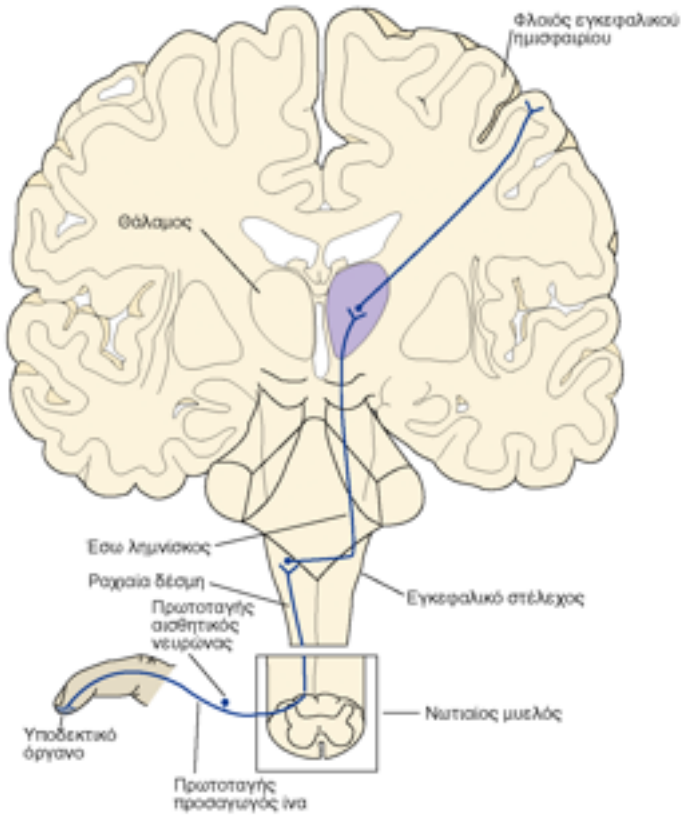
Αισθητικά συστήματα

- Σωματοαισθητικό σύστημα
  - Αφή
  - Ιδιοδεκτικότητα
  - Πόνος
  - Θερμοκρασία
- Όραση
- Ακοή/Αίσθηση ισορροπίας
- Γεύση
- Όσφρηση

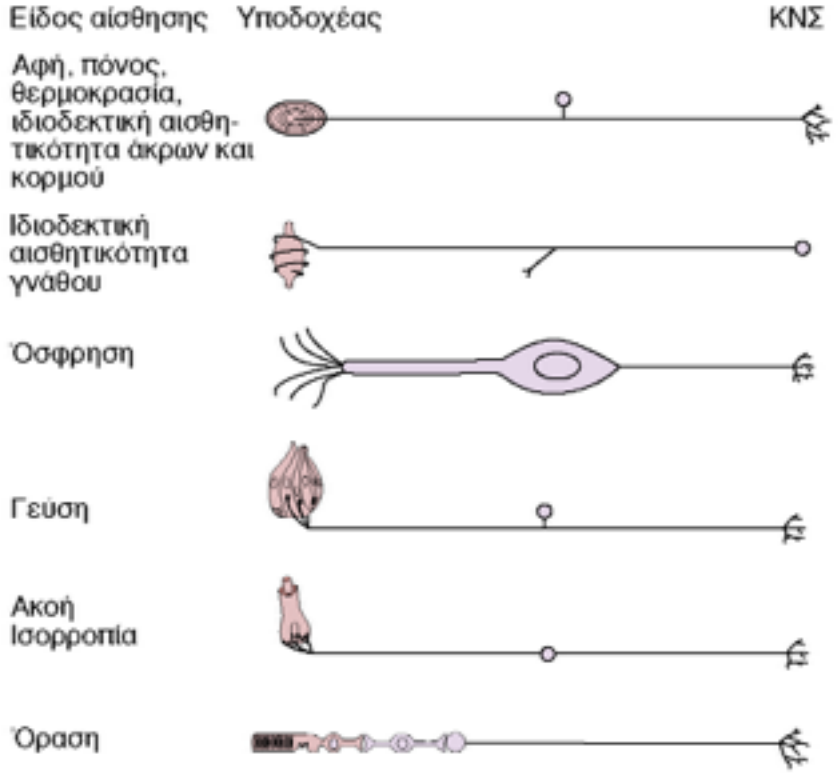
Δομή αισθητικών συστημάτων

- Υποδοχέας
- Πρωτοταγής αισθητικός νευρώνας
- Θάλαμος
- Πρωτοταγής αισθητικός φλοιός
- Συνειρμικοί φλοιοί

- Αμφοτερόπλευρη προβολή
- Αμφίπλευρη προβολή



Υποδοχείς



Εικόνα 20-2 Οι αισθητικοί υποδοχείς σε κάθε αισθητικό σύστημα έχουν χαρακτηριστική οργάνωση και μορφολογία, καθώς και χαρακτηριστικό μέγεθος. (Από Martin, 1989, τροποποιημένη.)

- Μετατροπή σήματος
- Νευρική κωδίκευση

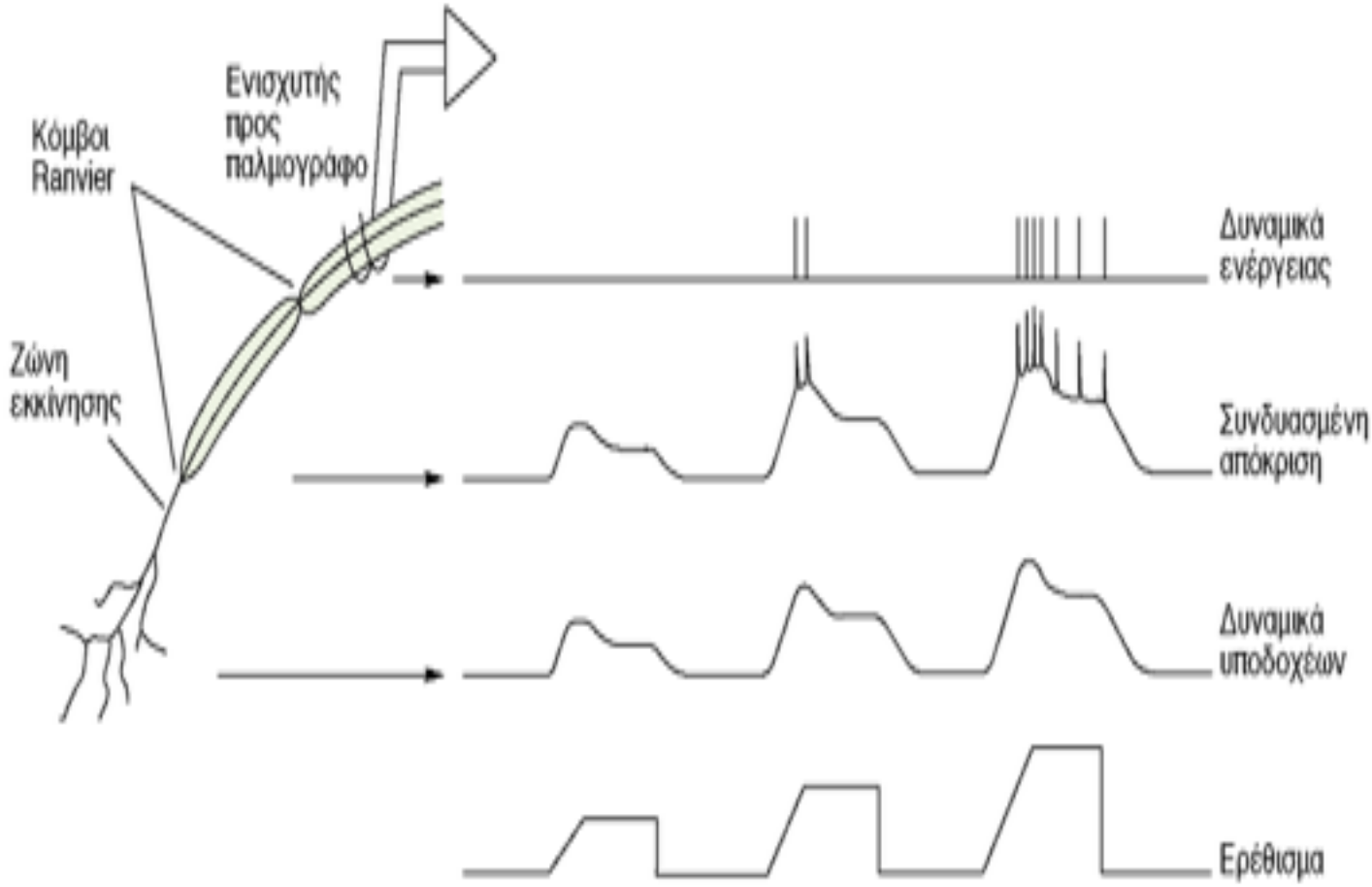
Υποδοχείς

Πίνακας 20–1 Αισθητικά συστήματα των θηλαστικών

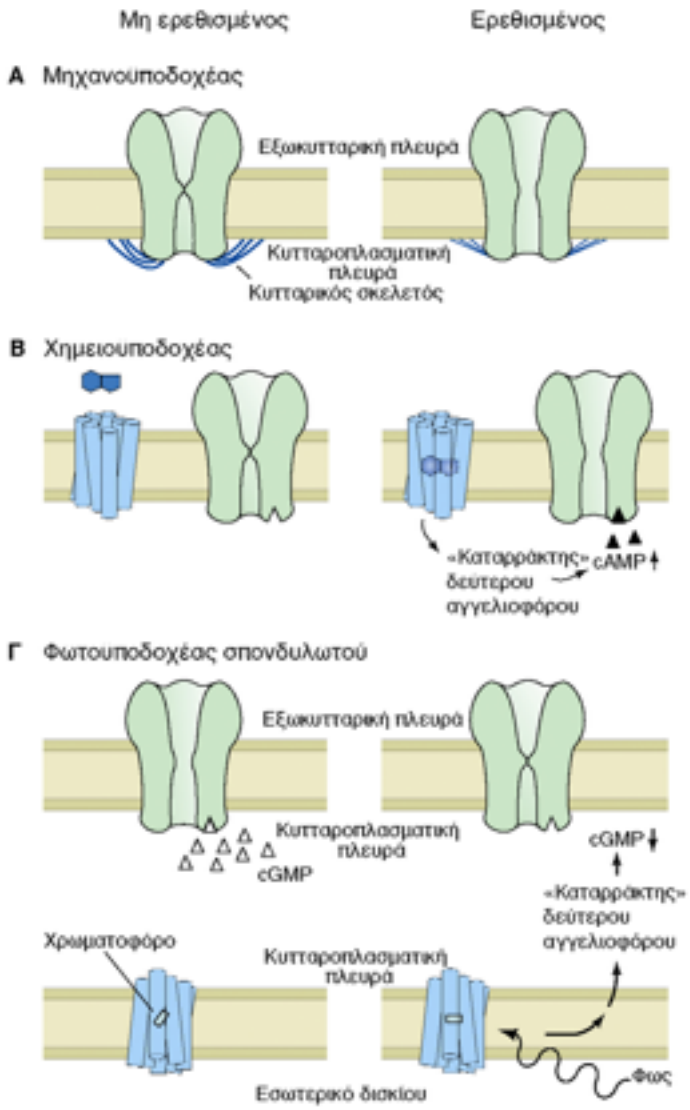
Αίσθηση	*Ερέθισμα*	*Τύπος υποδοχέα*	*Ειδικός υποδοχέας*
Όραση	Φως	Φωτοϋποδοχέας	Ραβδία, κωνία
Ακοή	Κύματα πίεσης αέρα	Μηχανοϋποδοχέας	Τριχωτά κύτταρα (κοχλία)
Ισορροπία	Κινήσεις κεφαλής	Μηχανοϋποδοχέας	Τριχωτά κύτταρα (ημικυκλικών σωλήνων)
Αφή	Μηχανικό, θερμικό, βλαπτικό (χημικό)	Μηχανοϋποδοχέας, θερμοϋποδοχέας, αλγοϋποδοχέας, χημειοϋποδοχέας	Νευρώνες νωτιαίων γαγγλίων
Γεύση	Χημικό	Χημειοϋποδοχέας	Γευστικοί κάλυκες
Όσφρηση	Χημικό	Χημειοϋποδοχέας	Οσφρητικοί αισθητικοί νευρώνες

Υποδοχείς

- Μετατροπή σήματος
- Νευρική κωδίκευση

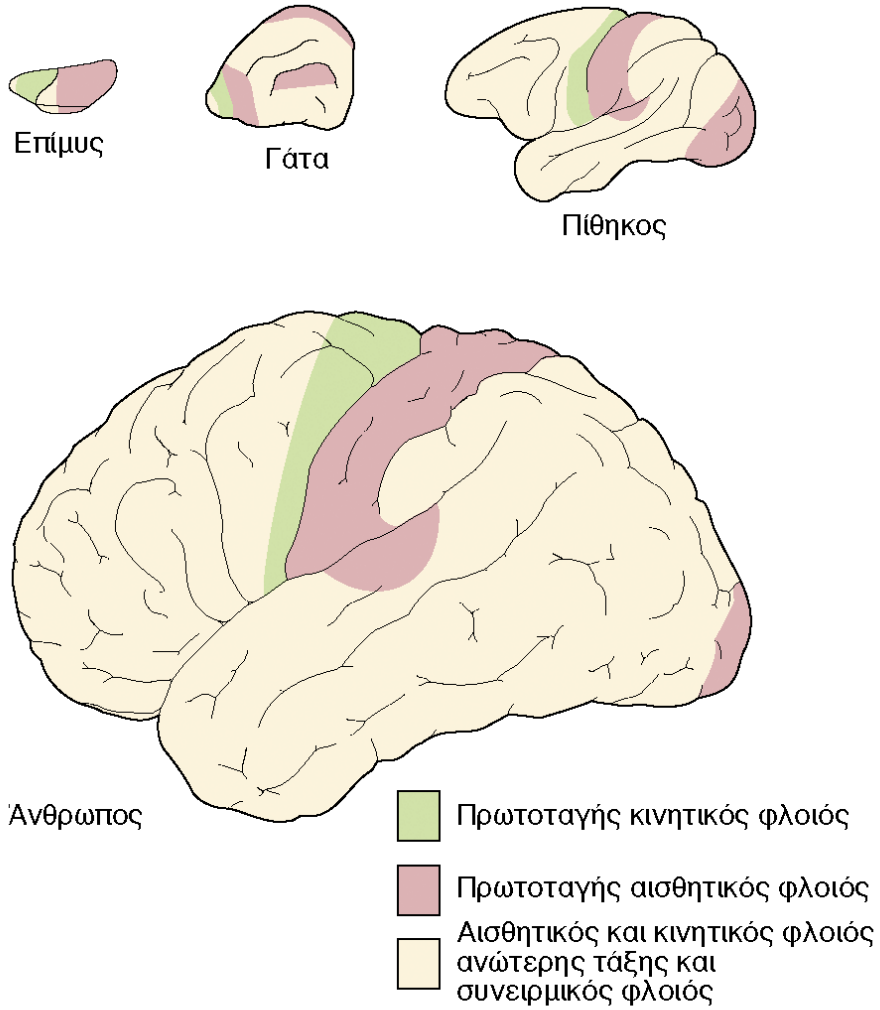


Υποδοχείς



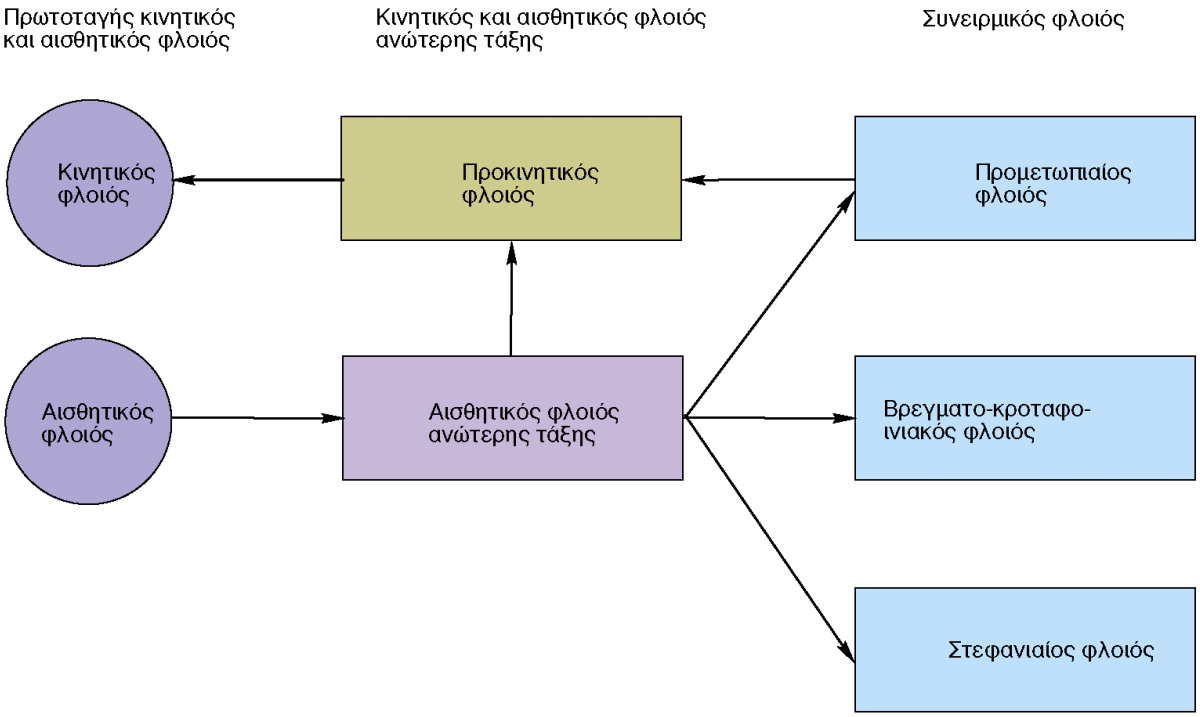
Εικόνα 20-5 Διαφορετικές ενέργειες ερεθισμάτων μετατρέπονται σε νευρικά σήματα από διαφορετικούς μοριακούς μηχανισμούς. (Από Shepherd, 1983, τροποποιημένη.)

Τύποι φλοιικών περιοχών

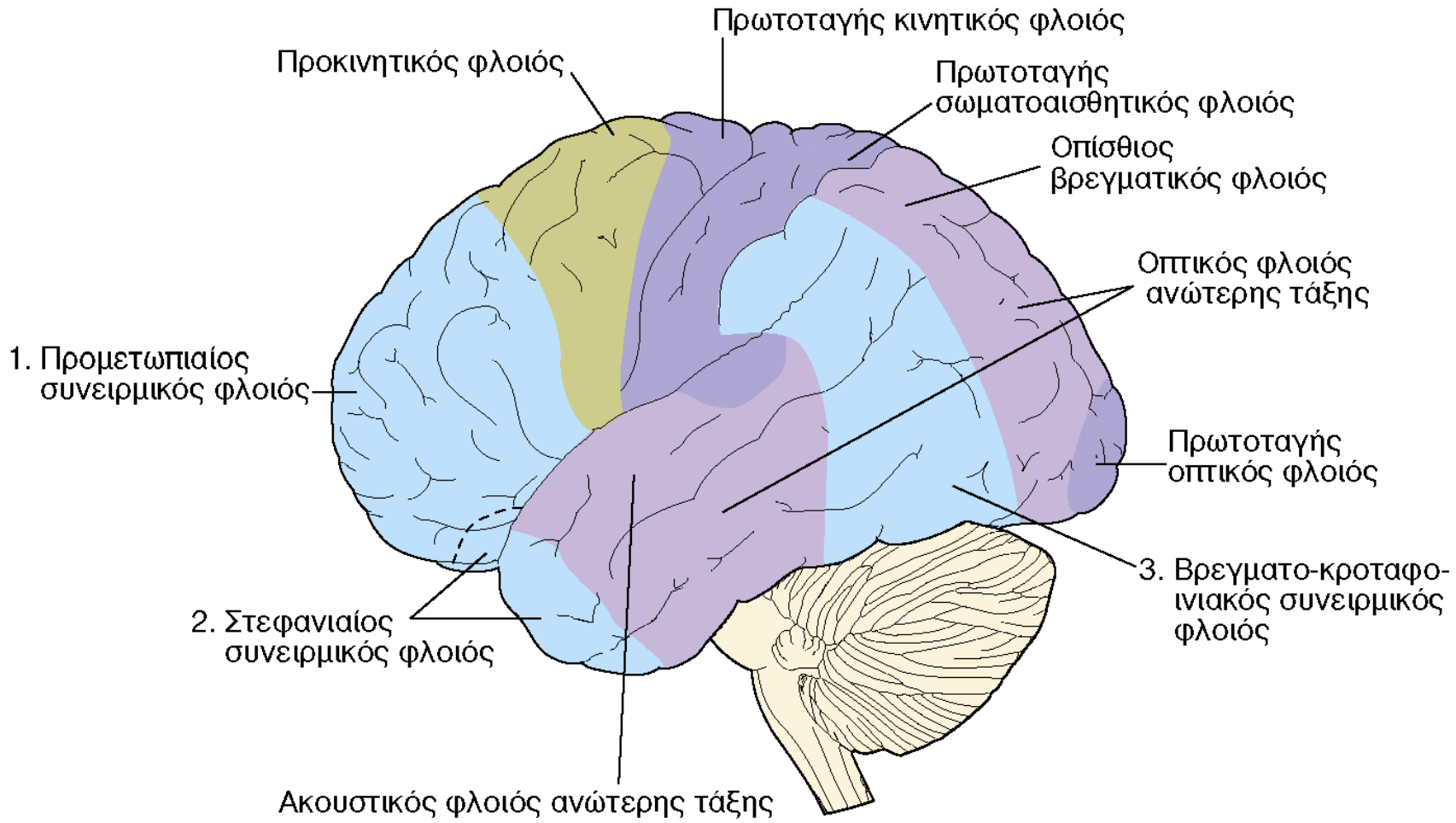


Εικόνα 19-1 Σχήματα (κλίμακα κατά προσέγγιση) των εγκεφαλικών ημισφαιρίων τεσσάρων θηλαστικών. Να σημειωθεί η μεγάλη αύξηση τόσο του μεγέθους των ημισφαιρίων όσο και της σχετικής έκτασης του αισθητικού και του κινητικού φλοιού ανώτερης τάξης καθώς και του συνειρμικού φλοιού.

Ροή πληροφορίας στον εγκεφαλικό φλοιό

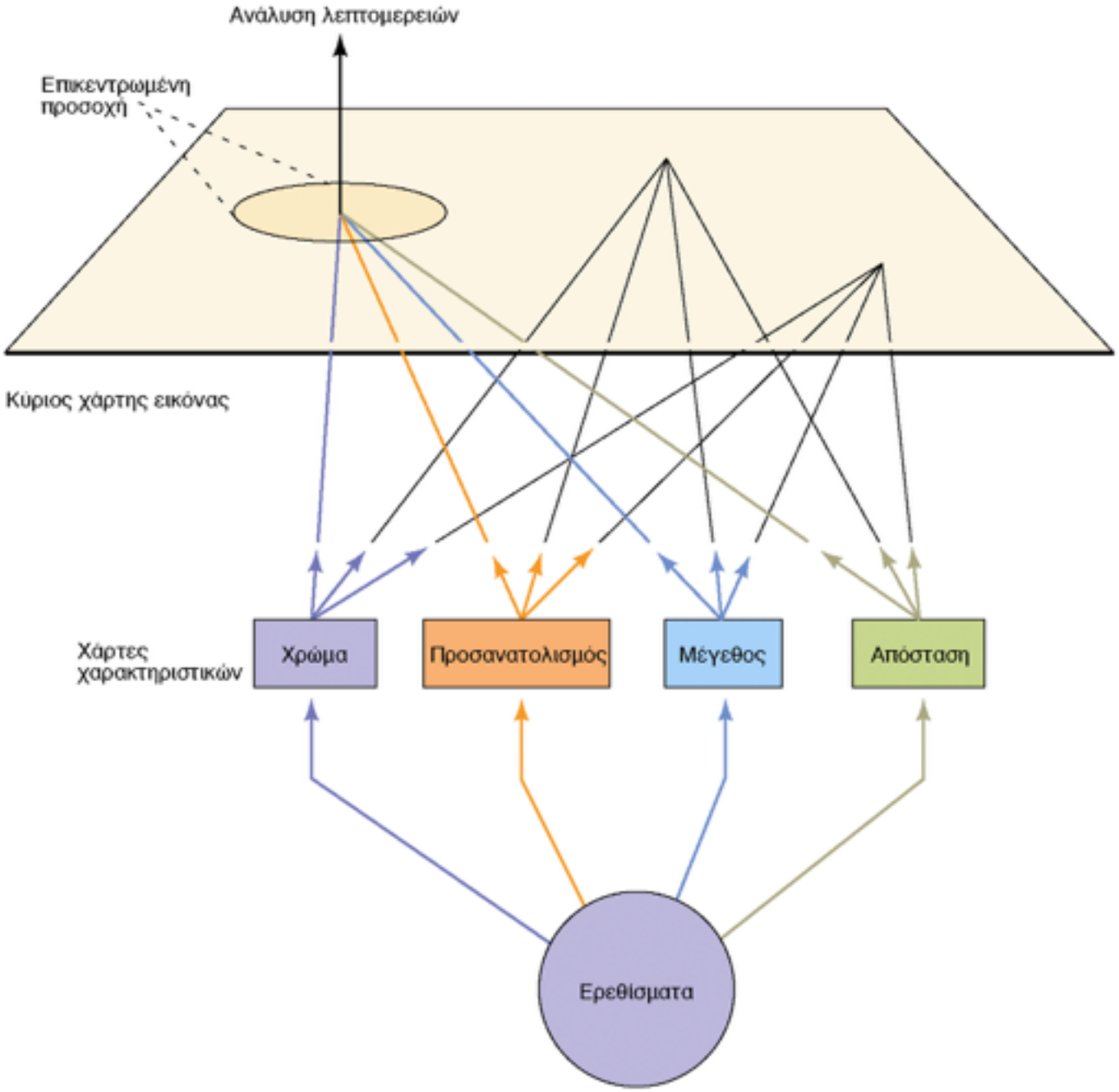


Εικόνα 19-3 Οι φλοιοφλοιικές συνδέσεις του πρωτοταγούς κινητικού και του πρωτοταγούς αισθητικού φλοιού, του κινητικού και του αισθητικού φλοιού ανώτερης τάξης και του συνειρμικού φλοιού παριστάνονται εδώ με τη μορφή ενός διαγράμματος ροής. Η ίδια γενική διάταξη επαναλαμβάνεται για καθέναν από τους κύριους αισθητικούς φλοιούς (για την όραση, την αφή και την ακοή). Για λόγους απλοποίησης έχουν παραλειφθεί ορισμένες συνδέσεις, όπως είναι εκείνες μεταξύ των συνειρμικών περιοχών.

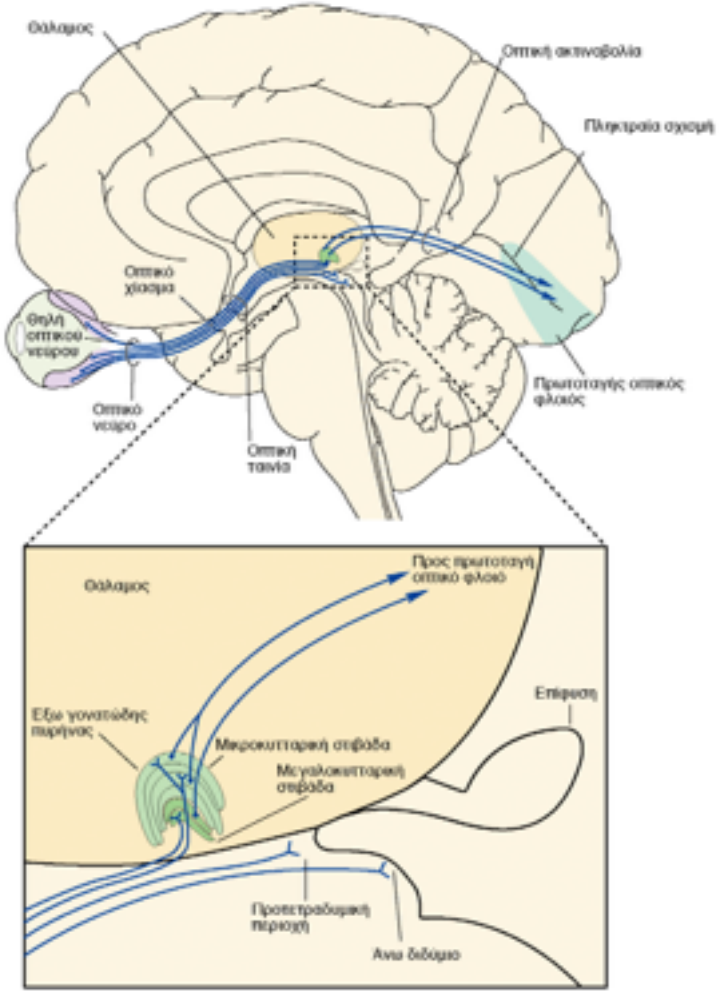


Εικόνα 19-2 Η έξω επιφάνεια του εγκεφάλου του ανθρώπου, στην οποία φαίνονται οι περιοχές του πρωτοταγούς αισθητικού και του πρωτοταγούς κινητικού φλοιού, του κινητικού και του αισθητικού φλοιού ανώτερης τάξης και οι τρεις περιοχές του συνειρμικού φλοιού.

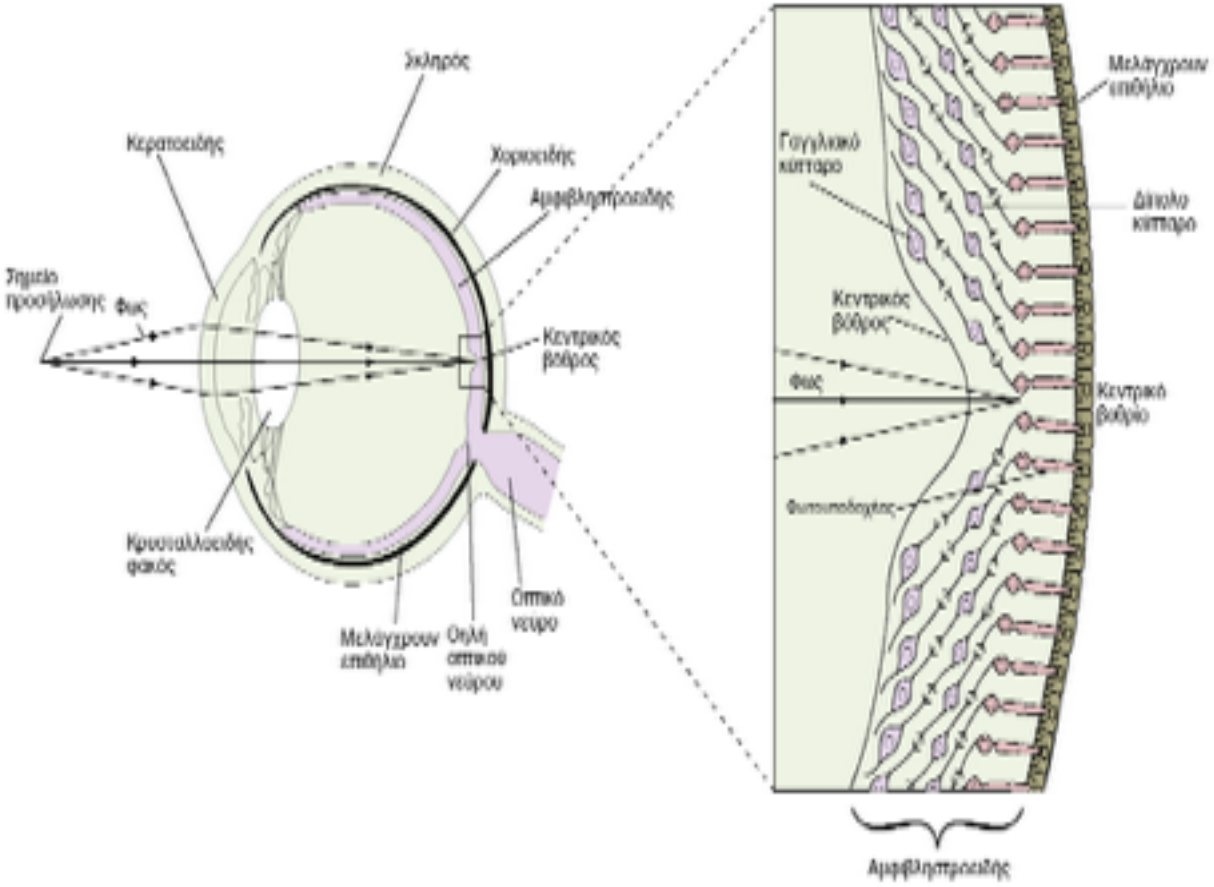
Οπτικό σύστημα
Αντίληψη


Ανάλυση λεπτομερειών
Επικεντρωμένη προσοχή
Κύριος χάρτης εικόνας
Χάρτες χαρακτηριστικών
Χρώμα
Προσανατολισμός
Μέγεθος
Απόσταση
Ερεθίσματα

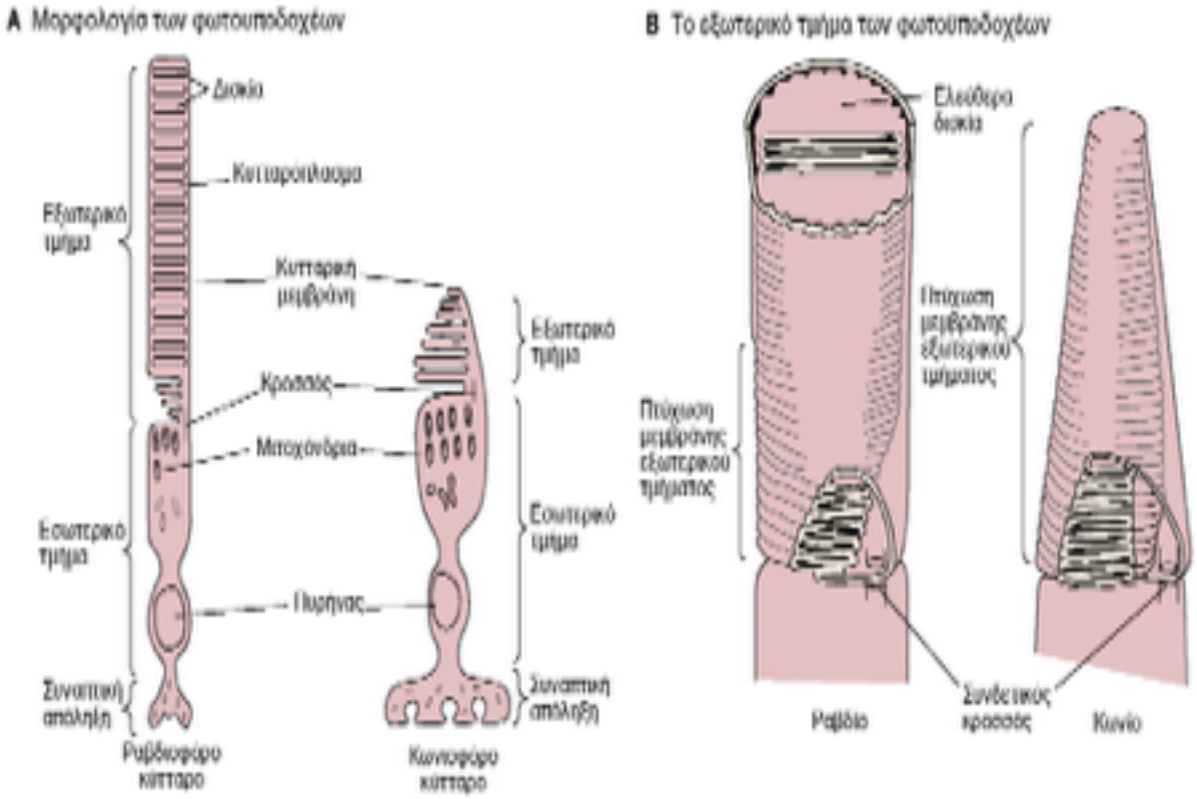
Μεταφορά σήματος στο οπτικό σύστημα



Οφθαλμός – Αμφιβληστροειδής



Φωτοϋποδοχείς

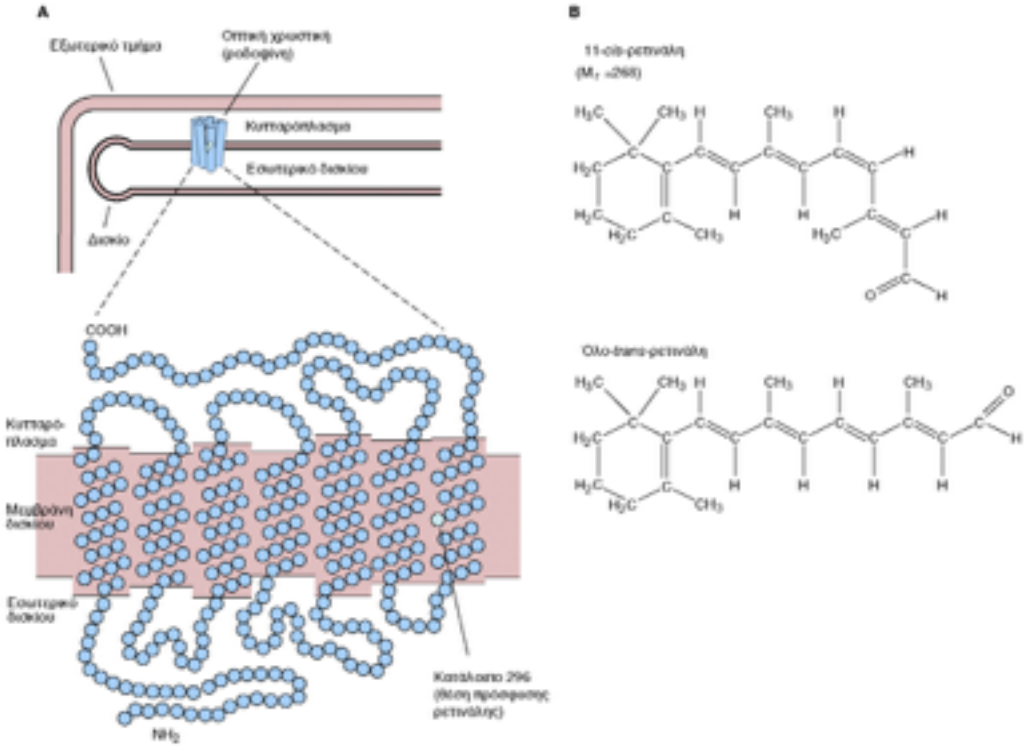


Διαφορές ραβδιοφόρων/κωνιοφορών

- Περισσότερο φωτοχρωστική ➔ ανίχνευση χαμηλού φωτισμού
- Σύγκλιση πολλών ραβδιοφόρων σε ένα δίπολο κύτταρο ➔ ενίσχυση σήματος
- Άχρωμη όραση
- Χαμηλή χρονική διακριτική ικανότητα (έως 12Hz) – βραδεία απόκριση
- Χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα
  - Όχι στο κεντρικό βοθρίο
  - Σύγκλιση

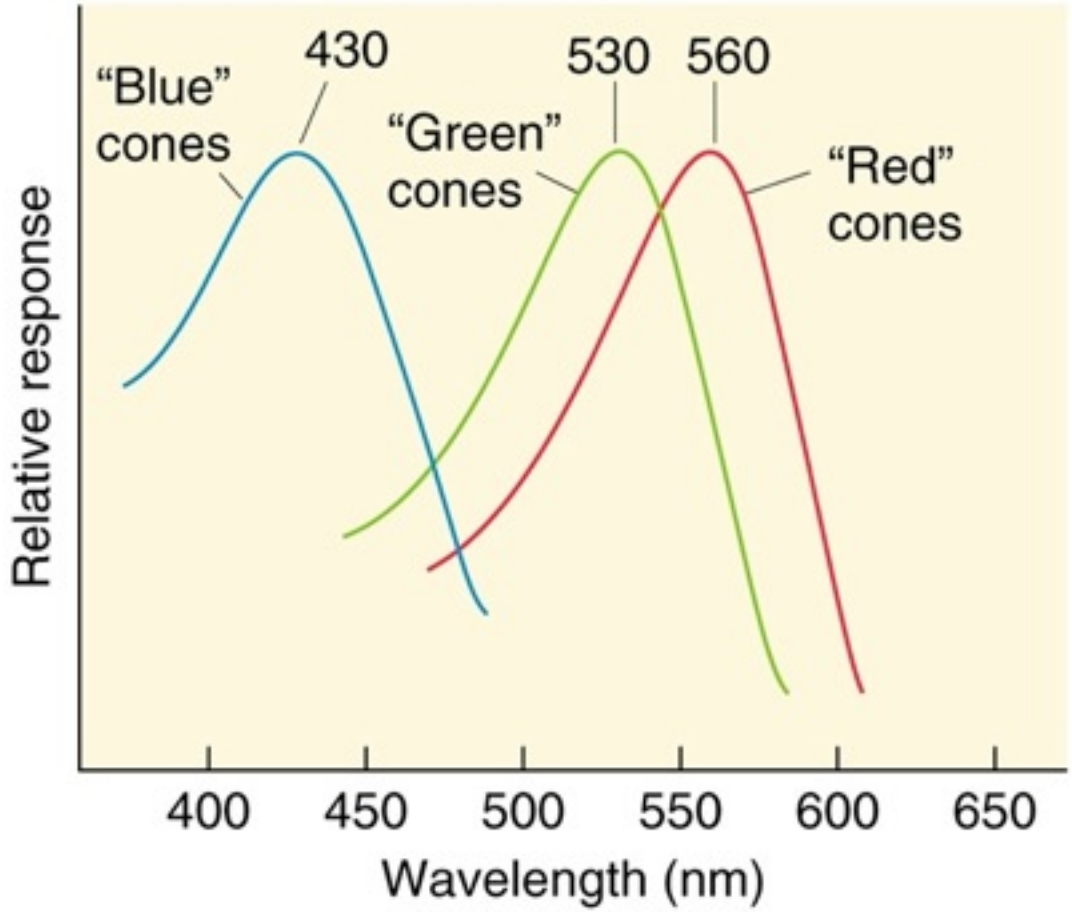
- Λιγότερο φωτοχρωστική
- Τρείς διαφορετικές χρωστικές (έγχρωμη όραση)
- Καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα
  - Κεντρικό βοθρίο
  - Συνδεσιμότητα ένα προς ένα
- Καλύτερη χρονική διακριτική ικανότητα
  - Ταχεία απόκριση
  - Έως και 55 Hz ταλαντώσεις

Φωτοχρωστική



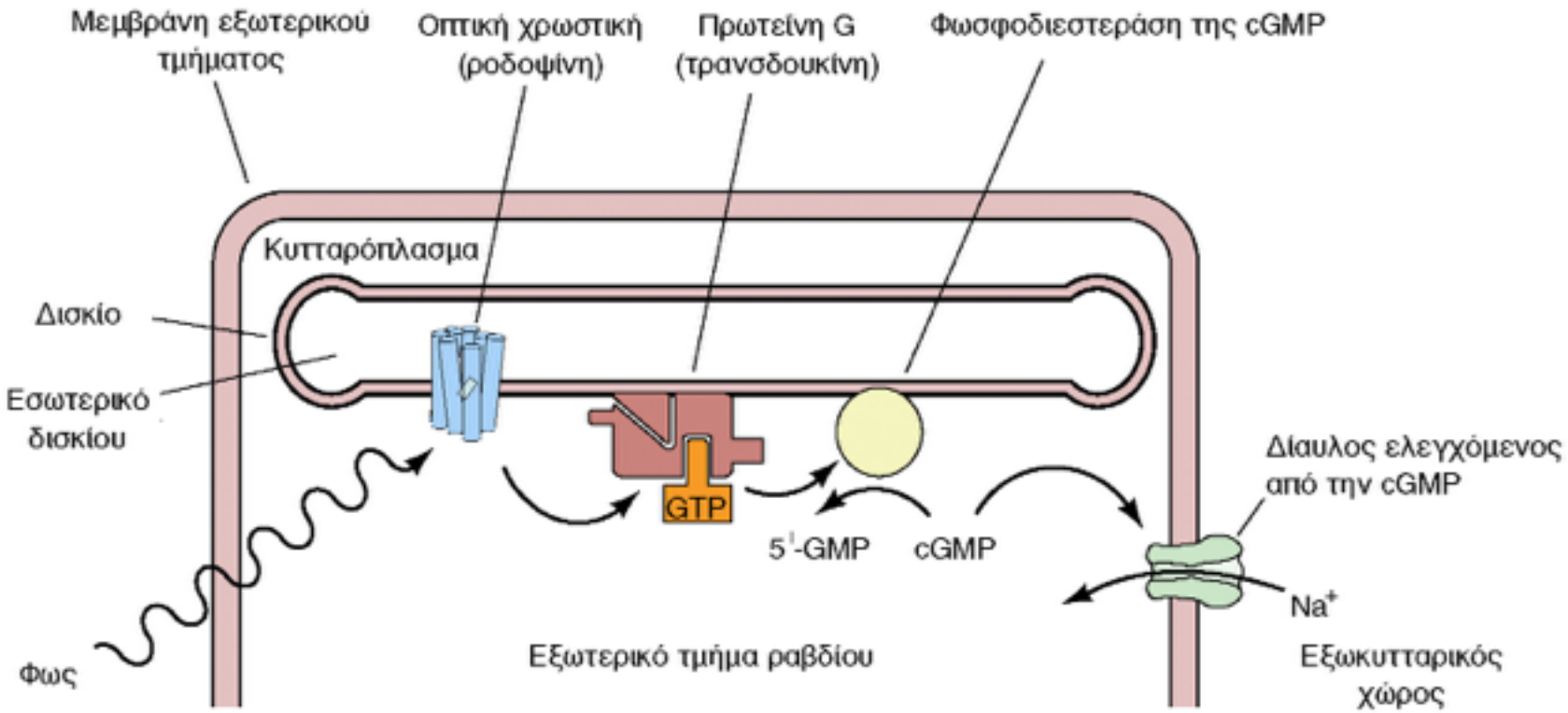
- Οψίνη
- Ρετινάλη → φωτοαπορροφητικό μέρος
- cis-ρετινάλη: μη ενεργοποιημένη
- trans-ρετινάλη: ενεργοποιημένη

Φωτομετατροπή - Κωνία



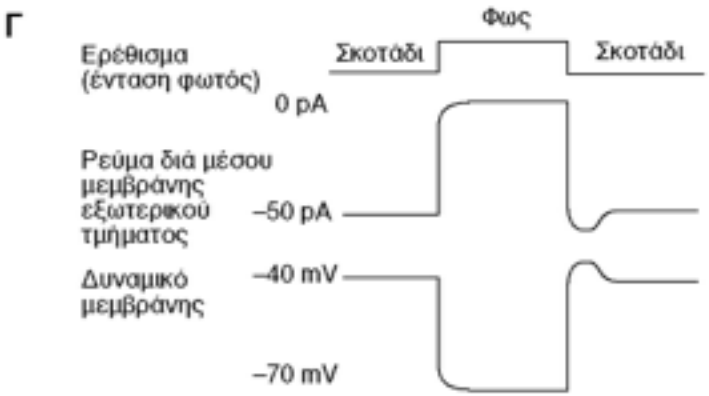
Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Ed, Bear, Connors, and Paradiso Copyright © 2007 Lippincott Williams & Wilkins

Φωτομετατροπή
Ενδοκυττάρια μεταφορά σήματος



Αλλαγή στο δυναμικό της μεμβράνης

Εικόνα 22-5B Η ελάττωση της κυτταροπλασματικής συγκέντρωσης της cGMP κλείνει τους ελεγχόμενους από την cGMP διαύλους.



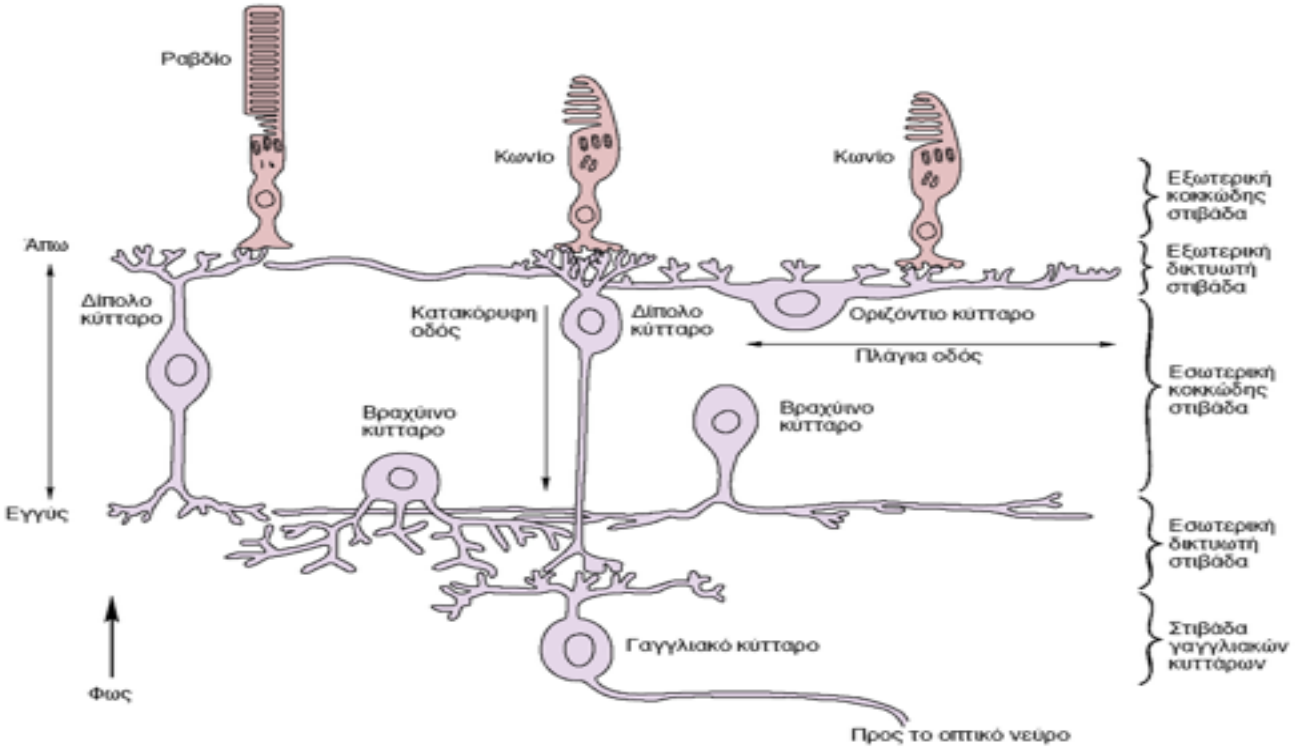
Εικόνα 22-5Γ Ένα σκοτεινό ρεύμα 50 pA καταστέλλεται από έντονο φως, το οποίο υπερπολώνει το κύτταρο στα –70 mV, δηλαδή στο δυναμικό ισορροπίας για τα K^+. Το φως ενδιάμεσης έντασης υπερπολώνει το κύτταρο σε δυναμικά μεταξύ –40 και –70 mV.

Προσαρμογή στο φως

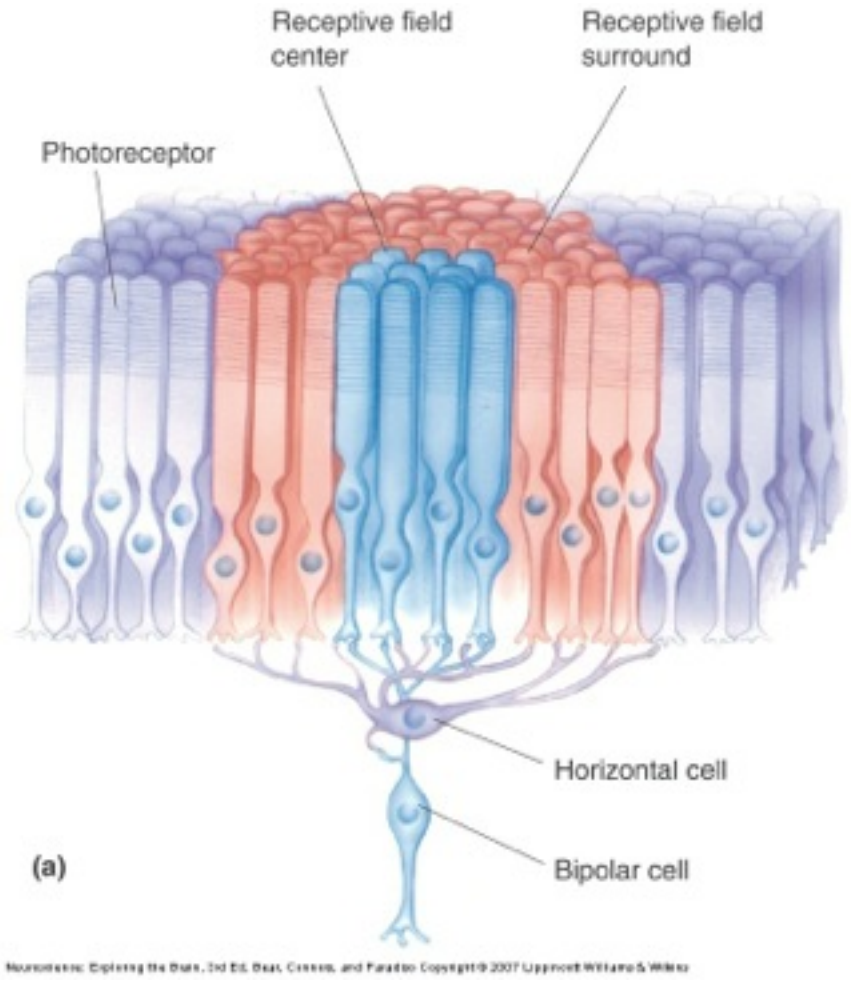
- Μεταφορά από σκοτάδι σε φως
- Εκτυφλωτικό φως ➔ μεγάλη υπερπόλωση των κυττάρων, μη ανταπόκριση σε περαιτέρω αύξηση της έντασης του φωτός
- Διατήρηση της φωτεινότητας ➔ αργή εκπόλωση (-70mV με -40mV)

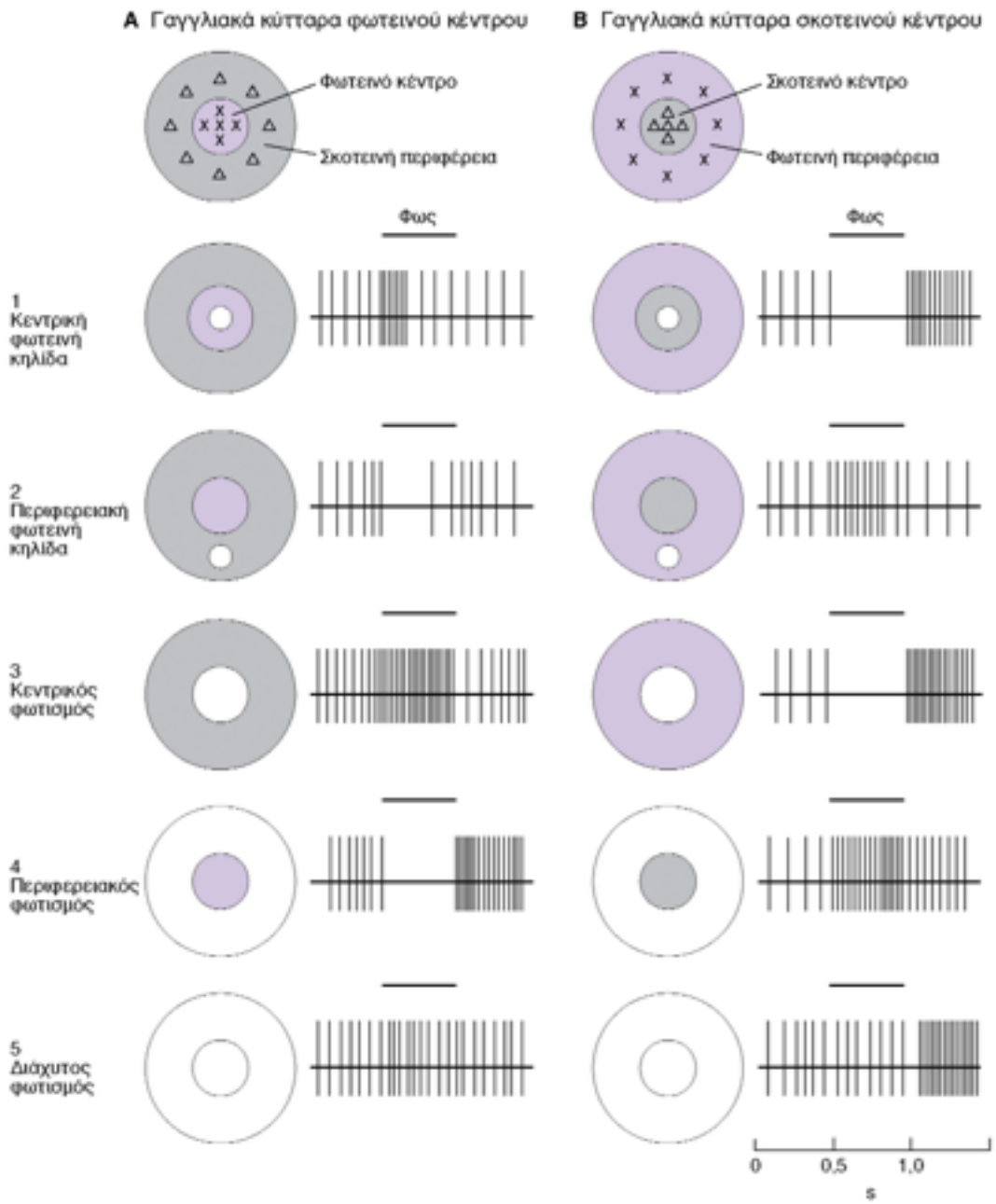
Είδη κυττάρων στον αμφιβληστροειδή

Μεταφορά σήματος στα γαγγλιακά κύτταρα



Υποδεκτικά πεδία των γαγγλιακών κυττάρων



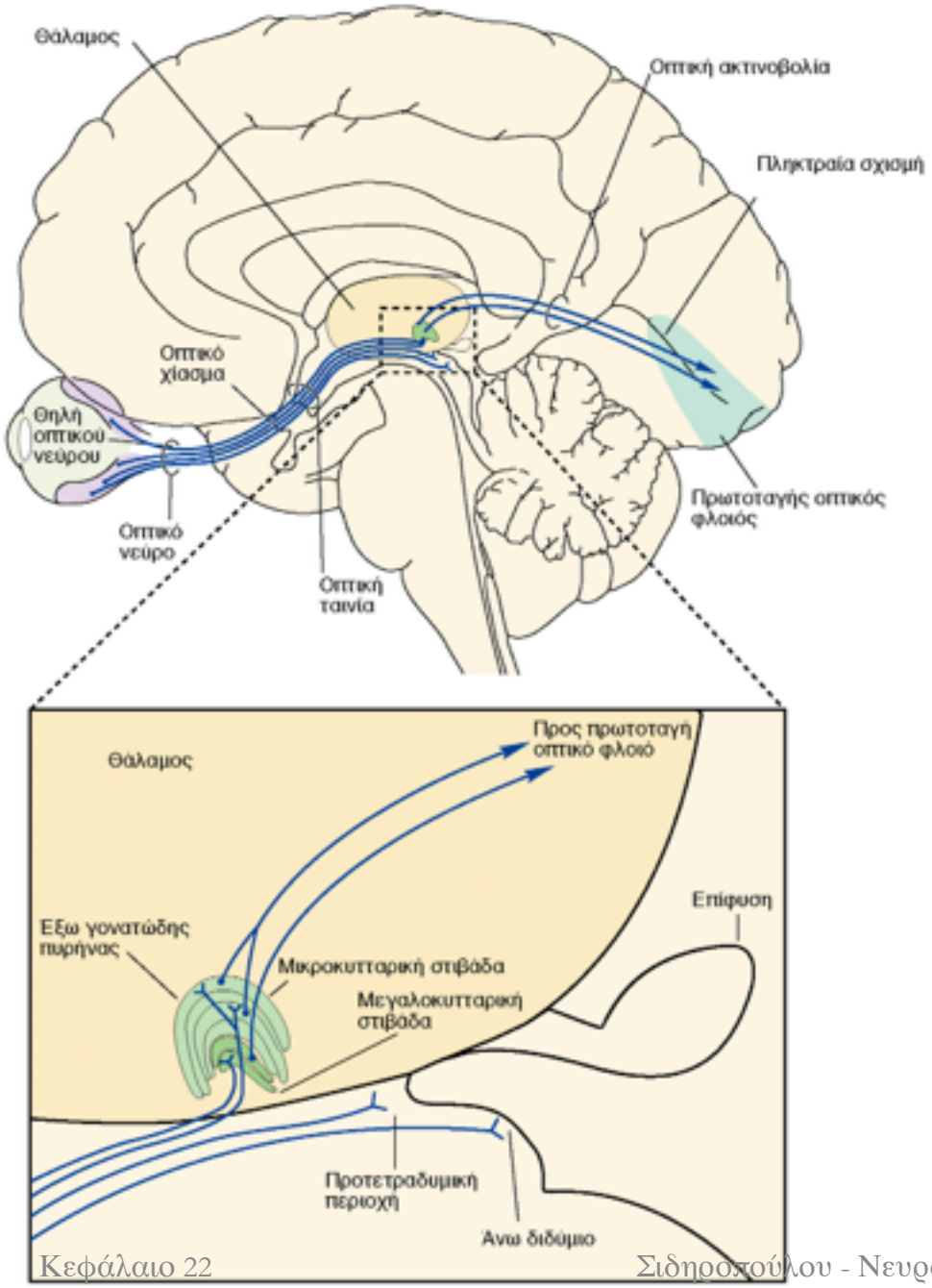


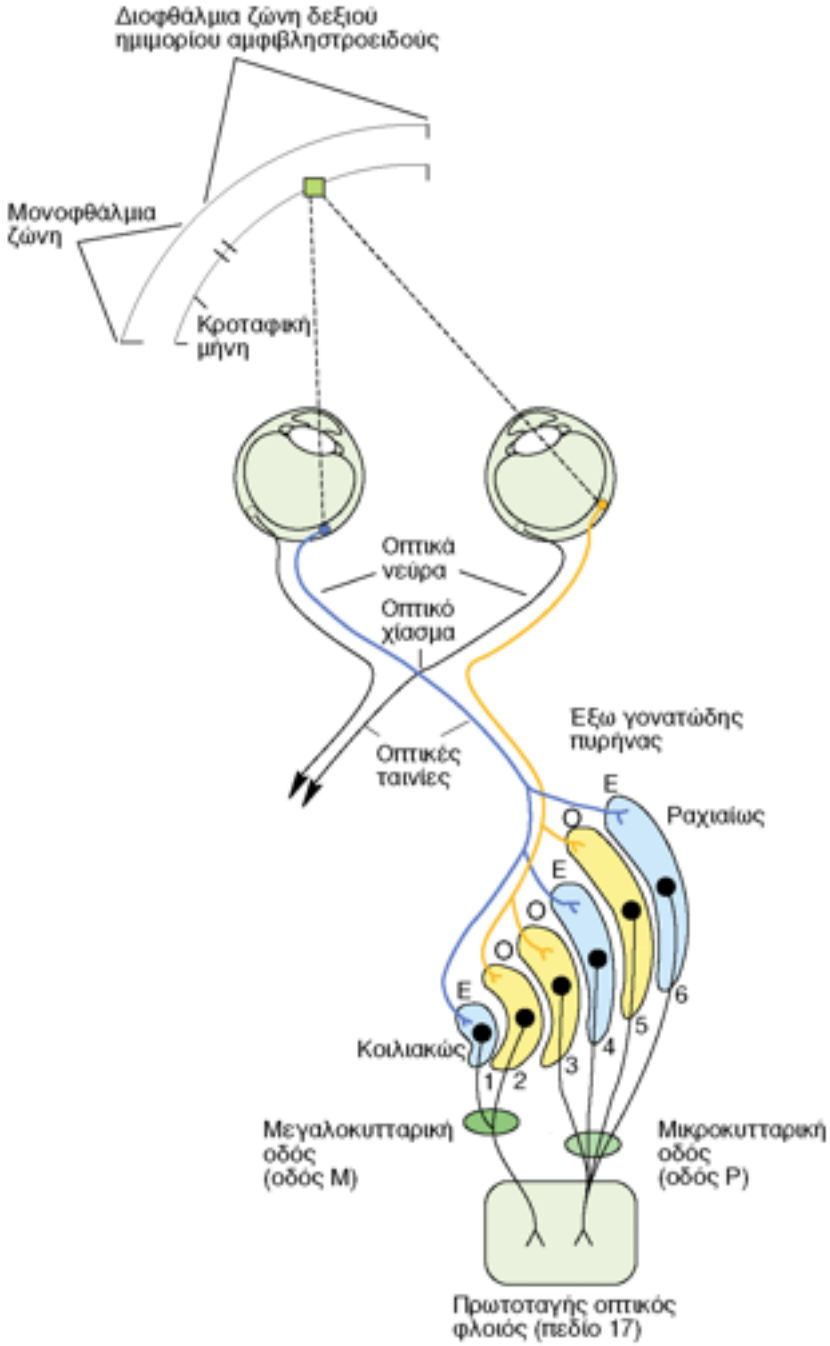
Υποδεκτικά πεδία φωτεινού και σκοτεινού κέντρου

- Εμφανίζουν μεγαλύτερη πυροδότηση όταν υπάρχει διαφορετική ένταση φωτός στο κέντρο και στην περιφέρεια (αντίθεση)

- Ανταποκρίνονται κάλλιστα στην ταχεία αύξηση ή μείωση του φωτισμού

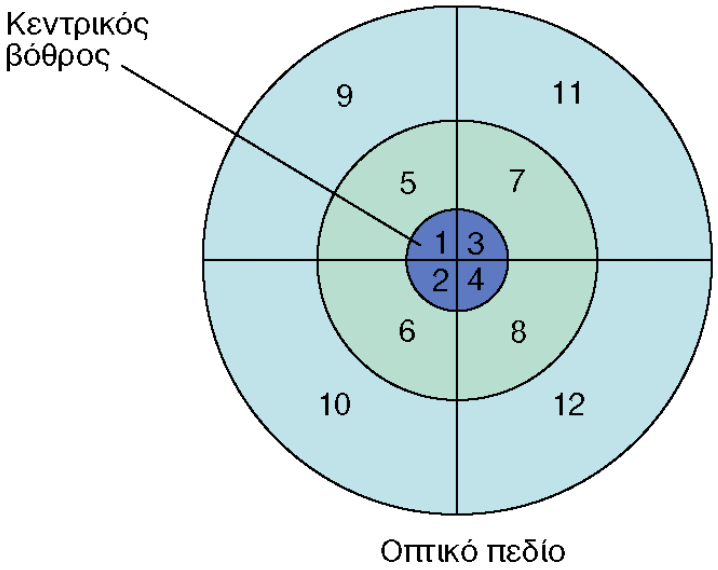
Αμφίπλευρη προβολή του αμφιβληστροειδούς

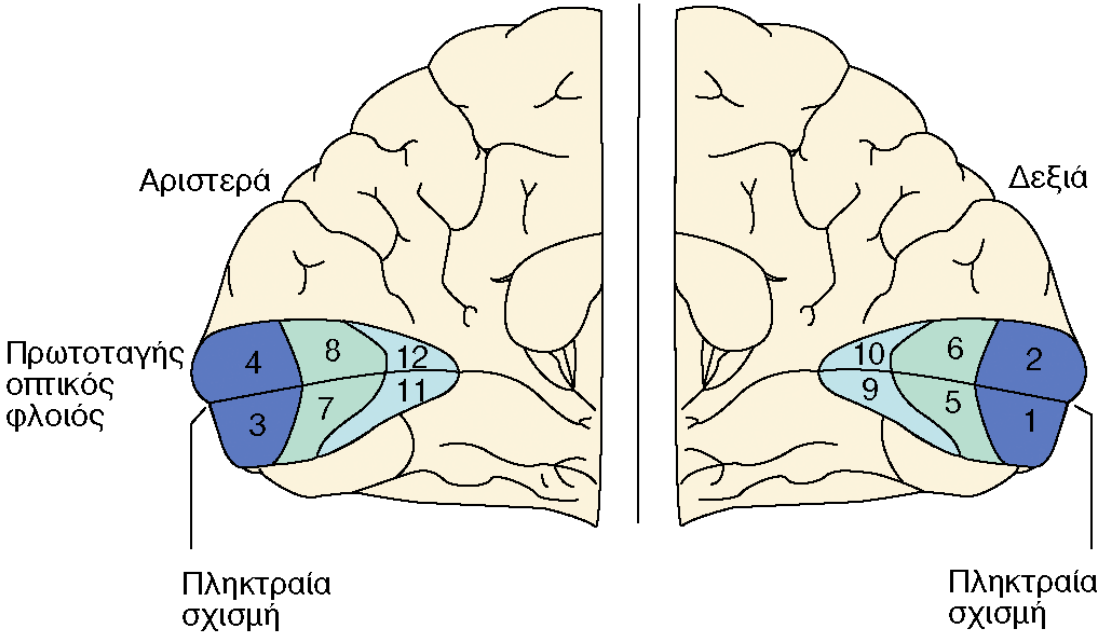




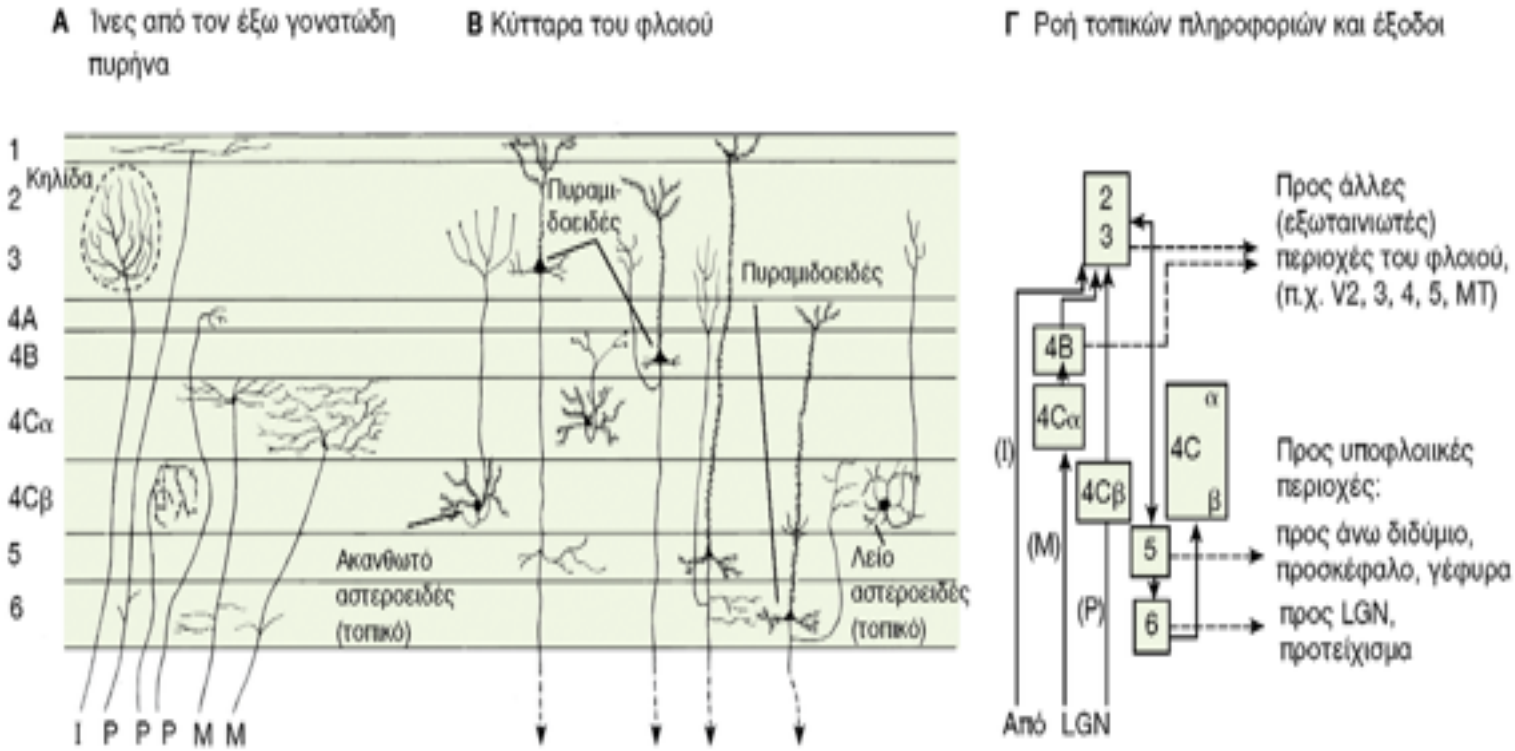
Αμφίπλευρη προβολή του αμφιβληστροειδούς

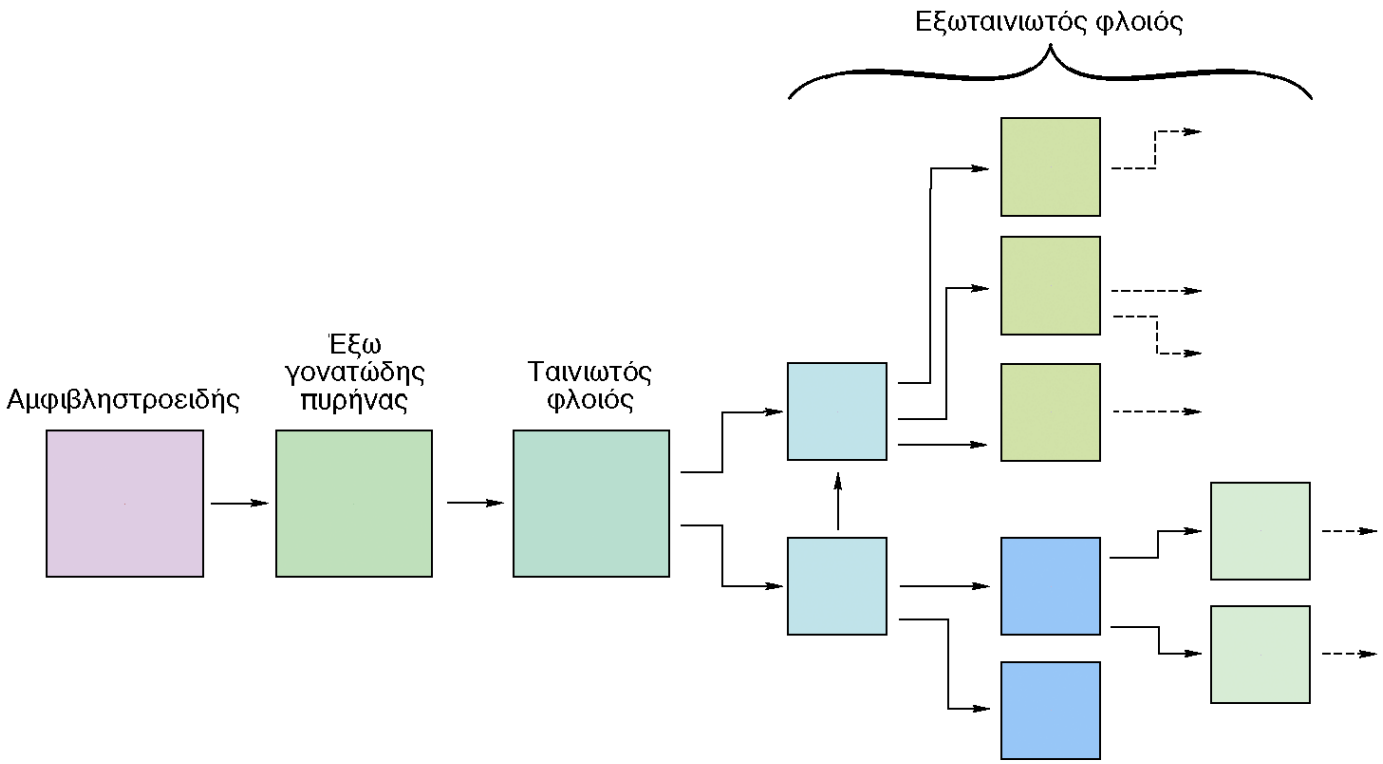
Αντιπροσώπευση του οπτικού πεδίου στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό





Προβολή στο πρωτοταγή οπτικό φλοιό



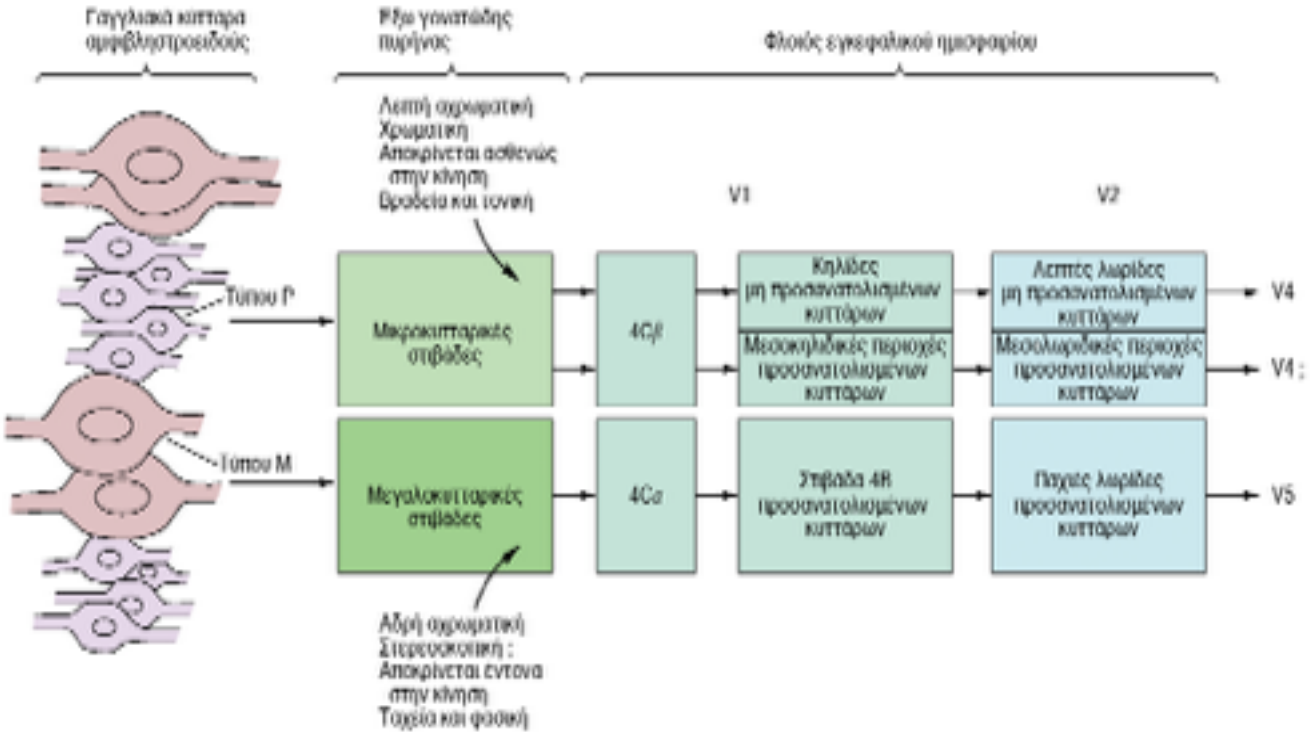


Εικόνα 21-10 Οι παράλληλες οδοί του οπτικού συστήματος. Κάθε δομή, με τη μορφή ενός πλαισίου, αποτελείται από εκατομμύρια κυττάρων, αθροισμένων σε πέταλα. Κάθε δομή δέχεται πληροφορίες από μία ή περισσότερες δομές σε κατώτερα επίπεδα της οδού και στέλνει πληροφορίες σε περισσότερες δομές ανώτερων επιπέδων. Η οδός ακολουθείται μόνο για τέσσερα ή πέντε επίπεδα πέρα από τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό. (Από Hubel, 1988.)

Εξειδίκευση των γαγγλιακών κυττάρων

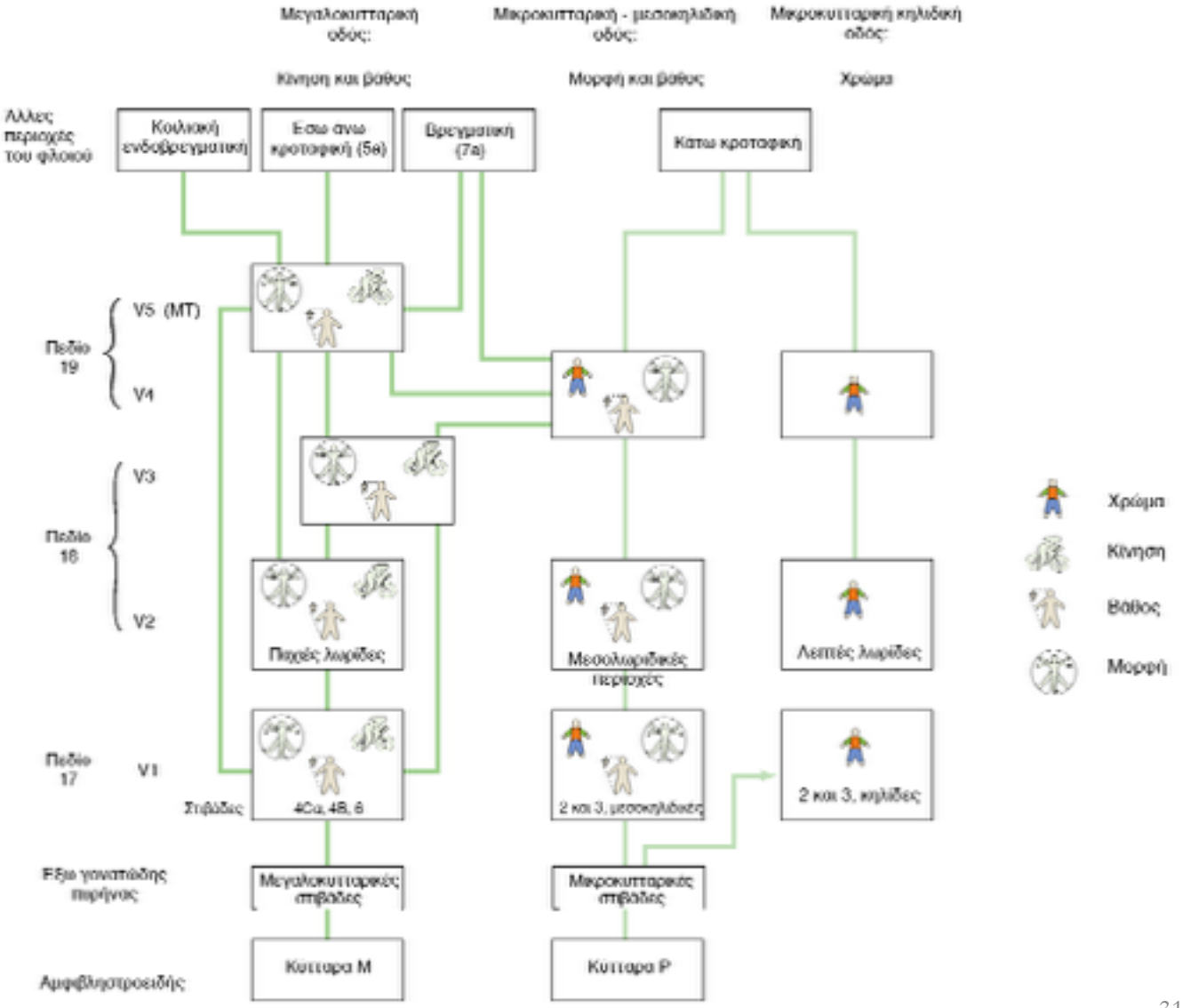
- M (magni)
  - Μεγάλο υποδεκτικό πεδίο
  - Παροδική απόκριση στο συνεχή φωτισμό
  - Αποκρίνονται σε ερεθίσματα από μεγάλα αντικείμενα
  - Έχουν σχέση με την ανάλυση των αδρών χαρακτηριστικών του ερεθίσματος και της κίνησης
- P (parvi)
  - Μικρόυποδεκτικό πεδίο
  - Λεπτομέρειες
  - Μορφή και χρώμα

Παράλληλες οδοί

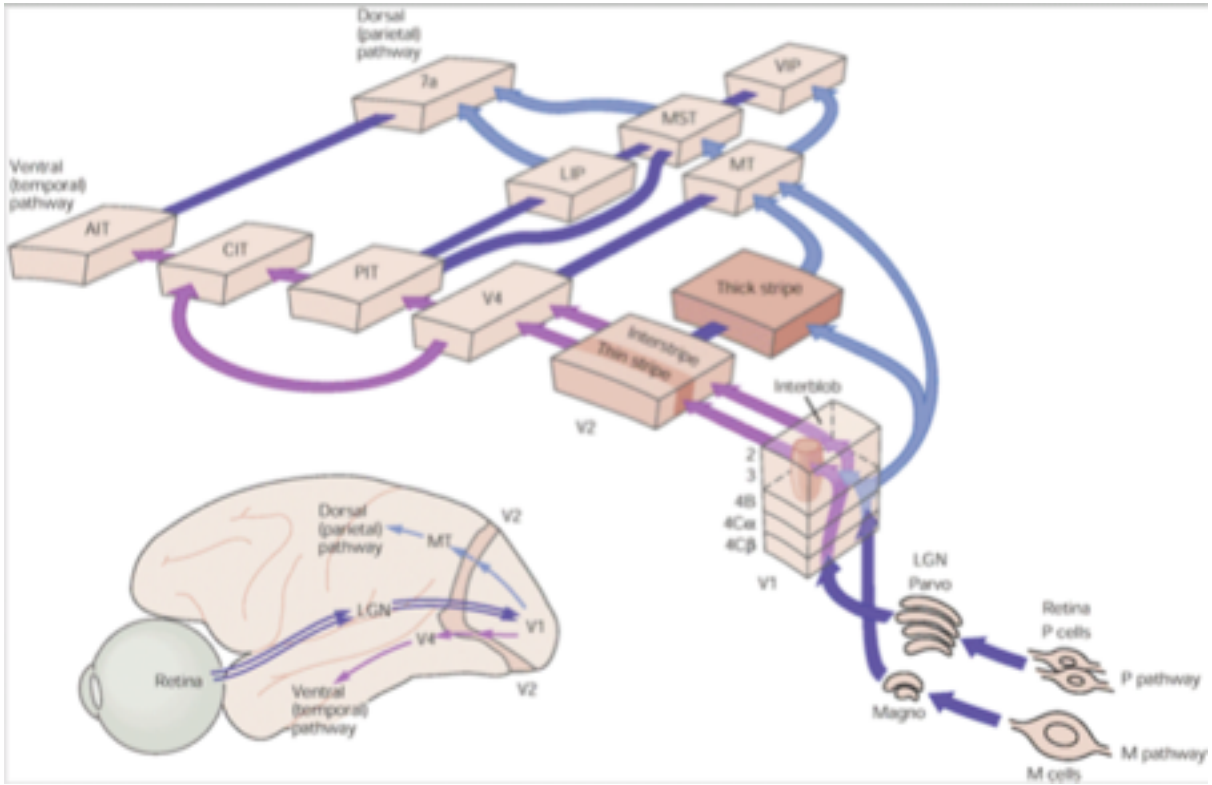


Εικόνα 21-12 Τρεις κύριες παράλληλες οδοί για την οπτική αντίληψη αρχίζουν από τον έξω γονατώδη πυρήνα. Κάθε οδός έχει σχέση με ένα είδος οπτικής πληροφορίας (βλ. Εικόνα 21-14). (Από Livingstone και Hubel, 1984, τροποποιημένη.)

Παράλληλες οδοί



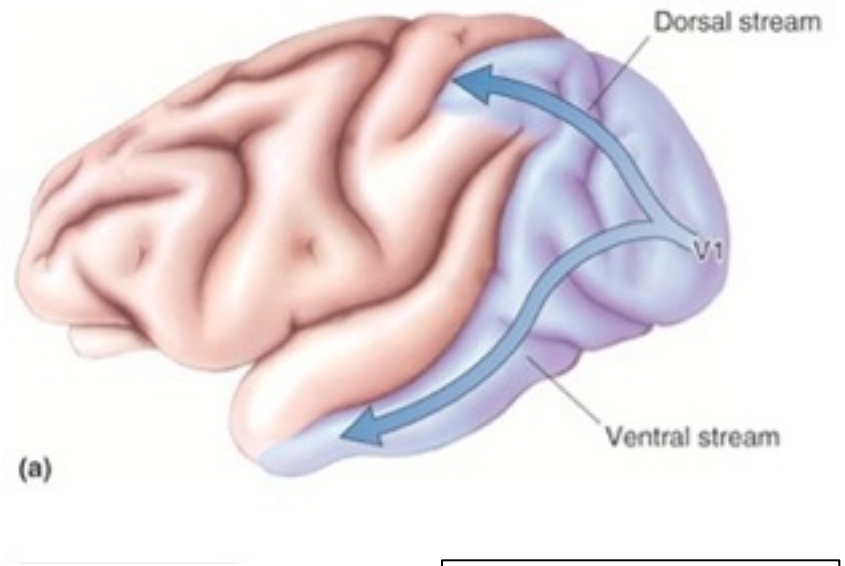
Ραχιαία και κοιλιακή οδός



Πού;

Ανάλυση κίνησης
Χωρική όραση

- Μικρή διακριτική ικανότητα
- Δεν περιέχει πληροφορία χρώματος
- Γρήγορη μετάδοση

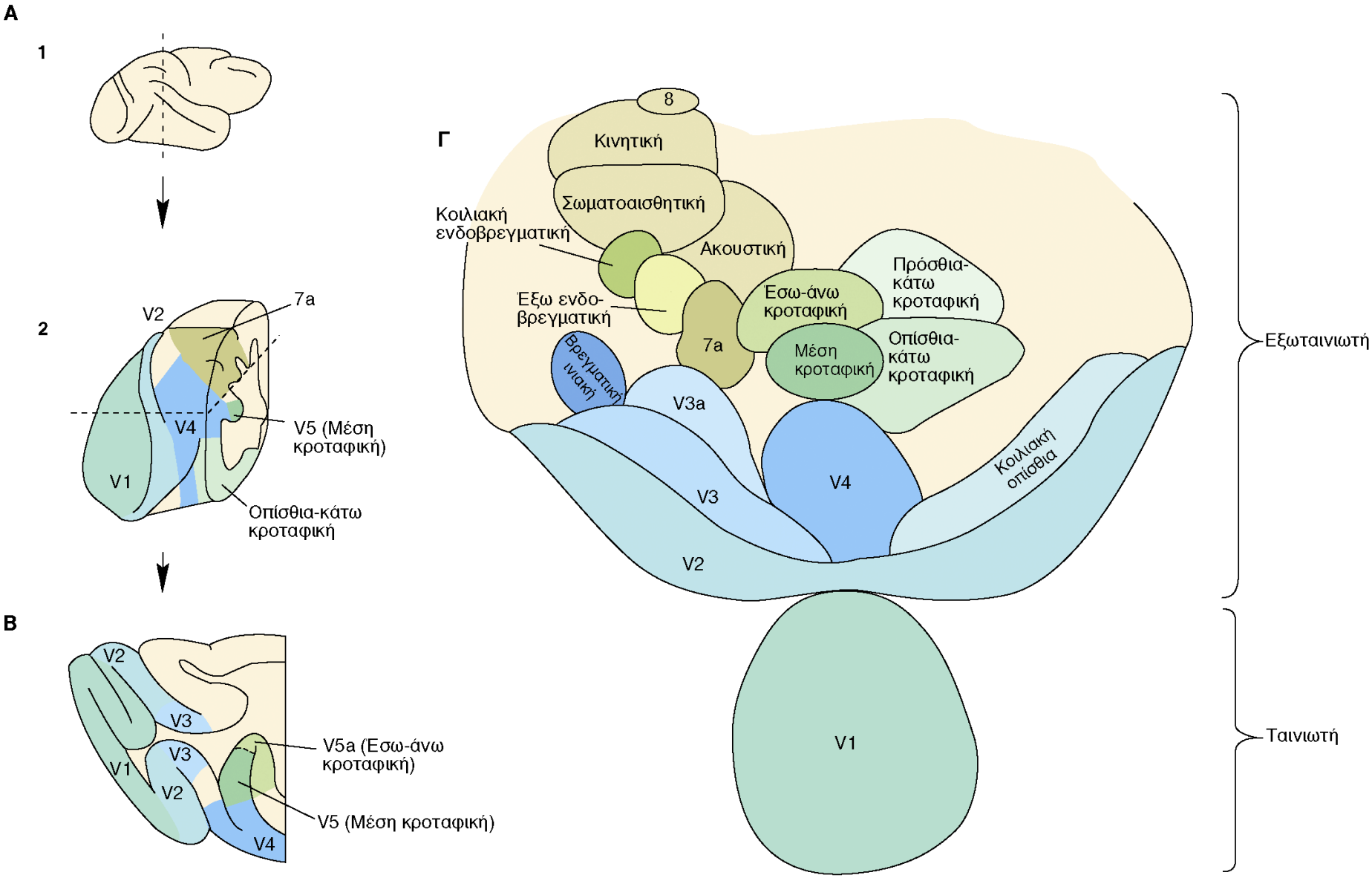


Τι;

Αναγνώριση αντικειμένων

Υψηλή διακριτική ικανότητα
Ευαίσθητο στο χρώμα
Αργή μετάδοση

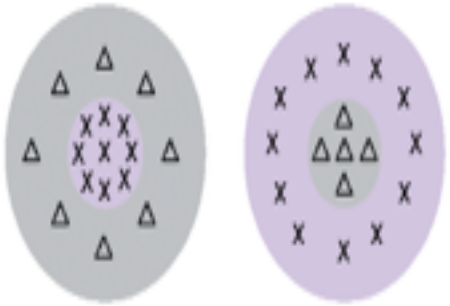
Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Ed, Bear, Connors, and Paradiso Copyright © 2007 Lippincott Williams & Wilkins


A
1
2
V2
7a
V4
V5 (Μέση κροταφική)
V1
Οπίσθια-κάτω κροταφική
B
V2
V3
V3
V1
V2
V5a (Εσω-άνω κροταφική)
V5 (Μέση κροταφική)
V4
Γ
8
Κινητική
Σωματοαισθητική
Κοιλιακή ενδοβρεγματική
Ακουστική
Πρόσθια-κάτω κροταφική
Έξω ενδο-βρεγματική
Εσω-άνω κροταφική
7a
Μέση κροταφική
Οπίσθια-κάτω κροταφική
Βρεγματική ινιακή
V3a
V4
Κοιλιακή οπίσθια
V3
V2
V1
Εξωταινιωτή
Ταινιωτή

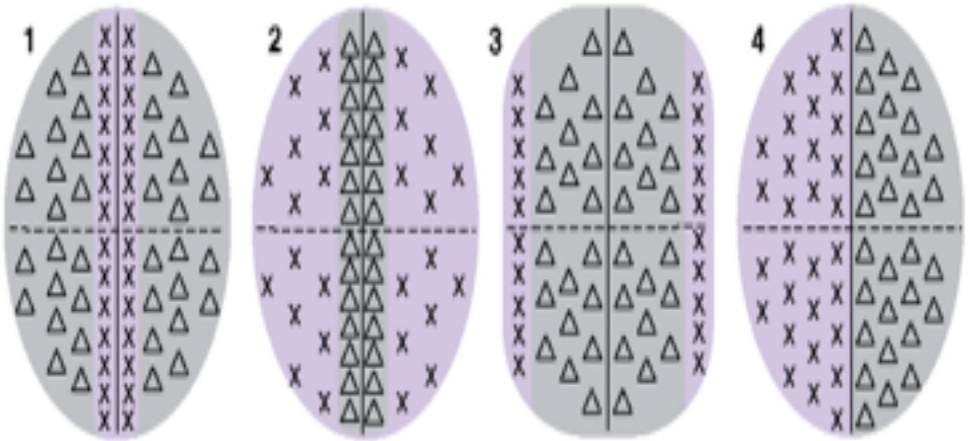
Υποδεκτικά πεδία απλών κυττάρων του οπτικού φλοιού

A Ομοκεντρικά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς και του έξω γονατώδους πυρήνα, καθώς και αστεροειδή κύτταρα του φλοιού

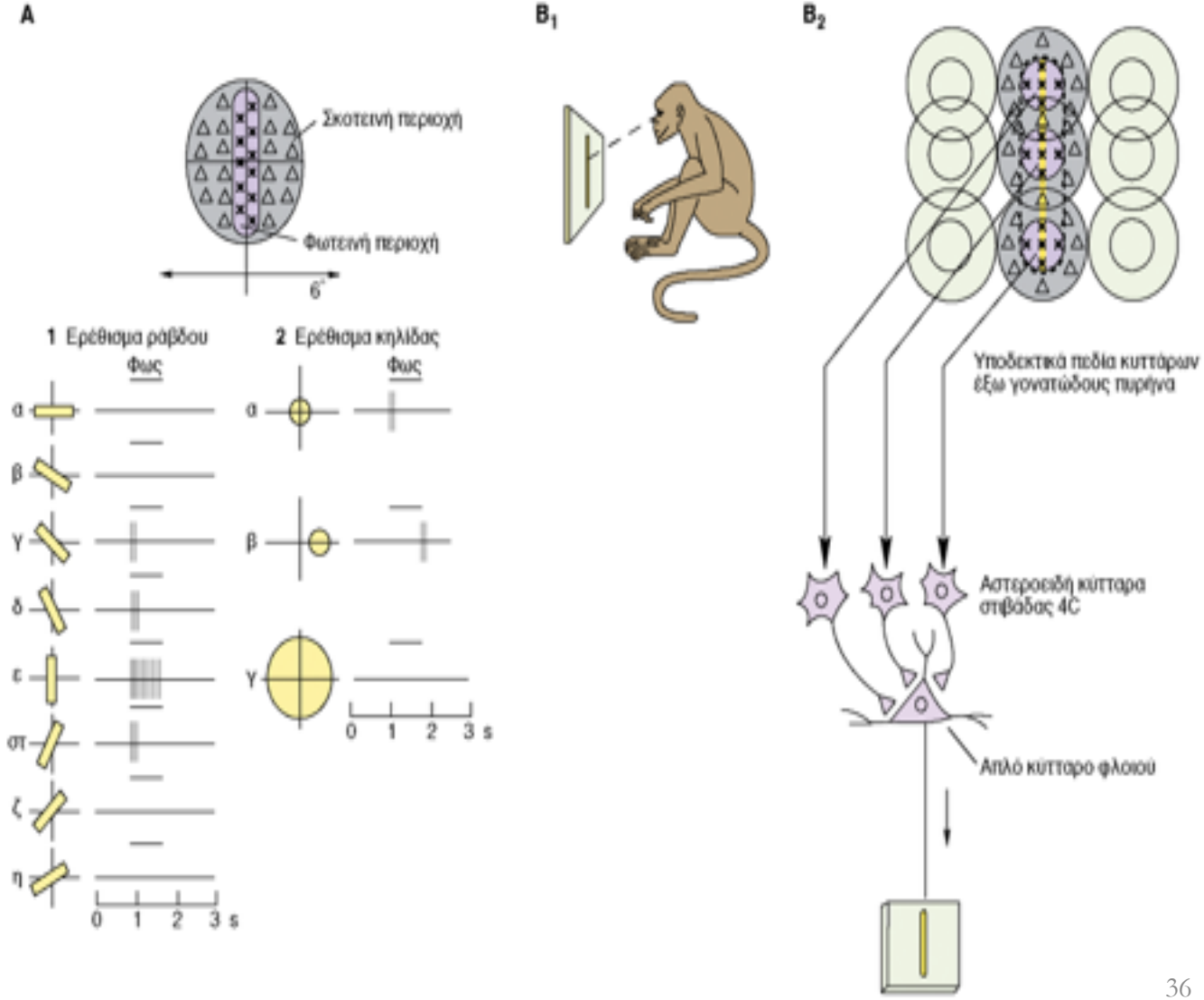
1 Φωτεινού κέντρου **2** Σκοτεινού κέντρου



B Απλά κύτταρα του φλοιού

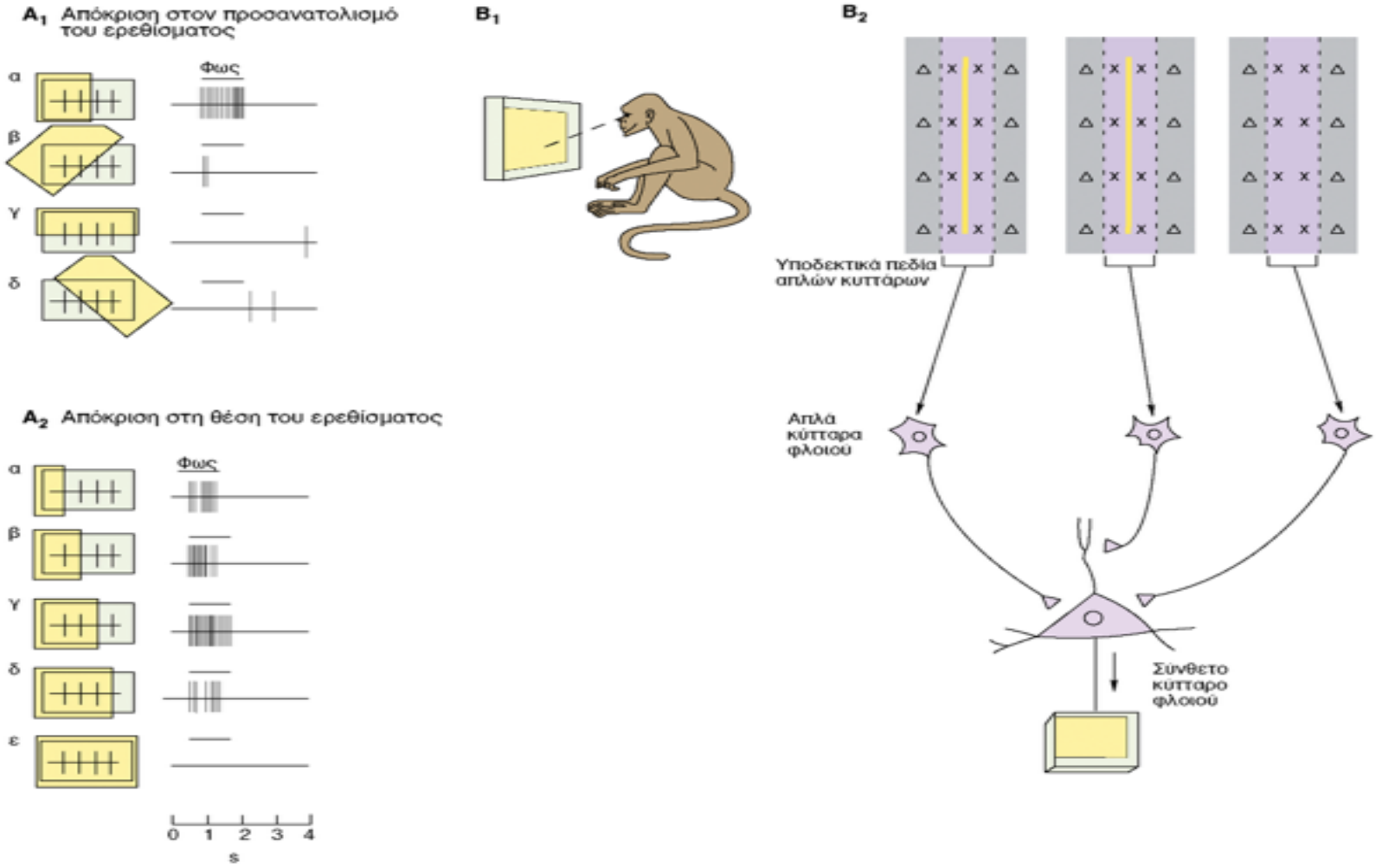


Υποδεκτικά πεδία απλών κυττάρων του οπτικού φλοιού

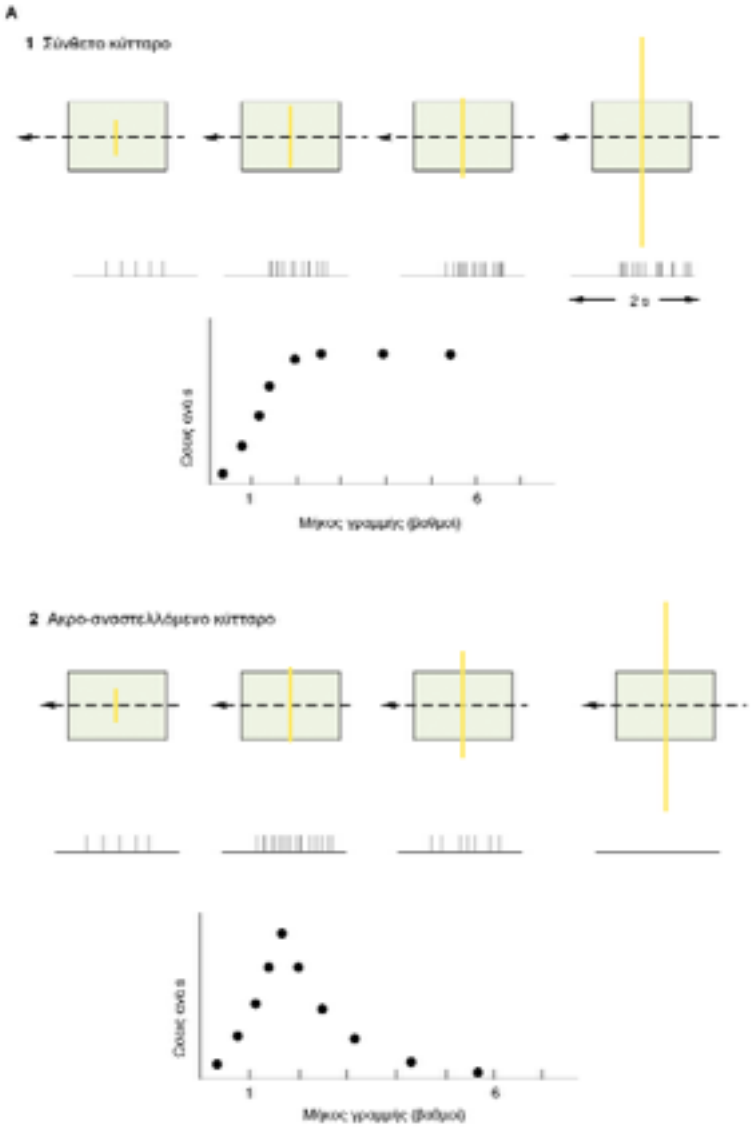


Σύνθετα κύτταρα του φλοιού

υποδεκτικά πεδία χωρίς σαφή όρια



Ακρο-αναστελλόμενα κύτταρα



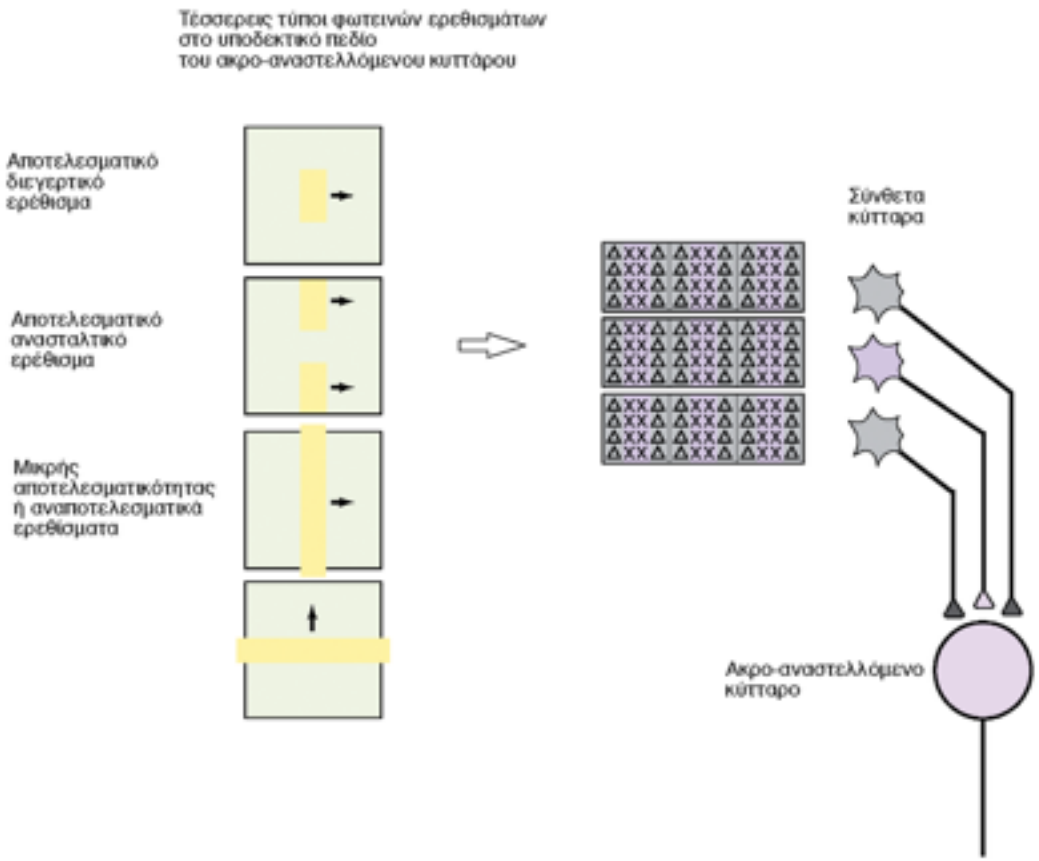
Εικόνα 23-12 Τα ακρο-αναστελλόμενα κύτταρα είναι ανώτερης τάξης σύνθετα κύτταρα που έχουν σχέση με τα χείλη, τις γωνίες και τις καμπύλες. (Από Hubel και Wiesel, 1965, τροποποιημένη.)

A. Τα κύτταρα του οπτικού φλοιού αποκρίνονται επιλεκτικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή μηκών μιας κατακόρυφης φωτεινής γραμμής. **1.** Η απόκριση αυτού του σύνθετου κυττάρου αυξάνεται καθώς το μήκος της γραμμής αυξάνεται μέχρι 2° περίπου, ενώ έπειτα δεν υπάρχει μεταβολή. **2.** Η απόκριση αυτού του ακρο-αναστελλόμενου κυττάρου βελτιώνεται, καθώς η γραμμή αυξάνεται μέχρι 2°, αλλά κατόπιν μειώνεται, έτσι ώστε μια γραμμή 6° ή μεγαλύτερη δεν προκαλεί απόκριση.

(συνεχίζεται)

Υποδεκτικά πεδίο ακρο-αναστελλόμενων

Β Υποδεκτικό πεδίο ενός ακρο-αναστελλόμενου κυττάρου



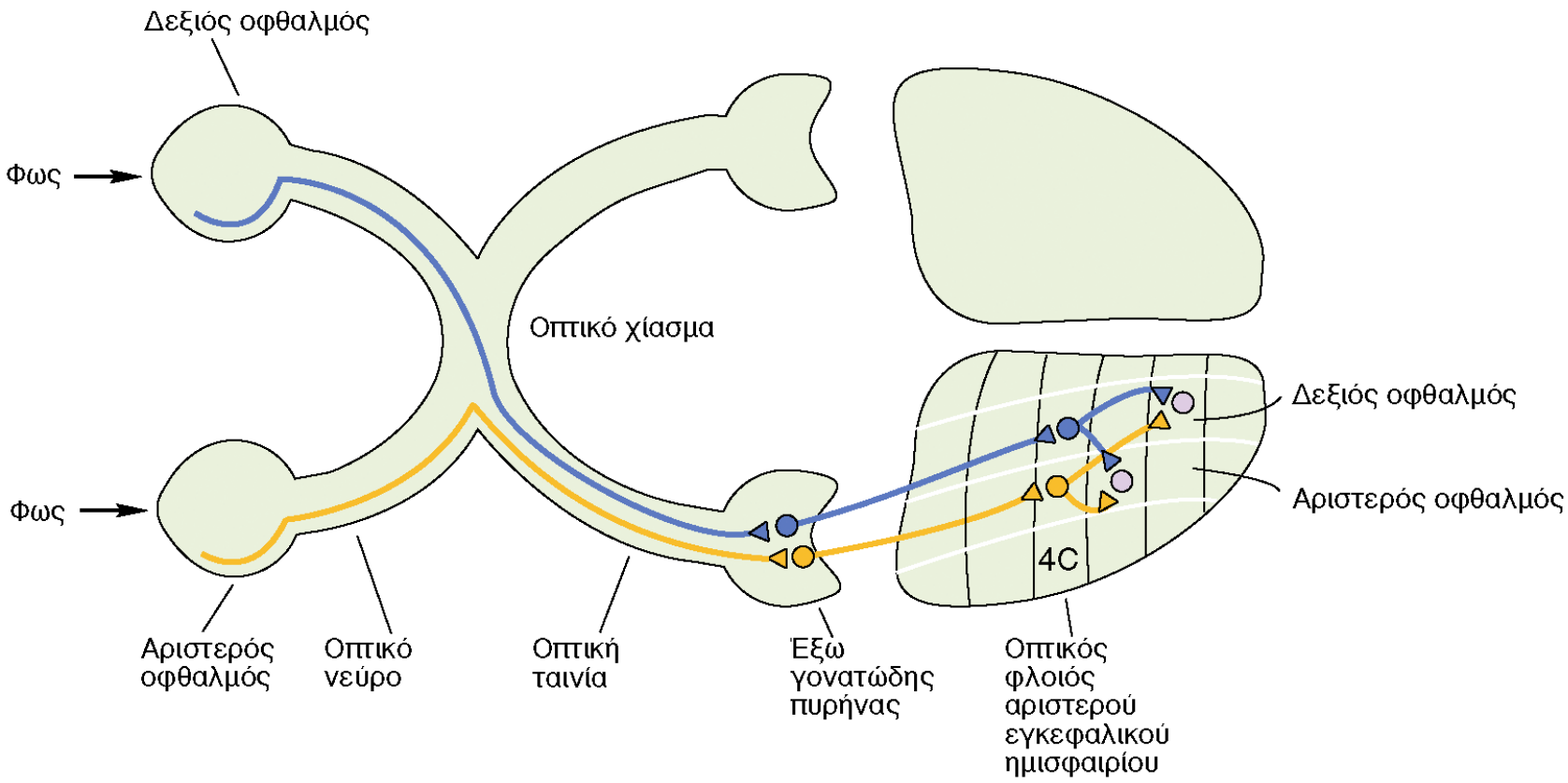
Εικόνα 23-12 (συνέχεια)
Β. Σχεδιάγραμμα των Hubel και Wiesel για τη δημιουργία του υποδεκτικού πεδίου των αναστελλόμενων και στα δύο άκρα κυττάρων. Τρία σύνθετα κύτταρα με όμοιες ιδιότητες υποδεκτικών πεδίων, τοποθετημένα το ένα κάτω από το άλλο, συγκλίνουν σε ένα κύτταρο το οποίο για τον λόγο αυτό καθίσταται ακρο-αναστελλόμενο. Δύο από τα σύνθετα κύτταρα είναι ανασταλτικά· το κεντρικό κύτταρο είναι διεγερτικό. **Αριστερά**: ένα ακρο-αναστελλόμενο κύτταρο αποκρίνεται διαφορετικά σε διαφορετικούς τύπους φωτεινών ερεθισμάτων στο υποδεκτικό πεδίο. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της κίνησης του ερεθίσματος.

Visual Cortex

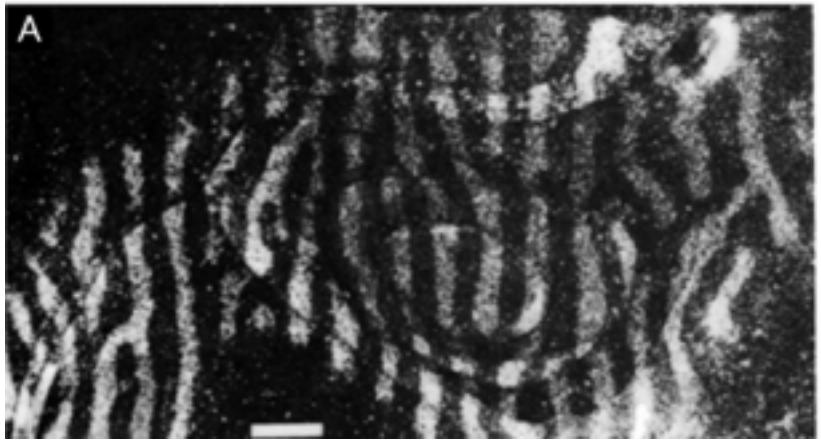
Mapping receptive fields

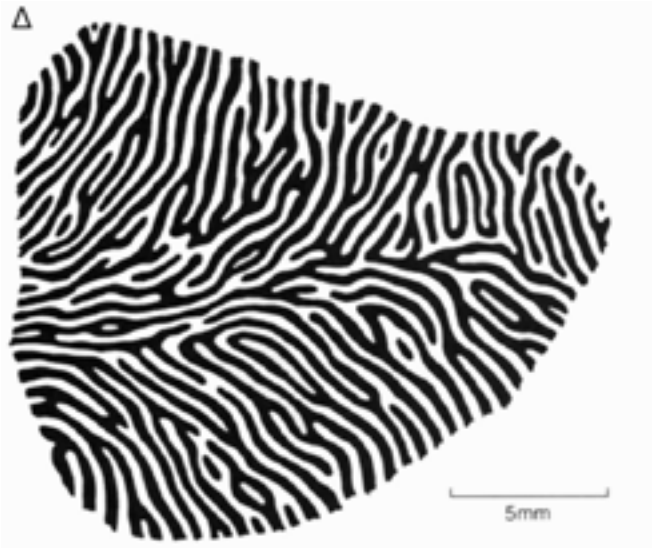
Οργάνωση πρωτοταγούς οπτικού φλοιού

- Στήλες οφθαλμικής επικράτησης
- Στήλες προσανατολισμού
- Κηλίδες


Δεξιός οφθαλμός
Φως
Φως
Οπτικό χίασμα
Δεξιός οφθαλμός
Αριστερός οφθαλμός
4C
Αριστερός οφθαλμός
Οπτικό νεύρο
Οπτική ταινία
Έξω γονατώδης πυρήνας
Οπτικός φλοιός αριστερού εγκεφαλικού ημισφαιρίου

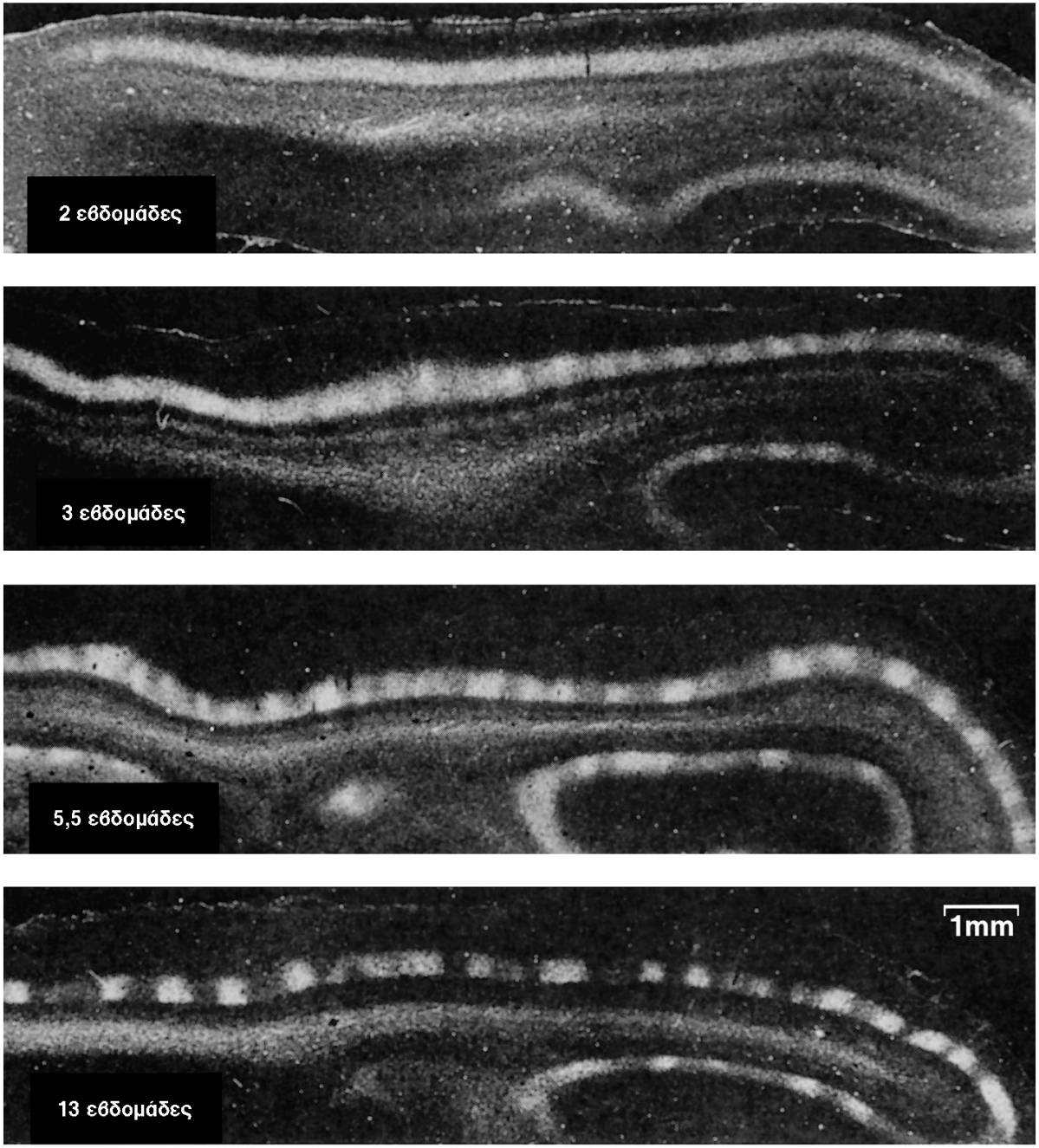
Στήλες οφθαλμικής επικράτησης



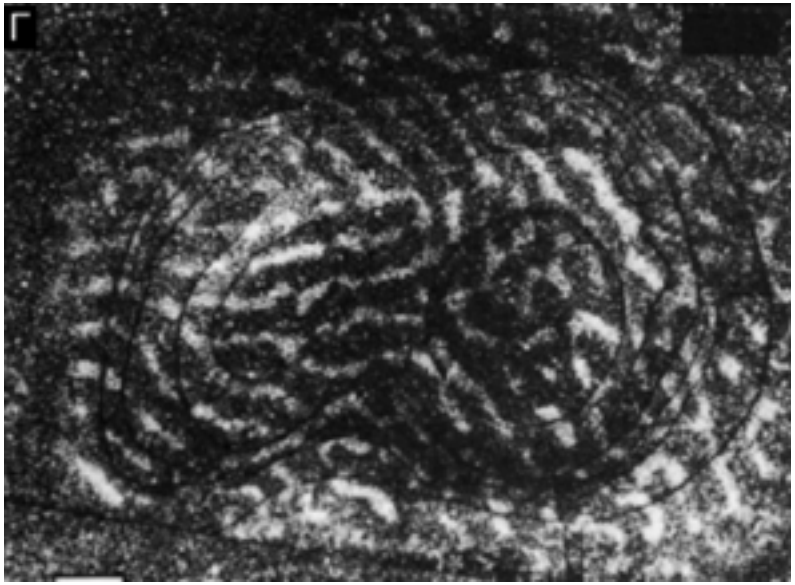


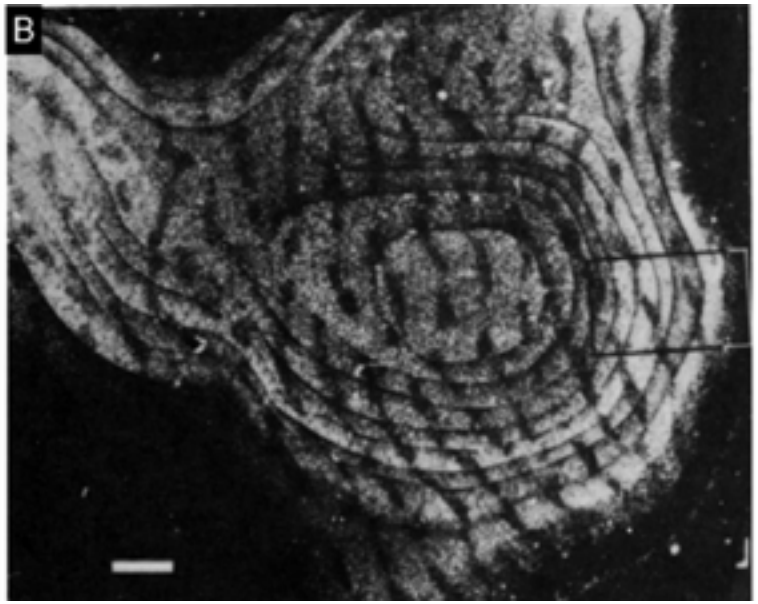
- Ένεση ραδιενεργούς αμινοξέως στον έναν οφθαλμό
- Μεταφορά στις συνάψεις
- Παρατήρηση στον οπτικό φλοιό

Ανάπτυξ των στηλών οφθαλμικής επικράτησης

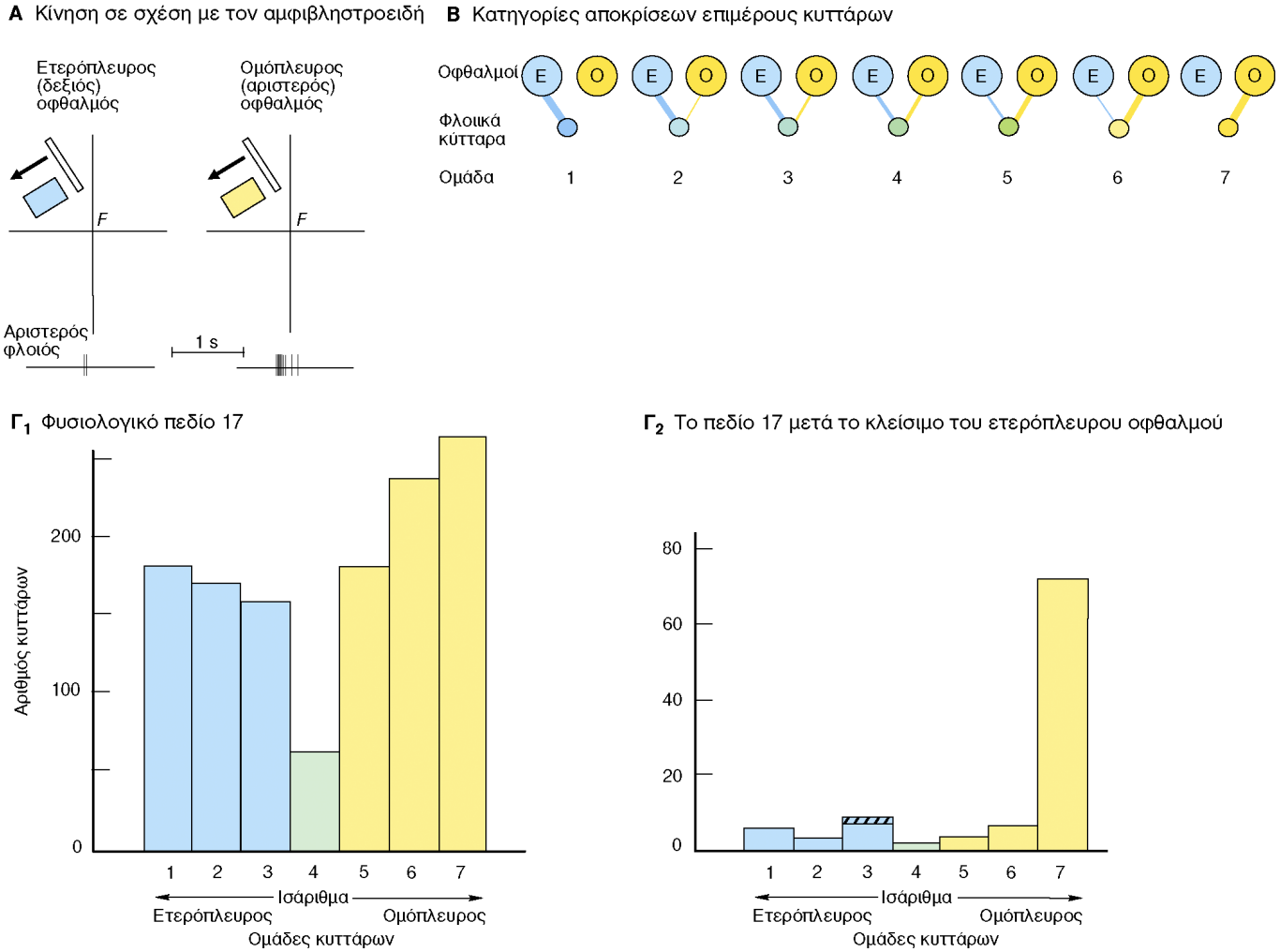


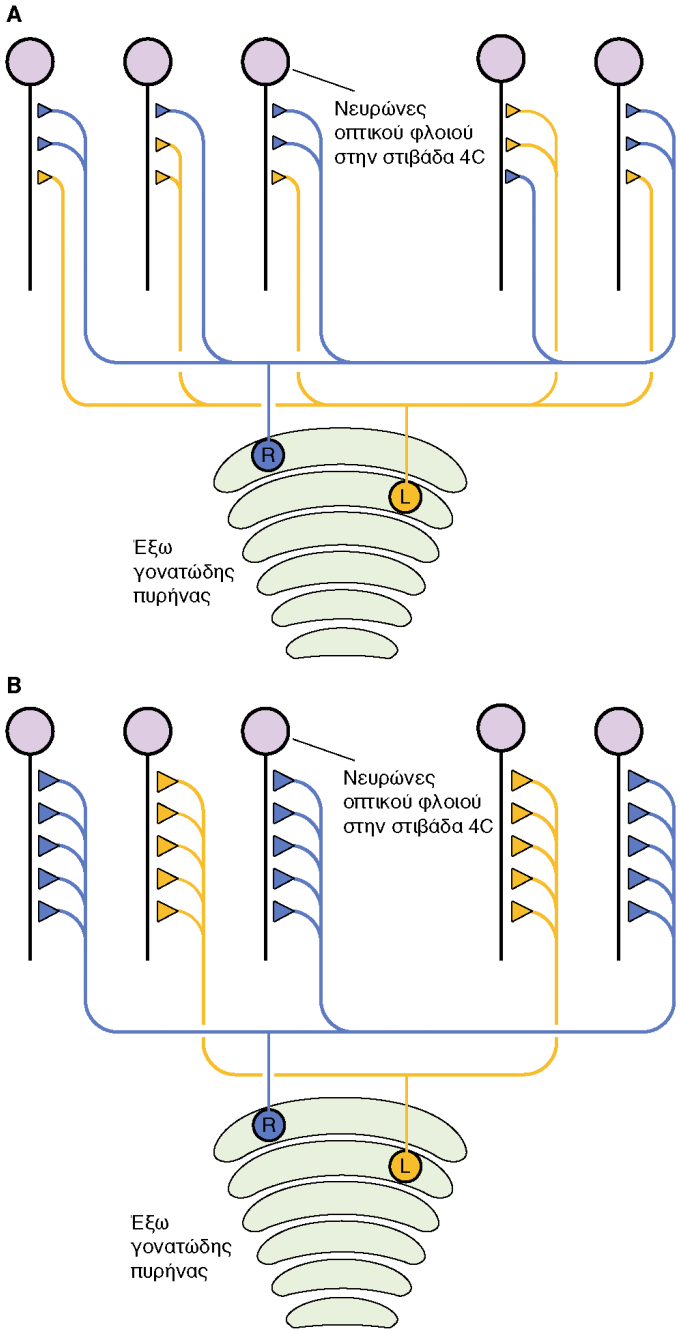
Πλαστικότητα των στηλών οφθαλμικής επικράτησης





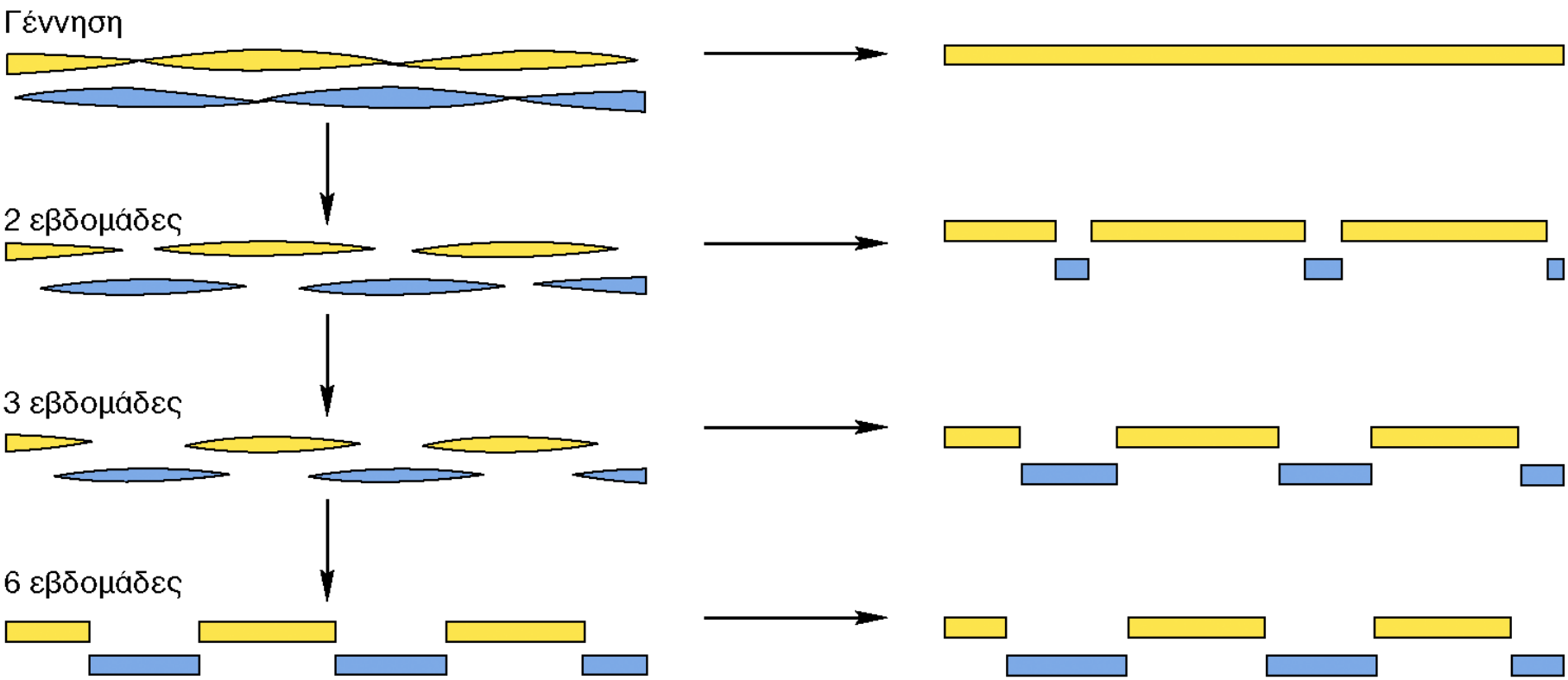
Λειτουργική μελέτη της πλαστικότητας των στηλών οφθαλμικής επικράτησης



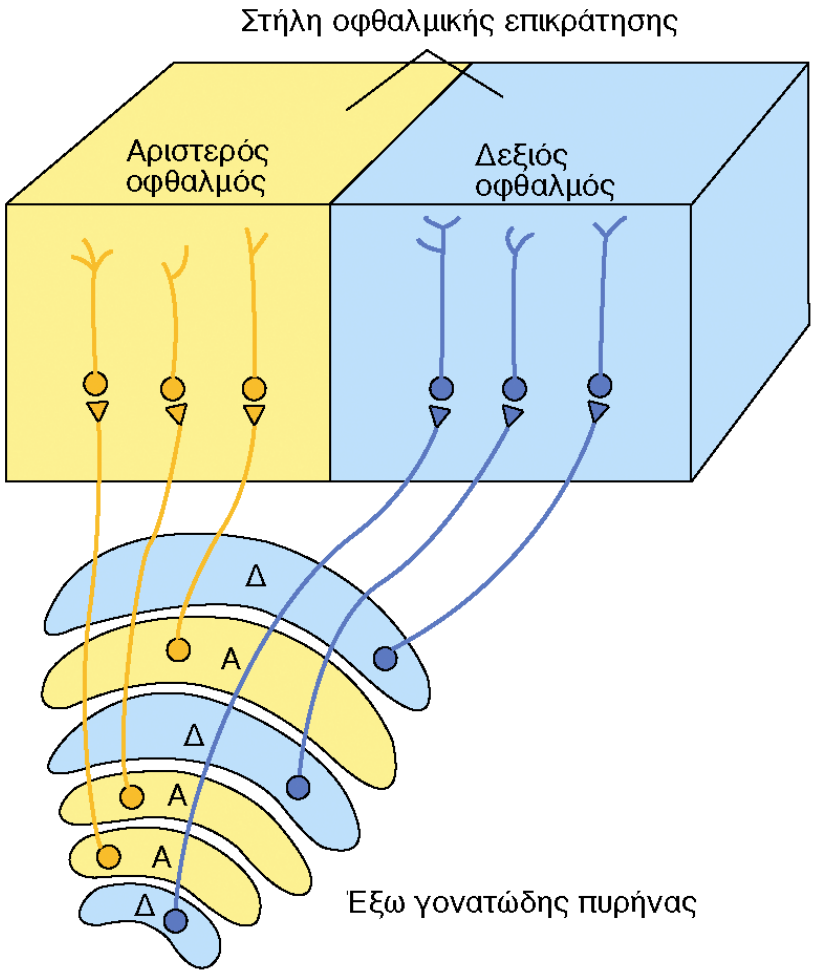

A
Νευρώνες
οπτικού φλοιού
στην στιβάδα 4C
R
L
Έξω
γονατώδης
πυρήνας
B
Νευρώνες
οπτικού φλοιού
στην στιβάδα 4C
R
L
Έξω
γονατώδης
πυρήνας

Σχέδια φυσιολογικής ανάπτυξης

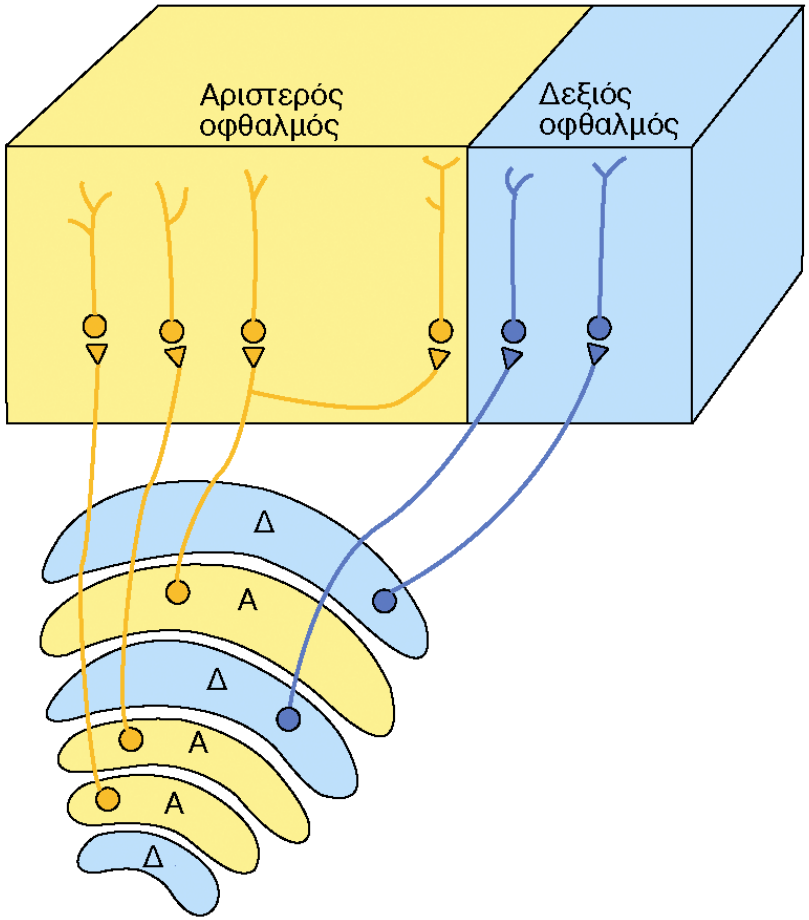
Σχέδια μετά από αποστέρηση

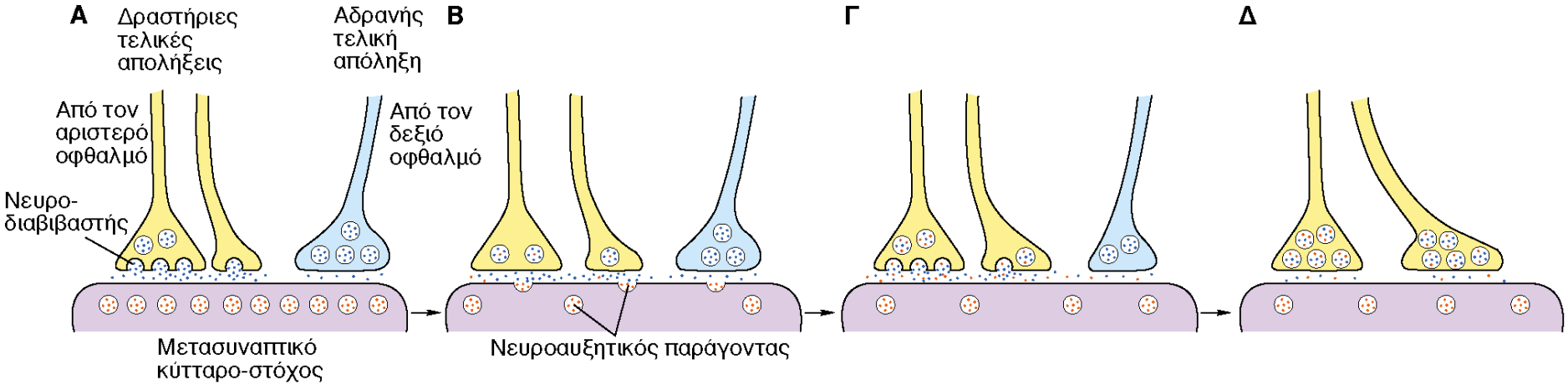


A Φυσιολογική κατάσταση

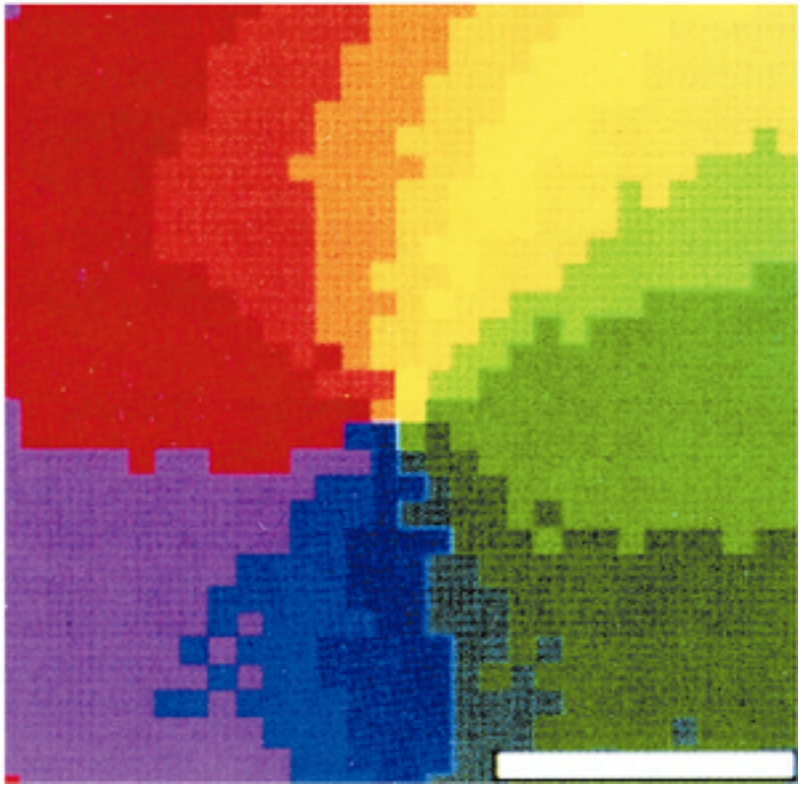


B Δεξιός οφθαλμός κλειστός



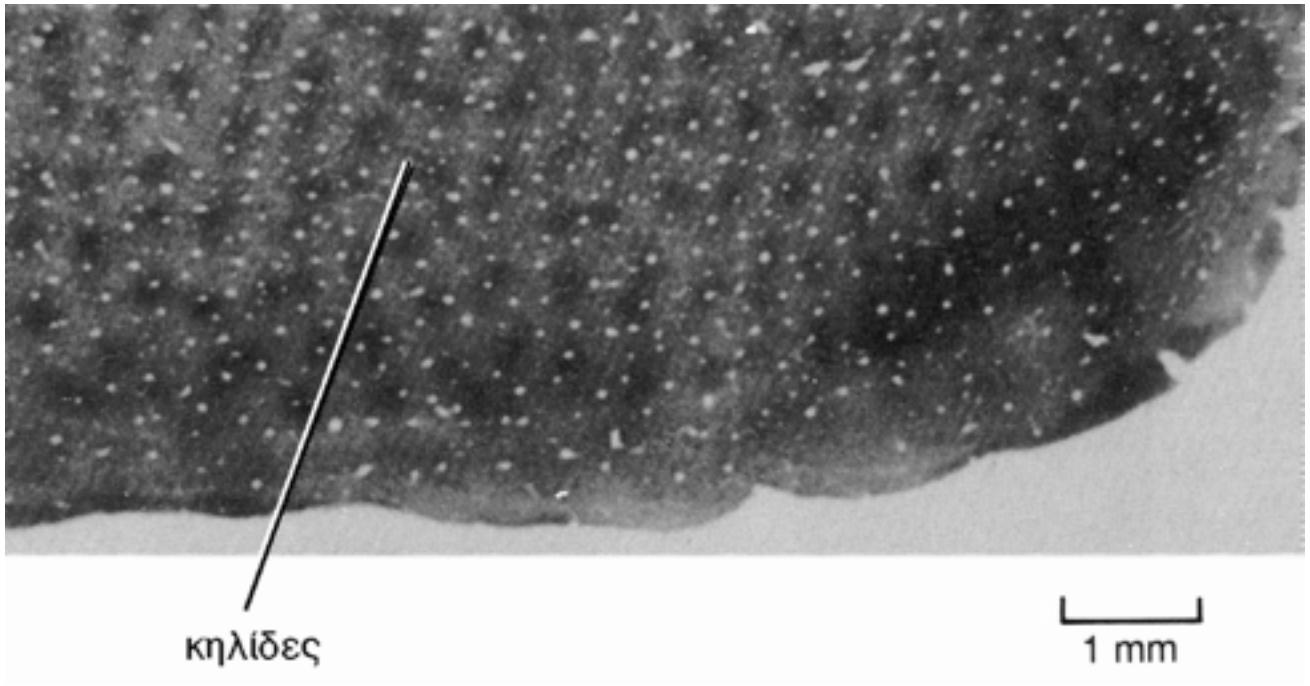

Α
Δραστήριες τελικές απολήξεις
Αδρανής τελική απόληξη
Β
Γ
Δ
Από τον αριστερό οφθαλμό
Από τον δεξιό οφθαλμό
Νευρο-διαβιβαστής
Μετασυναπτικό κύτταρο-στόχος
Νευροαυξητικός παράγοντας

Στήλες προσανατολισμού

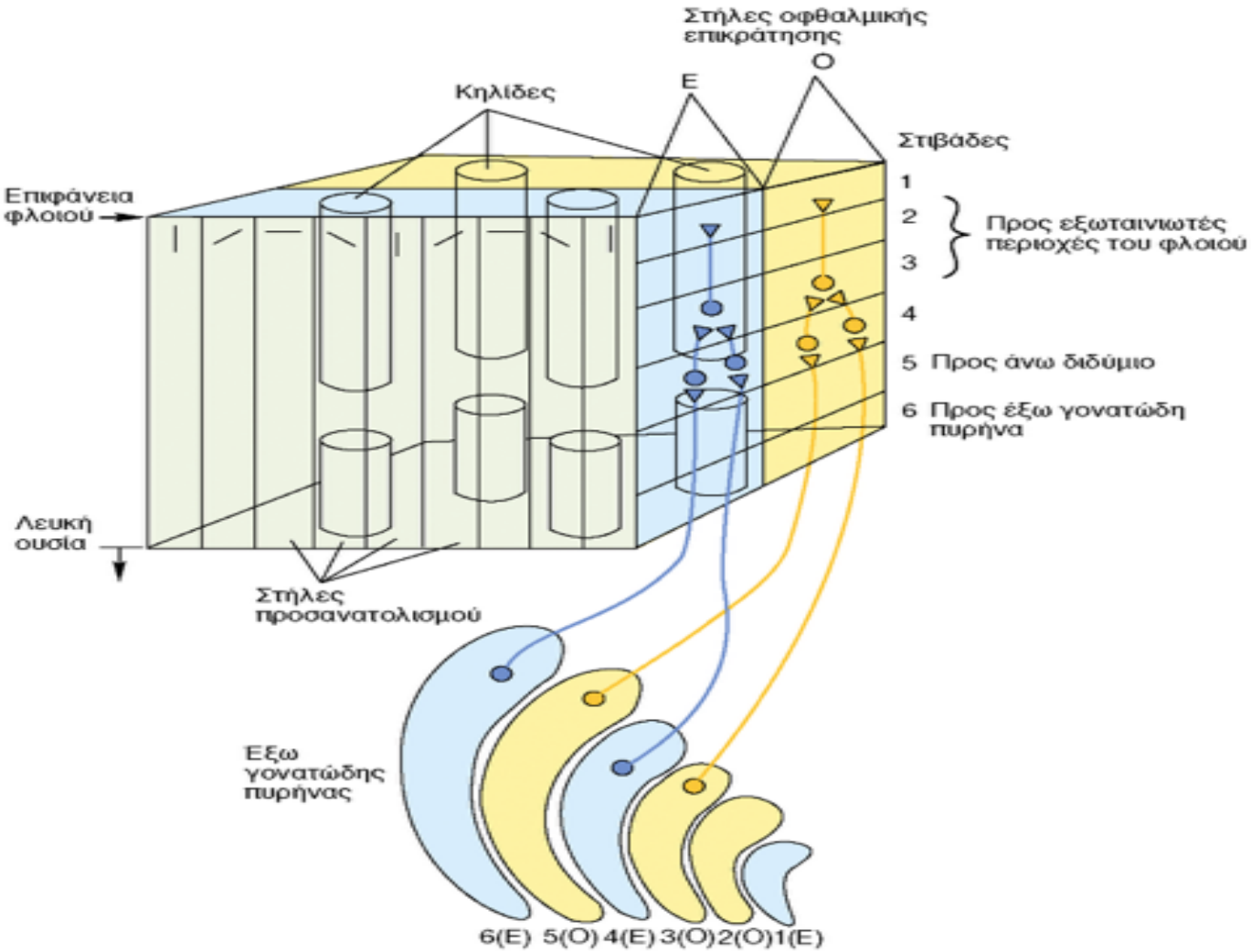


Απόκριση σε κατακόρυφο ερέθισμα

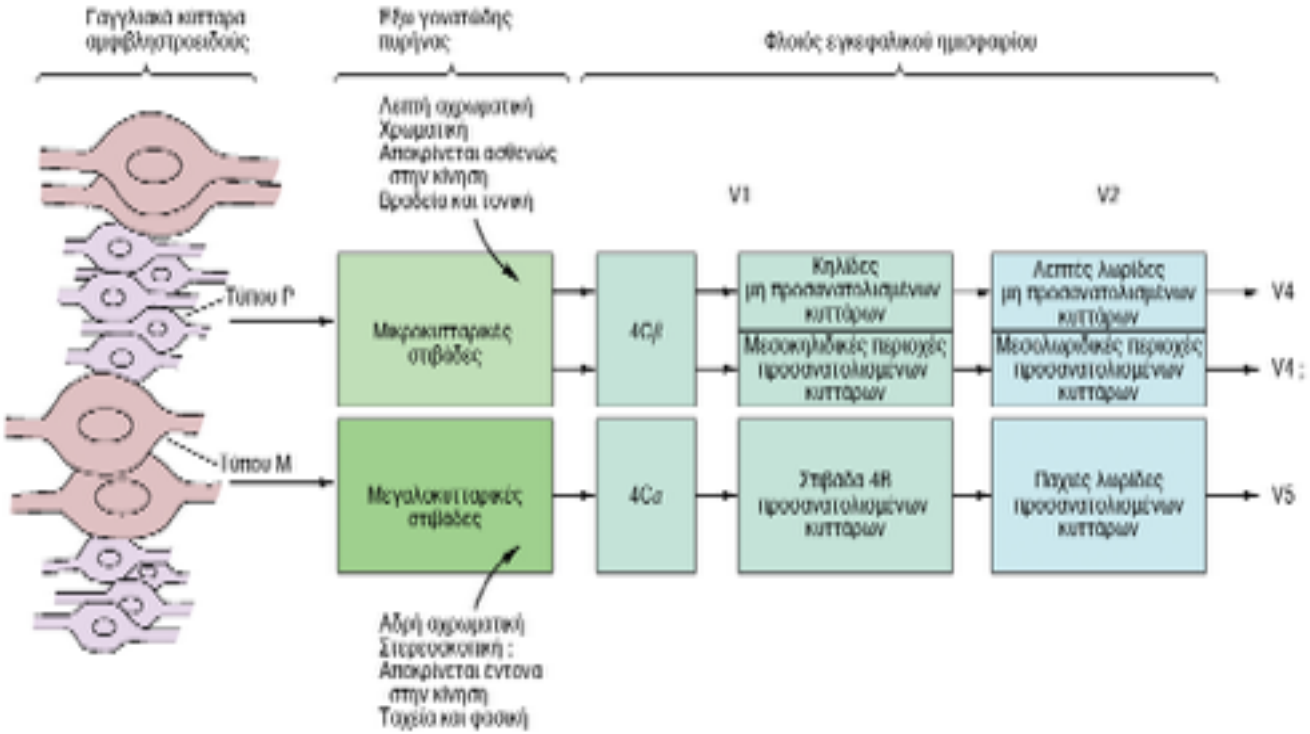
Κηλίδες με πληροφορίες χρώματος



Υπεροστήλη


Στήλες οφθαλμικής επικράτησης
O
E
Κηλίδες
Στιβάδες
Επιφάνεια φλοιού
1
2
3
Προς εξωταινιωτές περιοχές του φλοιού
4
5 Προς άνω διδύμιο
6 Προς έξω γονατώδη πυρήνα
Λευκή ουσία
Στήλες προσανατολισμού
Εξω γονατώδης πυρήνας
6(E) 5(O) 4(E) 3(O) 2(O) 1(E)

Παράλληλες οδοί

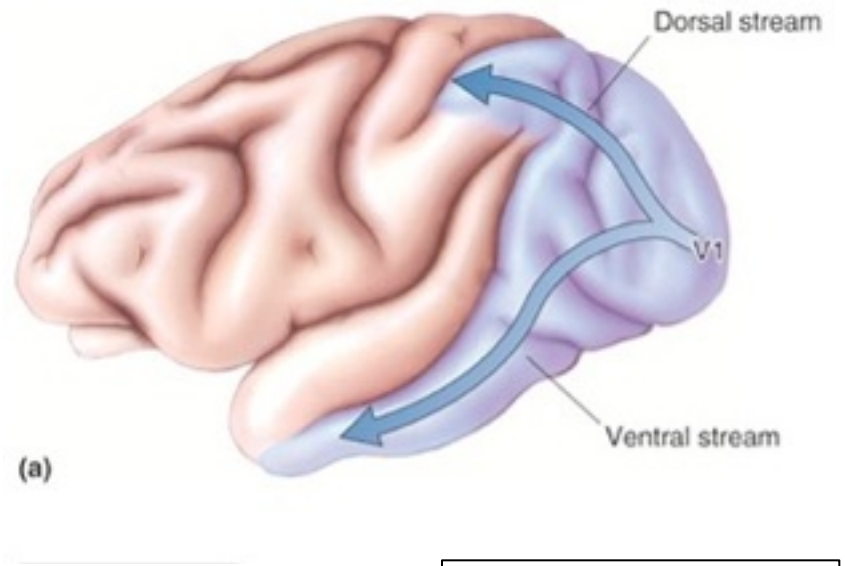


Εικόνα 21-12 Τρεις κύριες παράλληλες οδοί για την οπτική αντίληψη αρχίζουν από τον έξω γονατώδη πυρήνα. Κάθε οδός έχει σχέση με ένα είδος οπτικής πληροφορίας (βλ. Εικόνα 21-14). (Από Livingstone και Hubel, 1984, τροποποιημένη.)

Πού;

Ανάλυση κίνησης
Χωρική όραση

- Μικρή διακριτική ικανότητα
- Δεν περιέχει πληροφορία χρώματος
- Γρήγορη μετάδοση



Τι;

Αναγνώριση αντικειμένων

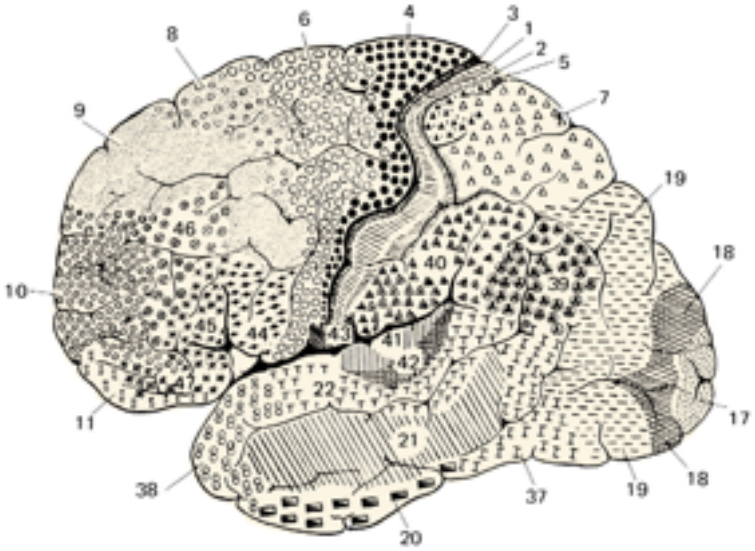
Υψηλή διακριτική ικανότητα
Ευαίσθητο στο χρώμα
Αργή μετάδοση

Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Ed, Bear, Connors, and Paradiso Copyright © 2007 Lippincott Williams & Wilkins

Πίνακας 21-1 Οι οπτικές αγνωσίες

Τύπος	*Ελάττωμα*	*Πιθανότερη θέση βλάβης*
Αγνωσία μορφής και σχεδίου		
Αγνωσία αντικειμένων	Ονοματοδοσία, κατανόηση σκοπού, αναγνώριση πραγματικών αντικειμένων	Πεδία 18, 20, 21, αριστερά και μεσολόβιο
Αγνωσία σχεδίου	Αναγνώριση σχεδιασμένων αντικειμένων	Πεδία 18, 20, 21 δεξιά
Προσωπαγνωσία	Αναγνώριση προσώπων	Πεδία 20, 21 αμφοτερόπλευρα
Αγνωσία χρώματος		
Αγνωσία χρώματος	Συσχέτιση χρωμάτων και αντικειμένων	Πεδίο 18 δεξιά
Ανικανότητα ονομασίας χρωμάτων	Ονομασία χρωμάτων	Περιοχές λόγου ή συνδέσεις από τα πεδία 18, 37
Αχρωματοψία	Διάκριση χρωμάτων	Πεδία 18, 37
Αγνωσία βάθους και κίνησης		
Οπτική χωρική αγνωσία	Στερεοσκοπική όραση	Πεδία 18, 37 δεξιά
Αγνωσία κίνησης	Διάκριση κίνησης αντικειμένου	Αμφοτερόπλευρη έσω κροταφική περιοχή (ένωση ινιακού και κροταφικού φλοιού)

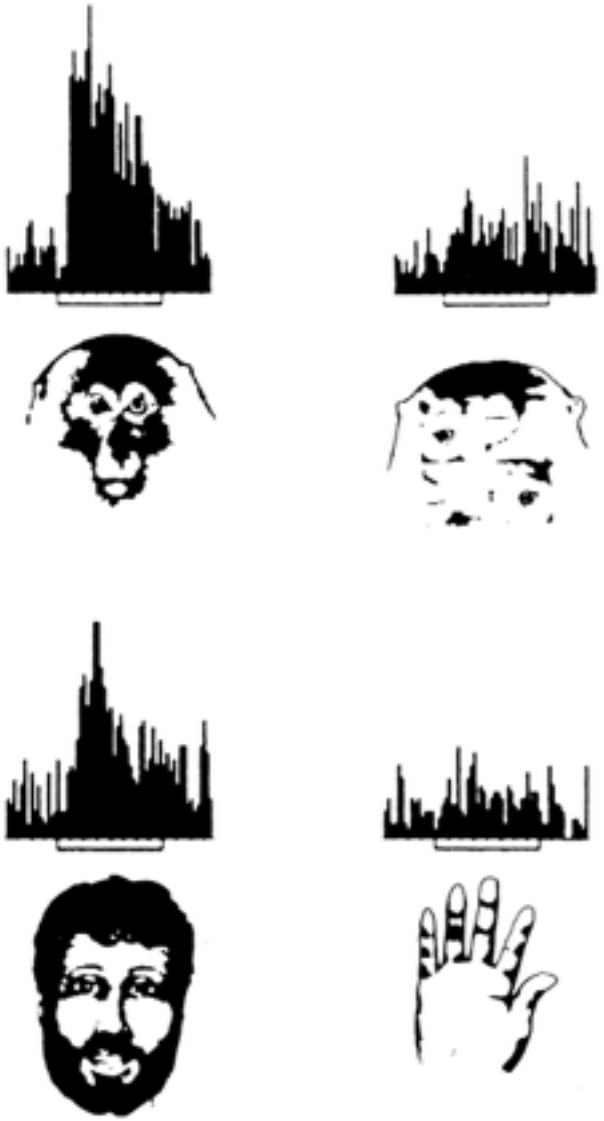
Πηγή: Kolb και Whishaw (1980).



Πώς ολοκληρώνουμε τα χαρακτηριστικά μιας εικόνας;

- David Marr
- Ὅραση είναι η διεργασία με την οποία, από εικόνες, ανακαλύπτουμε τι υπάρχει στον ορατό κόσμο και πού βρίσκεται᾽

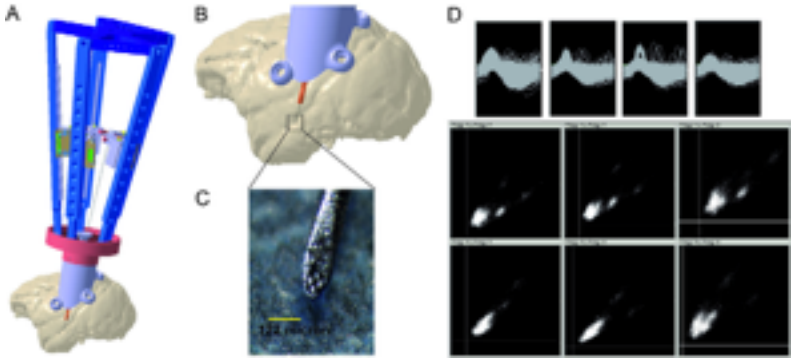
Αναγνώριση προσώπων



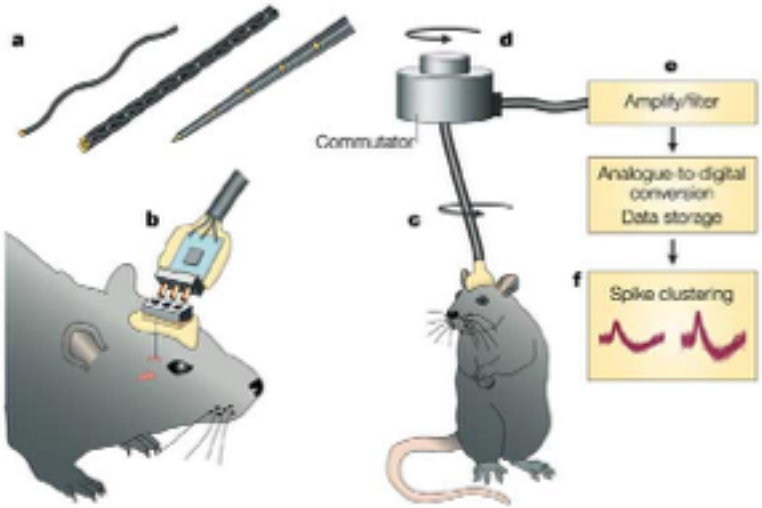
Εικόνα 23-19 Απόκριση ενός κυττάρου στον κάτω κροταφικό φλοιό ενός πιθήκου σε διαφορετικές εικόνες. Το κύτταρο αυτό αποκρίνεται κατά προτίμηση σε πρόσωπα. (Από Gross και συν., 1981.)

Καταγραφές νευρώνων κατά τη διάρκεια συμπεριφοράς

- Πληθυσμιακές καταγραφές
- Καταγραφές μονού νευρώνα
- Καταγραφές πολλαπλών νευρώνων



http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/nc/employee/details/vishal.html



Nature Reviews | Neuroscience

Positron emission tomography

- Με ραδιενεργά στοιχεία
- Καλή χρονική διακριτική ικανότητα
- Λειτουργική απεικόνιση

functional magnetic resonance imaging (fMRI)

- Blood-oxygen level dependent (BOLD) contrast
- Μεγάλη δραστηριότητα νευρώνων (αυξημένη συχνότητα πυροδότησης ή έκλυσης δυναμικών ενεργείας)
- Αυξημένες ανάγκες γλυκόζης
- Αυξημένη ροή αίματος στους νευρώνες που έχουν μεγαλύτερη δραστηριότητα
- Αναγνώριση της κατάστασης της αιμοσφαιρίνης παρουσία μαγνητικού πεδίου
- Χωρική διακριτική ικανότητα: 1 voxel=1-5mm
- Χρονική διακρτική ικανότητα: 1-2 seconds
- Ανάλυση εικόνας, υπολογιστικά εργαλεία, τεχνικές νευρωνικών δικτύων, κλπ