

Obecná 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

Buněčné „oči“ a „uši“

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

VĚDOMÍ

Kůra telencefala

PODVĚDOMÍ
Reflexní,
automatické řízení

Motorický NS

Vegetativní NS

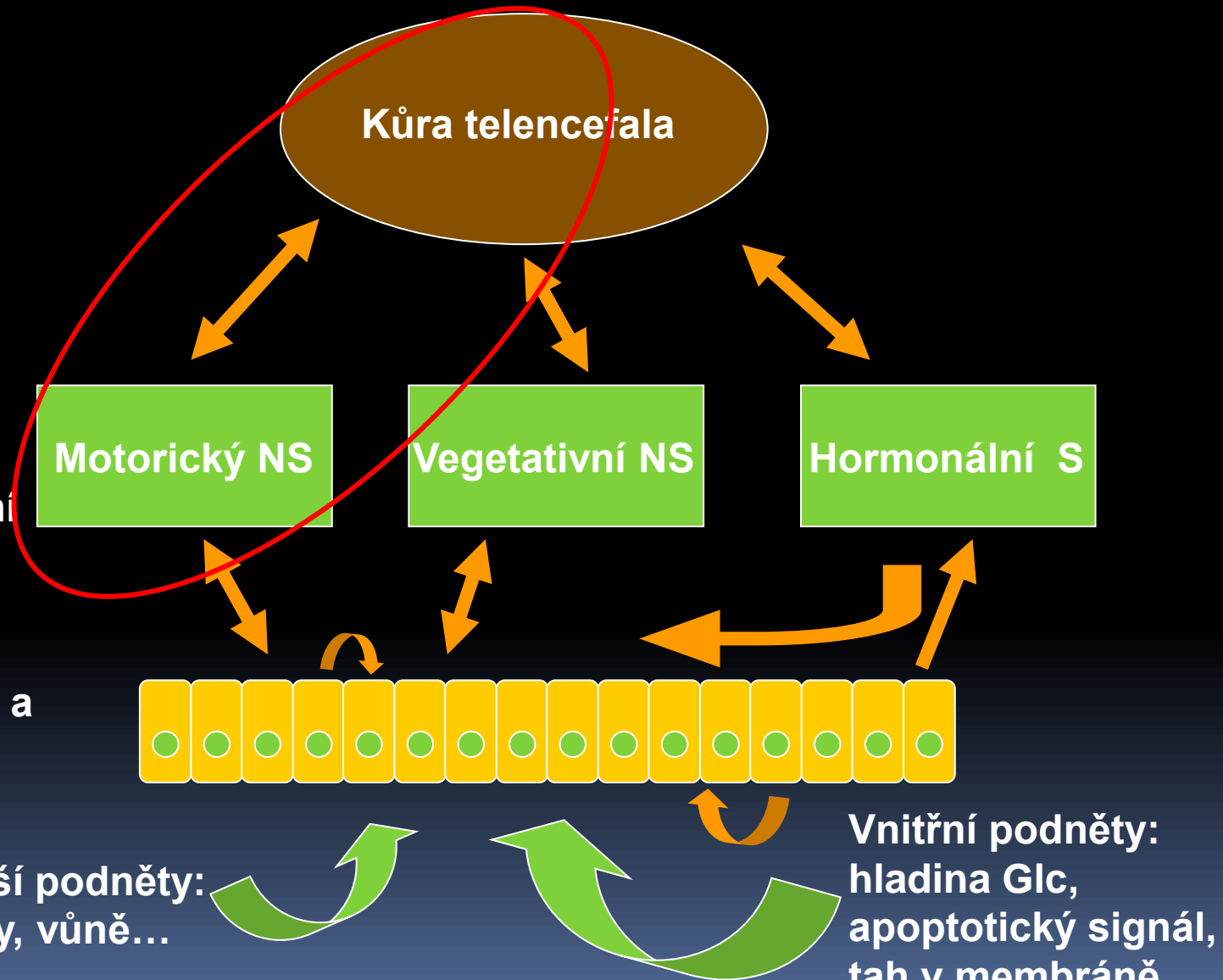
Hormonální S

Buněčná recepce a komunikace



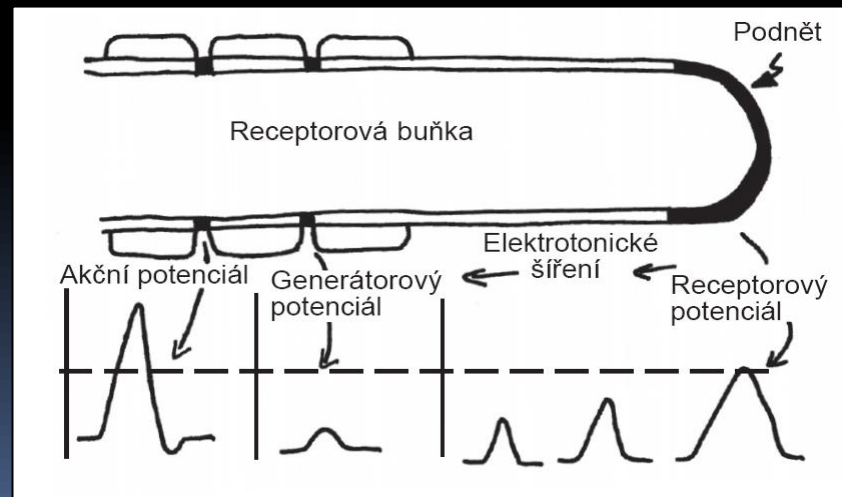
Vnější podněty:
zvuky, vůně...

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



Kanály v molekulární fyziologii smyslů

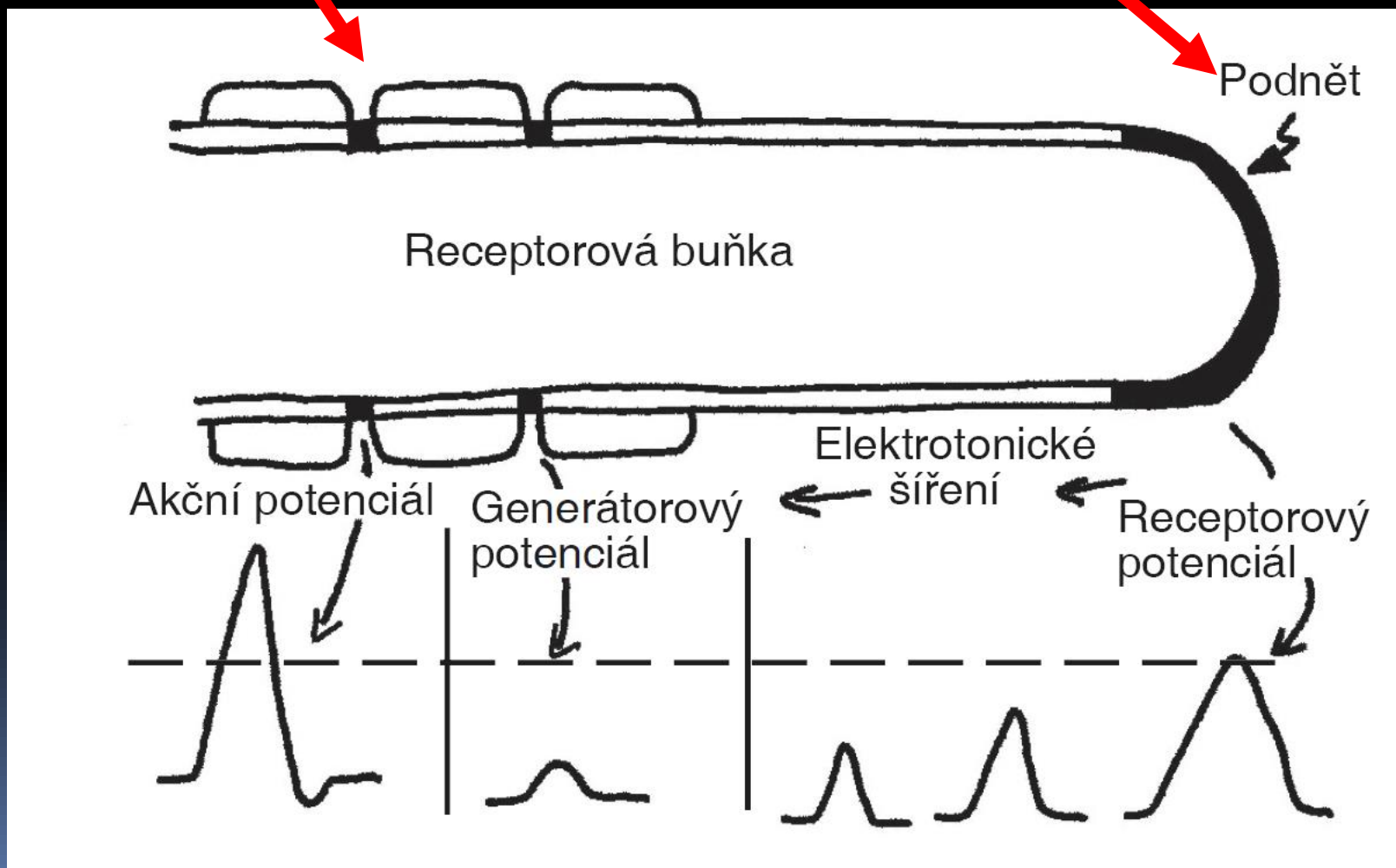
- Nervový systém vsadil na elektricky předávané informace.
- Kanály jsou odpovědné za regulaci membránového napětí a tedy klíčové pro vznik a přenášení nervových signálů.
- Nervový systém tedy „vidí“ jen to, co změní kanálovou propustnost.



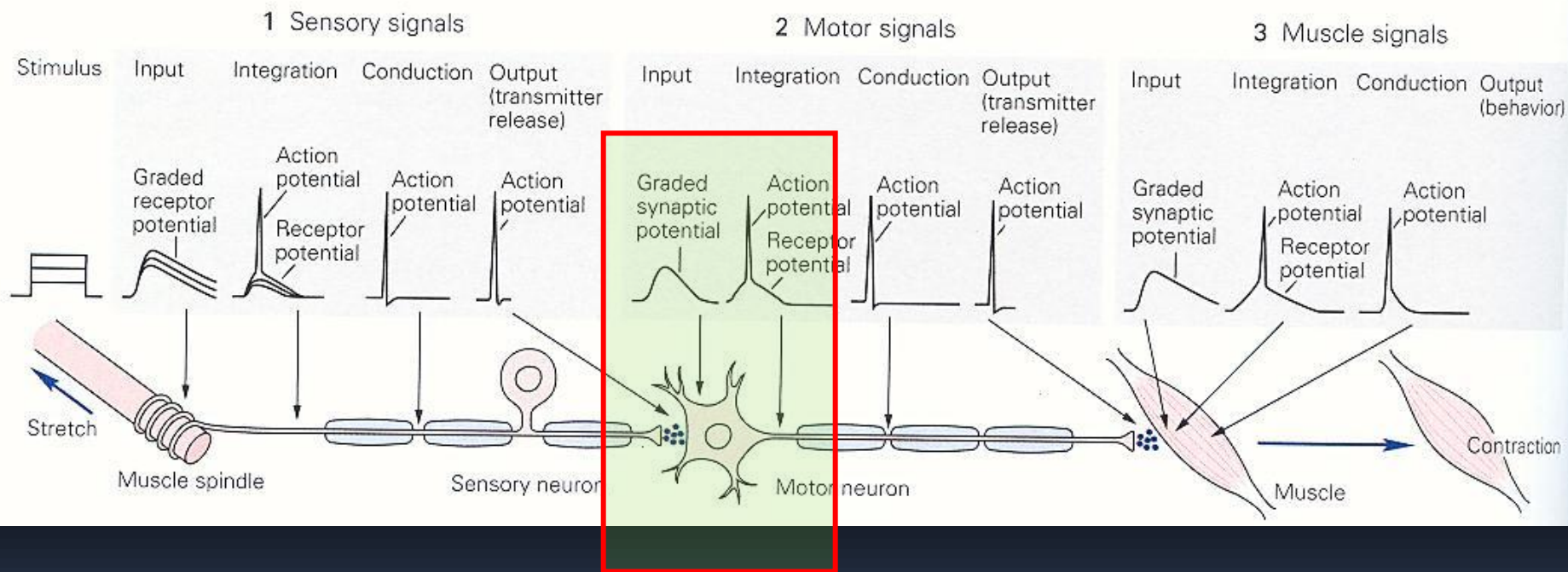
Receptorová buňka převádí energii podnětu na změnu iontové propustnosti.

Transformace

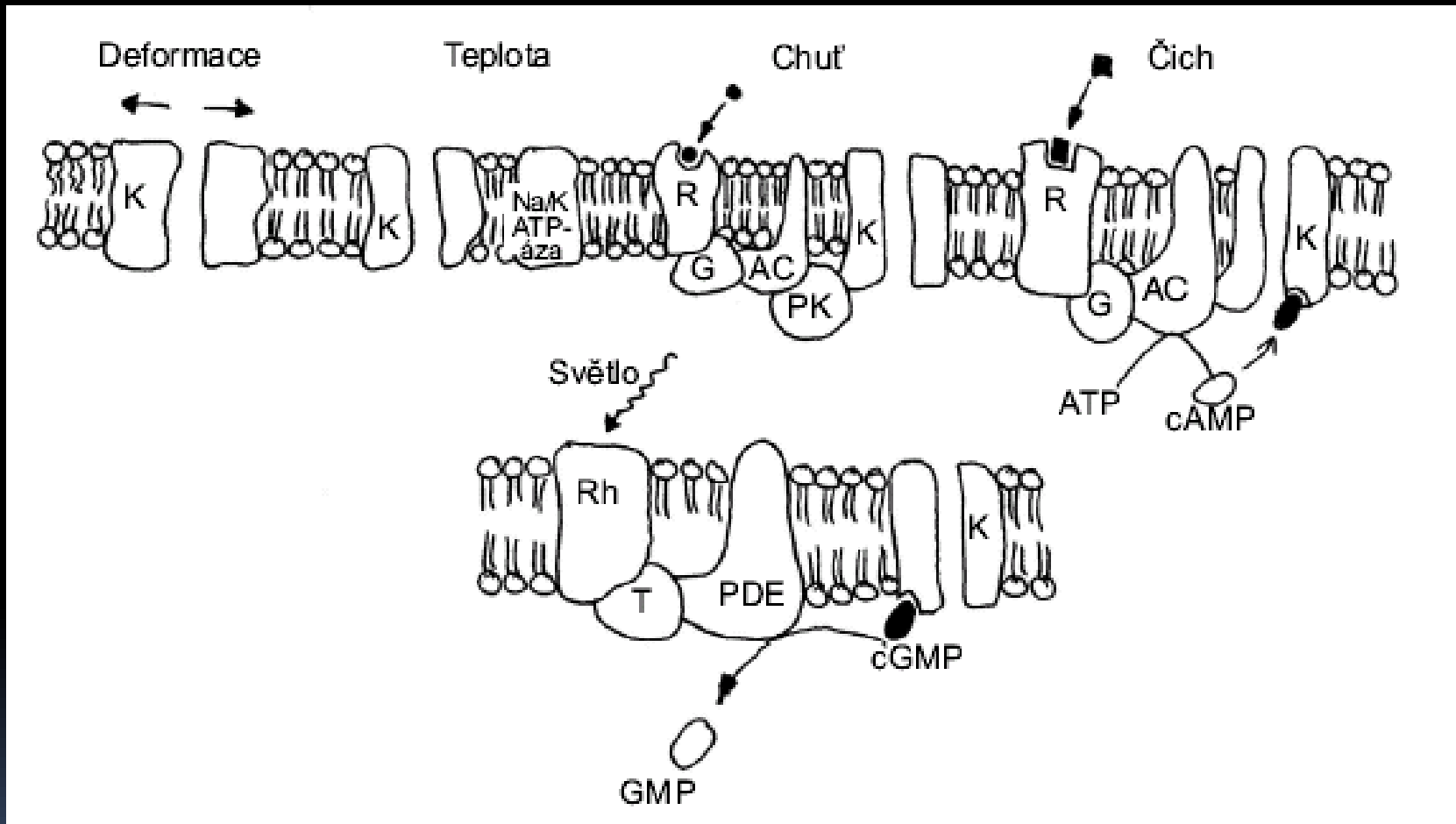
Transdukce



Receptorová buňka převádí energii podnětu na změnu iontové propustnosti podobně jako se tvoří potenciál na postsynaptické membráně.

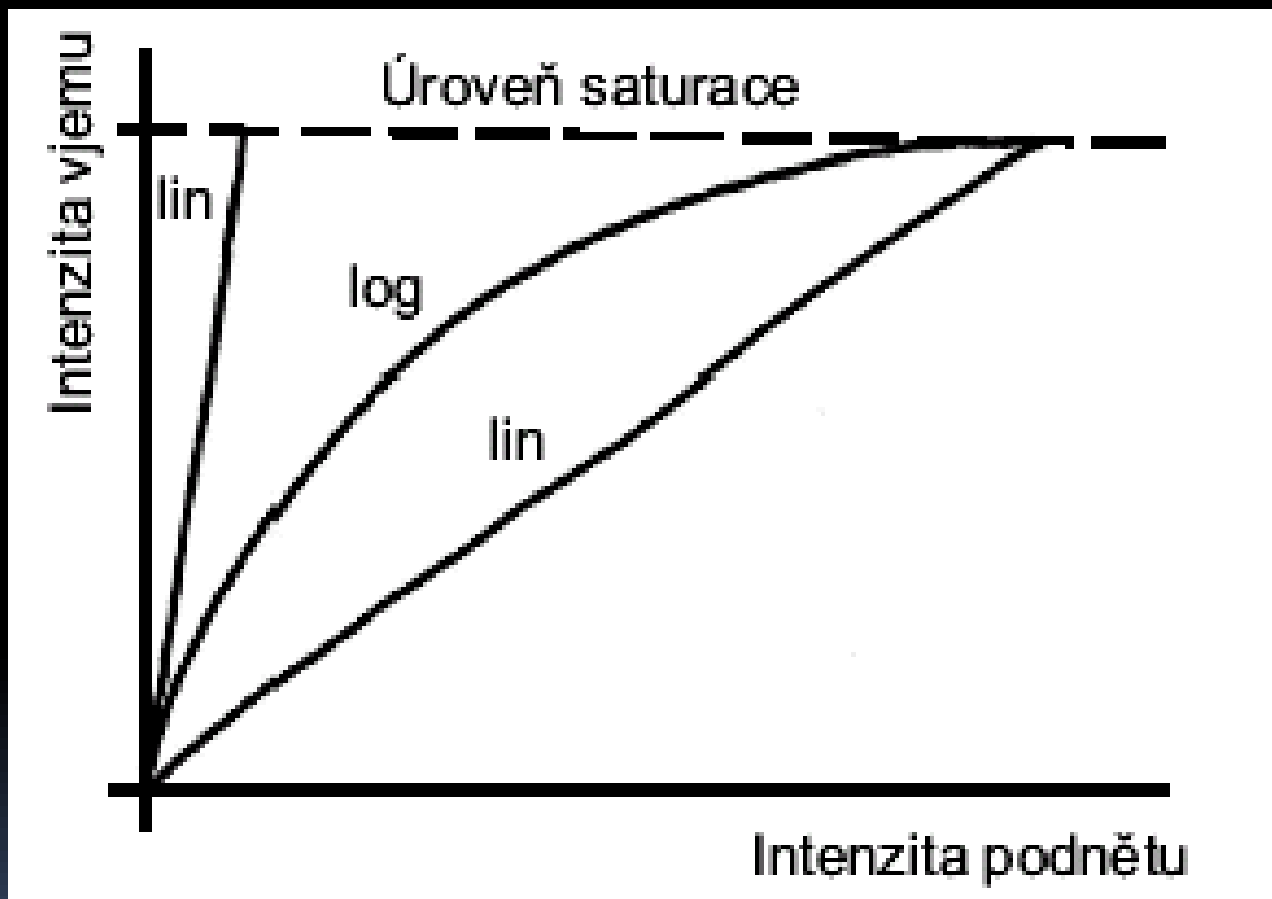


Vlastnosti membrány a cesta signálu ke kanálu jsou klíčem pro transdukcii.



Intenzita podnětu a intenzita odpovědi.

Logaritmická závislost je dobrý kompromis mezi potřebou citlivosti a rozsahem.

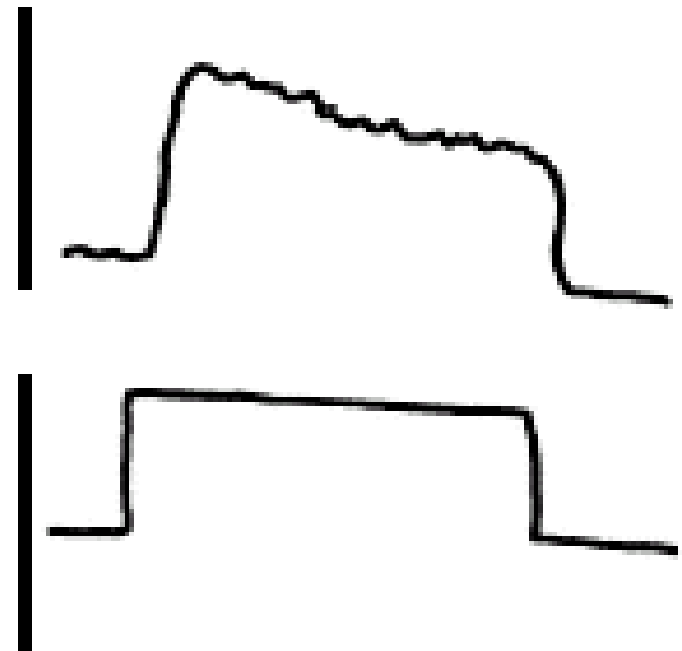
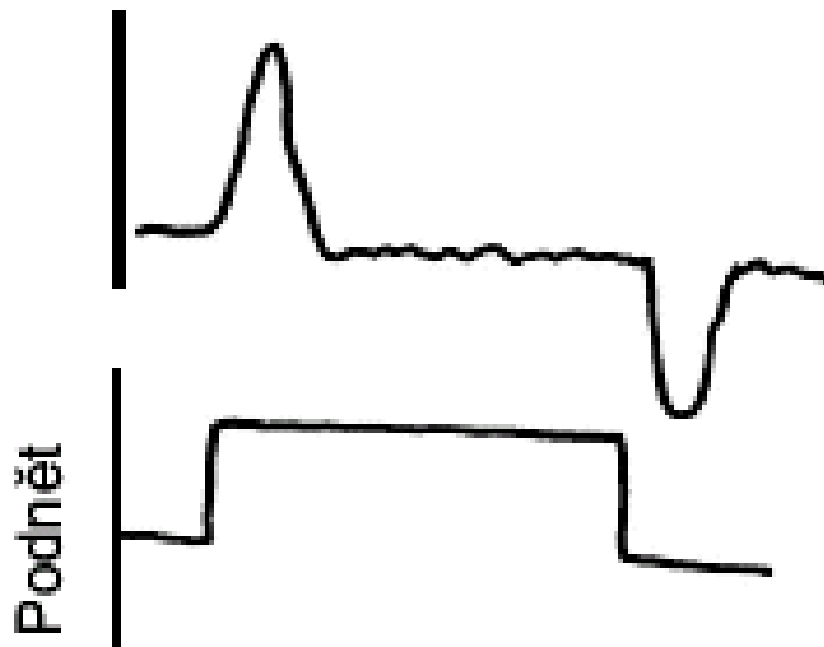


Trvání podnětu a trvání odpovědi.

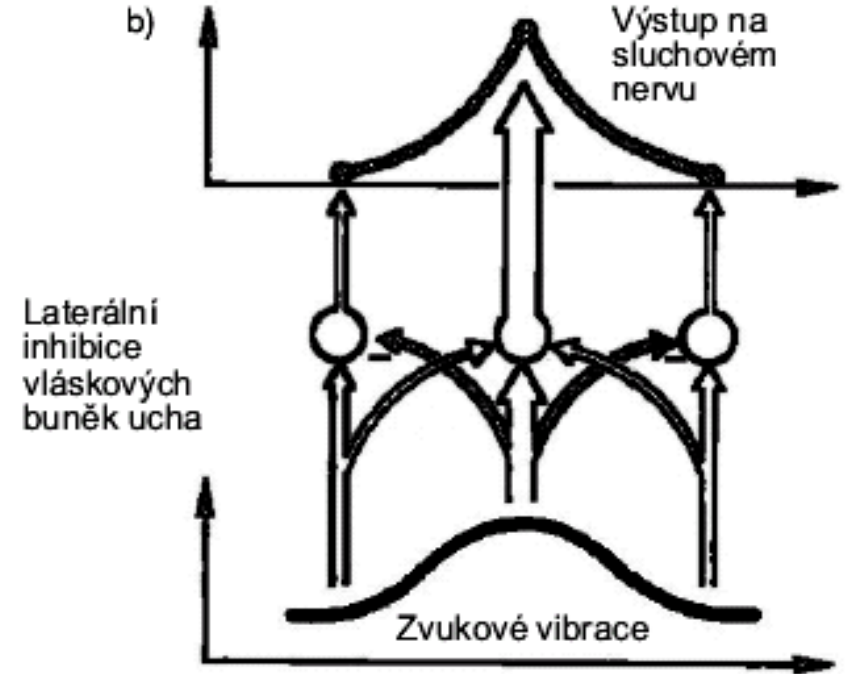
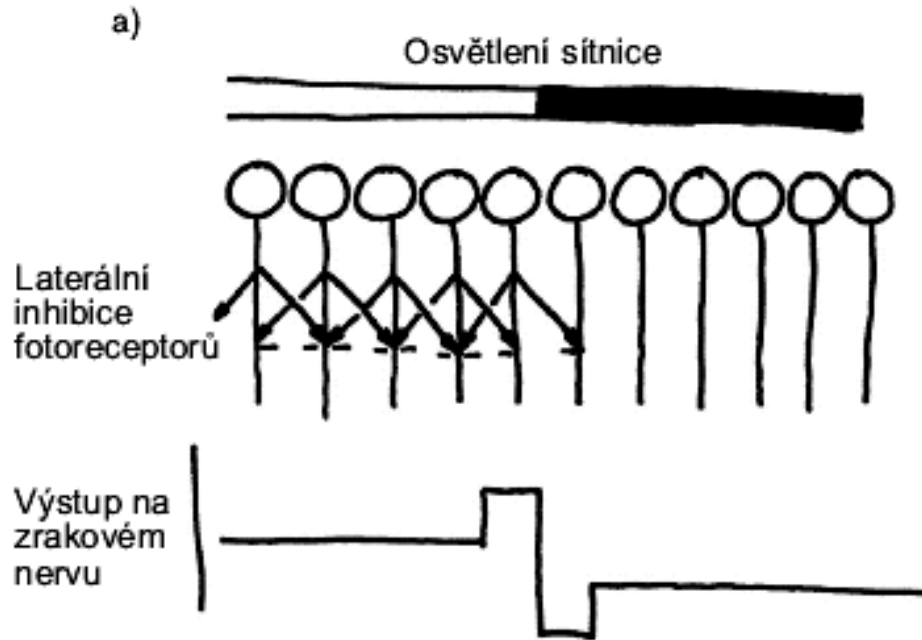
Většina exteroceptorů se v různé míře adaptuje.

Diferenční receptor

Proporcionální receptor

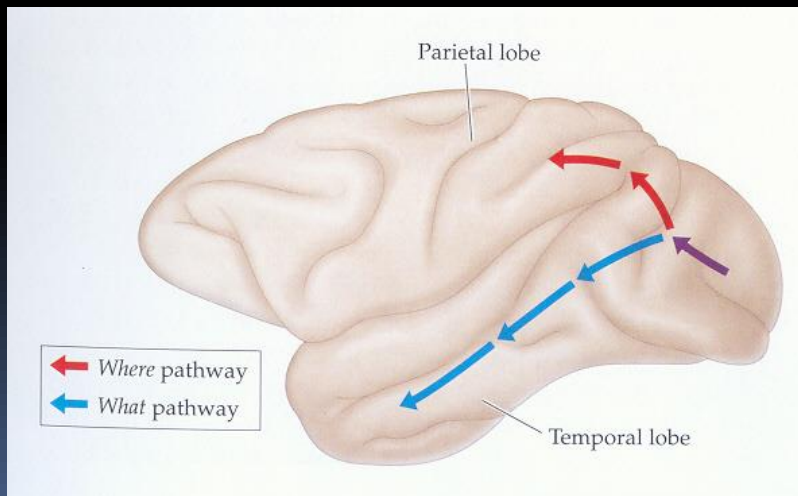


Laterální inhibice: vyšší rozlišovací schopnost zesílení kontrastů

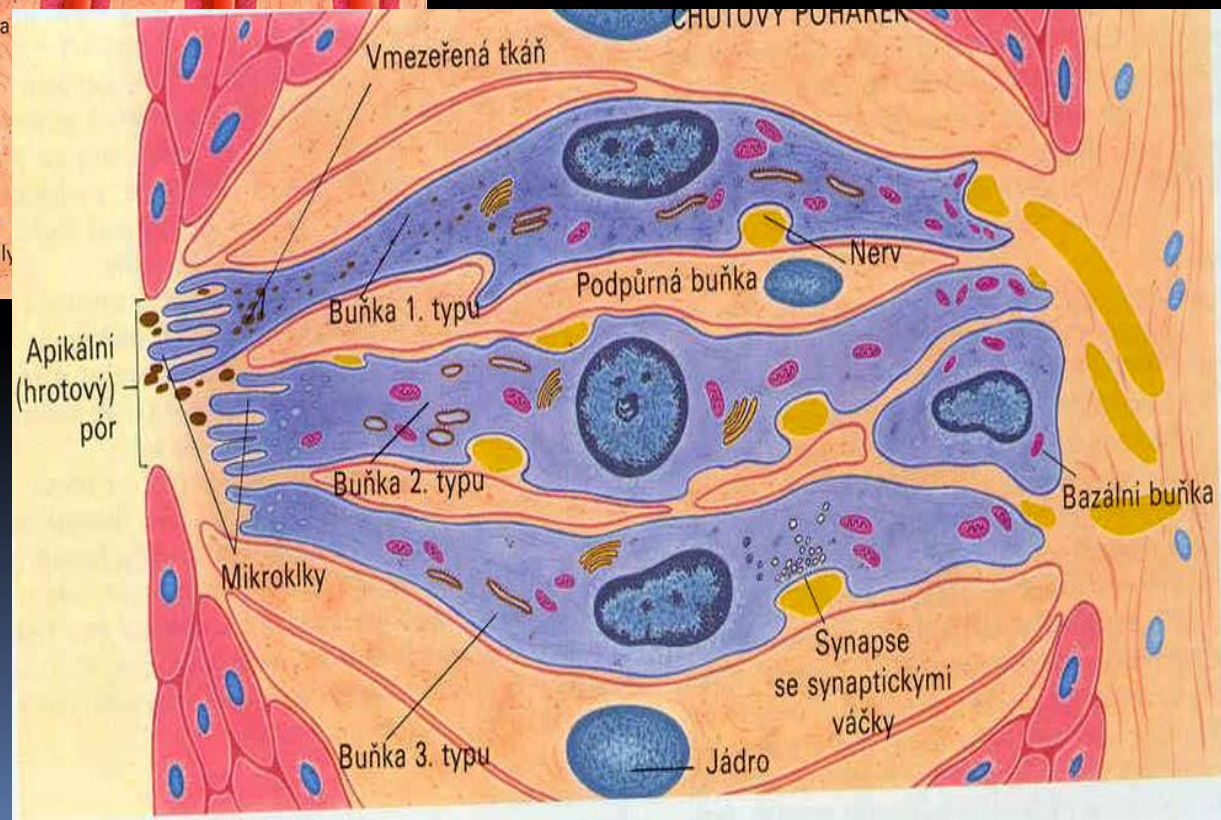
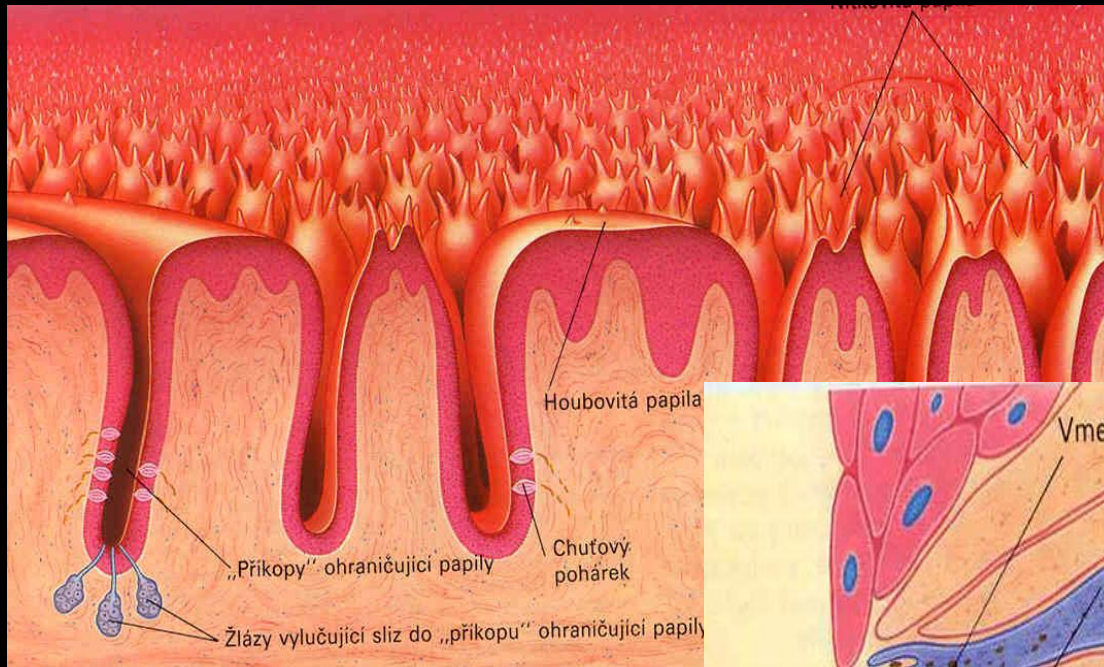


Smyslové dráhy

- 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)

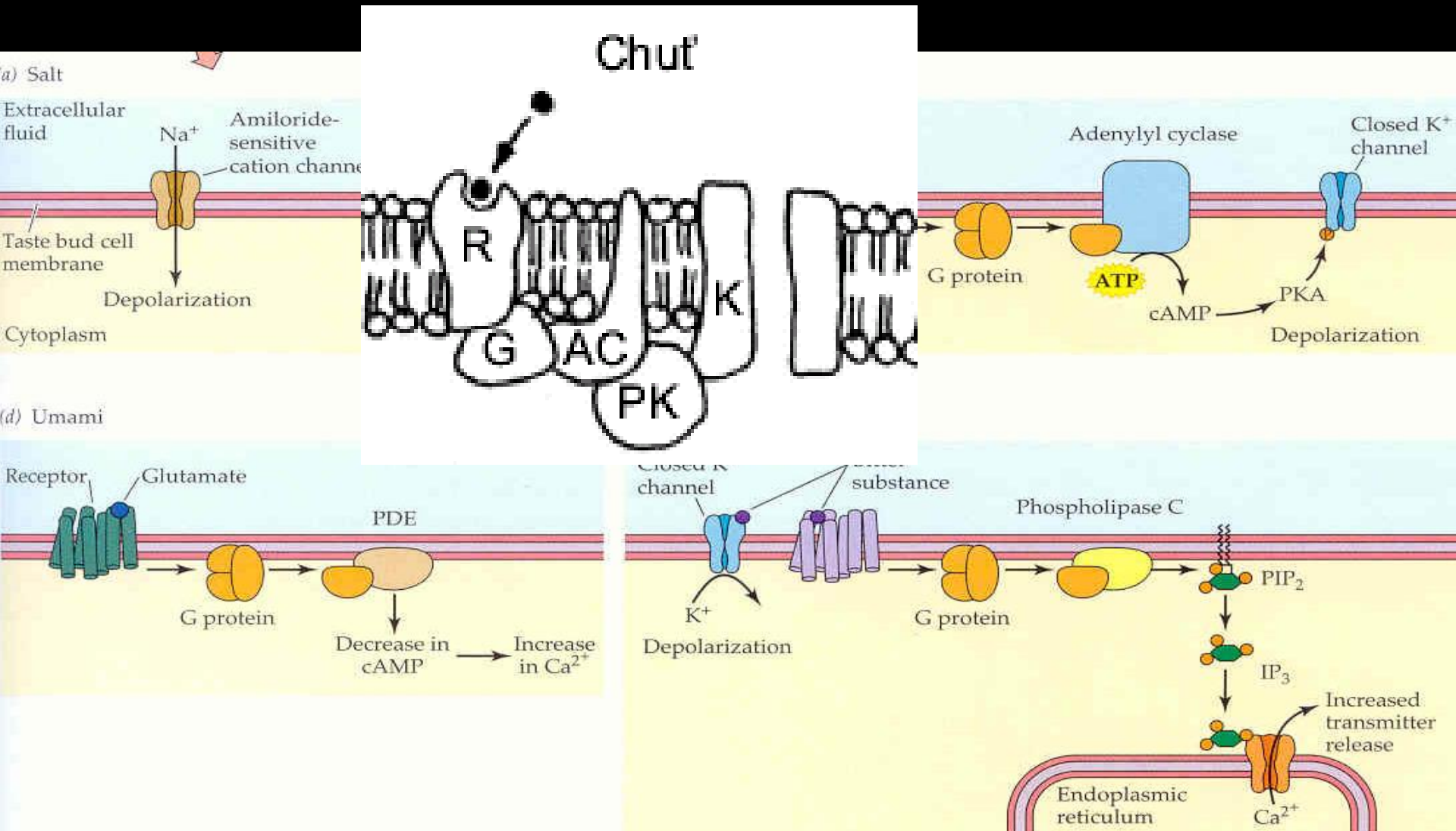


Chuť

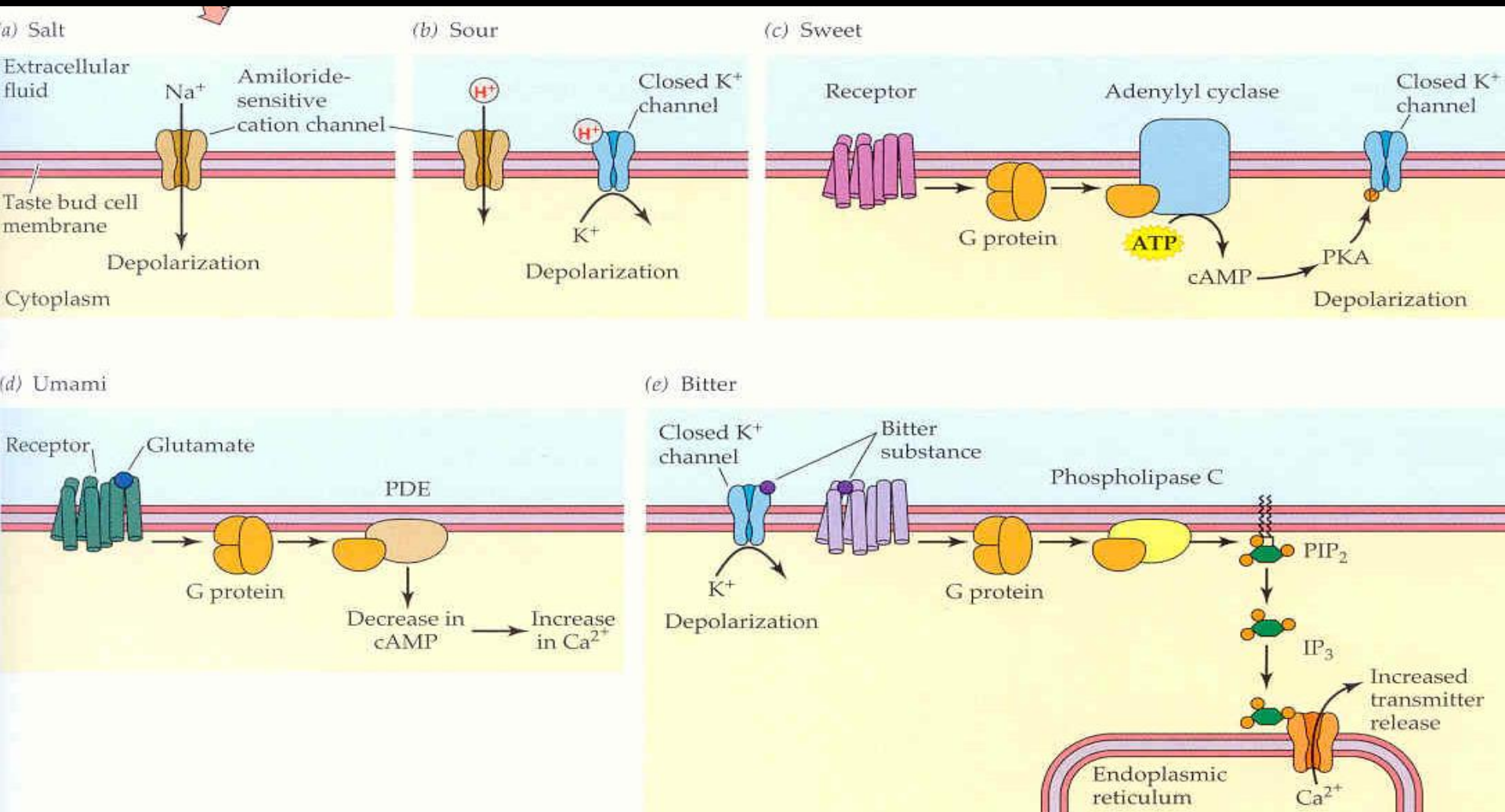


Stavba papil a receptorových buněk.

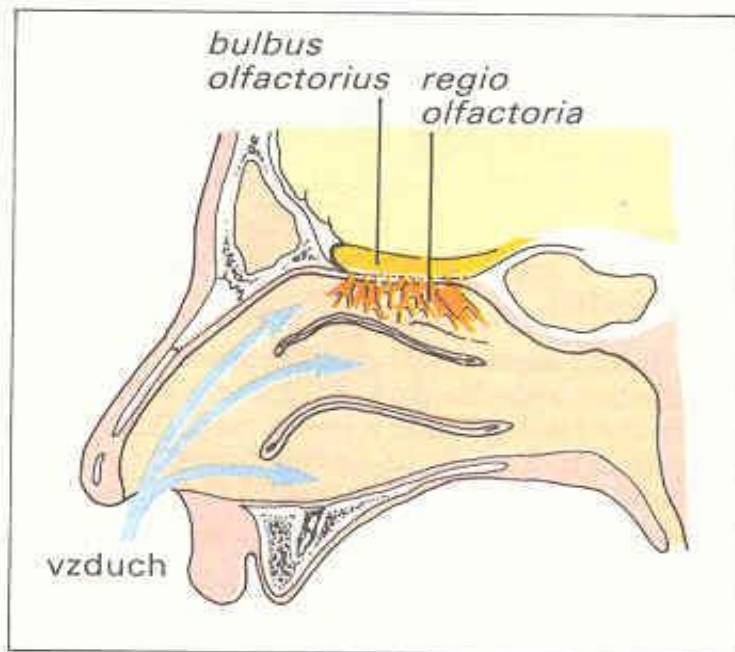
Různě složité transdukční cesty 5 základních chutí.



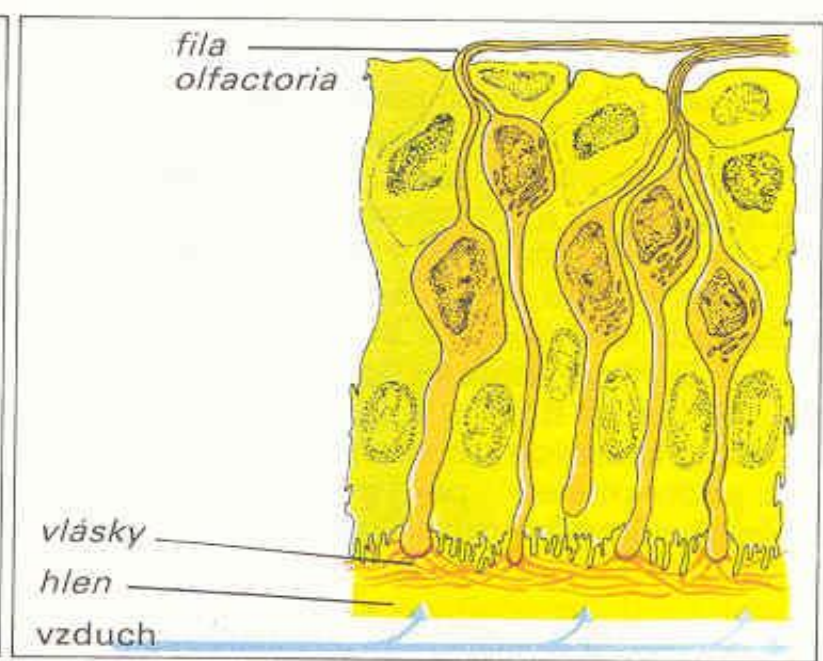
Různě složité transdukční cesty 5 základních chutí.



Čich

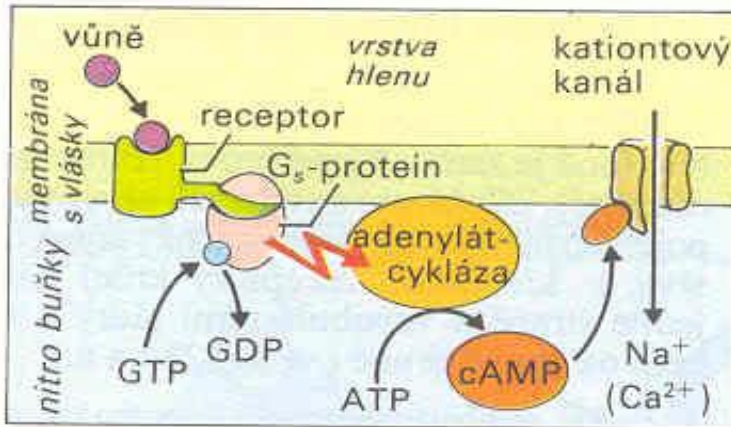


A. Nosní dutina a čichový orgán

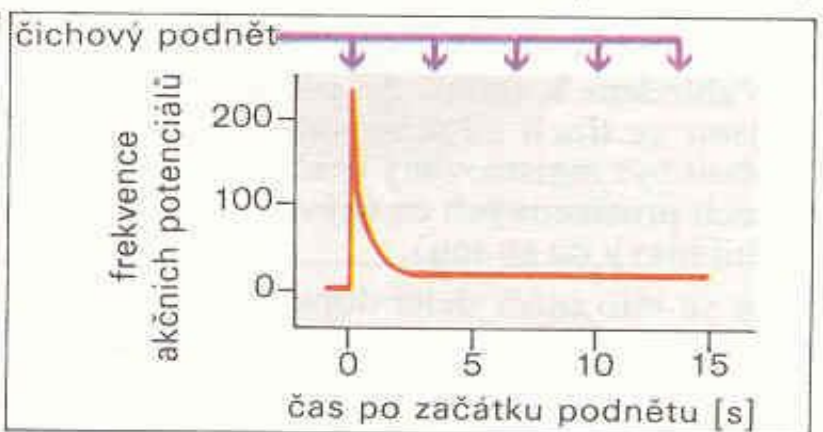


B. Čichový epitel

(podle Andrese)



C. Transdukce čichového podnětu



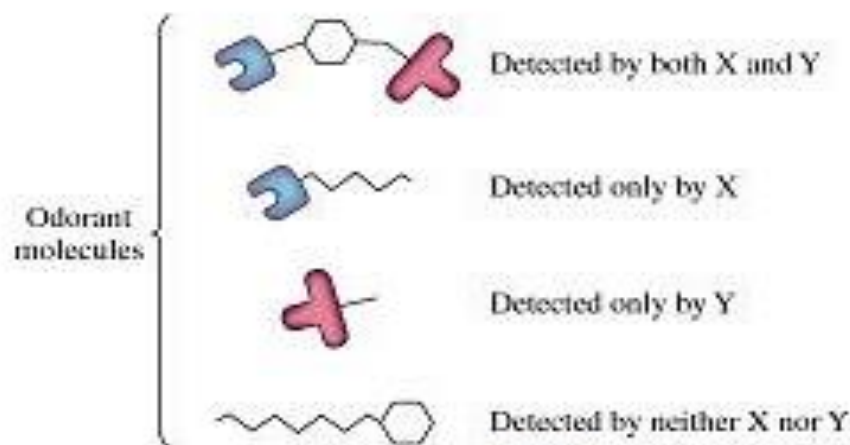
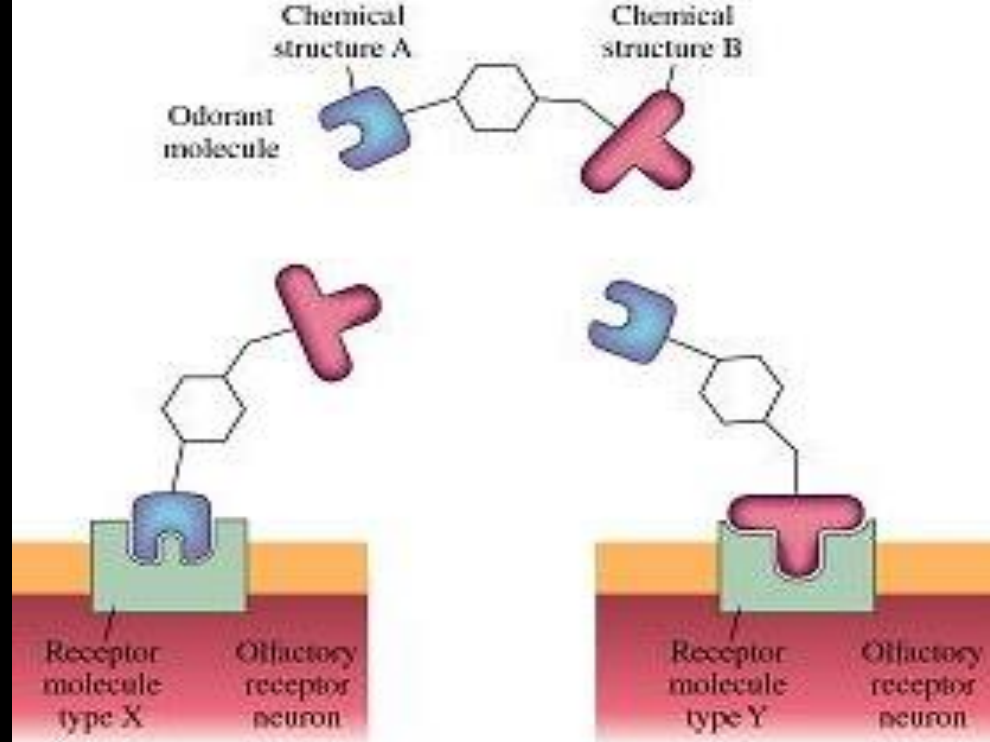
D. Adaptace čichu

Specifita srovnatelná s imunitní Cis/trans rozlišení



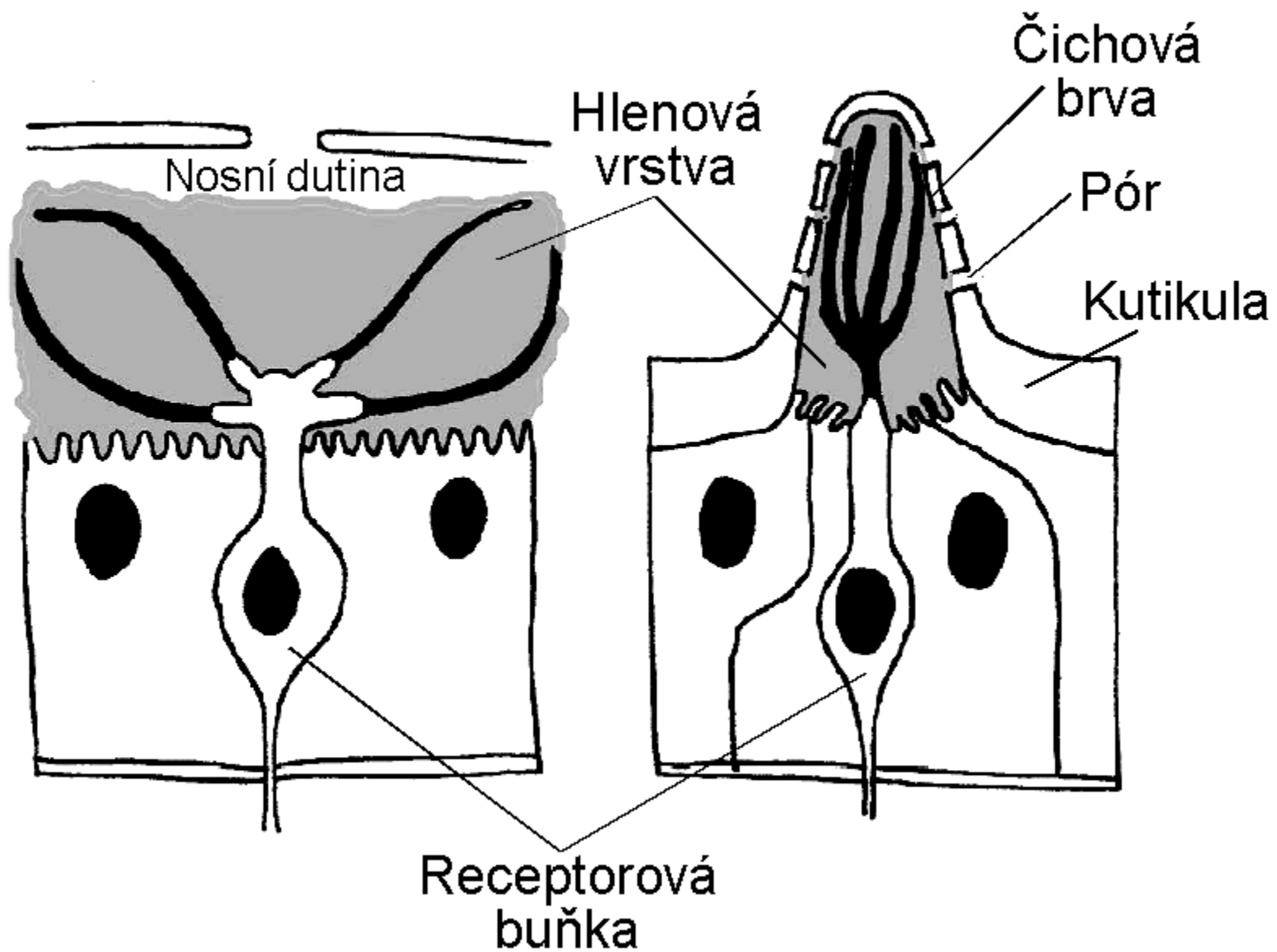
Specializace receptorů
Kombinace cca 350 receptorů člověka
3.000-100.000 vůní (?)

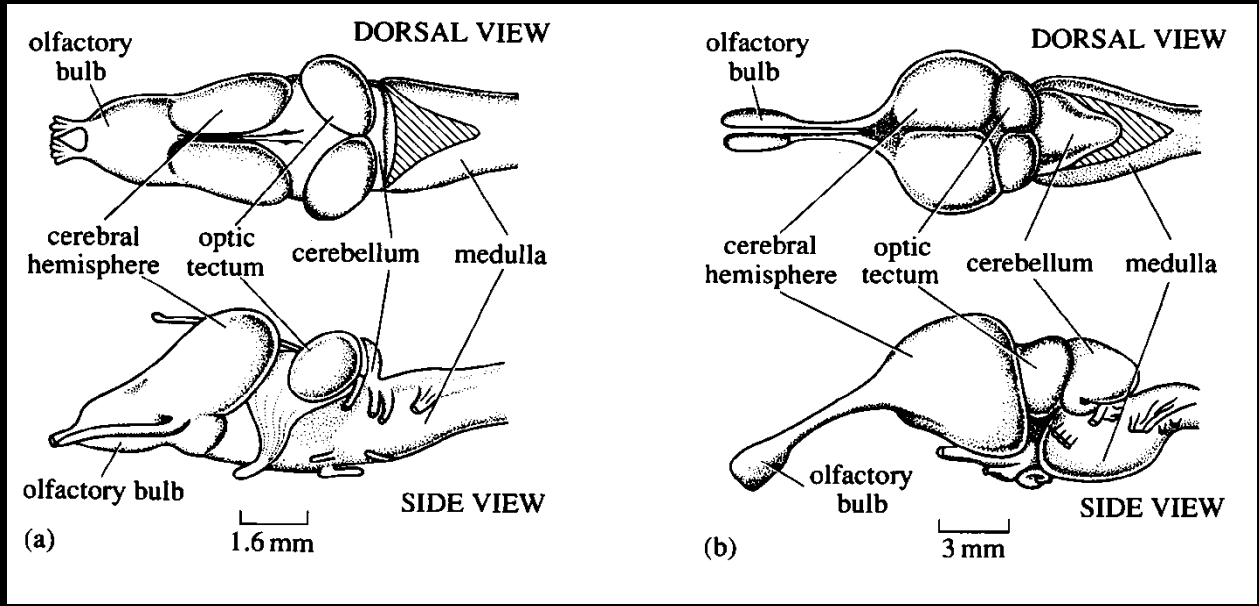
Ale: 21 MARCH 2014 VOL 343 SCIENCE
10¹² - až trilion vůní !



a) Savci

b) Hmyz





Čichový lalok koncového mozku je u člověka pod čelním lalokem, ale u žáby nebo aligátora tvoří základ telencefala

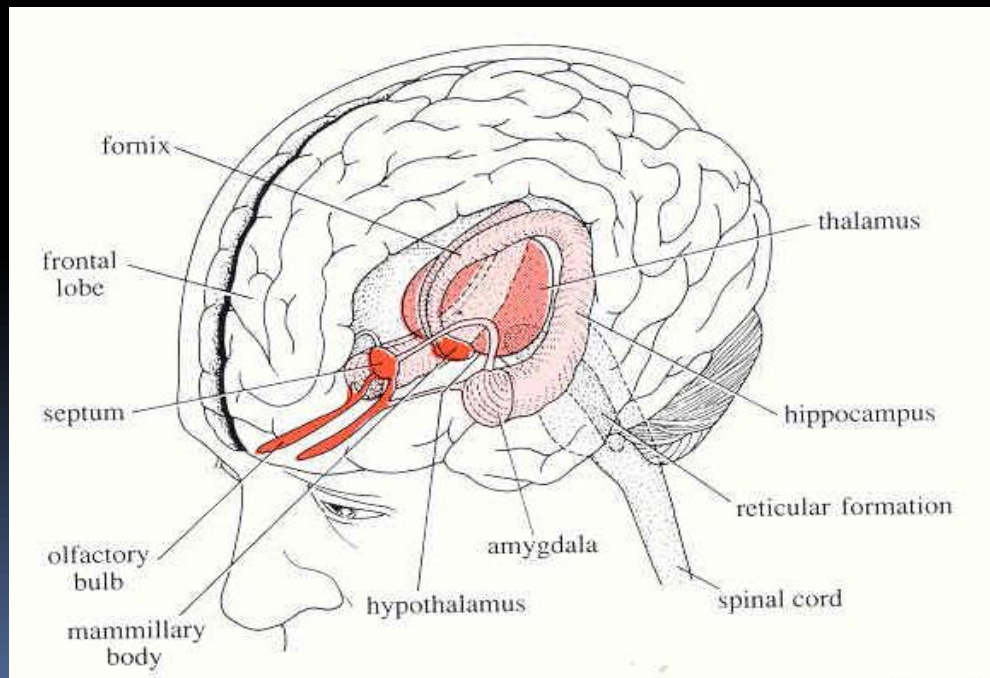


Figure 10.1 The limbic system (the main limbic system structures are shown in red)

V čichovém laloku jsou shluky neuronů – glomeruly reagující vždy na jednu vůni.
 Mapa vůní – vzorec aktivovaných glomerulů
 Konvergence neprostorového parametru na prostorový
 Laterální inhibice tedy pomáhá rozlišit i různé vůně!

savec

Drosophila

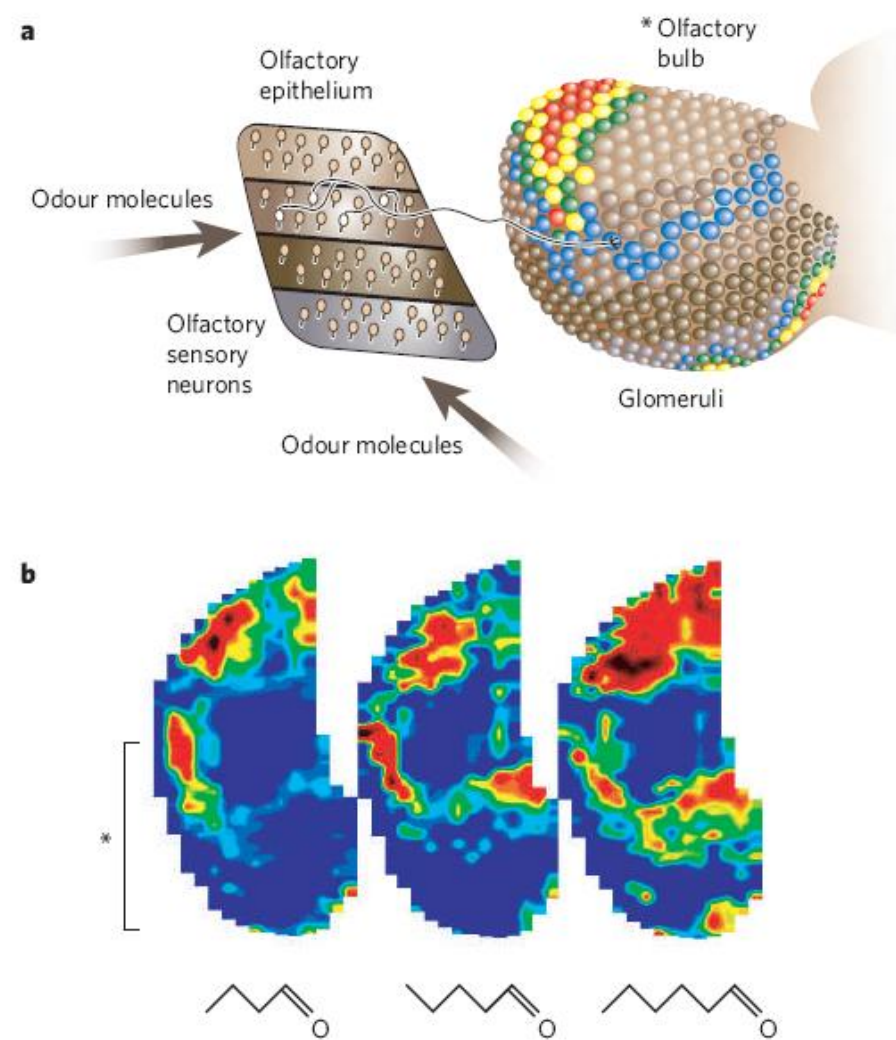
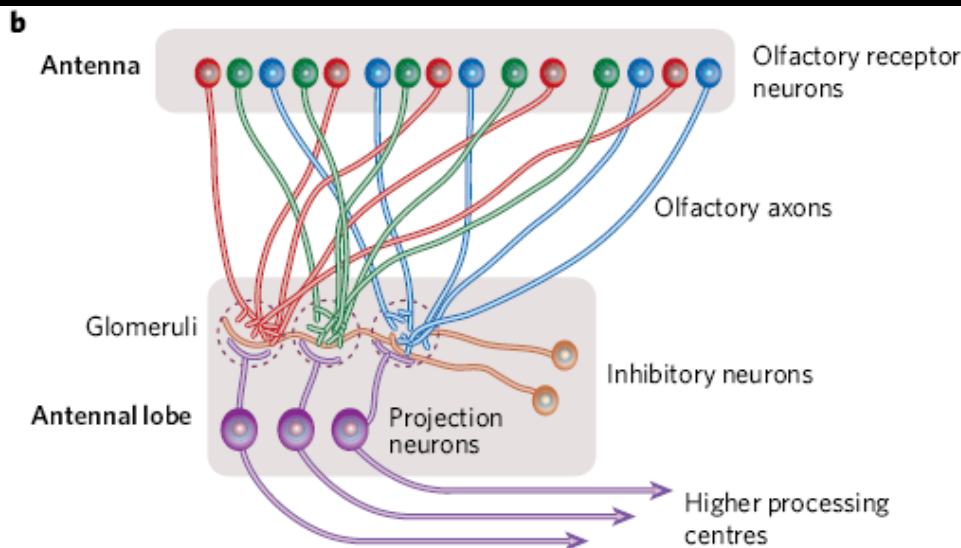
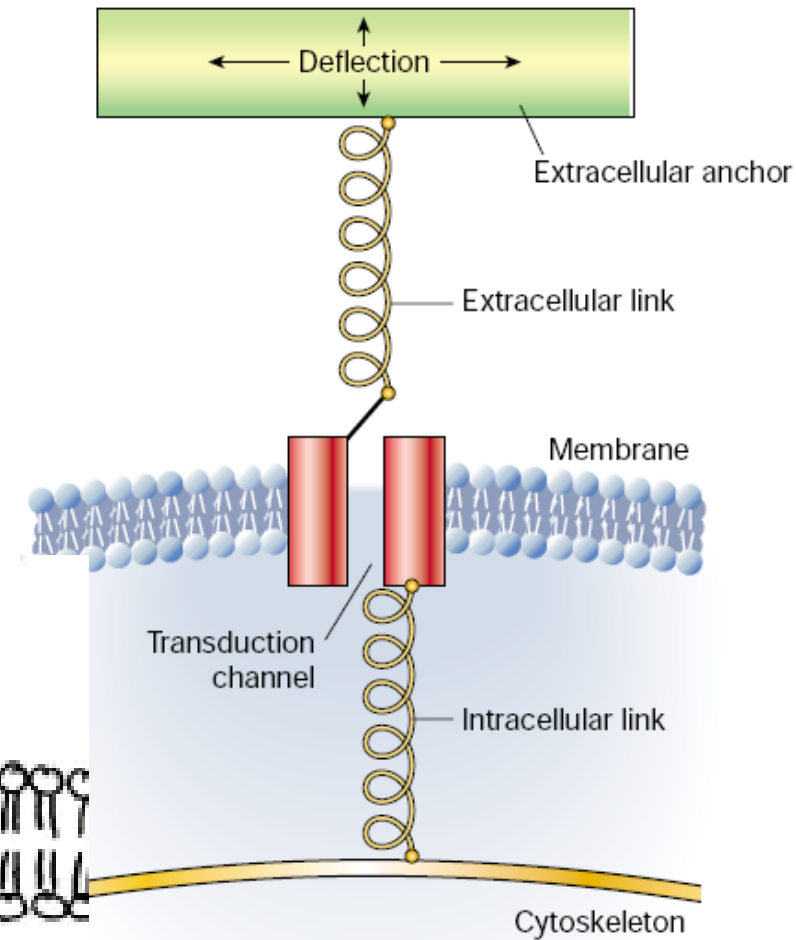
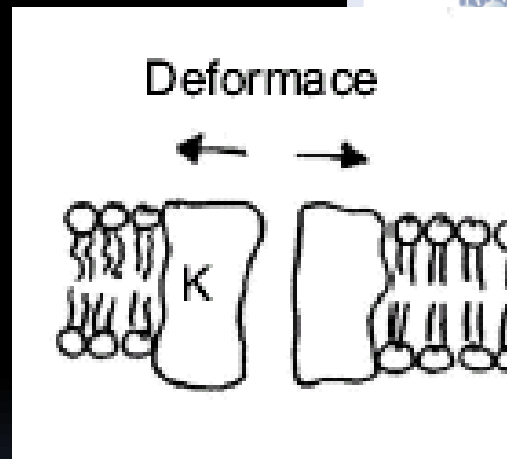


Figure 1 | Odour images in the olfactory glomerular layer. **a**, Diagram showing the relationship between the olfactory receptor cell sheet in the nose and the glomeruli of the olfactory bulb⁵³. **b**, fMRI images of the different but overlapping activity patterns seen in the glomerular layer of the 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.)

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.

Mechanorecepce

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

Jednotné molekulární schéma

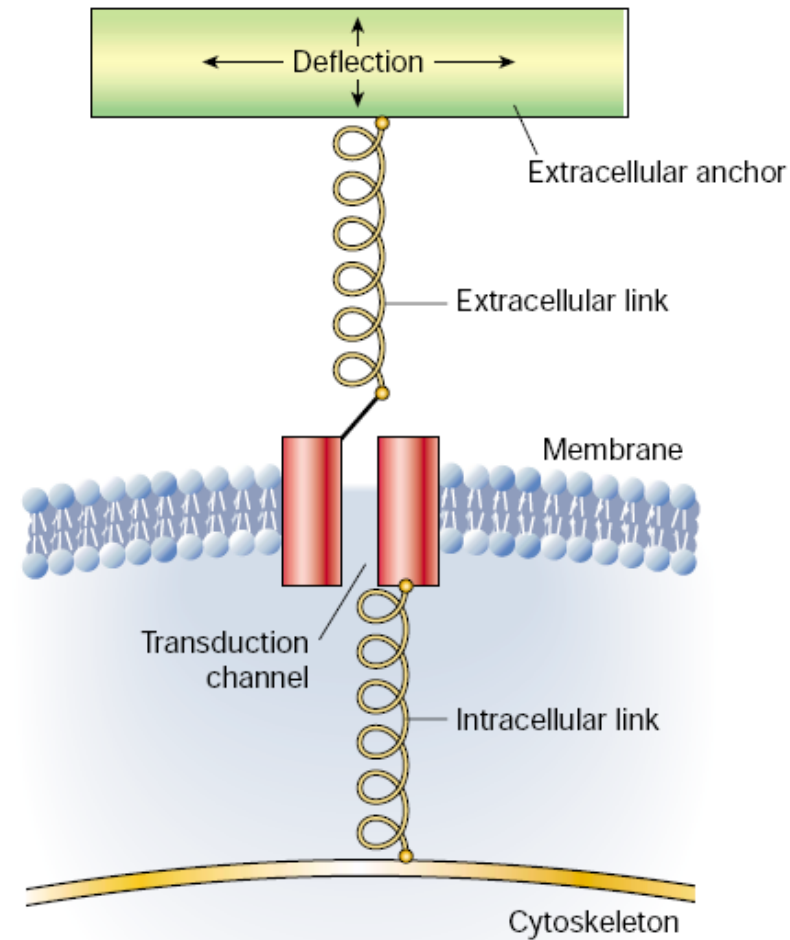


Figure 1 General features of mechanosensory transduction. A transduction channel is anchored by intracellular and extracellular anchors to the cytoskeleton and to an extracellular structure to which forces are applied. The transduction channel responds to tension in the system, which is increased by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

Thermoreceptors

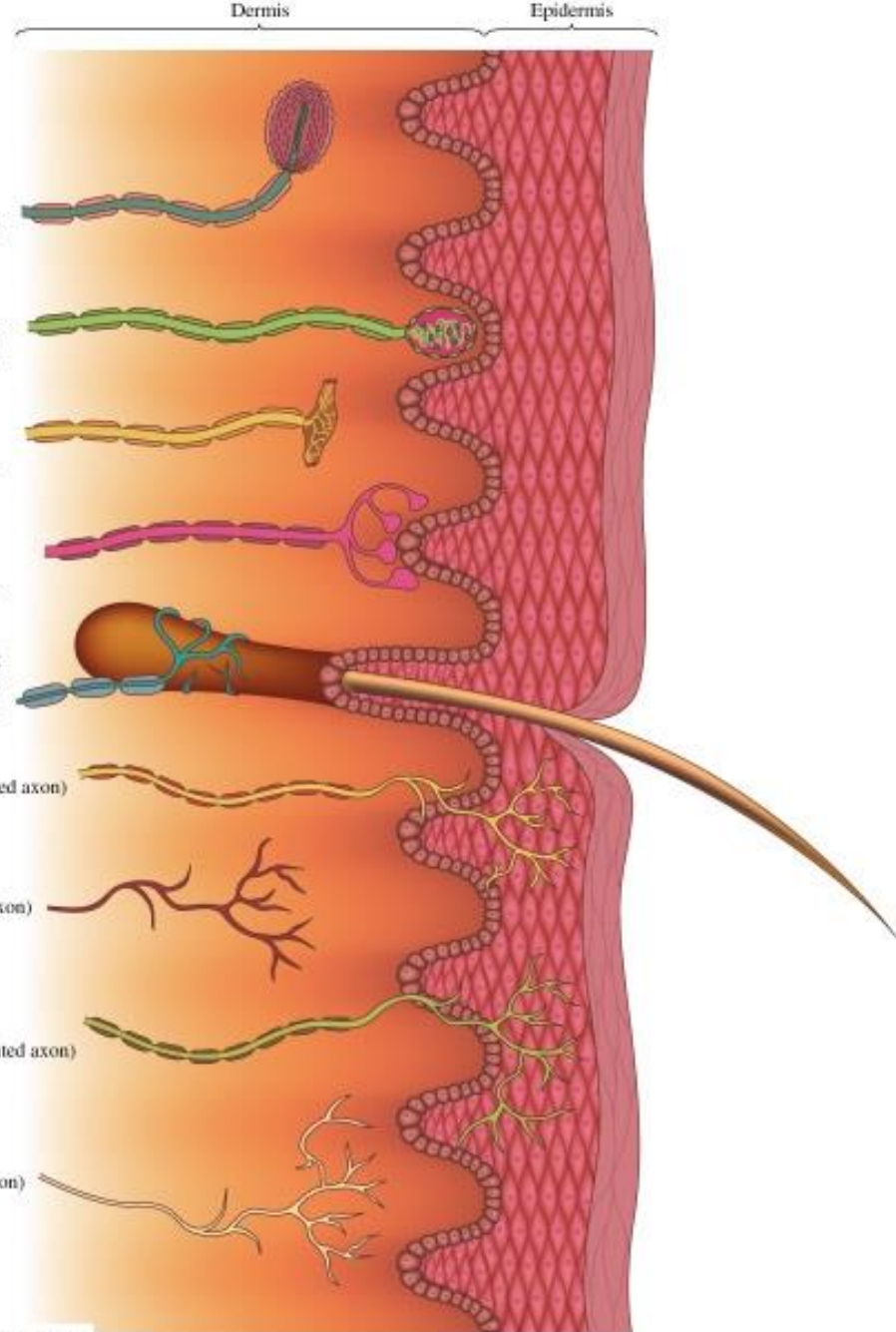
Cold (smaller myelinated axon)

Warm (unmyelinated axon)

Nociceptors

Rapid (smaller myelinated axon)

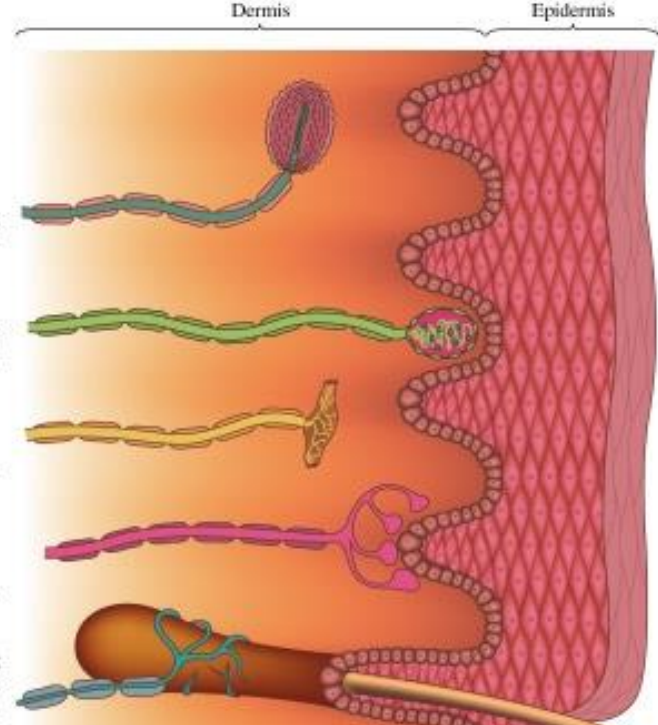
Slow (unmyelinated axon)

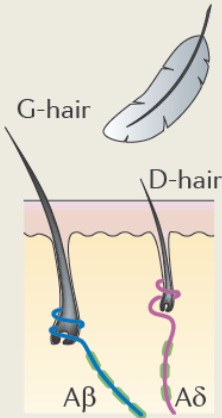
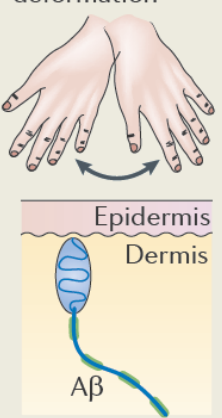
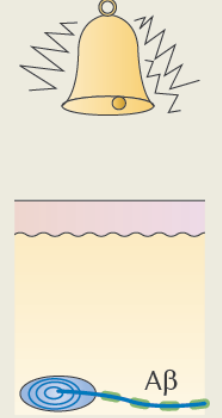
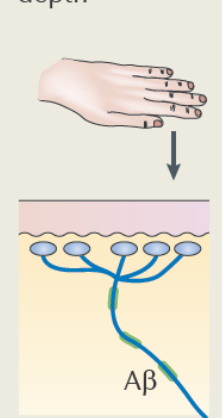
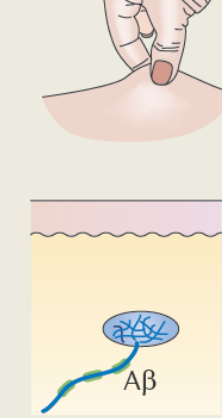
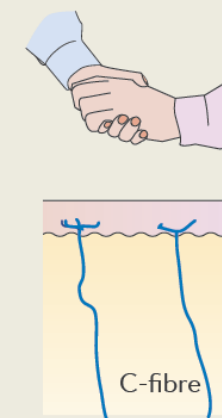
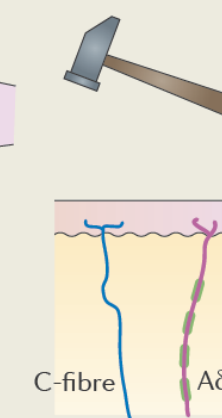









Kožní citlivost - hmat

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

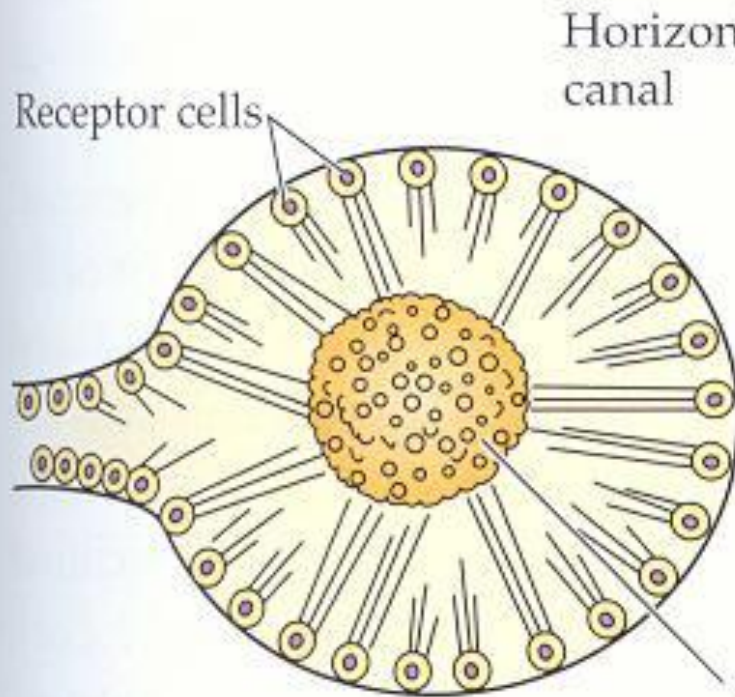


Receptor subtype	Hair follicles	Meissner corpuscle	Pacinian corpuscle	Merkel cell-neurite complex	Ruffini corpuscle	C-fibre LTM	Mechano-nociceptor Polymodal nociceptor
Skin stimulus	Light brush	Dynamic deformation	Vibration	Indentation depth	Stretch	Touch	Injurious forces
							
Afferent response	RA,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

Smysl pro rovnováhu – Statocysta nebo kanálek

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

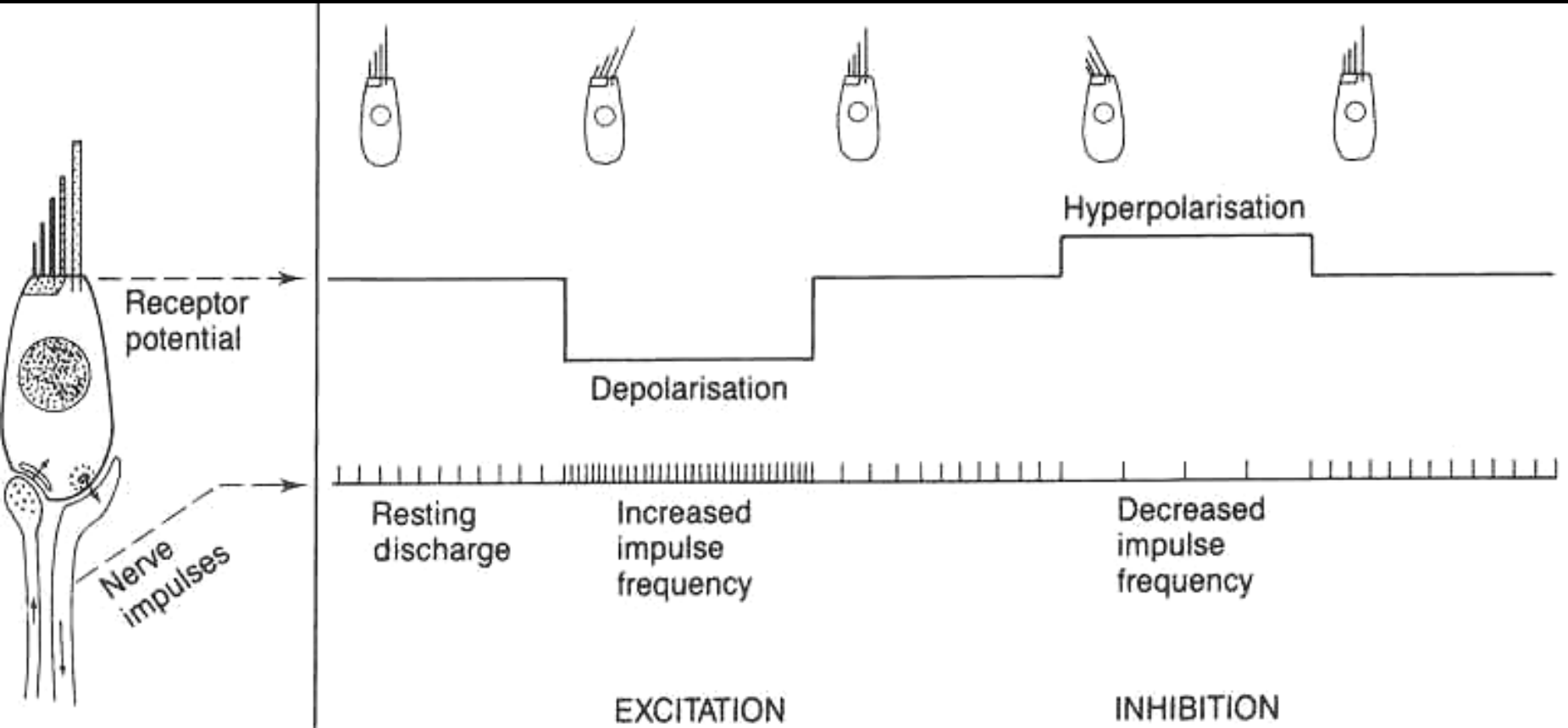
(b) Statocyst of a crab



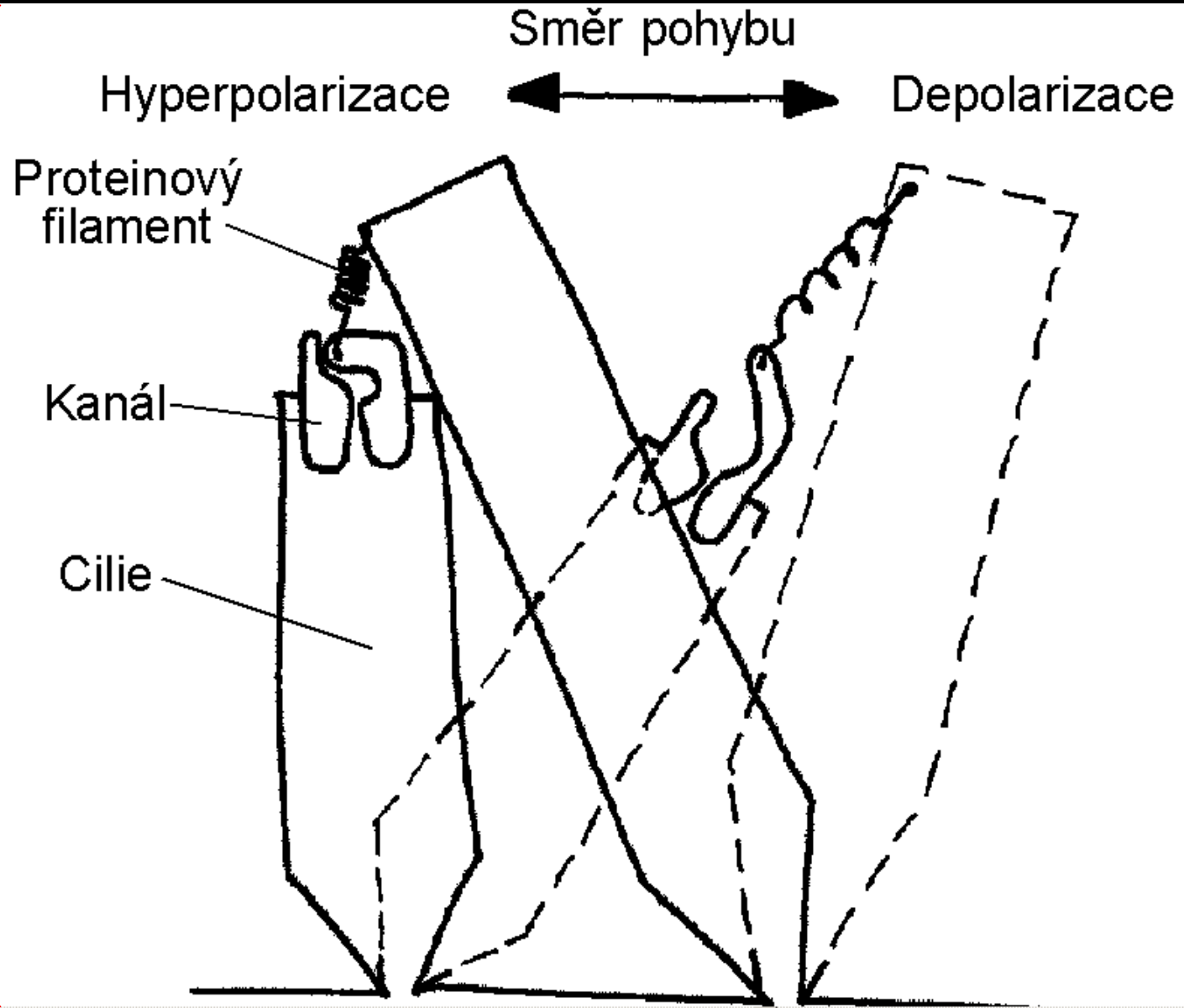
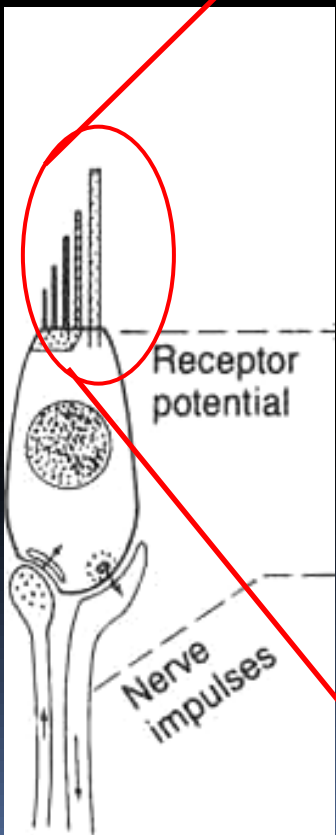
Horizontal canal



Vlásoková buňka obratlovců – specialista na jemný pohyb

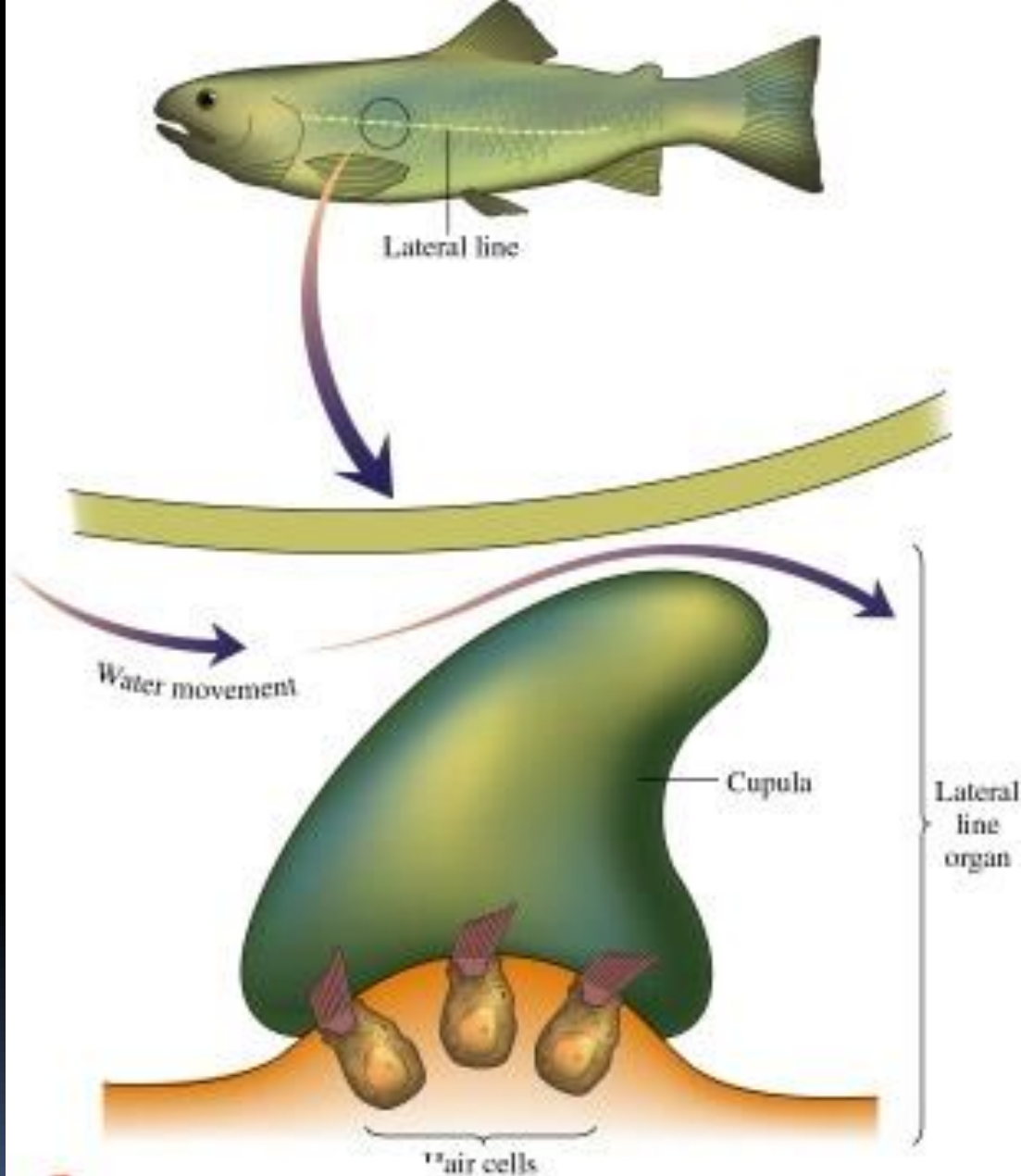


Vlásková buňka – specialista na jemný pohyb



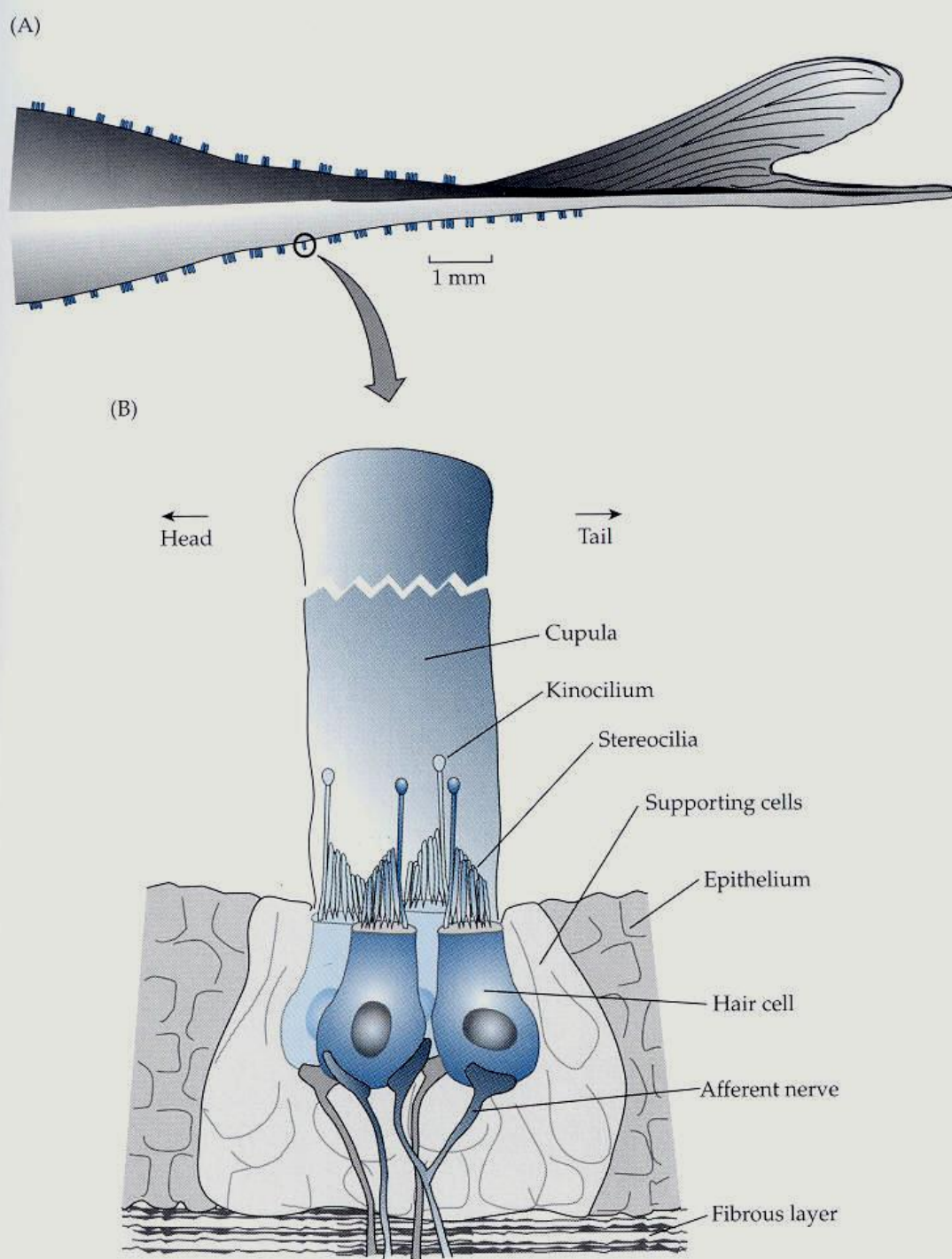
Proudový smysl -
Kanálek přepažený
kupulou s receptory

Ryba animace



Proudový smysl -
Kanálek přepažený
kupulou s receptory

Ryba animace



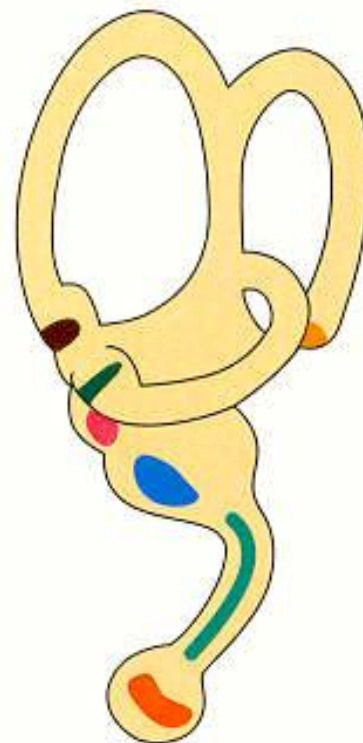
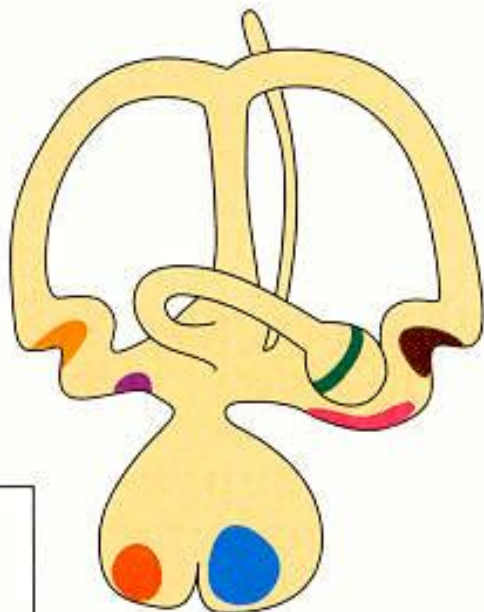
Evoluce smyslových polí tvořených vláskovými buňkami.

Fish (Myxine)

Frog

Bird

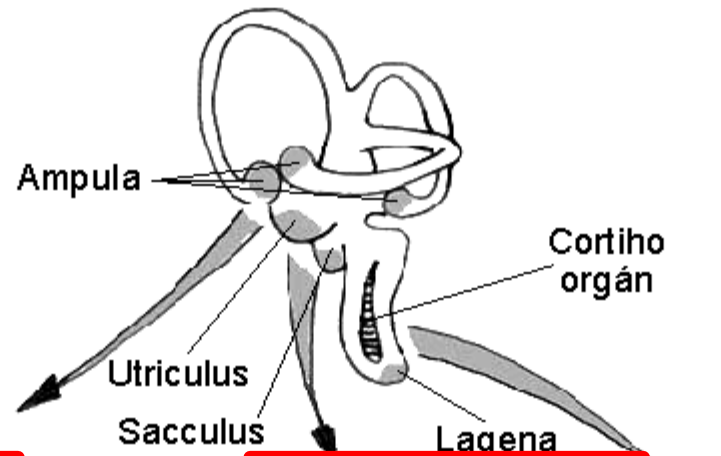
Mammal



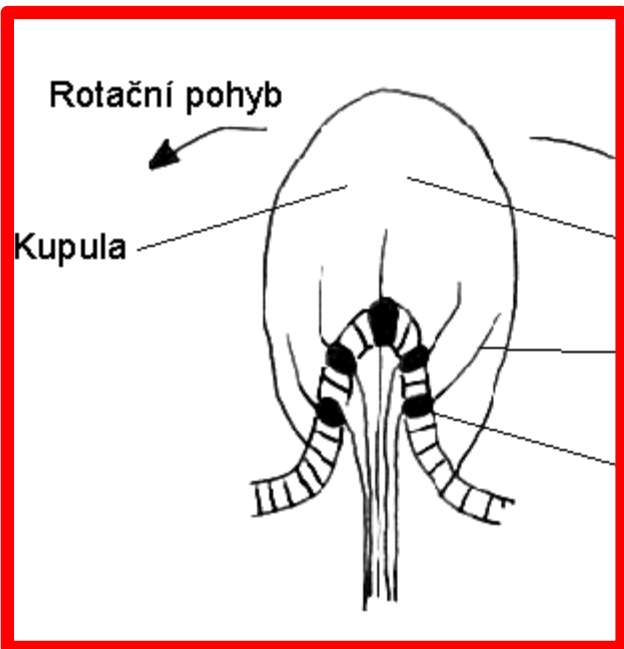
KEY

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

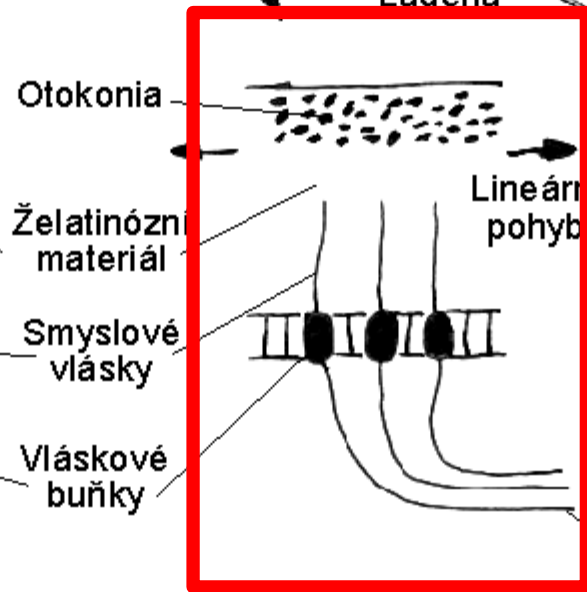
Vestibulární aparát a sluchový orgán



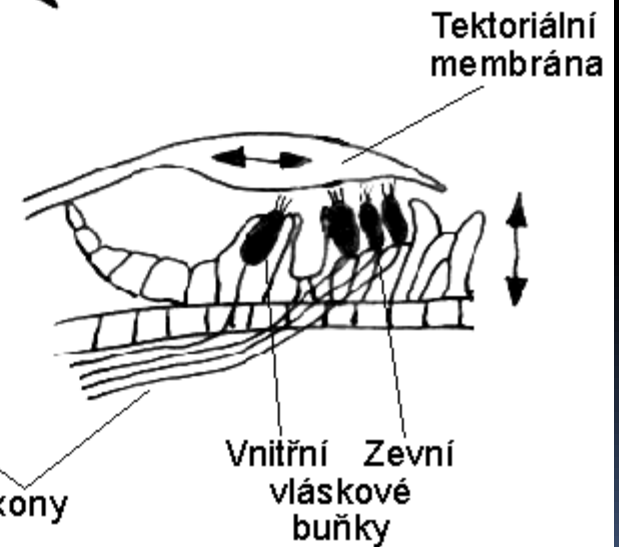
Cortiho orgán



a)

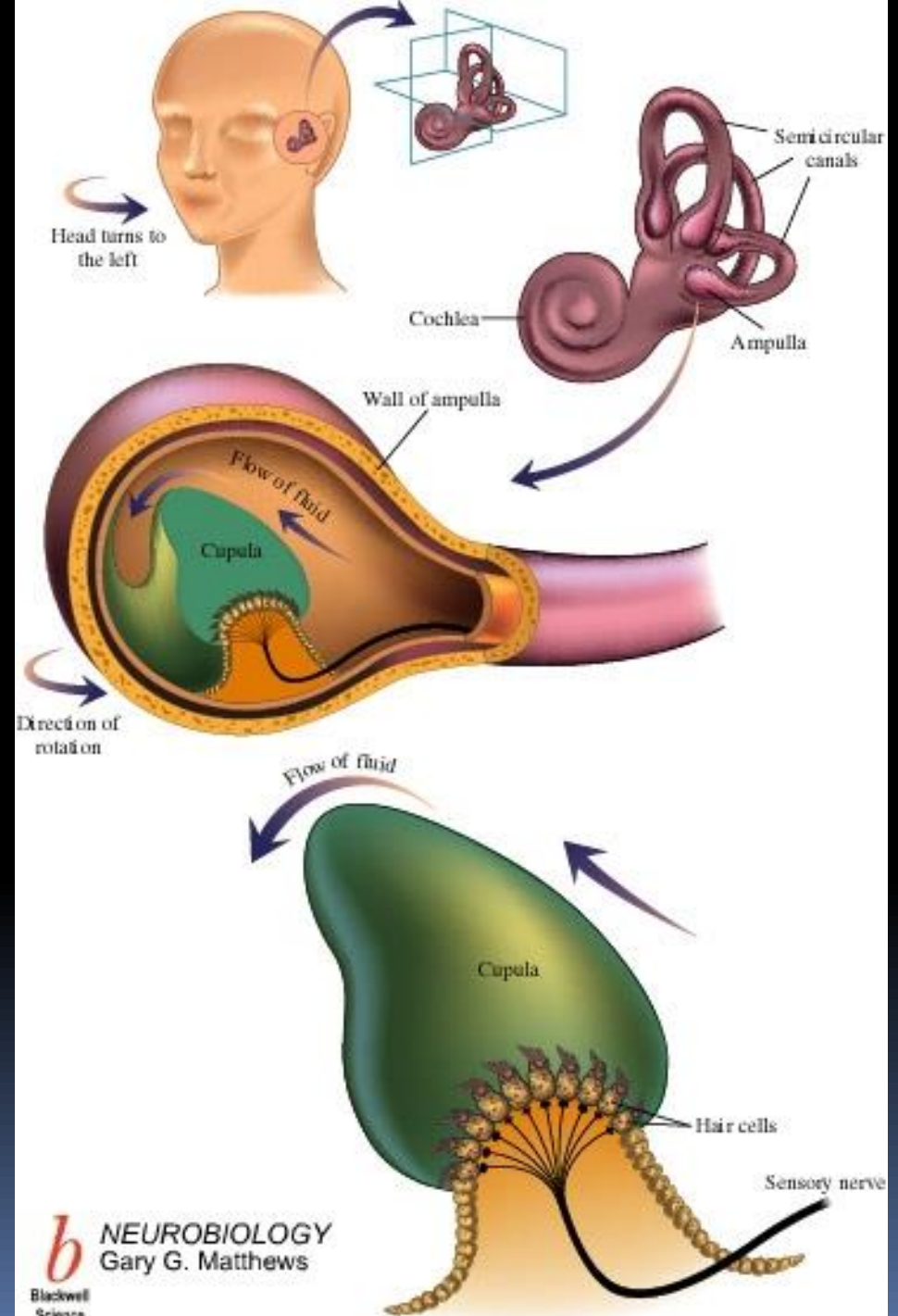


b)

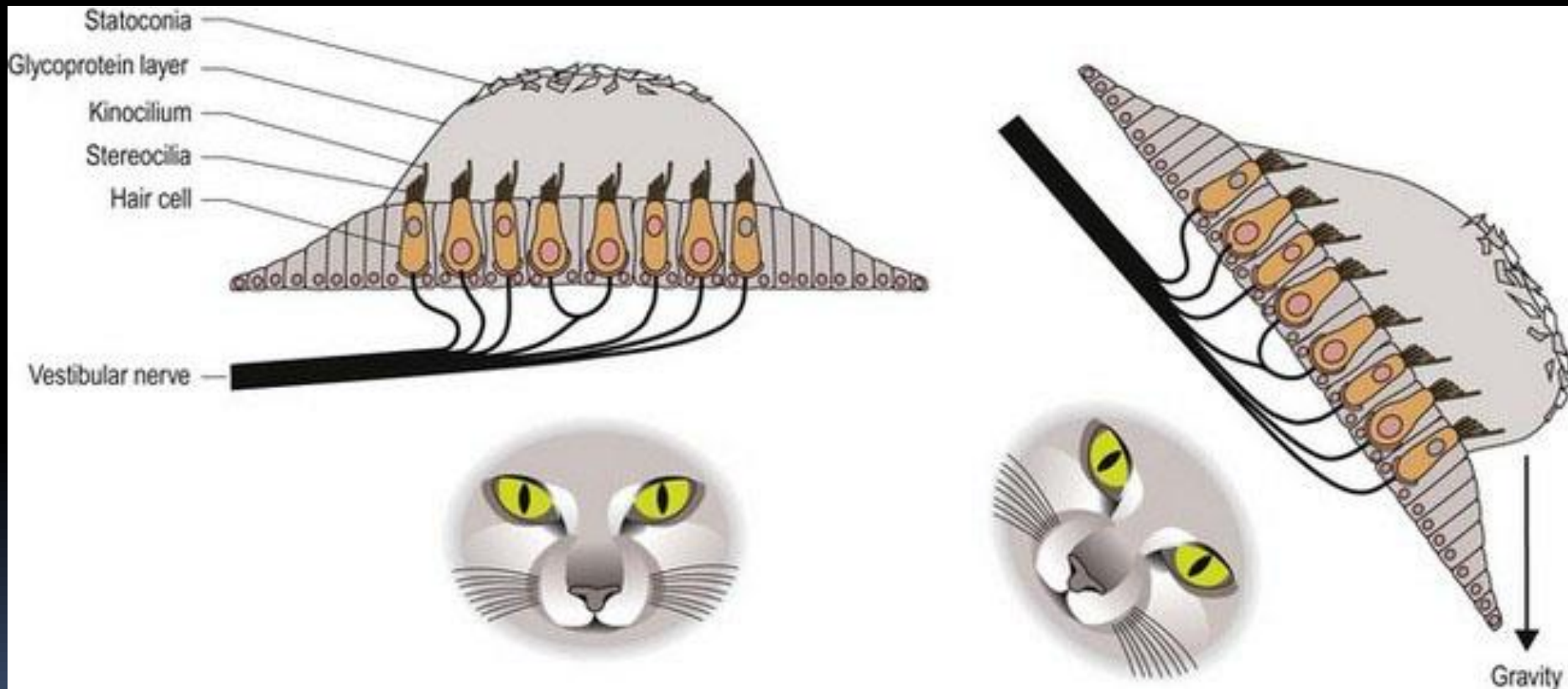


c)

3 polokruhové chodby
zakončené ampulami hlásí
rotační zrychlení



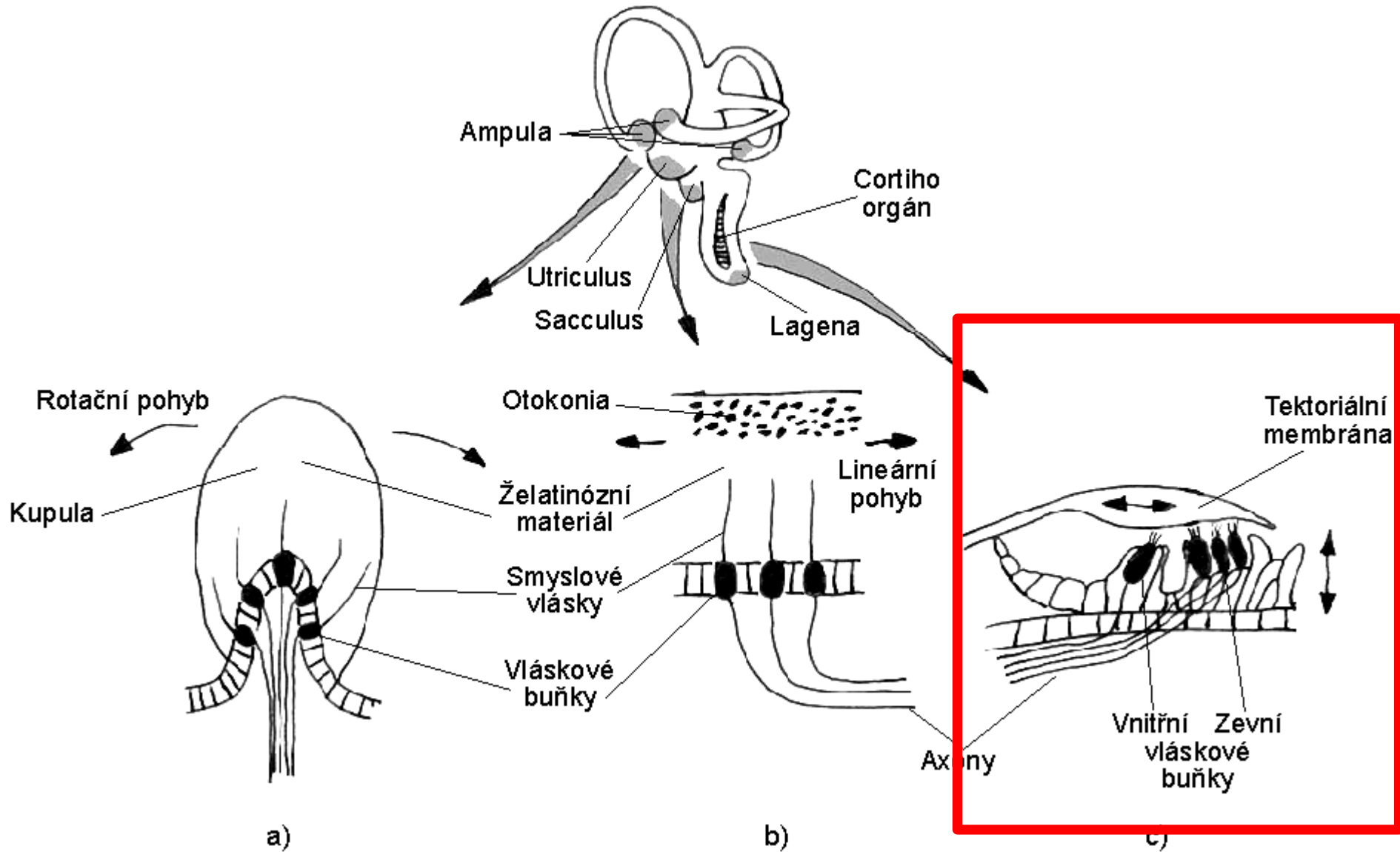
„Statocysty“ Utriculus a Sacculus hlásí lineární zrychlení a směr gravitace

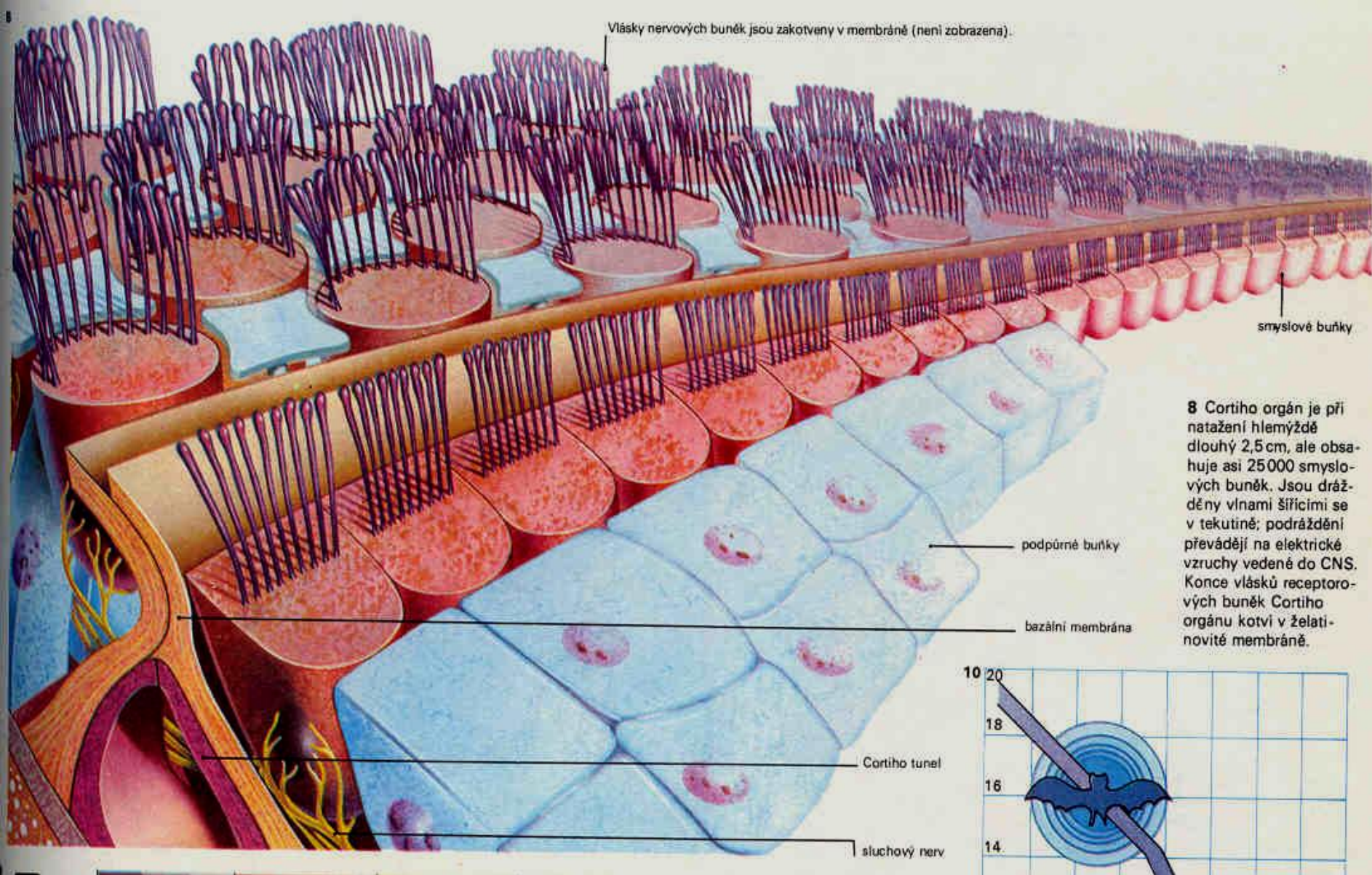


<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/vestibular.html>

<https://veteriankey.com/vestibular-system/>

Sluchový orgán

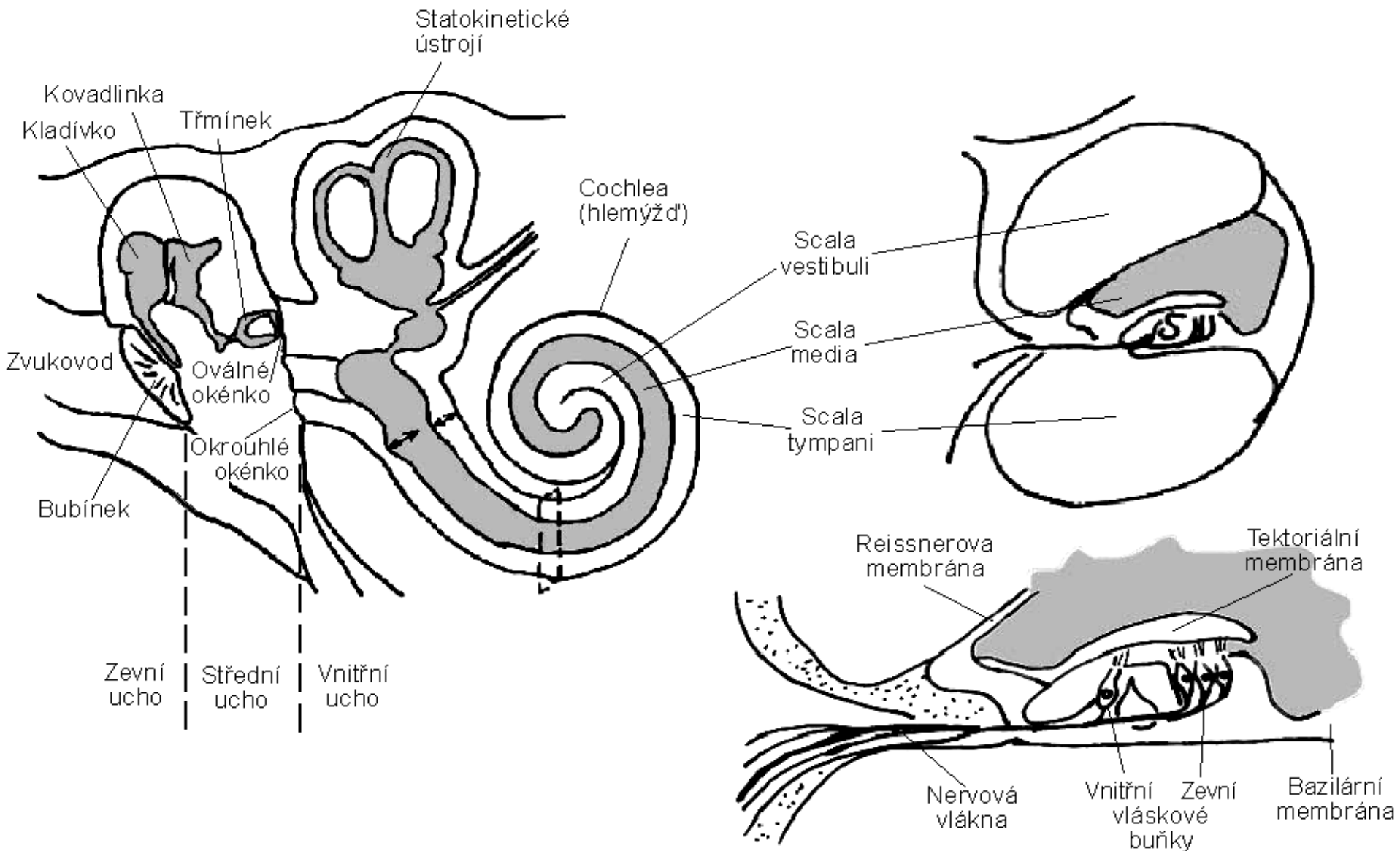




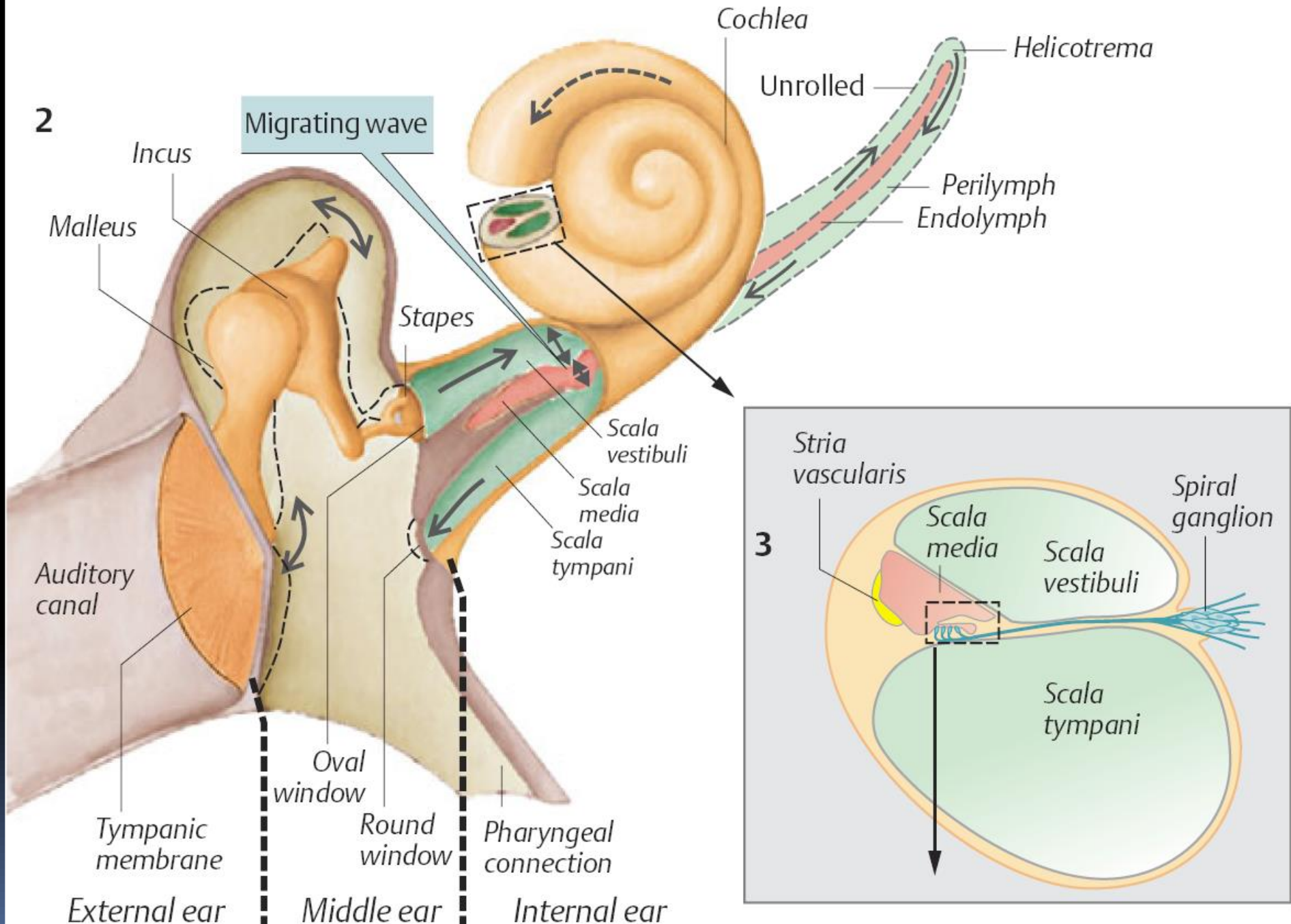
8 Cortiho orgán je při natažení hlemýždě dlouhý 2,5 cm, ale obsahuje asi 25000 smyslových buněk. Jsou drážděny vlnami šířícími se v tekutině; podráždění převádějí na elektrické vzruchy vedené do CNS. Konce vlásků receptorových buněk Cortiho orgánu kotví v želatinovité membráně.

Cortiho orgán: 25.000 vláskových buněk ve dvou řadách

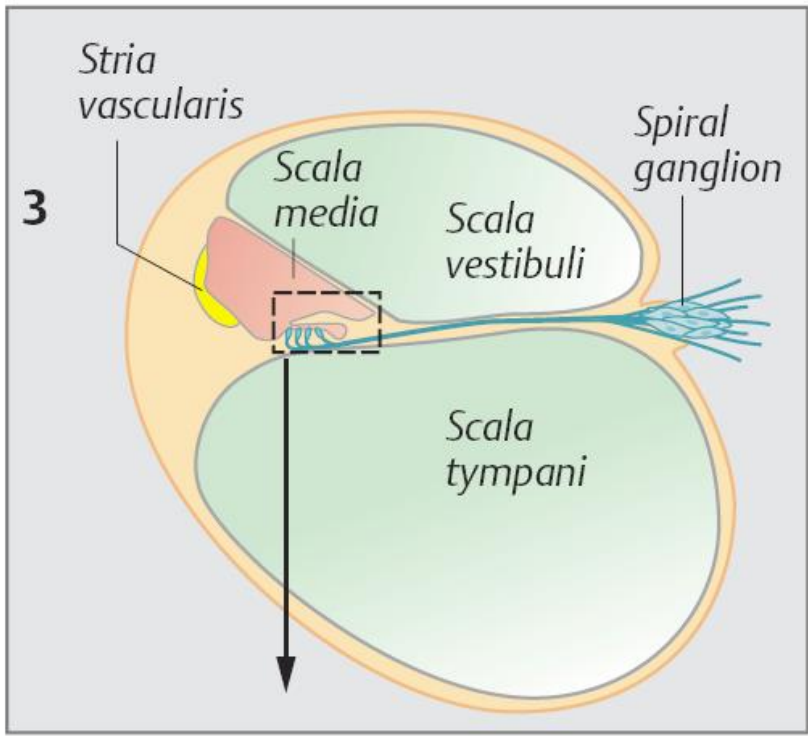
Sluchový aparát savců



2



3

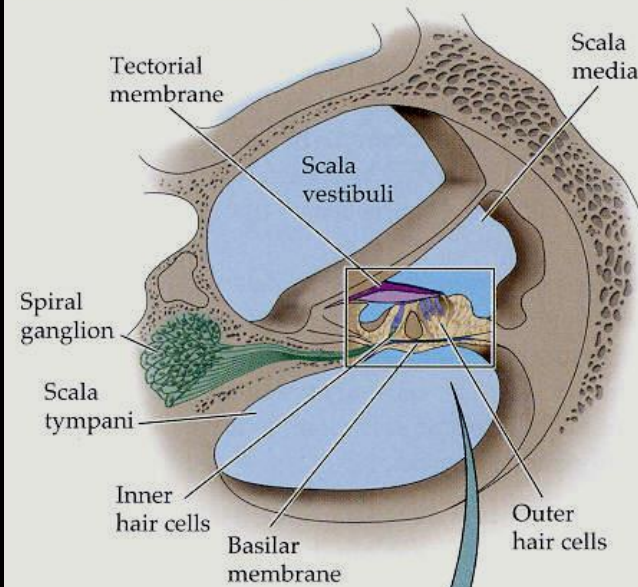


Sluchový aparát savců Vnitřní ucho

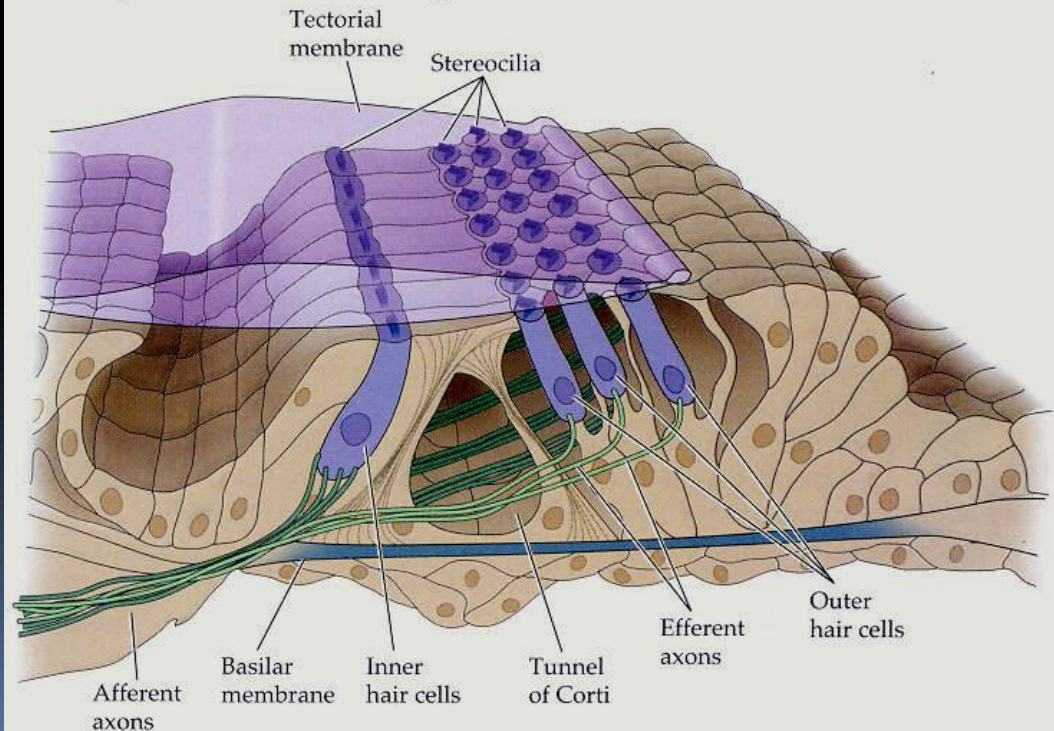
Animace ear.

http://highered.mcgraw-hill.com/olc/dl/120108/bio_e.swf

(a) A cross section through the cochlea



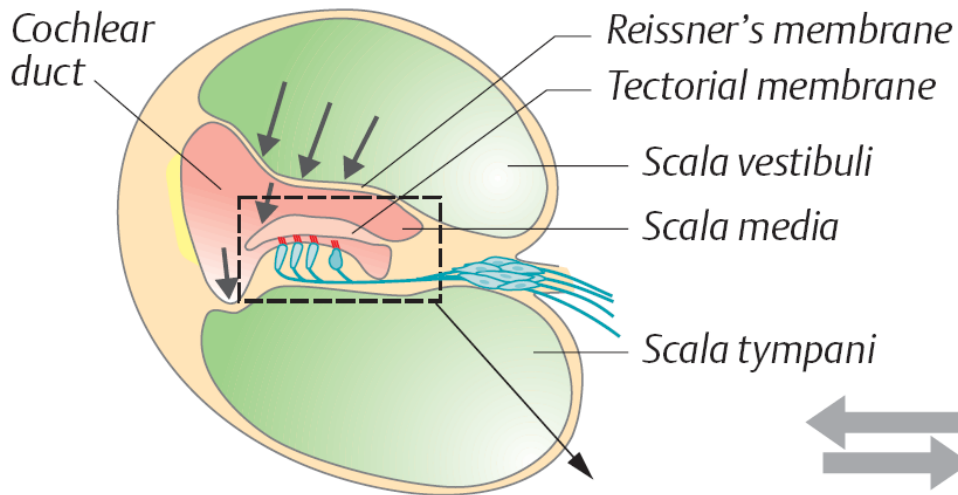
(b) The organ of Corti



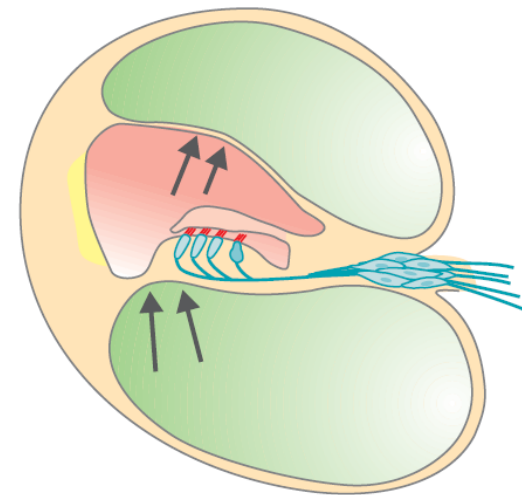
Zvukové vlny způsobí posuny tektonální a basilární membrány a tím i ohýbání vlásků.

D. Stimulation of hair cells by membrane deformation

1



2

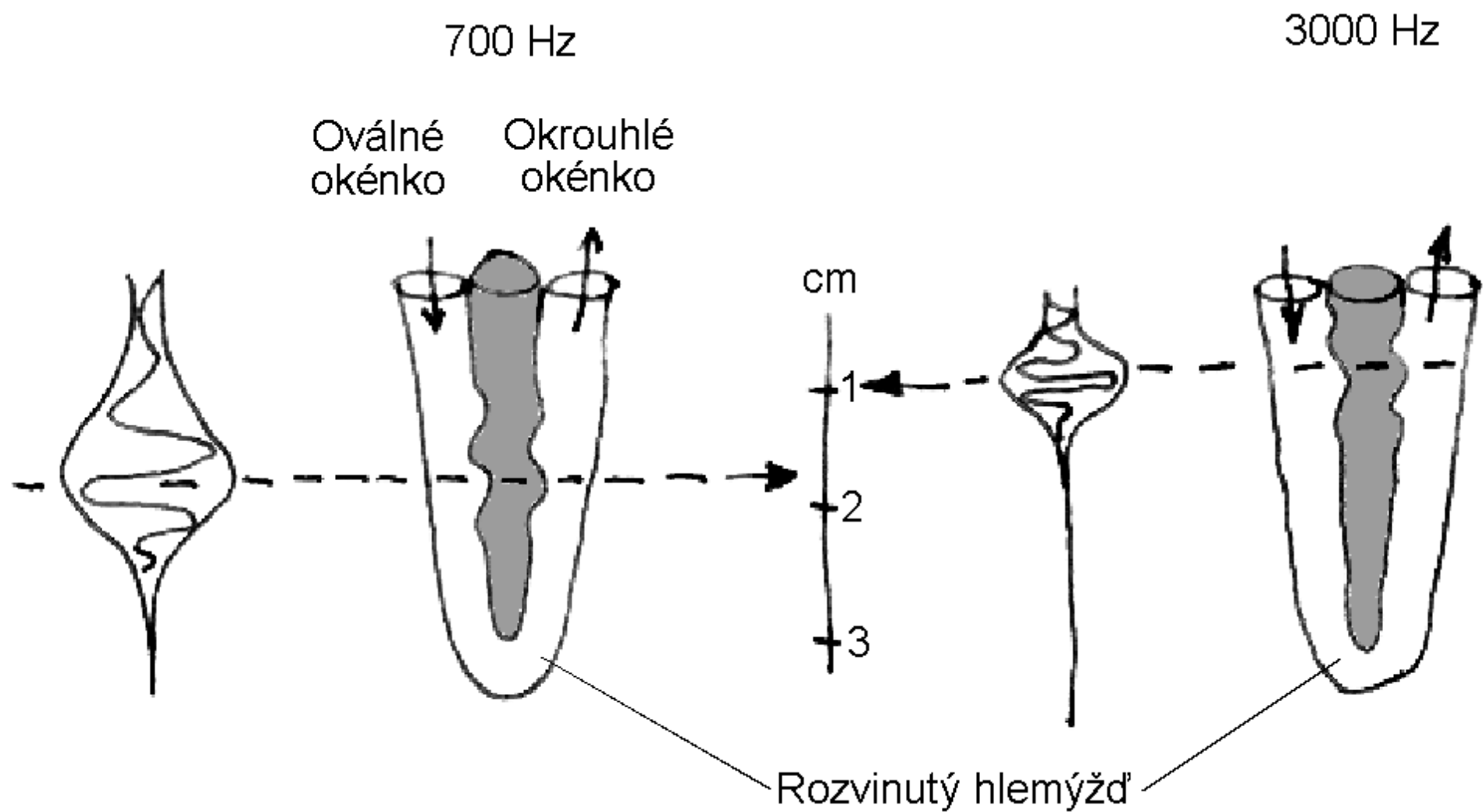


Tektorální membrána - animace

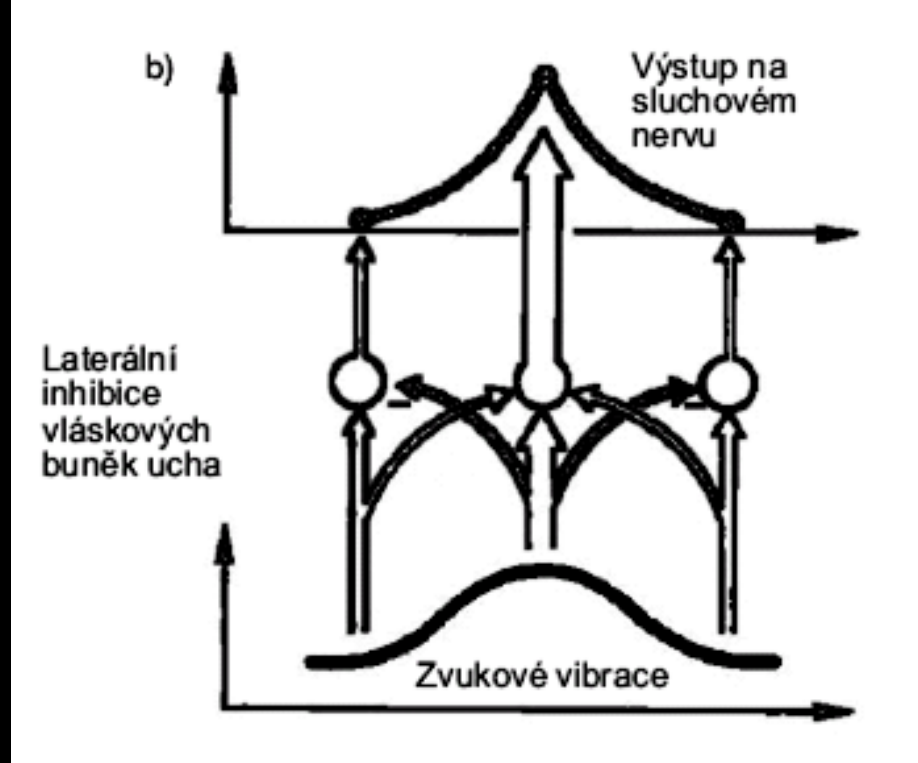
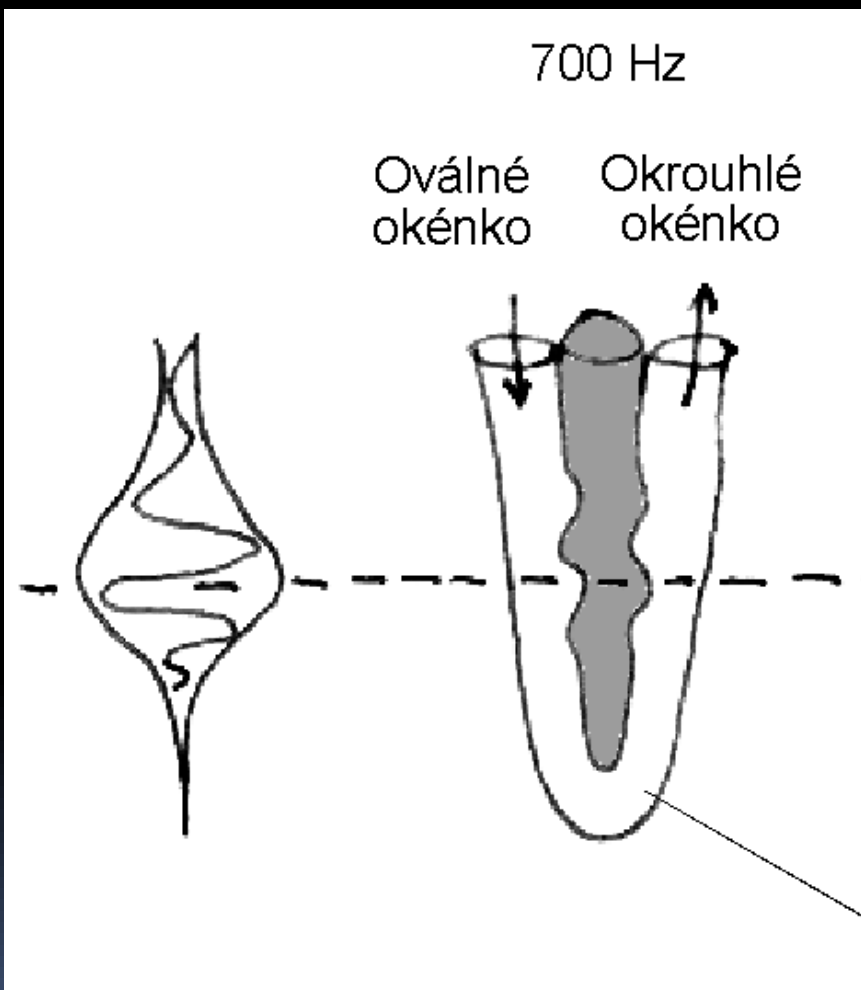
<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/soundtransduction.html>

Bach v kochlei

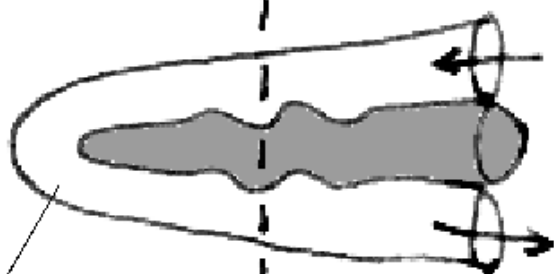
Výška tónu se promítá do prostorově lokalizovaného maxima.



Vyostření maxima – laterální inhibice



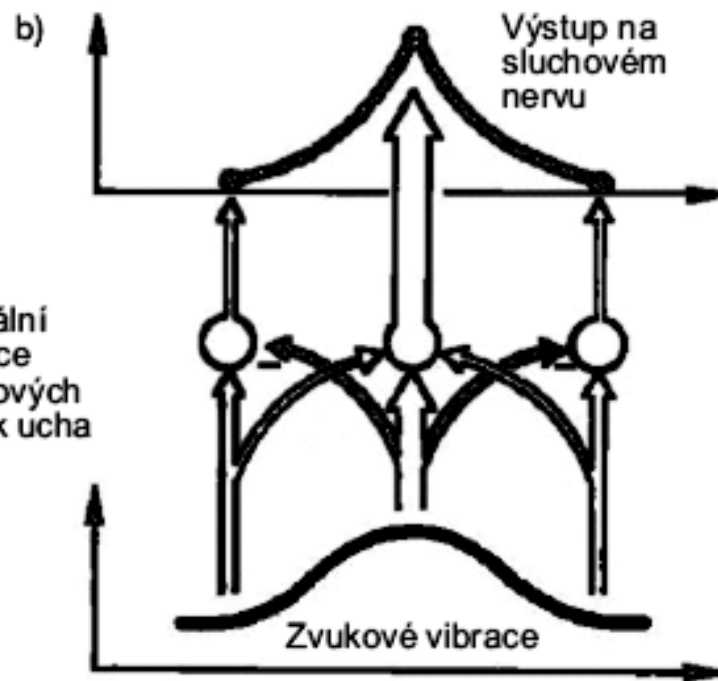
Vyostření maxima – laterální inhibice



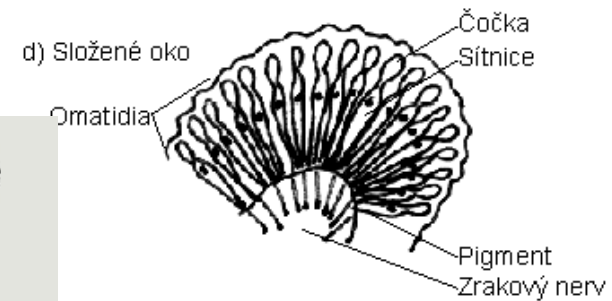
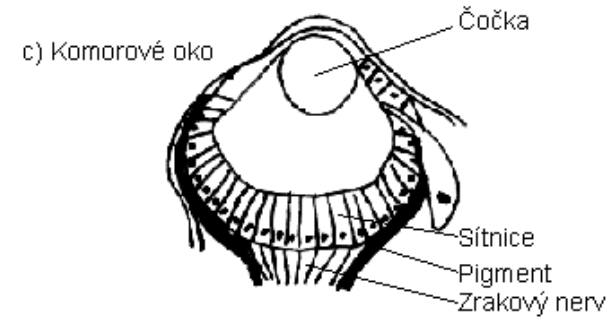
Oválné Okrouh
okénko okénko

700 Hz

Laterální
inhibice
vláskových
buněk ucha



Fotorecepce

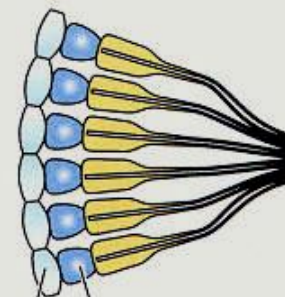
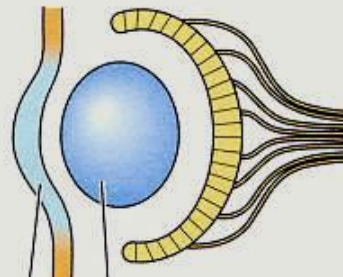
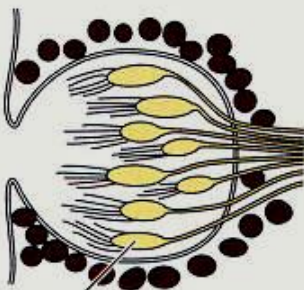
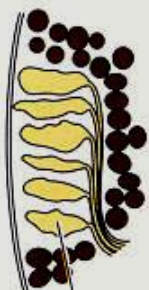


(a) Retinal plate

(b) Eyecup

(c) Camera eye

(d) Compound eye



Photoreceptors

Cornea

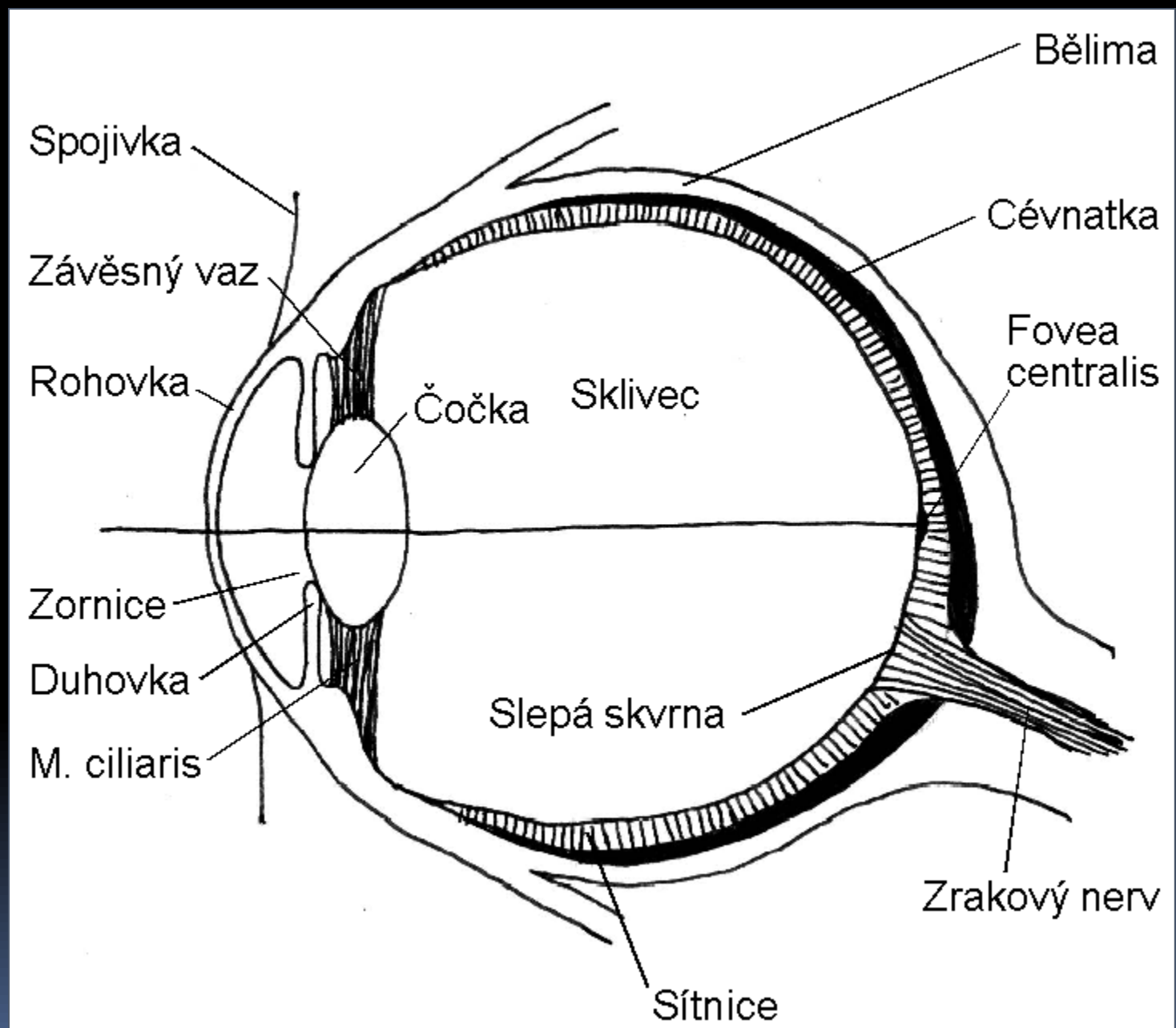
Lens

Cornea

Lens

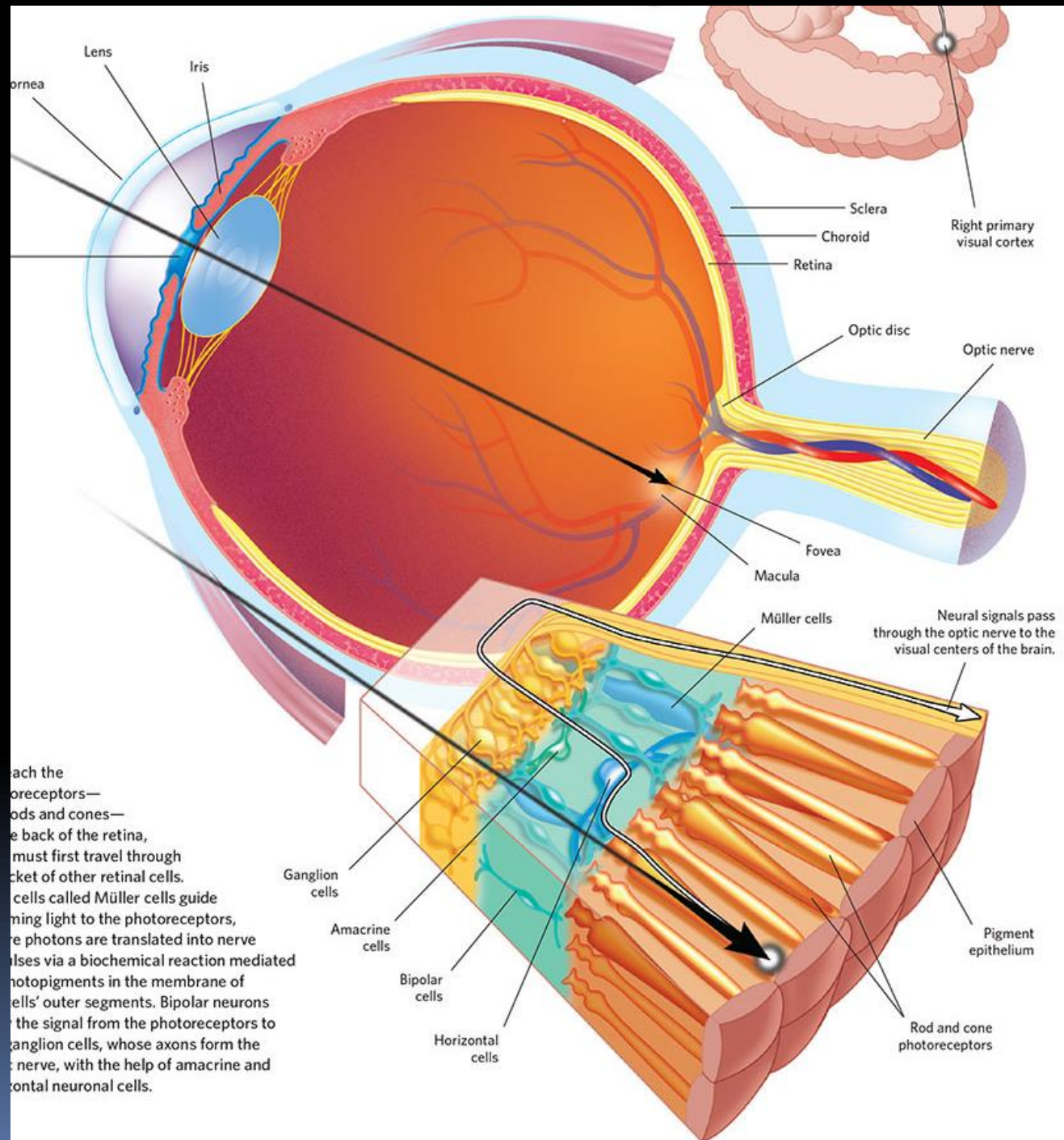
Pigment

Zrakový nerv

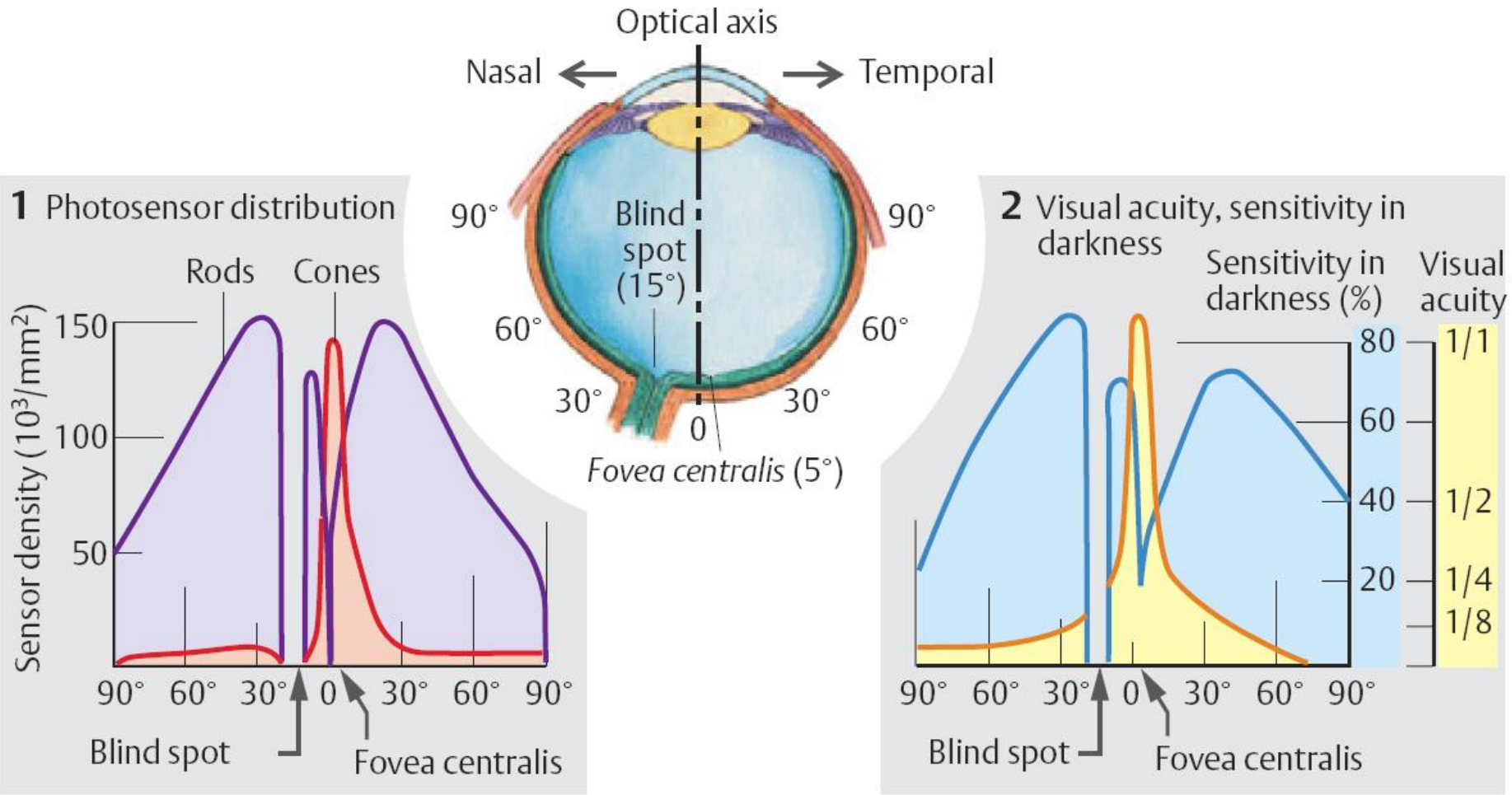


Inverzní oko

Světlo musí projít
přepojovacími
dráhami než dorazí k
recepční membráně

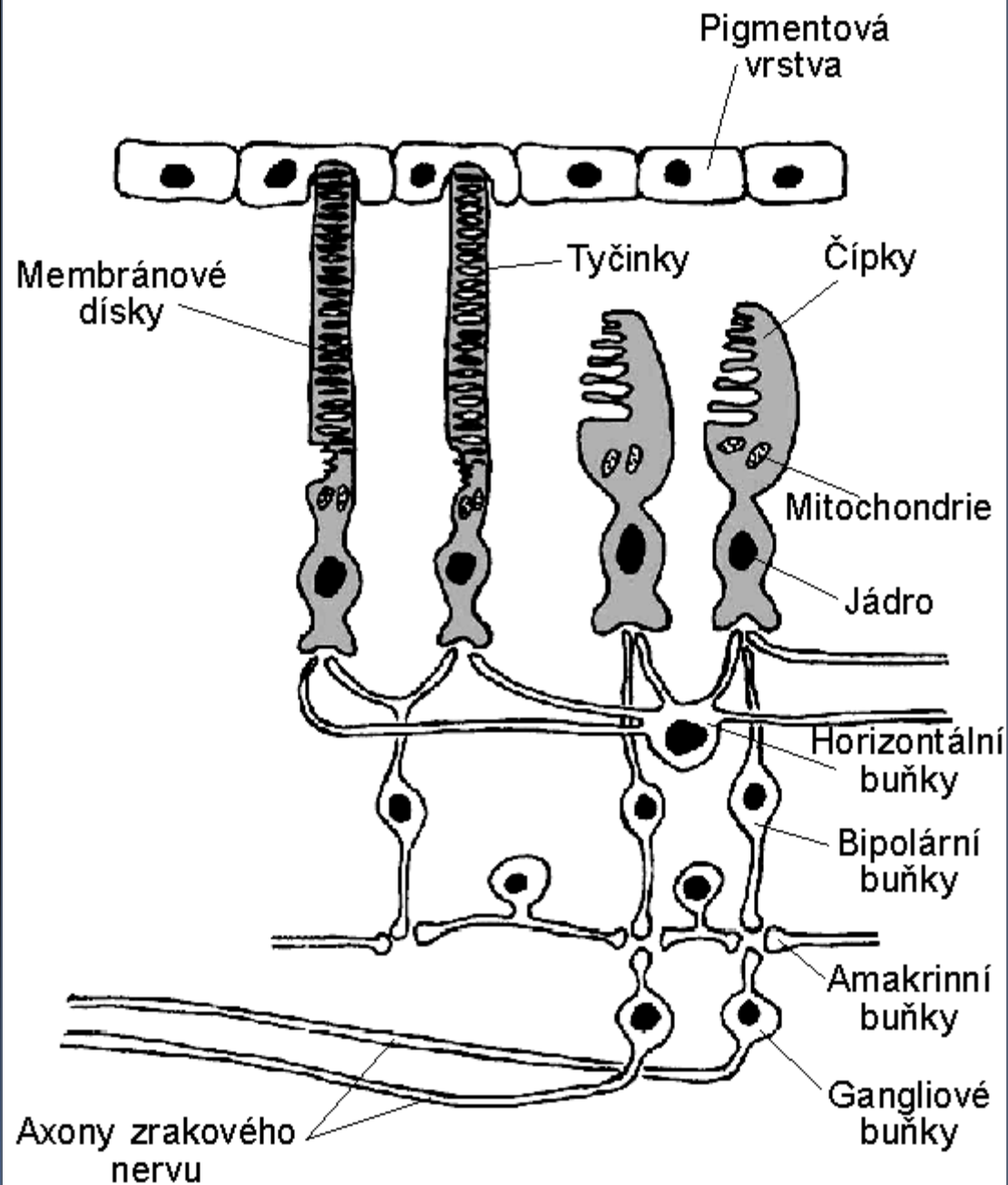


B. Retina: Photosensor distribution, sensitivity in darkness and visual acuity

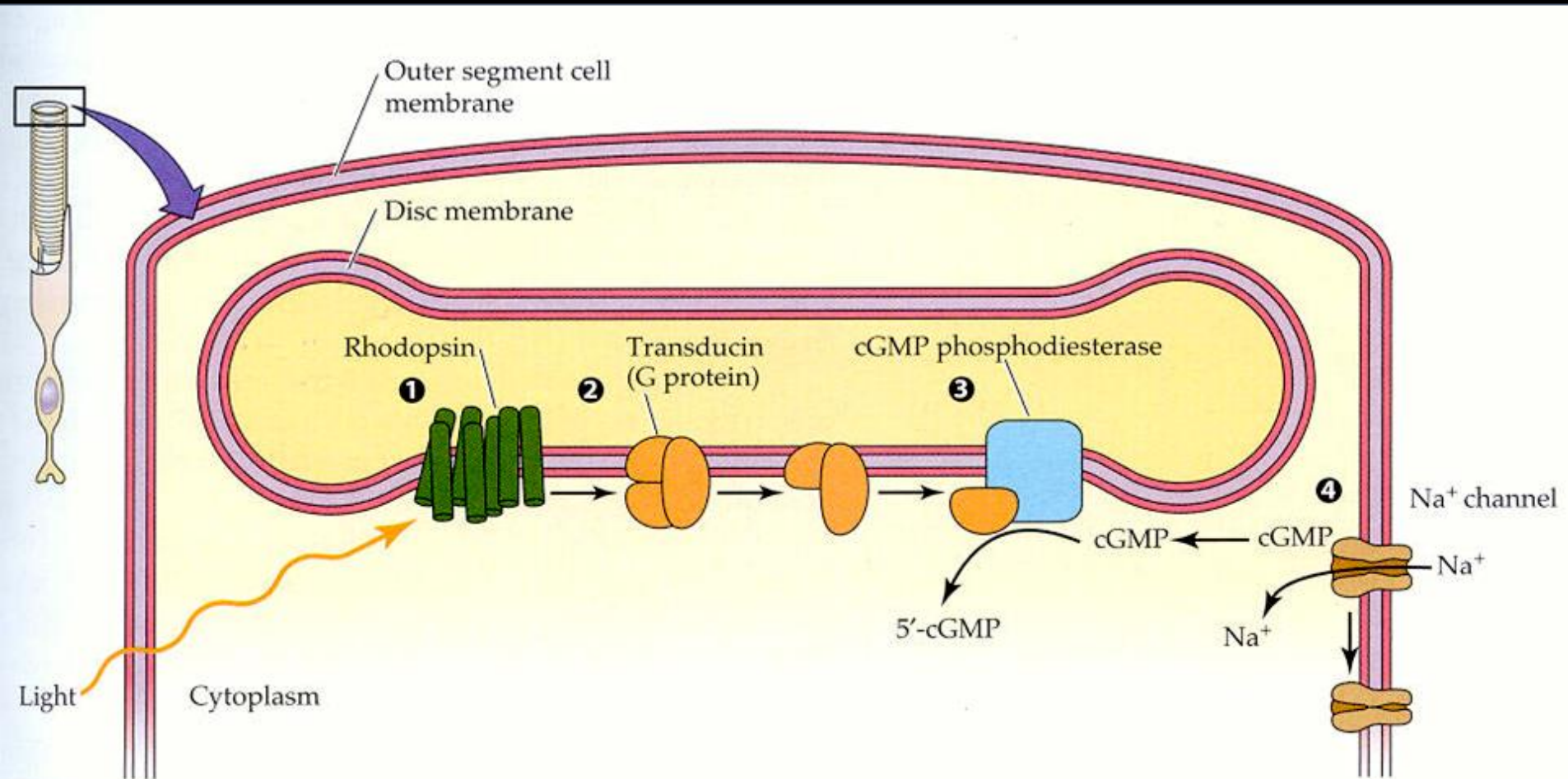


RGB čípky, ale jen RG ve fovei. Tyčinky jsou velmi štíhlé 2-5um, čípky v periférii 5-8 mm, ve fovei ale pouze 1,5 um.

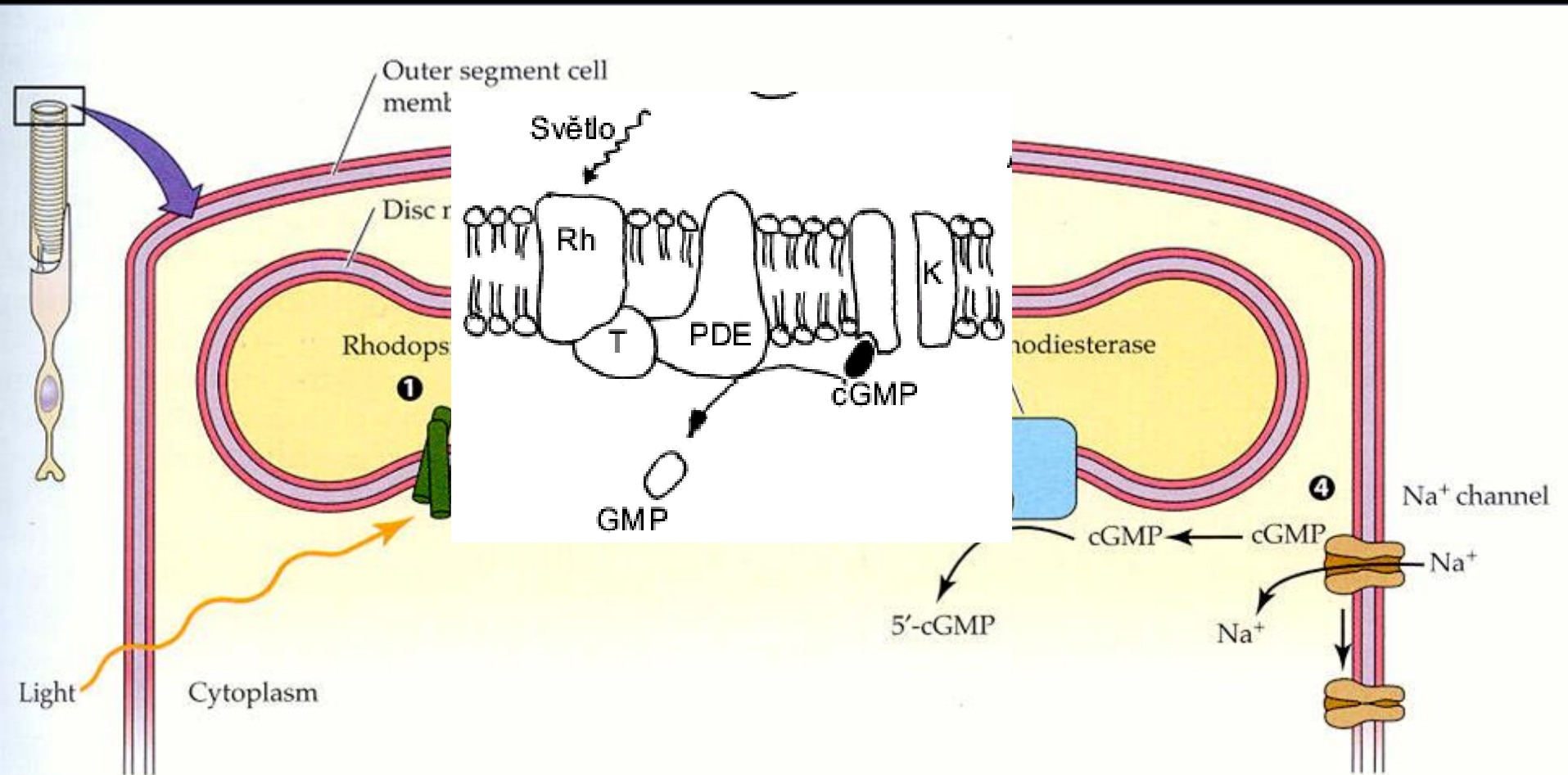
Fotosensitivní buňky a navazující neurony



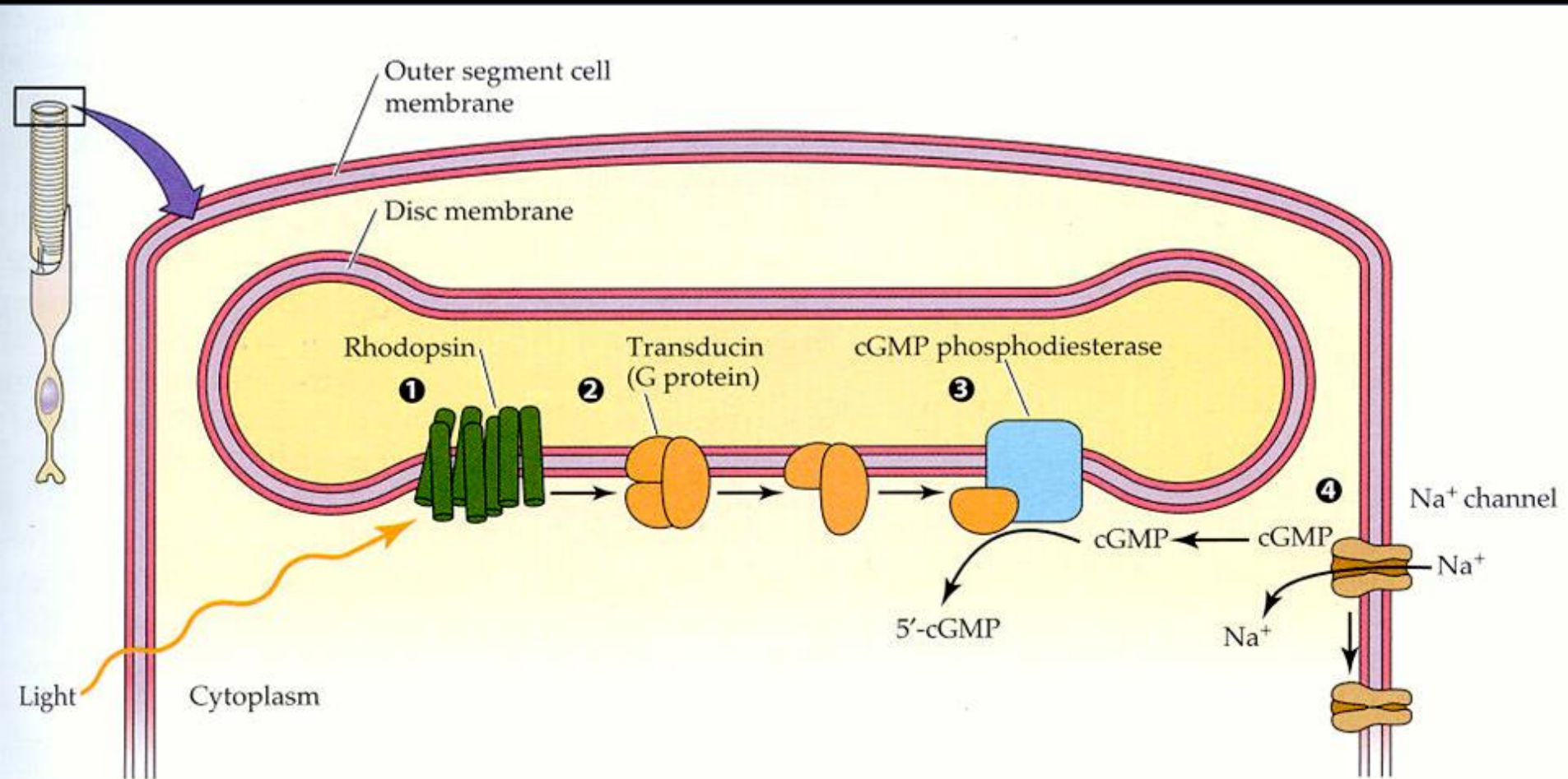
Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu



Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu



Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

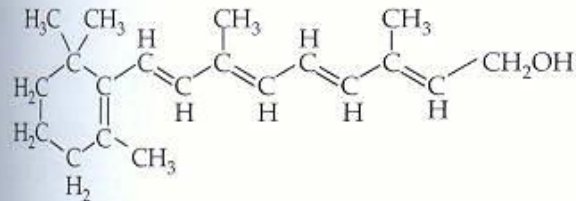


Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

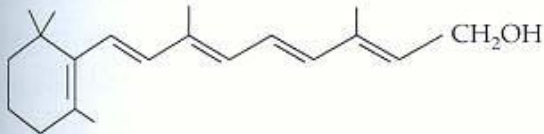
Animace rhodopsin.

Cis trans animace

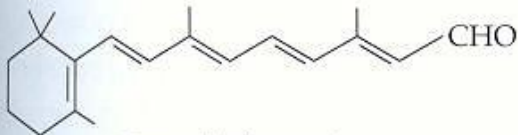
(a) Retinal and vitamin A



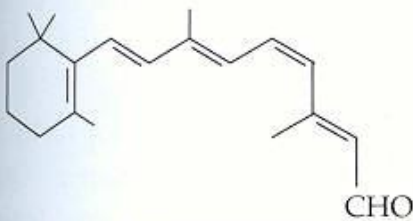
Complete structure of vitamin A (all-trans)



Condensed structure of vitamin A (all-trans)

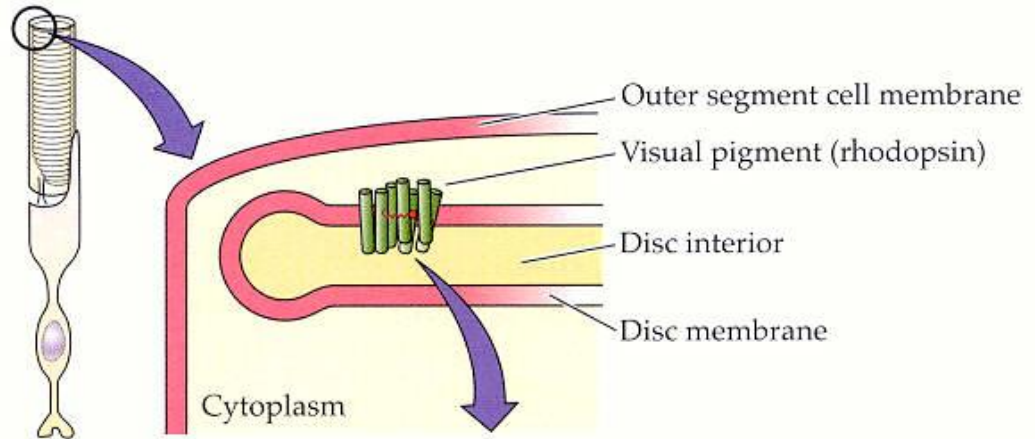


Retinal (all-trans)

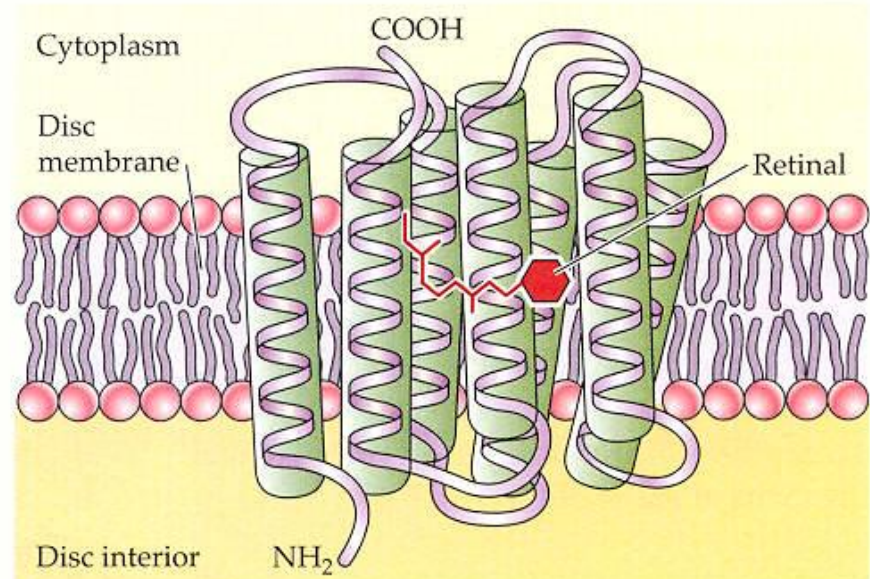


Retinal (11-cis)

(b) Opsin

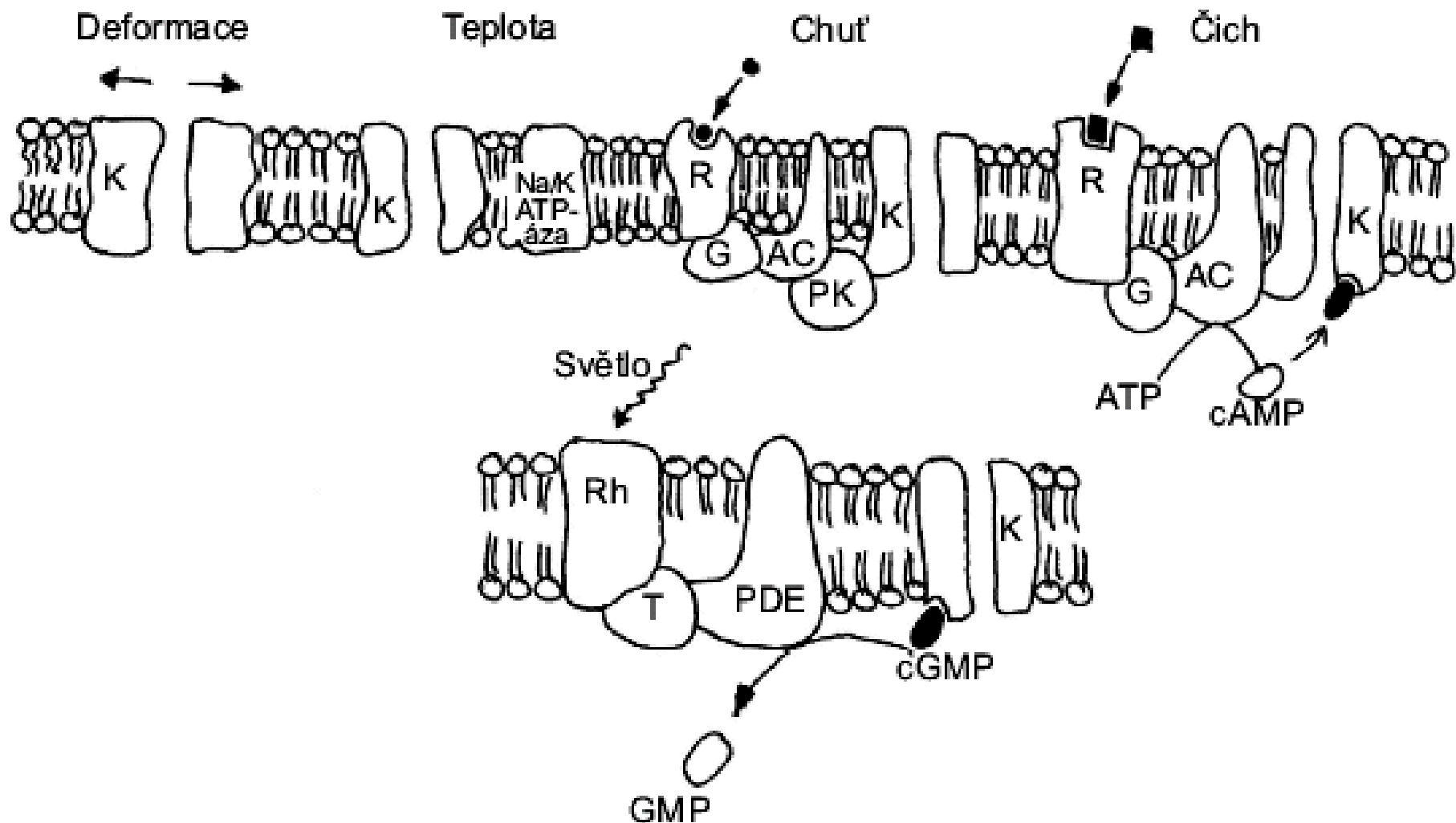


SENSORY PROCES

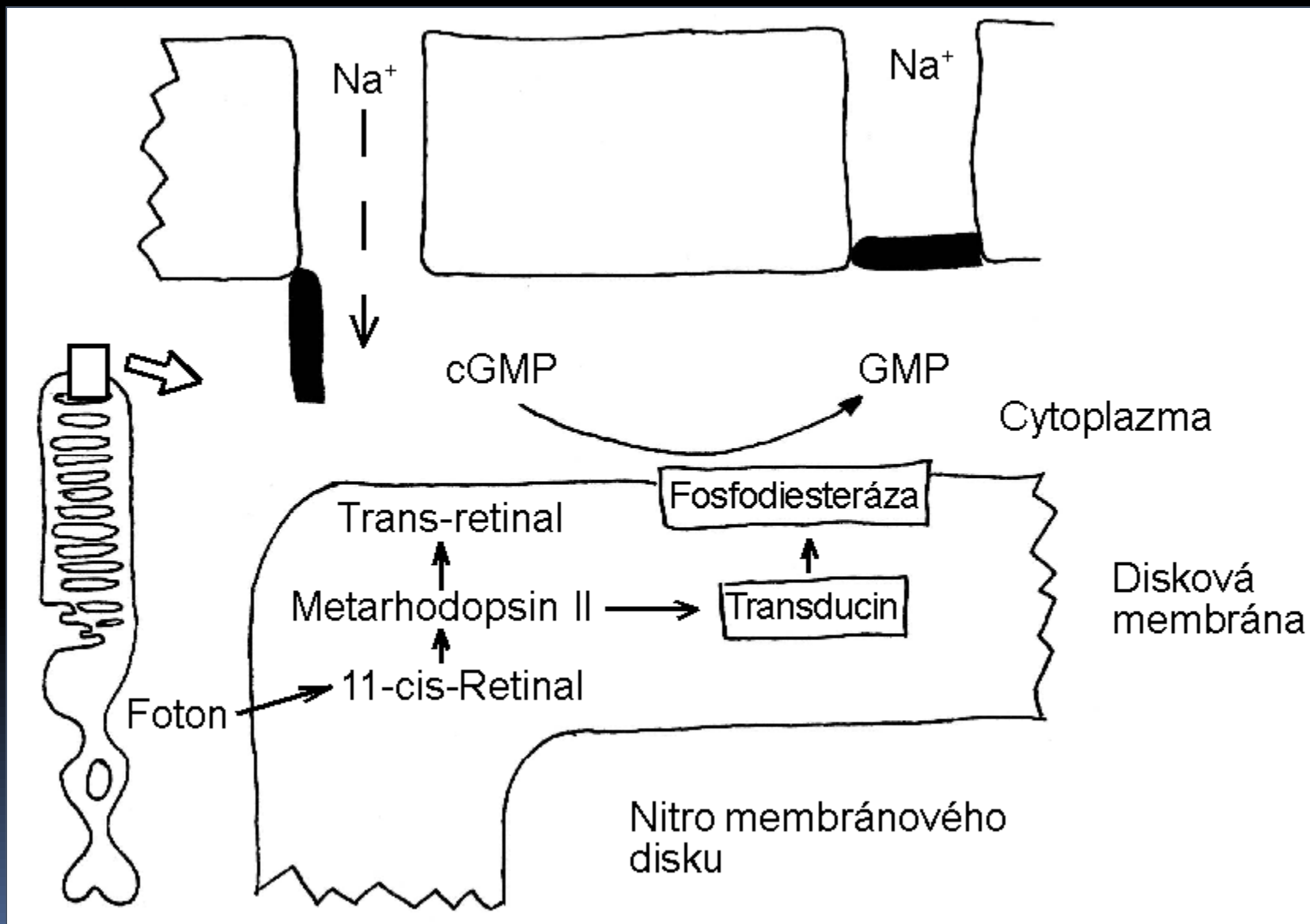


Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu

Fotorepce a chemorecepce – podobný princip



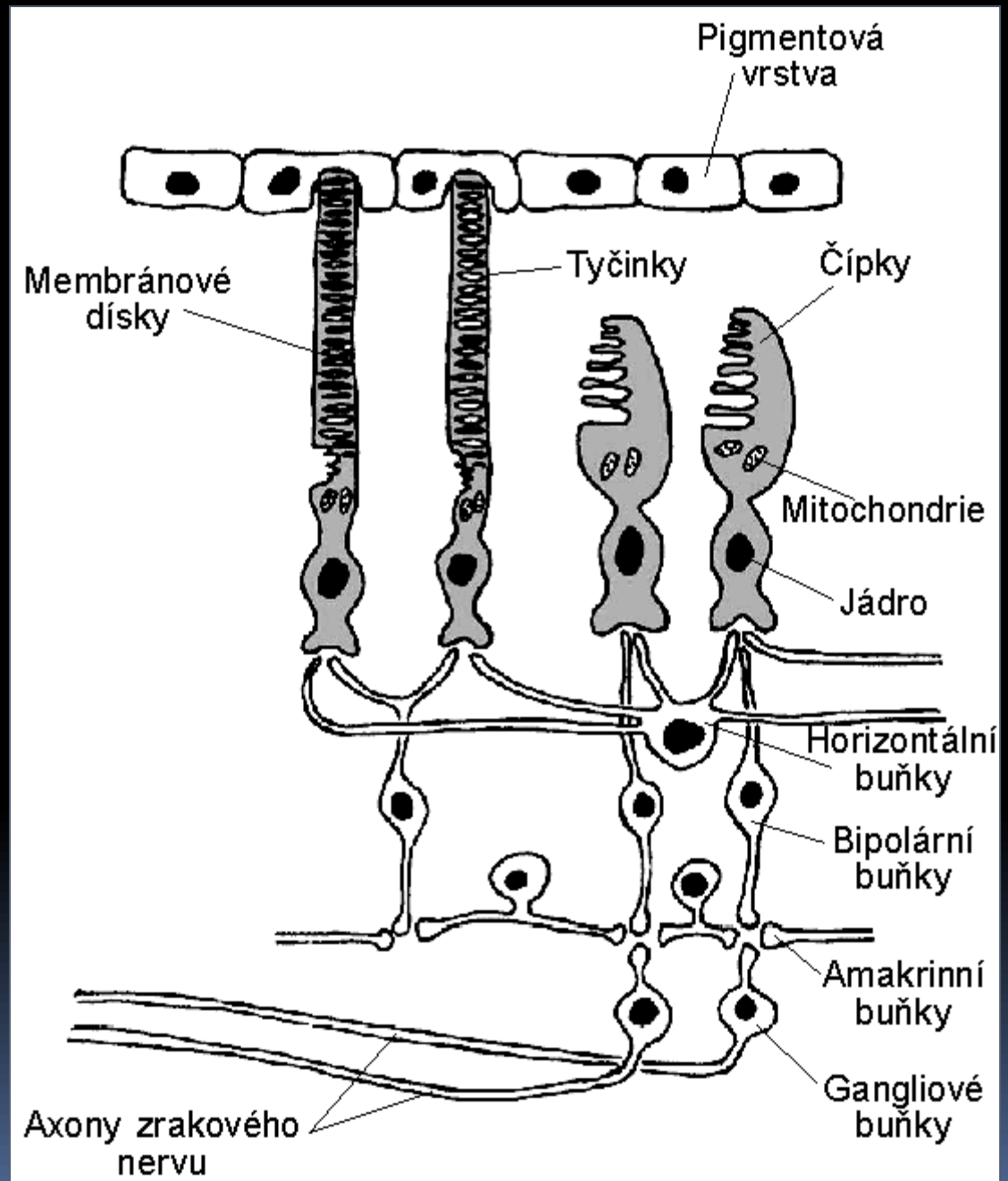
Fototransdukce světelného kvanta na změnu potenciálu



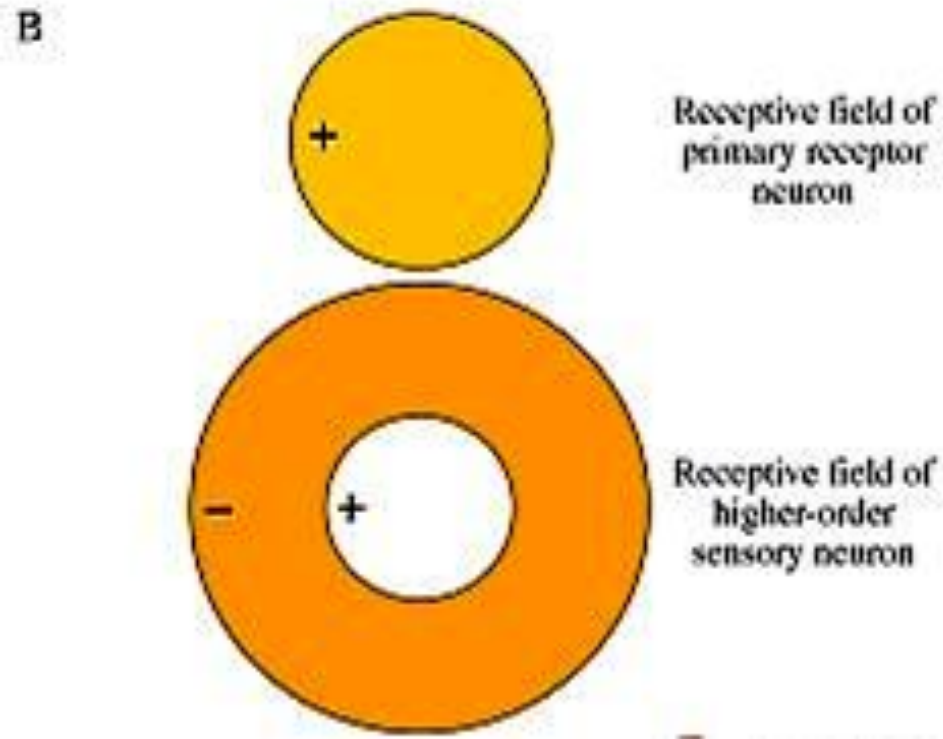
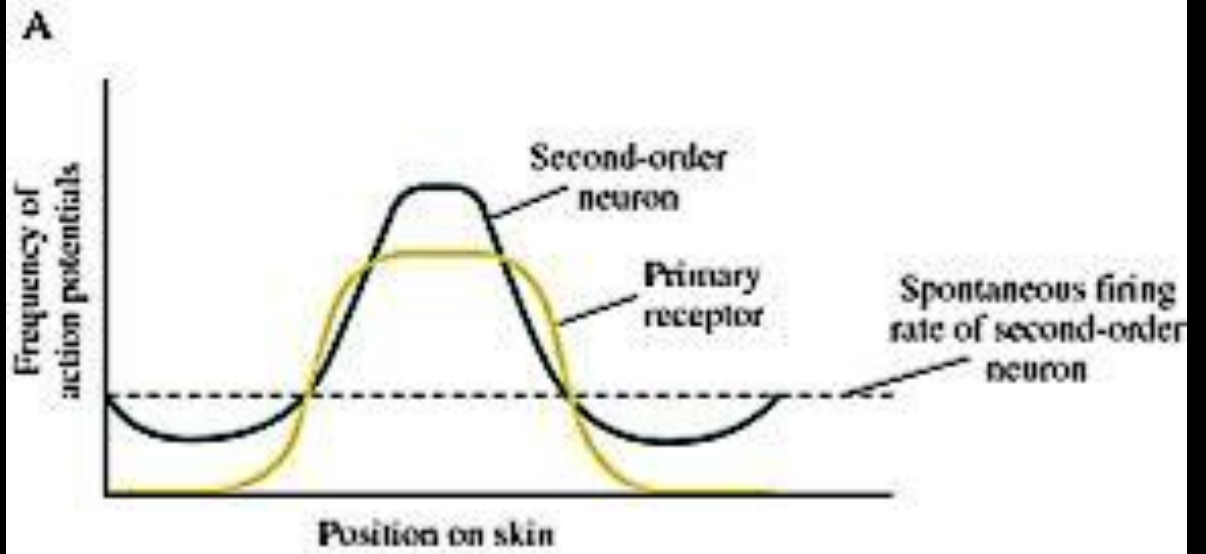
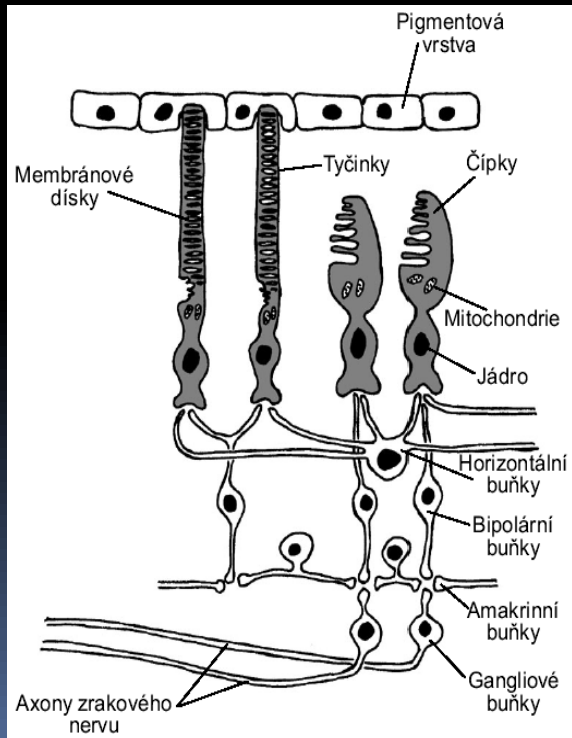
Zpracování začíná už v sítnici.

Laterální inhibice
První analýza kontrastů

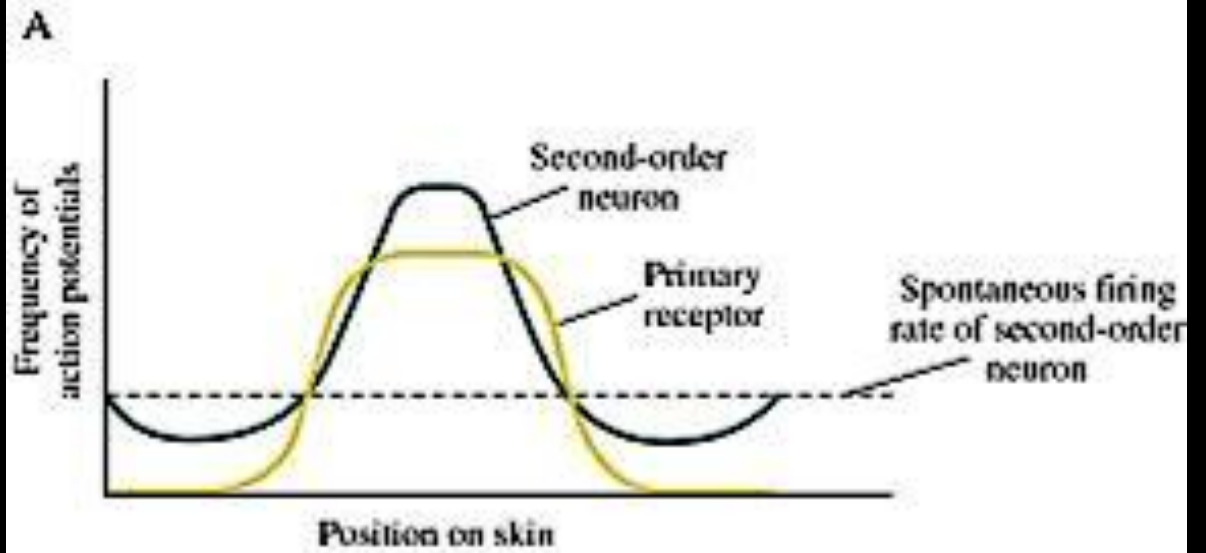
Modifikovatelná
konvergence



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



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



a)

Osvětlení sítnice

Laterální
 inhibice
 fotoreceptorů

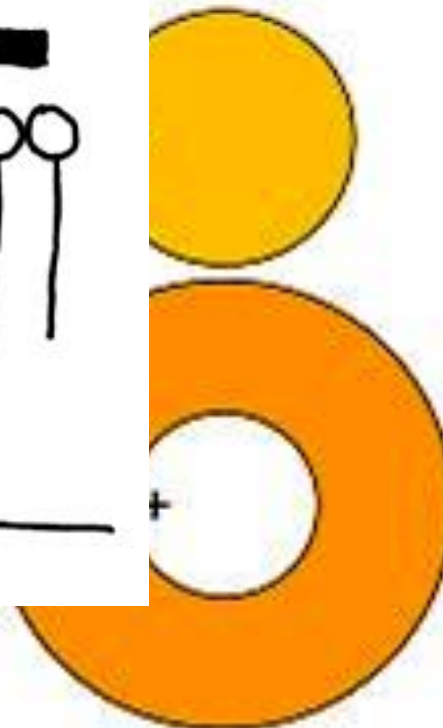
Výstup na
 zrakovém
 nervu

Axony zrakového
 nervu

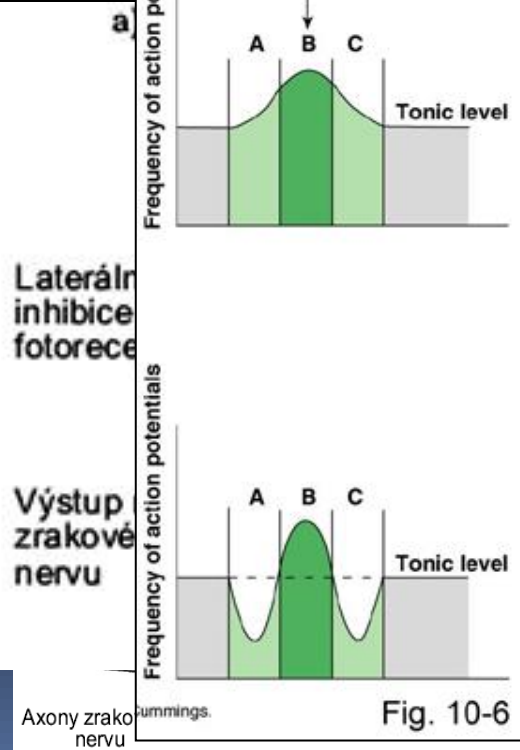
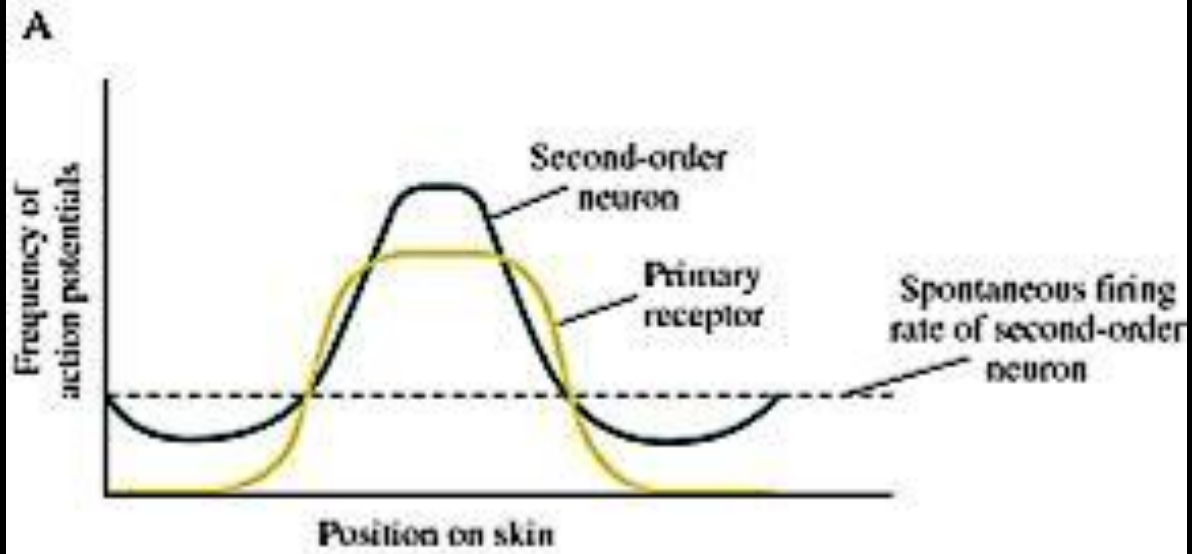
Gangliové
 buňky

Receptive field of
 primary receptor
 neuron

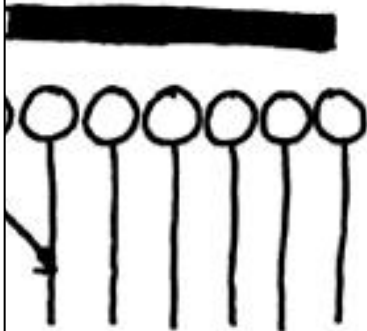
Receptive field of
 higher-order
 sensory neuron



Laterální inhibice:
 Na sekundárních neuronech
 je zesílen kontrast.
 Změna velikosti a struktury
 receptivního pole. Bipolární
 buňky
 analyz



ni sítnice



Receptive field of primary receptor neuron



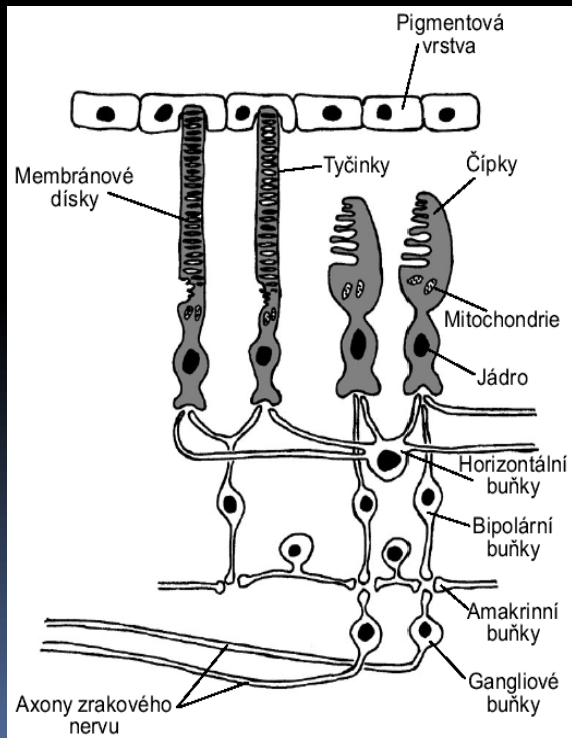
Receptive field of higher-order sensory neuron

Axony zrakové nervu

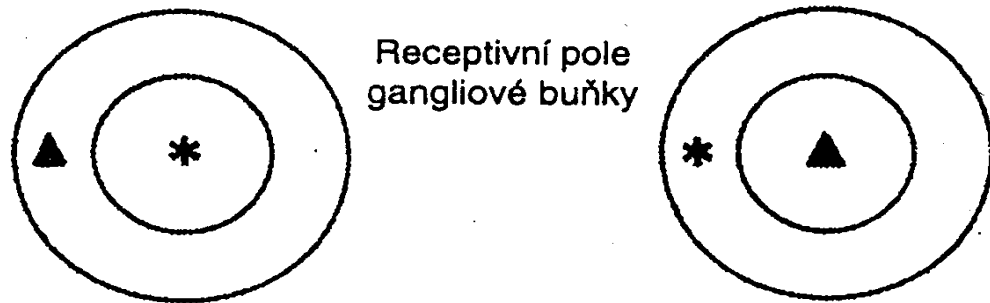
ové
y

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.

<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/receptivefields.html>



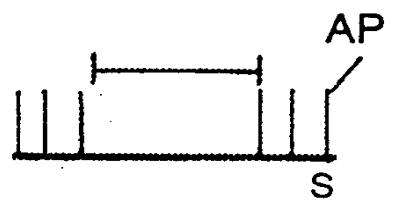
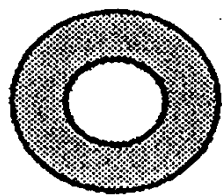
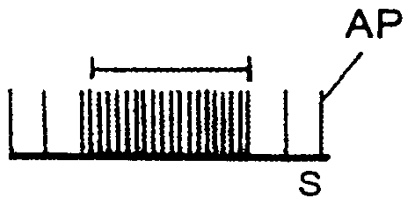
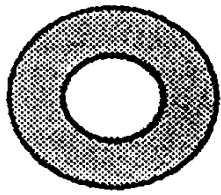
Ve z
obra
Jsou
zrak
roze
[http:](http://)



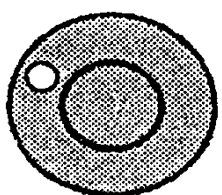
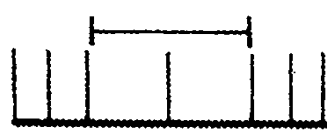
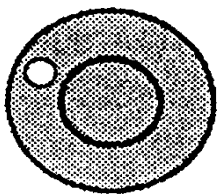
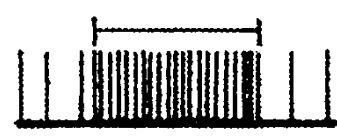
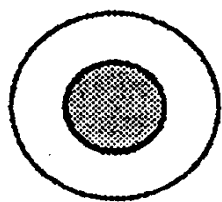
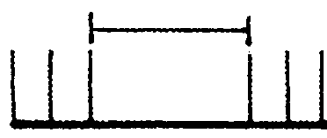
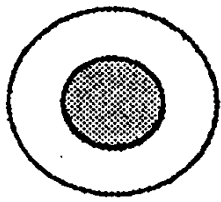
ON-centrum

OFF-centrum

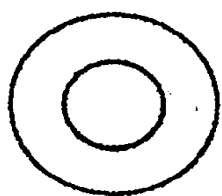
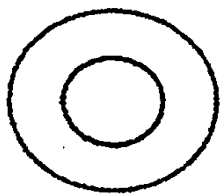
osvětlení
centra
světelnou
skvrnou



osvětlení
periferie
světelným
prstencem
nebo
skvrnou



difusní
osvětlení



Membrá
disk

Axony z
ne

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

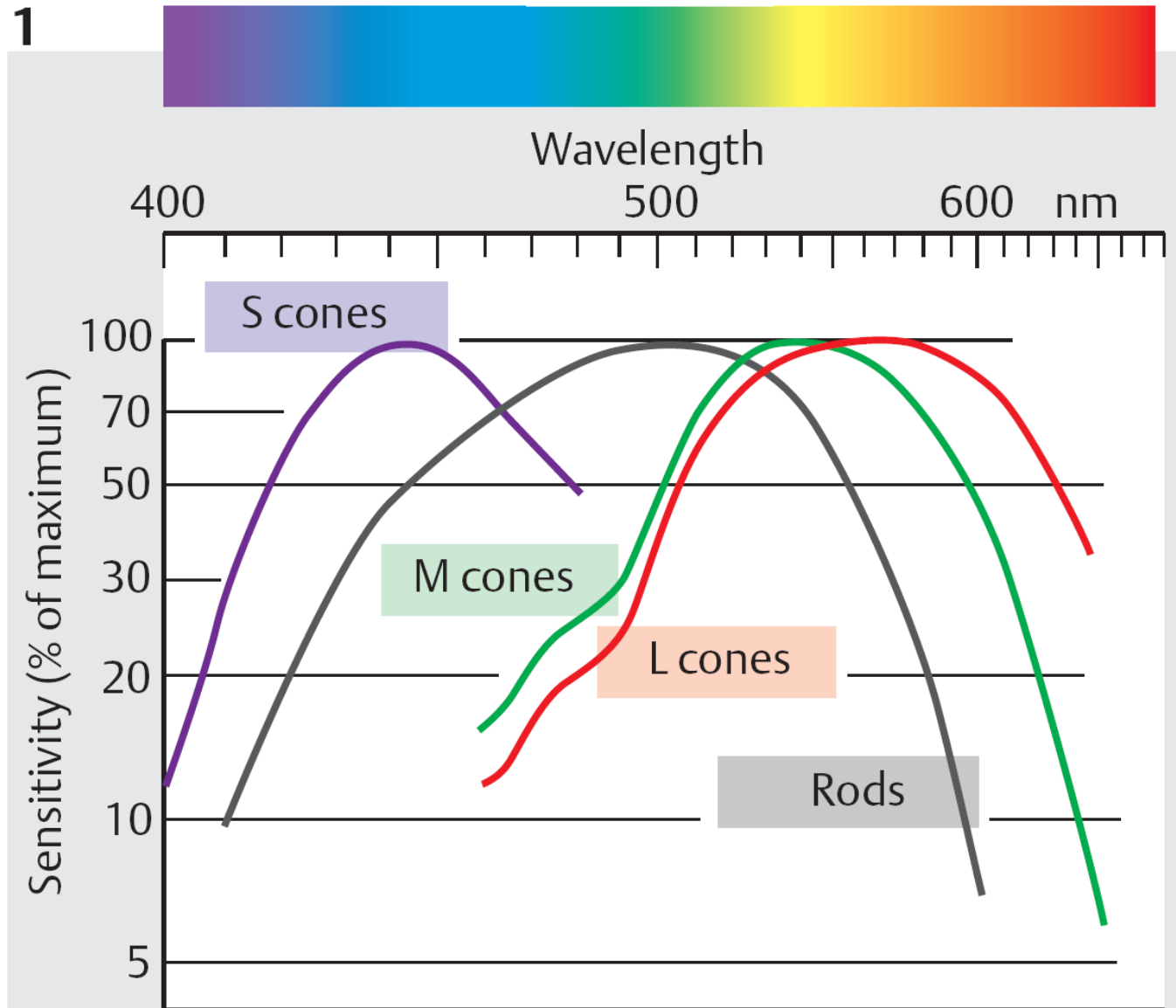
▲ – inhibiční zóna



„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.)

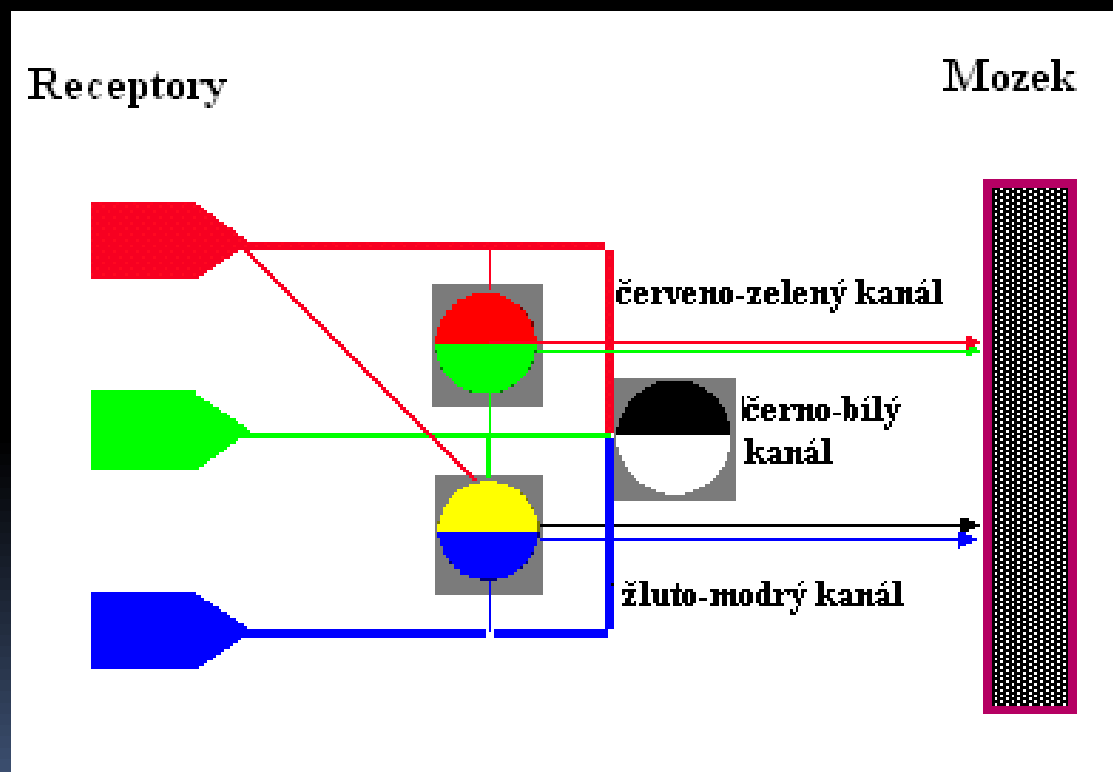
Barevné vidění založeno na různě absorbujících pigmentech.



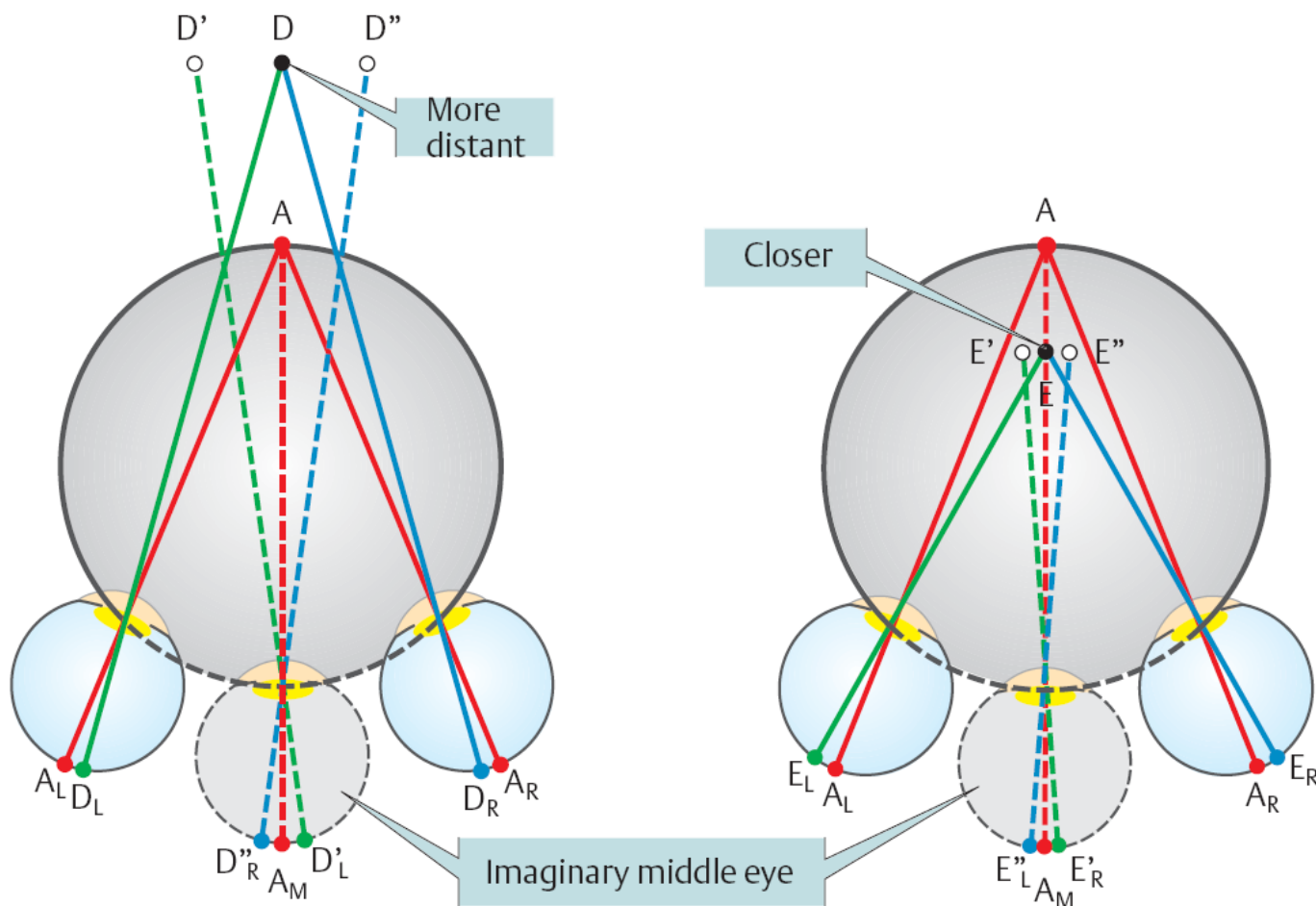
(After J.K. Bowmaker and H.J.A. Dartnall)

Trichromatické kódování, Young-Helmholtz Oponentní kódování, Hering

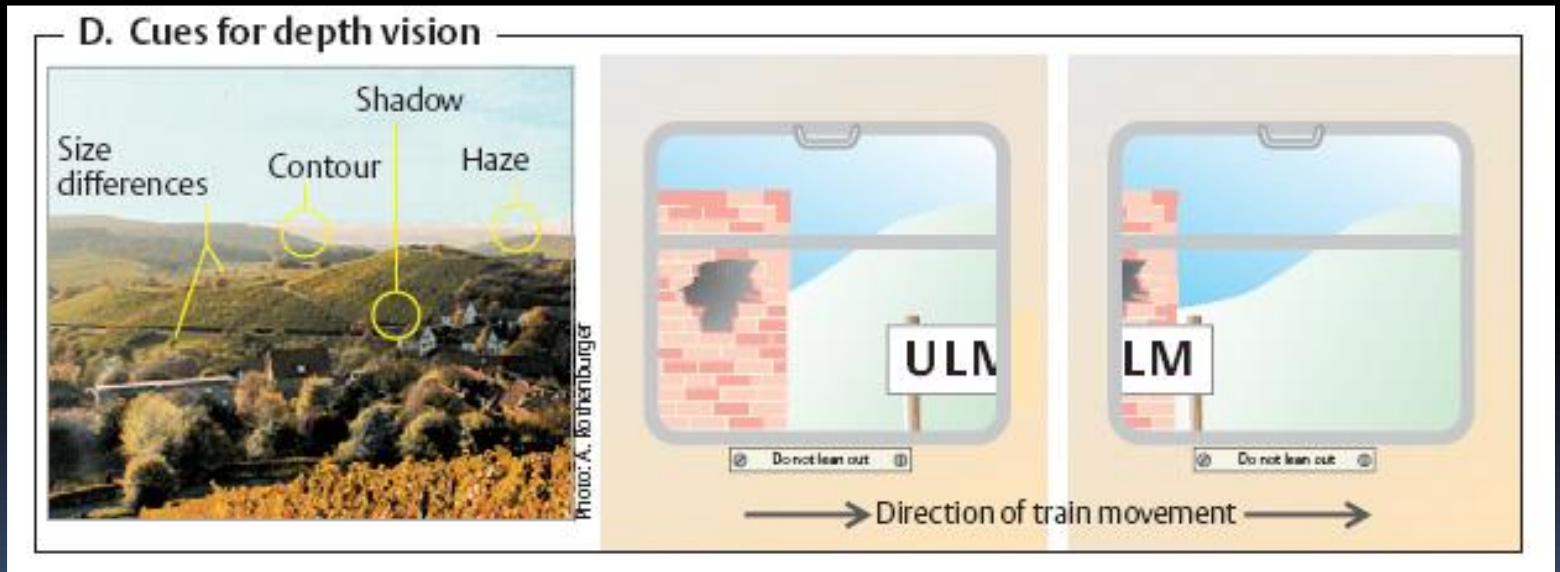
R,G,B a BI,Wh se konvertuje na R/G, B/Y a BI/Wh



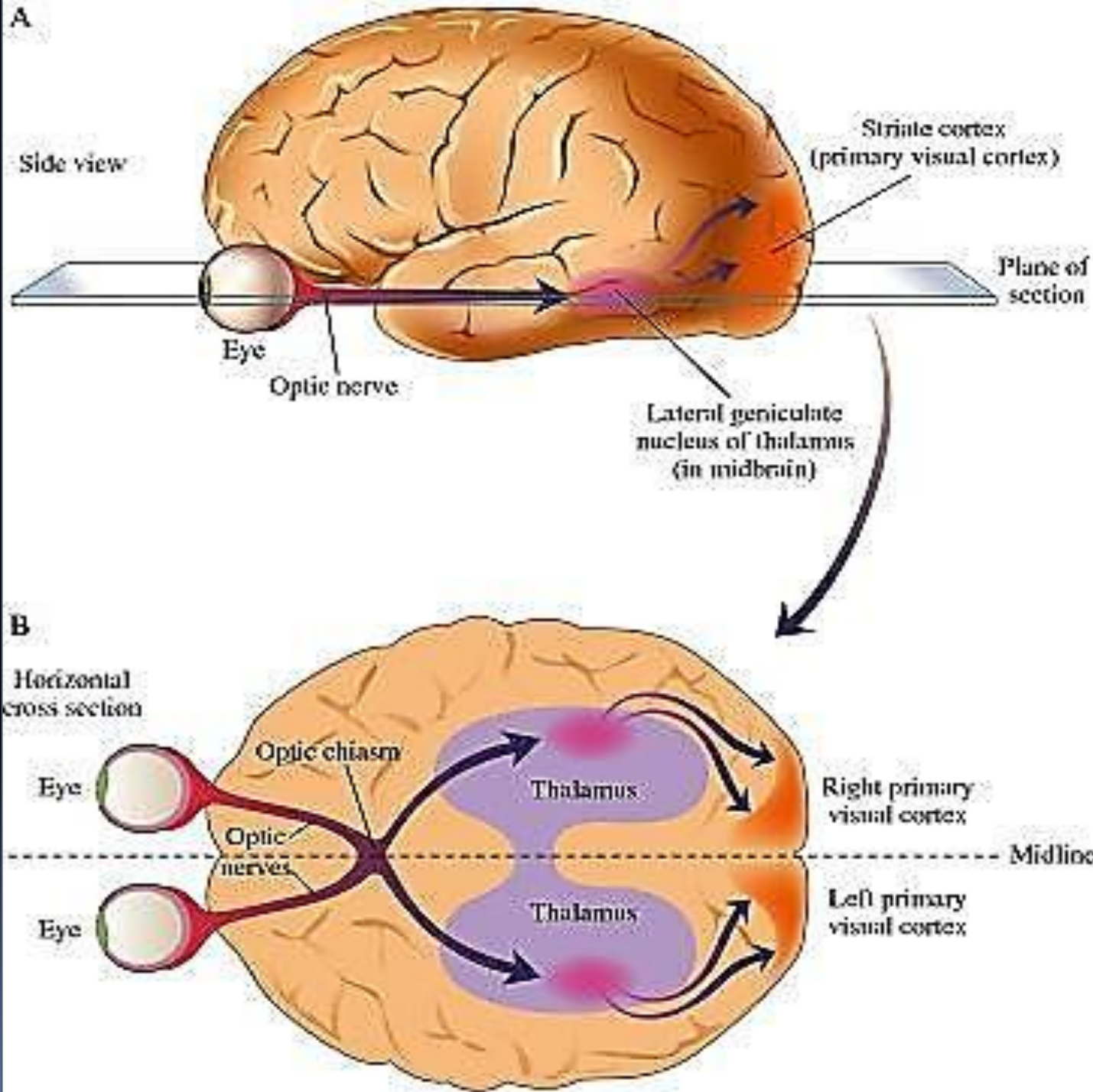
Prostorové vidění (co je blíže a co dál) založeno na schopnosti měřit odlišnosti v zobrazení pravé a levé sítnice.



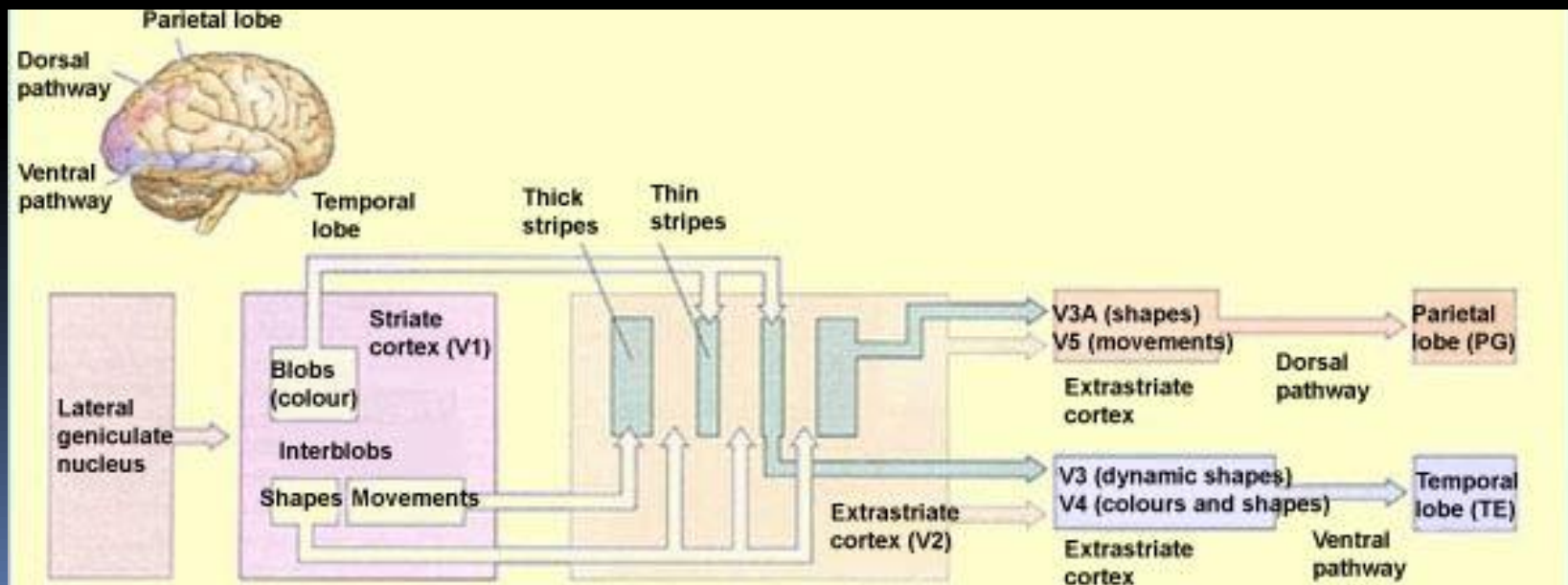
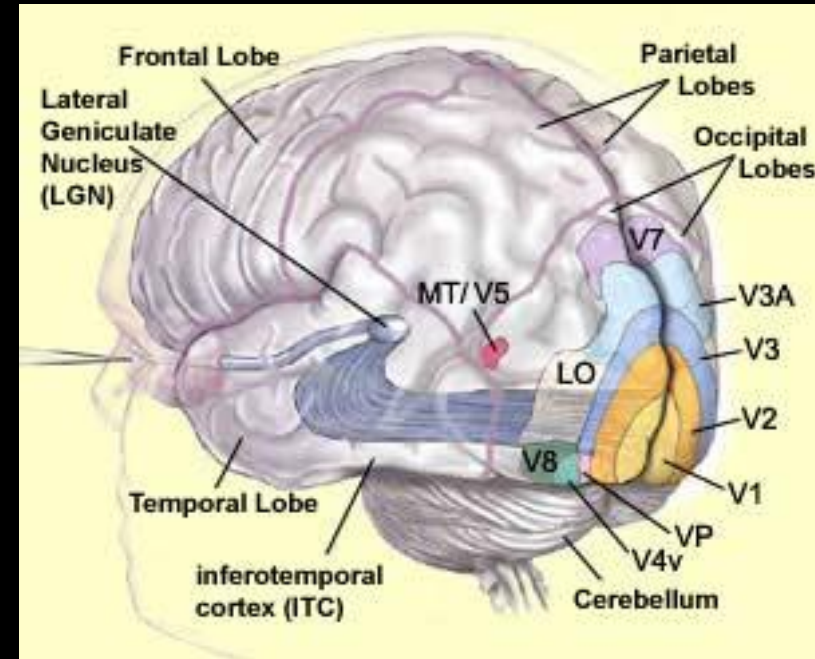
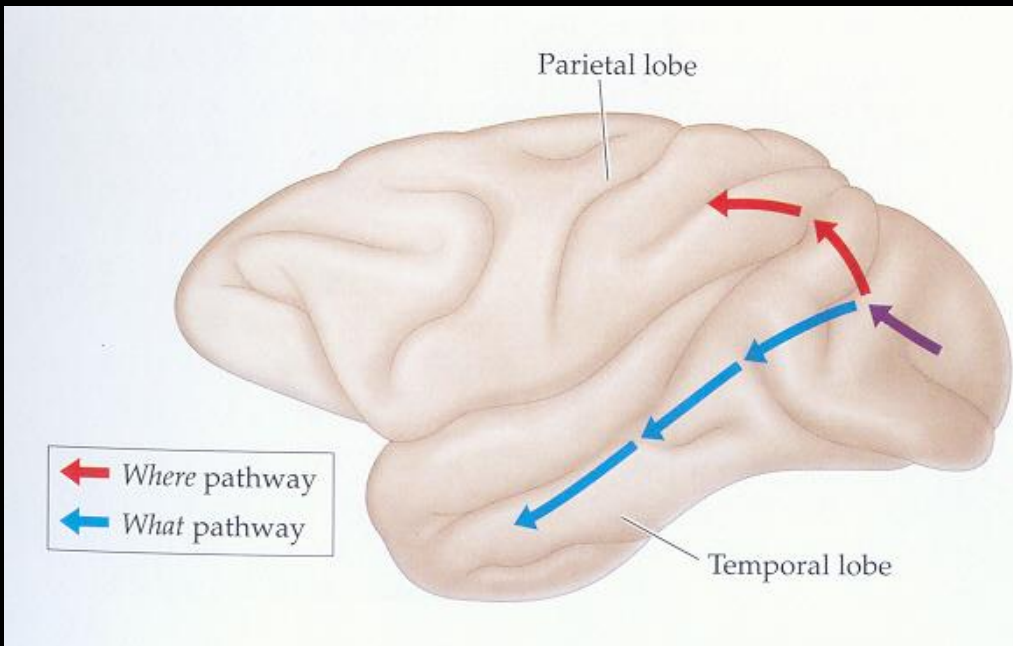
Další metody konstrukce prostoru.



Zraková dráha



Z primární zrkové kůry dvě cesty: Kde dráha a Co dráha



Biologické rytmy



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

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



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

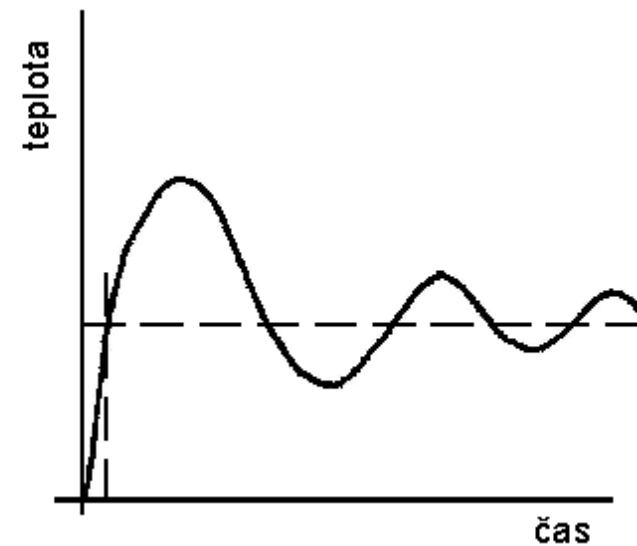
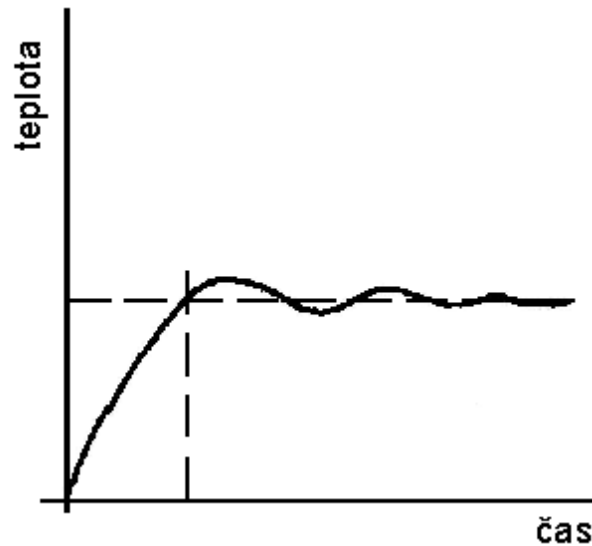
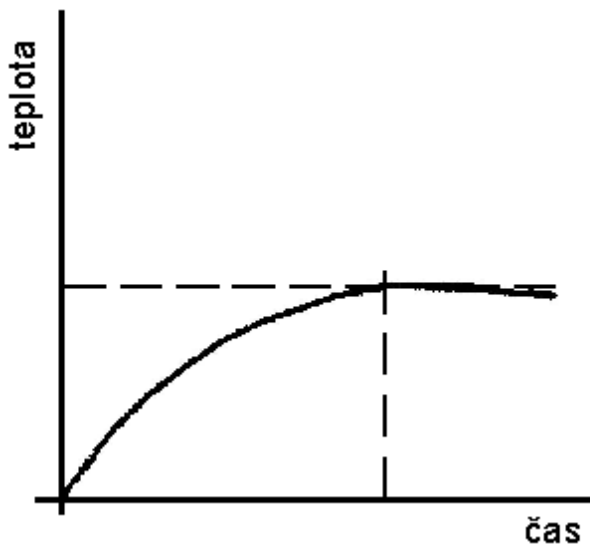
Předpovídají pravidelné změny bez ohledu na přechodné výkyvy denní nebo sezónní.



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

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

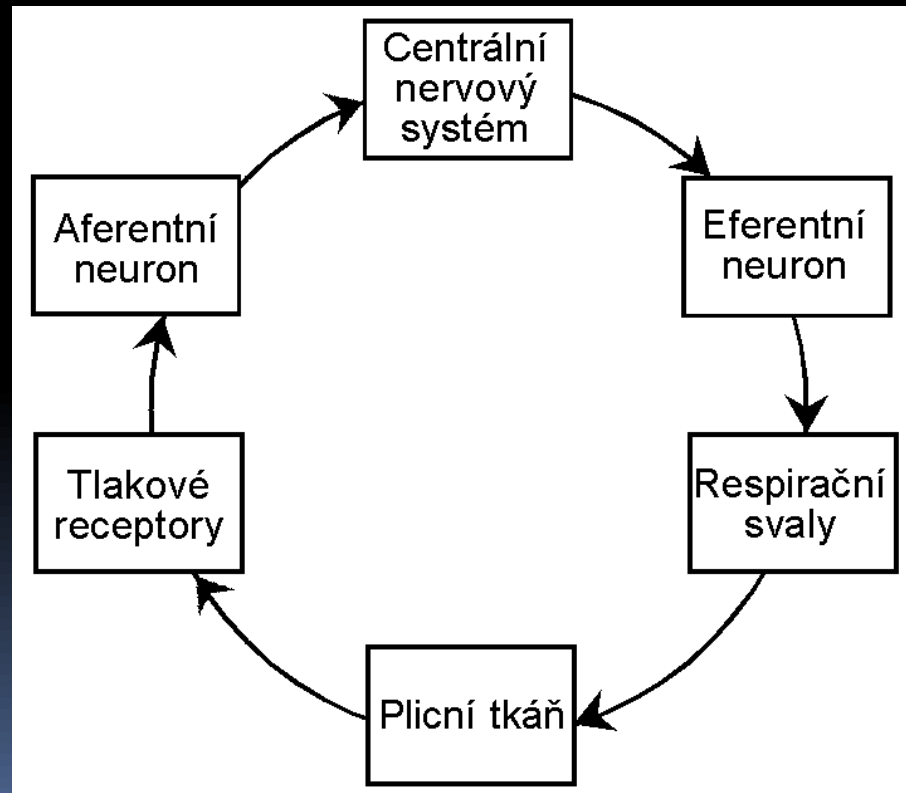
Negativní zpětná vazba je zdrojem kmitů – regulace homeostázy.



Rytmické děje jsou přirozenou součástí funkce organismu.

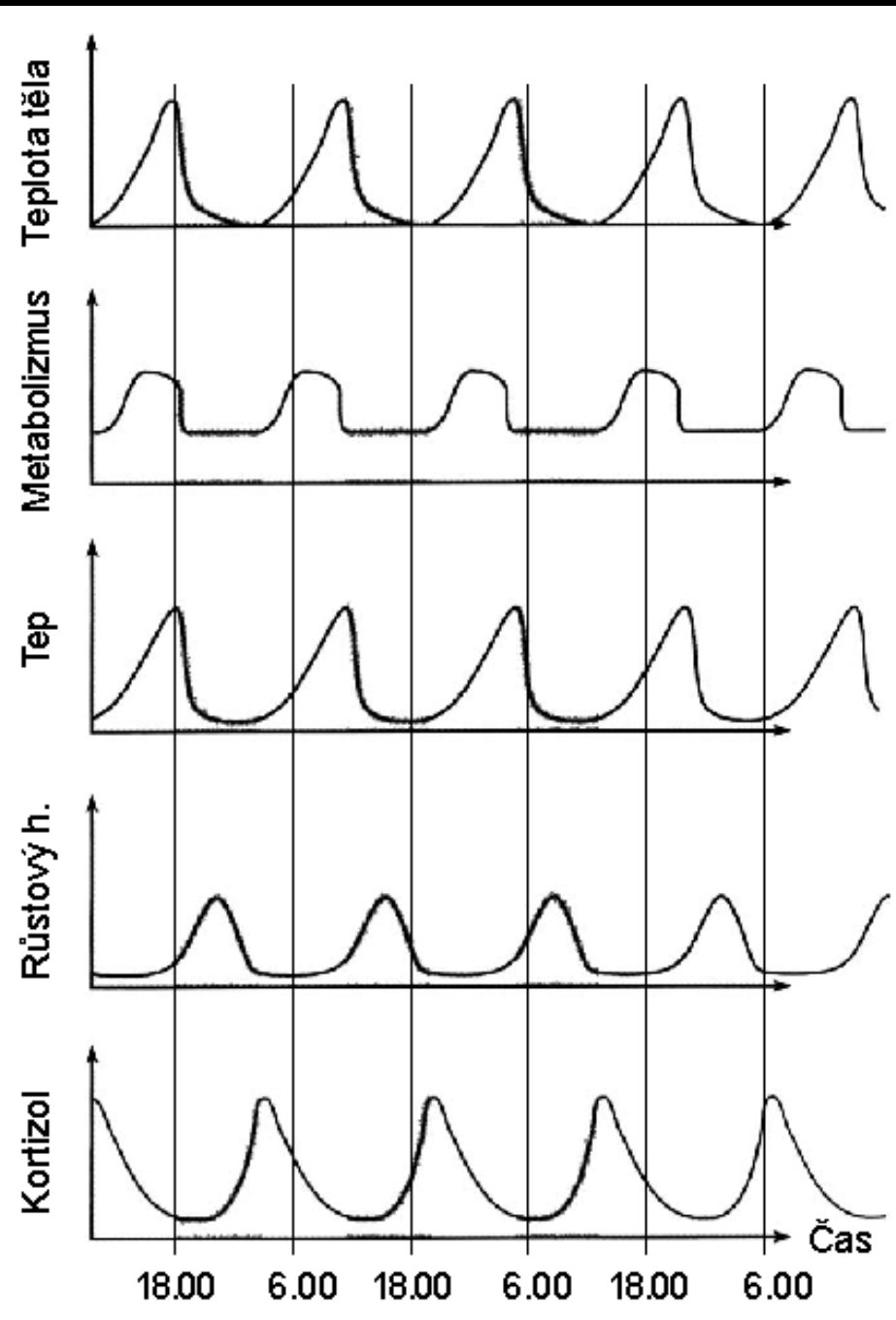
Bez vnějších korelátů: nervové vzruchy, srdeční rytmus, dechový rytmus...

Negativní zpětná vazba je zdrojem kmitů.



Rytmicita s vazbou na prostředí

Cirkadiánní = asi 24 hod perioda



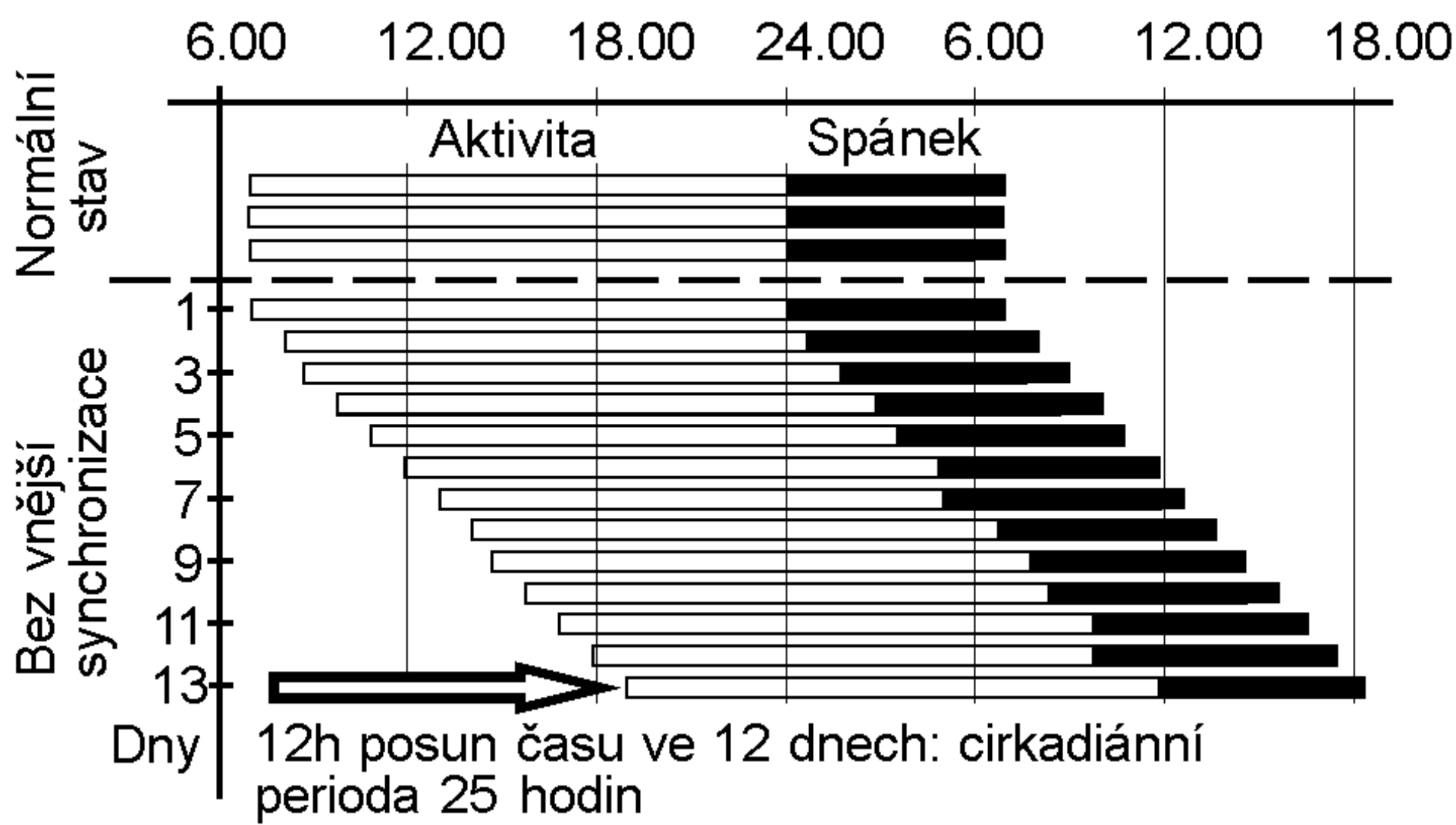
S vnějšími korelátý:

Synchronizátory (Zeitgeber):

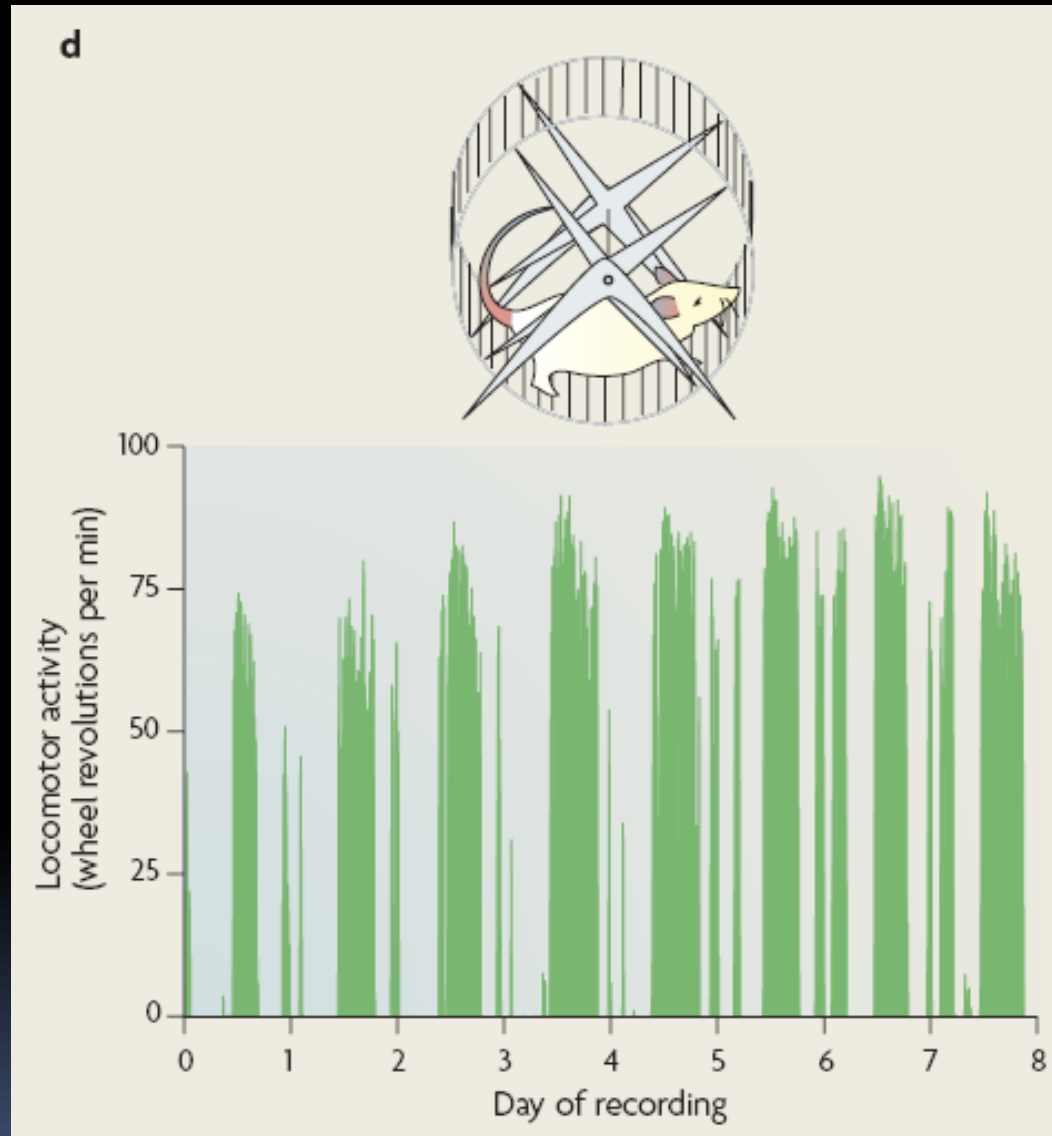
Silné, slabé

24 hodinové, lunární, anuální

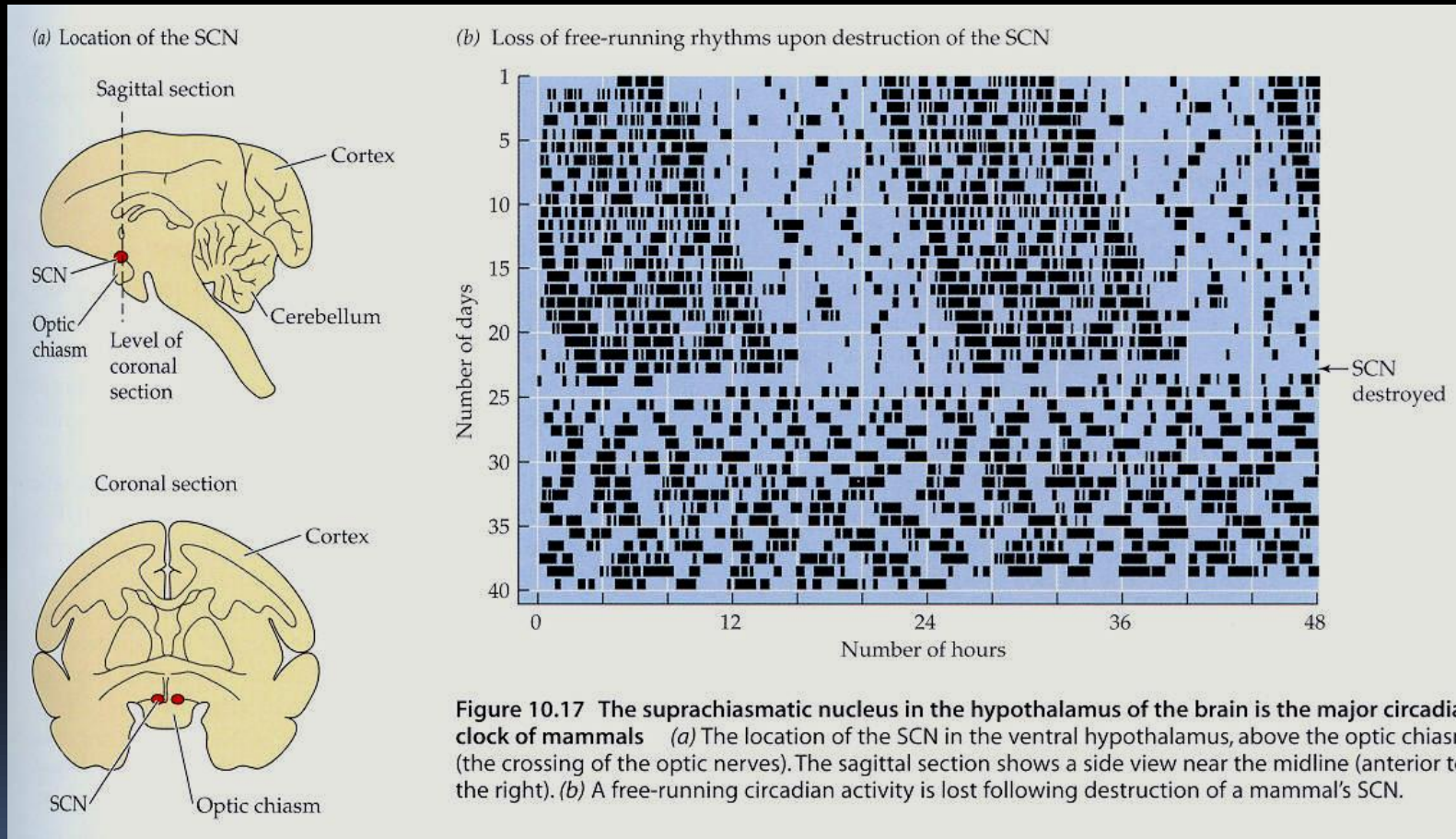
Bez synchronizace se vnitřní rytmus rozejde s vnějším.



Jak se měří?
Běhací kolo (mlýnek)

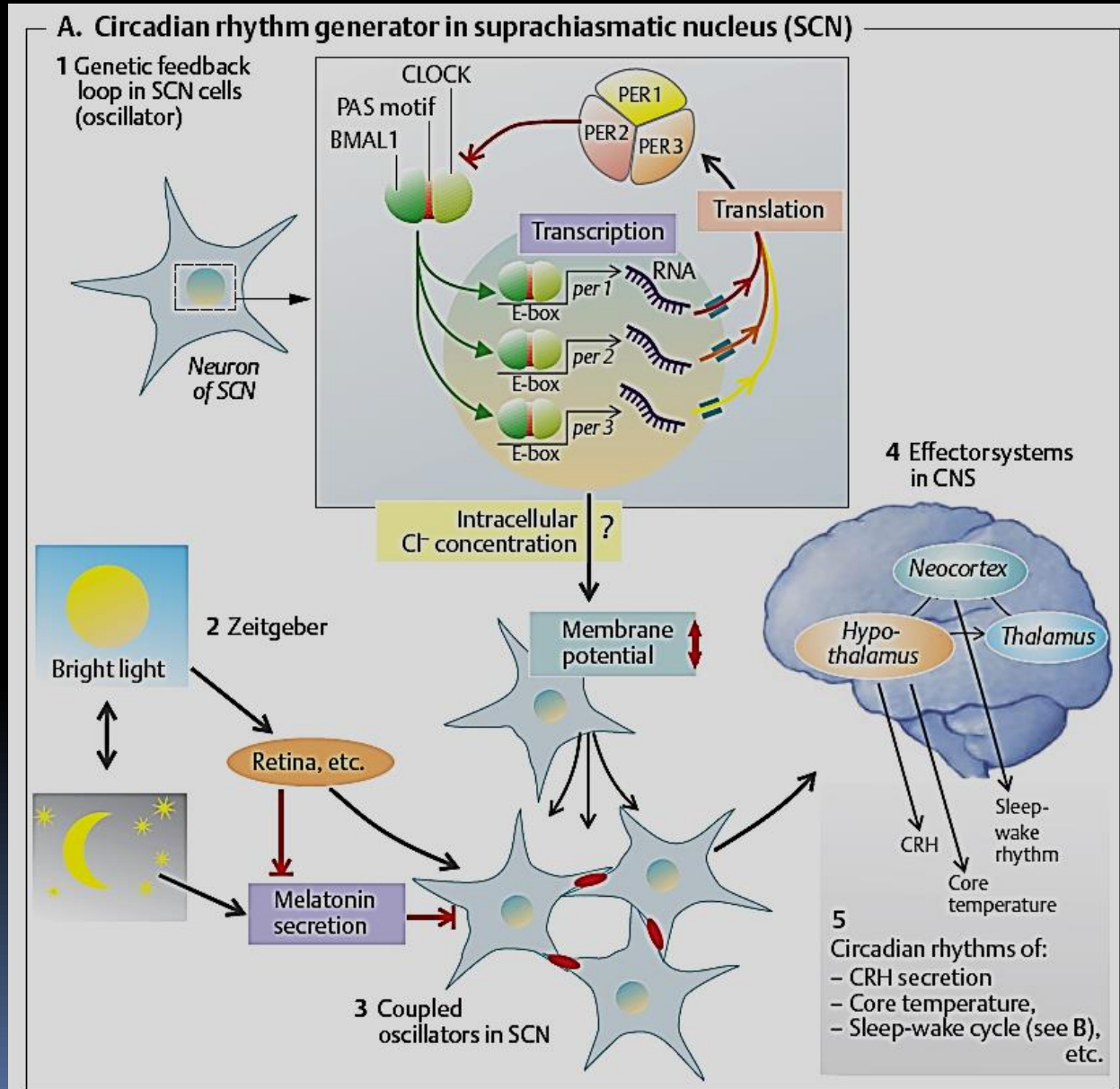


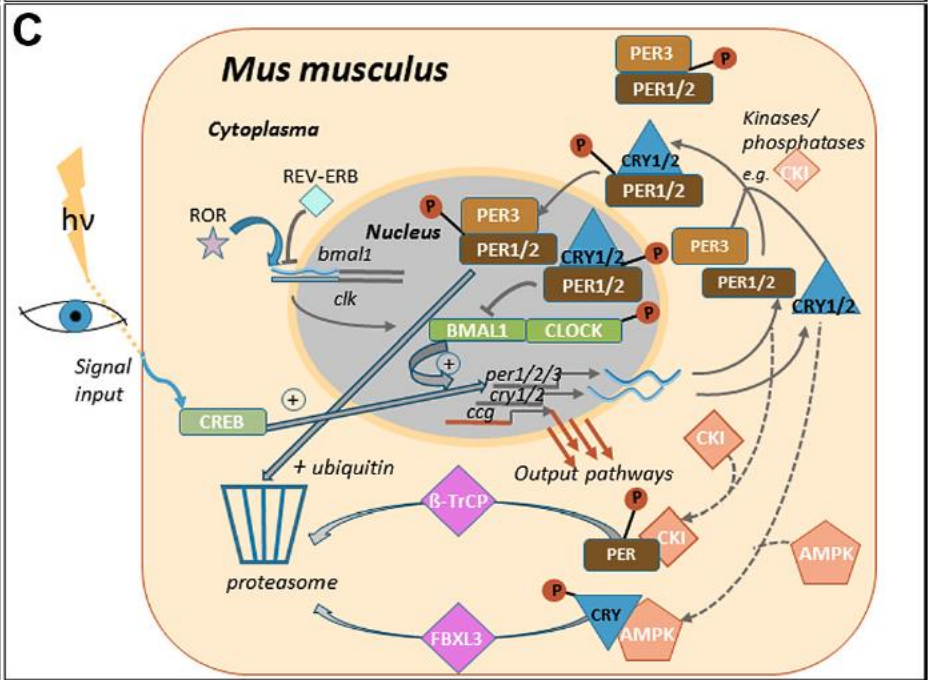
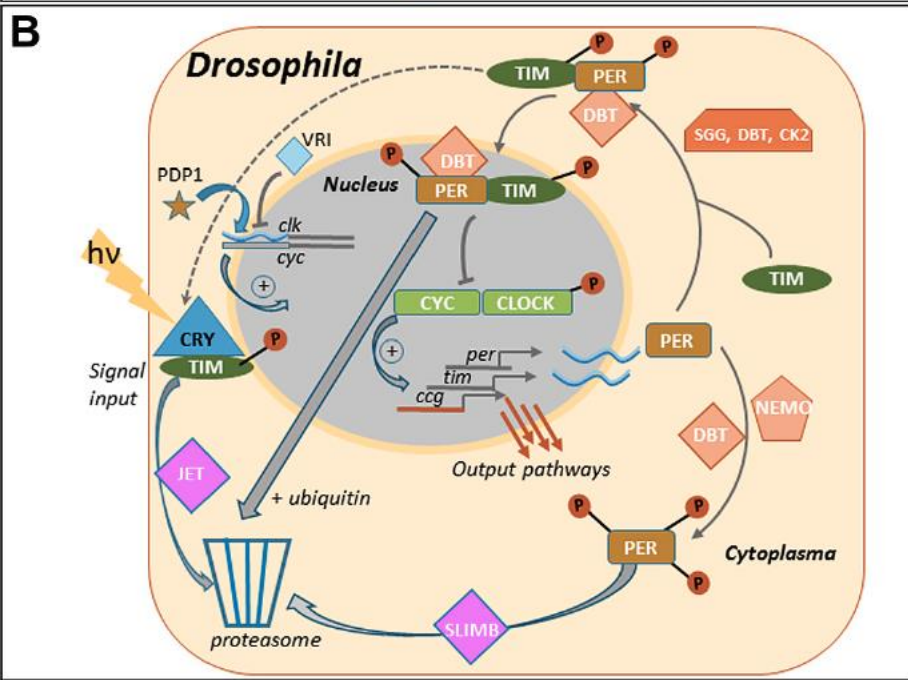
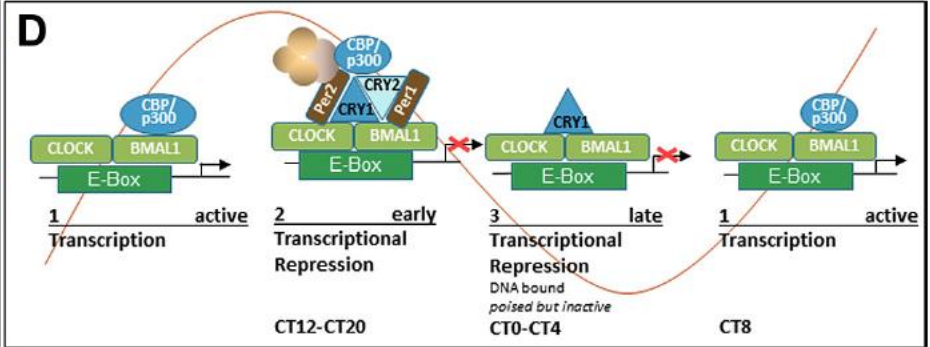
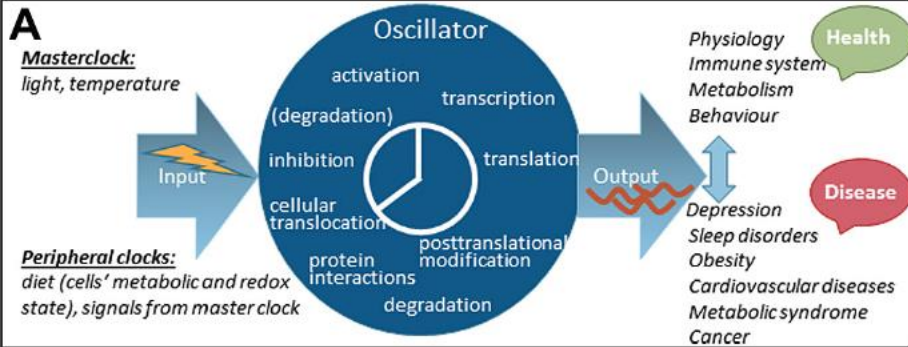
Suprachiasmatické jádro a řízení motorické aktivity. Po vyřazení SCN se rytmus rozpadá



Molekulární hodiny a zpětnovazebná smyčka synchronizovaná světlem.

„Zeitgeber“ – synchronizátor, fotosensitivní element



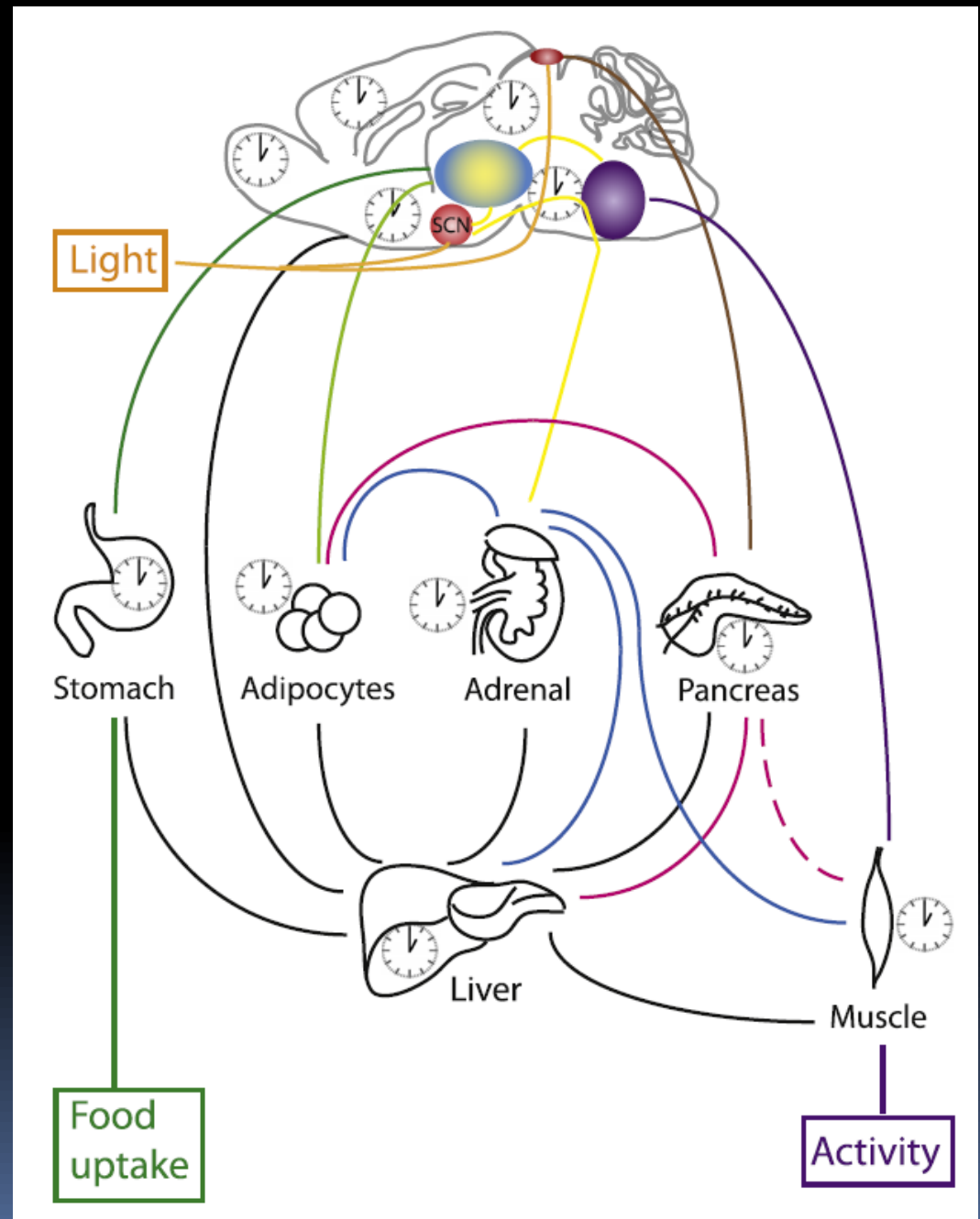


Centrální a periferní oscilátory

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

Master clock v SCN je synchronizuje.

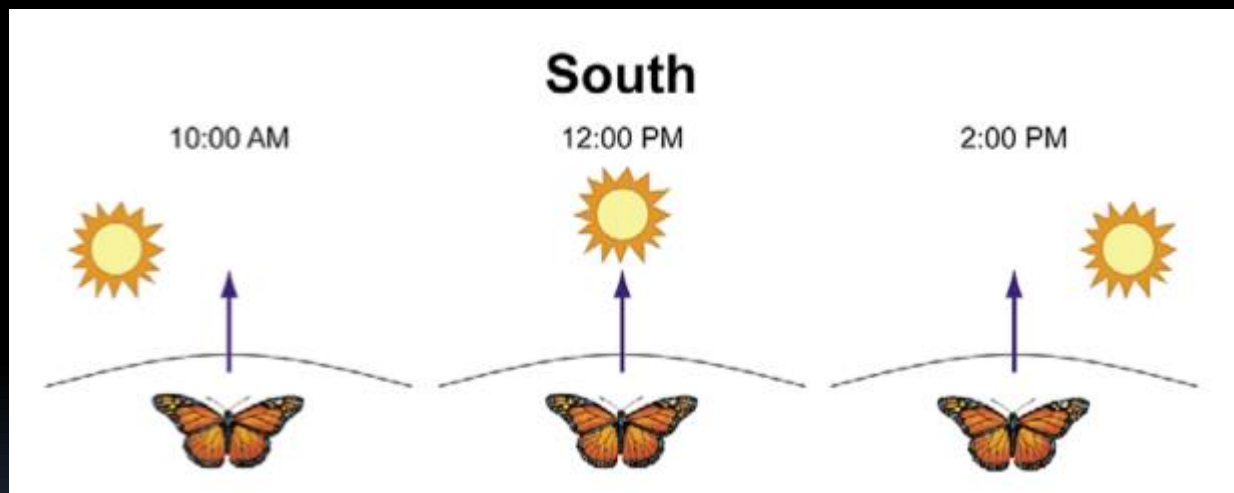
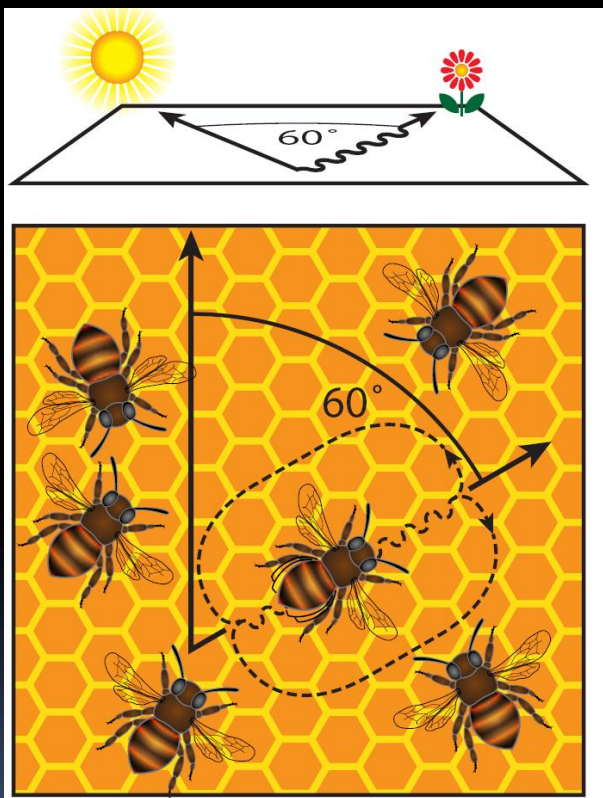
SCN a pineální orgán citlivé na světlo.



Význam hodin pro orientaci v prostoru

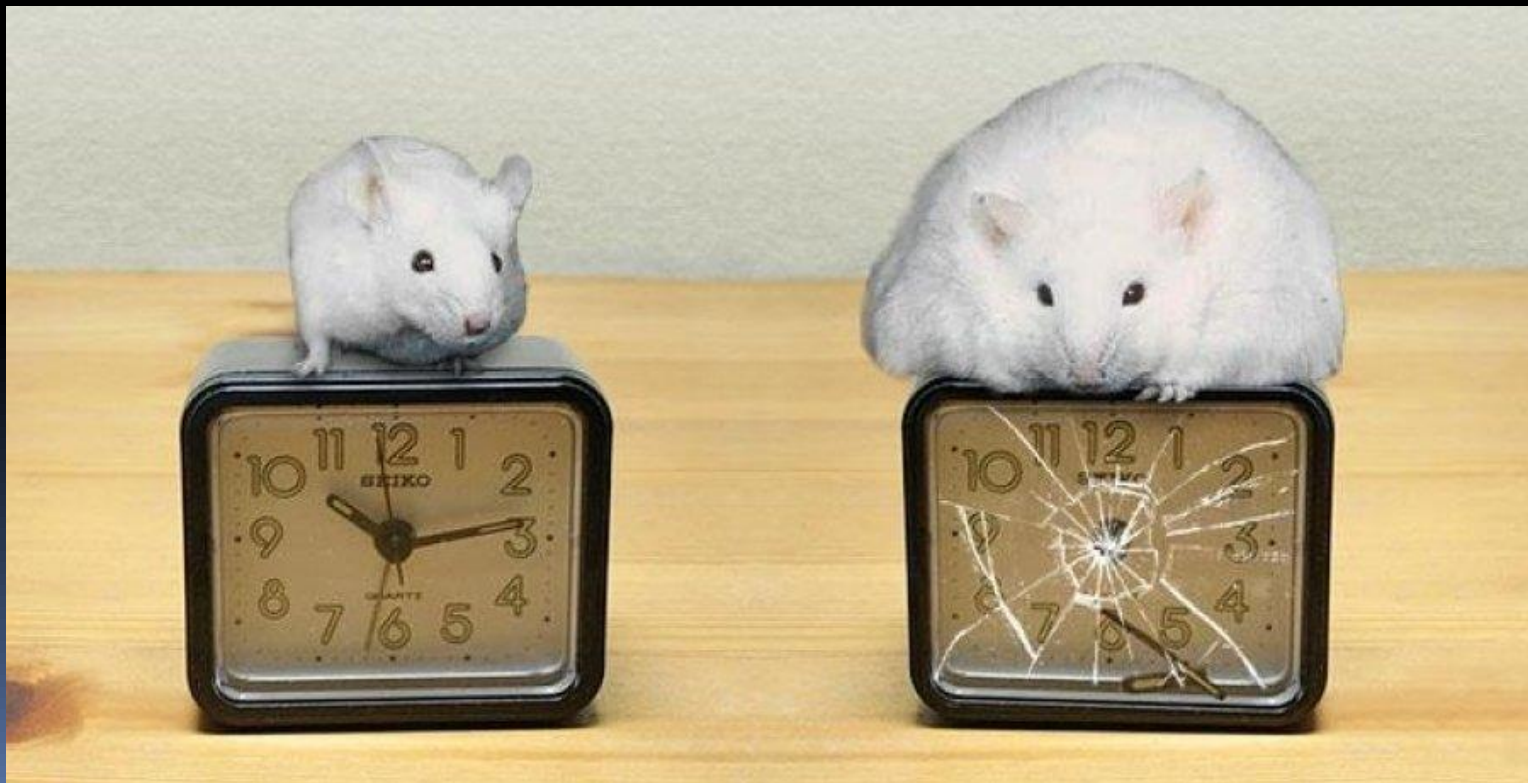
Orientovat se podle Slunce, znamená znát přesný čas.

Solární kompas využívali mořeplavci a využívají živočichové



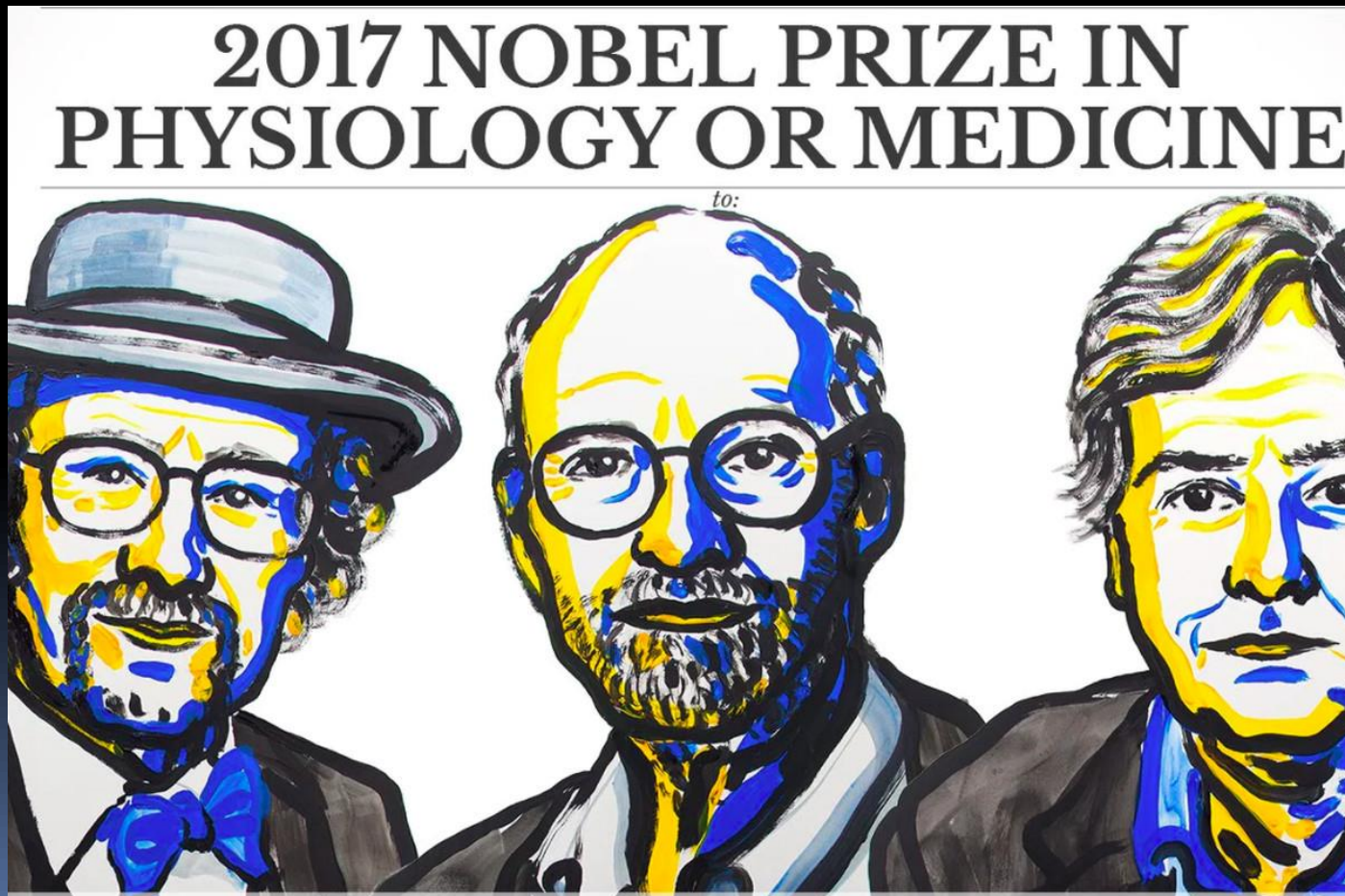
Chronopatologie

Pracovní výkon, učení soustředění, ale i účinnost léků závislá na denní době. Při konfliktu hodin nebezpečí poruch spánku (jet lag), příjmu potravy (obezita, diabetes, metabolický syndrom), psychiky (deprese), onkologických a kardiovaskulárních poruch...



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, metabolický syndrom), psychiky (deprese), onkologických a kardiovaskulárních poruch...



Příklady testovacích otázek ke zkoušce z Fyziologie živočichů

<http://www.sci.muni.cz/ksfz/texty/fyztest.htm>

Základní studijní literatura: skripta Srovnávací fyziologie živočichů

1. Vysvětlete existenci klidového membránového potenciálu. Zmiňte roli K^+ a Na^+ .

Příklad správné odpovědi na plný počet bodů: Hlavní roli mají ionty Na^+ , K^+ , Cl^- a intracelulární fixní anionty bílkovin. Klidový potenciál je asi $-90mV$. Příčiny vzniku: A) Elektrogenní Na/K pumpa čerpá 2 K^+ dovnitř buňky a 3 Na^+ ven. B) Propustnost membrány – Sodíková propustnost je nízká, zavřené kanály nedovolují Na^+ vracet se do buňky. Elektrická i koncentrační síla působí vysokou hnací sílu sodíku. Draslíková propustnost je vysoká, jeho elektrická a protichůdná koncentrační síla se vyrovnávají – je blízko svému rovnovážnému potenciálu.

2. Popište děje při přenosu vzruchu mezi dvěma neurony přes synaptické spojení.

Příklad správné odpovědi na plný počet bodů: AP dorazí na synaptický knoflík. Depolarizace způsobí otevření napětově vrátkovaných Ca kanálů. Nárůst intracelulárního Ca^{2+} vyvolá přesun a exocytózu vezikul s mediátorem do štěrbin synapse. Mediátor se naváže na receptory postsynaptické membrány. Zde se otevrou kationtové kanály (přímo nebo přes kaskádu G-protein – adenylát cykláza – cAMP). Vzniklá depolarizace zvyšuje pravděpodobnost vzniku nového AP na iniciálním segmentu. Mediátor je ze štěrbin odstraněn enzymaticky nebo endocytózou.

3. Jaké jsou možné adaptační strategie živočichů na změnu vnějších podmínek? Charakterizujte je.

Příklad správné odpovědi na plný počet bodů: A) Uteč. Např. migrace, diapauza, encystace. Zejména malé organizmy (relativně velký povrch) s měkkým tělem nemající izolační nebo regulační mechanismy nemohou aktivně žít v nevhodném prostředí. B) Akceptuj. Zejména středně velcí s exoskeletem nemohou příliš regulovat vnitřní prostředí, ale mohou přežít mimo optimum. C) Vyreguluj. Velcí živočichové mohou udržet konstantní optimální vnitřní prostředí.

4. Které hormony mohou ovlivňovat energetický metabolismus. Jmenujte hlavní z nich, zmiňte místo sekrece a způsob působení.

Příklad správné odpovědi na plný počet bodů: A) Trijodtyronin a Tyroxin ze štítné žlázy zvyšují oxidační děje v mitochondriích a tak i metabolismus, proteosyntézu, zrání, růst. B) Somatotropin (růstový h.) z adenohipofýzy zvyšuje využívání lipidů a růst. C) Somatostatín z D buněk pankreasu snižuje využívání živin (tlumí sekreci inzulínu a glukagonu, resorpci ve střevě). D) Katecholaminy ze dřene nadledvin mobilizují energetické rezervy, zvyšují svalový výkon. Podobně E) kortizol z kůry nadledvin.