

# Obečná fyziologie smyslů

Receptorové buňky jsou brány,  
kterými vstupují signály do NS

Exteroreceptory x interoreceptory



**VĚDOMÍ**

**Kůra telencefala**

**PODVĚDOMÍ**  
Reflexní,  
automatické řízení

**Motorický NS**

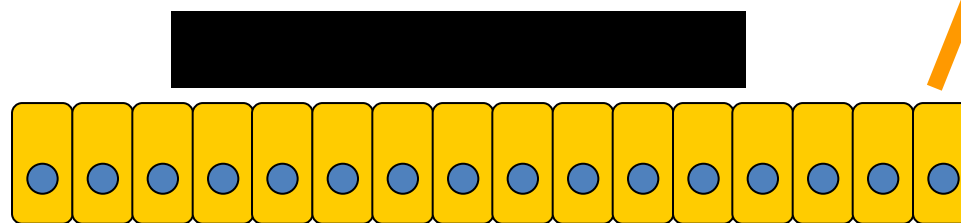
**Vegetativní NS**

**Hormonální S**

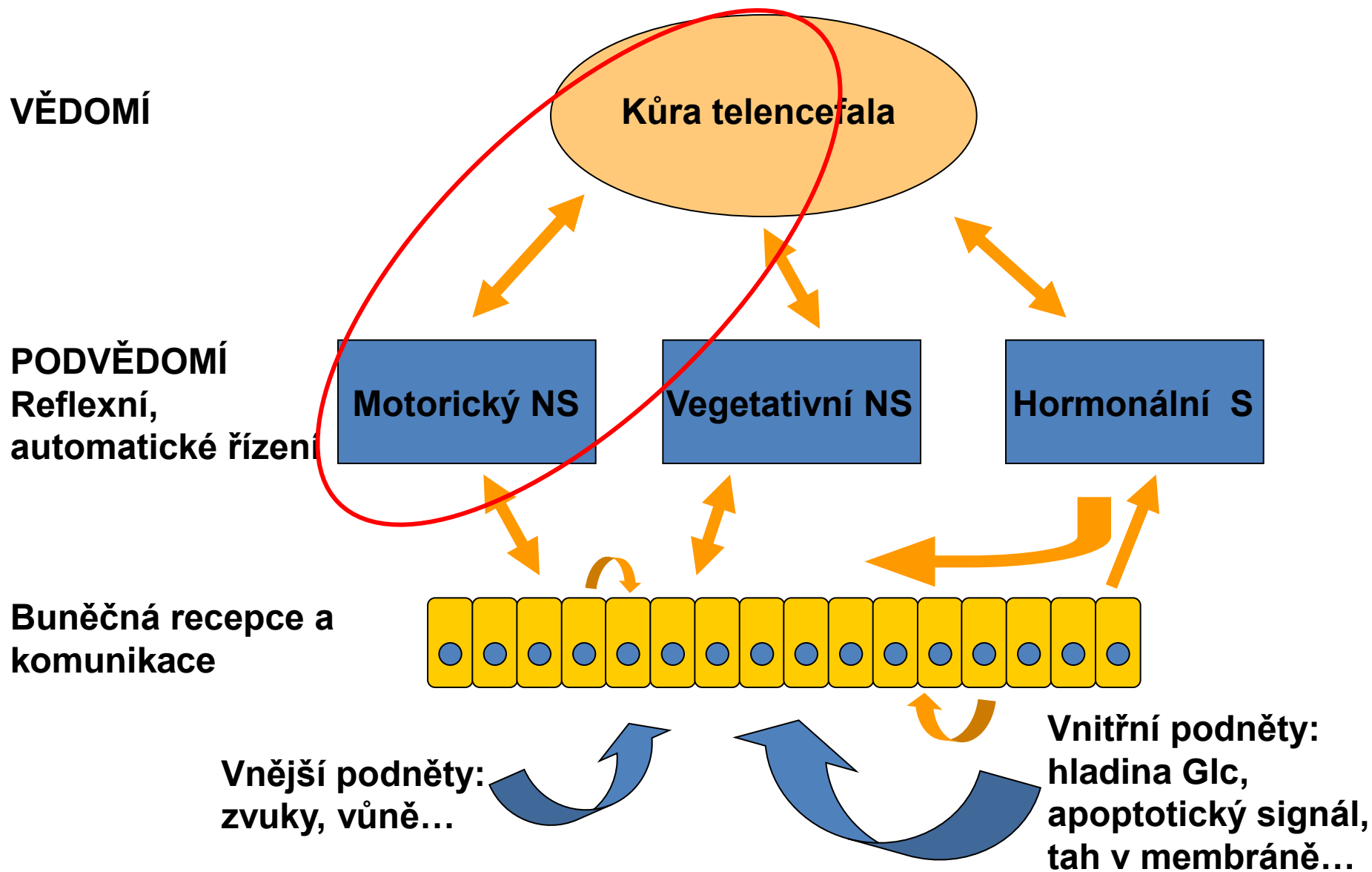
**Buněčná recepce a komunikace**

**Vnější podněty:**  
zvuky, vůně...

**Vnitřní podněty:**  
hladina Glc,  
apoptotický signál,  
tah v membráně...

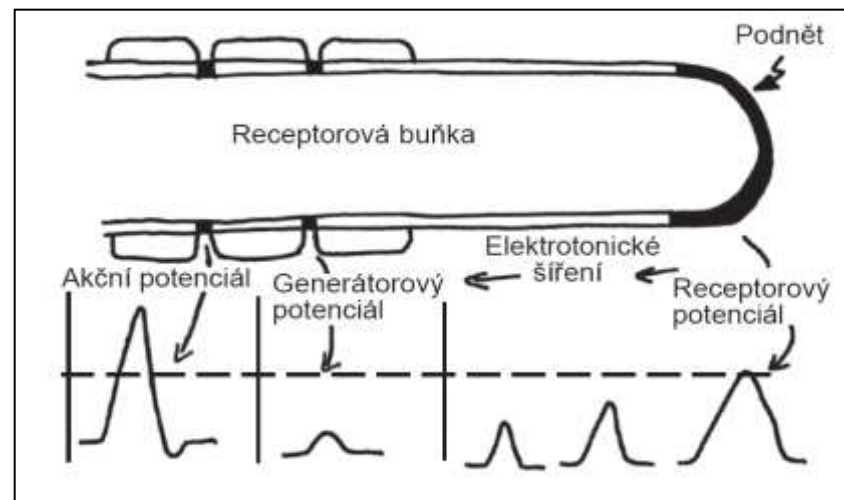


# Klasické smysly propojené s kůrou, mechanismy ale stejné

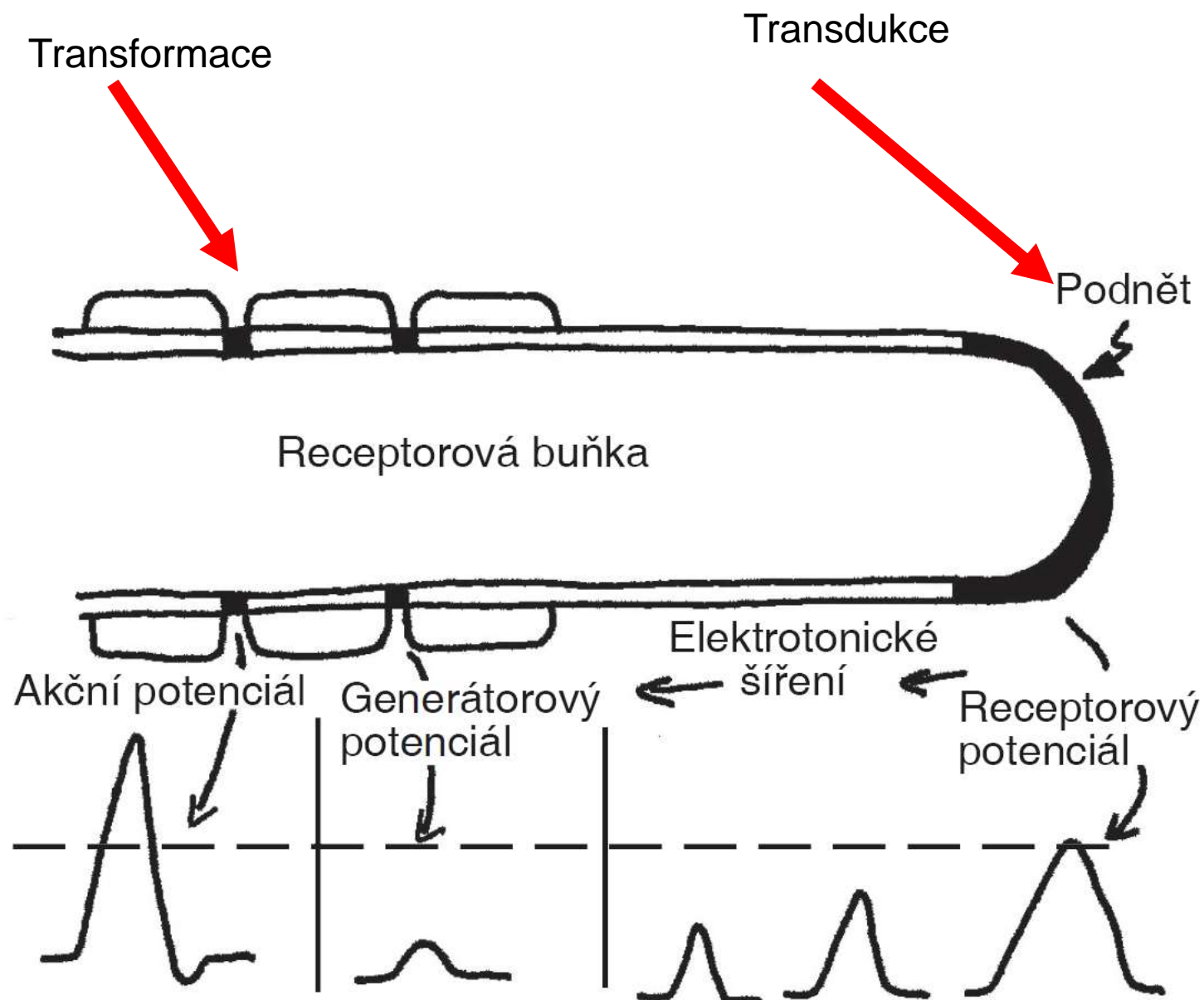


# Kanály v molekulární fyziologii smyslů

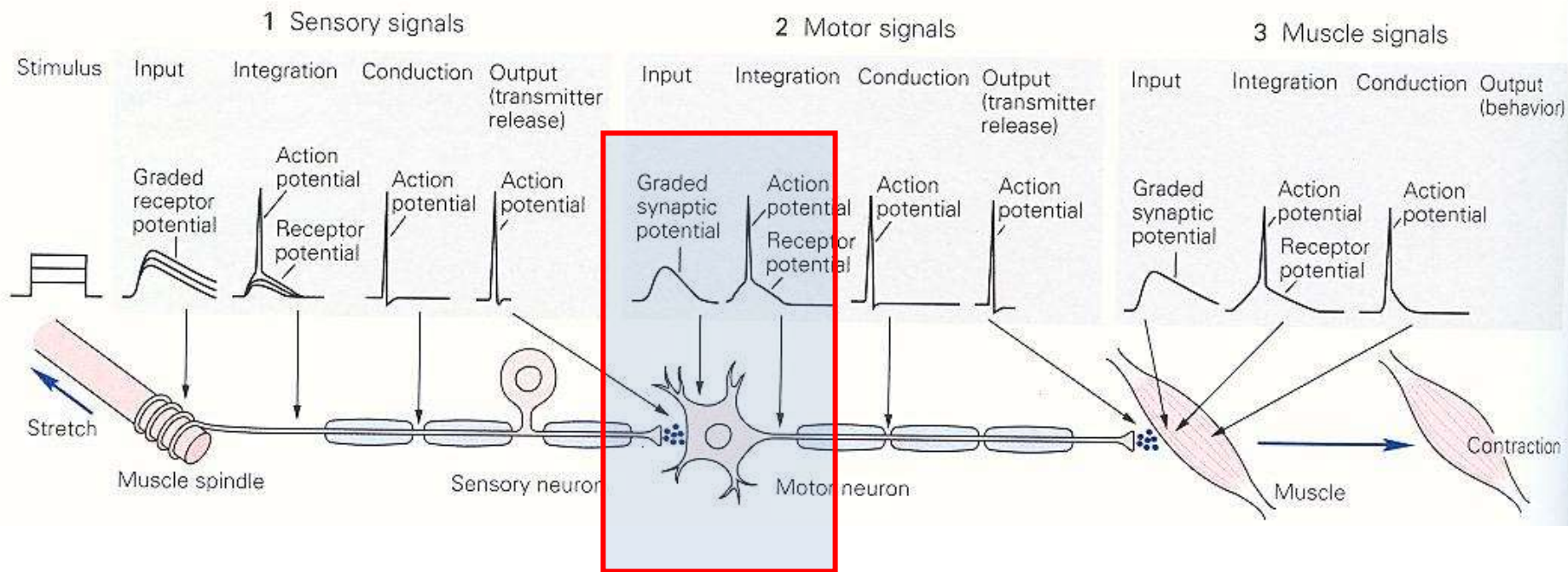
- Nervový systém vsadil na elektricky předávané informace.
- Kanály jsou odpovědné za regulaci membránového napětí a tedy klíčové pro vznik a přenášení nervových signálů.
- Nervový systém tedy „vidí“ jen to, co změní kanálovou propustnost.
- Pro vstup do NS podstatné to, co se děje mezi receptory a kanály



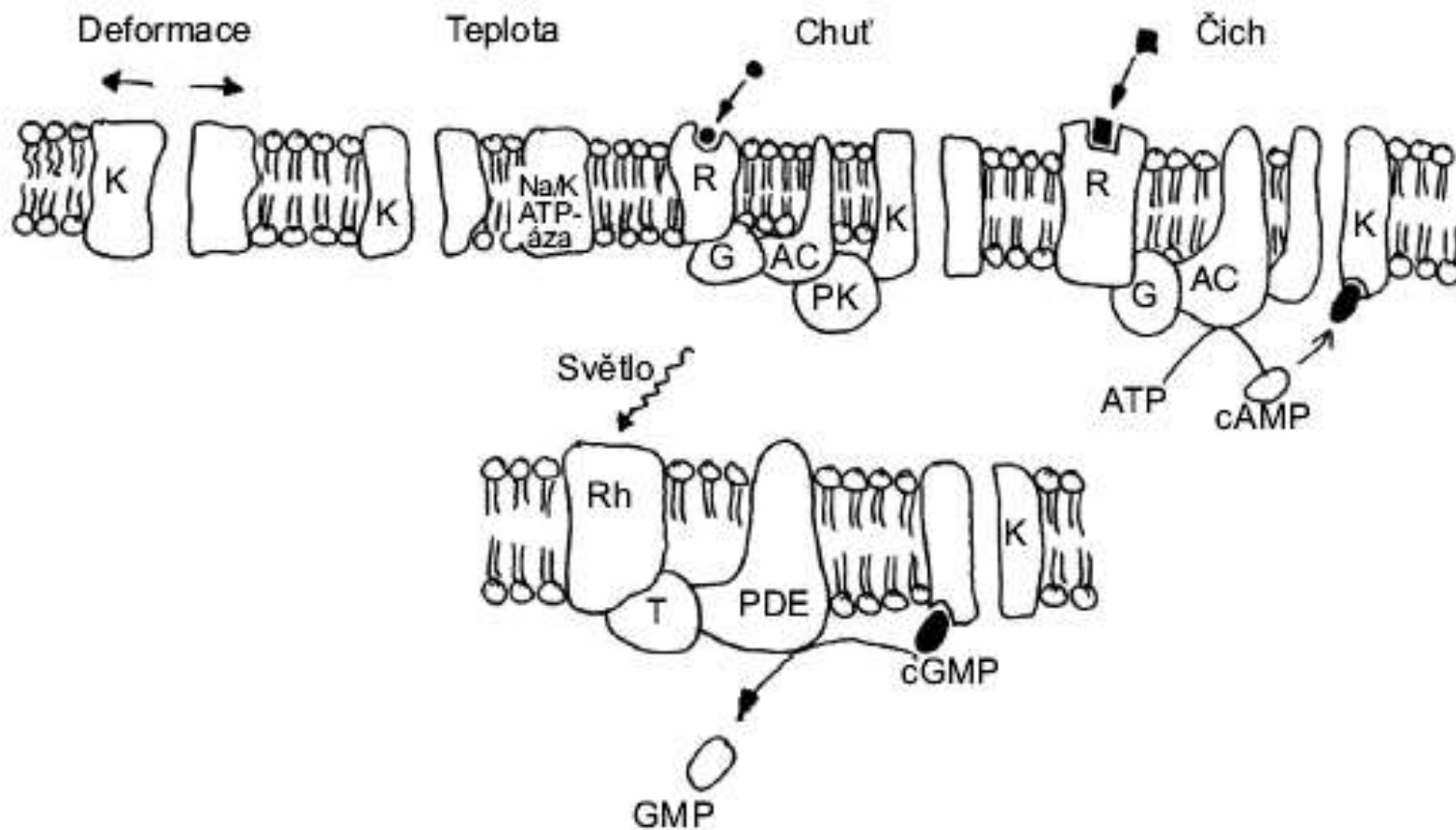
Receptorová buňka převádí energii podnětu na změnu iontové propustnosti.



Podobně jako receptory na postsynaptické membráně receptorová buňka převádí energii podnětu na změnu iontové propustnosti.

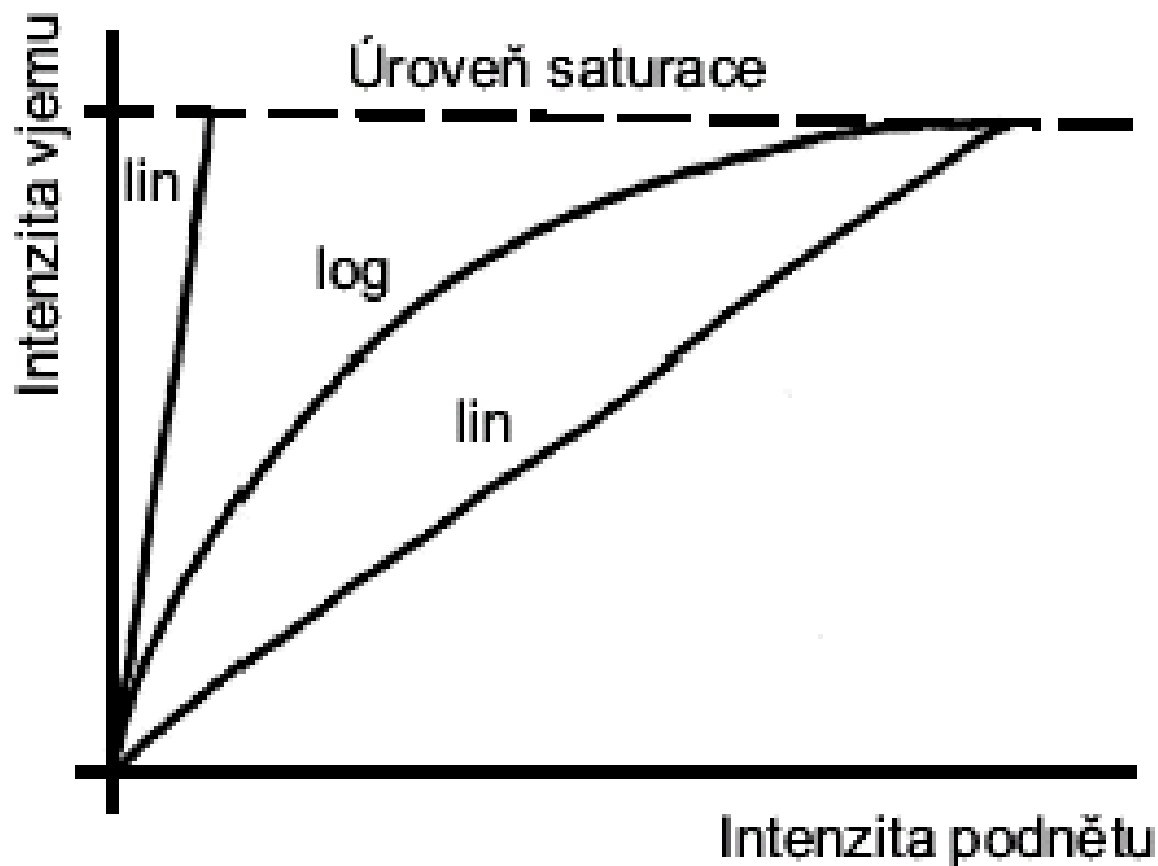


Vlastnosti membrány a cesta signálu ke kanálu jsou klíčem pro transdukcii.



Intenzita podnětu a intenzita odpovědi.

Logaritmická závislost je dobrý kompromis mezi potřebou citlivosti a rozsahem.

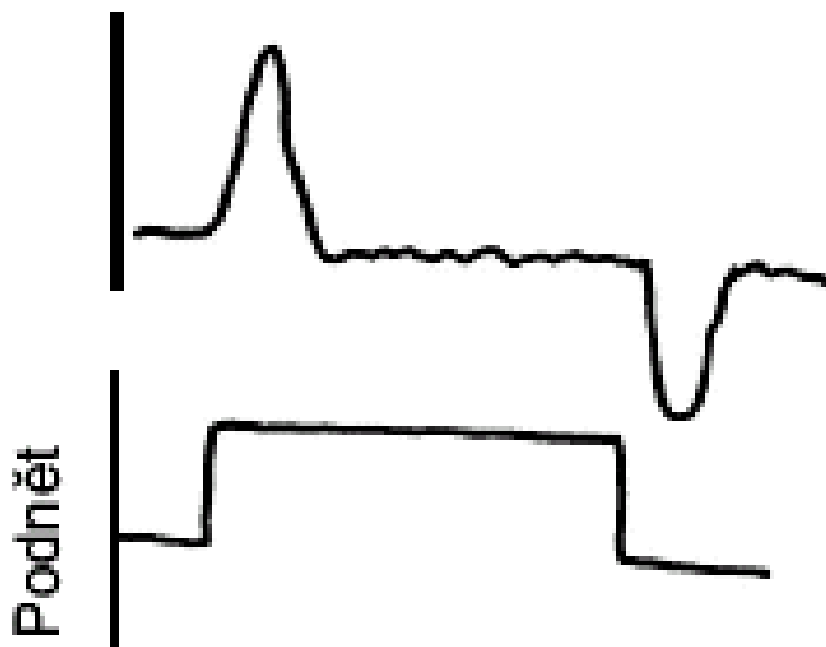




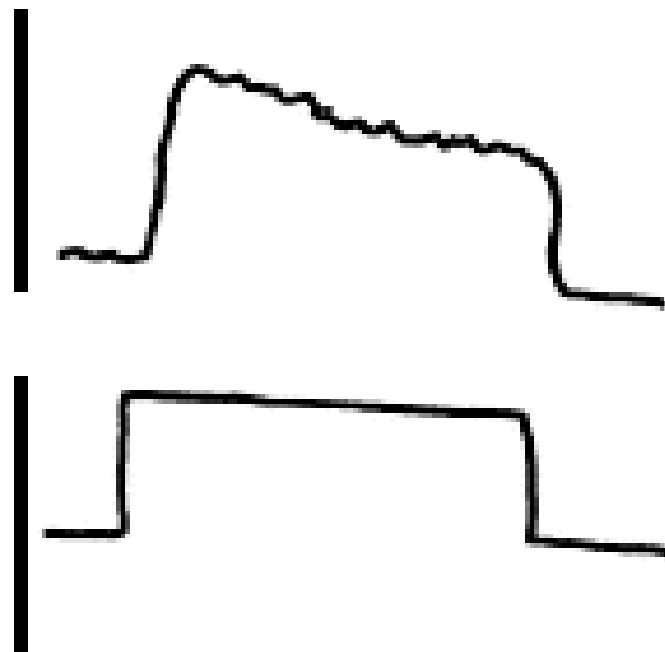
Trvání podnětu a trvání odpovědi.

Většina exteroceptorů se v různé míře adaptuje.

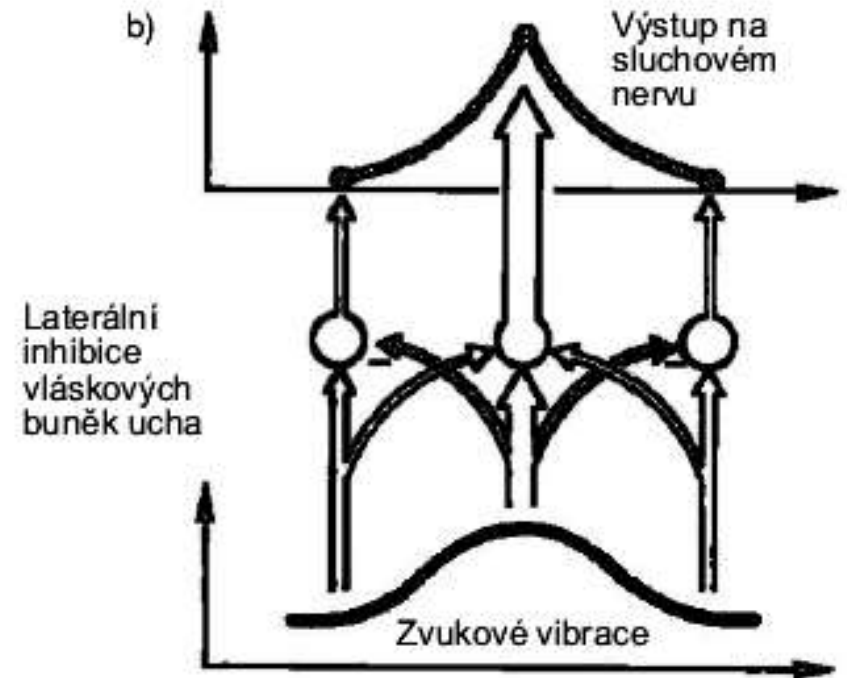
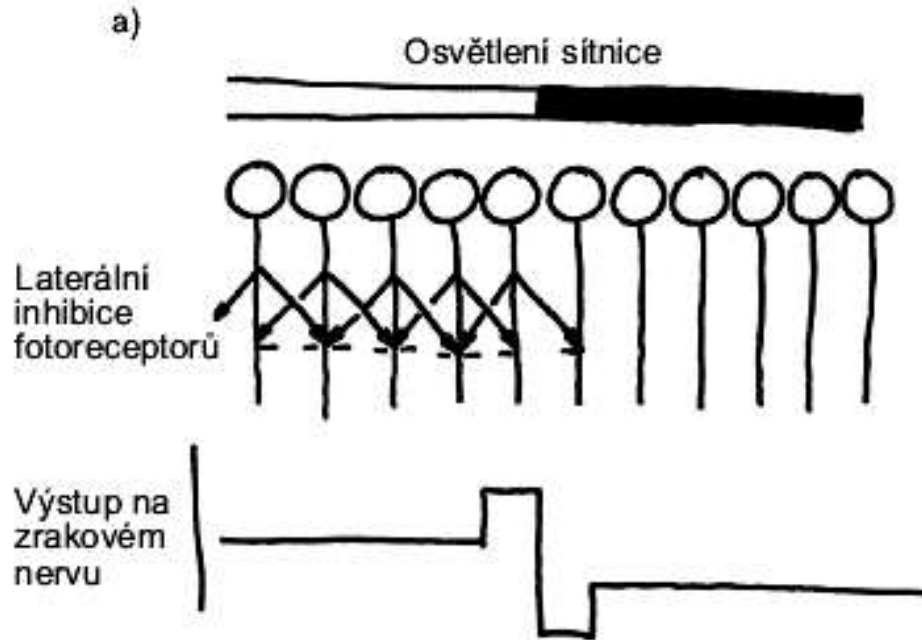
Diferenční receptor



Proporcionální receptor



# Laterální inhibice: vyšší rozlišovací schopnost zesílení kontrastů

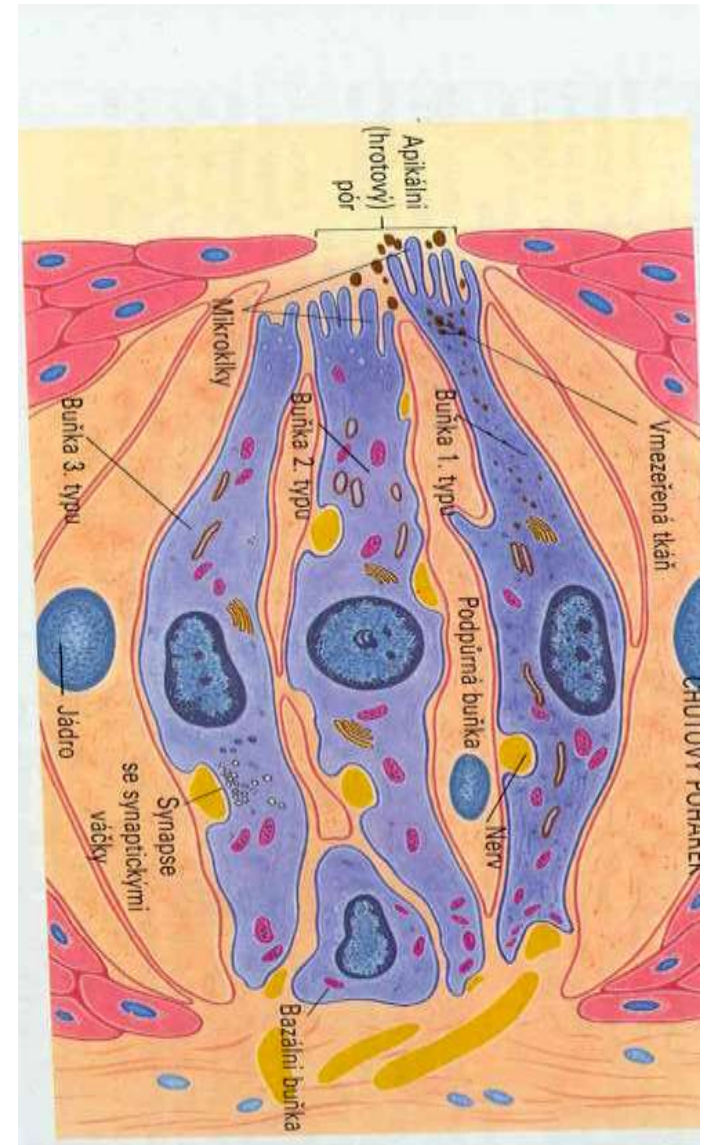
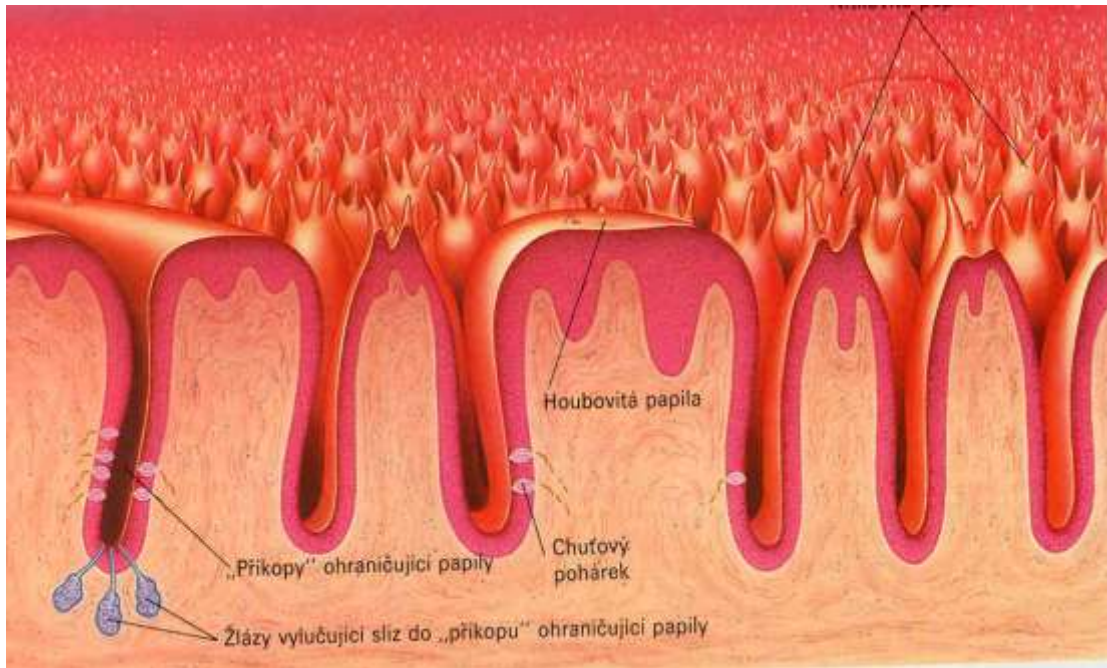


# Smyslové dráhy

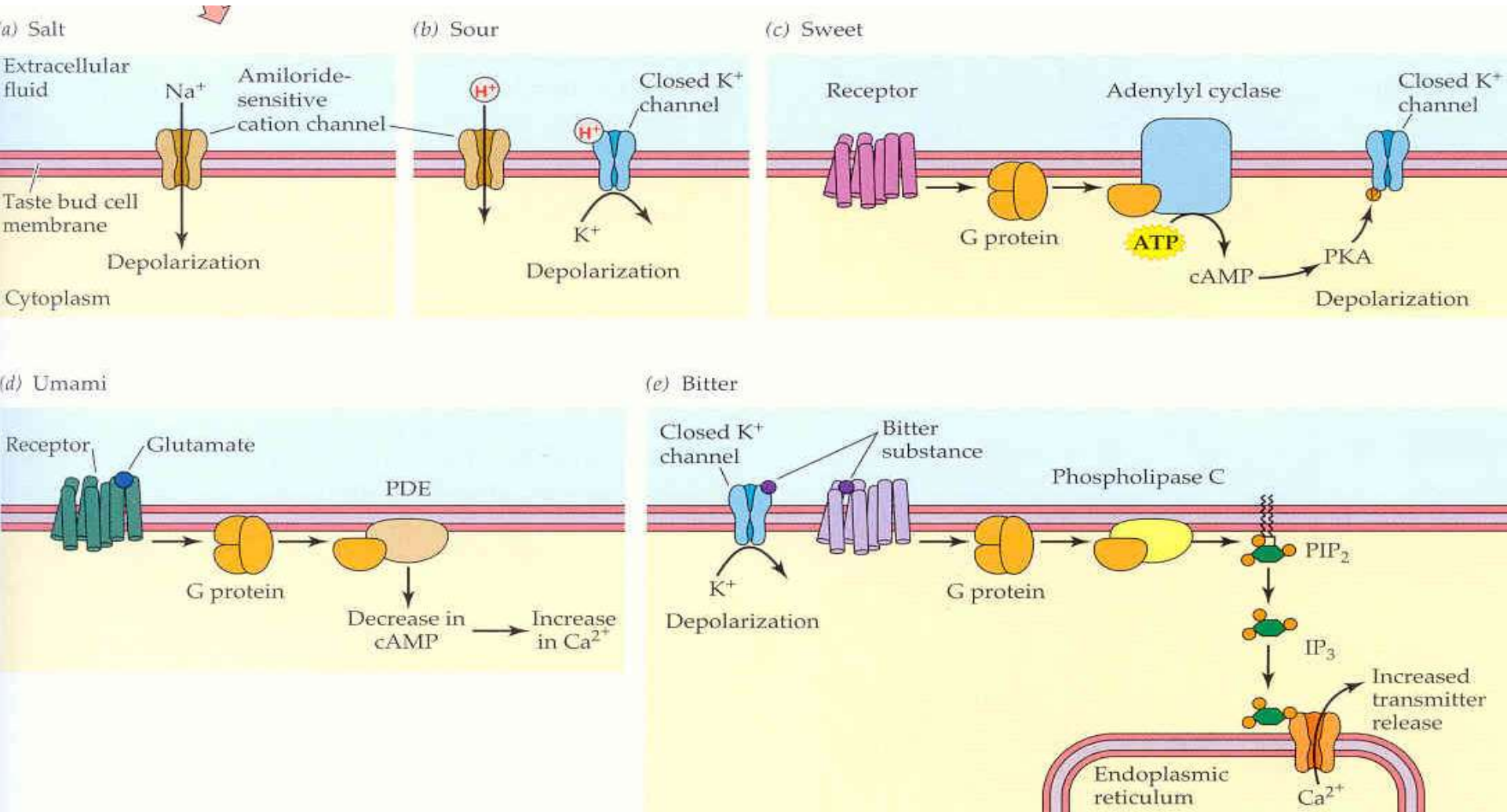
- Paralelní dráhy (co vidím se zpracovává odděleně od *kde*)
- Specializace analyzátorů smyslové dráhy (od jednoduchých rysů po komplexní)
- Úloha mozku integrovat do celku a interpretovat (zkušenost)



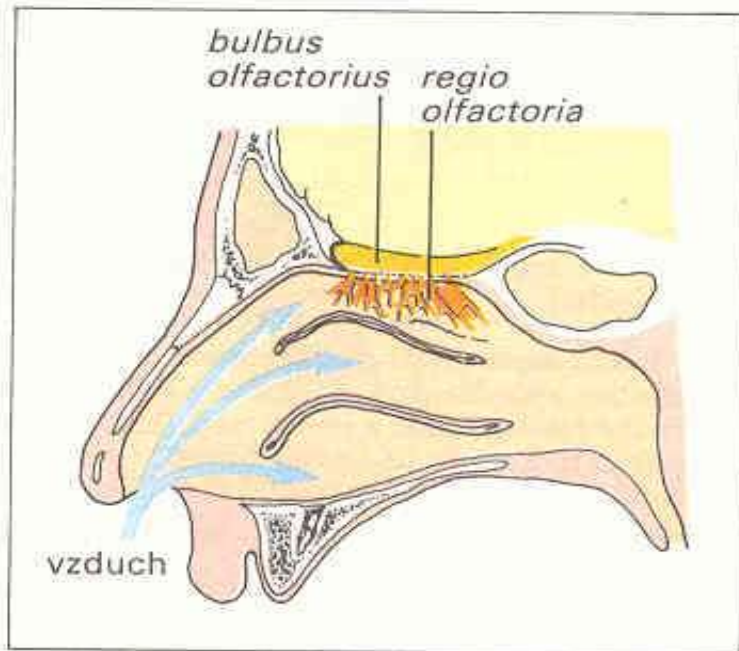
# Chuť



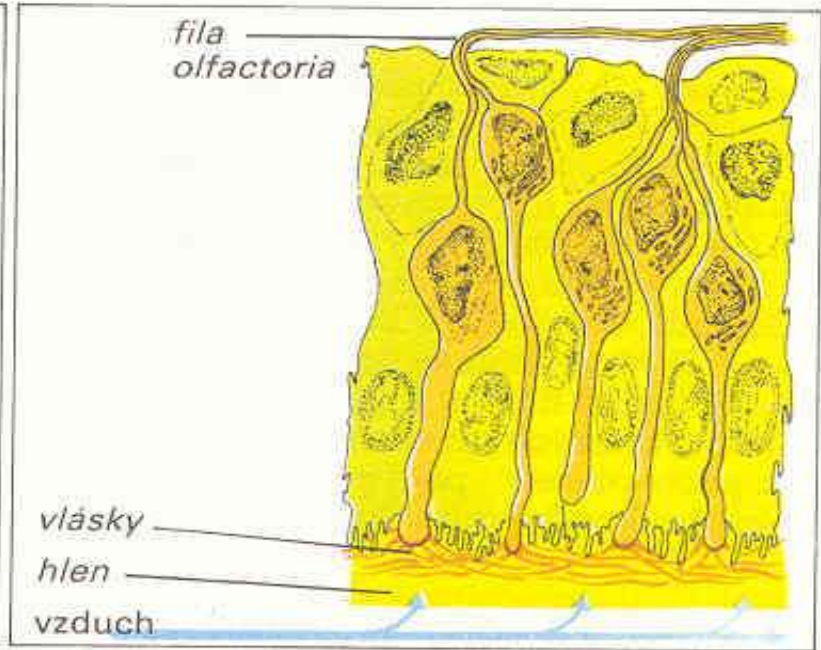
# Různě složité transdukční cesty 5 základních chutí.



# Čich

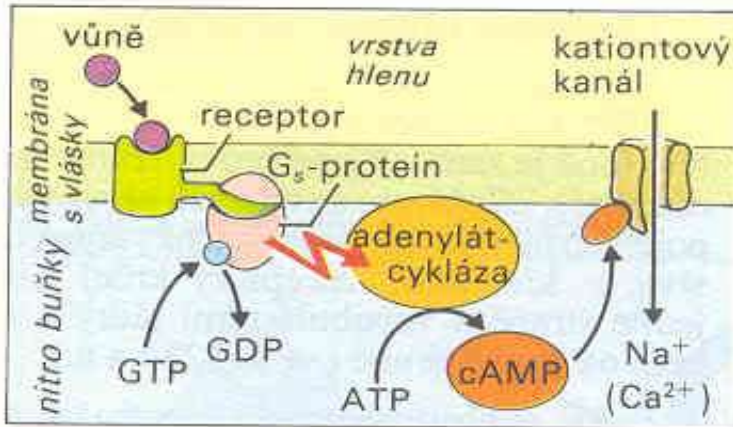


A. Nosní dutina a čichový orgán

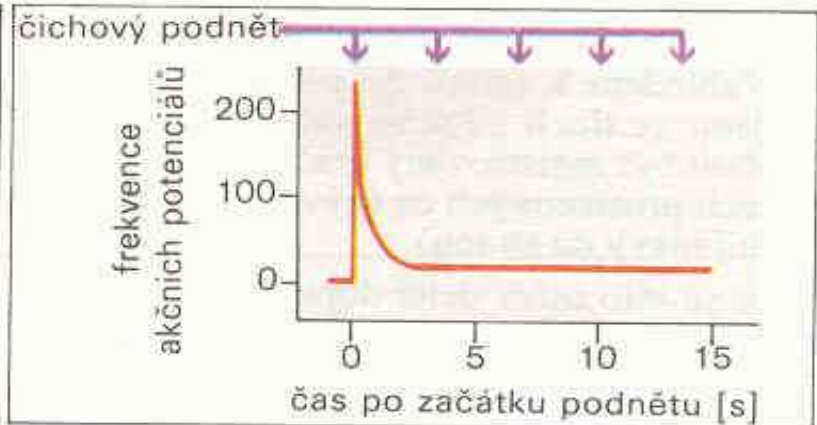


B. Čichový epitel

(podle Andrese)



C. Transdukce čichového podnětu



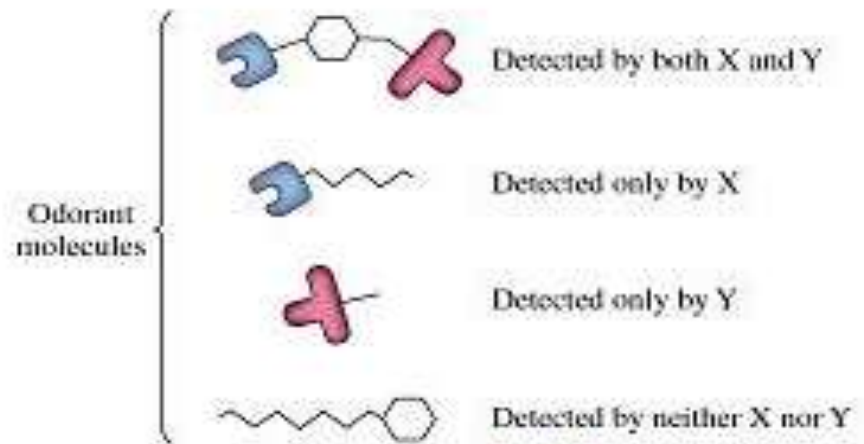
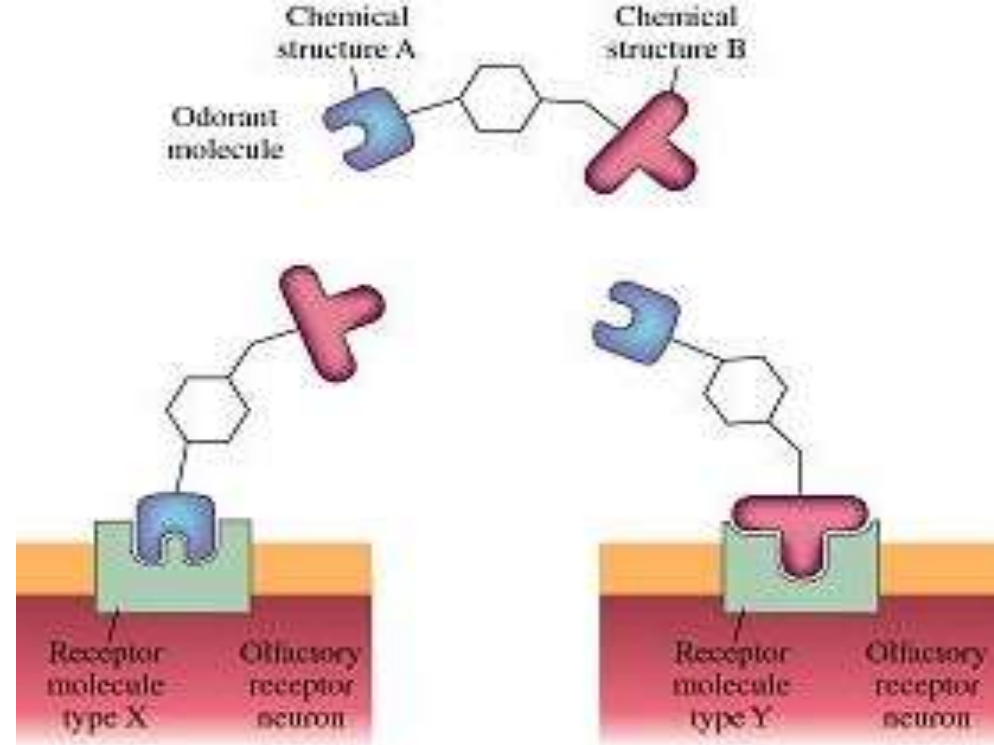
D. Adaptace čichu

# Specifita srovnatelná s imunitní Cis/trans rozlišení



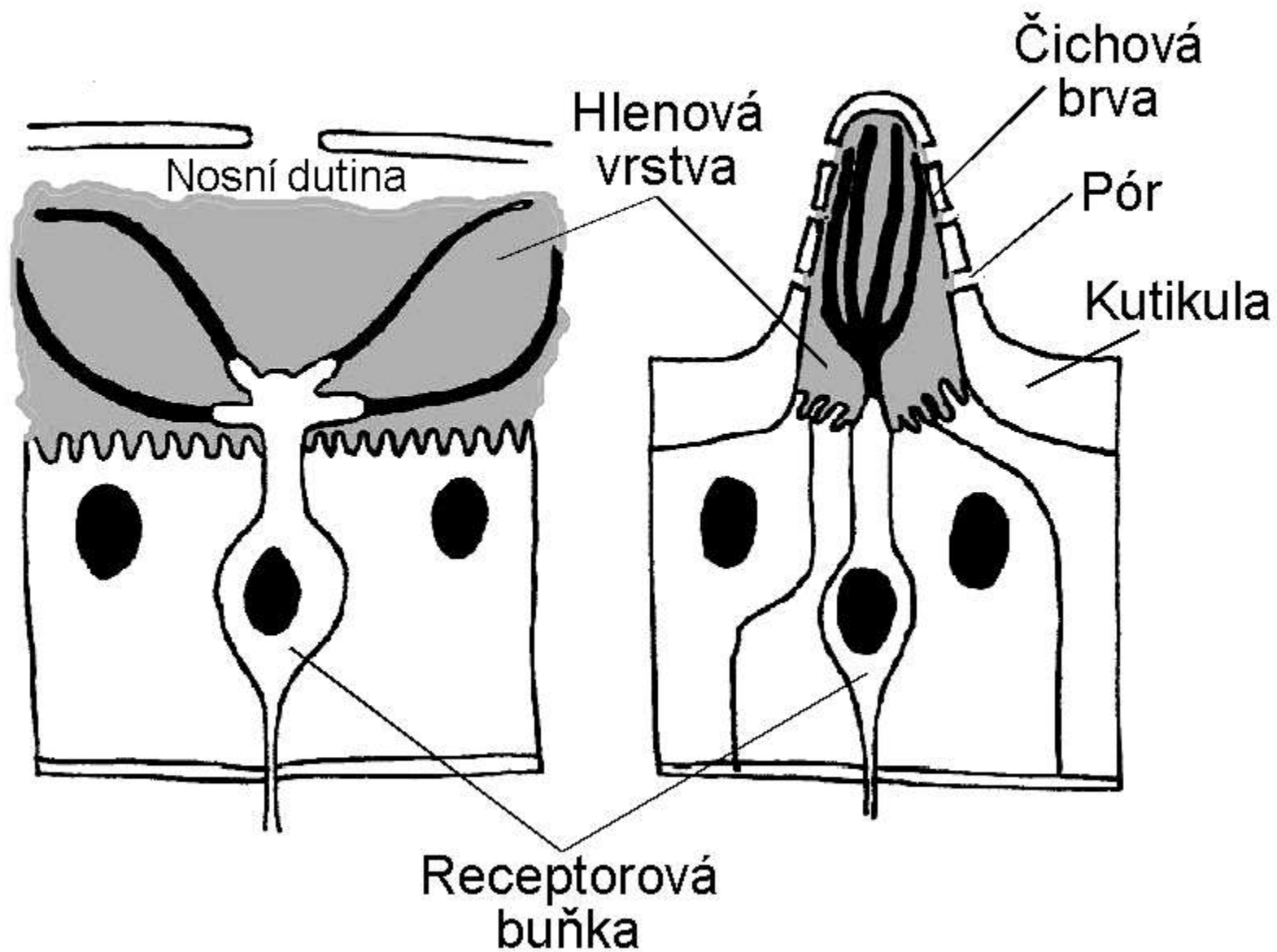
Specializace receptorů  
Kombinace cca 350 receptorů člověka  
3.000-100.000 vůní (?)

Ale: 21 MARCH 2014 VOL 343 SCIENCE  
**10<sup>12</sup> - trilion vůní**

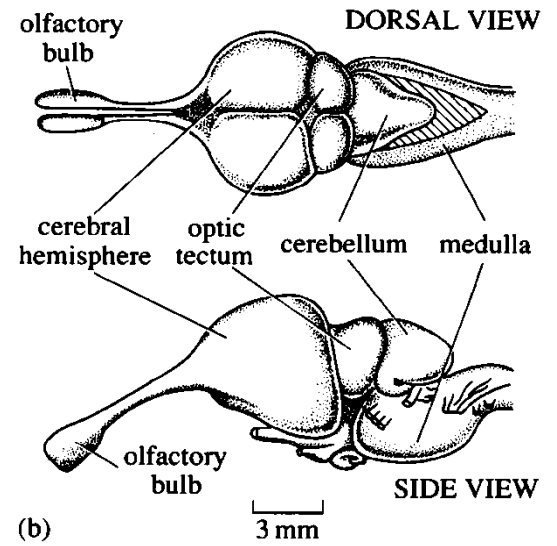
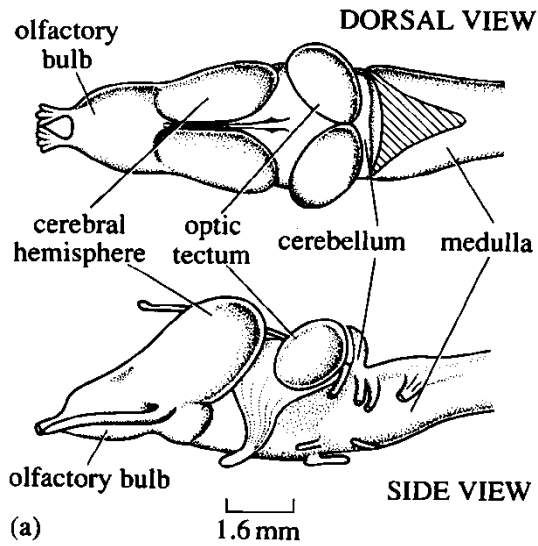


a) Savci

b) Hmyz







## Čichový lalok koncového mozku

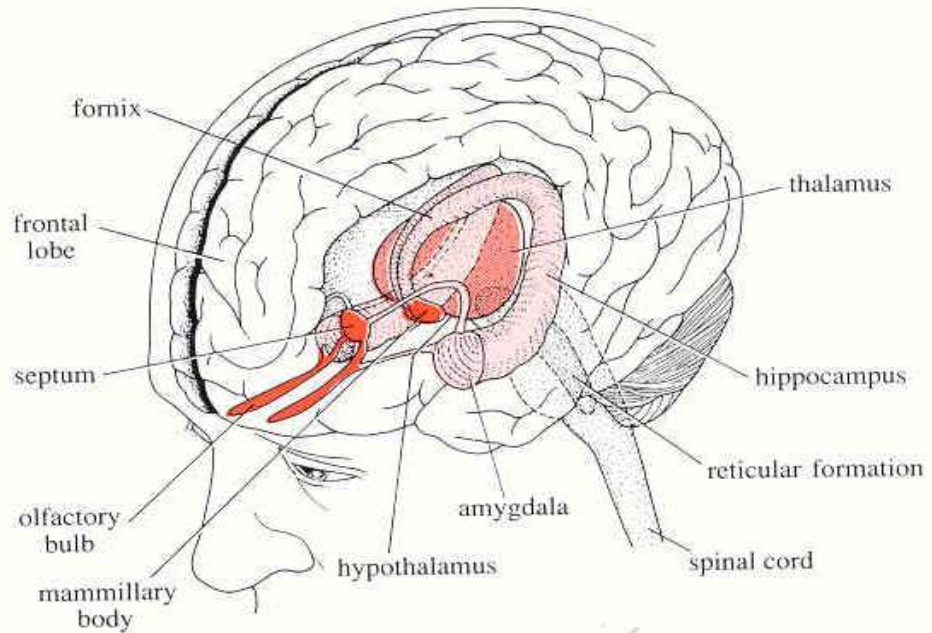
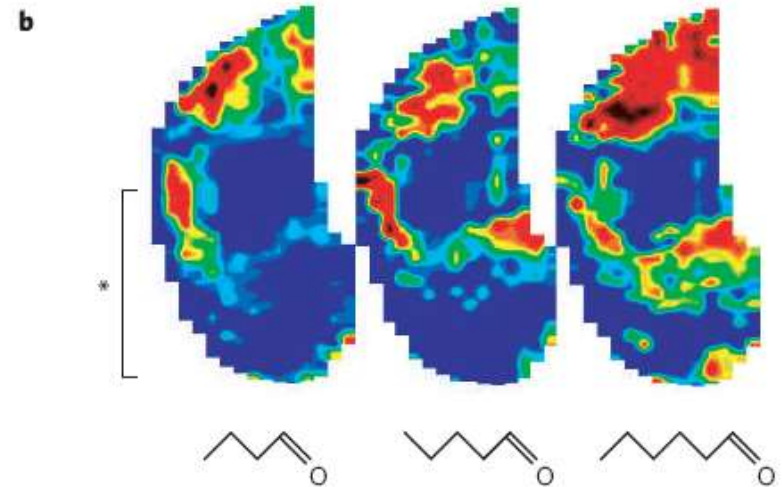
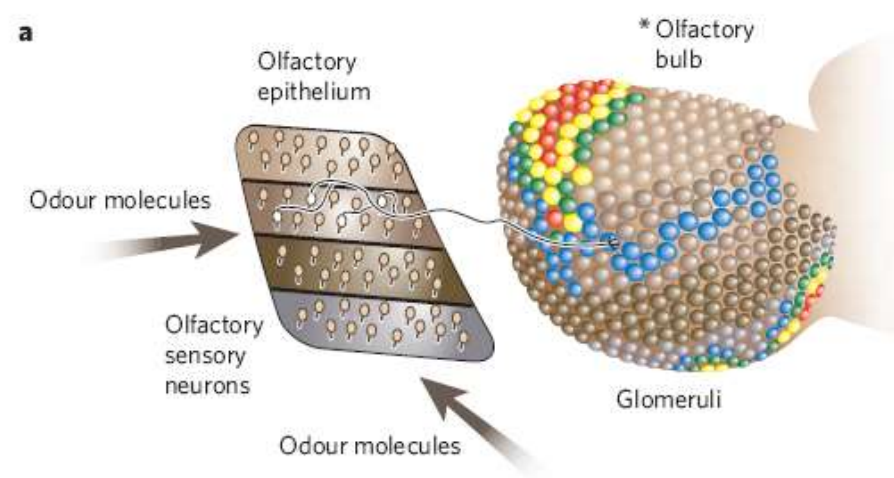


Figure 10.1 The limbic system (the main limbic system structures are shown in red)

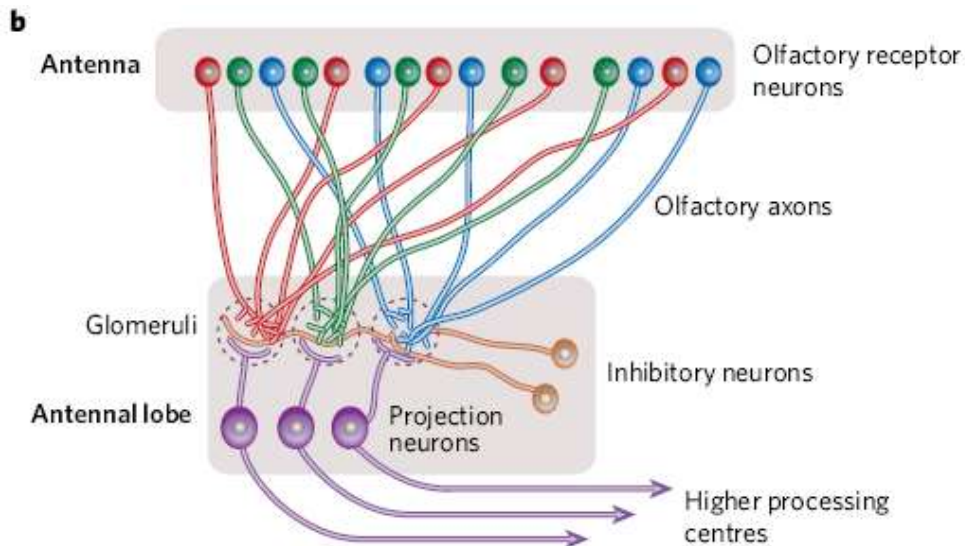
Mapa vůní – vzorec aktivovaných glomerulů  
 Konvergence neprostorového parametru  
 na prostorový

savec



**Figure 1 | Odour images in the olfactory glomerular layer.** **a**, Diagram showing the relationship between the olfactory receptor cell sheet in the nose and the glomeruli of the olfactory bulb<sup>53</sup>. **b**, fMRI images of the different but overlapping activity patterns seen in the glomerular layer of the olfactory bulb of a mouse exposed to members of the straight-chain aldehyde series, varying from four to six carbon atoms. The lower part of the image in the left panel corresponds to the image on the medial side of the olfactory glomerular layer as shown in **a** (see asterisk). (Image in **a** adapted, with permission, from ref. 53; image in **b** adapted, with permission, from ref. 10.)

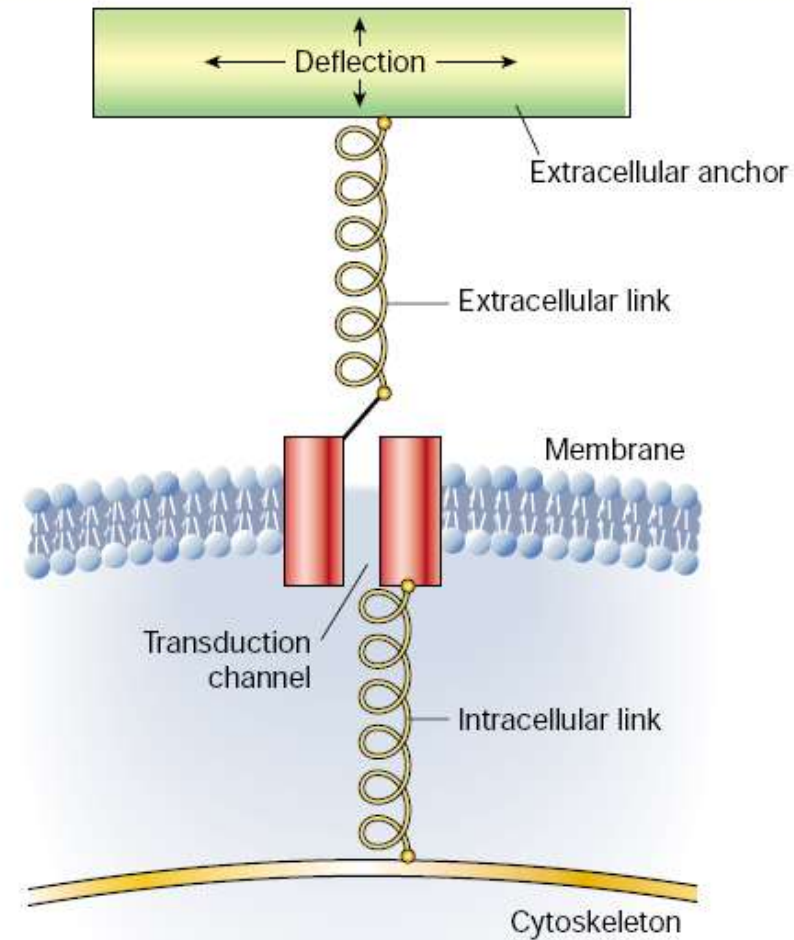
## Drosophila



# Mechanorecepce

Bolest, dotek,  
Propriorecepce,  
Zvuk, gravitace,  
Pohyb,  
Vlhkost ?  
Magnetické pole?

Jednotné molekulární schéma



**Figure 1** General features of mechanosensory transduction. A transduction channel is anchored by intracellular and extracellular anchors to the cytoskeleton and to an extracellular structure to which forces are applied. The transduction channel responds to tension in the system, which is increased by net displacements between intracellular and extracellular structures.

# Kožní citlivost - hmat

## Mechanoreceptors

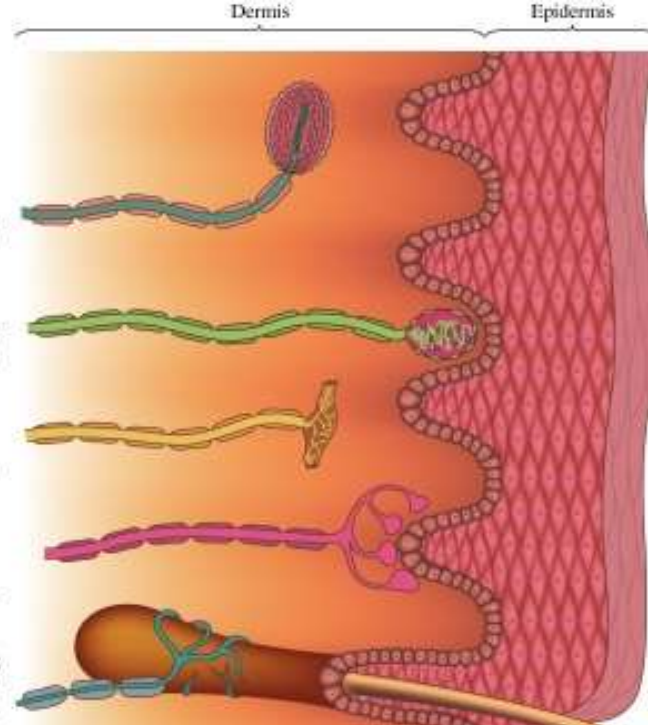
**Pacinian corpuscle**  
Touch; vibration  
Rapid adaptation  
Myelinated axon

**Meissner corpuscle**  
Touch; vibration  
Rapid adaptation  
Myelinated axon

**Ruffini corpuscle**  
Touch; pressure  
Slow adaptation  
Myelinated axon

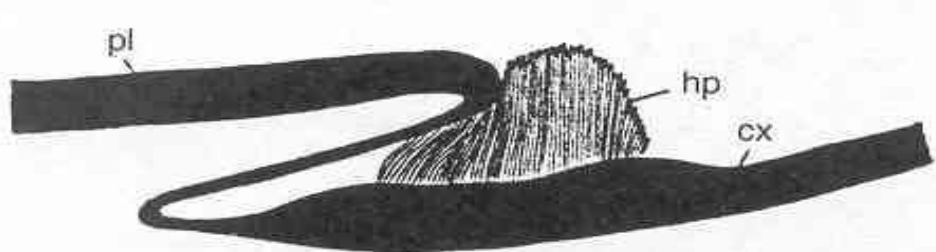
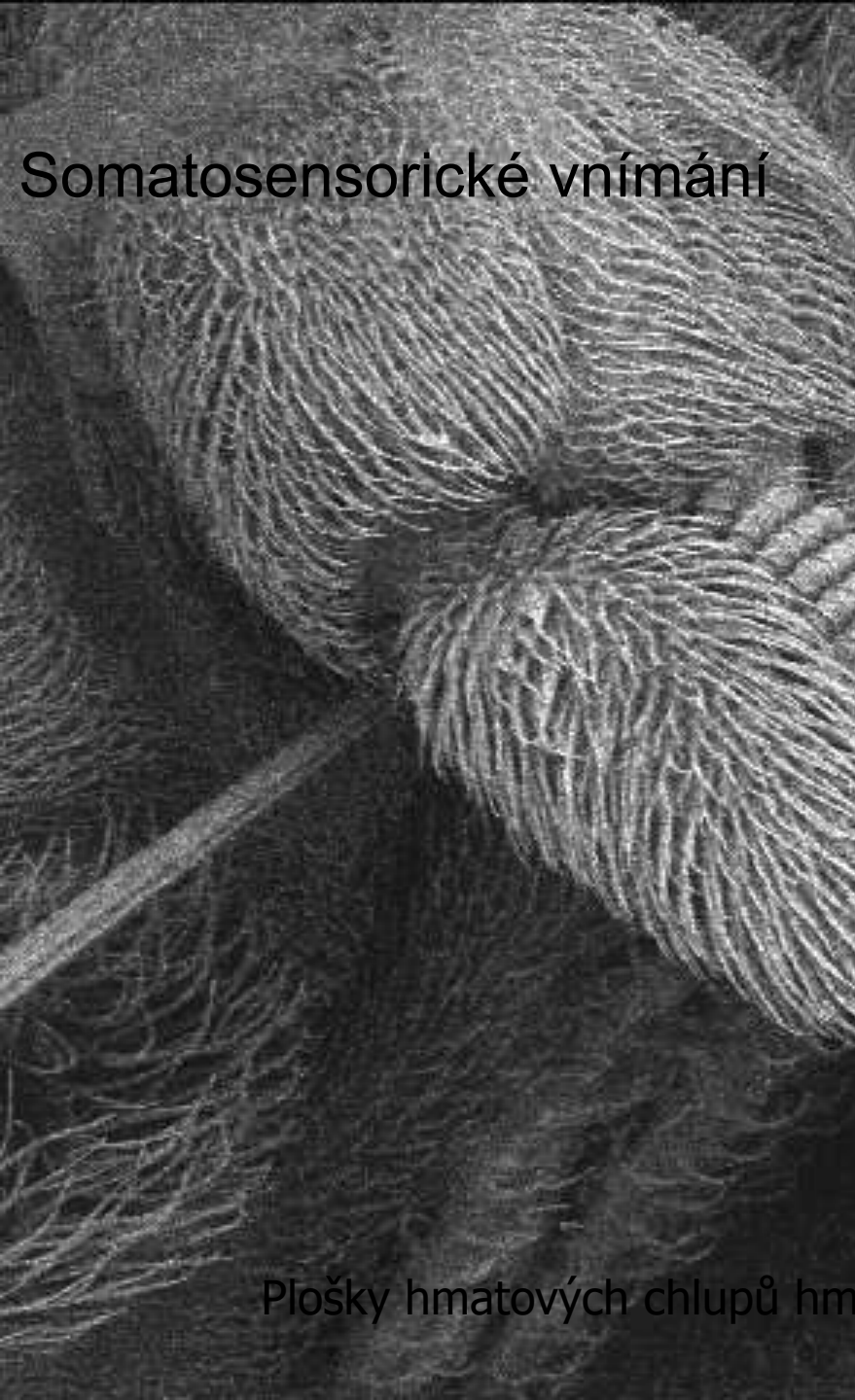
**Merkel disk**  
Touch; pressure  
Slow adaptation  
Myelinated axon

**Hair follicle receptor**  
Hair displacement  
Rapid adaptation  
Myelinated axon

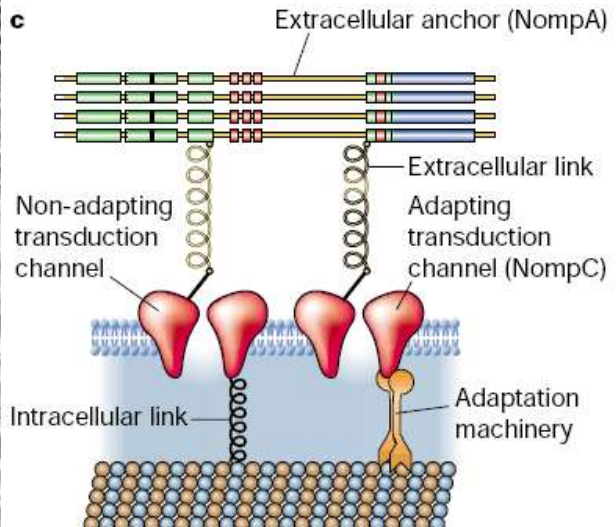
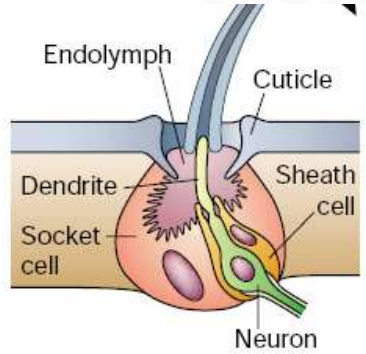


Receptor subtype	Hair follicles	Meissner corpuscle	Pacinian corpuscle	Merkel cell-neurite complex	Ruffini corpuscle	C-fibre LTM	Mechano-nociceptor Polymodal nociceptor
<b>Skin stimulus</b>	Light brush	Dynamic deformation	Vibration	Indentation depth	Stretch	Touch	Injurious forces
<b>Afferent response</b>	RA, LT	RA, LT	RA, LT	SA, LT	SA, LT	SA, LT	SA, HT

# Somatosensorické vnímání



**Figure 6.3** (a) The figure shows the brushwork of sensilla at the articulation of the second leg of the cockroach, *Periplaneta americana*. The thick cuticle of the pleuron (pl) thins to a delicate articular membrane and then thickens again to form the cuticle surrounding the coxa (cx), the first segment of the leg. The brush of sensilla forms a hairplate (hp). From Pringle, 1938

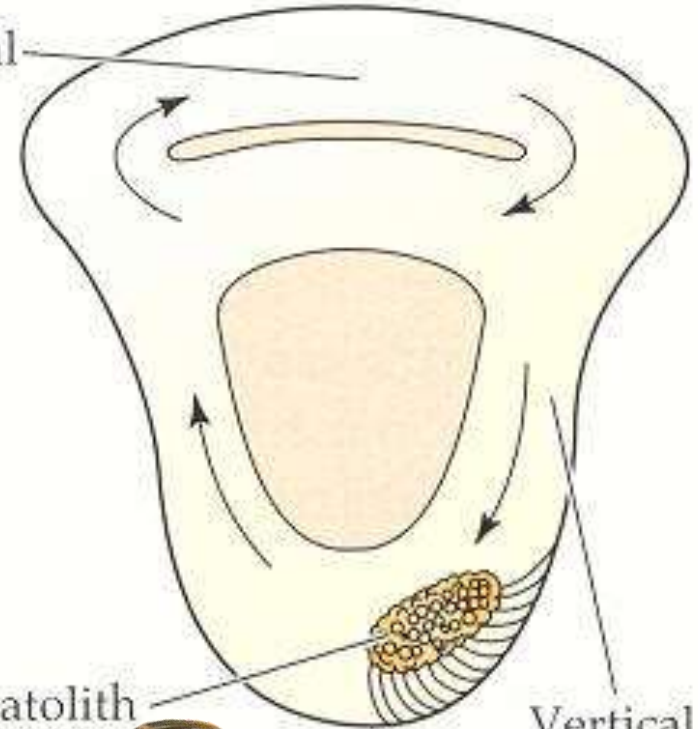
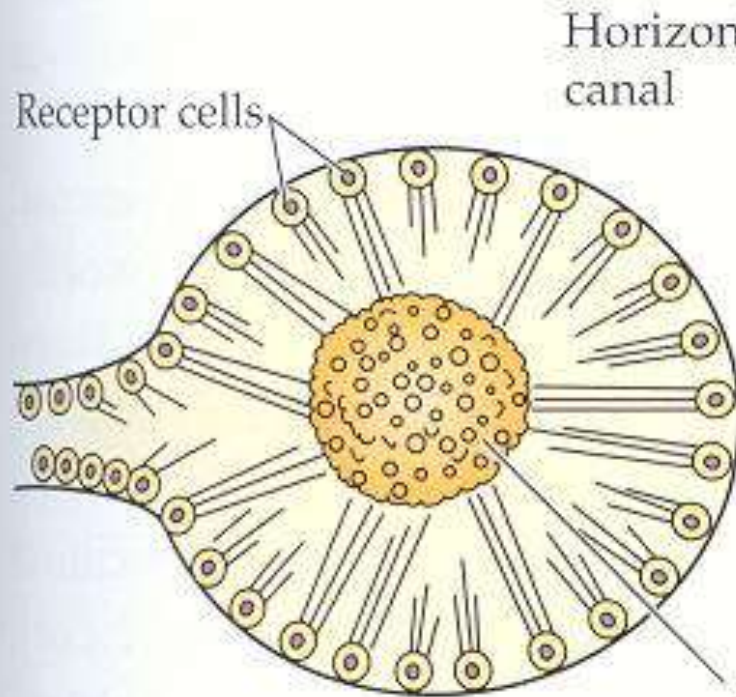


Plošky hmatových chlupů hmyzu

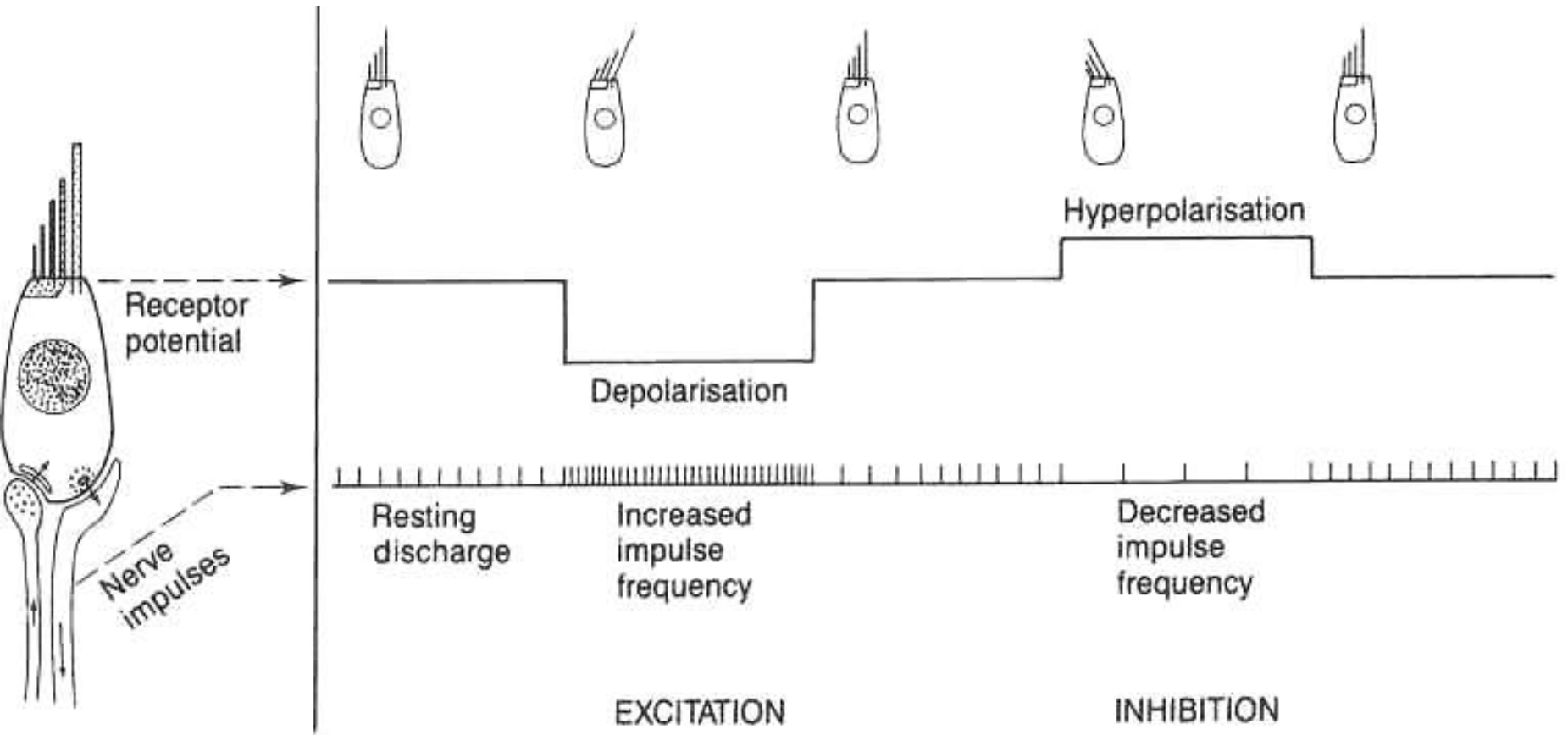
# Smysl pro rovnováhu – Statocysta nebo kanálek

(a) Statocyst of a scallop (*Pecten*)

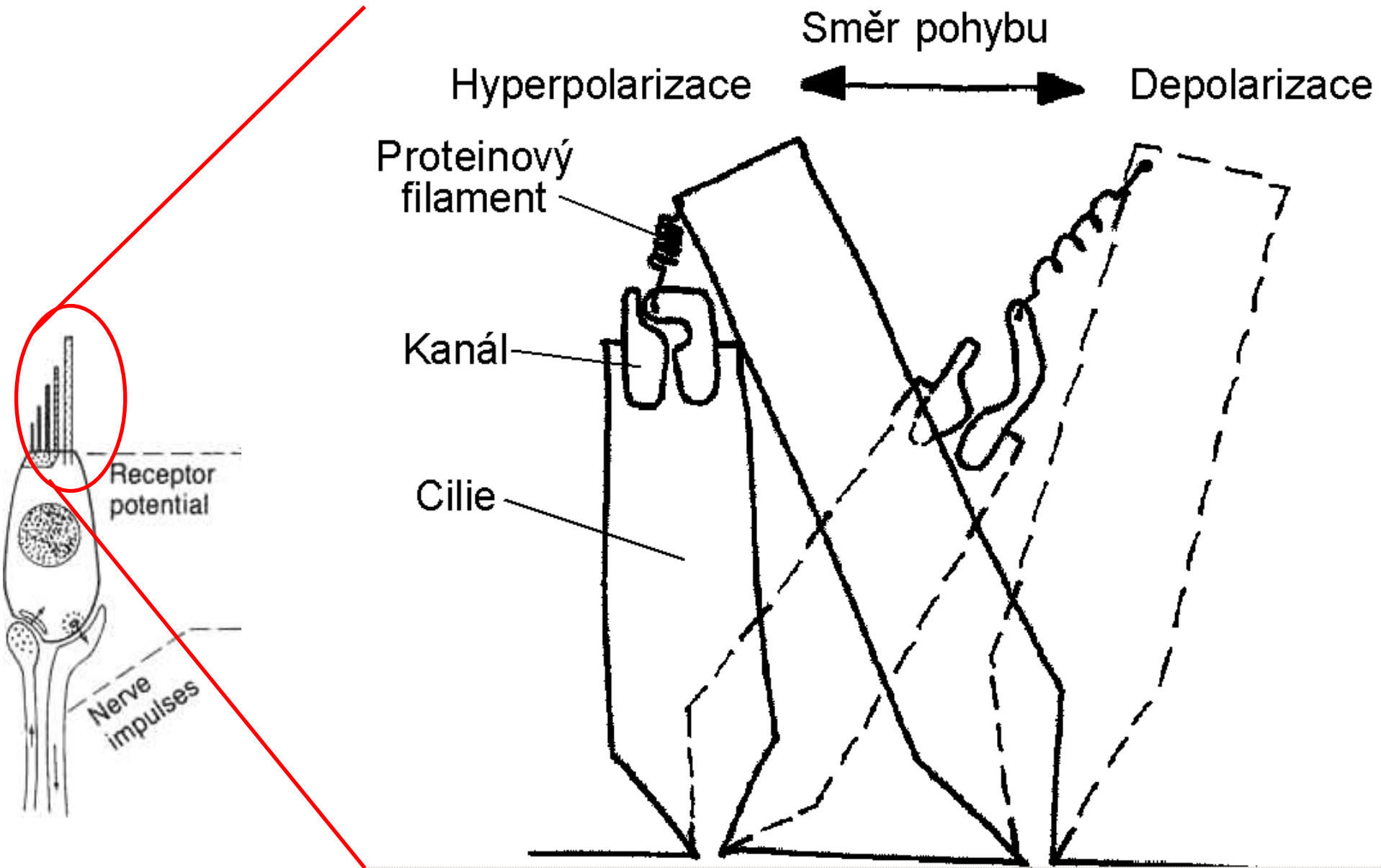
(b) Statocyst of a crab



# Vlásoková buňka obratlovců – specialista na jemný pohyb



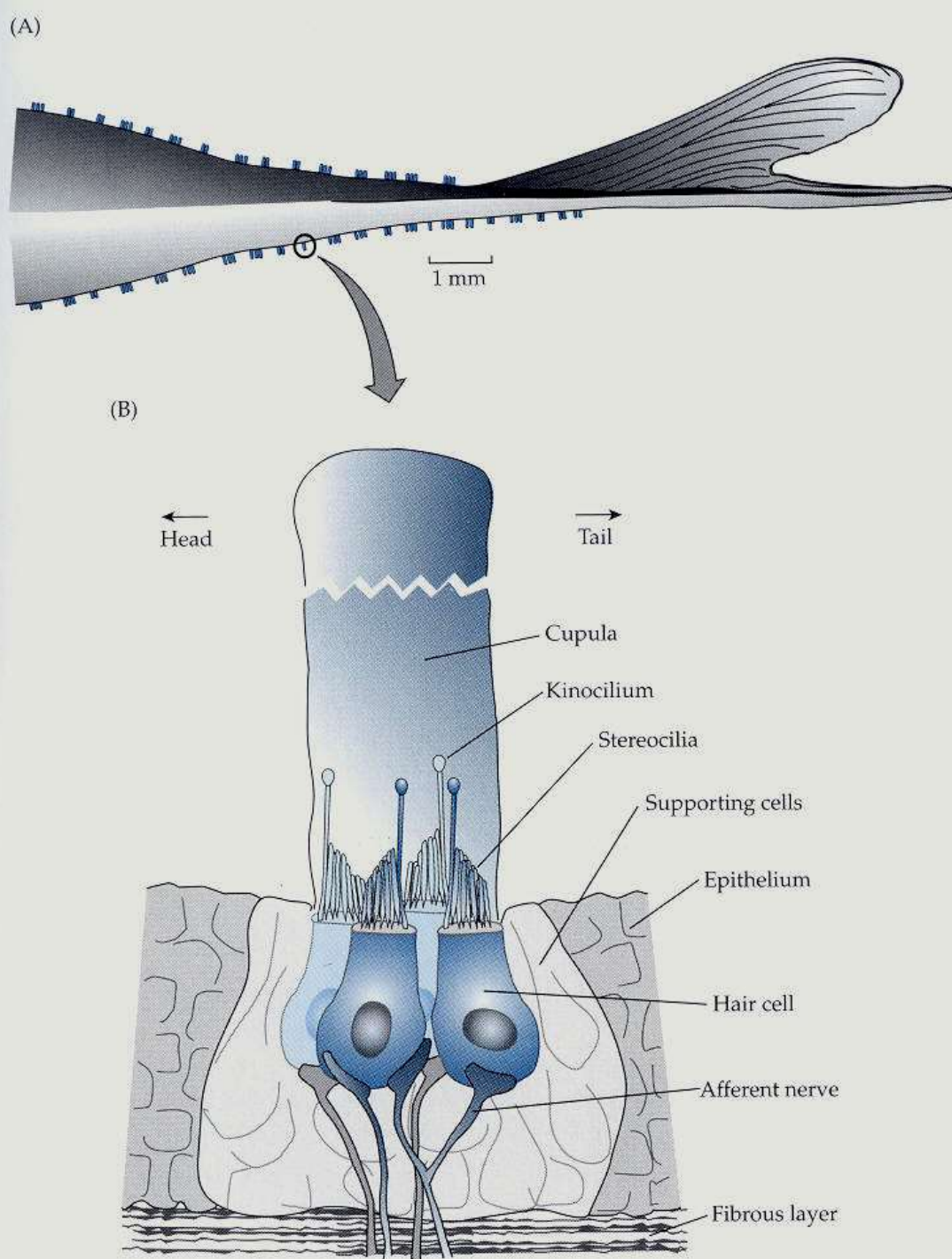
# Vlásková buňka – specialista na jemný pohyb



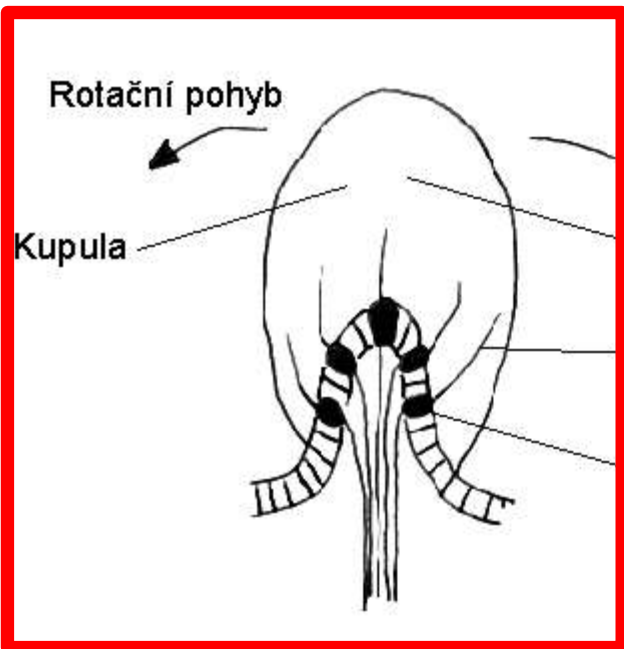
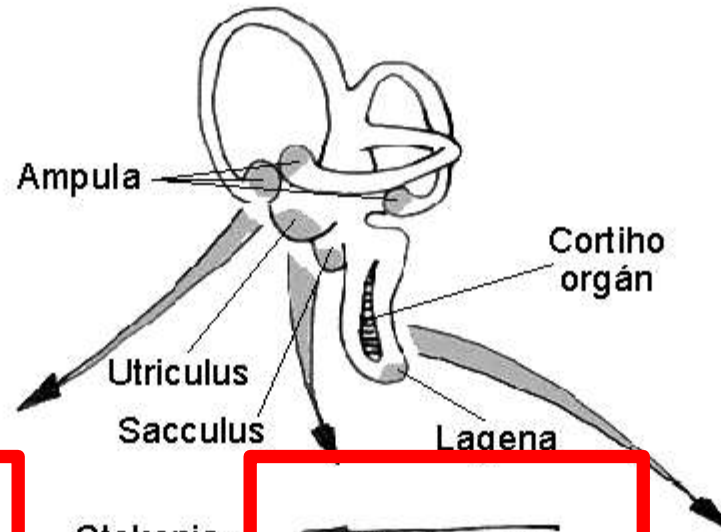


Proudový smysl -  
Kanálek přepažený  
kupulou s receptory

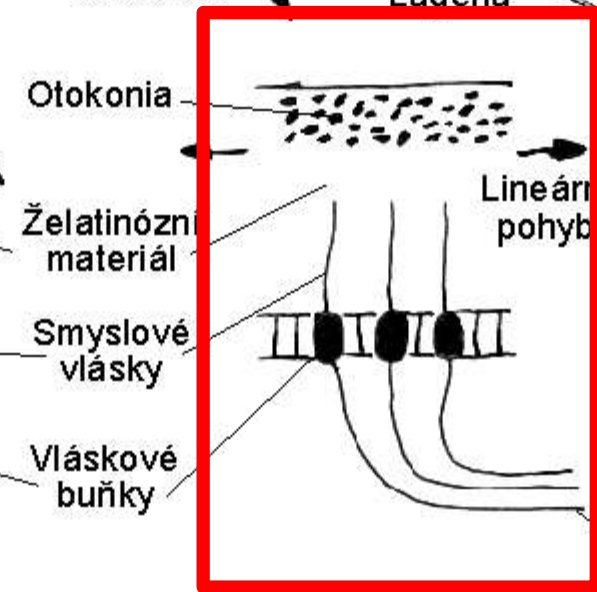
Ryba animace



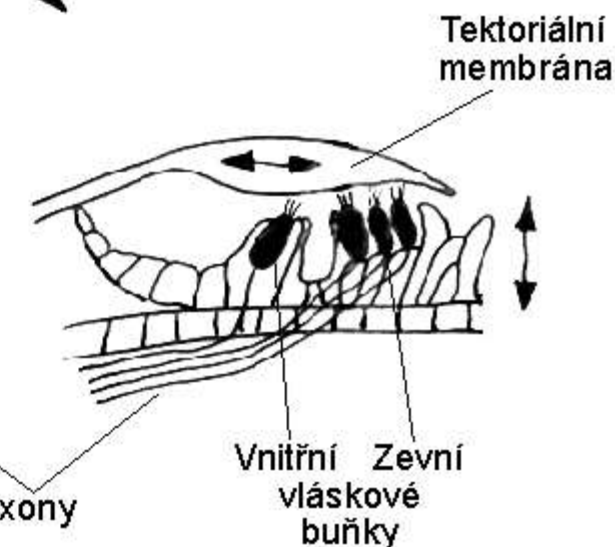
# Vestibulární aparát a sluchový orgán



a)



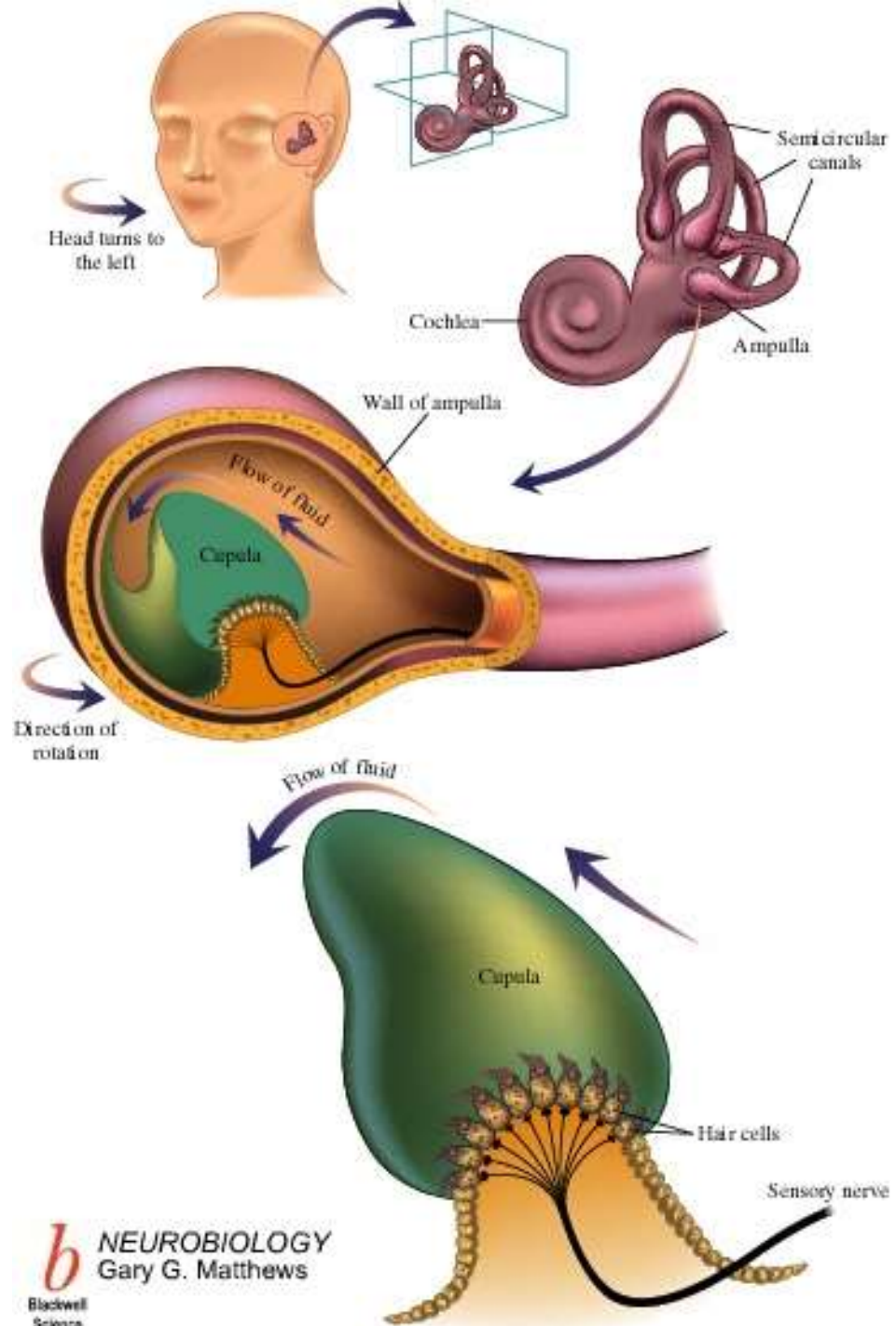
b)



c)

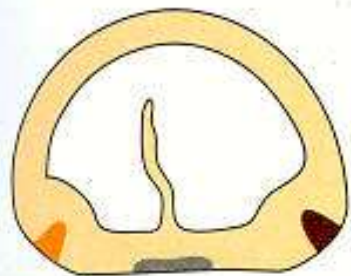
Axony

Lineární pohyb

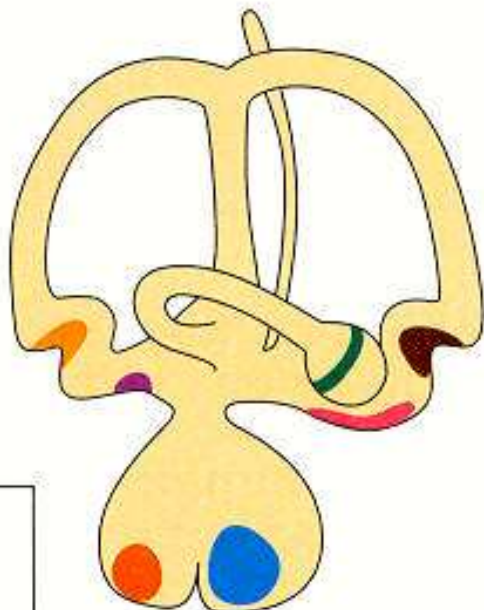


# Evoluce smyslových polí tvořených vláskovými buňkami.

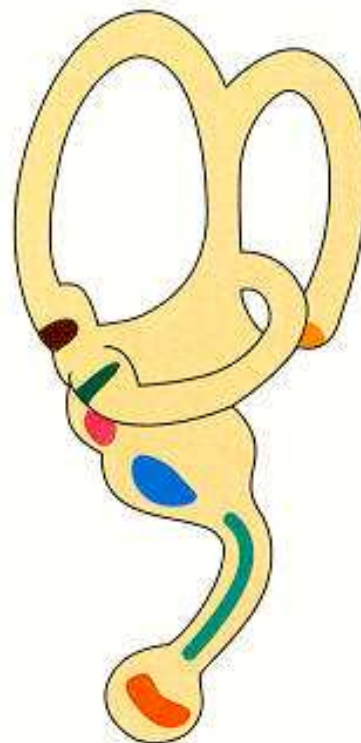
Fish (Myxine)



Frog



Bird



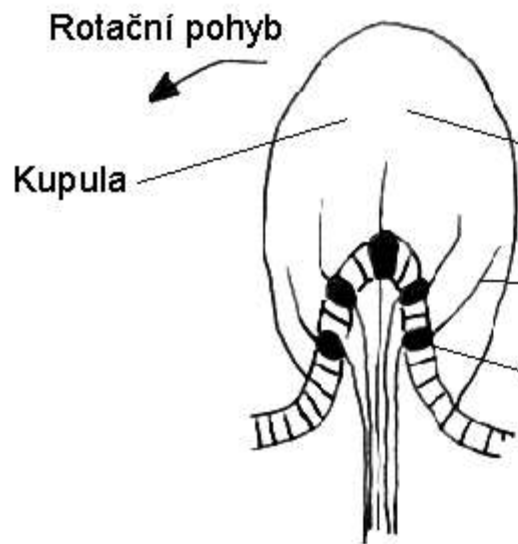
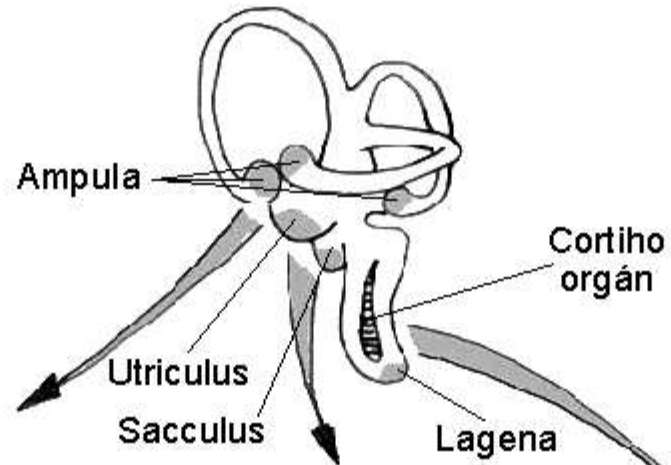
Mammal



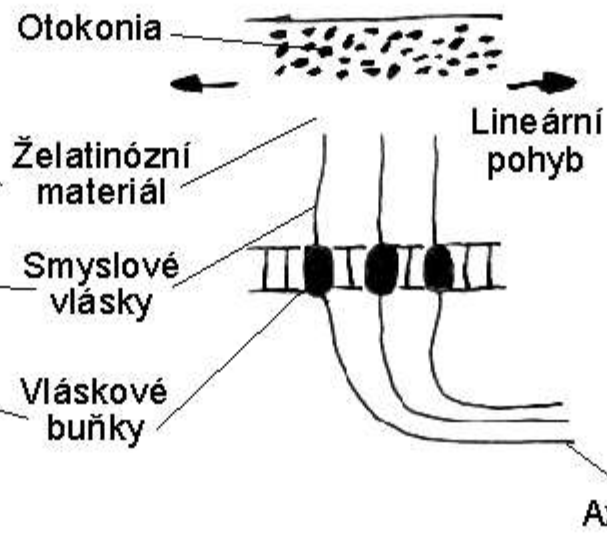
## KEY

- Anterior crista
- Lateral crista
- Posterior crista
- Macula communis
- Macula lagenae
- Macula neglecta
- Macula sacculi
- Macula utricula
- Papilla basilaris

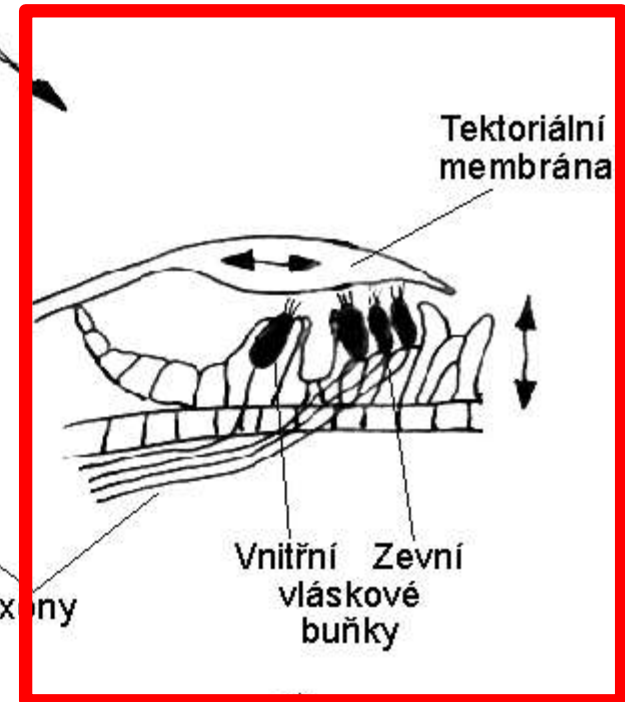
# Sluchový orgán



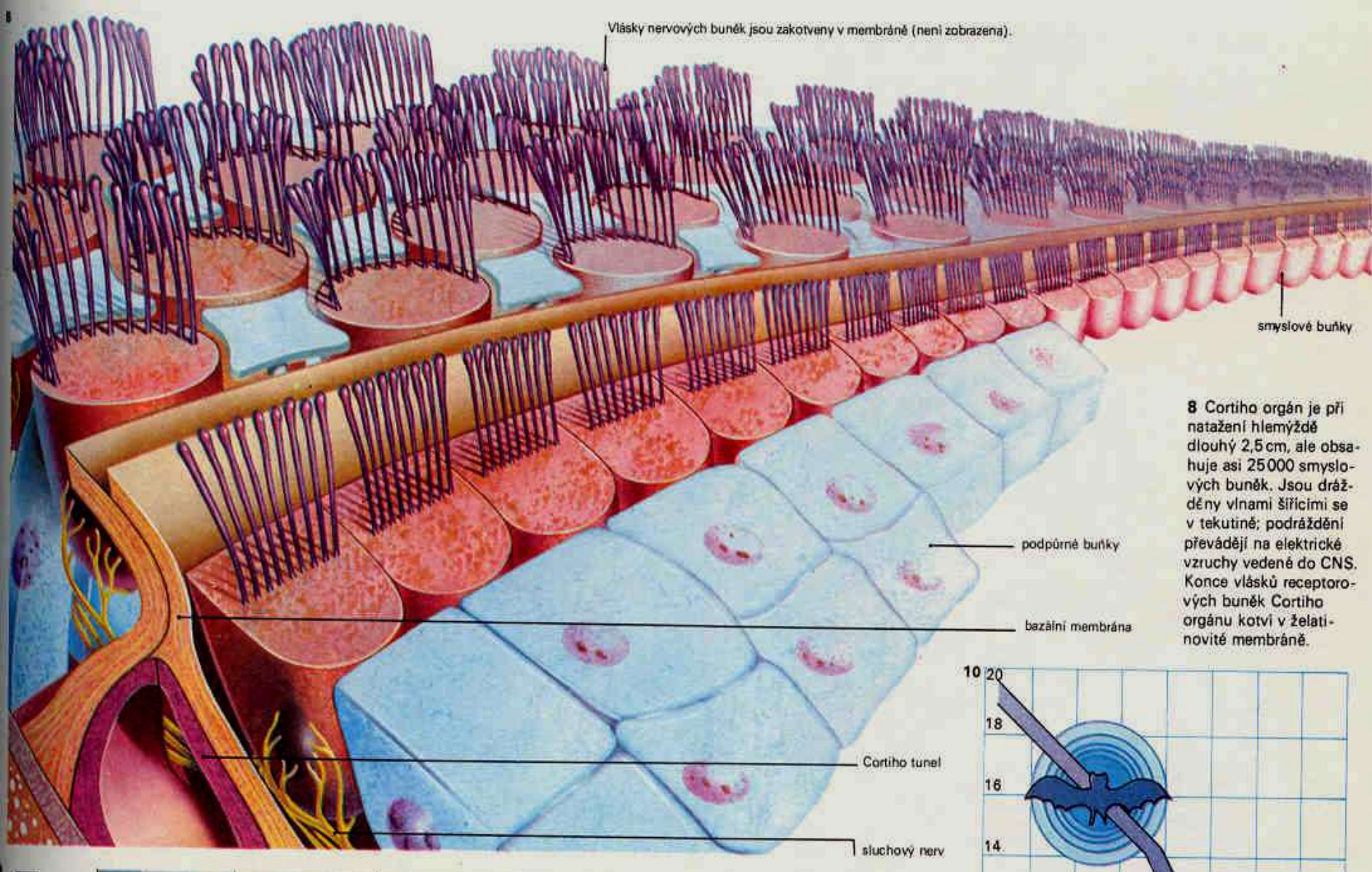
a)



b)

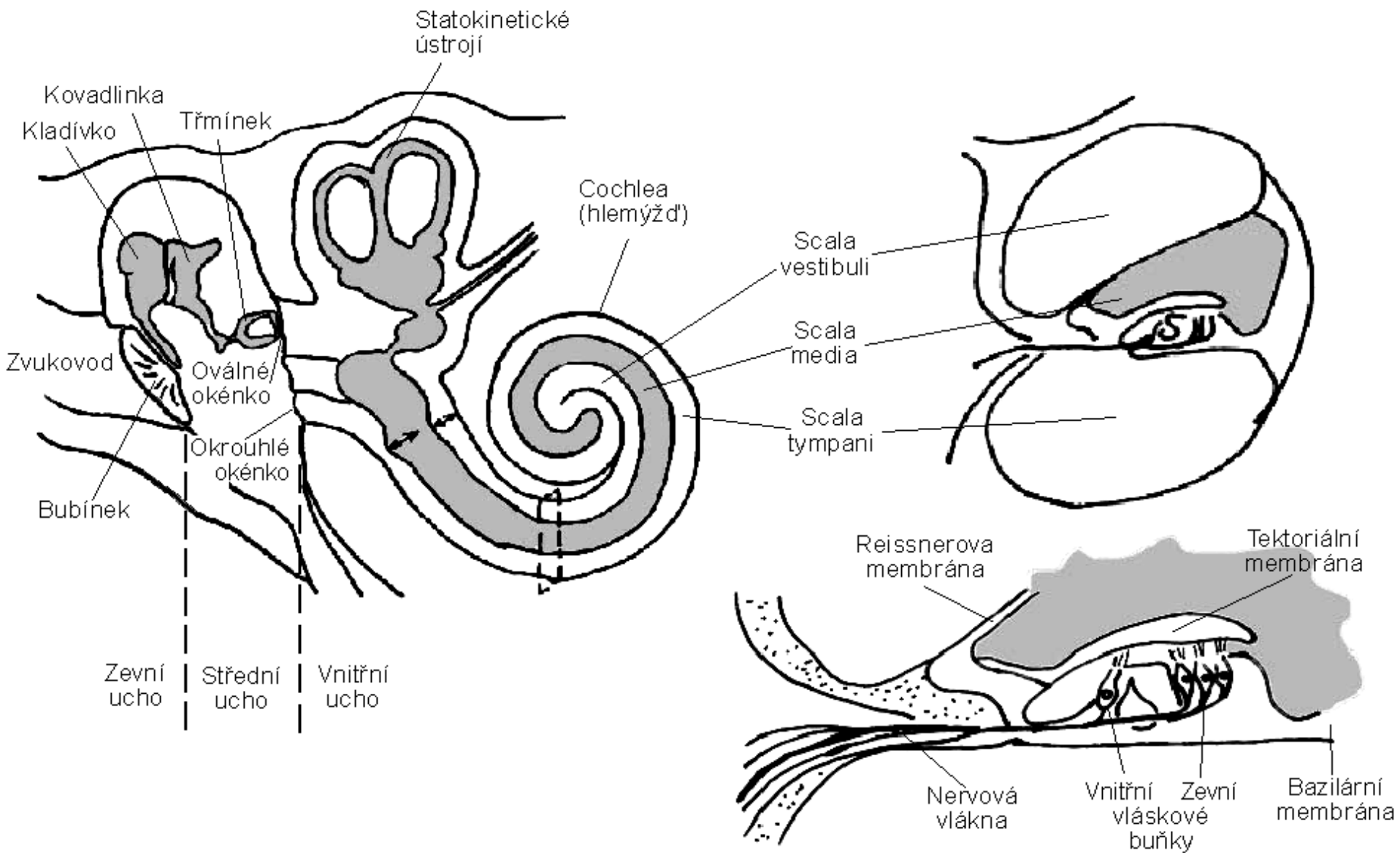


c)

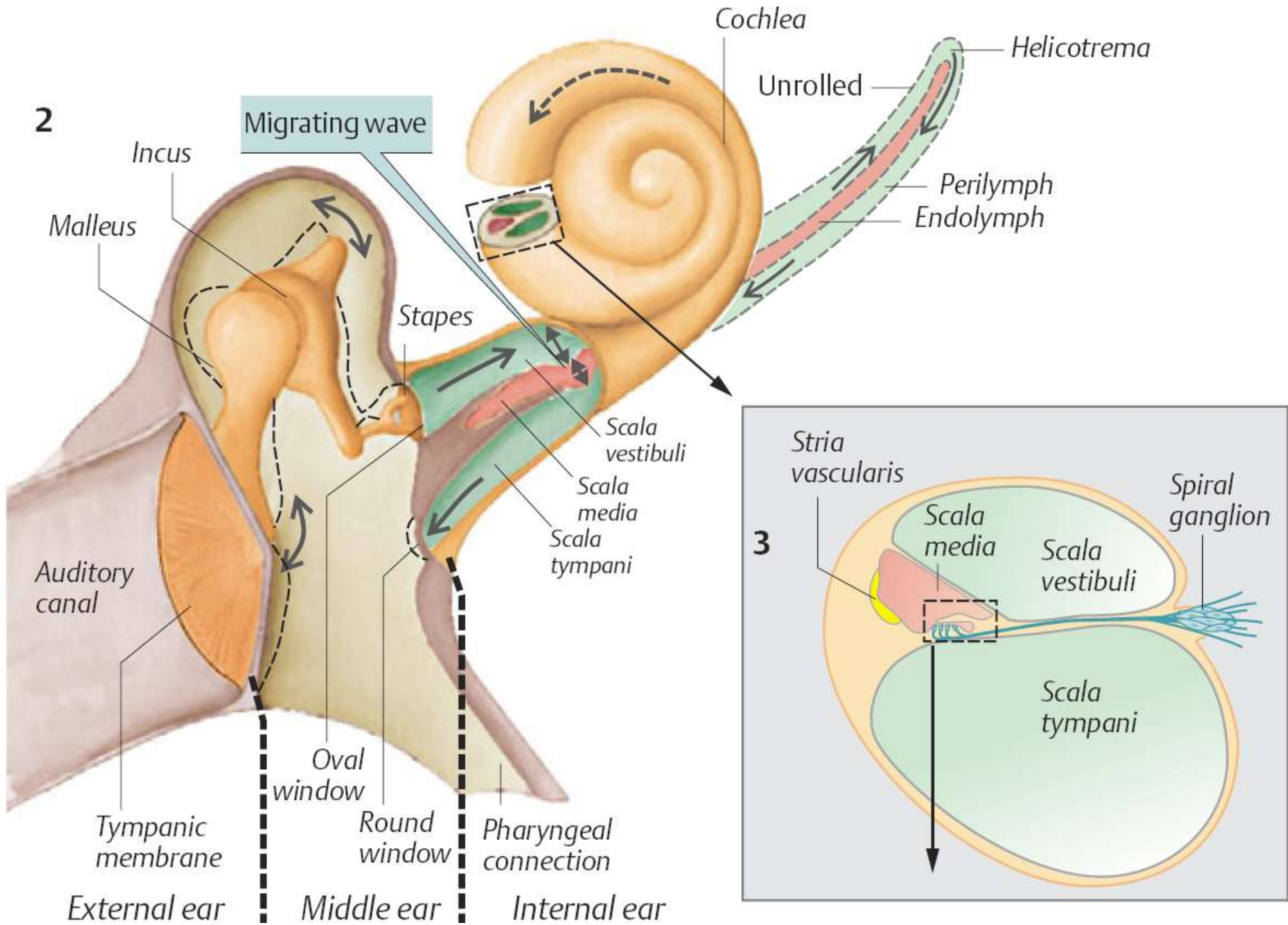


Cortiho orgán: 25.000 vláskových buněk ve dvou řadách

# Sluchový aparát savců



2



3

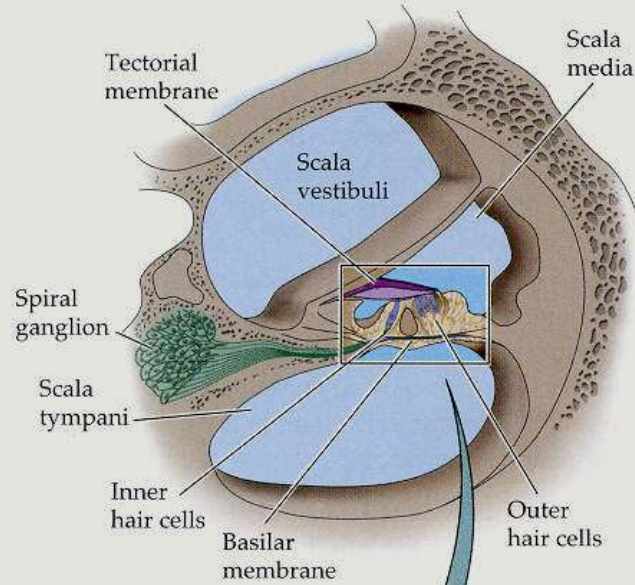


# Sluchový aparát savců Vnitřní ucho

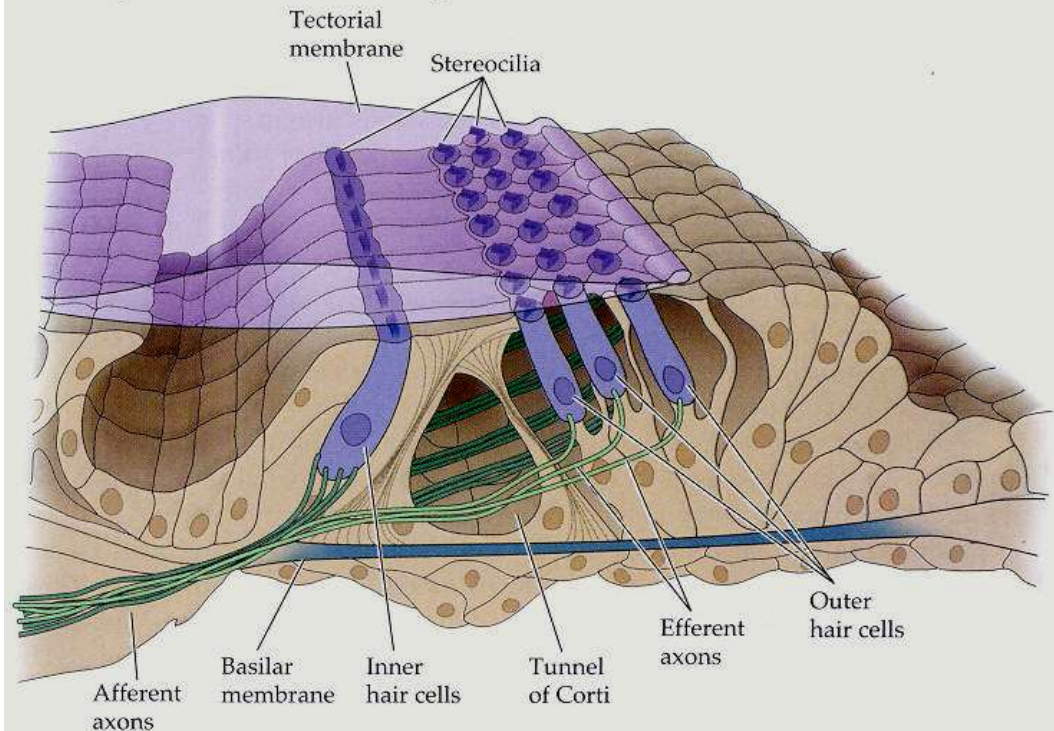
Animace ear.

[http://highered.mcgraw-hill.com/olc/dl/120108/bio\\_e.swf](http://highered.mcgraw-hill.com/olc/dl/120108/bio_e.swf)

(a) A cross section through the cochlea



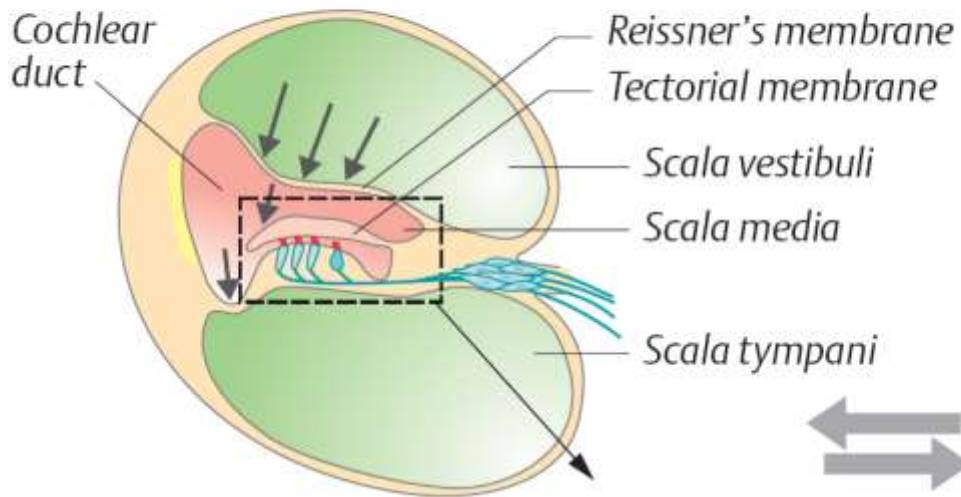
(b) The organ of Corti



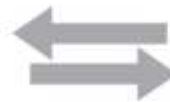
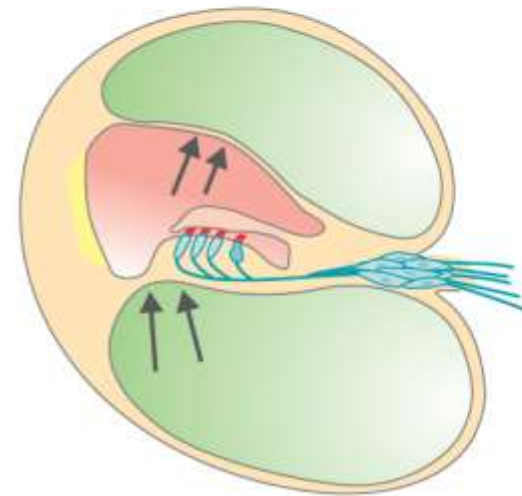
Zvukové vlny způsobí posuny tektoriální a basilární membrány a tím i ohýbání vlásků.

**D. Stimulation of hair cells by membrane deformation**

1

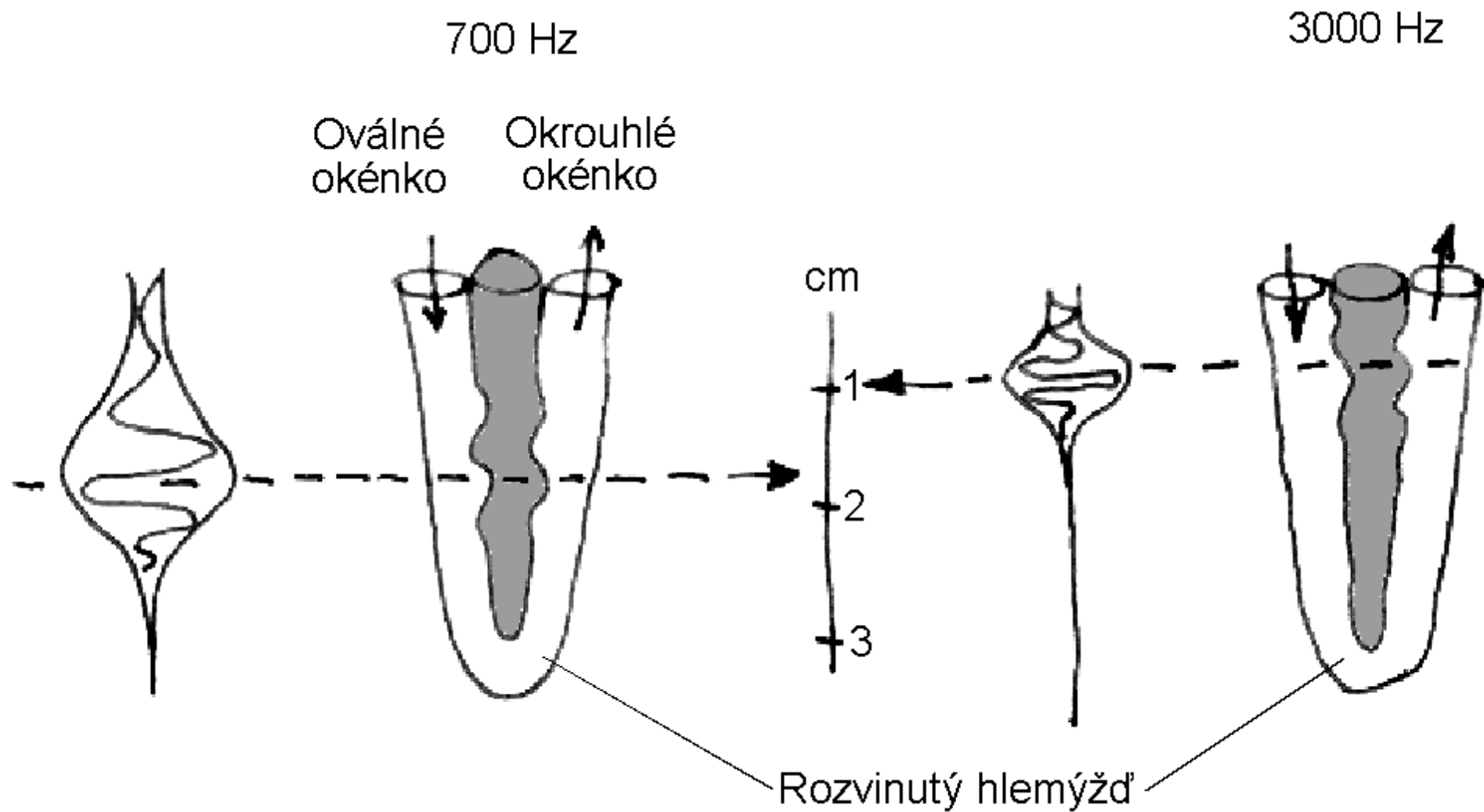


2

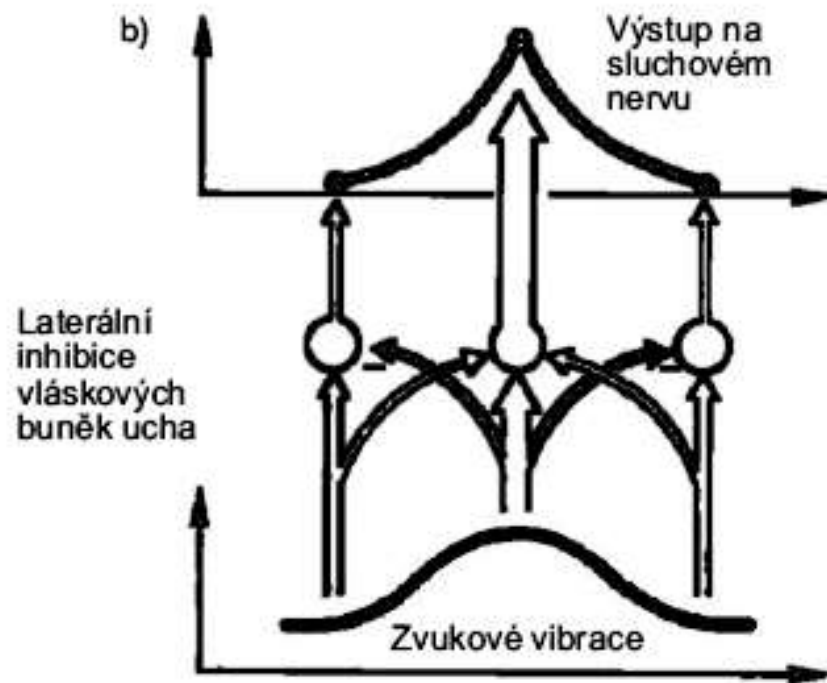
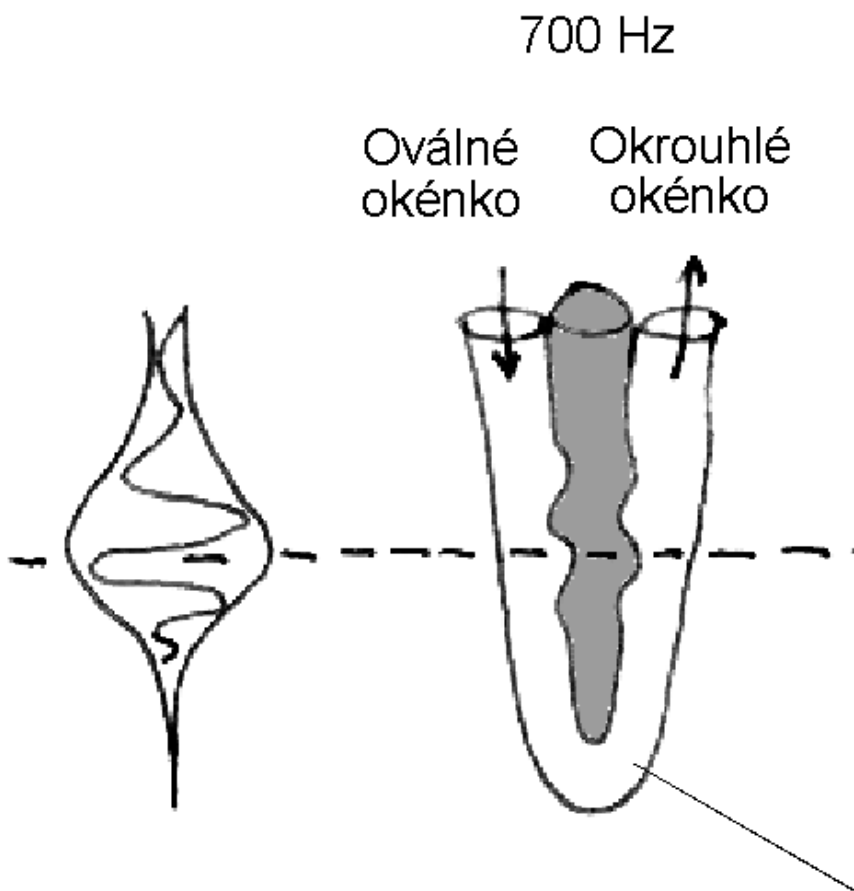


Tektoriální membrána - animace

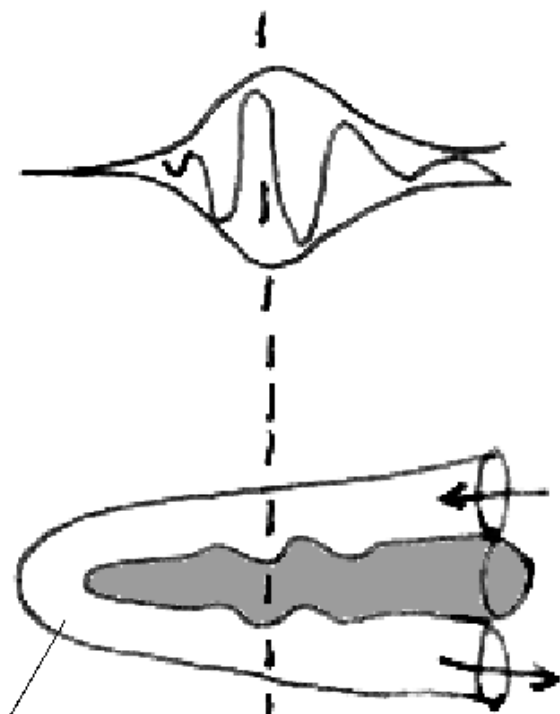
Výška tónu se promítá do prostorově lokalizovaného maxima.



# Vyostření maxima – laterální inhibice



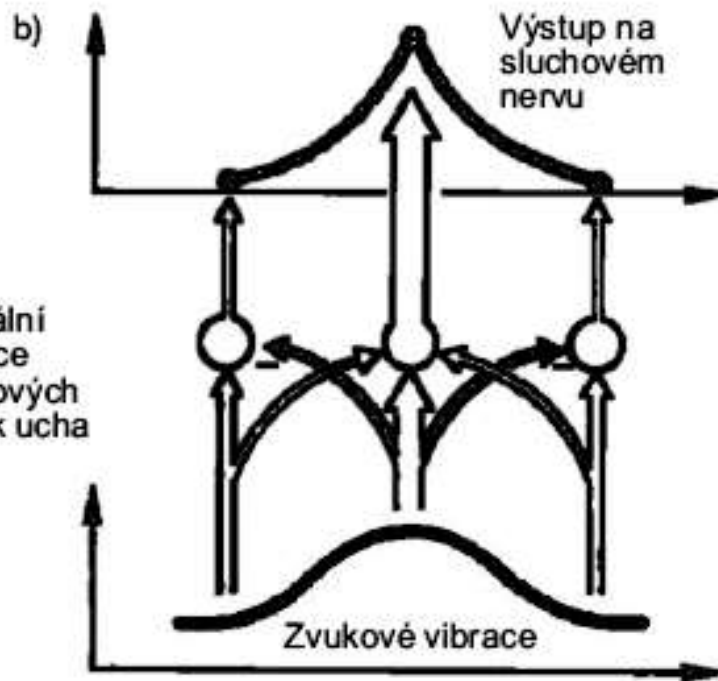
# Vyostření maxima – laterální inhibice



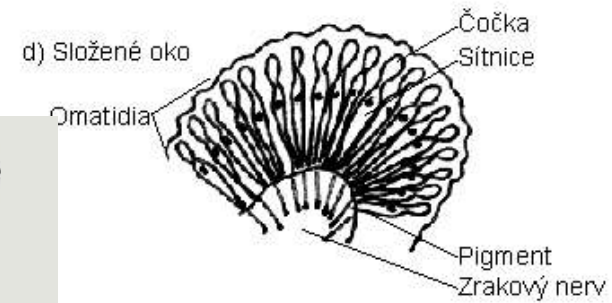
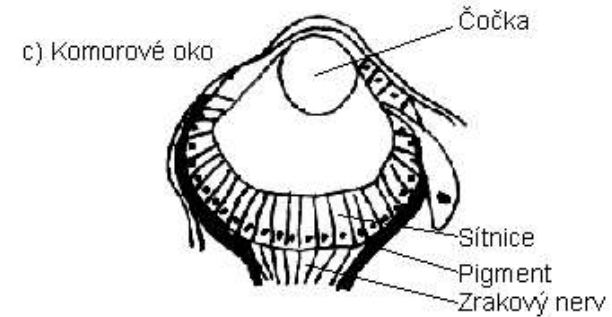
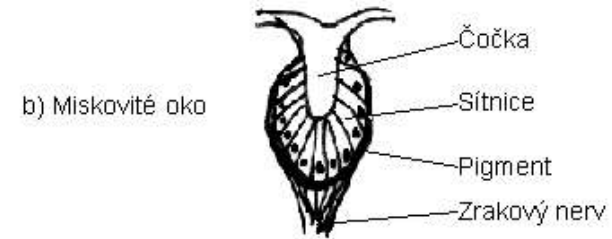
Oválné Okrouhlé  
okénko okénko

700 Hz

Laterální  
inhibice  
vláskových  
buněk ucha



# Fotorecepce

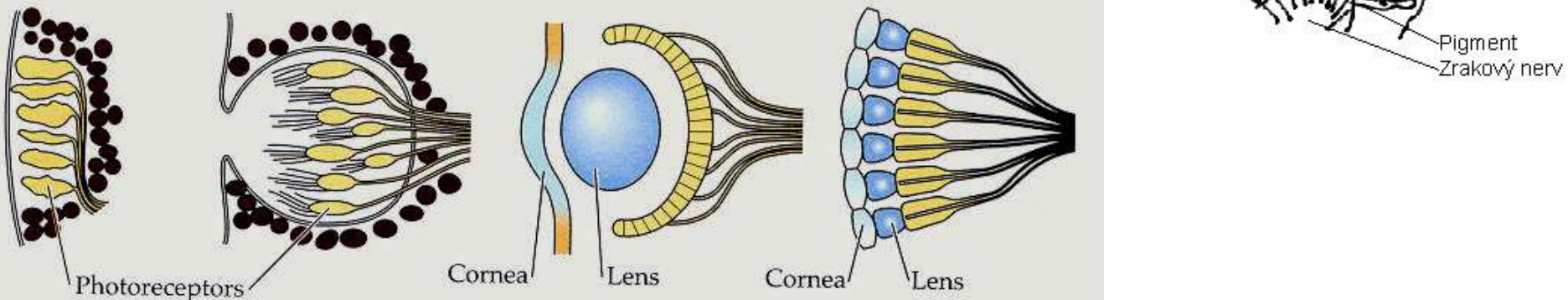


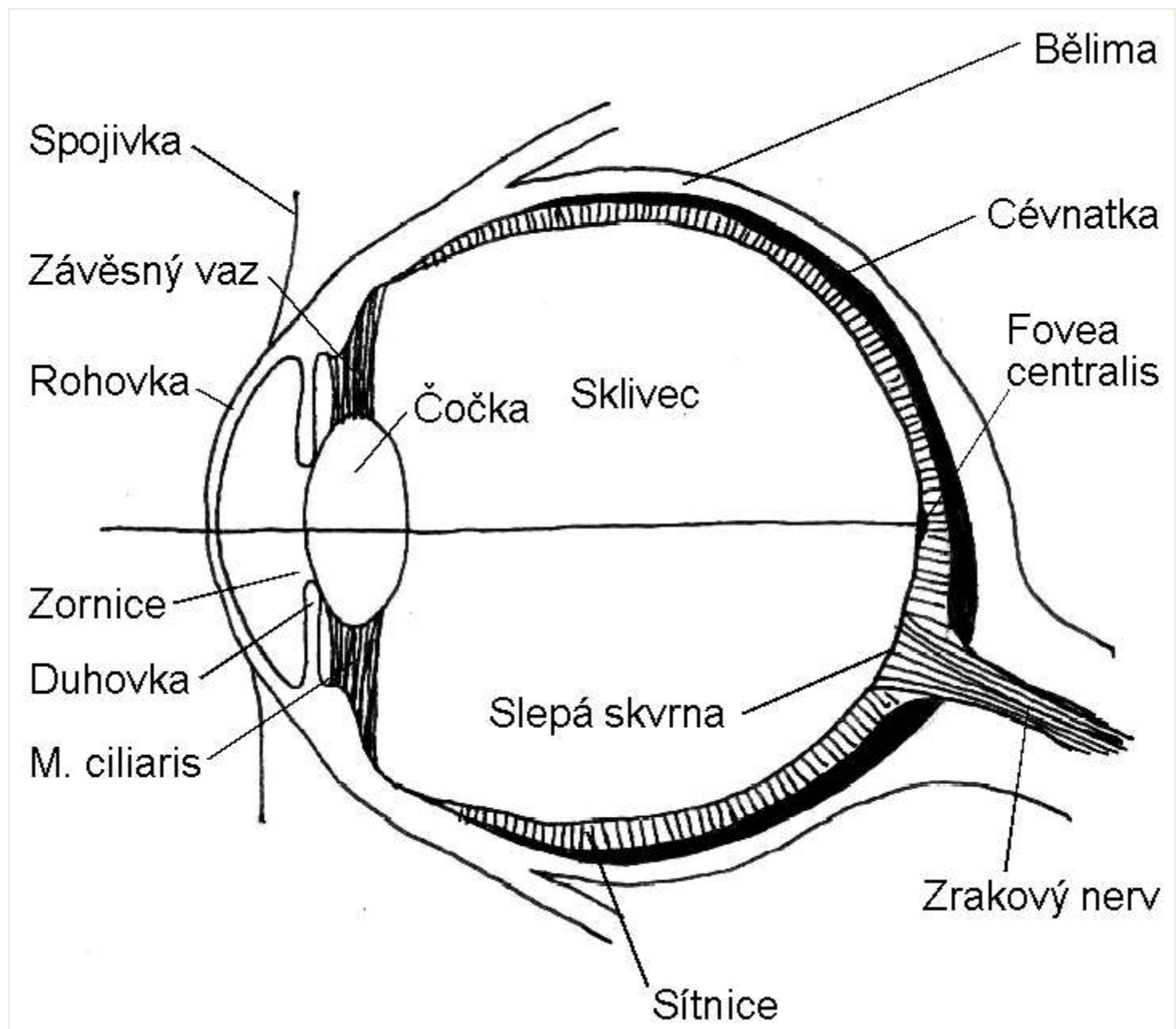
(a) Retinal plate

(b) Eyecup

(c) Camera eye

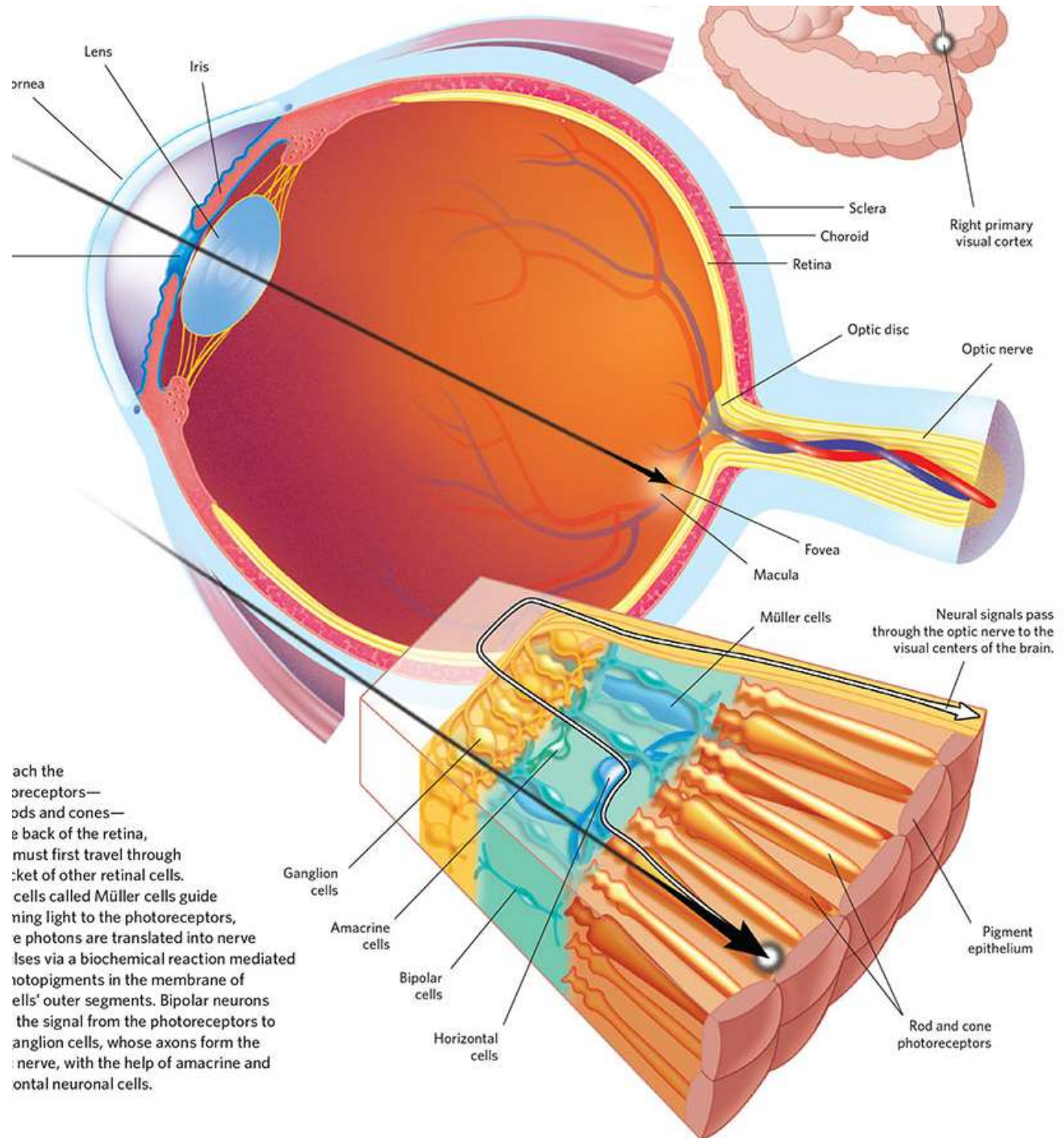
(d) Compound eye





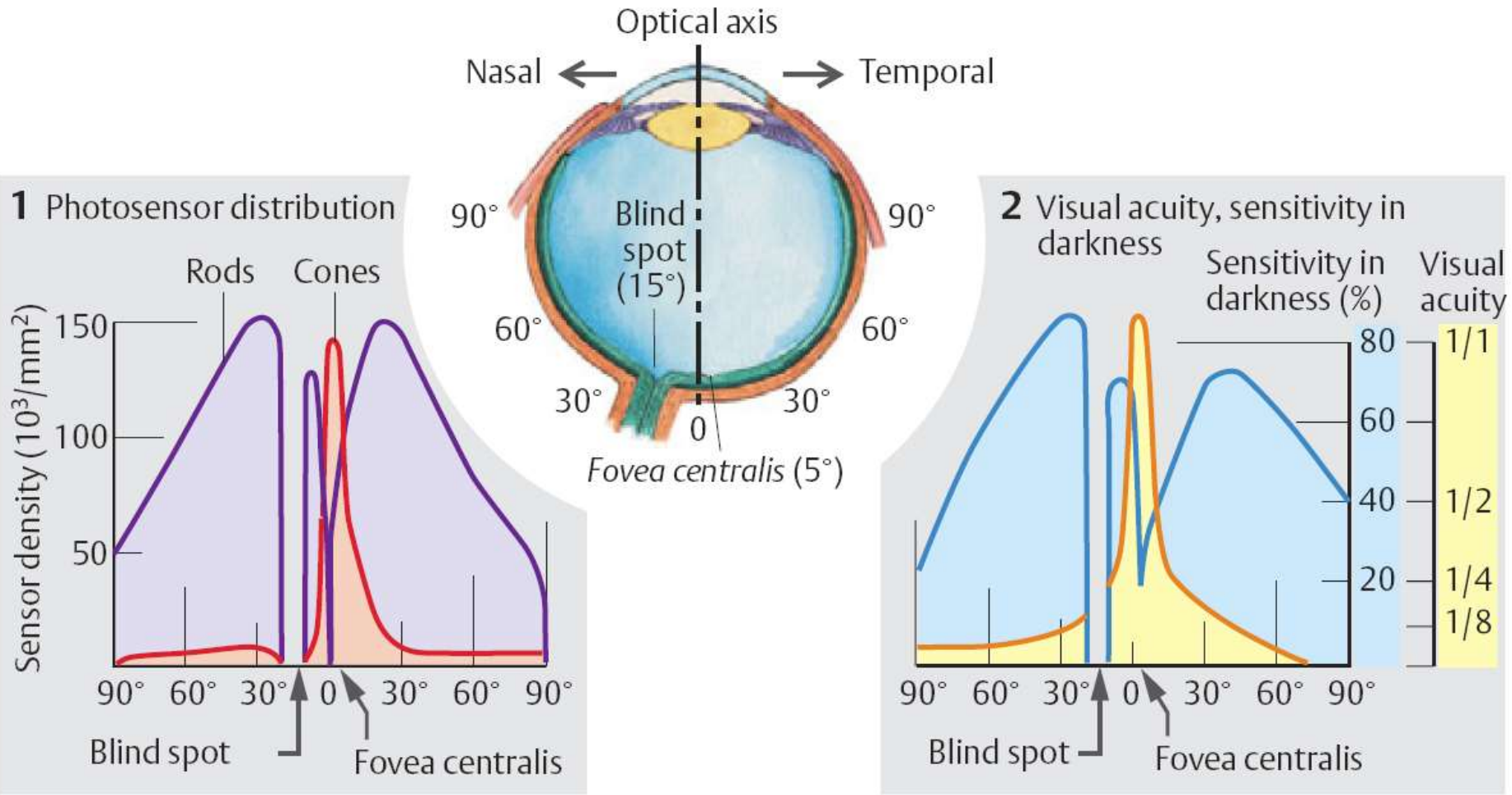
# Inverzní oko

Světlo musí projít  
přepojovacími  
dráhami než dorazí k  
recepční membráně



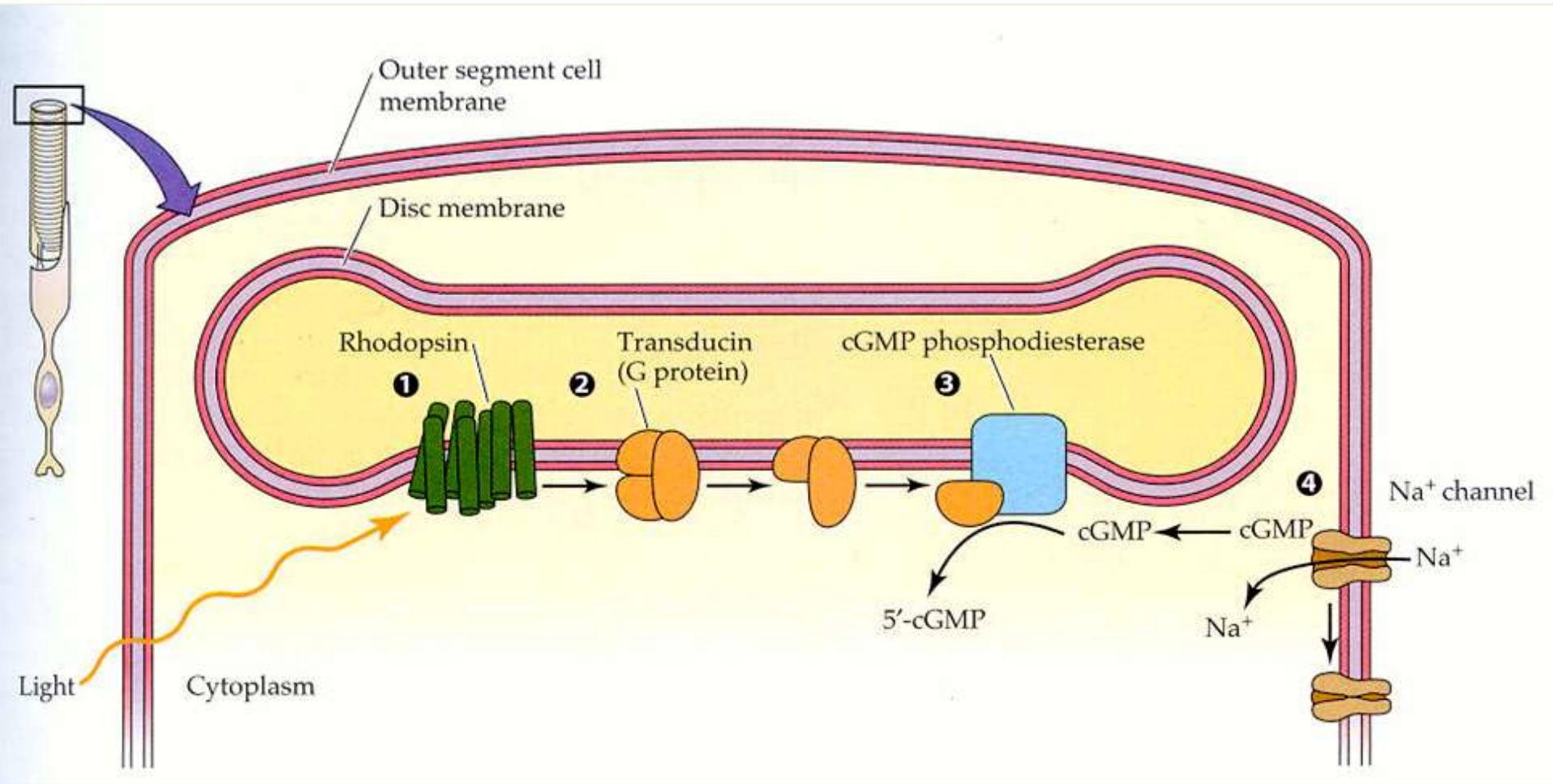


## B. Retina: Photosensor distribution, sensitivity in darkness and visual acuity



RGB čípky, ale jen RG ve fovei. Tyčinky jsou velmi štíhlé 2-5 $\mu\text{m}$ , čípky v periférii 5-8  $\mu\text{m}$ , ve fovei ale pouze 1,5  $\mu\text{m}$ .

# Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

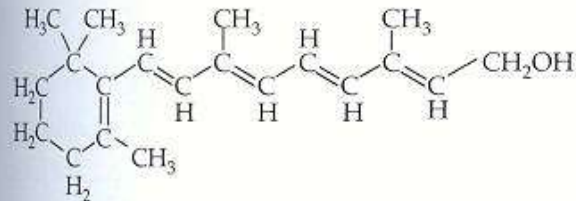


# Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

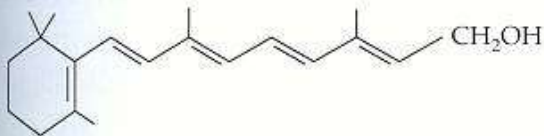
Animace rhodopsin.

Cis trans animace

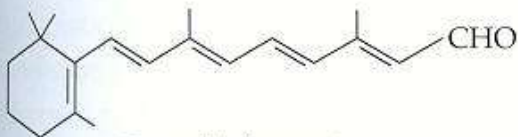
(a) Retinal and vitamin A



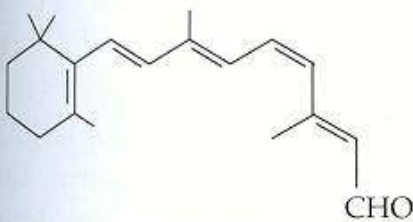
Complete structure of vitamin A (all-trans)



Condensed structure of vitamin A (all-trans)

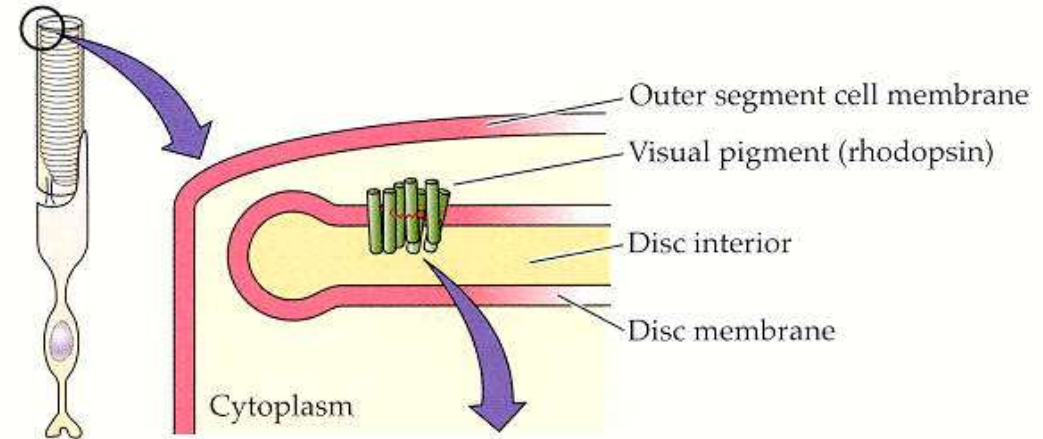


Retinal (all-trans)

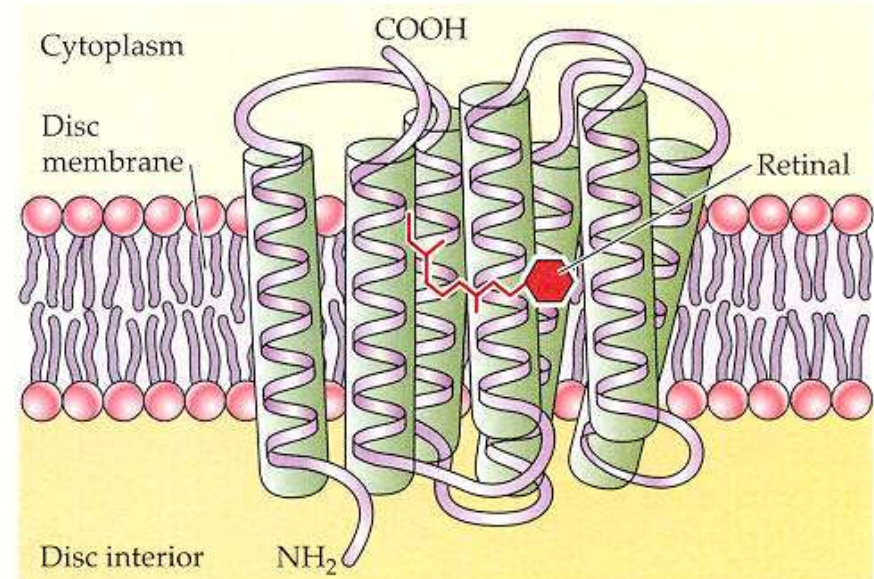


Retinal (11-cis)

(b) Opsin

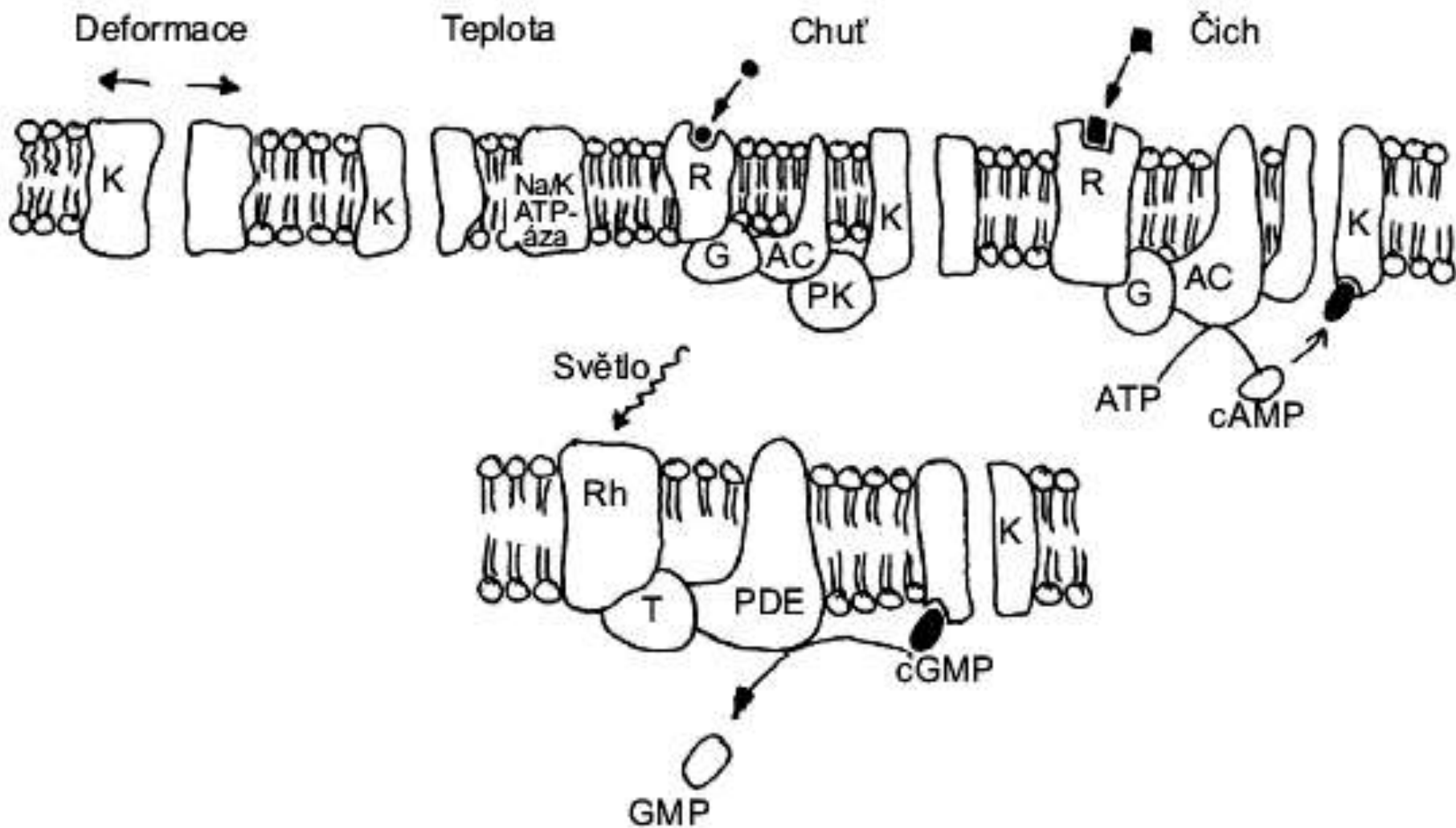


SENSORY PROCES

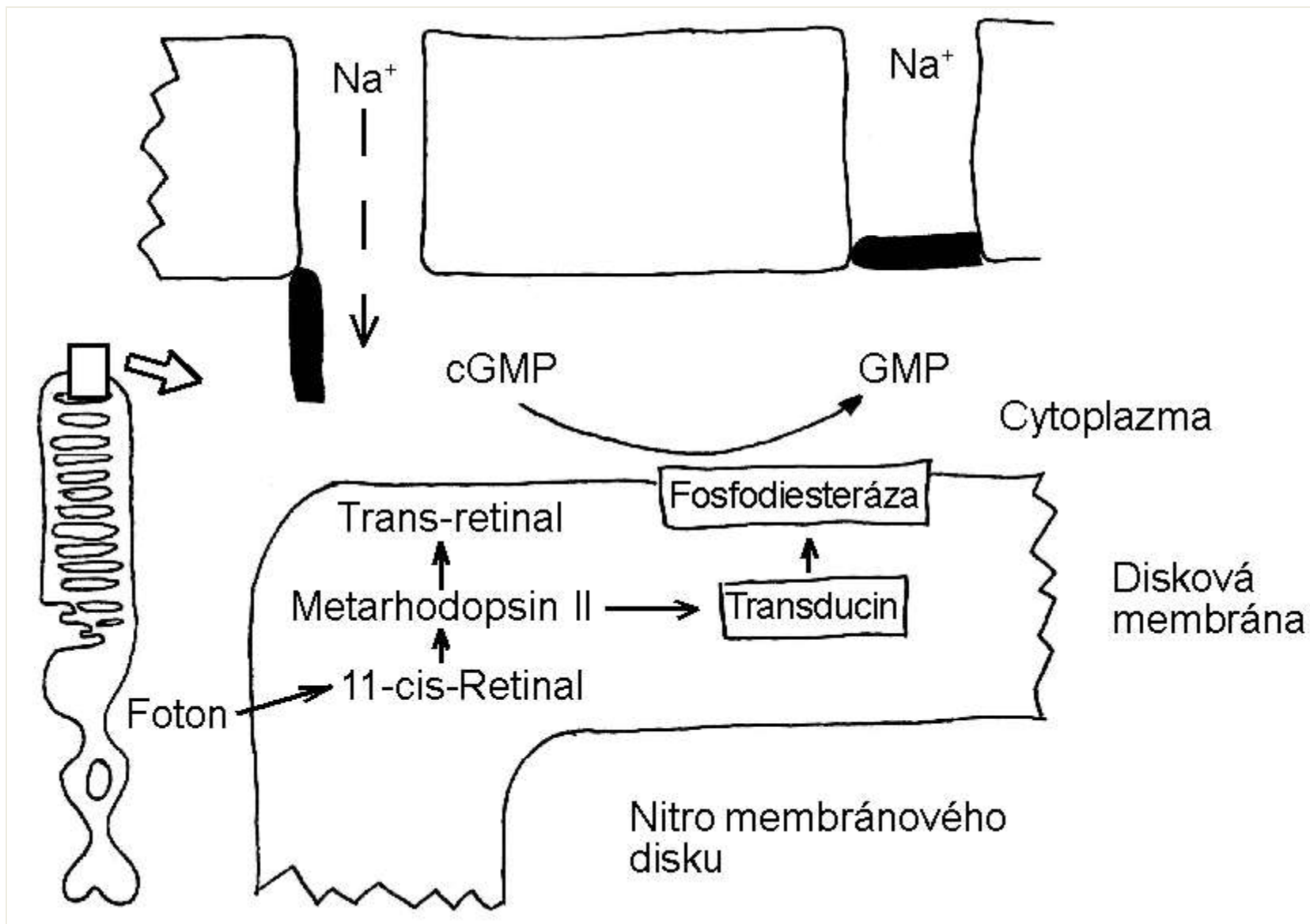


# Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

## Fotorepce a chemorecepce – podobný princip



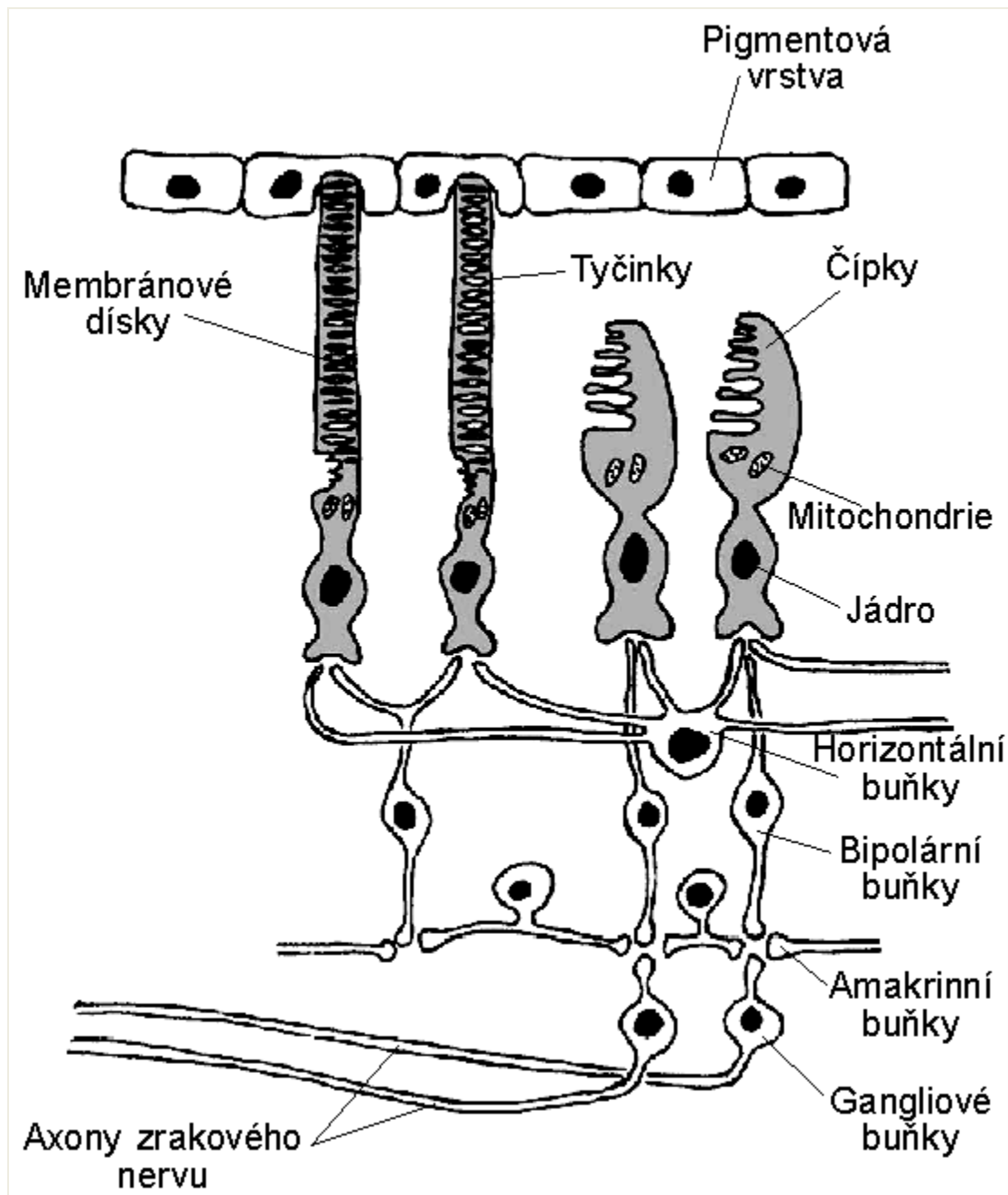
# Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu



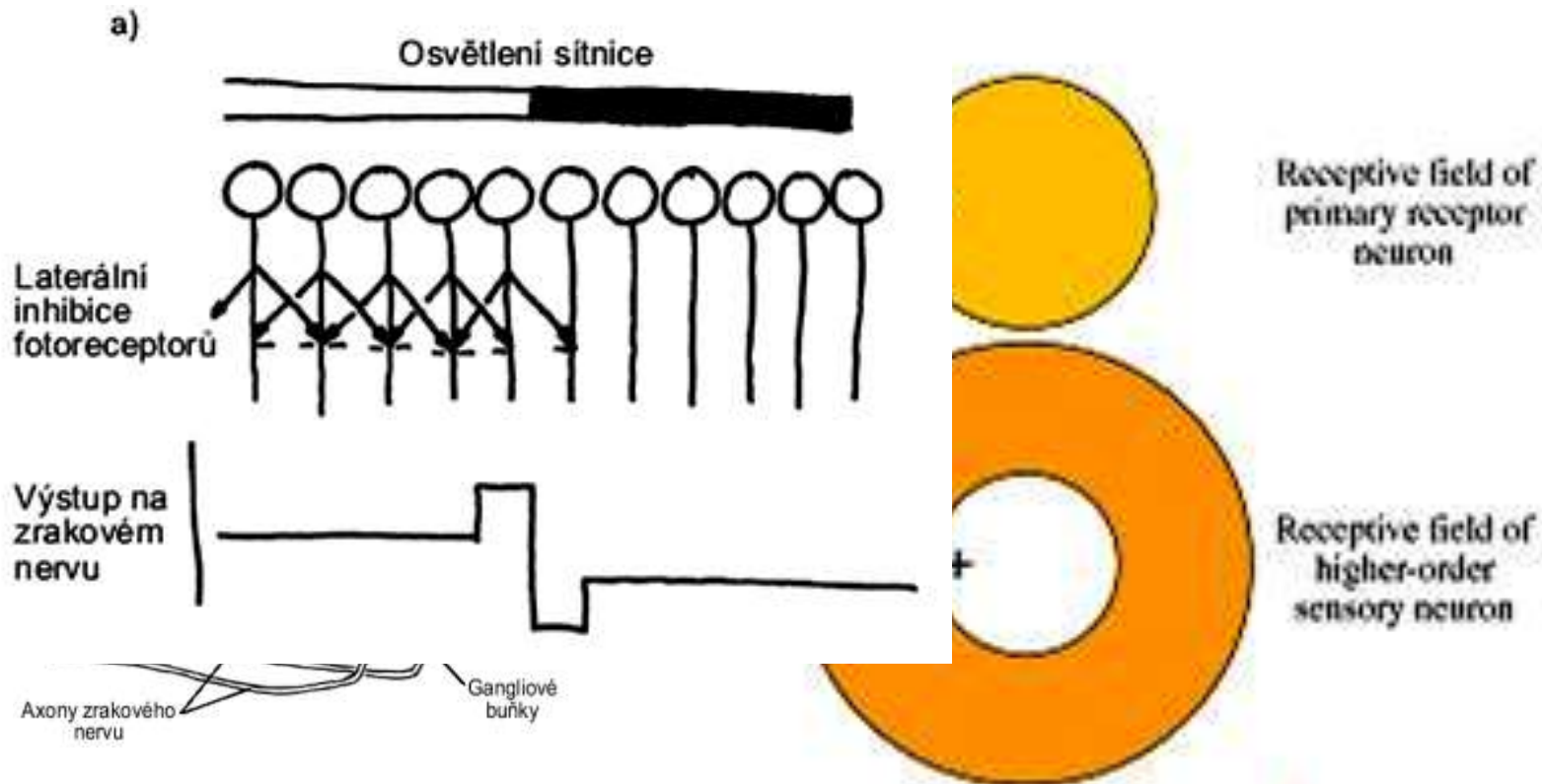
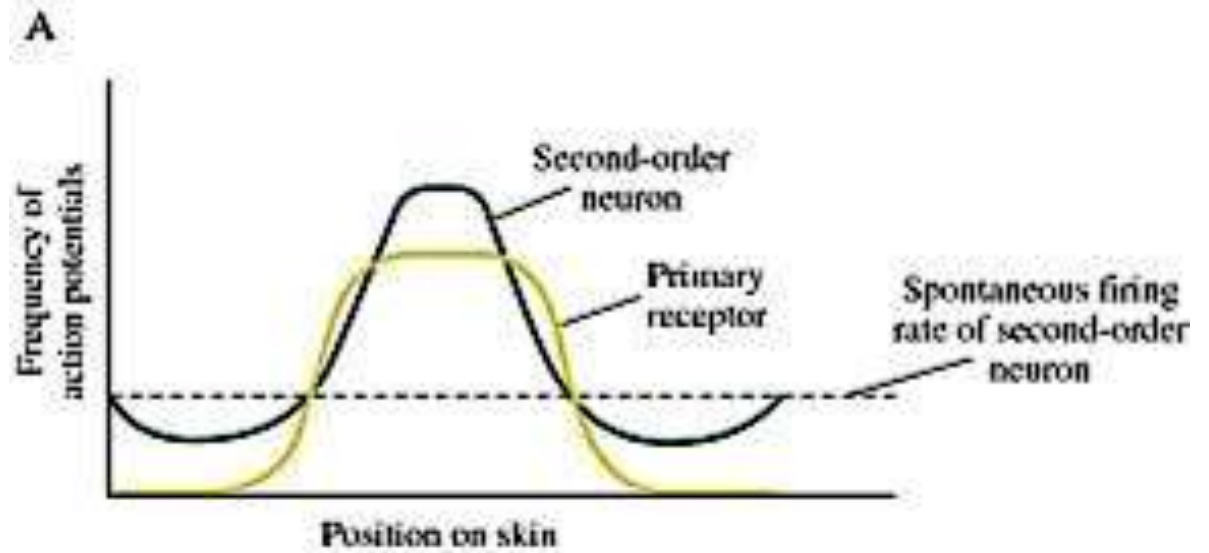
Zpracování začíná už v sítnici.

Laterální inhibice  
První analýza kontrastů

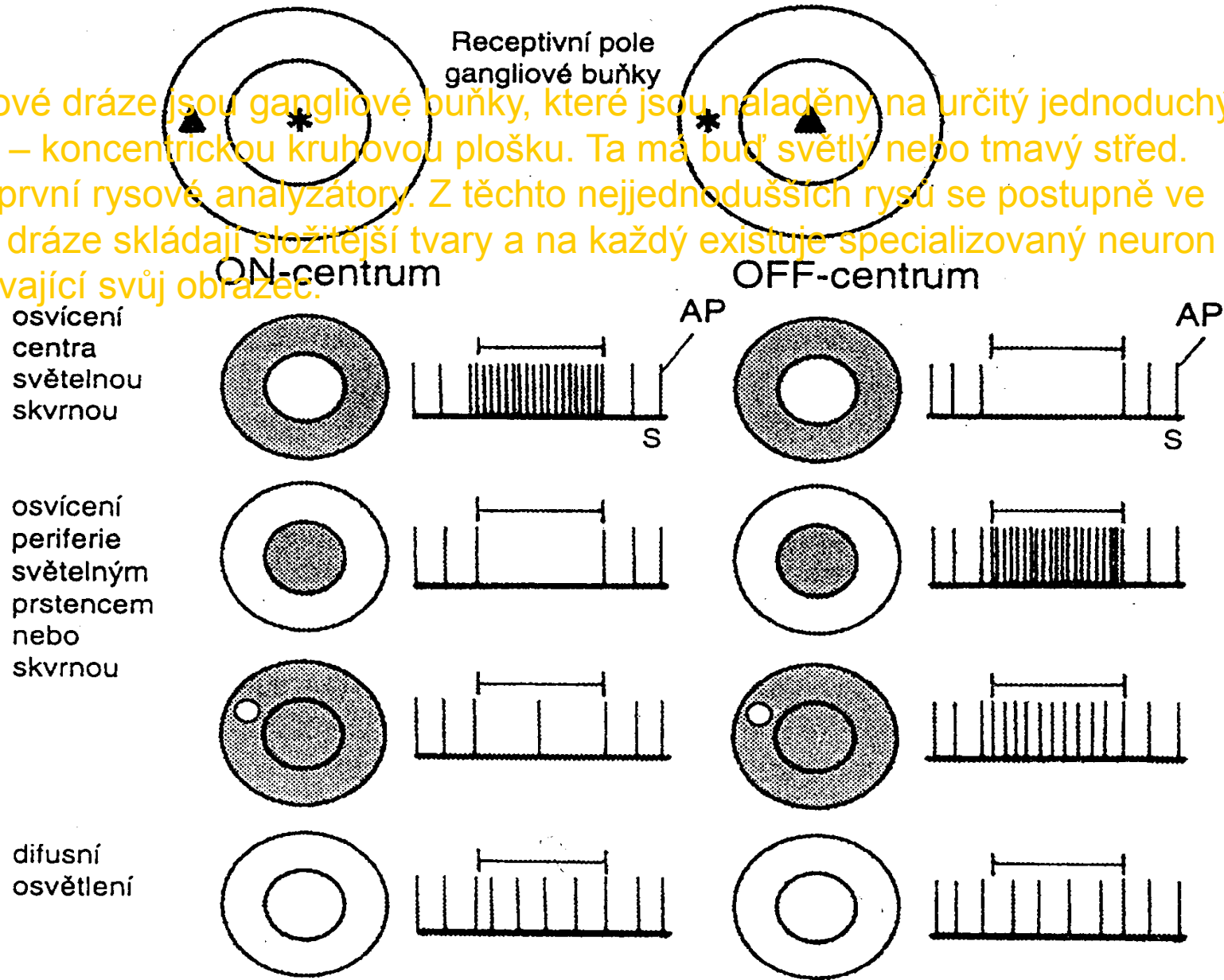
Modifikovatelná  
konvergence



Laterální inhibice:  
 Na sekundárních neuronech  
 je zesílen kontrast.  
 Změna velikosti a struktury  
 receptivního pole. Bipolární  
 buňky jsou první rysově  
 analyzátoři.



Ve zrakové dráze jsou gangliové buňky, které jsou naladěny na určitý jednoduchý obrazec – koncentrickou kruhovou plošku. Ta má buď světlý nebo tmavý střed. Jsou to první rysově analyzátoři. Z těchto nejjednodušších rysů se postupně ve zrakové dráze skládají složitější tvary a na každý existuje specializovaný neuron rozeznávající svůj obrazec.



Záznam elektrické aktivity gangliových buněk sítnice s ON a OFF centrem při osvětlení jednotlivých částí jejich receptivního pole. Úsečka nad záznamem elektrické aktivity značí trvání osvětlení v sekundách. AP – potenciál. \* – excitační zóna ▲ – inhibiční zóna

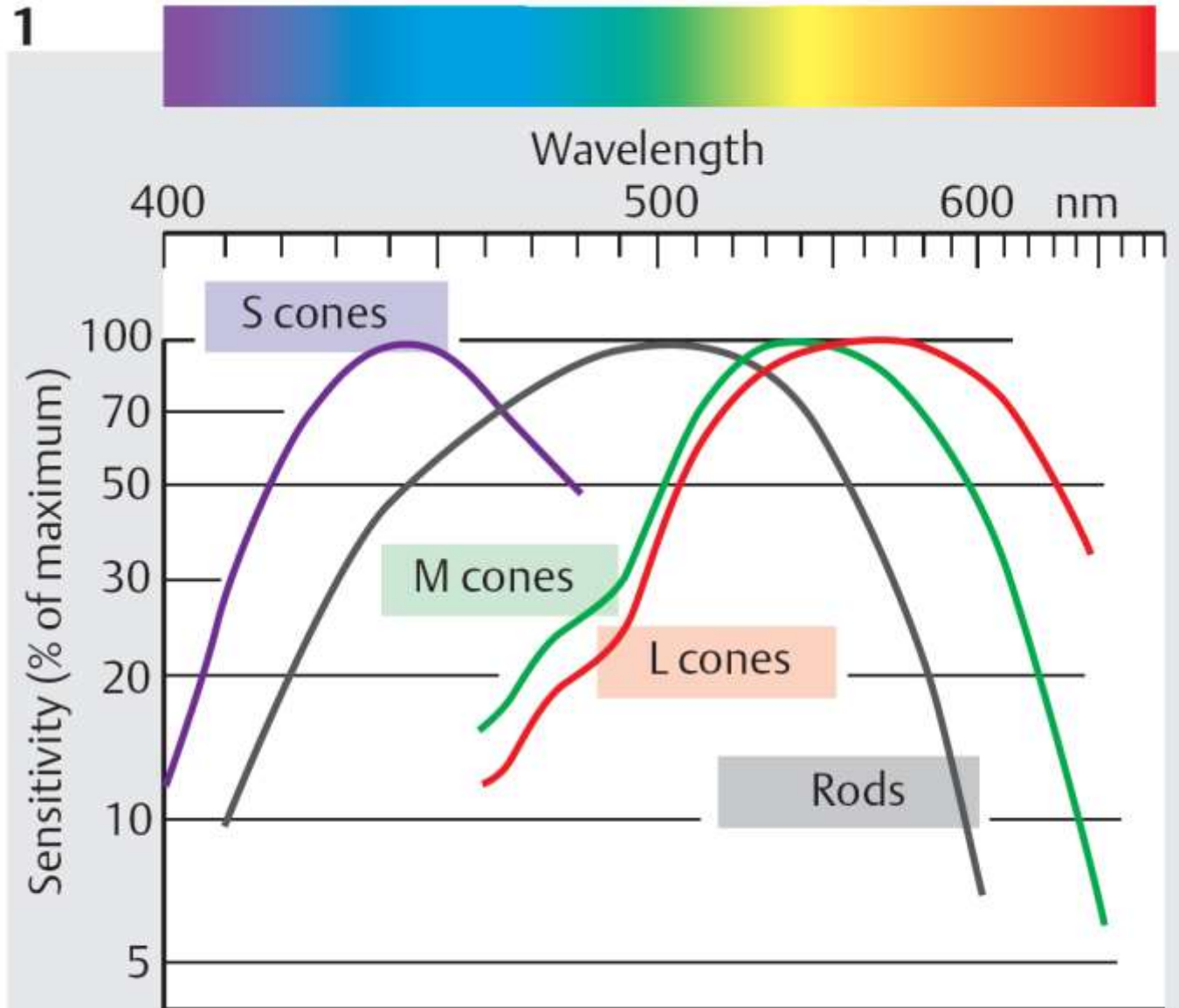




# „Grandmother’s cells“ Na tvář selektivní buňky

**FIGURE 4.33** Cells in the inferotemporal cortex of macaque monkeys are interested in very specific stimuli. In this case, the cell responds vigorously to a monkey face and to some other stimuli that seem related. (After Gross, Rocha-Miranda, and Bender, 1972.)

Barevné vidění založeno na různě absorbujících pigmentech.



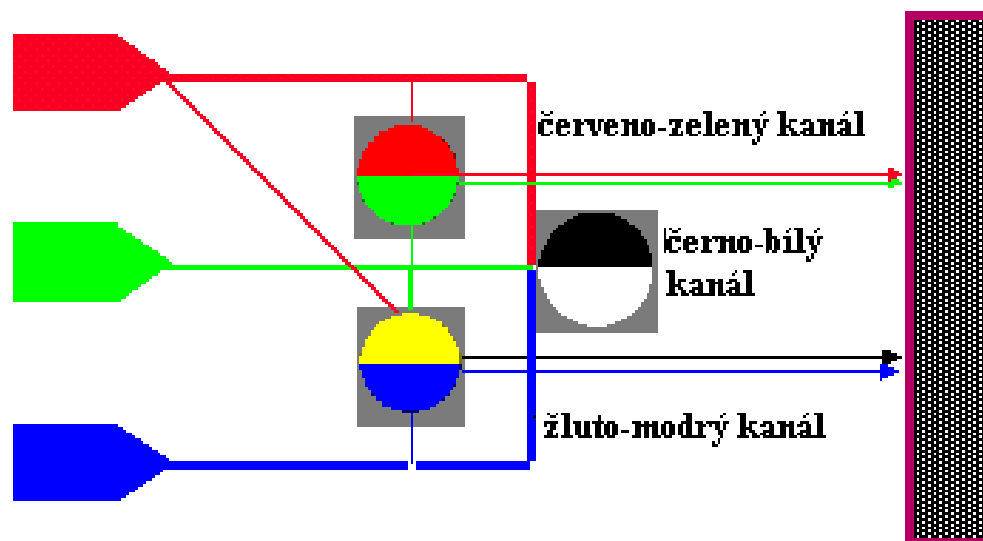
(After J.K. Bowmaker and H.J.A. Dartnall)

# Trichromatické kódování, Young-Helmholtz Oponentní kódování, Hering

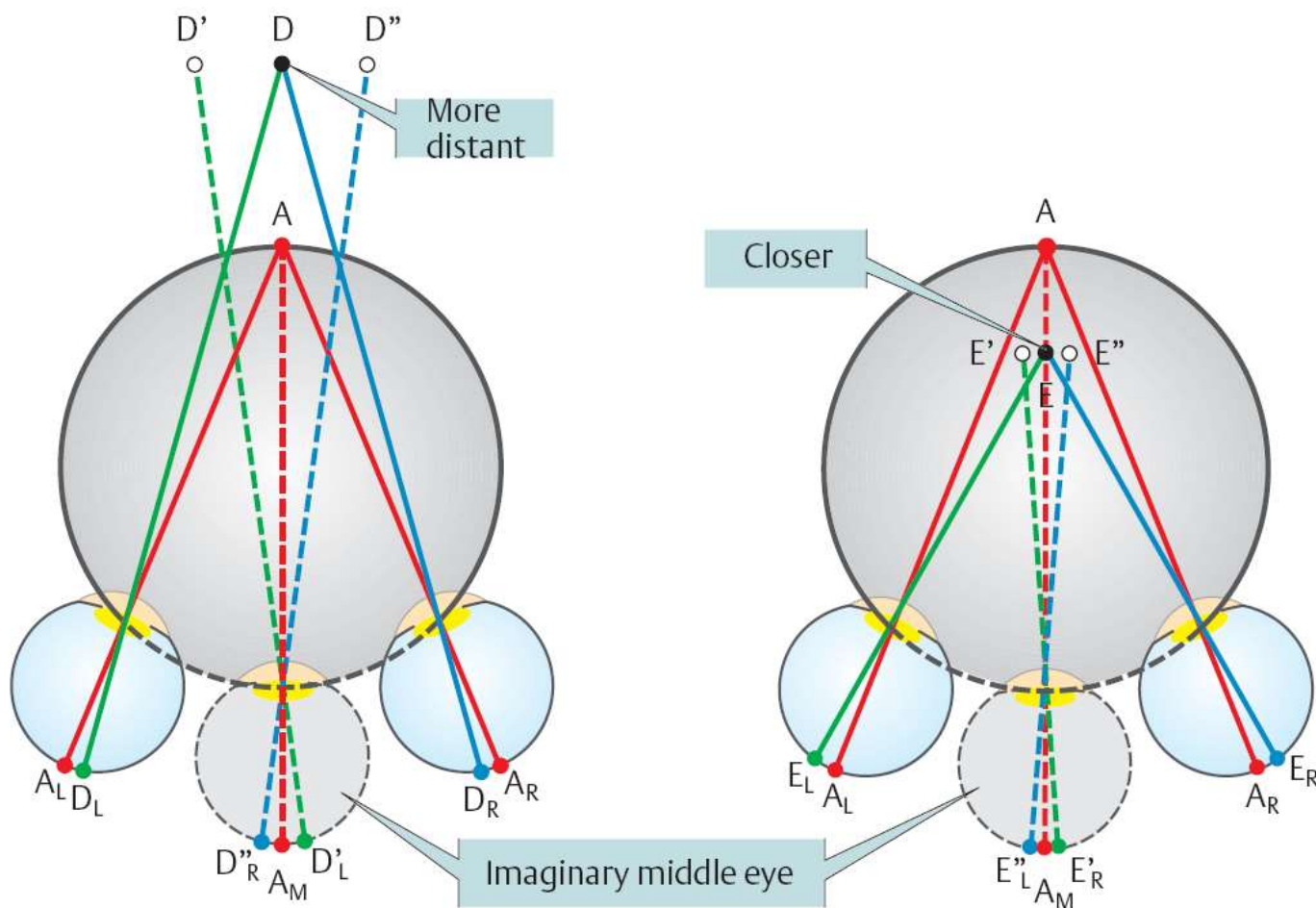
R,G,B a BI,Wh se konvertuje na R/G, B/Y a BI/Wh

Receptory

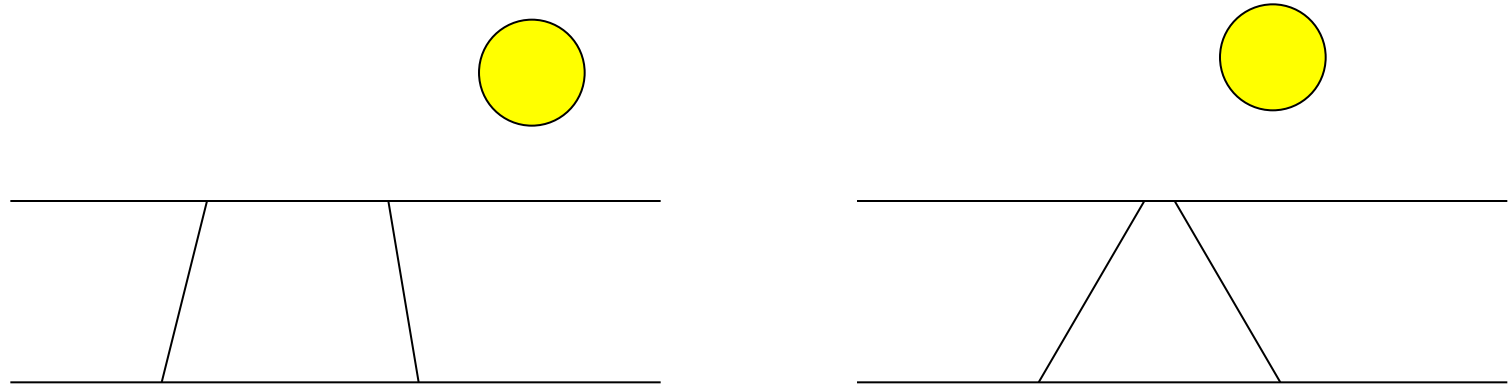
Mozek



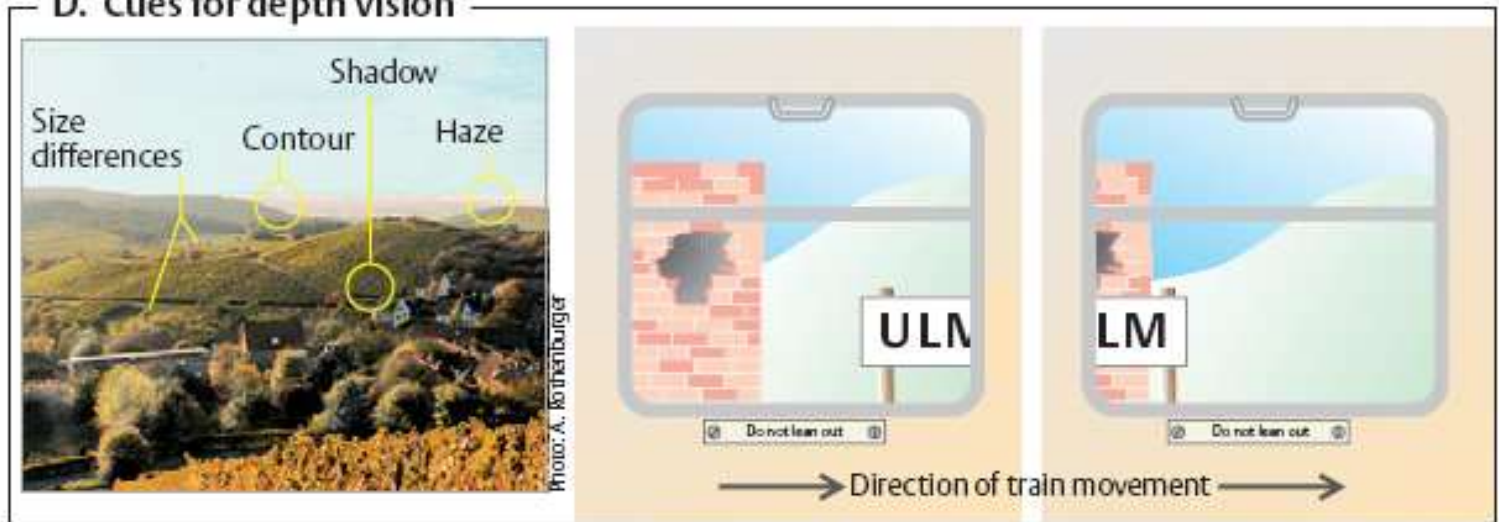
Prostorové vidění (co je blíže a co dál) založeno na schopnosti měřit odlišnosti v zobrazení pravé a levé sítnice.



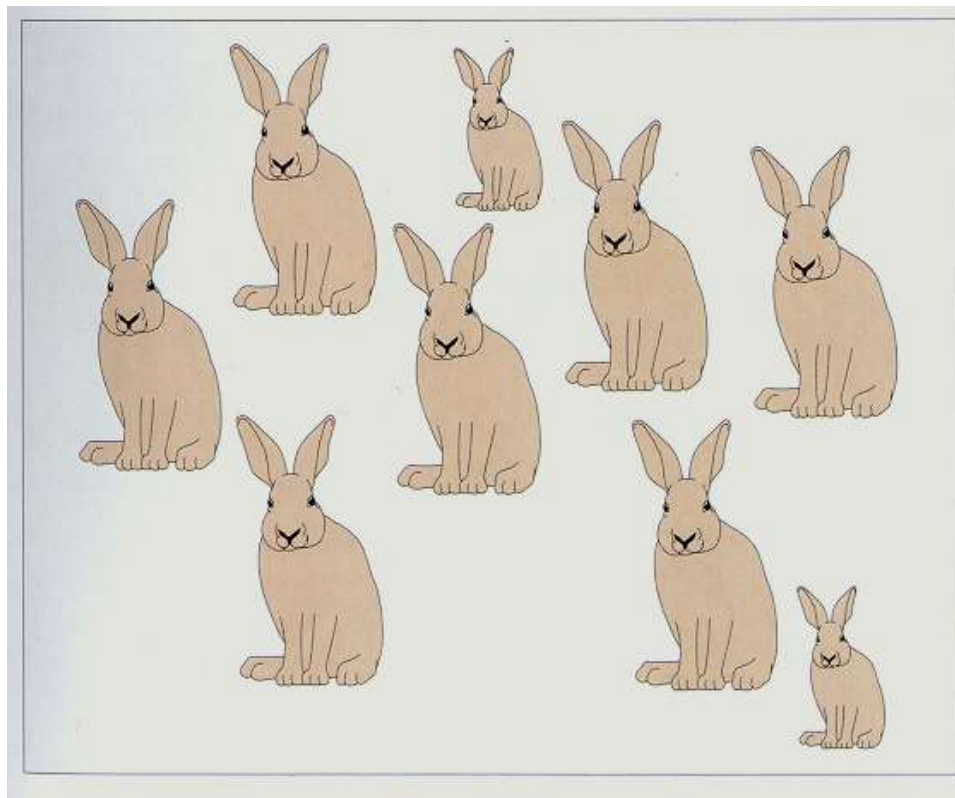
# Další metody konstrukce prostoru.



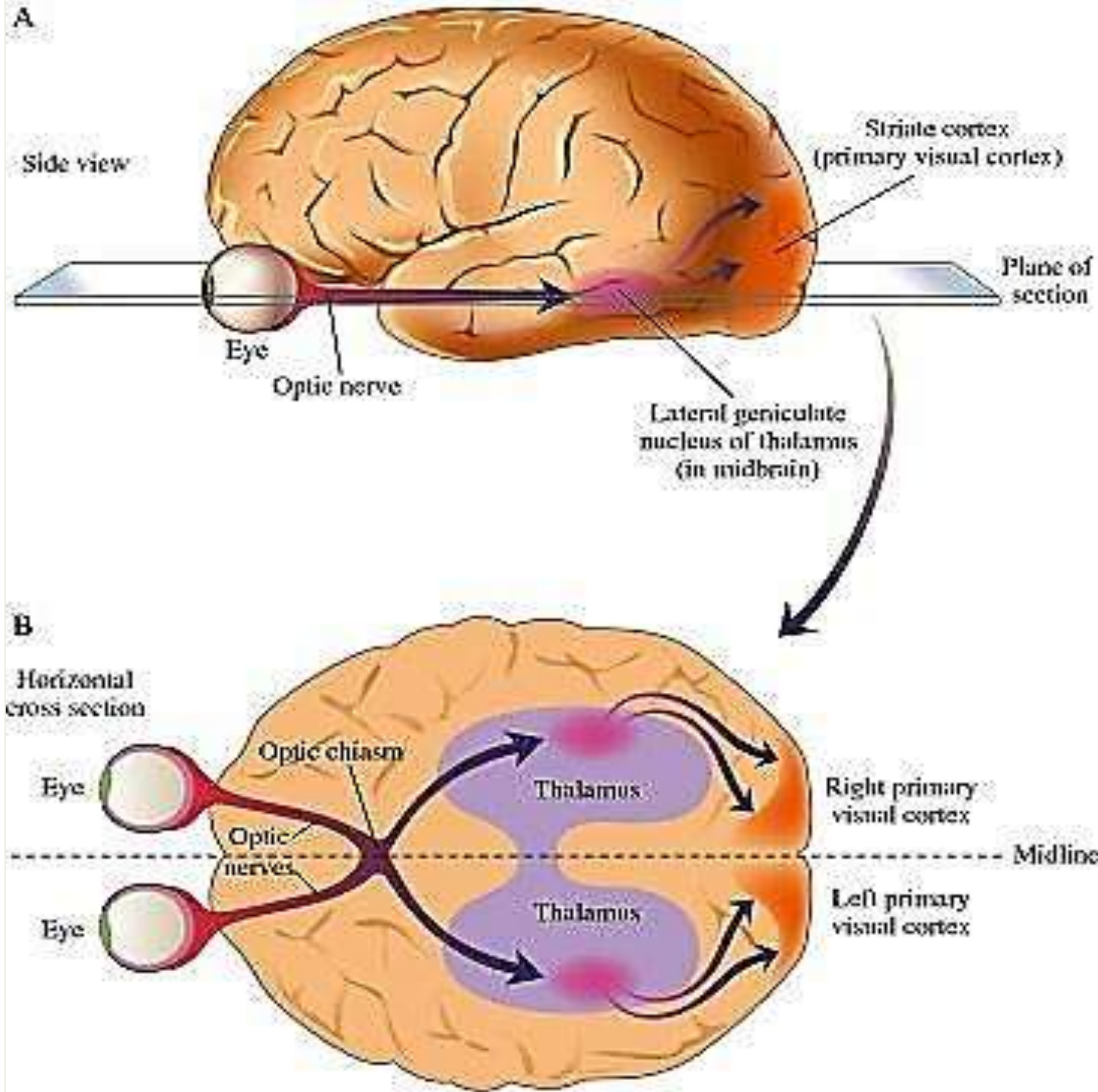
## D. Cues for depth vision



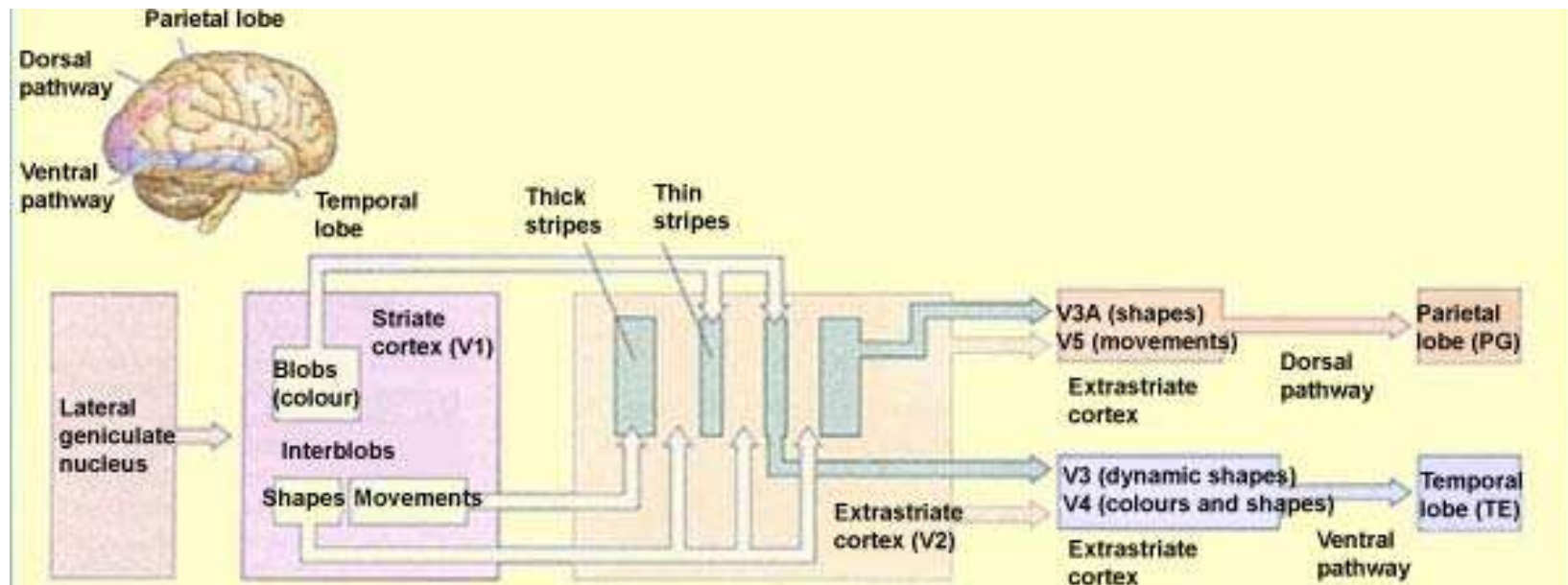
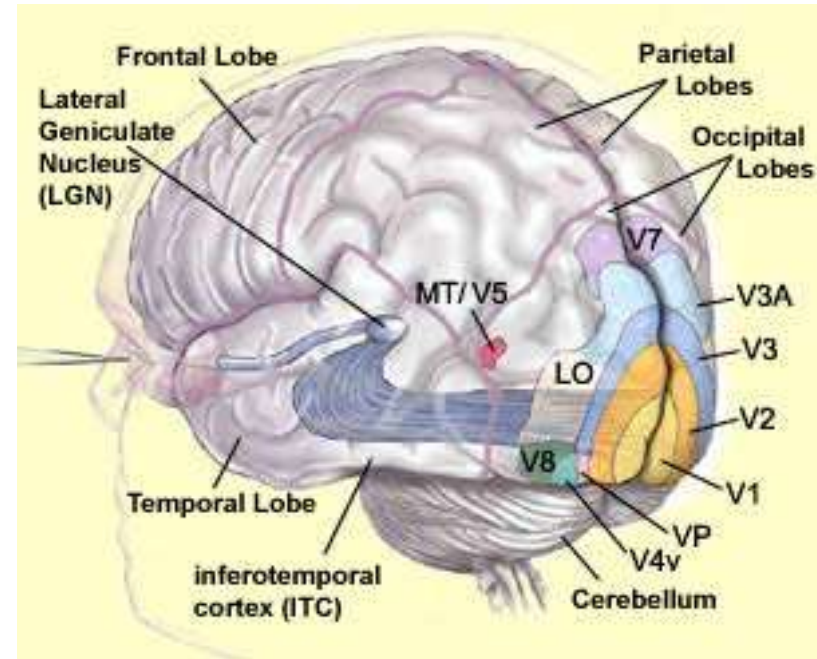
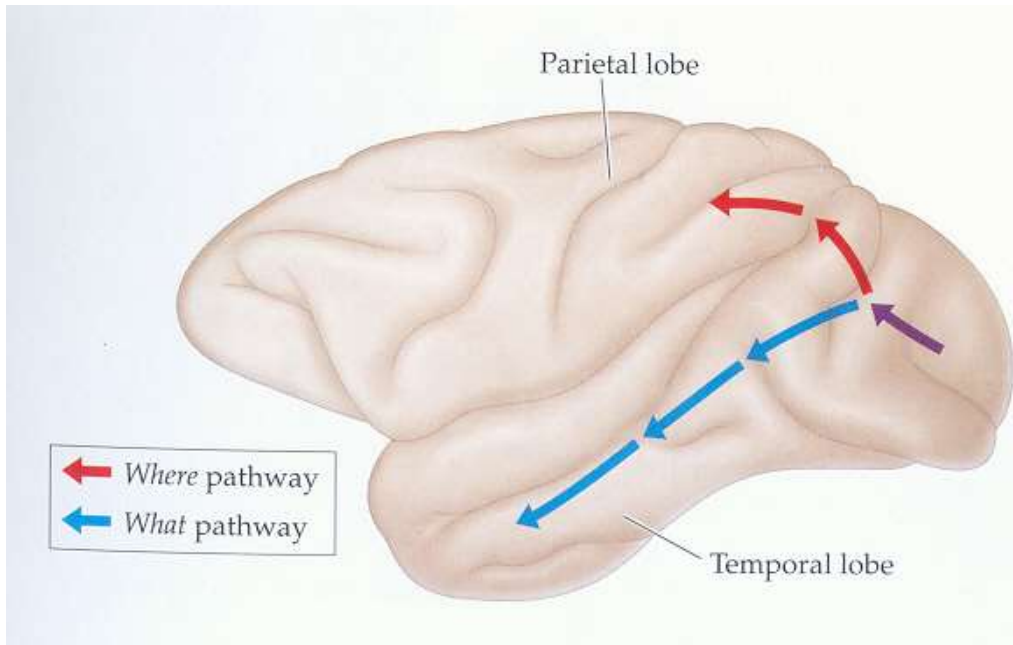
Jsou stejně malí, ale ...



# Zraková dráha



# Z primární zrakové kůry dvě cesty: Kde dráha a Co dráha





# Biologické rytmy

Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

Předpovídají pravidelné změny bez ohledu na přechodné výkyvy denní nebo sezónní.



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

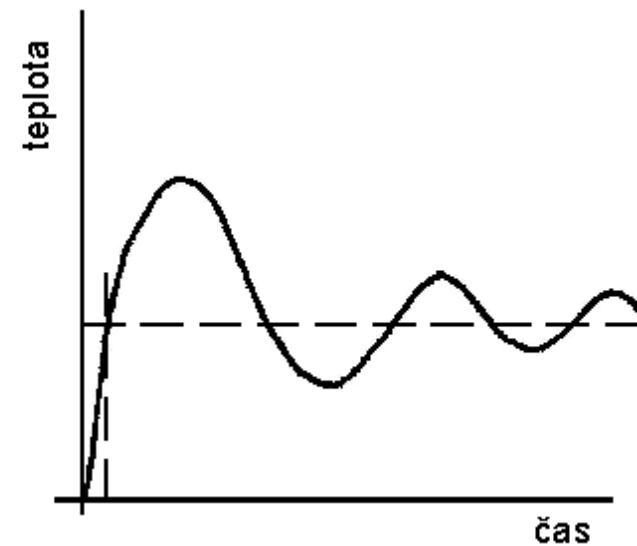
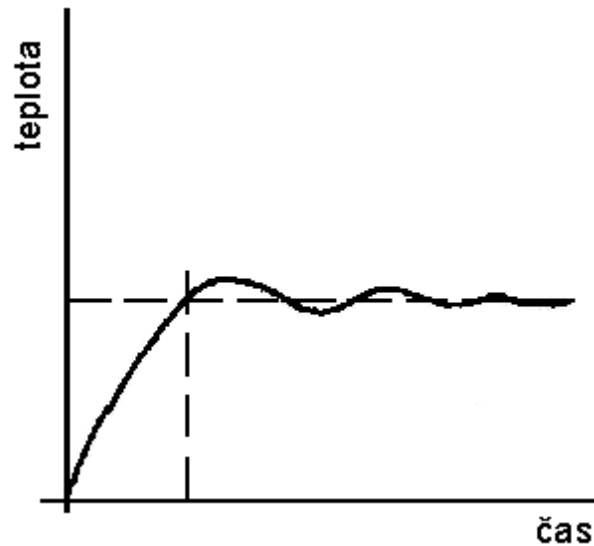
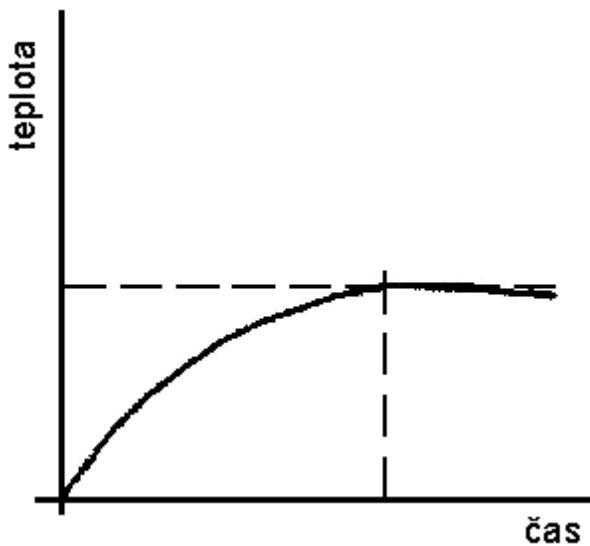
Bez vnějších korelátů: nervové vzruchy, srdeční rytmus, dechový rytmus...



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

Bez vnějších korelátů: nervové vzruchy, srdeční rytmus, dechový rytmus...

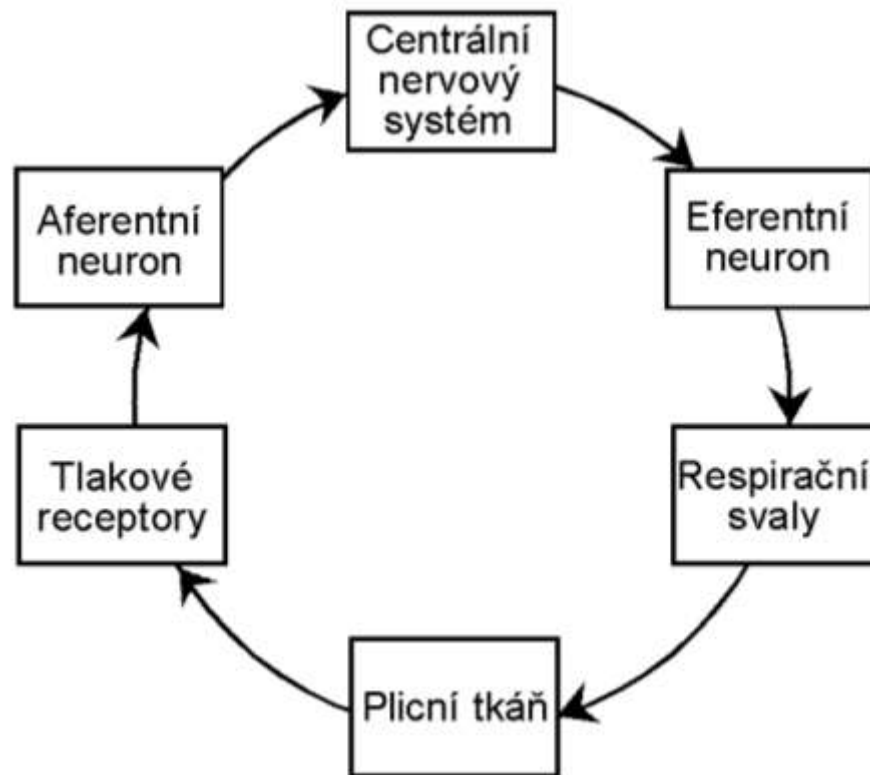
Negativní zpětná vazba je zdrojem kmitů – regulace homeostázy.



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

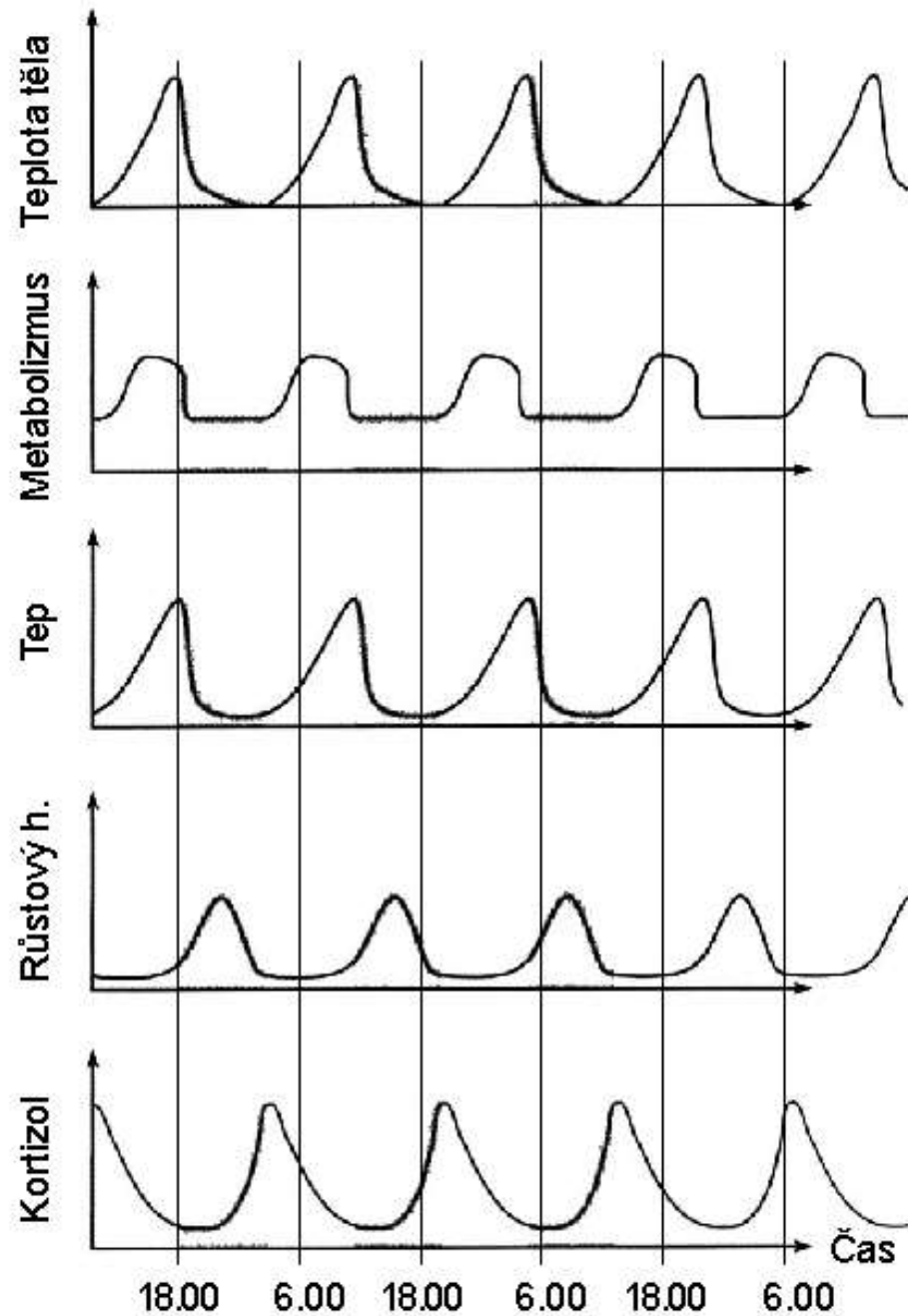
Bez vnějších korelátů: nervové vzruchy, srdeční rytmus, dechový rytmus...

Negativní zpětná vazba je zdrojem kmitů.



Rytmicita s vazbou na prostředí

Cirkadiánní = asi 24 hod perioda

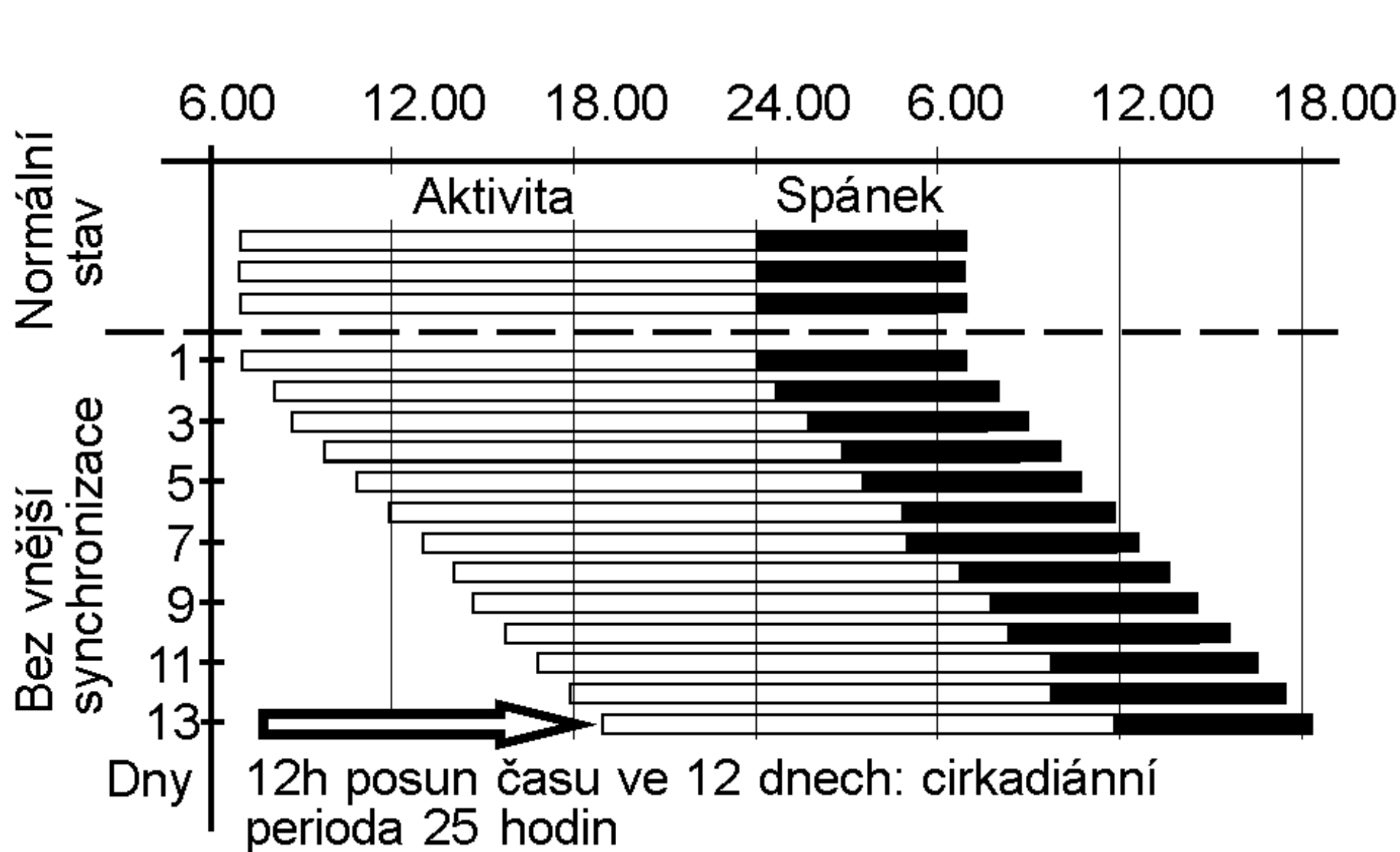


S vnějšími korelátý:

Synchronizátory:

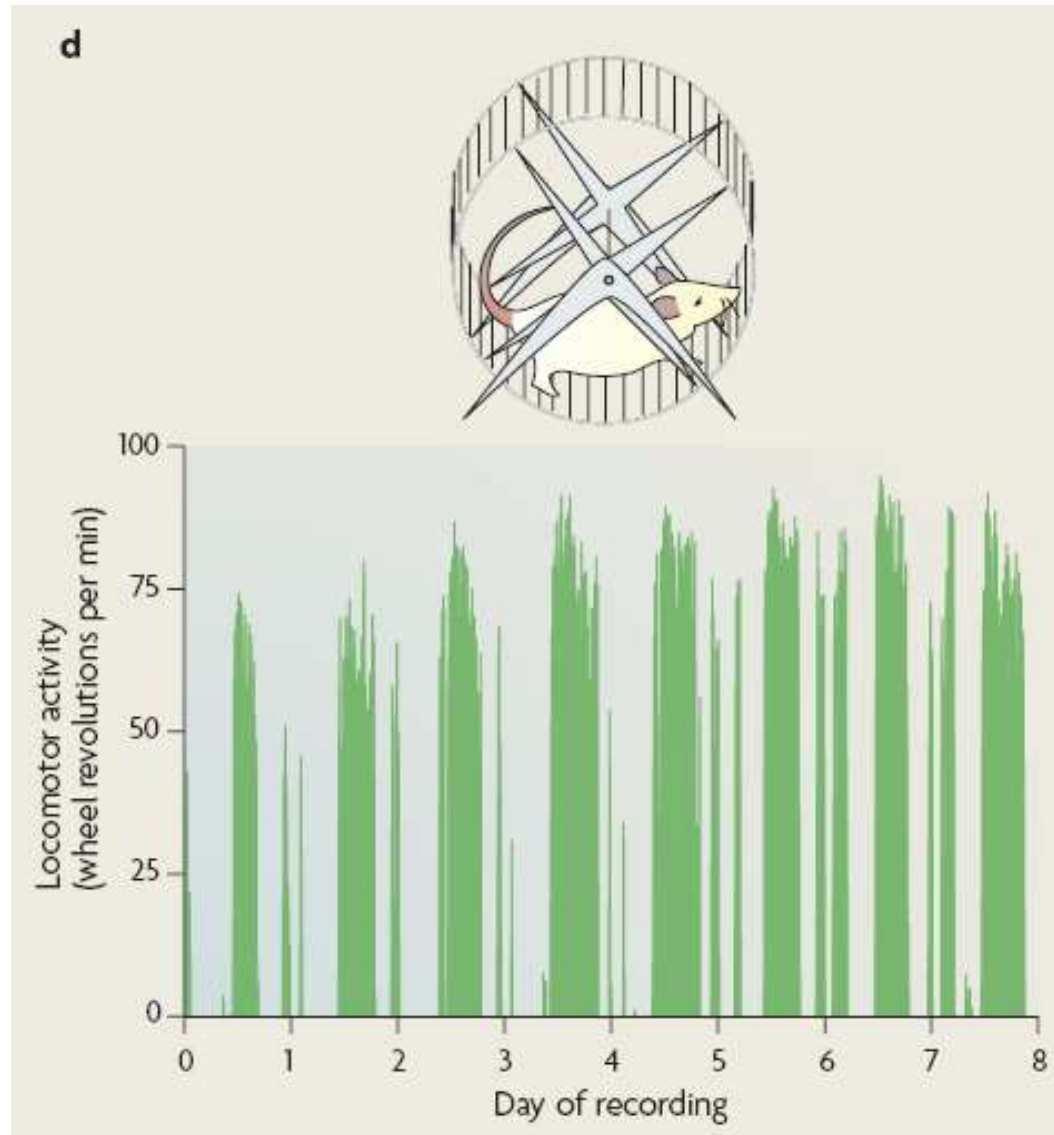
Silné, slabé

24 hodinové, lunární, anuální

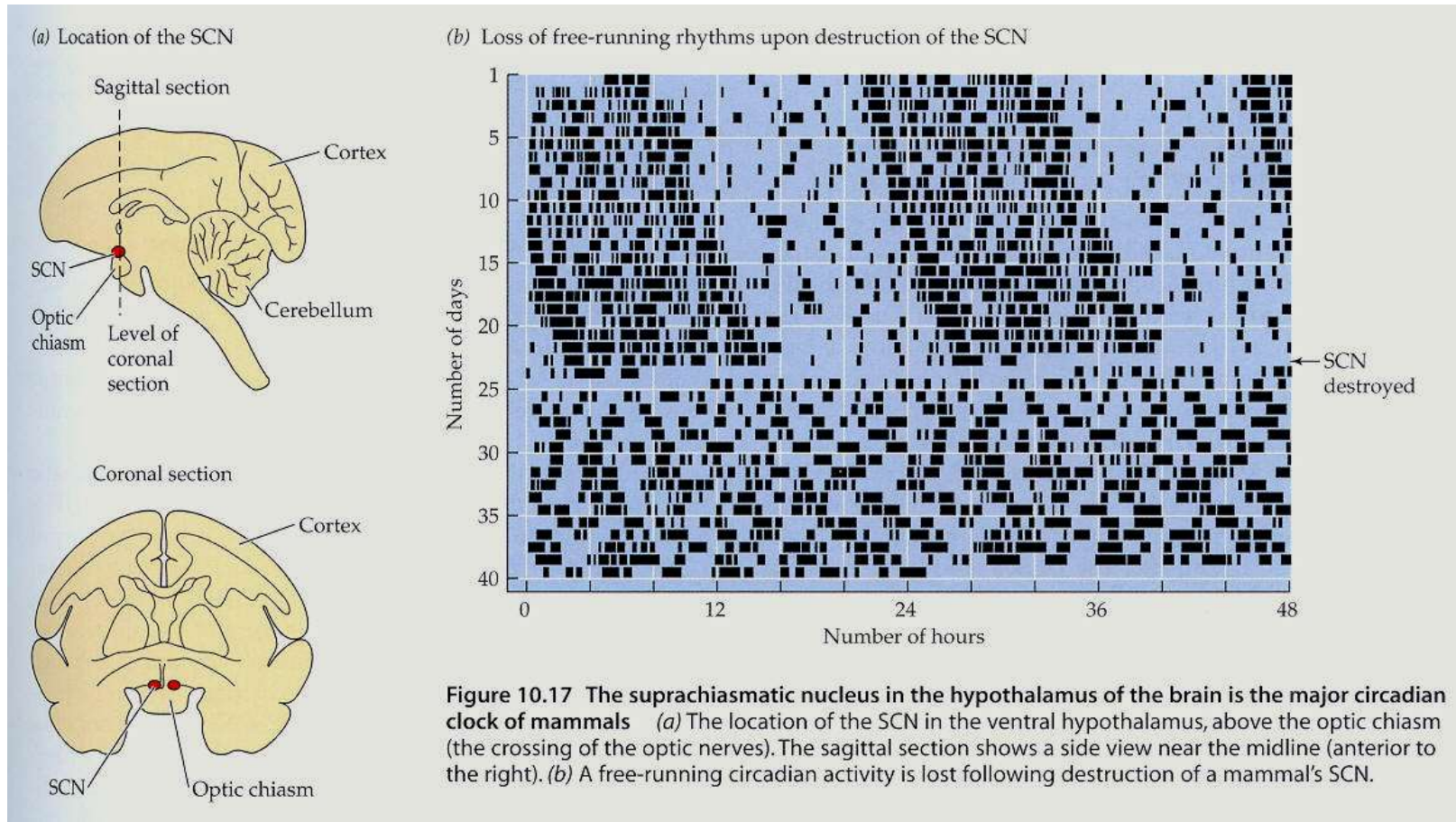




Jak se měří?  
Běhací kolo (mlýnek)

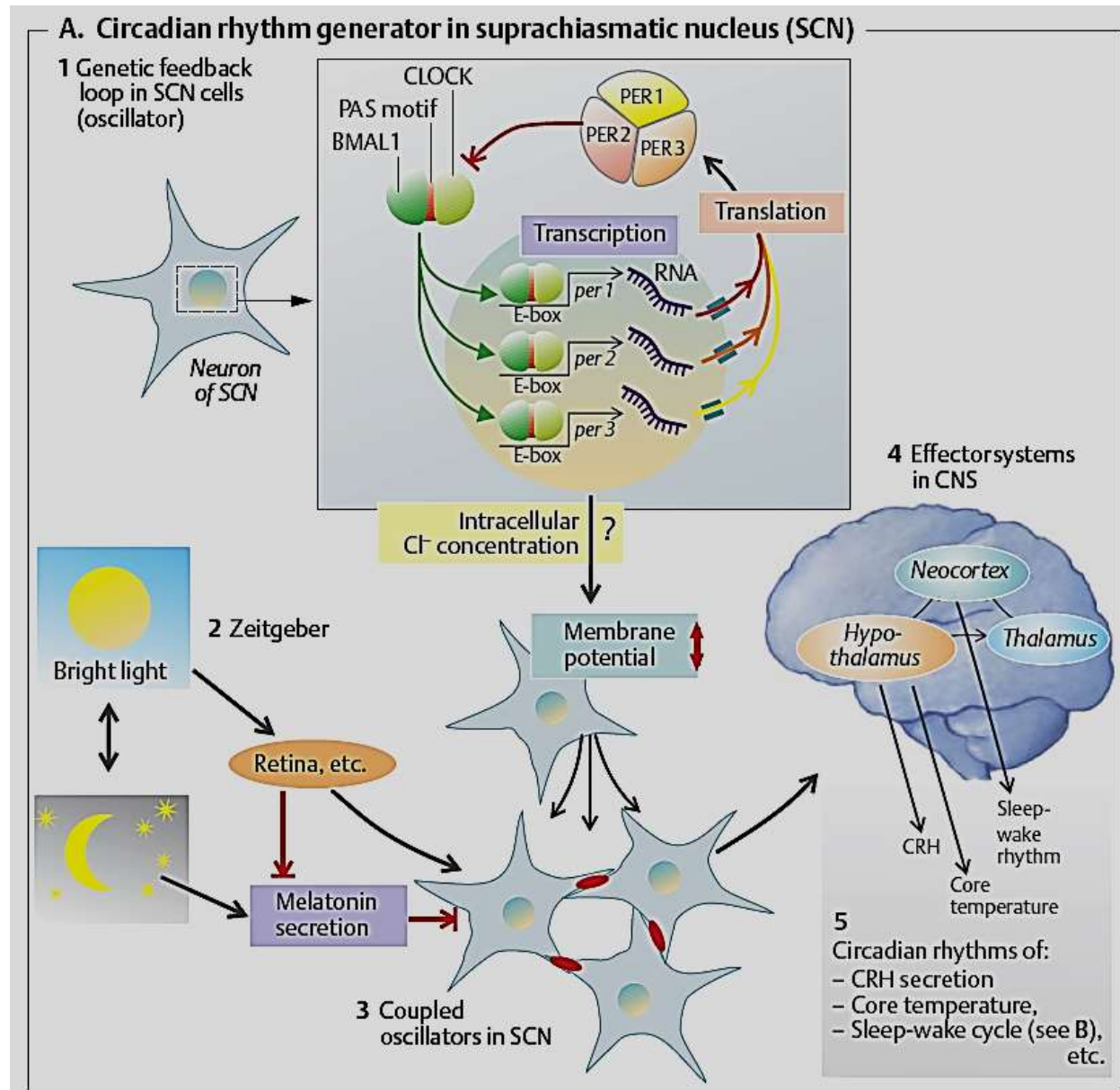


# Suprachiasmatické jádro a řízení motorické aktivity. Po vyřazení SCN se rytmus rozpadá

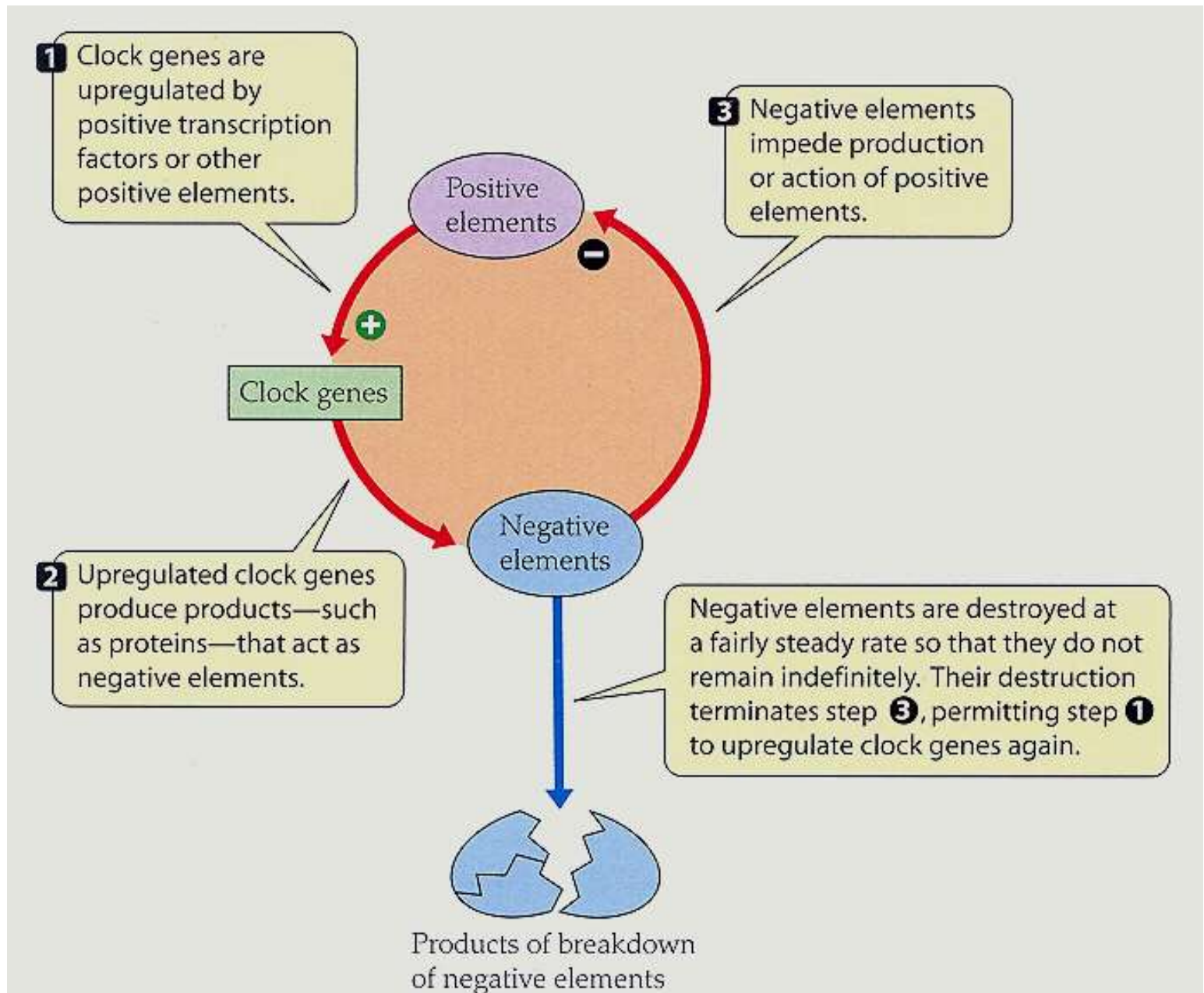


# Molekulární hodiny a zpětnovazebná smyčka synchronizovaná světlem.

„Zeitgeber“ – synchronizátor, většinou fotosensitivní element



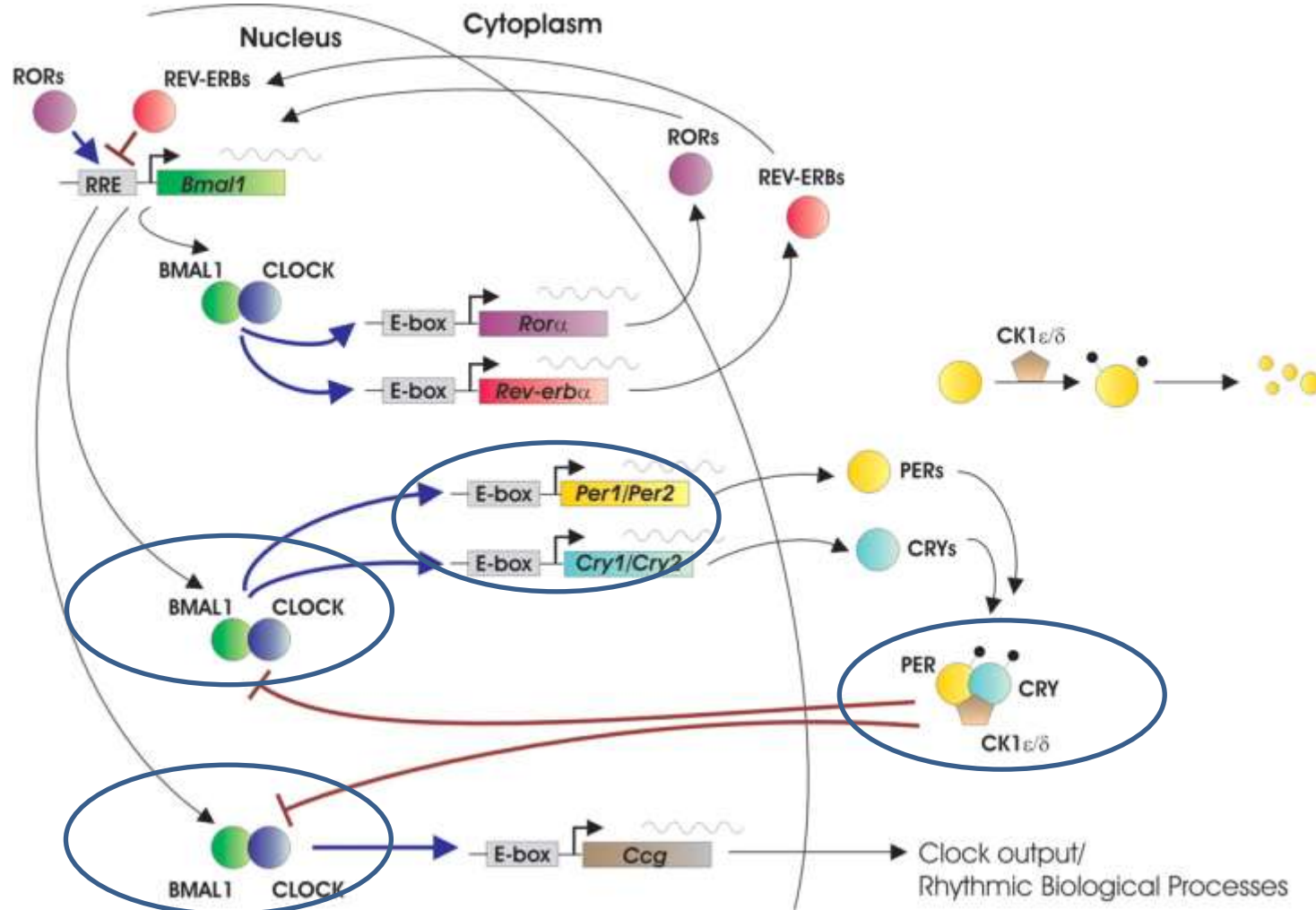
# Molekulární hodiny a zpětnovazebná smyčka synchronizovaná světlem.



Ve zpětnovazebné smyčce jsou pozitivními elementy transkripční faktory CLOCK and BMAL1. Ty dimerizují a iniciují transkripci genů *Period* a *Cryptochrome*. Negativní zpětná vazba je zajištěna PER:CRY dimery, které translokují zpátky do jádra, kde potlačují svou vlastní transkripci působením na CLOCK:BMAL1 komplex, kterému brání v dimerizaci. Jiná regulační smyčka je indukována CLOCK:BMAL1 heterodimery aktivujícími transkripci jaderných receptorů *Rev-erba* a *Rora*. REV-ERB $\alpha$  and ROR $\alpha$  potom zpětně regulují *Bmal1* promotor.

Cyklující faktory řídí transkripci regulačních Ccg genů. Ty zajišťují downstream efekty.

MYŠ

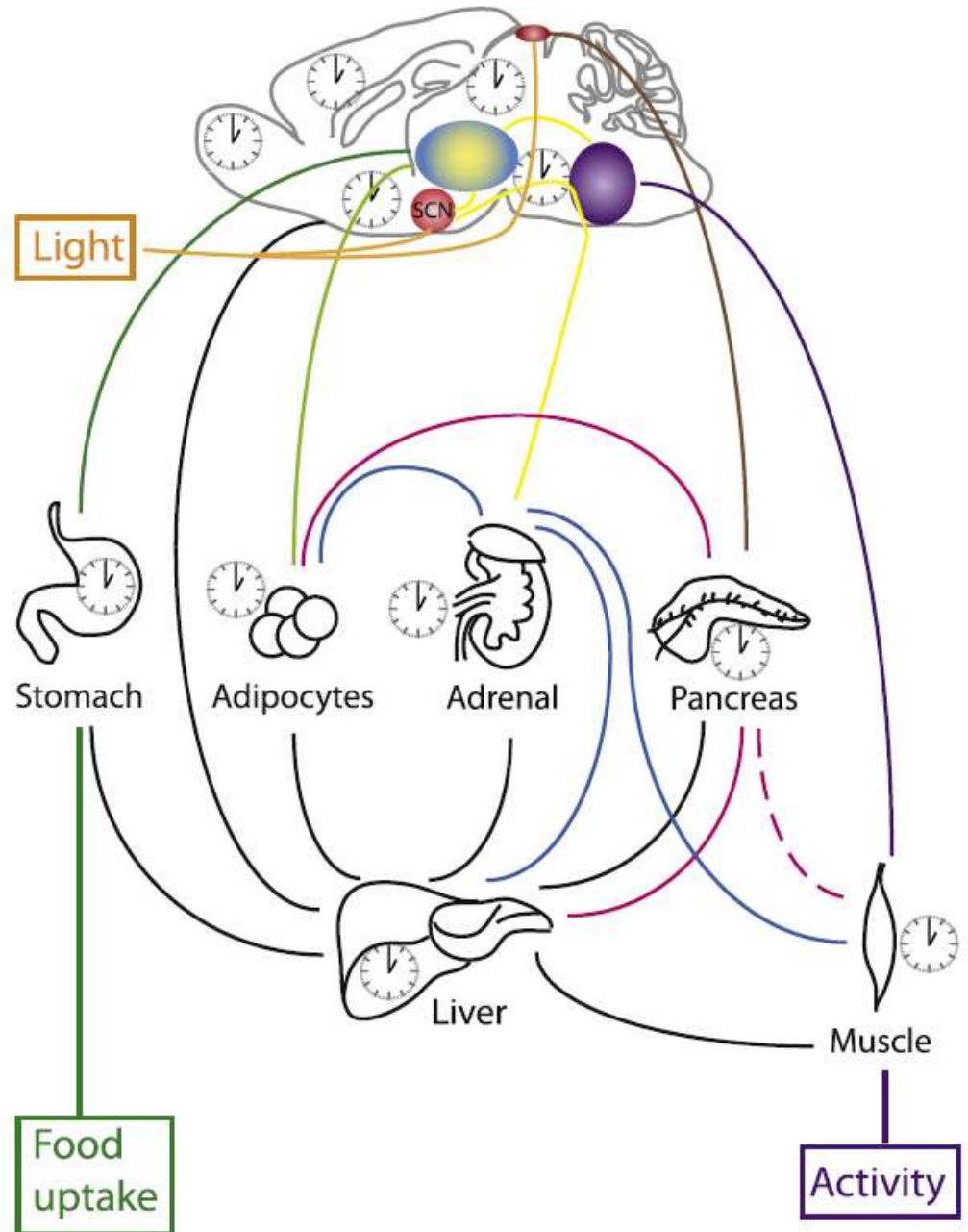


# Centrální a periferní oscilátory

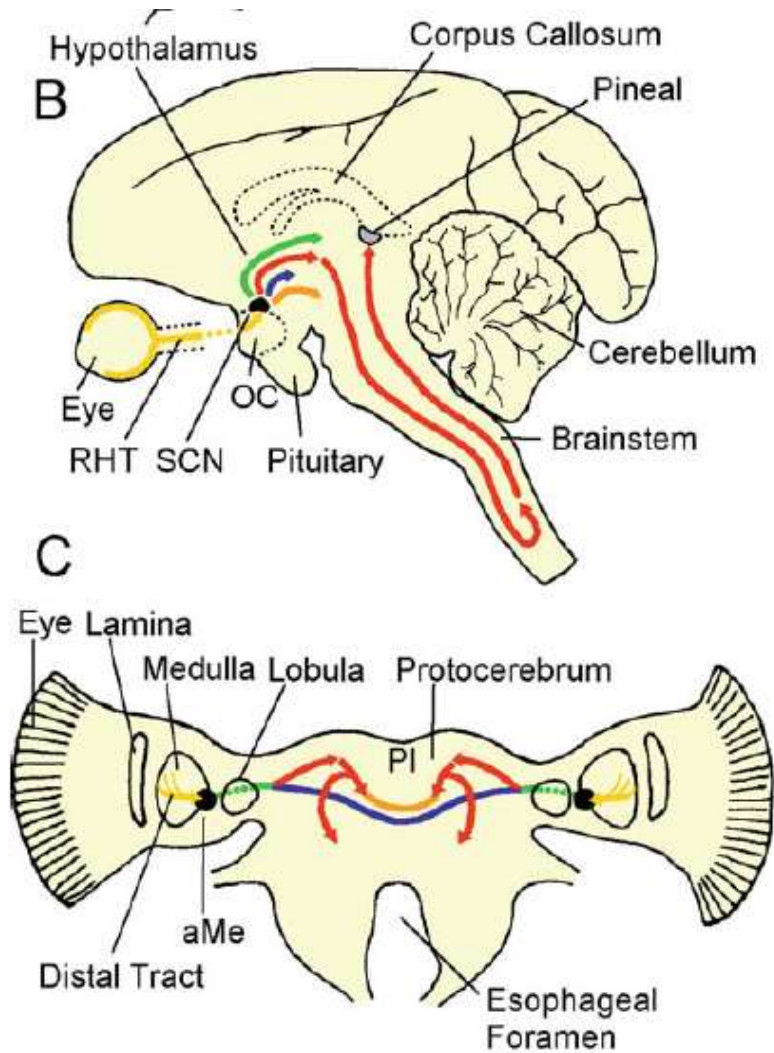
Circ. hodiny jsou v různých orgánech odpovědných za řízení metabolismu a pohybu.

Master clock v SCN je synchronizuje.

SCN a pineální orgán citlivé na světlo.



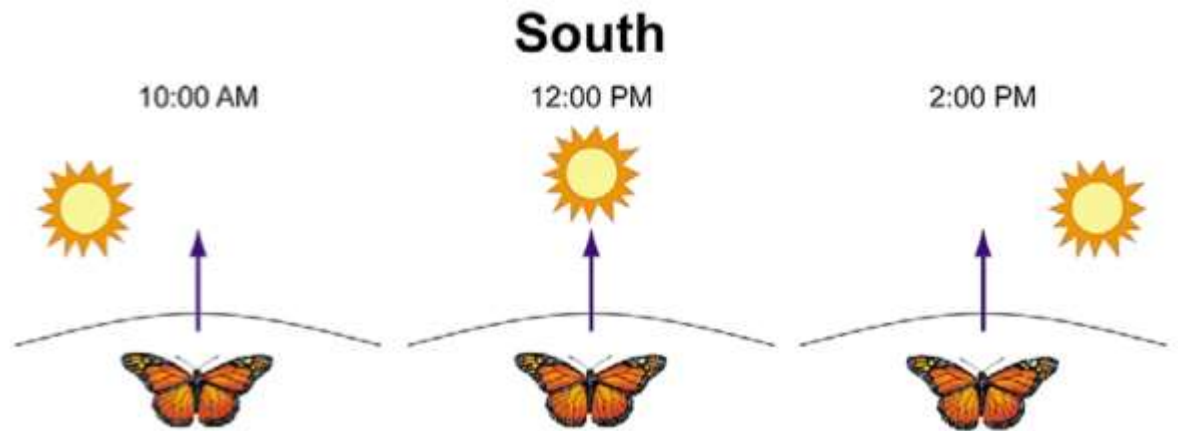
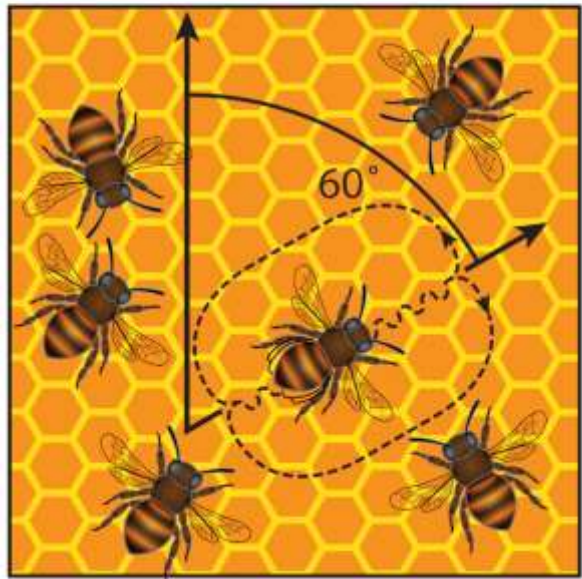
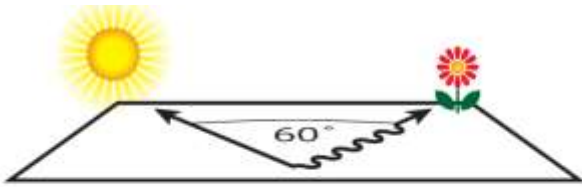
Synchronizace světlem  
monitorovaným zrakem nebo i  
mimo zrakovou dráhu (pineální  
orgán)



# Význam hodin pro orientaci v prostoru

Orientovat se podle Slunce, znamená znát přesný čas.

Solární kompas využívali mořeplavci a využívají živočichové





Chronobiologie

Chronopatologie

Pracovní výkon, učení soustředění, ale i účinnost léků závislá na denní době.

Při konfliktu hodin nebezpečí poruch spánku (jet lag), příjmu potravy (obezita, diabetes), onkologických poruch...

