



# Διακριτική ικανότητα του οφθαλμού (Οπτική οξύτητα)

Σωτήρης Πλαΐνης, PhD  
BEMMO  
Visual Science Lab

Μάρπος 2005

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 1

## Περίληψη

- Αξιολόγηση οπτικής συμπεριφοράς
- Οπτική οξύτητα
- Ελάχιστη γωνία ευκρίνειας – περιοριστικοί παράγοντες
- Οπτότυπα (VA charts)
- Φωτεινότητα – contrast – περιφερική όραση

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 2

## Οπτική συμπεριφορά - αξιολόγηση

Τρεις προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της οπτικής συμπεριφοράς:

- Ανατομική** (μελέτη ανατομικών χαρακτηριστικών νευρώνων/δομών)
- Νευροφυσιολογική** (μελέτη επεξεργασίας των οπτικών πληροφοριών σε διάφορα στάδια της οπτικής οδού)
- Ψυχοφυσική** (διερεύνηση λειτουργικών χαρακτηριστικών του οπτικού συστήματος, π.χ. ο τρόπος κατά τον οποίο χιλιάδες νευρώνες συνεργάζονται για την «καταγραφή» του χρώματος, σχήματος, λεπτομερειών των εικόνων)

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 3

## Ψυχοφυσικές μέθοδοι (Psychophysics)

•**Ψυχοφυσικές μέθοδοι**: συσχέτιση των φυσικών παραμέτρων των ερεθισμάτων με τις των αντιλαμβανόμενες αποκρίσεις, δηλ. αυτό που ο εξεταζόμενος αντιλαμβάνεται και αναφέρει.

•Μία πλήρης οφθαλμολογική εξέταση αποτελείται από μια σειρά ψυχοφυσικών μεθόδων (πχ οπτική οξύτητα, διάθλαση, οπτικά πεδία, έλεγχος για στραβισμό, έγχρωμη όραση).

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 4

## Χωρική διακριτική ικανότητα

•Ως χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) ορίζεται η μικρότερη χωρική λεπτομέρεια (π.χ. γράμμα) που μπορεί να διακριθεί, αντιληφθεί ή αναλυθεί

•4 κατηγορίες χωρικής διακριτικής ικανότητας:

- Ανίχνευσης (το μικρότερο μέγεθος ενός στόχου)
- Αναγνώρισης (π.χ. γράμματα / αριθμοί – οπτική οξύτητα)
- Επιλογής (choice)
- Hyperacuity (Vernier acuity)

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 5

## Οπτική οξύτητα

- Η οπτική οξύτητα αποτελεί την βασική (πρότυπη) δοκιμασία αξιολόγησης της διακριτικής ικανότητας του οπτικού συστήματος:
  - στην καθημερινή κλινική πράξη (οφθαλμίατροι, οπτομέτρες)
  - στην βασική έρευνα της παθο-φυσιολογίας του οφθαλμού (διάγνωση, πρόοδο, αποτελεσματικότητα)
  - στον καθορισμό κριτηρίων επιλογής για μερικά επαγγέλματα (πιλότοι, οδηγοί)

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 6

## Οπτική οξύτητα – Ελάχιστη γωνία ευκρίνειας

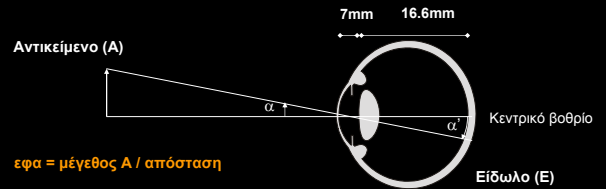
**Οπτική Οξύτητα:** η ικανότητα του οφθαλμού να διακρίνει, με την καλλίτερη διαθλαστική του διόρθωση (εάν απαιτείται), δύο σημεία στον χώρο σαν ξεχωριστά

• **Ελάχιστη γωνία ευκρίνειας (MAR):** Η μικρότερη γωνία που επιτρέπει δύο σημεία στον χώρο να αντιλαμβάνονται ως ξεχωριστά σημεία

• Περιοριστικοί παράγοντες?

ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 7

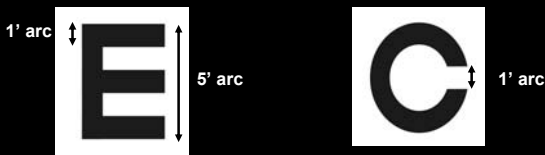
## Οπτική γωνία (visual angle)



- Οπτική γωνία ( $\alpha$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αντικειμένου/ειδώλου και των κομβικών σημείων του φακού
- Μονάδα μέτρησης: 1 deg (1 deg = 60' arc = 3600" arc)
- Αντικείμενα με την ίδια  $\alpha$  έχουν το ίδιο μέγεθος στον αμφ/δῆ
- Στον αμφιβληστροειδή: **1 deg = 300  $\mu\text{m}$**  [εφ 1° = x / 16.6mm]  
[x = 0.29 mm = 290 $\mu\text{m}$ ]

ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 8

## Ελάχιστη γωνία ευκρίνειας



Ελάχιστη γωνία ευκρίνειας (MAR) = 1' arc  $\Rightarrow$  Οπτική Οξύτητα = 10/10

ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 9

## Περιοριστικοί παράγοντες

- Ποιότητα του αμφιβληστροειδικού ειδώλου
  - Περιθλαση - μέγεθος κόρης (Rayleigh, 1933)
  - Μονοχρωματικές εκτροπές (Campbell and Gubisch, 1966; Jenkins, 1963)
  - Σκέδαση από τις οπτικές επιφάνειες του οφθαλμού
  - Ακρίβεια προσαρμοστικής ικανότητας
  - Χρωματική εκτροπή (Wald&Griffin, 1947; Ivanoff, 1953)
- Πυκνότητα φωτοϋποδοχέων
- Οφθαλμικές κινήσεις
- Ανώτερη νευρωνική επεξεργασία
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες (φωτισμός)

ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 10

## Περίθλαση

- Ο οφθαλμός μετατρέπει τα επίπεδα μέτωπα κύματος φωτός (wavefronts) σε «σχεδόν» σφαιρικά
- Οι άκρες αυτών των κυμάτων παραμορφώνονται κατά την διέλευσή τους από την κόρη
- Αποτέλεσμα της περίθλασης: μια σημειακή πηγή απεικονίζεται στον αμφιβληστροειδή ως ένα είδωλο (Airy disc)



ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 11

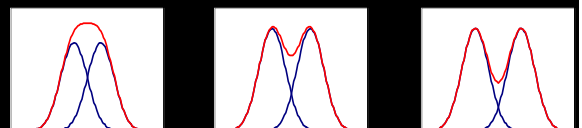
## Rayleigh criterion

**Rayleigh criterion:** η ελάχιστη γωνία ευκρίνειας επιτυγχάνεται όταν οι φωτεινές πηγές δύο σημείων διαχωρίζονται από μία απόσταση ίση με το μισό της διαμέτρου τους

μή-διακριτά

Rayleigh criterion

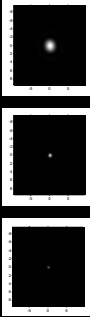
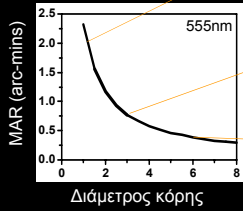
διακριτά



ΠΛΑΪΝΗΣ. ΒΕΜΜΟ 12

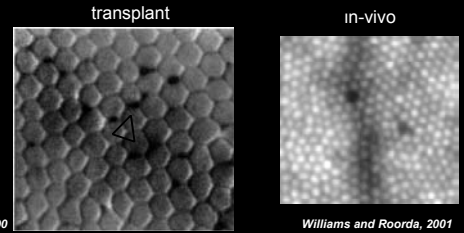
## Περίθλαση - Rayleigh criterion

- $\Theta_{\min} = 1.22 \lambda / d$  radians =  $4.19 \cdot 10^{-3} \lambda / d$  arc-mins
  - $\Theta_{\min}$  = ελάχιστη γωνία ευκρίνειας (MAR)
  - $\lambda$  = μήκος κύματος (nm)
  - $d$  = διάμετρος κόρης (mm)



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 13

## Πυκνότητα κωνίων (στο κεντρικό βοθρίο)



Curcio et al., 1990

Williams and Roorda, 2001

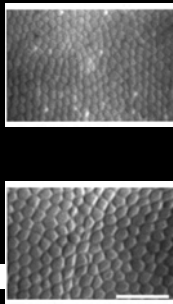
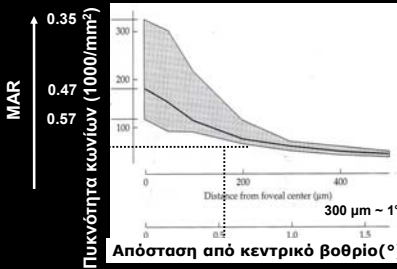
Εξαγωνικό σχήμα - τριγωνική διάταξη κωνίων

Απόσταση ~ 2.5μm  $\Rightarrow \Theta \sim 0.00833^\circ$

Nyquist frequency:  $2 \cdot \sqrt{3} \cdot \Theta \Rightarrow \sim 1' \text{ arc} \Rightarrow VA \sim 20/10 (21,3/10)$

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 14

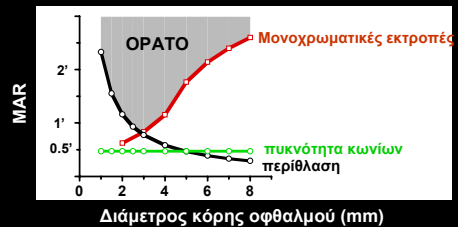
## Πυκνότητα/μέγεθος κωνίων



Curcio et al., 1990

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 15

## Όρια διακριτικής ικανότητας



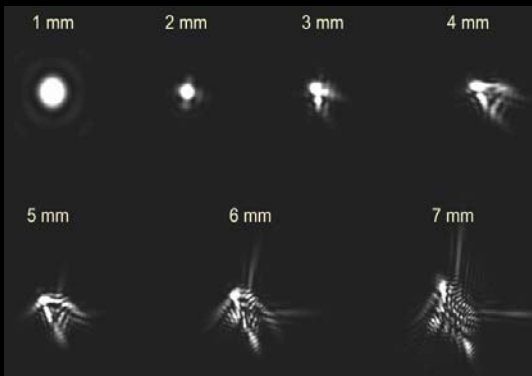
Rayleigh criterion

Campbell and Gubisch, 1966

Curcio et al., 1990

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 16

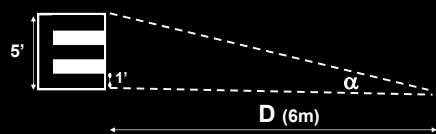
## Συνάρτηση σκέδασης σημείου



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 17

## Οπτική οξύτητα

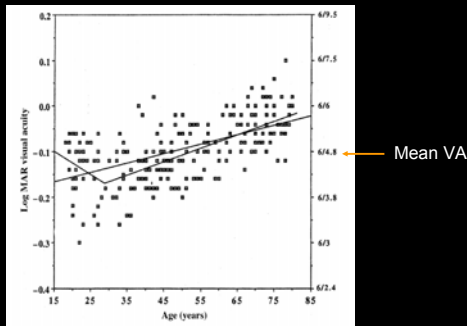
• Στην κλινική πράξη οπτική οξύτητα 10/10 (6/6) αποτελεί τον μέσο όρο φυσιολογικών οφθαλμών



Ένα γράμμα 6/6 (10/10) σχηματίζει γωνία 5 arc min

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 18

## Οπτική οξύτητα - Ηλικία



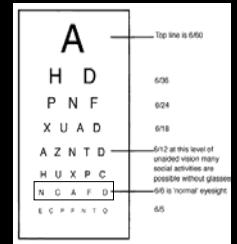
ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 19

## Visual Acuity – Snellen chart

•Visual Acuity can be expressed as the "Snellen's fraction":

- $V = d / D$
- $d$  is the standard testing distance (6m)
- $D$  is the distance at which the letter subtends 5 arcmin

•Φυσιολογική όραση ~ 6/6 (20/20)



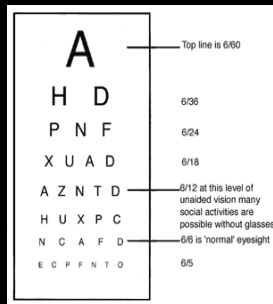
British Standards

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 20

## Οπτότυπο Snellen

Snellen (m)

6  
9  
12  
18  
24  
36  
48  
60



Vardinoviannion Eye Institute of Cre

## Οπτότυπα

Standards:

- contrast > 0.9 [ $C = (L_v - L_b) / L_b$ ]
- φωτεινότητα > 120 cd/m<sup>2</sup>
- επιλογή συμβόλων (complexity, confusion)
- απόσταση μεταξύ συμβόλων

Κλίμακα:

Snellen (m)	6/6	6/12	6/60
Snellen (ft)	20/20	20/40	20/200
Decimal V	1.0	0.5	0.1
Log MAR	0	0.3	1.0

## Bailey-Lovie (log MAR)

$\log \text{MAR} = -\log(\text{decimal acuity})$



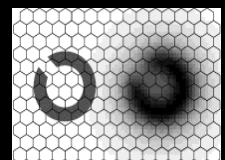
Geometrical progression  
0.1 log unit step  
ratio=1.26

High contrast

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 23

## Contrast

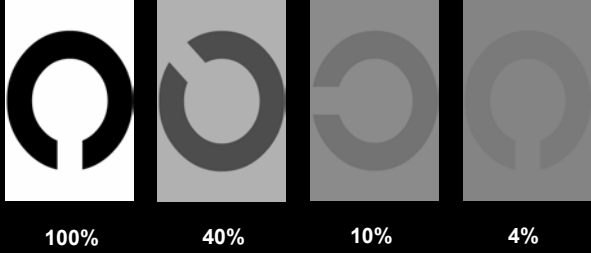
The image of the ideal Landolt-C (left), imaged through the optics of our eyes onto the retinal photoreceptor mosaic.



## Contrast

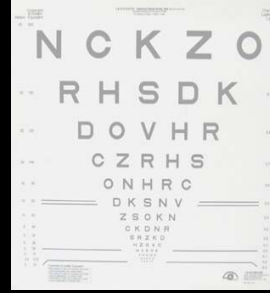
$$C = (L_b - L_t) / L_b$$

$L_b$  = φωτεινότητα background  
 $L_t$  = φωτεινότητα συμβόλου



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 25

## Bailey-Lovie (log MAR)



Low contrast

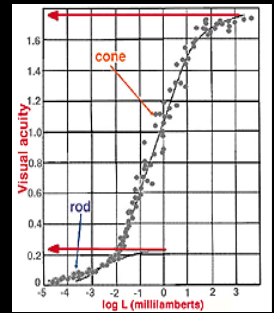
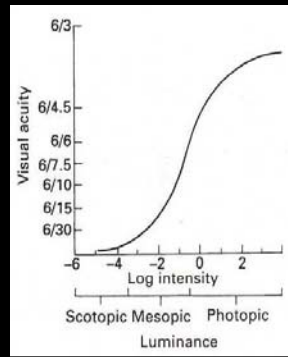
ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 26

## Άλλα οπτότυπα



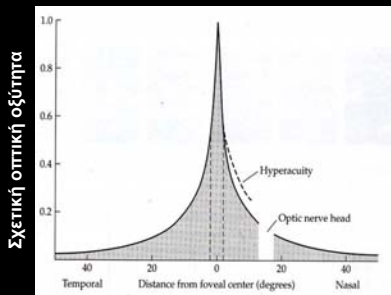
Pelli-Robson

## Οπτική οξύτητα - φωτισμός



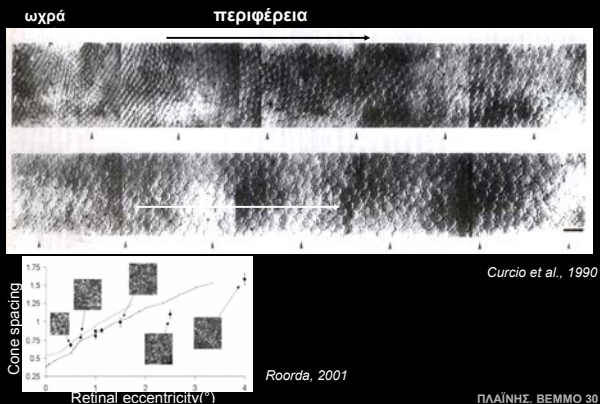
ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 28

## Οπτική οξύτητα - περιφέρεια



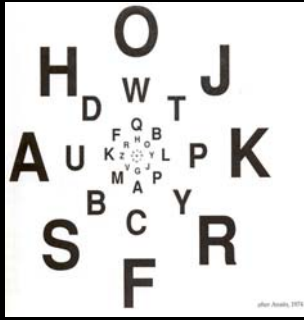
•μειώνεται σε 5/10 στη 1°, σε 2.5/10 στις 5° και σε 1/10 στις 20°  
 •Οπτική οξύτητα: Ρινικά > κροταφικά

## Φωτοϋποδοχείς - κατανομή



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 30

## Ισο-ευκρινής Οπτότυπος



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 31

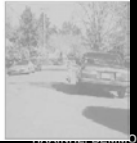
## Visual Acuity – Functional vision

•Visual acuity records ONLY the limits of resolution, of the visual system for letters of high contrast

•In everyday tasks (eg reading, driving, face recognition) objects of interest differ in contrast, colour, shape, texture .....

•Therefore, functional vision cannot be satisfactorily described by measuring VA.

•More demanding methods are needed in order to test visual function....Contrast Sensitivity

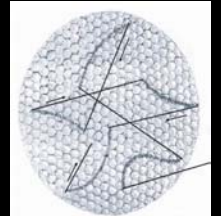
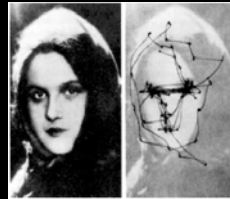


ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 32

## Άλλοι παράγοντες

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 33

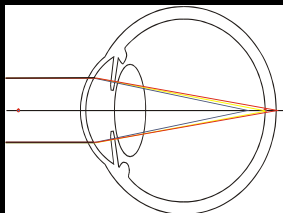
## Οφθαλμικές κινήσεις



- Ομαλή μετατόπιση
- τρέμουλο
- μικροσακκαδικές

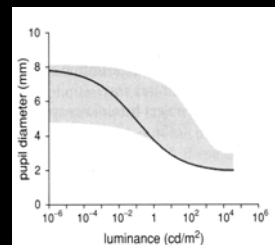
ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 34

## Χρωματική Εκτροπή



ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 35

## Περιβαλλοντικά επίπεδα φωτισμού



•Μεγάλη κόρη μόνον σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού (ραβδία)

ΠΛΑΪΝΗΣ, ΒΕΜΜΟ 36

# Χρωματική εκτροπή

