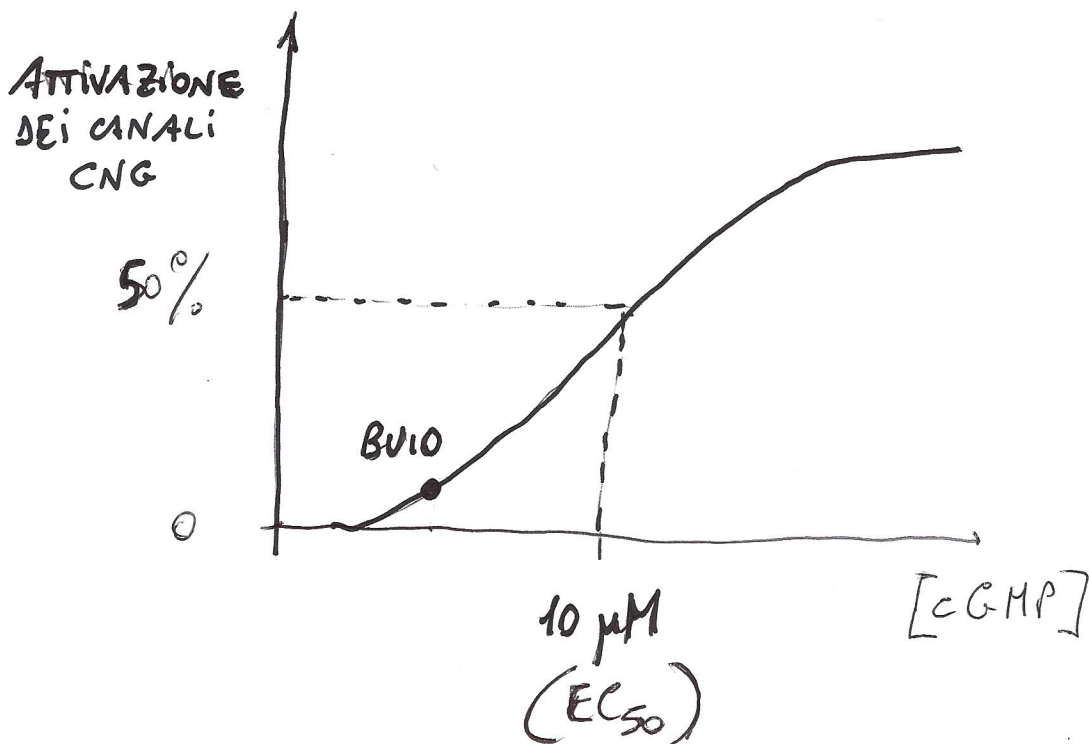


$EC_{50}$  = concentrazione che produce il 50% delle attività massime.

$[cGMP]_i$ : AL BUIO: qualche  $\mu M$



Effetto altamente cooperativo

CENTINAIA DI CANALI CNG/ $\mu m^2$

(basse conduttanze in presenza di ioni stralenti extracellulari)

RISPOSTA DEI BASTONCELLI:  $\approx 200$  ~~ms~~  $\mu s$  ad un fotone  
CONI:  $\approx 30$   $\mu s$

## **BASTONCELLI**

**Alta fotosensibilità (anche ad 1 fotone\*): visione notturna.**

- contengono più fotopigmento
- amplificano di più il segnale luminoso
- convergono sulle cellule bipolari, e da qui sulle cellule gangliari.
- integrano la risposta su circa 100 ms

\*Per evitare falsi allarmi, un fotone non basta a generare una risposta cosciente dell'individuo. Diversi bastoncelli devono attivarsi entro un certo tempo

*L'altissima sensibilità va a scapito della risoluzione spaziale (acuità visiva) e temporale.*

**Minore risoluzione temporale (rispondono a frequenze del segnale fino a 12 Hz)**

- risposta più lenta rispetto ai coni
- Integrano la risposta su circa 100 ms

**Minore acuità nelle aree retiniche con bastoncelli (nonostante siano numericamente prevalenti, circa 20 volte di più rispetto ai coni).**

## **CONI**

**Meno sensibili alla luce: visione diurna.**

**Alta risoluzione temporale (fino a 55 Hz)**

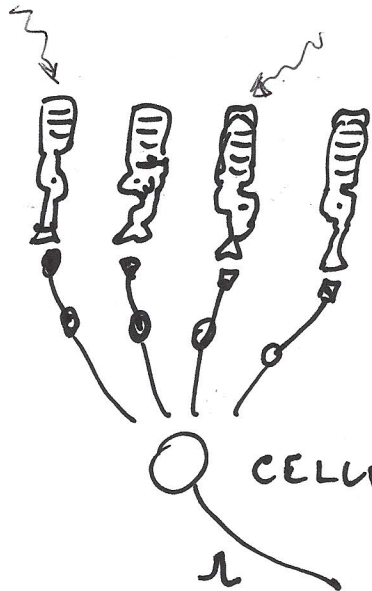
- risposta più rapida
- integrazione della risposta su un tempo minore

**Permettono alta acuità visiva**

- poco convergenti
- concentrati nella fovea, che distorce meno l'immagine

**Visione cromatica.**

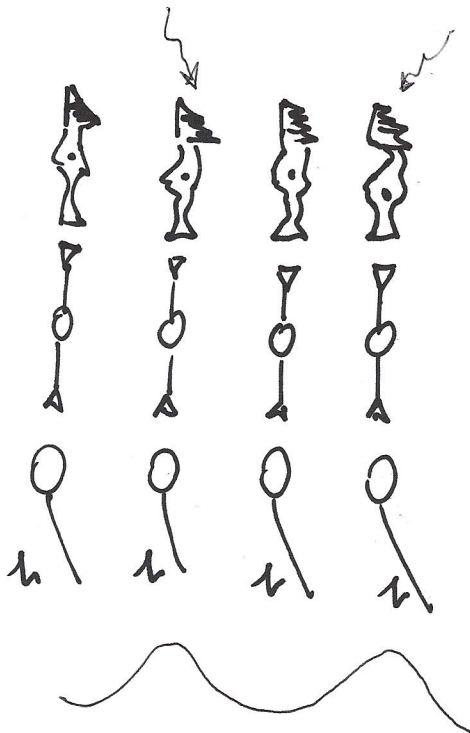
CONVERGENZA ( ↑ SENSIBILITÀ  
↓ ACUITÀ )



BASTONCELLI  
(NON È UNO SCHEMA ANATOMICO  
MOLTO PRECISO!)

CELLULE BIPOLARI

CELLULA GANGLIARE (POT. D'AZIONE)



CONI

CELLULE BIPOLARI

CELLULE GANGLIARI

(POT. D'AZIONE)

I NOSTRI SISTEMI SENSORIALI NON SONO STRUMENTI  
PRECISI DI MISURA DI PARAMETRI FISICI (T, Luminosità,  
peso, ecc.)

CI PERMETTONO INVECE DI VALUTARE BENE GLI  
ASPETTI DEL SEGNALE RILEVANTI BIOLOGICAMENTE  
(per la vita dell'organismo) -

P. es. LE VARIAZIONI DI UN SEGNALE SONO IN GENERALE  
molto più importanti del livello assoluto del segnale -

E LE DIFFERENZE RELATIVE (p. es. IL CONTRASTO TRA  
OGGETTI OSSERVATI) SONO PIÙ IMPORTANTI DEL VALORE  
ASSOLUTO DEL SEGNALE (p. es. Luminosità)

RISPOSTA ALLO STIMOLO (SENZAZIONE)  
(R) (S)

SE CI FOSSE UNA RELAZIONE LINEARE:

$$R = k S \quad k = \text{COSTANTE, p.es. } 1$$

P.es. LUMINOSITÀ di 2 OGGETTI IN BASSA LUCE

$$\text{oggetto 1: } R_1 = k \cdot 10 = 10$$

$$\text{oggetto 2: } R_2 = k \cdot 100 = 100$$

$$\Delta R = R_2 - R_1 = 100 - 10 = 90$$

AUMENTIAMO di 10 volte l'illuminazione:

$$\text{oggetto 1: } R_1 = k \cdot 100 = 100$$

$$\text{" 2: } R_2 = k \cdot 1000 = 1000$$

$$\Delta R = R_2 - R_1 = 1000 - 100 = 900$$

Cioè percepiamo una differenza di luminosità tra i 2 oggetti molto maggiore con illuminazione 10 volte più alta.

SE INVECE C'È UNA RELAZIONE LOGARITMICA  
TRA LO STIMOLO E LA RISPOSTA (la sensazione de  
proviamo):

$$R = K \log S \quad K \text{ sempre } = 1$$

(è la vecchia LEGGE di WEBER-FECHNER, è  
solo un' approssimazione, ma serve a capire il  
concetto). In base luce:

$$\begin{aligned} \text{oggetto 1: } R_1 &= K \cdot \log 10 = 1 & R_2 - R_1 &= 1 = \Delta R \\ \text{" 2: } R_2 &= K \cdot \log 100 = 2 \end{aligned}$$

In luce 10 volte più forte:

$$\begin{aligned} \text{oggetto 1: } R_1 &= K \log 100 = 2 \\ \text{" 2: } R_2 &= K \log 1000 = 3 \end{aligned}$$

$$\Delta R = R_2 - R_1 = 1$$

Cioè il contrasto rimane lo stesso a diverse  
gradi di illuminazione. Percepriamo la stessa  
differenza tra i 2 oggetti indipendentemente dalle  
illuminazione di sfondo.




## DYNAMIC RANGE OF A SENSORY ORGAN OR RECEPTOR



log relation because of the Goldman relation

### INCREASE OF DYNAMIC RANGE:

- many receptors with different sensitivity

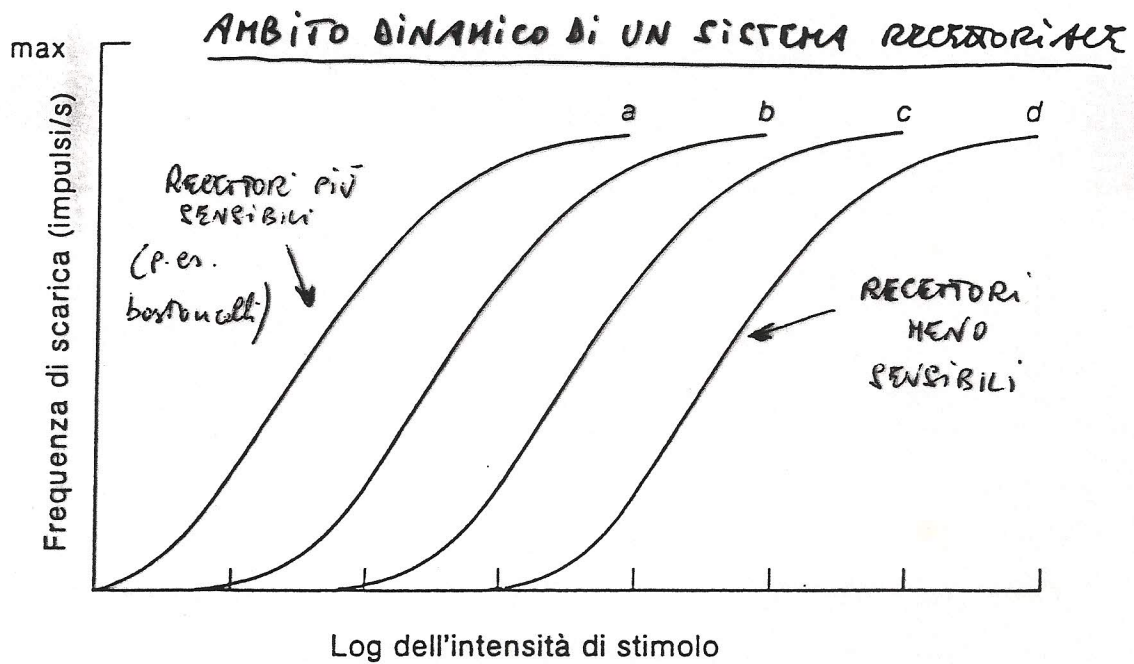

 e.g. photopigments

- ADAPTATION

- MULTINEURONAL SYSTEM

cells with different sensitivities

- LE SINGOLE FIBRE AFFERENTI COPRONO PORZIONI DIVERSE DELLO SPETTRO DI SENSIBILITÀ
- RECLUTAMENTO (in "d." rispondono tutte le nervure livello, le risposte si sommano)



$$S = k \log_{10} I \quad (\text{WEBER-FECHNER})$$

RELAZIONE PIÙ RECENTE: STEVENS



## ADATTAMENTO ALLA LUCE (entro secondi)

Capacità del sistema visivo di adattarsi: al livello di illuminazione - la cellula deve avere alta sensibilità al buio, ed evitare la saturazione alla luce.

- FUNZIONI :
- ottimizzare la sensibilità del fotorecettore entro un ampio ambito di intensità luminose.\*
  - estrazione automatica del contrasto, indipendentemente dal livello assoluto di luce (legge di Weber)
  - cinetica ottimale della risposta ad uno stimolo luminoso.

\* evitando così anche saturazione, fotodanneggiamento, eccessivo consumo di E.

"ADATTAMENTO AL BUIO: più lento. Per quando

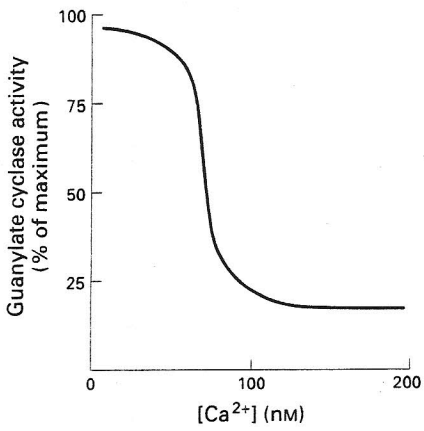
si entra in un locale buio dopo una lunga permanenza al sole. Ci vuole anche un'ora dopo un periodo di forte illuminazione, tale da provocare

"bleaching" dei fotopigmenti -

Basta ~ 20% di bleaching per dare un calo di sensibilità di 3-4 ordini di grandezza (qualche milionesimo di volte) -

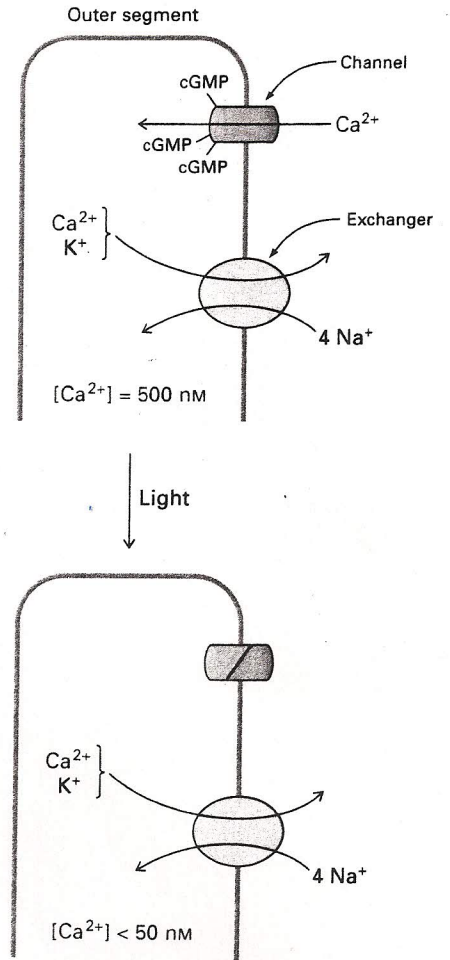
Probabilmente c'è attivazione spuria della cascata di trasduzione da parte dell'opsina non legata al fotopigmento.

$\Delta a$ : STRYER. BIOCHEMISTRY.  
FREEMAN 2008



**Figure 13-26**  
Guanylate cyclase activity in retinal rods is markedly stimulated by the light-induced lowering of the cytosolic  $\text{Ca}^{2+}$  level. [After K.-W. Koch and L. Stryer. *Nature* 334(1988):64.]

BUIO



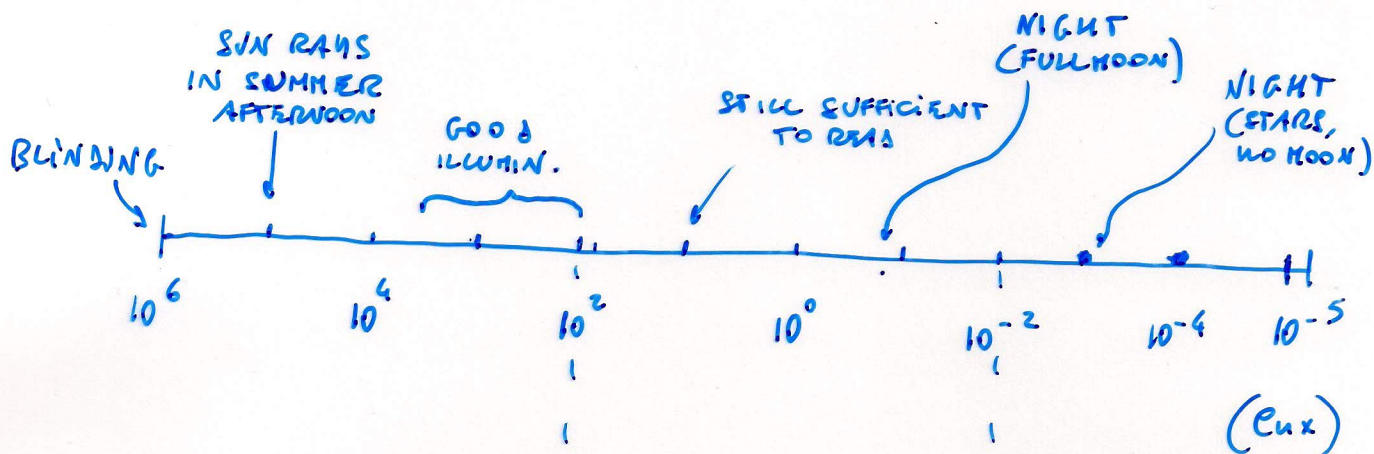
**Figure 13-25**  
Light lowers the cytosolic calcium level in retinal rod cells by blocking the entry of  $\text{Ca}^{2+}$  through the cGMP-gated channel.

- ADATTAMENTO
- RISPOSTA PIU' RAPIDA AL RITORNO AL BUIO

# AMBITO DINAMICO DELLA RETINA UMANA (DYNAMIC RANGE OF HUMAN RETINA)

(NINE ORDERS OF  
MAGNITUDE)

19 FISIOLGICAMENTE



SURFACE ILLUMINATION EXPRESSED IN LUX UNITS

CONES  
(DAY VISION)

CONES + RODS

RODS



ADATTAMENTO ALLA LUCE (GRAN PARTE DEL MECCANISMO DIPEN-  
DE DALLA RETINA)

a) RIFLESSO PUPILLARE (rende conto di 26 a 1 UNITÀ LOG;  
una riduzione del  $\phi$  da 8 a 2.5 mm diminuisce l'A  
di 10 volte)

b) PASSAGGIO DA VISIONE SCOTOPICA (bastoncelli: notte non illuminata  
artificialmente)

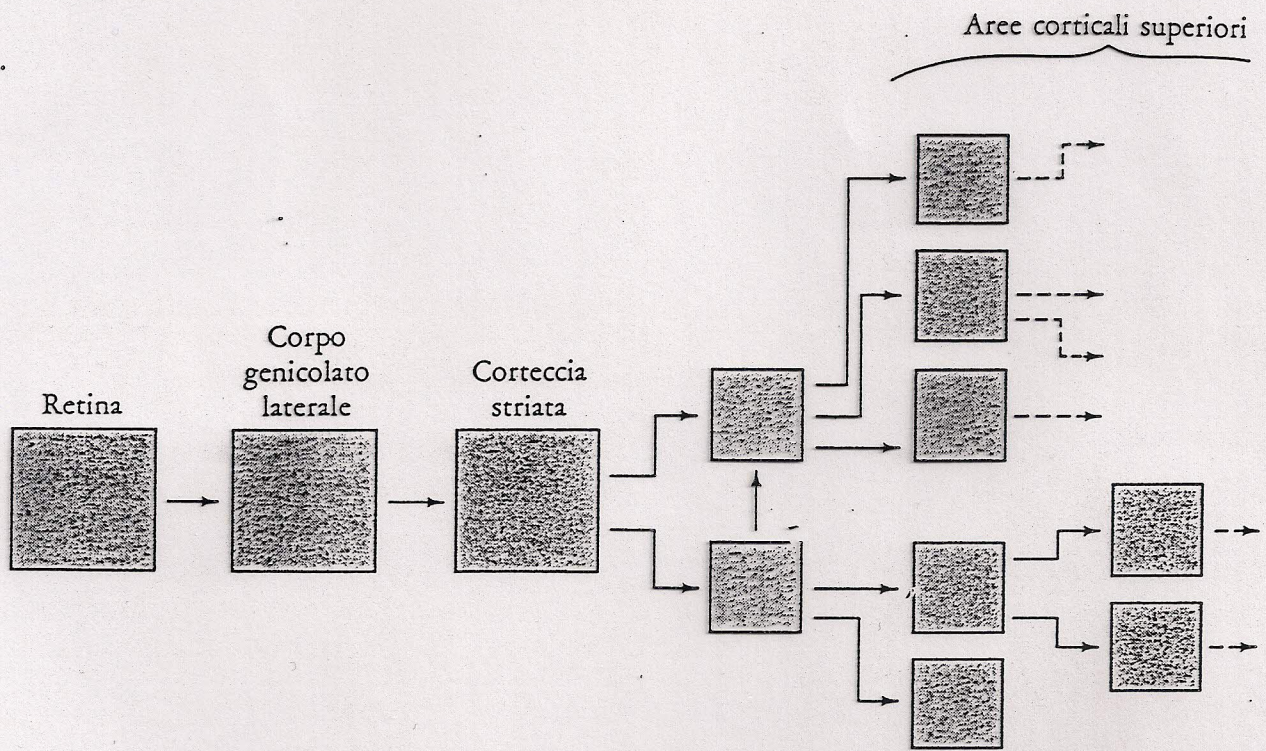
A " FOTOPICA (se distinguiamo i colori, dominano  
i coni; pochi in periferia, ma  
dominanti perché i bastoncelli si  
attivano solo a luce molto bassa)

c) ADATTAMENTO DEI FOTORECETTORI (operano nel complesso entro  
più di 5 unità LOG)

I coni evitano la saturazione ed gli I luminosi, i  
bastoncelli no (non rispondono più e ciò fa sparire E)

d) ADATTAMENTO DELLE ALTRE CELLULE DELLA RETINA  
(meccanismi molto meno chiari)

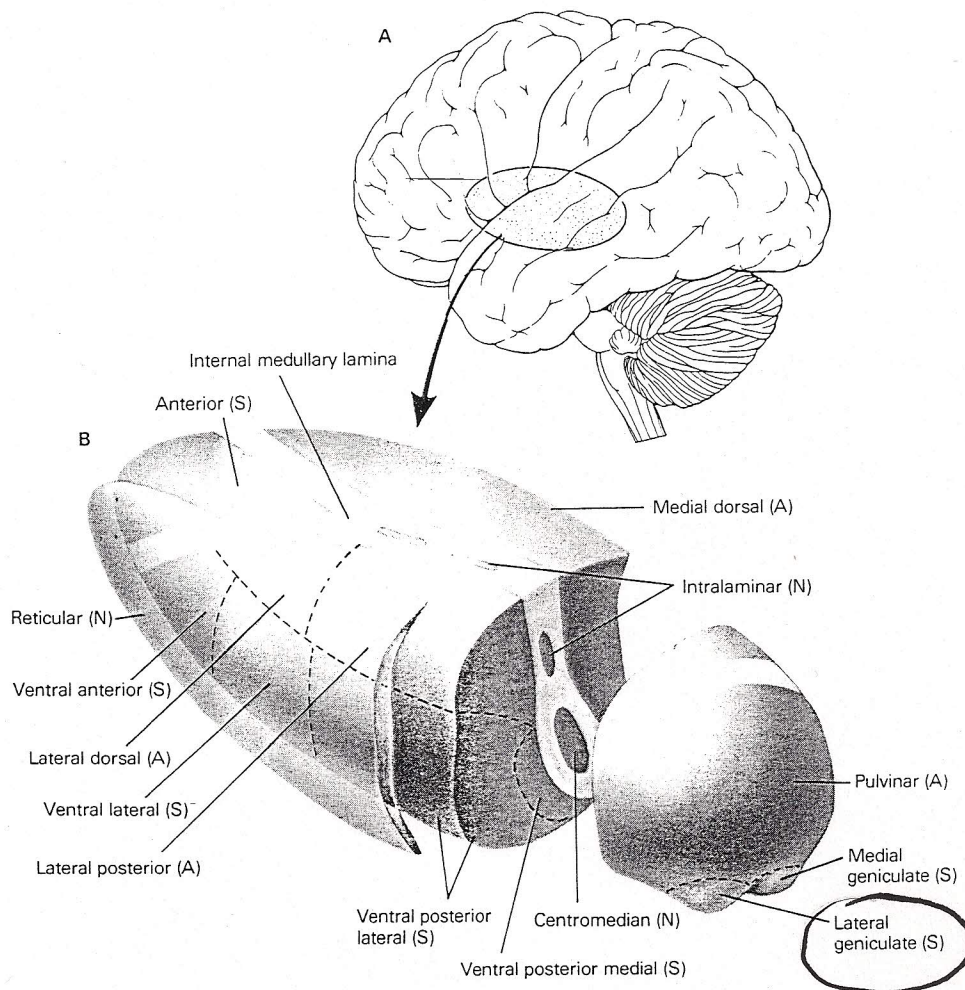




De: HUBEL. Occhio, cervello e visione

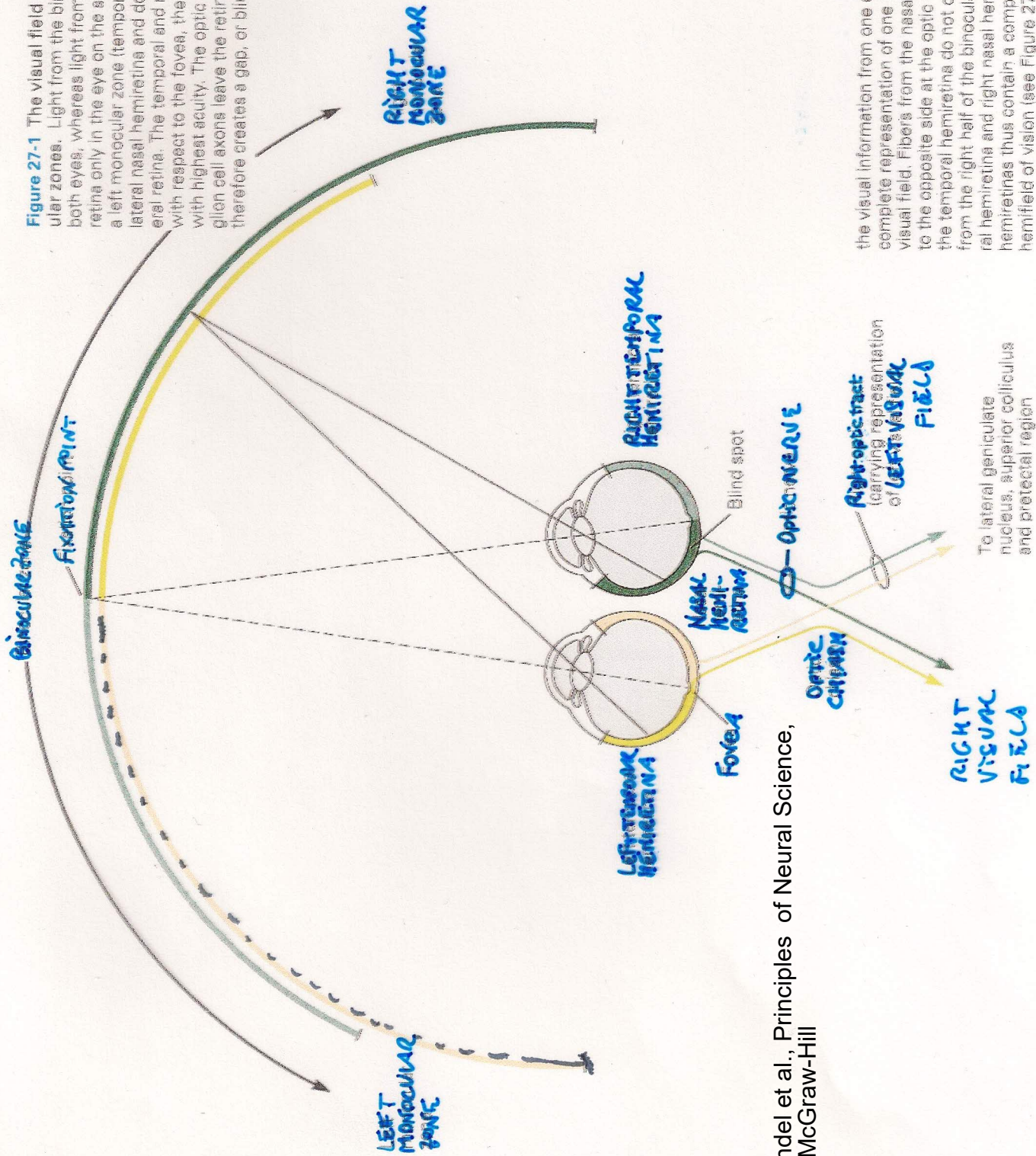
Zanichelli





Da: Kandel et al., Principles of Neural Science, II ed., 1985, Elsevier.





**Figure 27-1** The visual field has both binocular and monocular zones. Light from the binocular zone strikes the retina in both eyes, whereas light from the monocular zone strikes the retina only in the eye on the same side. For example, light from a left monocular zone (temporal crescent) falls on only the ipsilateral nasal hemiretina and does not project upon the contralateral retina. The temporal and nasal hemiretinas are defined with respect to the fovea, the region in the center of the retina with highest acuity. The optic disc, the region where the ganglion cell axons leave the retina, is free of photoreceptors and therefore creates a gap, or blind spot, in the visual field for

the visual information from one eye, each optic tract carries a complete representation of one half of the binocular zone in the visual field. Fibers from the nasal hemiretina of each eye cross to the opposite side at the optic chiasm, whereas fibers from the temporal hemiretina do not cross. In the illustration, light from the right half of the binocular zone falls on the left temporal hemiretina and right nasal hemiretina. Axons from these hemiretinas thus contain a complete representation of the right hemifield of vision (see Figure 27-6).



