)

95

Συνεχίζουμε;

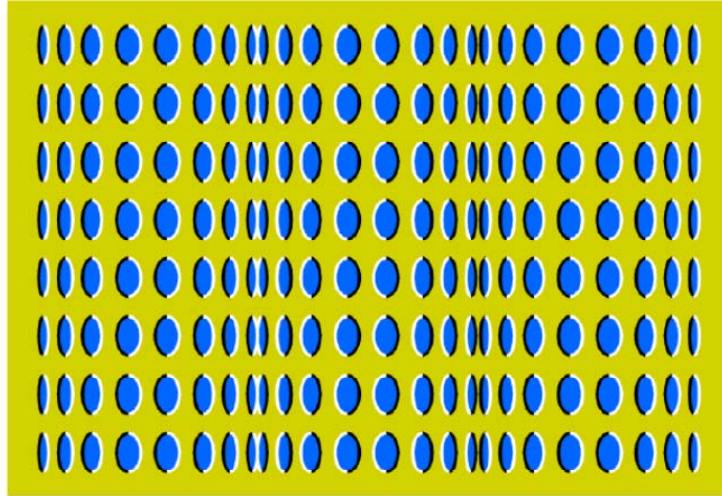
Κοίταξε καλά τις εικόνες που ακολουθούν



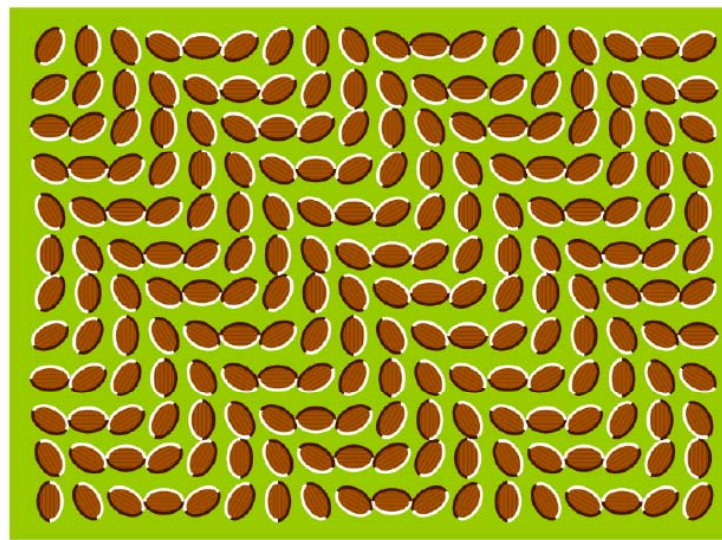
96



Στην πραγματικότητα, τίποτα δεν κινείται!

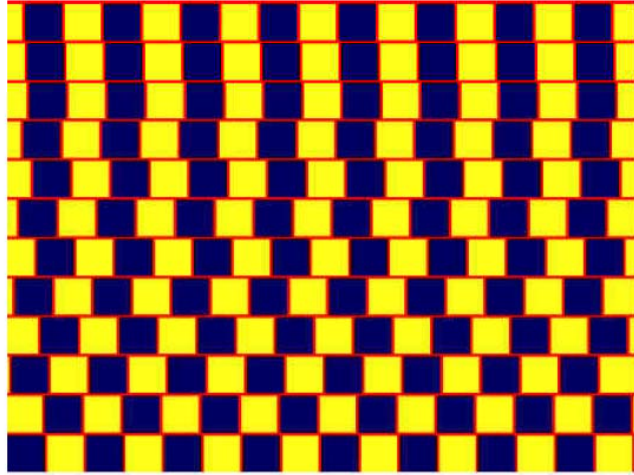


97



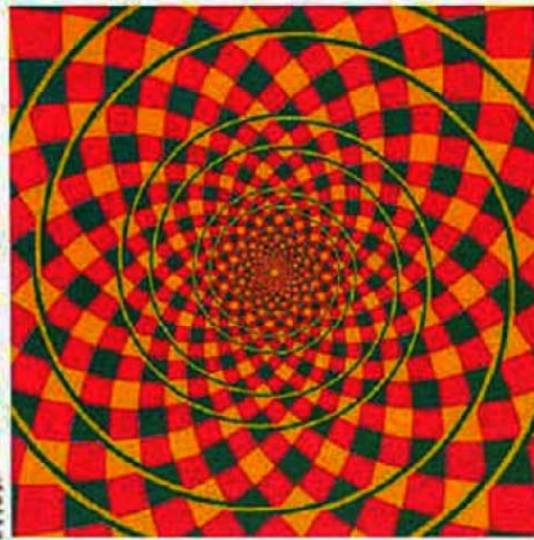
98

...οι κόκκινες οριζόντιες γραμμές είναι παράλληλες ή όχι ?



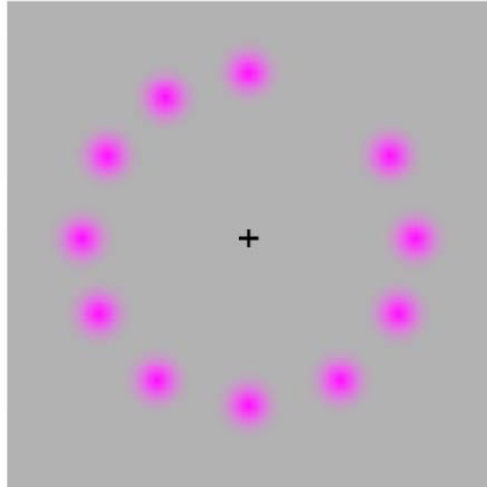
99

Τι βλέπεις; σπείρα ή κύκλους. Για ακολούθησε με το δάχτυλό σου την σπείρα.



100

Συγκέντρωσε την προσοχή σου στον σταυρό στην μέση, μετά από μερικά δευτερόλεπτα θα διαπιστώσεις ότι ο ροζ κύκλος που γυρίζει είναι στην πραγματικότητα πράσινος!!!

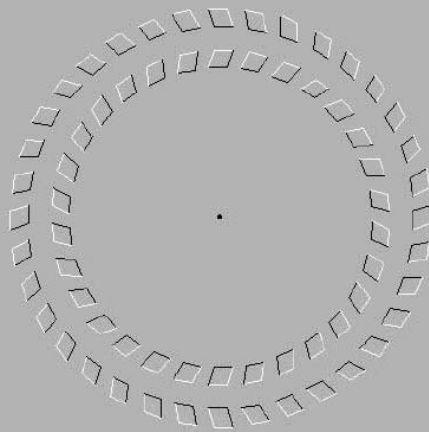


Αν κοιτάξεις μόνο τον σταυρό στην μέση, θα δεις τους ροζ κύκλους να εξαφανίζονται και να μένει μόνο ο πράσινος που στην πραγματικότητα είναι ροζ!

101

approchez puis éloignez votre visage de l'écran en fixant le point central

Πλησίαζε και απομάκρυνε το κεφάλι σου από την οθόνη εστιάζοντας στο κεντρικό σημείο

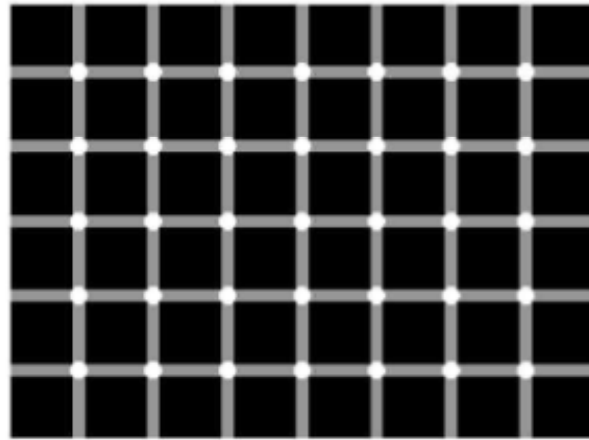


FM67

étonnant non?



102



Μέτρησε τις μαύρες κουκίδες...

103

## Στερεοσκόπιο

Για τις στερεοσκοπικές ακτινογραφίες λαμβάνονται δύο ακτινογραφίες ενός τμήματος του σώματος από δύο ελάχιστα διαφορετικές γωνίες που αντιστοιχούν στις δύο όψεις που φυσιολογικά βλέπουν οι δύο οφθαλμοί.

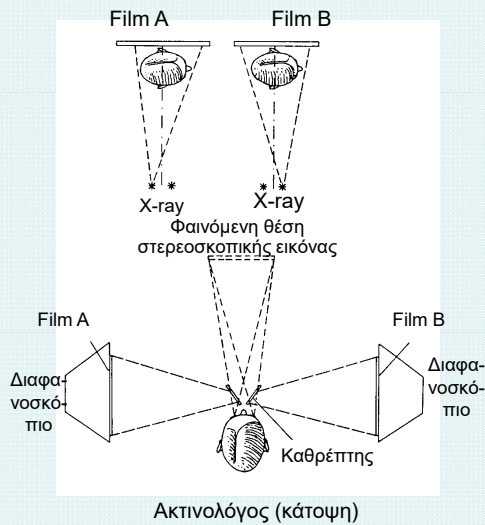
Οι δύο ακτινογραφίες τοποθετούνται μετά στο στερεοσκόπιο, έτσι ώστε ο κάθε οφθαλμός να βλέπει τη δική του εικόνα.

Οι εικόνες αυτές συγχωνεύονται από τον εγκέφαλο σε μια 3-D εικόνα.

Στεροσκοπικές ακτινογραφίες λαμβάνονται συχνά για την περιοχή του κρανίου.

104

## ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ

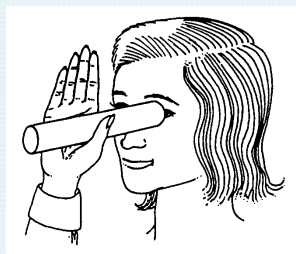


Η χρήση ενός στερεοσκοπικού συστήματος για τη επίτευξη **τριδιάστατης άποψης**.

Οι ακτινογραφίες ελήφθησαν από ελάχιστα διαφορετικές γωνίες για την προσομοίωση της διαφορετικής άποψης μεταξύ των δύο οφθαλμών.

105

## Οφθαλμαπάτες



Κοιτώντας μέσα από έναν σωλήνα με τα δύο μάτια ανοιχτά, όπως παρουσιάζεται,

μπορείς ανώδυνα να δημιουργήσεις μια τρύπα στο χέρι σου.

106

## Ψευδαισθήσεις

Όταν βλέπεις μια **λάμψη φωτός**, η εικόνα του φωτός παραμένει ως εντύπωση για **κάποιο χρονικό διάστημα** μετά το τέλος της λάμψης.

Δηλαδή, μετά το τέλος της λάμψης υπάρχει ένα χρονικό διάστημα **πολλών msec**, κατά το οποίο ο εγκέφαλος νομίζει ότι το φως είναι ακόμα αναμμένο.

**Αν αυξηθεί η συχνότητα των διαδοχικών λάμψεων**, θα υπάρξει κάποιος ρυθμός όπου το σύστημα εγκέφαλος – οφθαλμοί δεν θα είναι πλέον ικανό να αναγνωρίσει το φως σαν ξεχωριστές λάμψεις.

Τότε λέμε ότι επήλθε **κορεσμός**.

107

## ψευδαισθήσεις

Ο **ρυθμός** στον οποίο συμβαίνει ο κορεσμός **εξαρτάται** από την **ένταση των λάμψεων**.

Έντονες λάμψεις δεν συγχωνεύονται σε σταθερό φως μέχρι τα 50 Hz περίπου, ενώ αμυδρές λάμψεις παρουσιάζονται σαν σταθερό φως στα 12 Hz περίπου.

Τα **ραβδία αντέχουν σε μεγαλύτερο ρυθμό διαδοχικών λάμψεων** από όσο τα κωνία.

Ένα φως που τρεμοπαίζει στην περιφερική σου όραση, μπορεί να ερμηνευθεί ως σταθερό, αν το κοιτάξεις απευθείας.

108

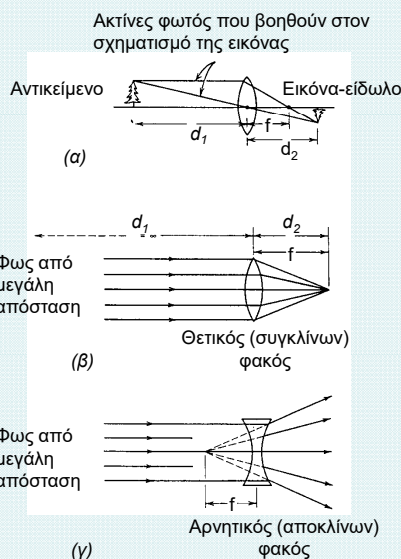
# Διορθωτικοί φακοί

Για να αναλύσουμε την **ισχύ ενός διορθωτικού φακού** για έναν ελαττωματικό οφθαλμό, πρέπει να κάνουμε μια ανασκόπηση των βασικών μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν τους νόμους της φυσικής στην περίπτωση των απλών φακών.

Υπάρχει μια απλή σχέση που συνδέει την **εστιακή απόσταση  $f$** , την **απόσταση του αντικειμένου  $d_1$**  και την **απόσταση του ειδώλου  $d_2$**  για την περίπτωση λεπτού φακού

$$1/f = 1/d_1 + 1/d_2$$

109



(α) Η απόσταση  $d_1$  του φακού από το αντικείμενο και η απόσταση  $d_2$  του φακού από το σημείο που σχηματίζεται η εικόνα-είδωλο, σχετίζονται με την εστιακή απόσταση  $f$  ενός θετικού συγκλίνοντος φακού με την εξίσωση:

$$1/d_1 + 1/d_2 = 1/f$$

(β) Το φως που προέρχεται (από αριστερά) από μεγάλη απόσταση (παράλληλη δέσμη) και προσπίπτει σε ένα **θετικό** φακό, συγκλίνει στην δεξιά εστία του φακού. Η απόσταση  $d_2$  του ειδώλου ισούται με την εστιακή απόσταση  $f$ .

(γ) Το φως που προέρχεται (από αριστερά) από μεγάλη απόσταση (παράλληλη δέσμη) και προσπίπτει σε έναν **αρνητικό** (αποκλίνοντα) φακό, αποκλίνει. Το φως φαίνεται να «πηγάξει» από την εστία στην αριστερή πλευρά του φακού. Δεν σχηματίζεται πραγματική εικόνα-είδωλο.

110

## Ισχύς φακού

- Αν το  $f$  μετράται σε μέτρα, τότε  $1/f$  είναι η ισχύς (ικανότητα εστίασης) του φακού σε διοπτρίες (D).
- Η εστιακή απόσταση  $f$  στην περίπτωση **συγκλίνοντος** φακού ορίζεται ως **θετική**.
- Ένας φακός με εστιακή απόσταση  $+ 0,1$  m έχει ισχύ  $+ 10$  D.
- Η εστιακή απόσταση  $f$  στην περίπτωση **αποκλίνοντος** φακού ορίζεται ως **αρνητική**.
- Ένας φακός με εστιακή απόσταση  $- 0,5$  m έχει ισχύ  $- 2$  D.

111

## Ισχύς φακού και προσαρμογή

Ας υποθέσουμε ότι η **απόσταση του ειδώλου** στον αμφιβληστροειδή από τον κερατοειδή και τον φακό του οφθαλμού είναι  $d_2 = 0,02$  m (η τιμή  $0,017$  m είναι ακριβέστερη, αλλά τα μαθηματικά πιο πολύπλοκα).

Όταν ένας φυσιολογικός οφθαλμός είναι εστιασμένος σε μεγάλη απόσταση (**απώτερο σημείο**), η εστιακή απόσταση  $f$  του οφθαλμού ισούται με  $d_2$ , όπως προκύπτει από την εξίσωση:

$$D_{\text{απ}} = 1/f_{\text{απ}} = 1/\infty + 1/d_2 = 0 + 1/0,02\text{m} = 50 \text{ D}$$

112



## Ισχύς φακού και προσαρμογή

Δηλαδή, όταν ο οφθαλμός κοιτάει ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση, έχει ισχύ 50 D.

Αν στην συνέχεια ο οφθαλμός εστιάσει σε ένα κοντινό αντικείμενο (**εγγύτερο σημείο**), π.χ. σε  $d_1 = 0,25 \text{ m}$ , τότε:

$$D_{\text{εγγ}} = 1/f_{\text{εγγ}} = (1/0,25) + (1/0,02) = 4 + 50 = 54 \text{ D}$$

113

## Ισχύς φακού και προσαρμογή

Δηλαδή, ο οφθαλμός, για αυτό το κοντινό αντικείμενο, έχει ισχύ 54 D.

Για να είναι η όραση καλή, τόσο σε μεγάλες (π.χ.  $\infty$ ), όσο και σε μικρές αποστάσεις (π.χ. 0,25 m), ο οφθαλμός **πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται**:

$$\text{αναγκαία προσαρμογή} = D_{\text{εγγ}} - D_{\text{απ}} = 54 \text{ D} - 50 \text{ D} = 4 \text{ D}$$

114

## προβλήματα εστίασης

Τώρα ας συζητήσουμε την ελαττωματική όραση που οφείλεται σε **προβλήματα εστίασης** (διαθλαστικά) – **αμετρωπία**.

Η αμετρωπία αφορά πάνω από το μισό πληθυσμό των Ηνωμένων Πολιτειών.

Είναι συχνά πιθανό να διορθωθεί τελείως **με γυαλιά** ή **επεμβατικά με laser** για την αλλαγή του σχήματος του κερατοειδούς.

Υπάρχουν **τέσσερις γενικοί τύποι αμετρωπίας**:

η **μυωπία** (κοντινή όραση),

η **υπερωπία** ή **υπερμετρωπία** (μακρινή όραση),

ο **αστιγματισμός** (ασύμμετρη εστίαση),

και η **πρεσβυωπία** (όραση των ηλικιωμένων) ή απώλεια της ικανότητας προσαρμογής.

115

## προβλήματα εστίασης

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά οι καταστάσεις αυτές καθώς και οι περιοχές όπου η εικόνα αρχίζει να φαίνεται θολή.

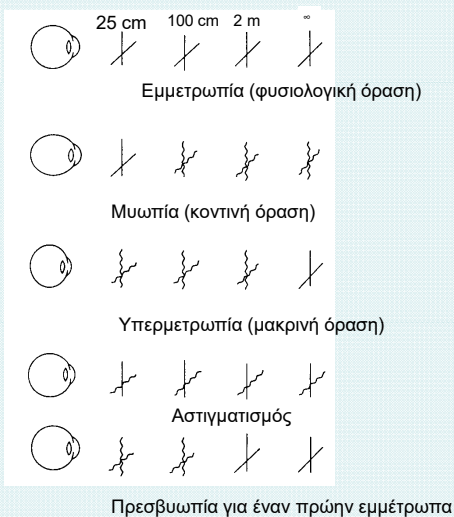
Για κάθε οφθαλμό καθορίζουμε το **εγγύτερο σημείο** ως την **πιο κοντινή** απόσταση στην οποία υπάρχει **ευκρινής όραση**.

Το **απώτερο** σημείο αντίστοιχα είναι η **πιο μακρινή** απόσταση στην οποία υπάρχει ευκρινής όραση.

Τα διάφορα προβλήματα των οφθαλμών που οφείλονται σε κακή εστίαση, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα.

116

## προβλήματα εστίασης



Σχηματική παράσταση της φυσιολογικής και ελαττωματικής εστίασης.

Οι **κυματιστές γραμμές** υποδηλώνουν τη **θολή εικόνα** στον **αμφιβληστροειδή (ασαφές είδωλο)**.

117

## Περίληψη των Διαφόρων Προβλημάτων Εστίασης των Οφθαλμών και τα Χαρακτηριστικά τους

| Πρόβλημα Εστίασης | Κοινή Ονομασία        | Συνήθης Αιτία                                     | Διορθώνεται με*                      |
|-------------------|-----------------------|---|--------------------------------------|
| Μυωπία            | Κοντινή όραση         | Μακρύς βολβός ή κερατοειδής με μεγάλη καμπυλότητα | Αρνητικό φακό                        |
| Υπερμετρωπία      | Μακρινή όραση         | Κοντός βολβός ή κερατοειδής με μικρή καμπυλότητα  | Θετικό φακό                          |
| Αστιγματισμός     | -                     | Ασύμμετρη καμπυλότητα του κερατοειδούς            | Κυλινδρικό φακό ή σκληρό φακό επαφής |
| Πρεσβυωπία        | Όραση μεγάλης ηλικίας | Μείωση ικανότητας προσαρμογής                     | Διπλοεστιακό ή τριπλοεστιακό φακό    |

\* Όλα τα προβλήματα, εκτός από την πρεσβυωπία, μπορούν να διορθωθούν και επεμβατικά με laser.

118

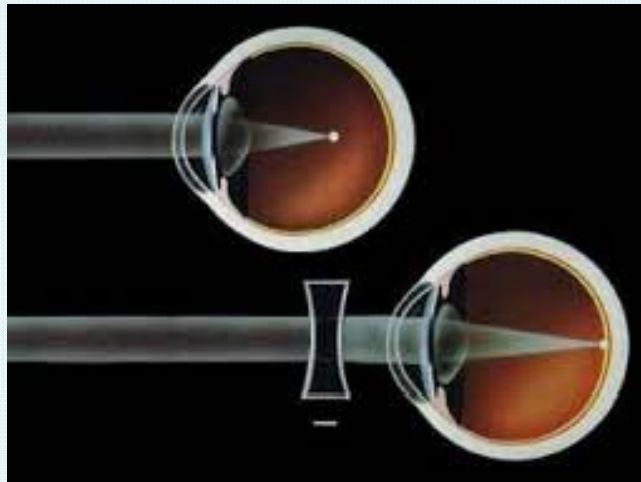
## προβλήματα εστίασης

Ένα **μυωπικό** άτομο συνήθως έχει μακρύτερο οφθαλμικό βολβό ή κερατοειδή με μεγαλύτερη καμπυλότητα.

Τα **μακρινά αντικείμενα** εστιάζονται **μπροστά** από τον αμφιβληστροειδή και οι ακτίνες συνεχίζουν αποκλίνοντας και δημιουργώντας θολό είδωλο στον αμφιβληστροειδή.

Η κατάσταση αυτή διορθώνεται εύκολα με **αρνητικό φακό**.

119



120

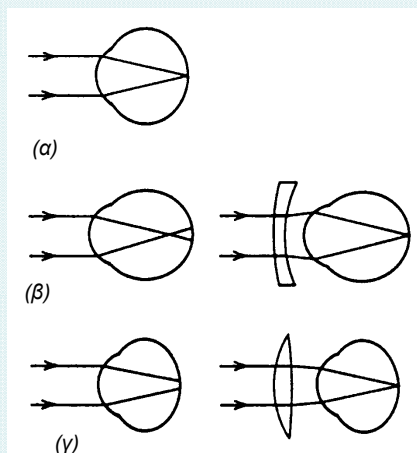
## προβλήματα εστίασης

Ένας **υπερμετρωπικός** οφθαλμός έχει **εγγύτερο** σημείο σε **απόσταση μεγαλύτερη** από την φυσιολογική και χρησιμοποιεί μέρος της ικανότητας προσαρμογής, για να βλέπει μακρινά αντικείμενα ευκρινώς.

Η υπερμετρωπία οφείλεται συνήθως σε πολύ κοντό οφθαλμικό βολβό ή σε κερατοειδή με μικρότερη καμπυλότητα.

Για τη διόρθωση της κατάστασης αυτής χρησιμοποιείται ένας **θετικός** φακός.

121



Χαρακτηριστικά εστίασης του οφθαλμού.

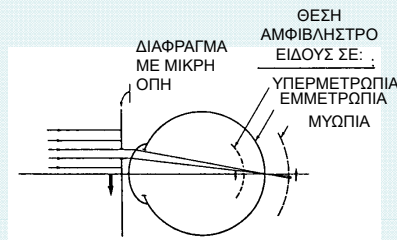
(α) Ο φυσιολογικός ή εμμετρωπικός οφθαλμός εστιάζει την εικόνα στον αμφιβληστροειδή.

(β) Ο μυωπικός οφθαλμός εστιάζει την εικόνα μπροστά από τον αμφιβληστροειδή. Το πρόβλημα διορθώνεται με αρνητικό φακό.

(γ) Ο υπερμετρωπικός οφθαλμός εστιάζει την εικόνα πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Το πρόβλημα διορθώνεται με θετικό φακό.

122

## Απλός έλεγχος της εστίασης



Μετακίνηση μιας μικρής τρύπας μπροστά από έναν αμετρωπικό οφθαλμό καθώς κοιτάει σε ένα μακρινό αντικείμενο, προκαλεί φαινομενική κίνηση του αντικειμένου. Οι εμμέτρωπες δεν βλέπουν τέτοια κίνηση.

123

## Διορθώσεις

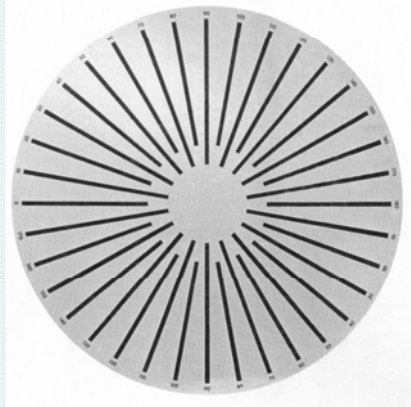
Στον **αστιγματισμό**, η **καμπυλότητα του κερατοειδούς** είναι **ανομοιόμορφη**. Ο αστιγματισμός δεν μπορεί να διορθωθεί με έναν απλό θετικό ή αρνητικό φακό.

Ένας απλός έλεγχος για τον αστιγματισμό είναι να κοιτάξεις ένα σχήμα με ακτινωτές γραμμές. Ένας αστιγματικός οφθαλμός θα δει μια ομάδα γραμμών πιο καθαρά από τις γραμμές των υπόλοιπων κατευθύνσεων.

Ο αστιγματισμός **διορθώνεται με ασύμμετρο φακό**, του οποίου η ισχύς είναι μεγαλύτερη στο ένα επίπεδο από την ισχύ στο κάθετο προς αυτό επίπεδο.

124

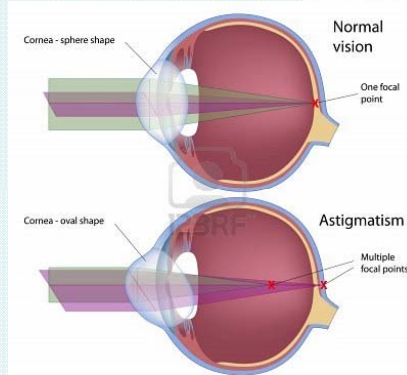
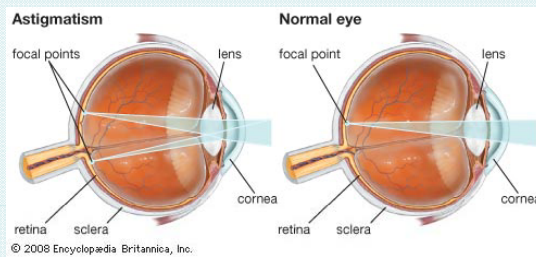
# διορθώσεις



Ένας απλός έλεγχος για τον **αστιγματισμό**.

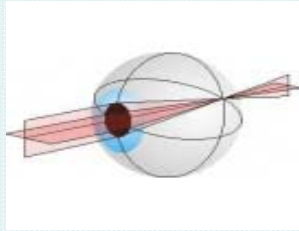
Ένας οφθαλμός με αστιγματισμό βλέπει τις γραμμές μιας κατεύθυνσης πιο καθαρά από τις γραμμές άλλων κατευθύνσεων.

125



126

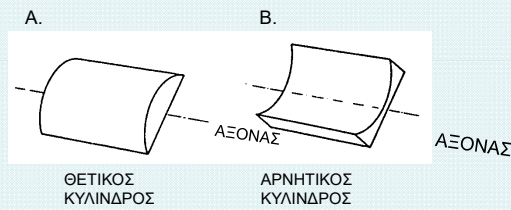
# διορθώσεις



Ο αστιγματισμός διορθώνεται με την προσθήκη κυλινδρικού φακού σε σφαιρικό φακό.

Ο κύλινδρος μπορεί να είναι είτε (A) **συγκλίνων** (θετικός κύλινδρος)

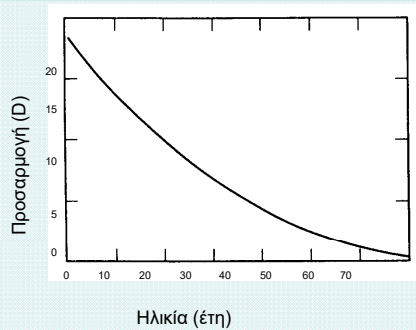
είτε (B) **αποκλίνων** (αρνητικός κύλινδρος).



(Από M.L. Rubin, *Optics for Clinicians*, Triad Scientific Publishing, Gainesville, FL, 1971, p.94.)

127

# προσαρμογή



Η απώλεια της ικανότητας προσαρμογής με την ηλικία.

Η μείωση της προσαρμογής συνήθως γίνεται αισθητή μετά των ηλικία των 40 ετών.

128



## Συνταγή διόρθωσης της εστίασης

|      | <u>Σφαιρικός</u> | <u>Κυλινδρικός</u> |   | <u>Άξονας</u> | <u>Προσθήκη</u> |
|------|------------------|--------------------|---|---------------|-----------------|
| Δ.Ο. | -1,25            | -1,25              | X | 180           | +1,25           |
| Α.Ο. | -1,75            | -1,75              | X | 163           | +1,25           |

Αυτό σημαίνει ότι ο δεξιός οφθαλμός (Δ.Ο.) χρειάζεται σφαιρικό φακό με  $-1,25$  D σε συνδυασμό με ένα κυλινδρικό φακό με  $-1,25$  D στο οριζόντιο επίπεδο ( $180^\circ$ ).

Στο τμήμα των διπλοεστιακών που είναι για διάβασμα, πρέπει να προστεθεί ένας σφαιρικός φακός με  $+1,25$  D. Δηλαδή, η ενεργός ισχύς στο χαμηλότερο κομμάτι του δεξιού φακού είναι ένας κυλινδρικός φακός με  $-1,25$  D για να διορθώσει τον **αστιγματισμό**.

Η συνταγή για τον αριστερό οφθαλμό (Α.Ο.) ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο.

129

## Φακοί επαφής

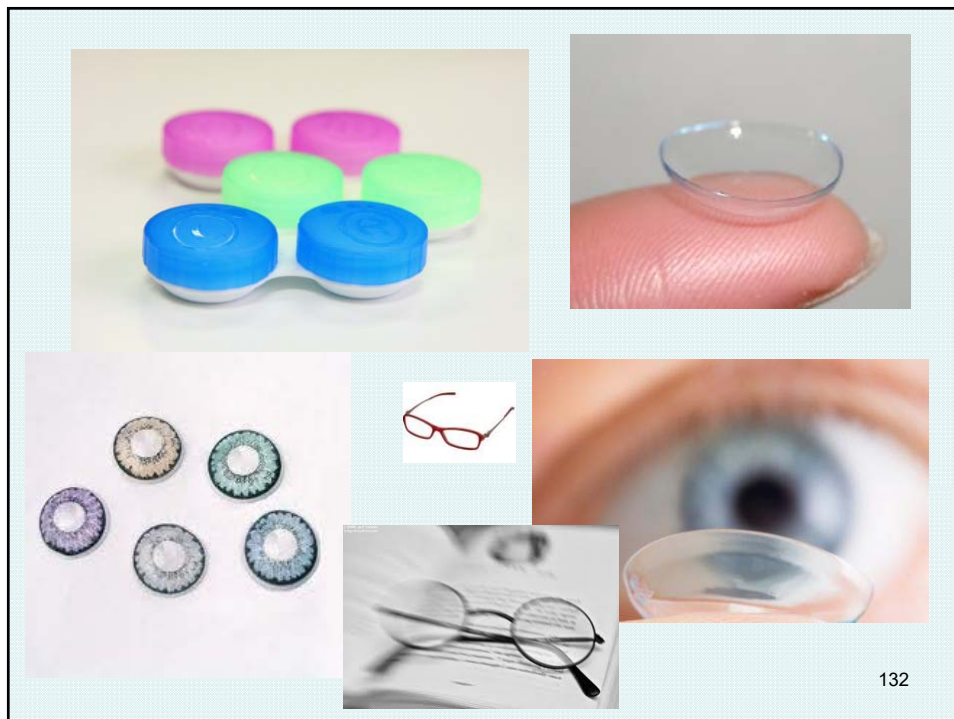
- Η ιδέα των φακών επαφής χρονολογείται πριν από το 1900, άλλα τα περισσότερα από τα τεχνικά και ιατρικά προβλήματα που σχετίζονταν με αυτούς, δεν είχαν επιλυθεί ικανοποιητικά πριν τα τέλη της δεκαετίας του 1950.
- Πρέπει να είναι **διαπερατοί από τον αέρα** και τοποθετούνται σε ένα στρώμα από δάκρυα, στο πλέον πρόσθιο μέρος (**κορυφή**) του **κερατοειδούς**, ένα από τα πιο ευαίσθητα σημεία του σώματος.
- Οι φακοί επαφής συγκρατούνται στη θέση τους (ενάντια στη δύναμη βαρύτητας) κυρίως με **δυνάμεις επιφανειακής τάσης** μεταξύ του φακού και του λεπτού στρώματος δακρύων στην επιφάνεια του οφθαλμού.
- Οι φακοί επαφής επίσης δεν γλιστρούν εύκολα από την κεντρική τους θέση, επειδή αναπτύσσονται **δυνάμεις τριβής**.

130

## φακοί επαφής

- Οι φακοί επαφής κατασκευάζονται **είτε από σκληρό** (διαπερατό από τον αέρα) **είτε από μαλακό υλικό**.
- Οι **μαλακοί και εύκαμπτοι** φακοί επαφής προσαρμόζονται στο σχήμα του κερατοειδούς, ενώ οι **σκληροί** έχουν το δικό τους σχήμα - καμπυλότητα.
- Οι **φακοί επαφής υδρογέλης** πρωτοεμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970.
- Έχουν υψηλή βιοσυμβατότητα.
- Οι **φακοί επαφής σιλικόνης-υδρογέλης** πρωτοεμφανίστηκαν το 2002.
- Επιτρέπουν **περισσότερο οξυγόνο** (έως σχεδόν 100%) να φτάσει στον κερατοειδή χιτώνα και **χαμηλότερο επίπεδο περιεκτικότητας νερού** (έως 45%).

131



132

## φακοί επαφής

- Το μέγεθος της εικόνας στον αμφιβληστροειδή που δημιουργείται από τους φακούς επαφής είναι διαφορετικό από αυτό που δημιουργείται από τα κοινά γυαλιά.
- Είναι μεγαλύτερο στη μυωπία και μικρότερο στην υπερμετρωπία.
- Η χρήση φακών επαφής απαιτεί μεγαλύτερη προσπάθεια προσαρμογής για τη μυωπία και μικρότερη για την υπερμετρωπία.
- Έτσι, ένα μυωπικό άτομο στα αρχικά στάδια της πρεσβυωπίας ενοχλείται από τους φακούς επαφής, ενώ ένα υπερμετρωπικό, στην ίδια περίπτωση, διευκολύνεται.

133

## Χρώμα

Μια από τις αξιοσημείωτες ικανότητες του οφθαλμού είναι η ικανότητά του να βλέπει χρώμα.

Ο ακριβής μηχανισμός της έγχρωμης όρασης δεν είναι πλήρως κατανοητός, αλλά είναι ευρέως αποδεκτό ότι υπάρχουν τριών ειδών κωνία που καθένα ανταποκρίνεται σε διαφορετική περιοχή του ορατού φάσματος.

Οι εικόνες σε μια έγχρωμη τηλεόραση παράγονται με περίπου ίδια μέθοδο.

Αν εξετάσεις μια έγχρωμη οθόνη με έναν μεγεθυντικό φακό θα δεις αμέτρητες κόκκινες, πράσινες και μπλε κουκκίδες.

Οι κουκκίδες αυτές, μπορούν να δημιουργήσουν, με διάφορους συνδυασμούς, όλα τα χρώματα του ορατού φάσματος.

Πιστεύεται ότι με ανάλογο τρόπο, σήματα στέλνονται στον εγκέφαλο από τις τρεις κατηγορίες «χρωματιστών» κωνίων, με διάφορους συνδυασμούς, επιτρέποντας στον εγκέφαλο να καθορίσει αυτός το χρώμα.

134

## Χρωματική εκτροπή

Η **χρωματική εκτροπή** είναι ένα συνηθισμένο μειονέκτημα-σφάλμα των απλών φακών που προκαλείται από την εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος.

(Η εξάρτηση αυτή του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος επιτρέπει σε ένα **πρίσμα να αναλύει το λευκό φως** στα χρώματα του ουράνιου τόξου).

Η χρωματική εκτροπή έχει ως αποτέλεσμα την **εστίαση** των διαφορετικών χρωμάτων ενός φάσματος-αντικειμένου **σε διαφορετικές αποστάσεις από το φακό**.

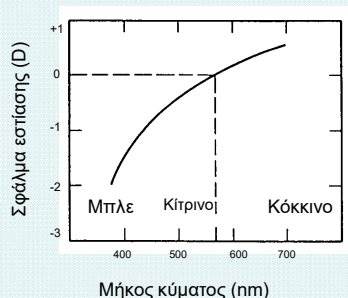
Στον απλό φακό, η χρωματική εκτροπή δημιουργεί **χρωματιστές γραμμές στο περίγραμμα του ειδώλου ενός λευκού αντικειμένου**.

135

## χρωματική εκτροπή

Τα διαφορετικά χρώματα εστιάζονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το φακό του οφθαλμού.

Υπάρχει διαφορά περίπου **2,5 D** στην ικανότητα εστίασής του (ισχύ), μεταξύ του **βαθύ μπλε** και του **βαθύ κόκκινου**.

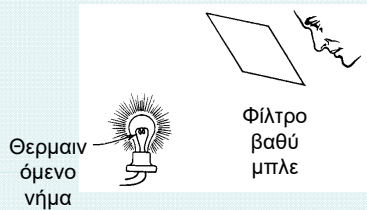


Στο γράφημα παρουσιάζεται το φαινόμενο για τον φυσιολογικό οφθαλμό (τιμές κανονικοποιημένες ως προς το κίτρινο φως).

136

## χρωματική εκτροπή

Μια απλή διάταξη για την επίδειξη της χρωματικής εκτροπής από τον φακό του οφθαλμού.



Ο οφθαλμός βλέπει δύο ξεχωριστά είδωλα του νήματος, ένα κόκκινο και ένα μπλε,

λόγω της διαφορετικής ικανότητας εστίασης του οφθαλμού για τα δύο άκρα του ορατού φάσματος.

137

## Χρωματικό φαινόμενο

Ένα ειδικό χρωματικό φαινόμενο που είναι μερικές φορές αισθητό στο ημίφως καλείται φαινόμενο Purkinje.

Ο Purkinje παρατήρησε ότι, κατά το σούρουπο, τα μπλε άνθη στα φυτά του φαίνονταν περισσότερο λαμπερά από τα κόκκινα άνθη.

Το φαινόμενο οφείλεται στη μετακίνηση της βέλτιστης ευαισθησίας των οφθαλμών προς τη κυανή περιοχή του φάσματος καθώς, στα χαμηλά επίπεδα φωτεινότητας, χρησιμοποιούνται τα ραβδία αντί για τα κωνία.

138

## Όργανα οφθαλμολογίας

Υπάρχουν **τρία κύρια όργανα** που χρησιμοποιούνται για την εξέταση του οφθαλμού:

το **οφθαλμοσκόπιο**, που επιτρέπει στον ιατρό να εξετάσει το εσωτερικό του οφθαλμού,

το **σκιασκόπιο**, που μετράει την εστιακή ισχύ (ικανότητα εστίασης) του οφθαλμού,

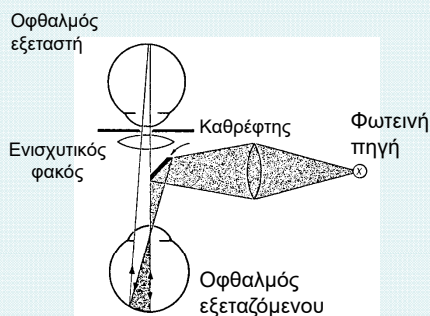
και το **κερατοειδόμετρο**, που μετράει την καμπυλότητα του κερατοειδούς.

Ένα άλλο όργανο, το **τονόμετρο-πιεσόμετρο**, μετράει την πίεση στο εσωτερικό του οφθαλμού.

Το **φακόμετρο** δεν χρησιμοποιείται για την μελέτη του οφθαλμού: μετράει τα χαρακτηριστικά ενός άγνωστου φακού.

139

## όργανα οφθαλμολογίας

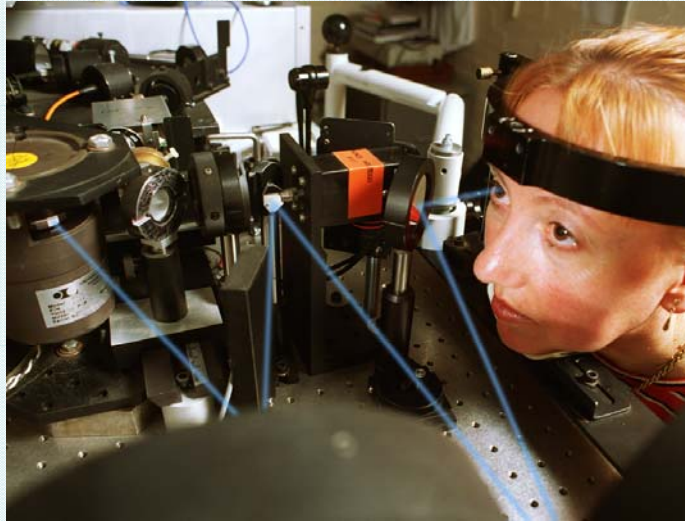


Το **οφθαλμοσκόπιο** επιτρέπει την εξέταση του **αμφιβληστροειδούς**.

Το φως κατευθύνεται στον οφθαλμό του εξεταζόμενου και επιτρέπει στον εξεταστή να δει τον αμφιβληστροειδή μέσα από διορθωτικό φακό.

140

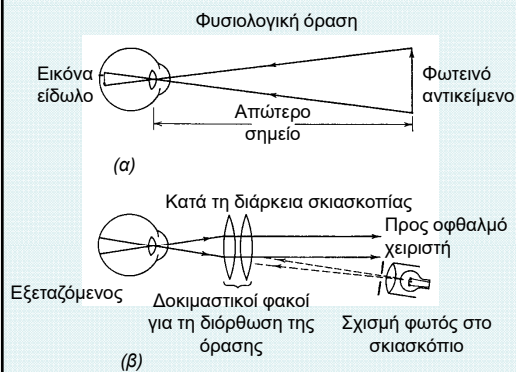
Visible: Scanning laser ophthalmoscope



Medical Physics

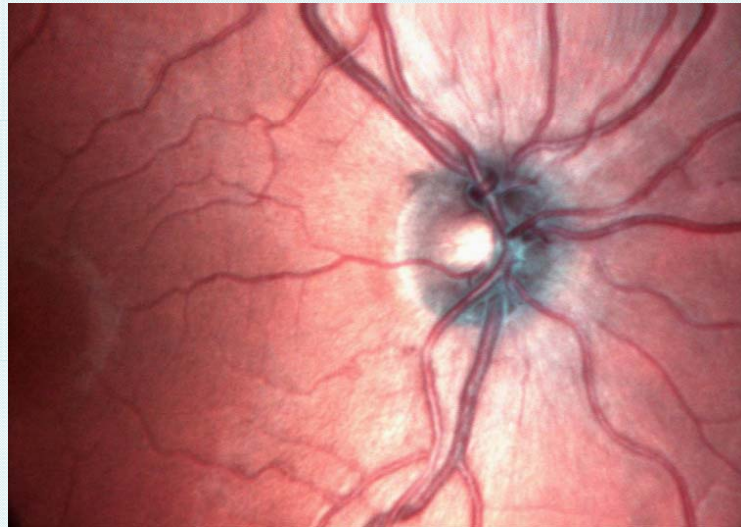
όργανα  
οφθαλμολογίας

Σκιασκόπιο



(α) Ο οφθαλμός κατά τη φυσιολογική όραση.  
 (β) Κατά τη διάρκεια της σκιασκοπίας, ο αμφιβληστροειδής του ασθενούς δρα ως φωτεινό αντικείμενο. Φακοί τοποθετούνται μπροστά στον οφθαλμό για να εστιάσουν το είδωλο του αμφιβληστροειδούς στον οφθαλμό του χειριστή.

**Visible: Scanning laser ophthalmoscope**



*Medical* **Physics**

όργανα  
οφθαλμολογίας



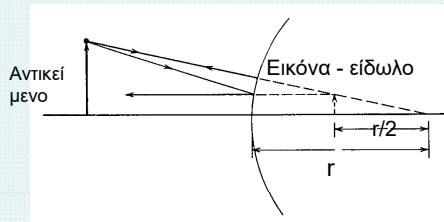
Το **κερατοειδόμετρο** είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της καμπυλότητας του κερατοειδούς.

Η μέτρηση αυτή είναι απαραίτητη για τη **συνταγογράφηση φακών επαφής**.

(Εικόνα ευγενώς προσφερθείσα από Bausch & Lomb, Rochester, NY.)



## όργανα οφθαλμολογίας

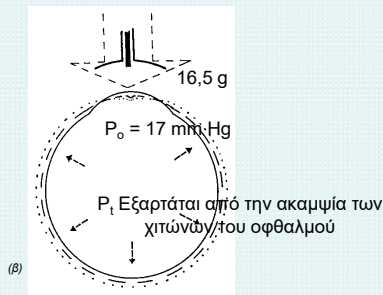


Το είδωλο από την **ανάκλαση στον κερατοειδή** βρίσκεται σε απόσταση  $r/2$  πίσω από την επιφάνειά του, όπου  $r$  είναι η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς.

Το γεγονός αυτό χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της καμπυλότητας του κερατοειδούς με το **κερατοειδόμετρο**.

145

## όργανα οφθαλμολογίας



(α) Το **τονόμετρο Schiotz** μετράει την πίεση στον οφθαλμό προσδιορίζοντας την υποχώρηση του κερατοειδούς όταν εφαρμοσθεί γνωστή δύναμη, **συνήθως από μάζα 16,5g**.

(Εικόνα ευγενώς προσφερθείσα από τον Thomas Stevens, M.D.)

(β) **Σχηματική παράσταση της λειτουργίας του τονομέτρου Schiotz**. Η εσωτερική πίεση πριν την εφαρμογή του τονομέτρου είναι  $P_0$ . Η πίεση μετά την εφαρμογή του τονομέτρου  $P_1$  εξαρτάται από την ακαμψία του ματιού.

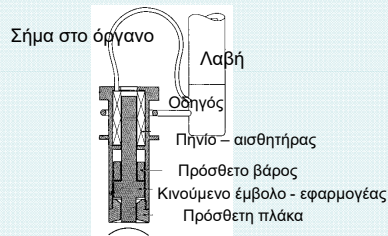
(Από Robert C. Drews, *Manual Tonography*, C.V. Mosby Company, St. Luis, 1971, p.10.)

146

## όργανα οφθαλμολογίας



(α)



(β)

Επιφάνεια του οφθαλμού

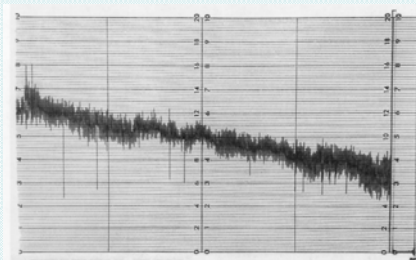
Το ηλεκτρονικό τονόμετρο  
Schiötz.

(α) Ο χειριστής αφήνει το μετρητικό στοιχείο σε επαφή με τον οφθαλμό του εξεταζομένου. Ο χειριστής μπορεί να διαβάσει την ένδειξη της πίεσης και τον χρόνο που πέρασε, στον μετρητή που έχει τοποθετηθεί στον καρπό του.

(β) Ο κινητός εφαρμογέας γνωστής μάζας που τοποθετείται στον οφθαλμό, επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου που λειτουργεί σαν αισθητήρας και δημιουργεί ηλεκτρικό σήμα που υποδεικνύει την ενδοφθάλμια πίεση.

147

## όργανα οφθαλμολογίας



Τονόγραμμα που δείχνει τη μείωση της πίεσης με τον χρόνο.

Η κλίση του επιτρέπει την εκτίμηση του ρυθμού εκροής.

(Εικόνα ευγενώς προσφερθείσα από τον Thomas Stevens, M.D.).

148

## όργανα οφθαλμολογίας



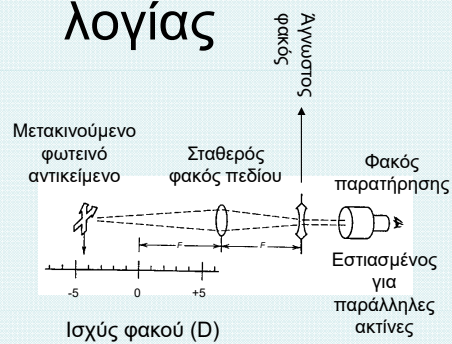
Το **τονόμετρο Goldmann**  
(απλανητικό)

μετράει τη **δύναμη** που απαιτείται για την **επιπέδωση μιας επιφάνειας**, διαμέτρου 3.06 mm, στο εμπρός μέρος του **κερατοειδούς χιτώνα**

(εικόνα ευγενώς προσφερθείσα από τον Thomas Stevens, M.D.)

149

## όργανα οφθαλμο λογίας



Το **φακόμετρο** μετράει την ισχύ ενός άγνωστου φακού, μετακινώντας ένα φωτισμένο αντικείμενο μέχρι ένα ευκρινές είδωλό του να γίνει ορατό στο σύστημα παρατήρησης.

Ο φακός παρατήρησης είναι εστιασμένος για το παράλληλο φως.

Στην εικόνα αυτή μετράται φακός ισχύος -4 D.

150