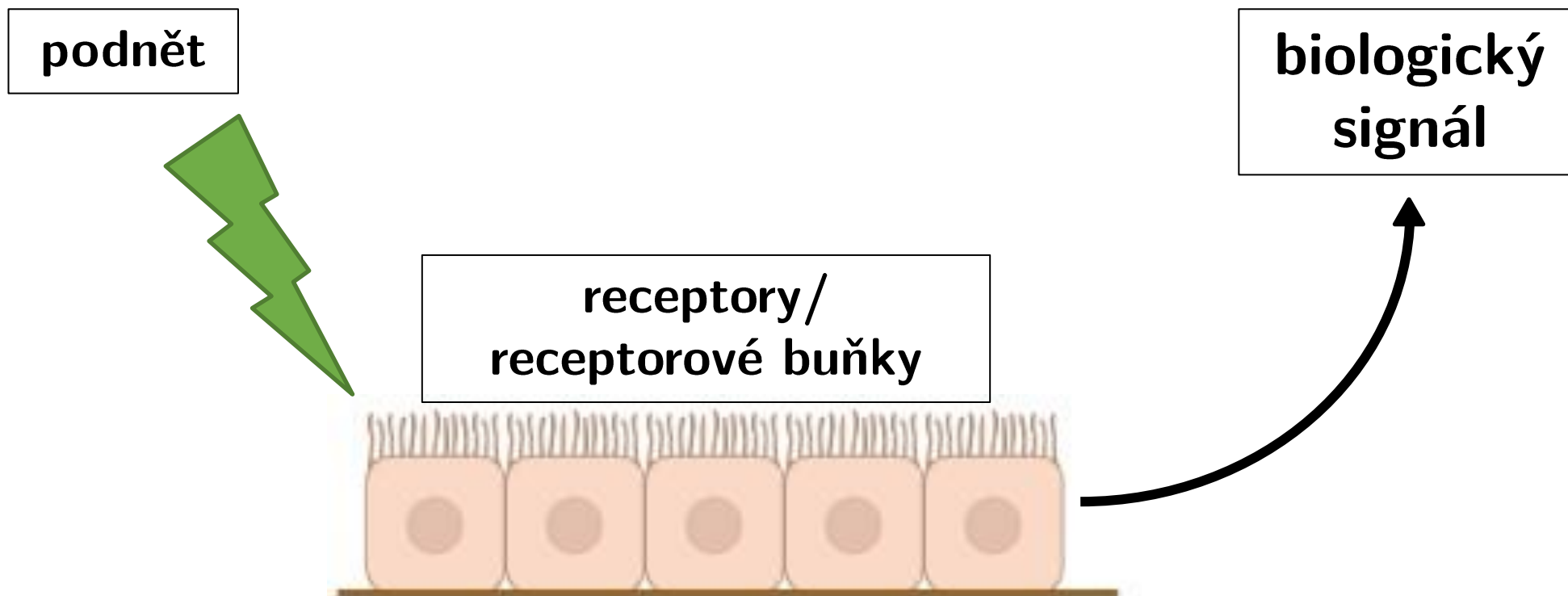




Fyziologie smyslů



Jak to funguje?



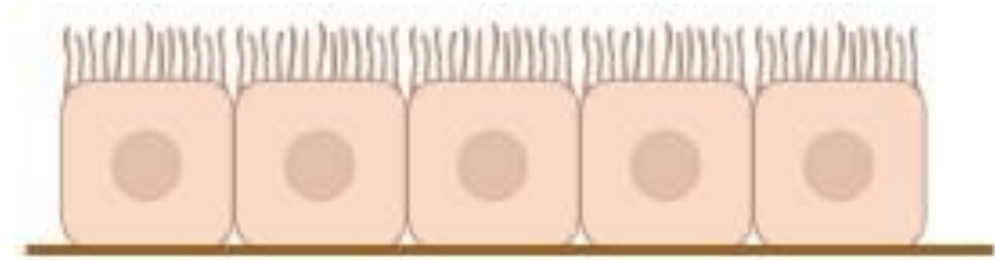
Podnět

intenzita = **amplituda** akčního potenciálu

dlouhodobé působení = ADAPTACE

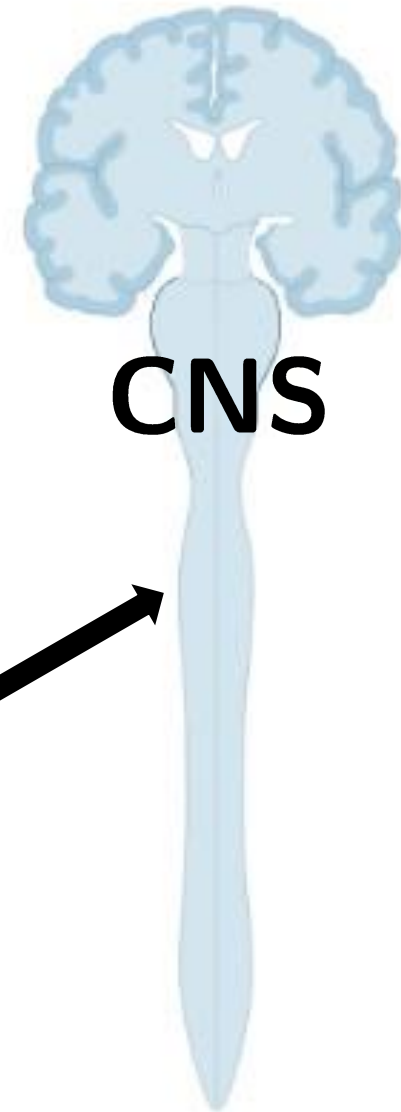
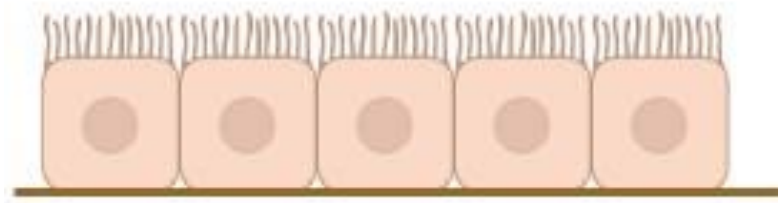
modalita podnětu = výběr specifických receptorů
+ specifické dostředivé neurony

Receptory obecně



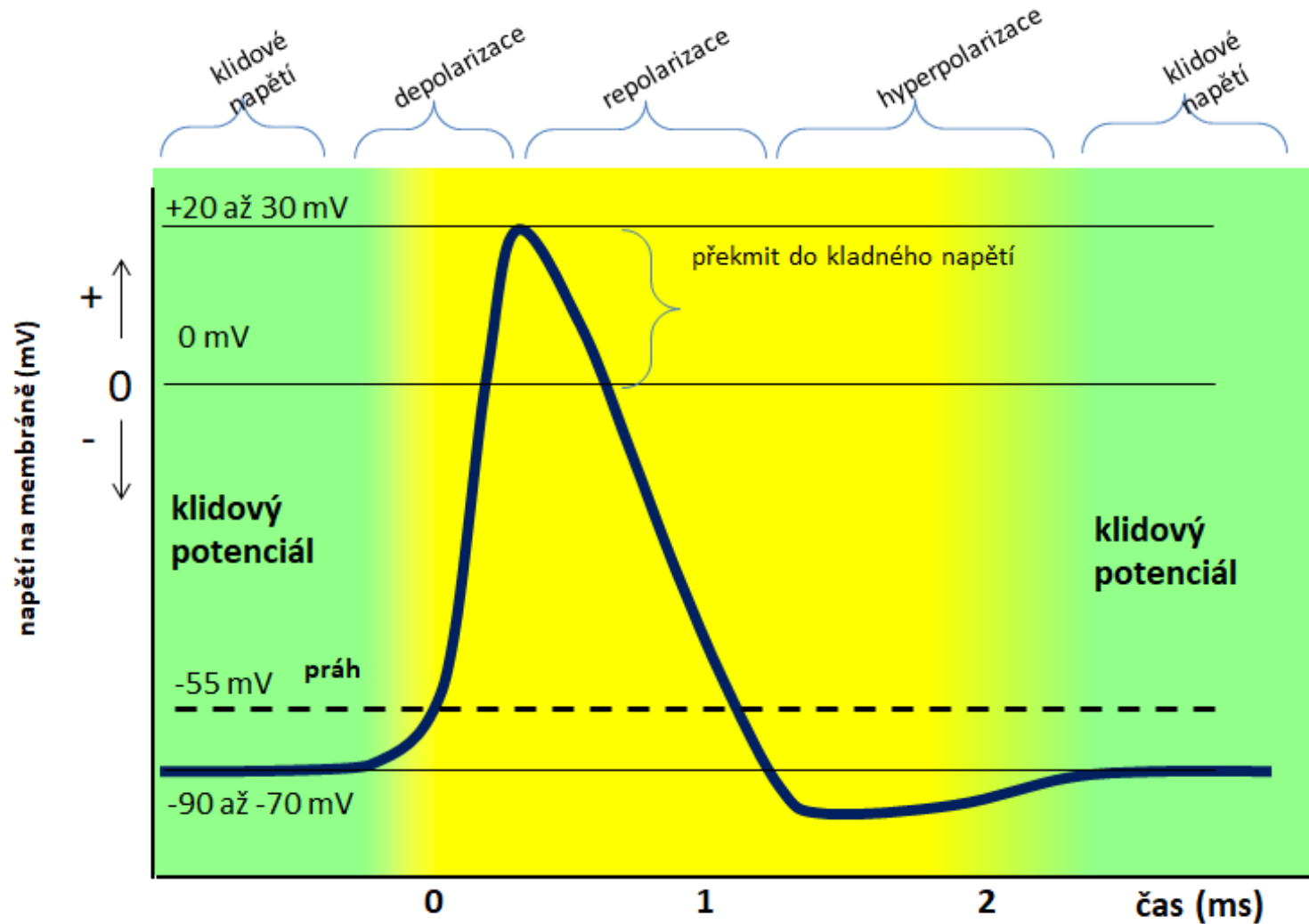
- membránové receptory (z vnějšího prostředí)
- cytosolové receptory (pronikne-li signál membránou)
- jaderné receptory (pronikne-li signál membránou)

Receptory obecně



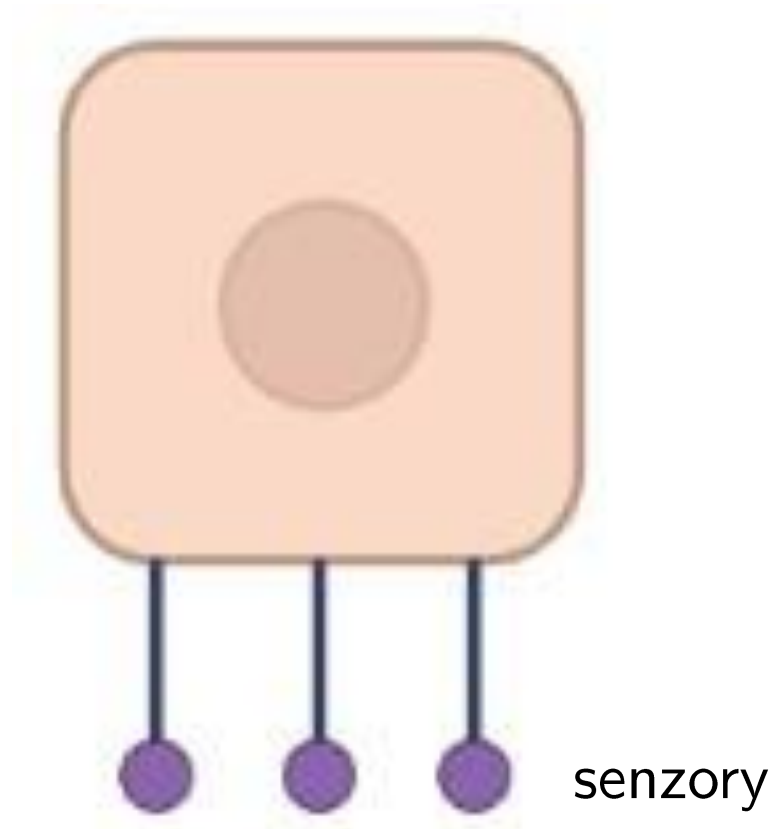
*změna
akčního
potenciálu*

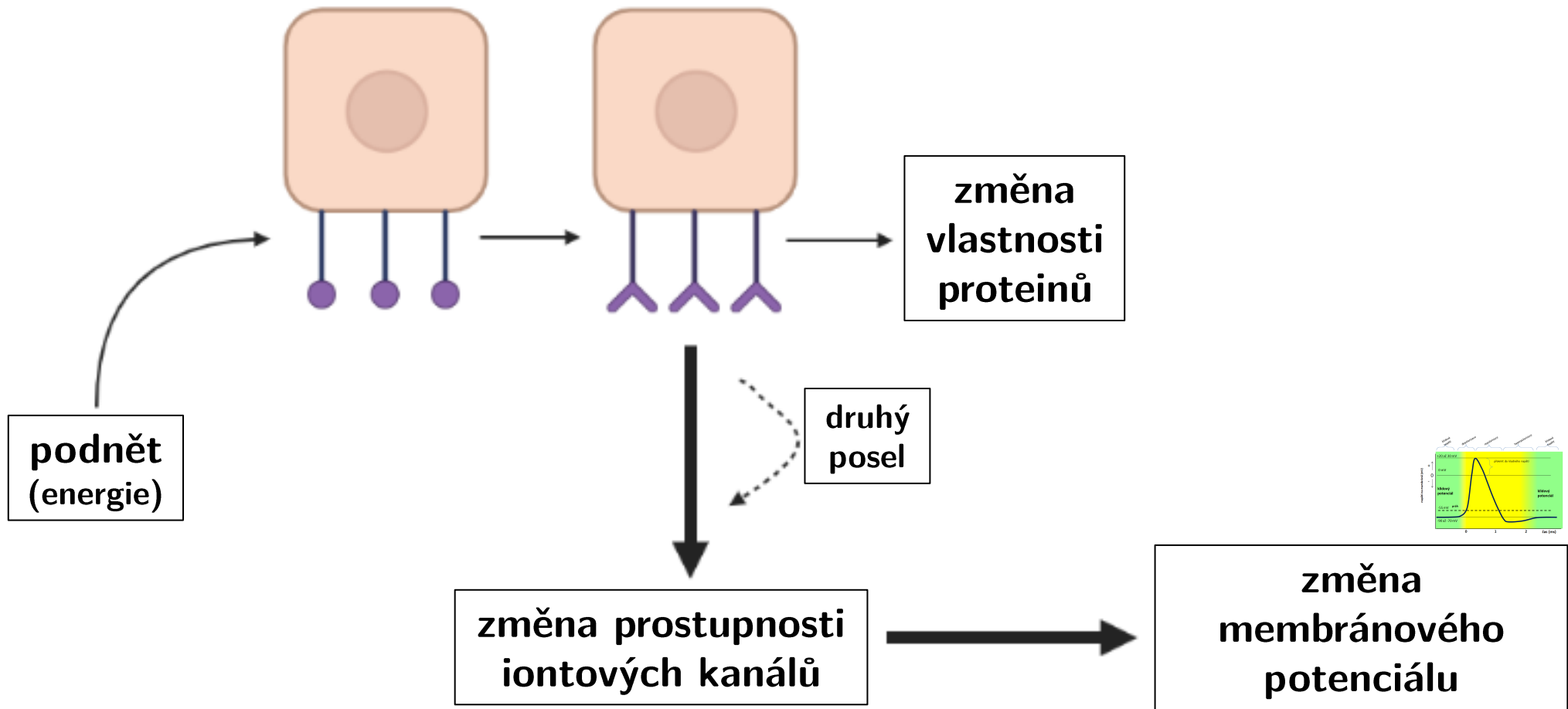
Receptory obecně



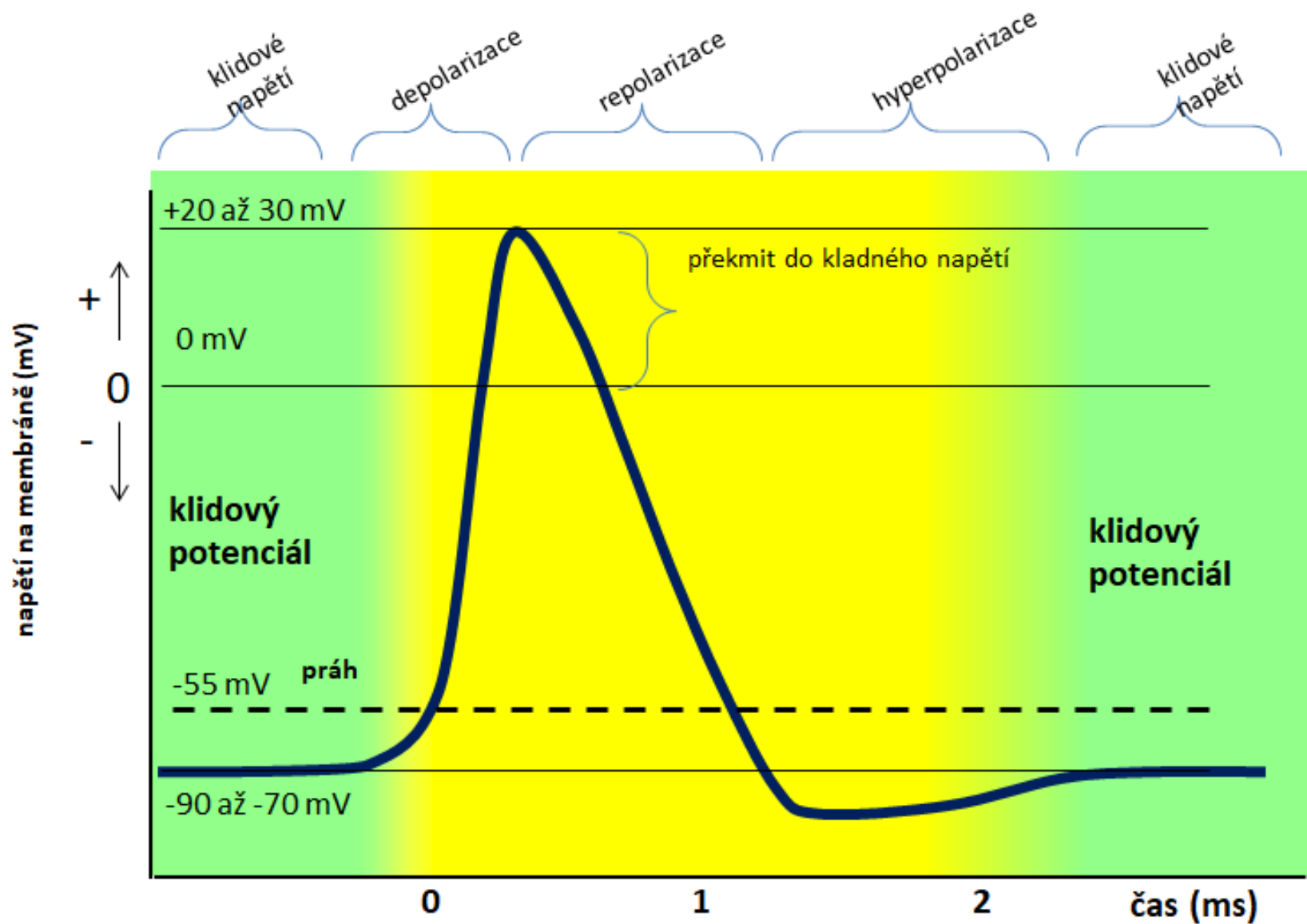
Receptorové buňky

v membráně specializované bílkoviny → funkční jednotka = SENZOR





Změna membránového potenciálu



Signál

nervové dráhy

zpracování informace

+ přepojení do jiných systémů

(oko a okohybné svaly)

RECEPTOR

nespecifické senzorické dráhy

mozková kůra

Druhy receptorů

- FOTORECEPTORY
– detekce světelného vlnění
- MECHANORECEPTORY
– detekce zvukových vln a tlaku na kůži a vnitřním uchu
- CHEMORECEPTORY
– detekce molekul v jídle, ve vnějším a vnitřním prostředí

Přídavné struktury receptorů

= optický systém oka

= orgány středního a vnitřního ucha

= hlenová vrstva na povrchu čichového epitelu

funkce

→ ochranná

→ transformace/koncentrace signálu

→ převod do/k/na citlivé části receptorových buněk

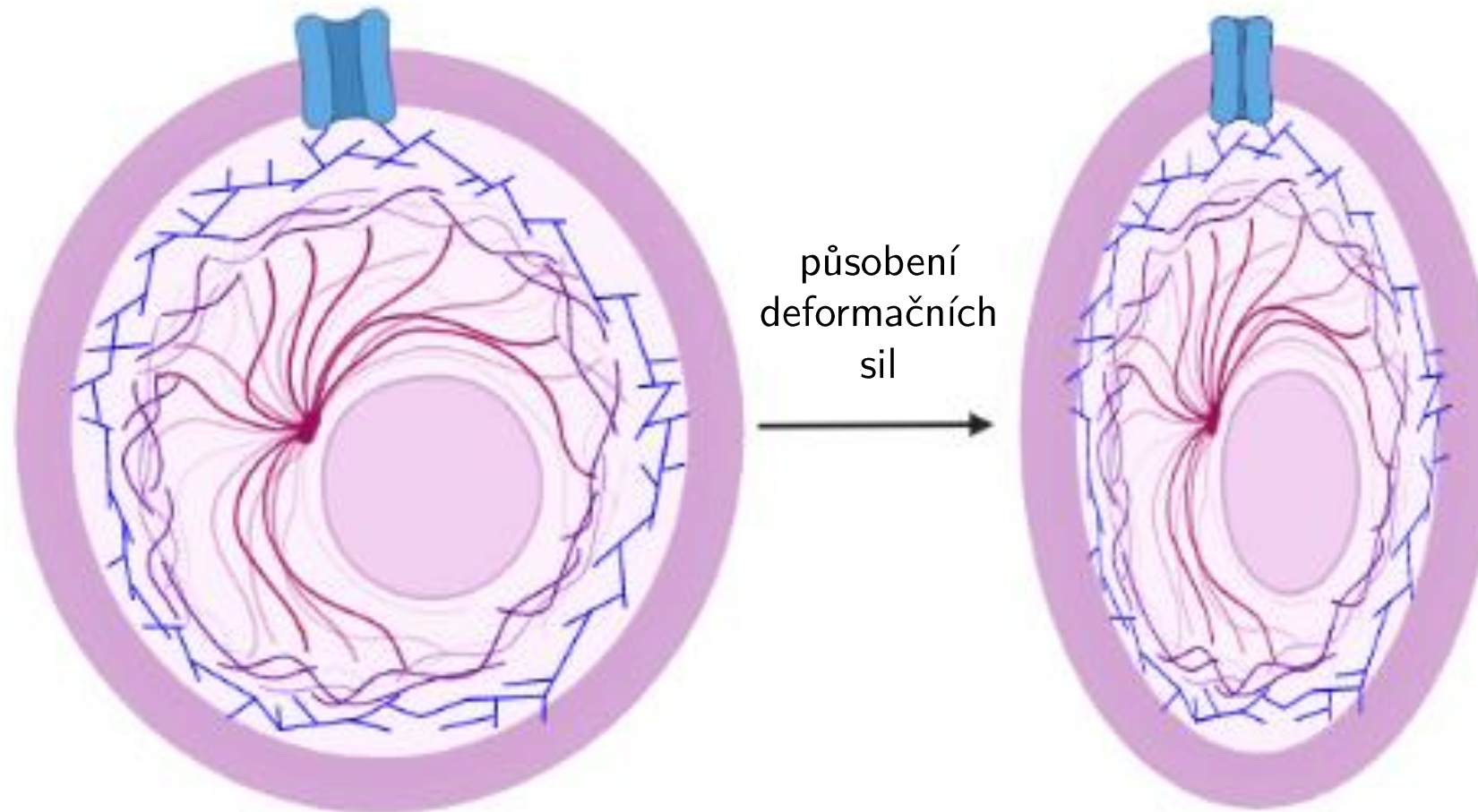
Mechanoreceptory

- převod mechanických podnětů na bioenergetický signál
- nejčastější → kůže (tlak)
 - svaly, šlachy, klouby (hluboké čítí)
 - močový měchýř (tlak)
 - + receptory sluchu, polohy hlavy

Mechanoreceptory

- = mechanicky řízené iontové kanály
- záklopy připojeny vláknem k cytoskelety
- deformace buňky
- vlákno → otevření/uzavření iontového kanálu

Mechanoreceptory

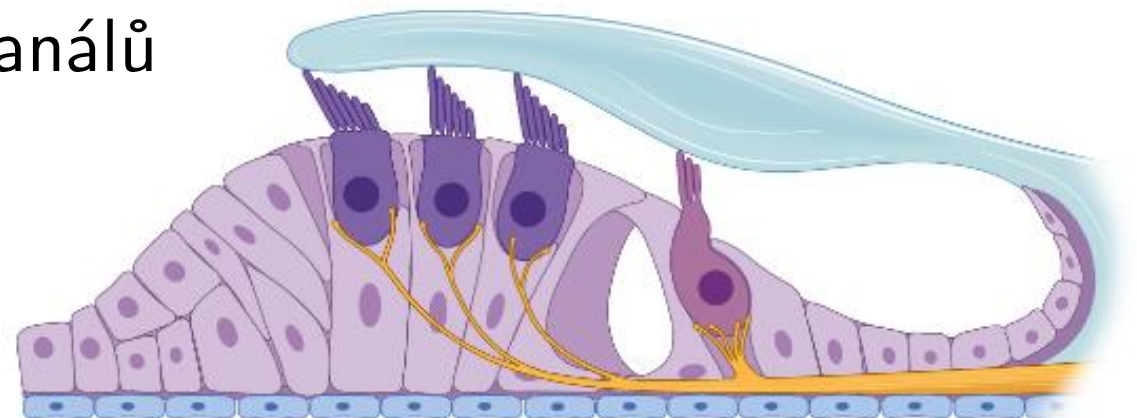


Mechanoreceptory

Sluchové a vestibulární ústrojí

buňky se STEREOCILIEMI

- napojeny na iontové kanály na membráně
- změna prostupnosti iontových kanálů
- vypuštění transmiterů
- = přenos signálu



Termoreceptory

pomalá adaptace → termocitlivé iontové kanály pro Ca^{2+}

→ vznik receptorového potenciálu

- lepší lokalizace při působení i tlakového podnětu

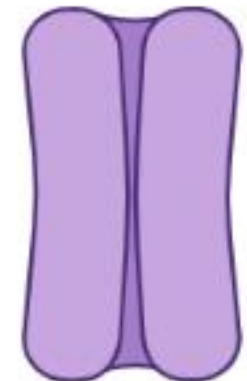
Dva druhy

- chladové – aktivita při 23–28 °C
- tepelné – aktivita při 38–43 °C
 - rychlá změna – rozezná 0,1 °C
 - pomalá – větší rozdíl teplot a víc receptorů
- pod 10 °C = zástava tvorby a šíření vzruchů → znecitlivění

termoaktivní
 Ca^{2+} kanál



změna
teploty



Chemoreceptory

chuť, čich, složení vnitřního prostředí

odpověď na přítomnost látek v okolí (specifické receptory v membráně)

→ nervový signál – specializovaný senzorický receptor

chemická látka → senzor

→ změna prostupnosti iontových kanálů na membráně

→ vypuštění transmitterů

= přenos signálu

Fotoreceptory

- buňky = tyčinky a čípky (3 části)



zvní segment

(vrstvy/disky plazmatické membrány se světlocitnou látkou)

vnitřní segment

(buněčné organely)

synaptické zakončení

(spojení s dalšími buňkami sítnice)

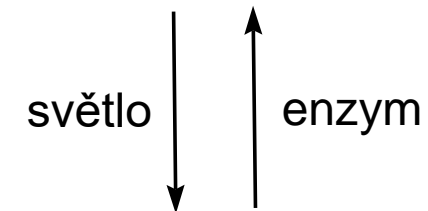
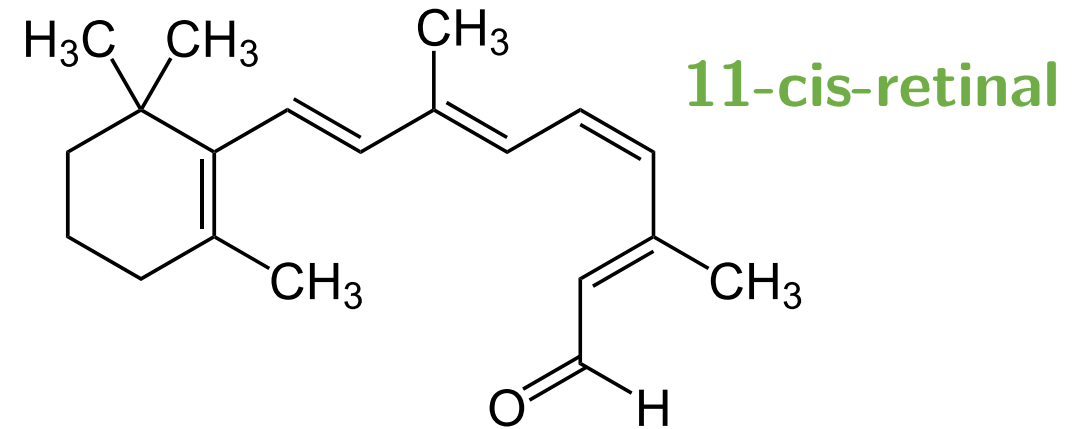
Fotoreceptory - rodopsin

- světlocitná látka
- bílkovina OPSIN + izomer vit. A: 11-cis retinal
 - **tyčinky** – 1 druh opsinu = intenzita světla
 - **čípky** – 3 druhy opsinu – citlivost k různým vlnovým délkám (440 nm, 535 nm, 565 nm) = vnímání barev
 - modrá
 - zelená
 - červená

Fotoreceptory - rodopsin

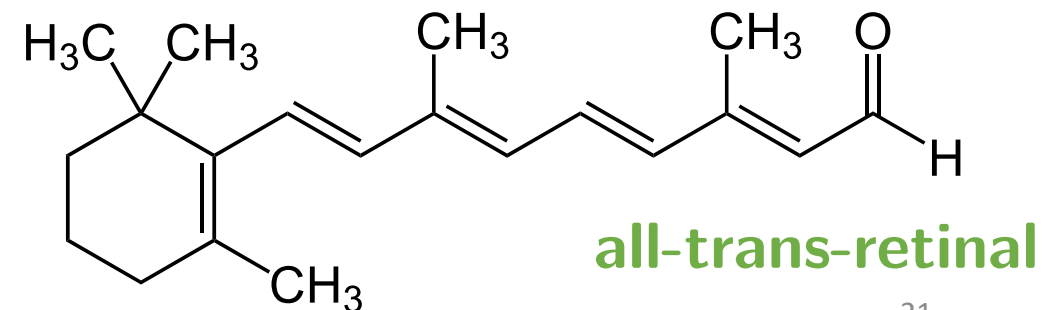
TMA

- membrána v klidovém stavu (~ -40 mV), rodopsin (-cis forma)



SVĚTLO

- rodopsin: all-trans forma



Fotoreceptory - rodopsin

SVĚTLO

- rodopsin: -cis forma → all-trans forma → uvolnění opsinu
- změna membránového potenciálu (akční potenciál)
- přenos signálu na neuron (→ do mozku a zpracování obrazu)

How Rods Respond to Light



<https://www.youtube.com/watch?v=Fm45A4yjmvo>

Senzorické vjemy

Senzorické vjemy

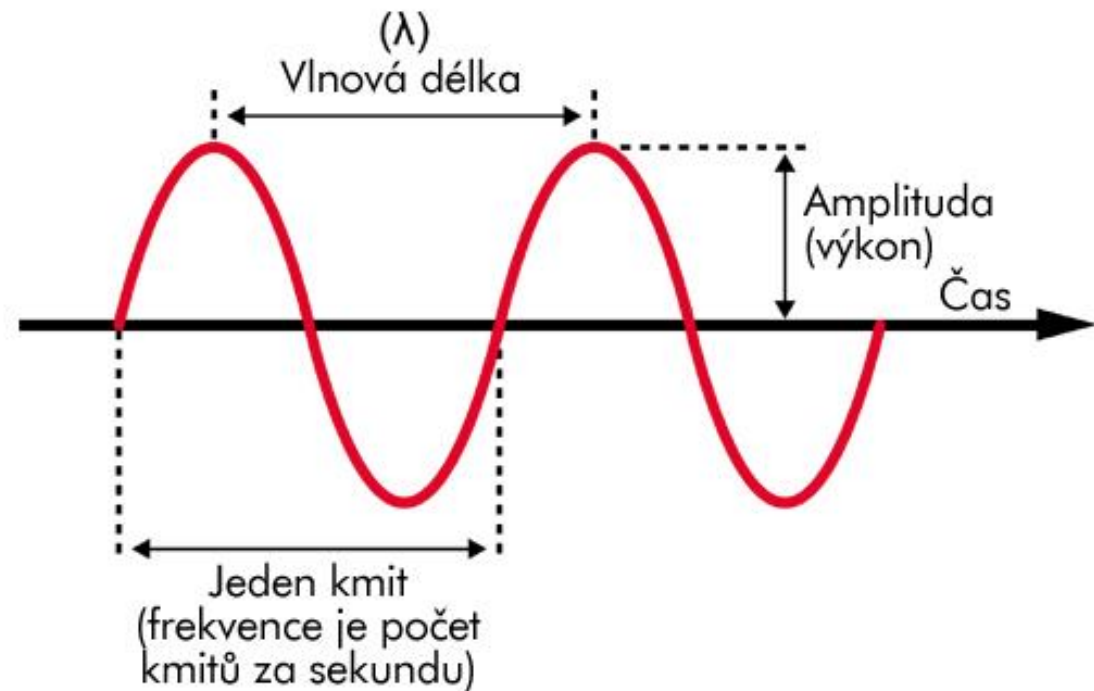
= vstup aferentní informace do vědomí

**Není odrazem podnětu ale
je výsledkem procesu výběru informací!**

(Za všechno může mozek!)

Sluch

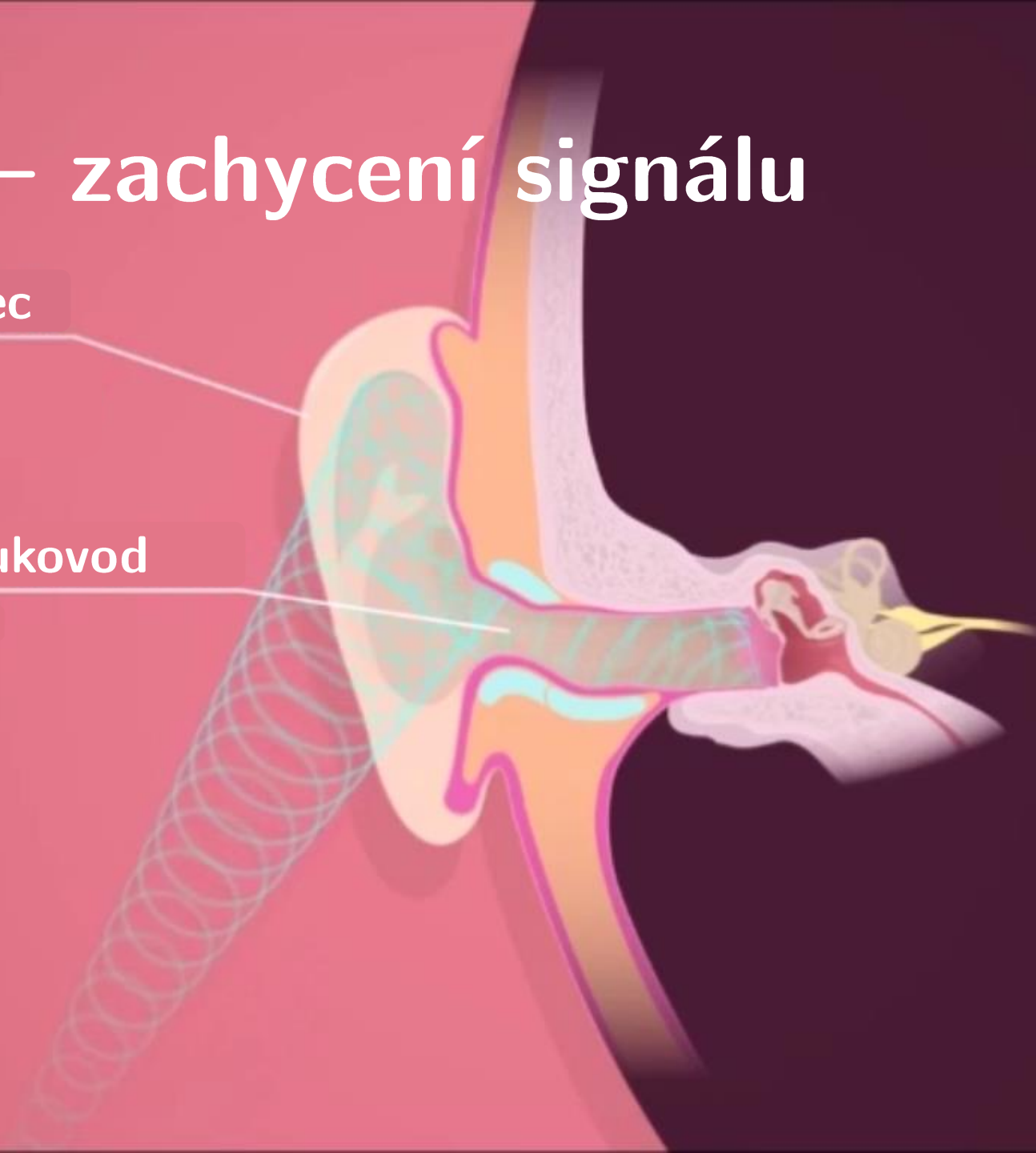
- nepřetržitě monitoruje okolí i vlastní zvukové projevy
- výška tónu dána frekvencí (jak rychle kmitá)
- síla zvuku dána amplitudou



Sluch – zachycení signálu

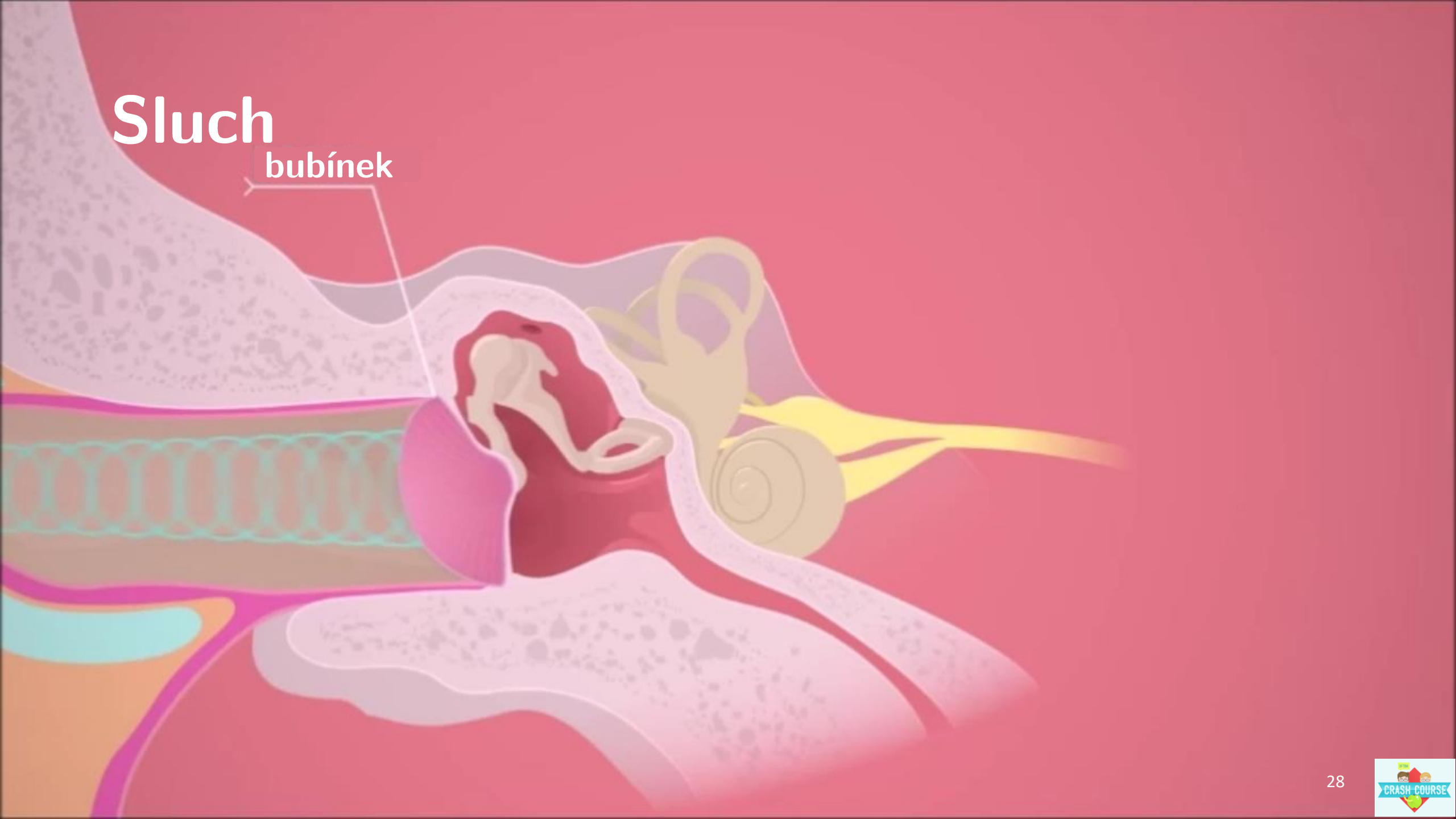
ušní boltec

vnější zvukovod



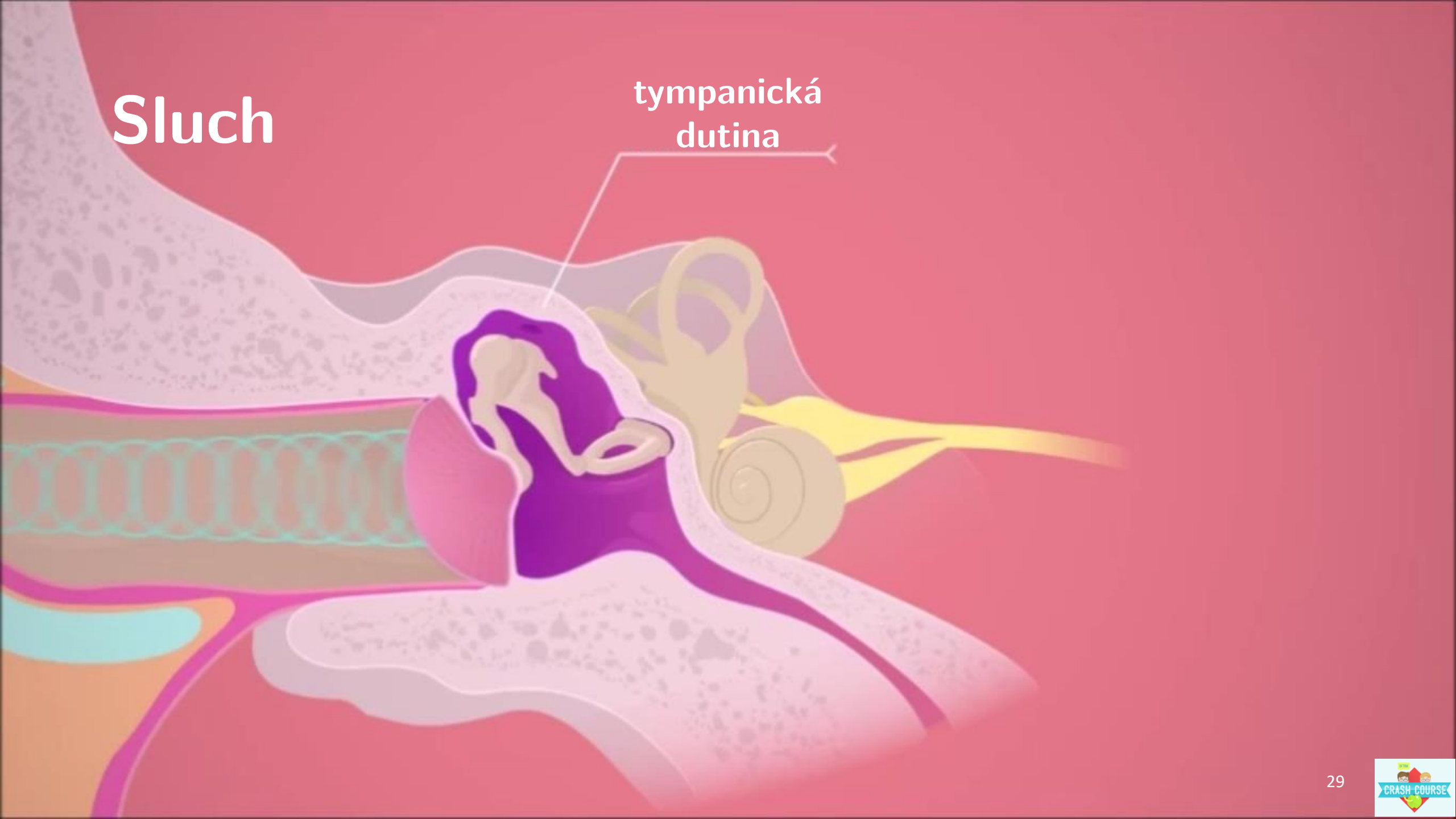
Sluch

bubínek

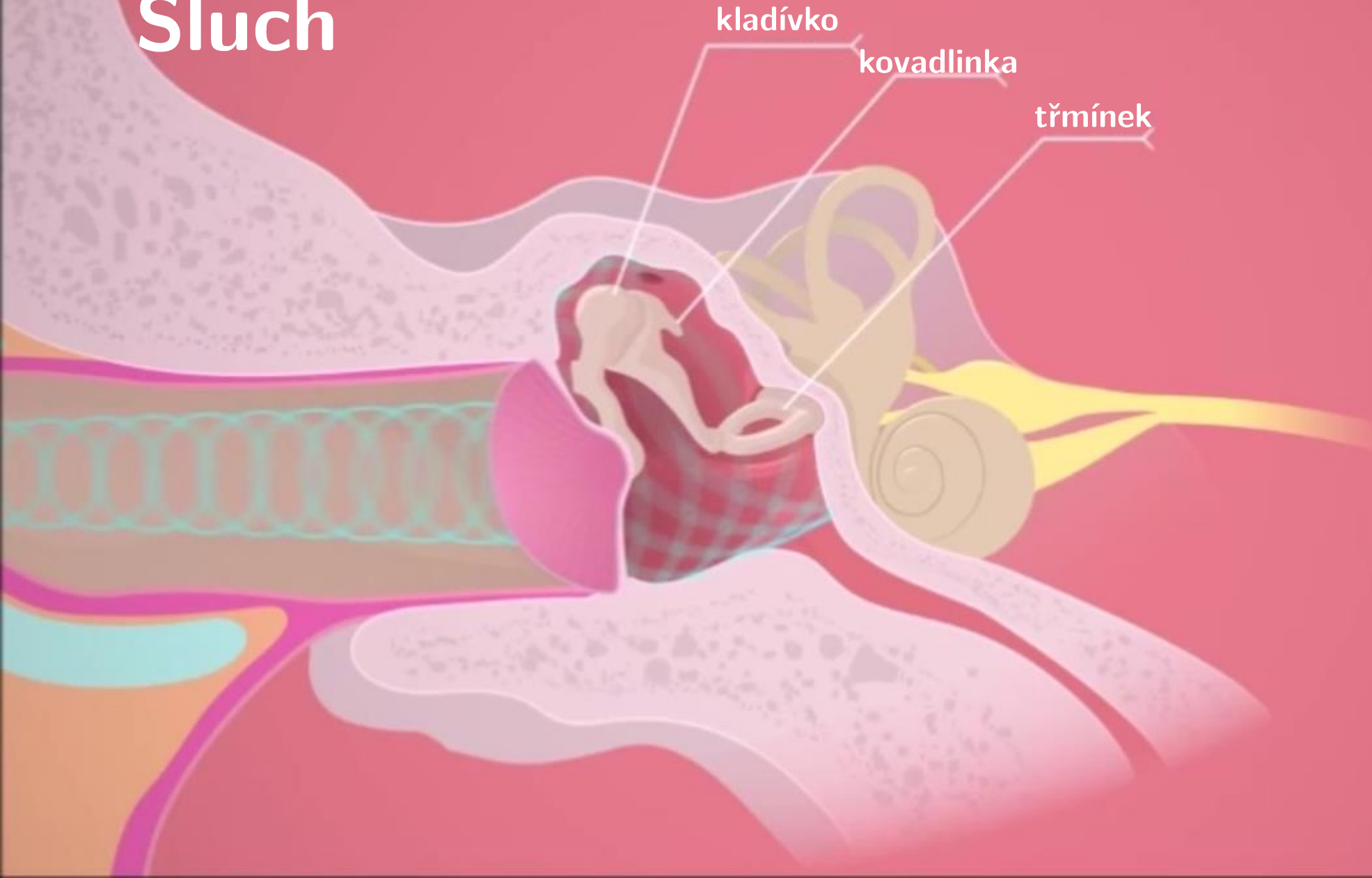


Sluch

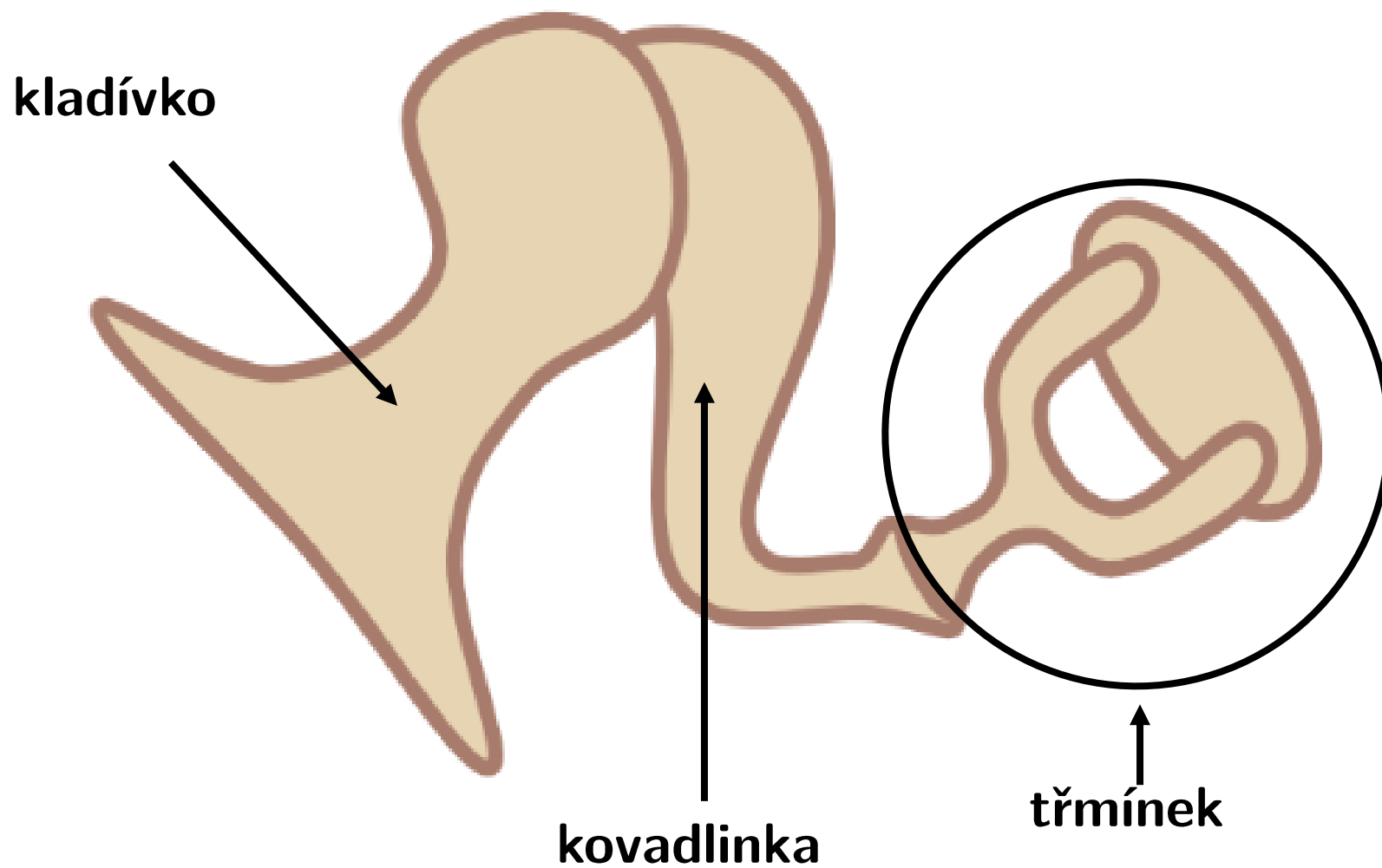
tympanická
dutina



Sluch



Sluch – zesílení signálu

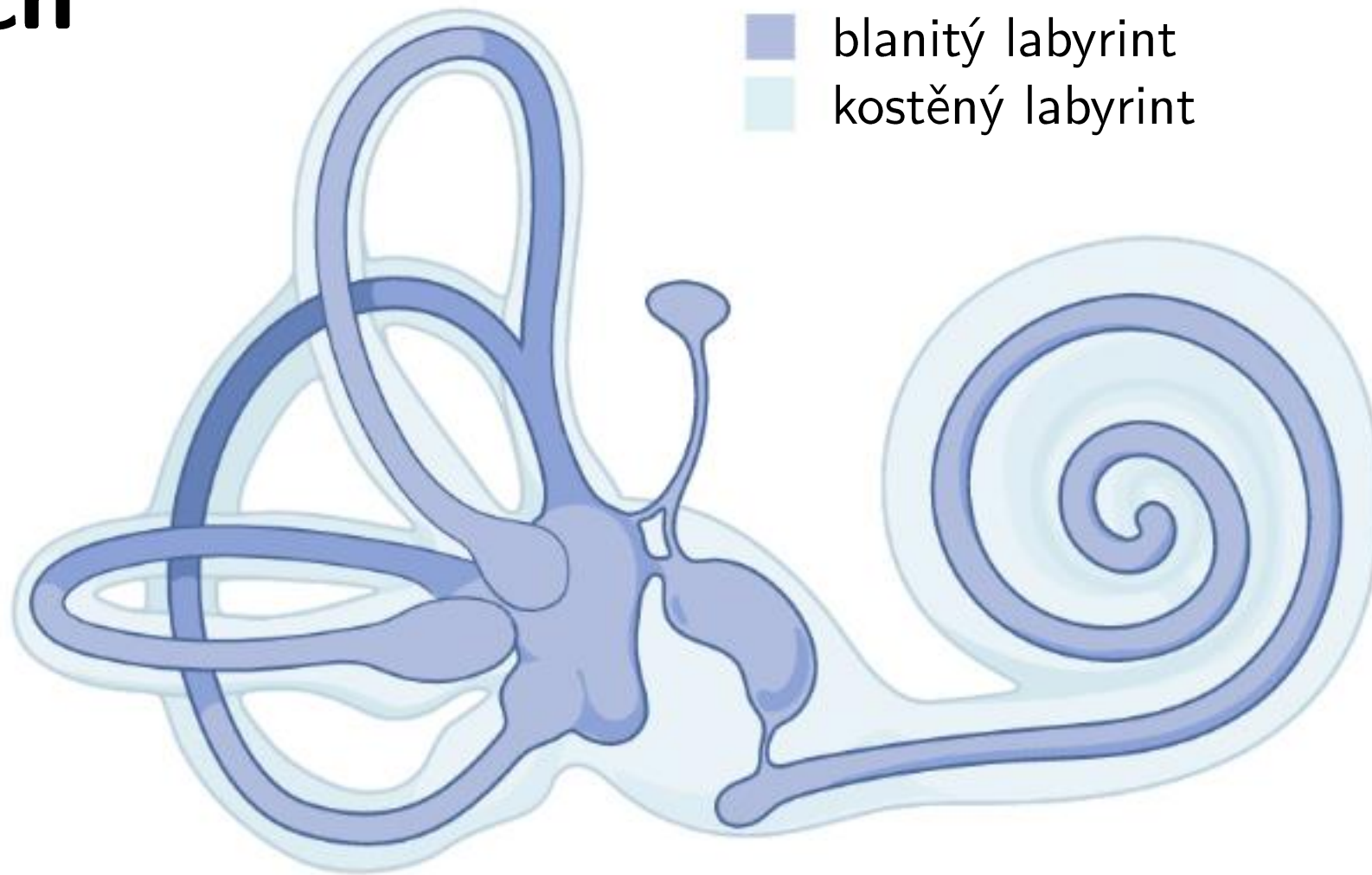


Sluch

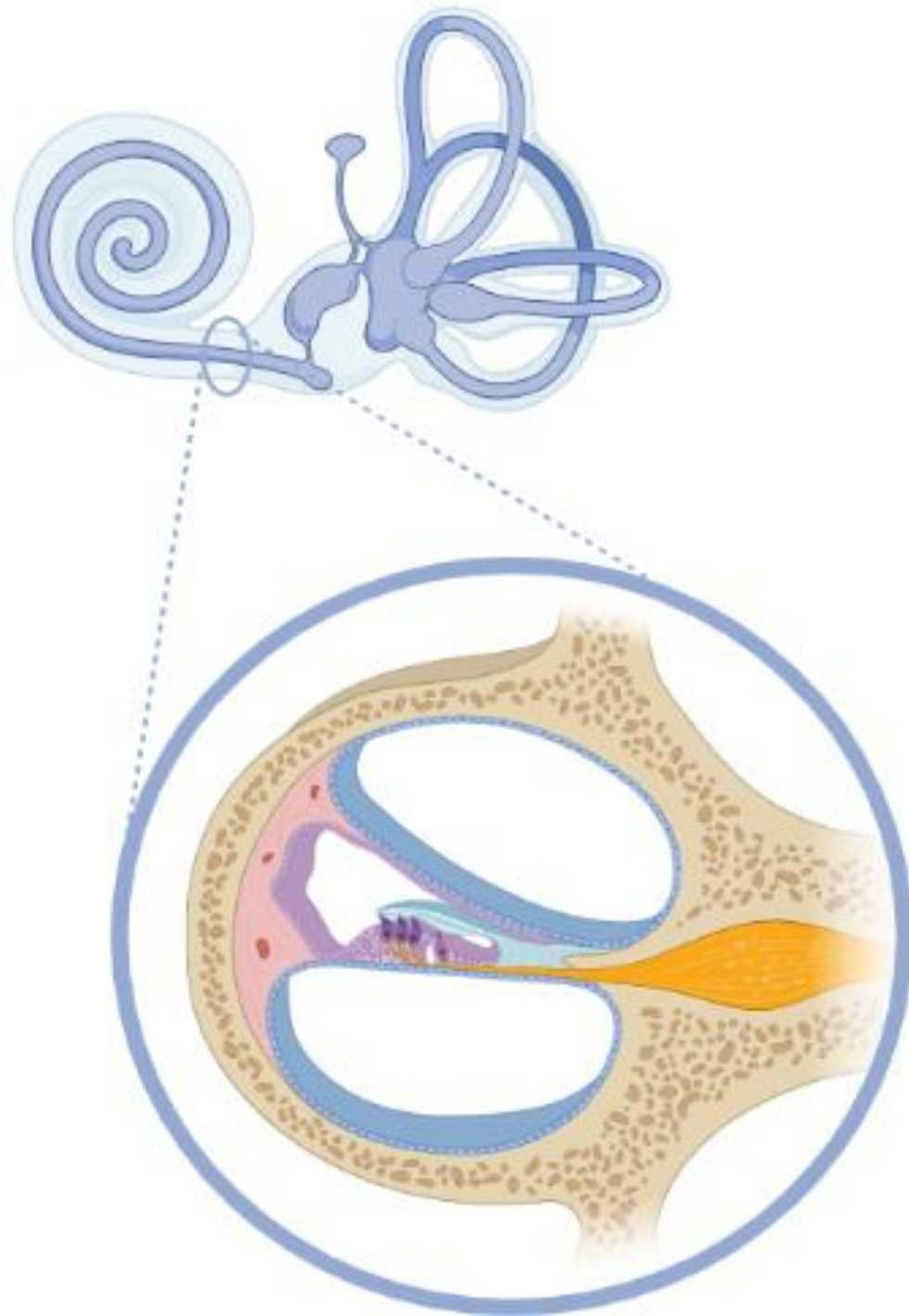
oválné okénko
(*fenestra ovalis*)



Sluch



Sluch



Sluch

– příčný řez hlemýžděm

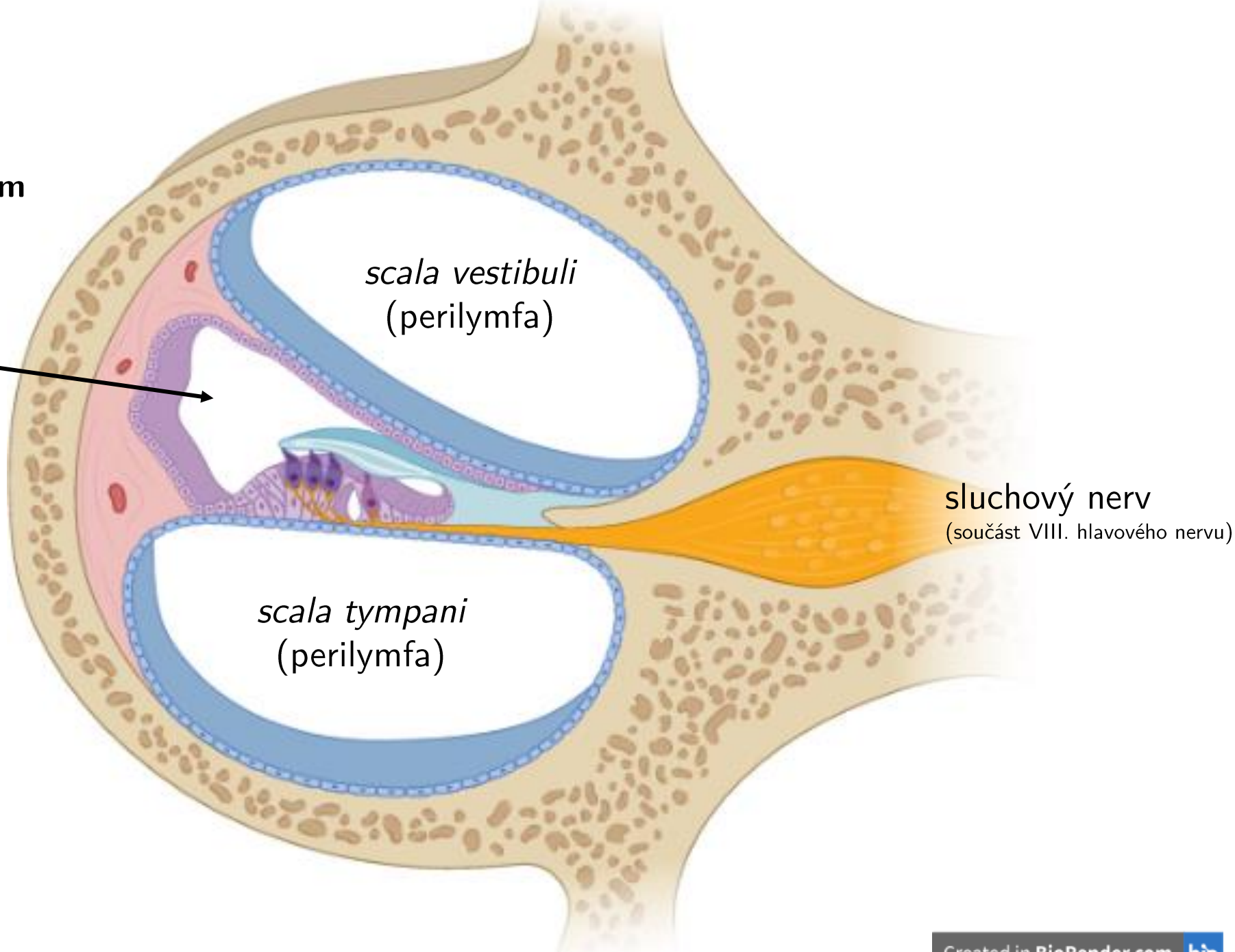
scala media
(endolymfa)



scala vestibuli
(perilymfa)

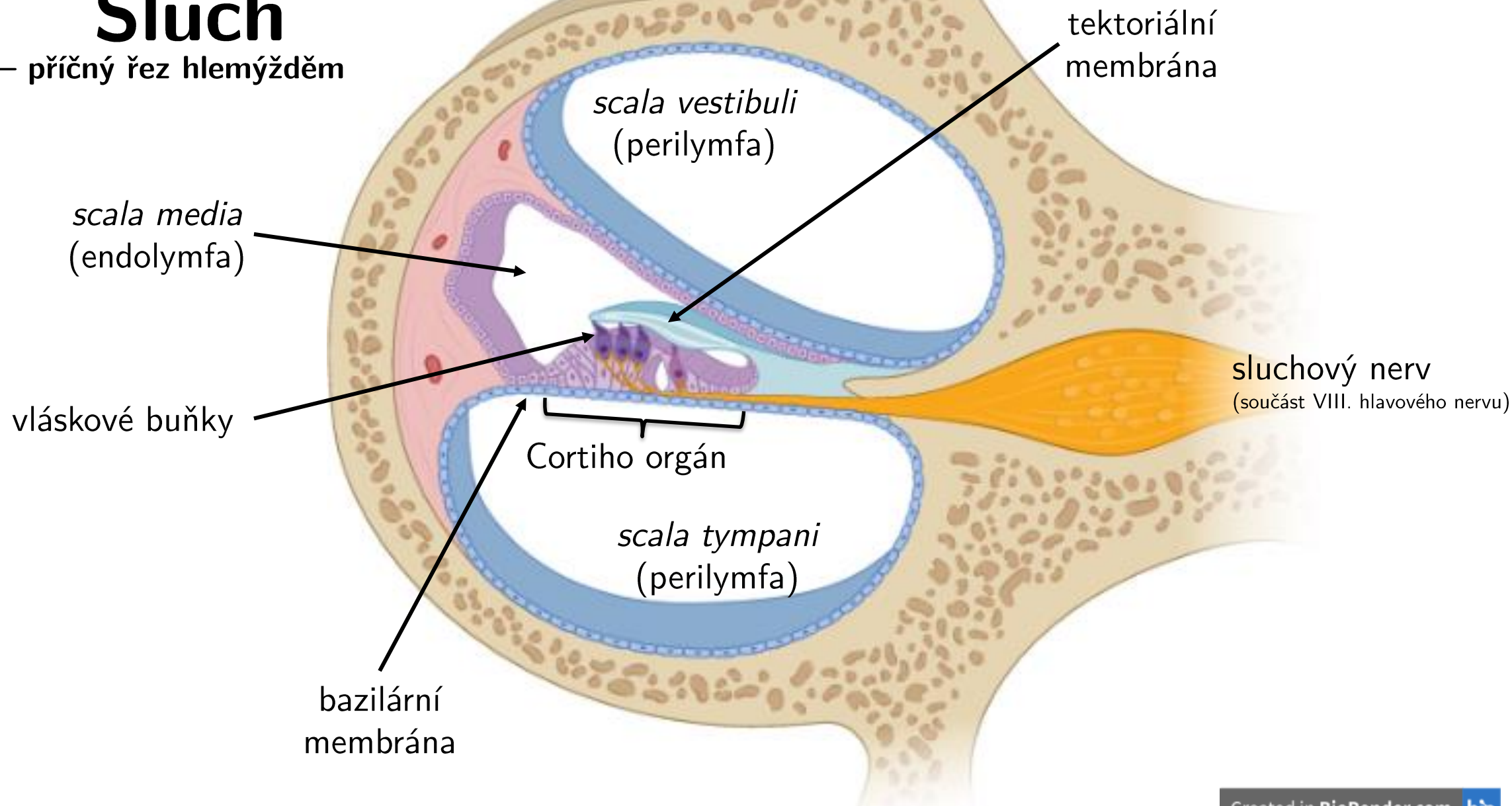
scala tympani
(perilymfa)

sluchový nerv
(součást VIII. hlavového nervu)



Sluch

– příčný řez hlemýžděm



Sluch

oválné okénko (= místo, za které „tahají“ kosti středního ucha)

→ tekutina (perilymfa) ve *scala vestibuli*

→ tekutina (endolymfa) ve *scala media*

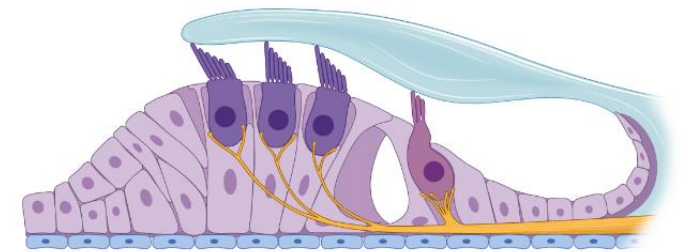
→ rozkmitání bazilární membrány*

→ tekutina (perilymfa) ve *scala tympani*

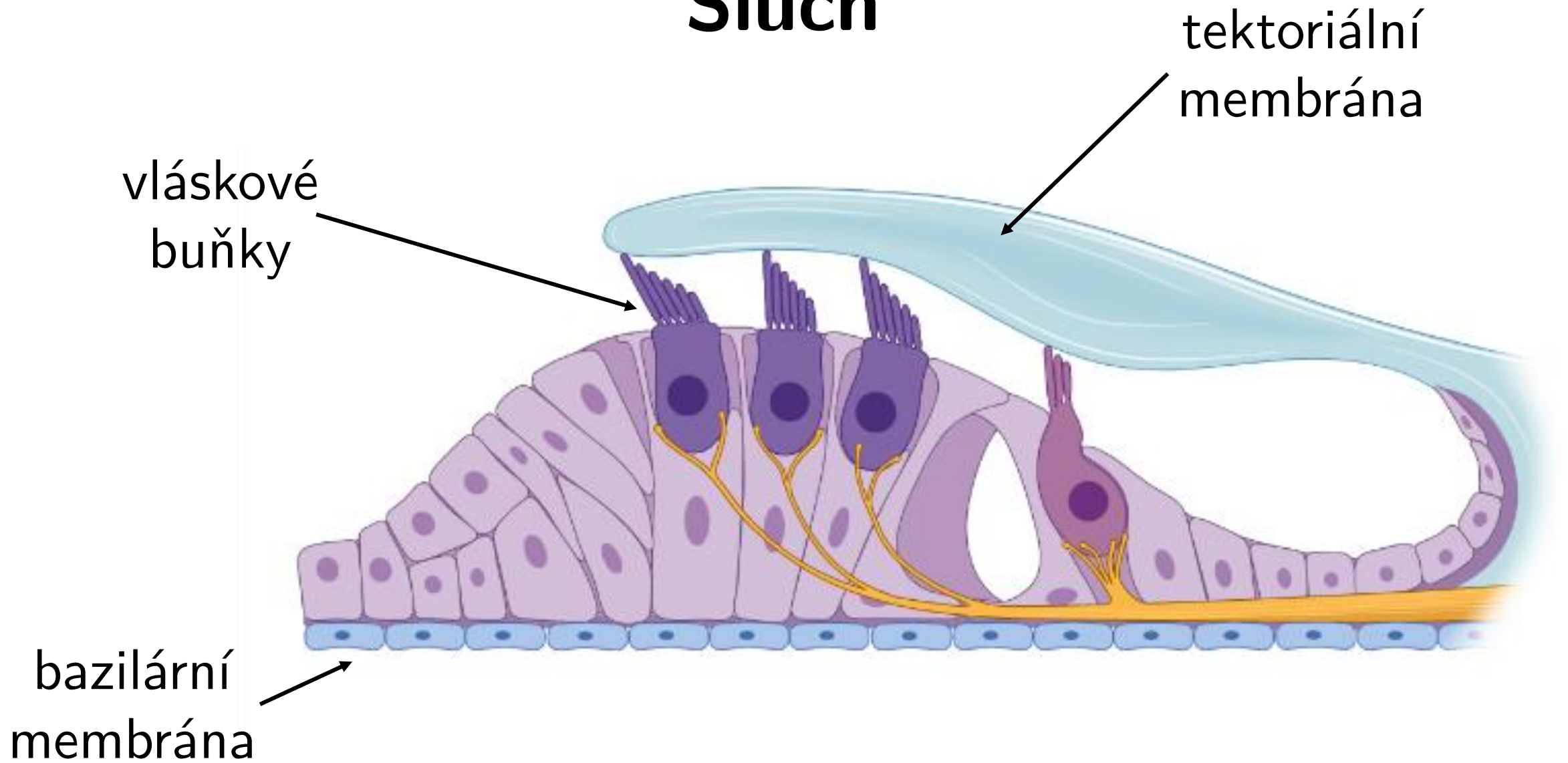
→ okrouhlé okénko (= místo vyrovnávání tlakových změn)

Sluch

- * vibrace bazilární membrány – posun receptorových vláskových buněk proti tektoriální membráně
- pohyb mechanicky řízených iontových kanálů
- změna prostupnosti membrány
- bazální pól vláskové buňky → akční potenciál
- vlákna *nervus cochlearis* → CNS



Sluch



Sluch

nervová vlákna **zachovávají** ve sluchové dráze **prostorovou orientaci**

→ projekce do **sluchové kůry** (komplexní podnět)

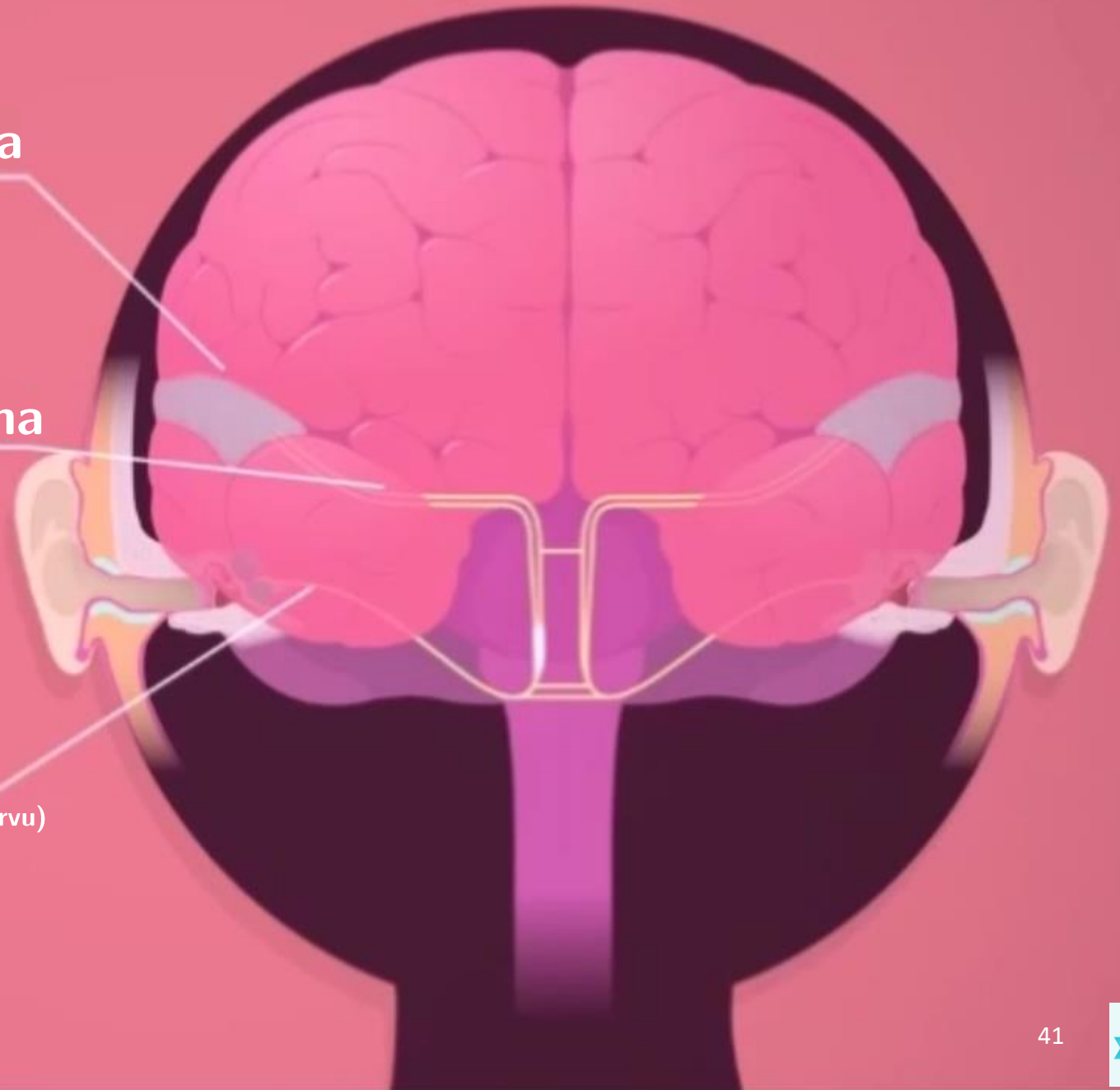
→ prostorová orientace zvuku

Sluch

sluchová kůra

sluchová dráha

sluchový nerv
(součást VIII. hlavového nervu)



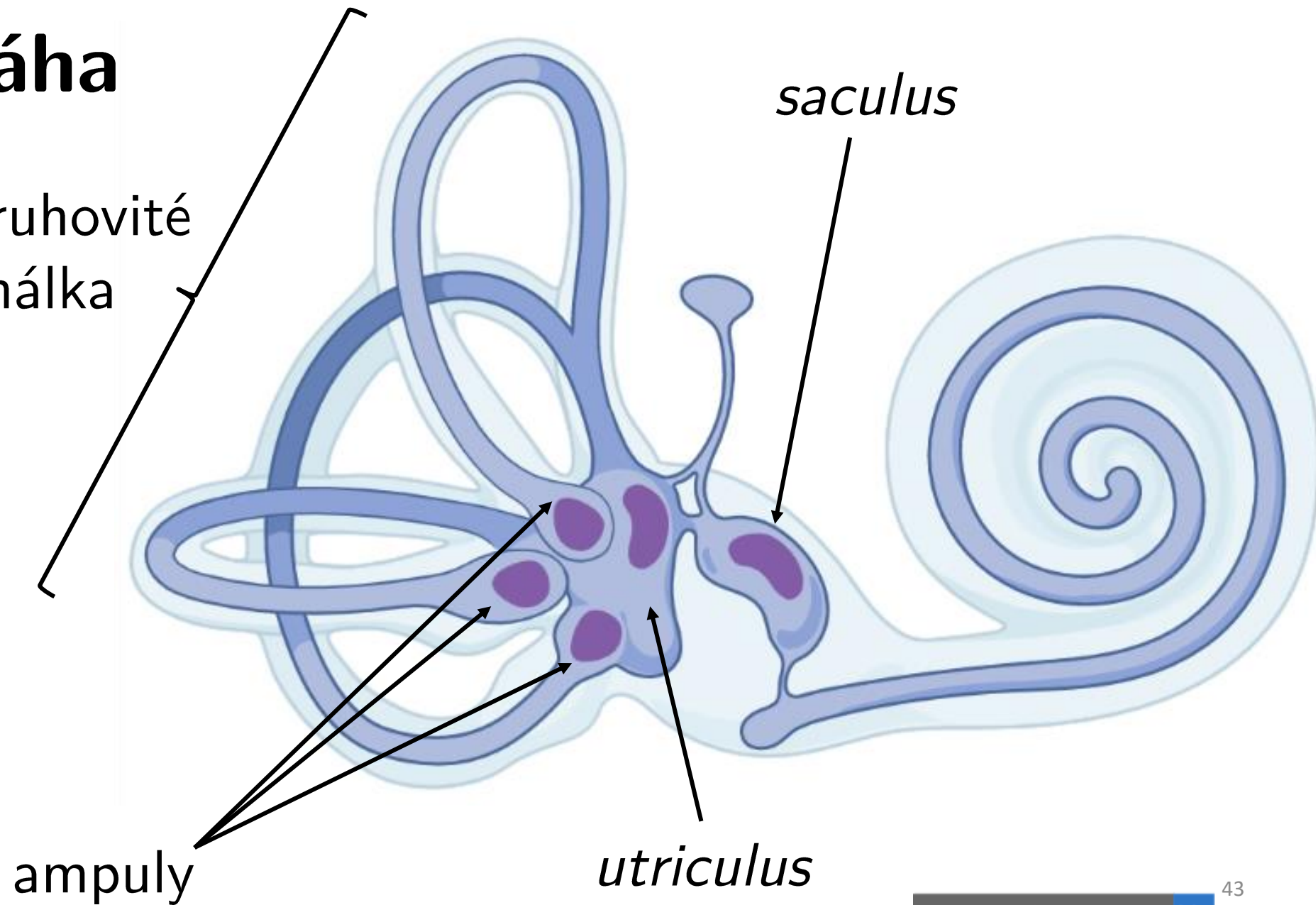
Rovnováha

VESTIBULÁRNÍ SYSTÉM = STATOKINETICKÝ APARÁT

- mechanoreceptory
- vláskové buňky
 - v ampulách polokruhovitých kanálků
 - ve váčcích otolitového orgánu
- aktivovány
 - poloha hlavy
 - lineární a úhlové zrychlení

Rovnováha

polokruhové
kanálka



ampuly

utricleus

saculus

Rovnováha

Polokruhovit  kanálky

- 3 na sebe kolmé roviny
- rozšířeny v *ampuly* (vláskové receptorové buňky)
- uvnitř endolymfa, okolo perilymfa
- tzv. statické čidlo (úhlové zrychlení)

Rovnováha

Úhlové zrychlení

- otočení hlavy → pohyb stěn kanálku vůči endolymfě
 - na začátku opoždění endolymfy
 - na konci její setrvačnost
- největší pohyb v kanálku s nejpodobnější rovinou pohybu

Rovnováha

klid

pohyb hlavy

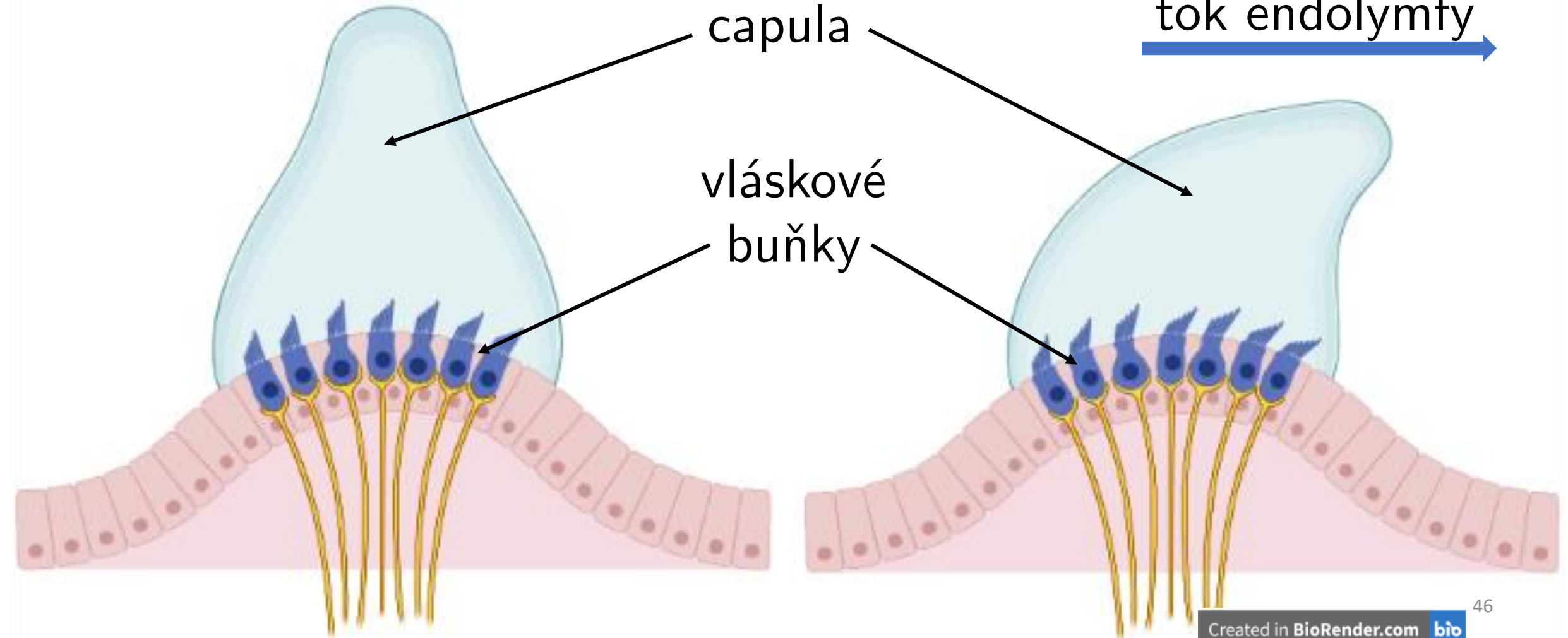


tok endolymfy



capula

vláskové
buňky



Rovnováha

Lineární zrychlení a změna polohy vůči gravitaci

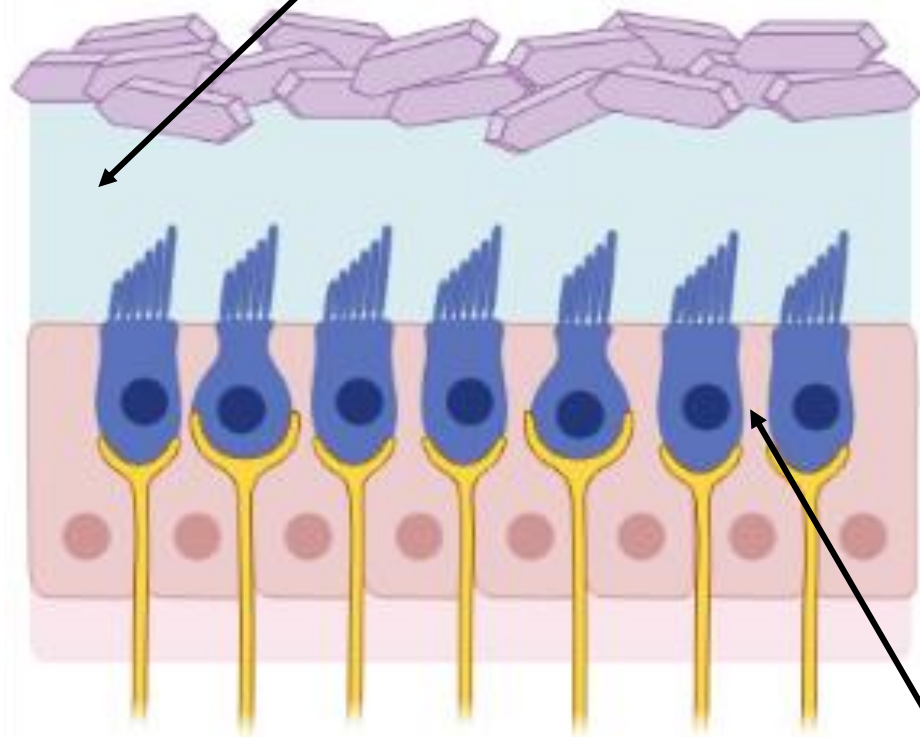
- otolitový orgán (*saculus, utriculus*)
 - *utriculus* – horizontálně (jízda vlakem) + gravitace
 - *saculus* – vertikálně (jízda výtahem) + gravitace
 - vláskové buňky (na povrchu krystalky uhličitanu vápenatého = otolit)

klidový
stav

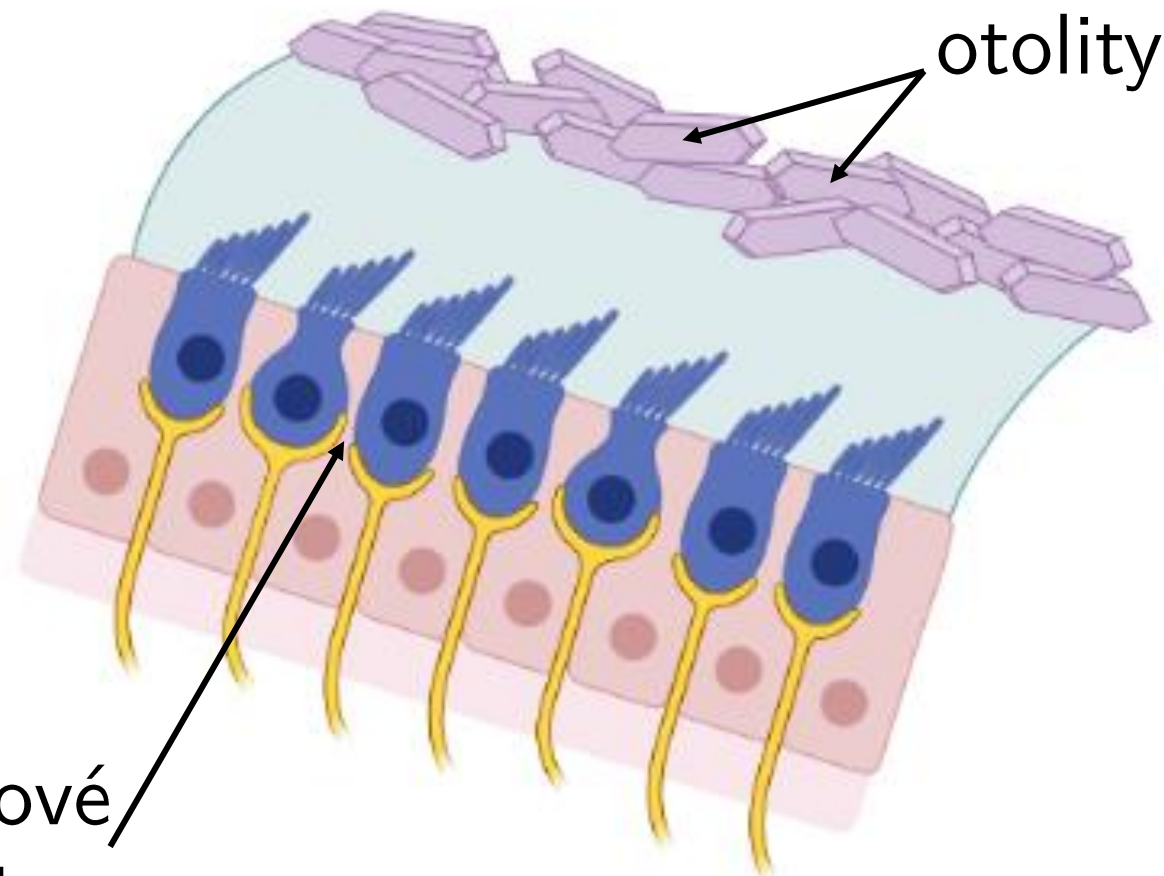
Rovnováha

pohyb hlavy/
gravitace

otolitová membrána



vláskové
buňky



Dotek a tlak

- Mechanoreceptory

- 1) rychle se adaptující (odpověď na začátek a konec podnětu)
= fázické receptory
- 2) pomalu adaptující (odpovídá trvalou aktivitou)
= tonické receptory

- různé typy – liší se stavbou přídatných struktur

(Meissnerovo tělísko, Merkelův disk, Paciniho tělísko, receptor chlupového folikulu, Ruffiniho tělísko, volná nervová zakončení)

Dotek a tlak

Meissnerovo
tělísko



- zapouzdřené nemyelinizované nervové zakončení
- pro hmat na prstech a rtech
- zapojeno do vnímání pocitů lehkých a povrchových vibrací
- rychlá adaptace

Ruffiniho
tělísko



- stočené nemyelinizované nervové zakončení
- je opouzdřeno kolagenní tkání
- ve škáře kůže, kloubních pouzdrech a vazech
- pomalá adaptace

Krauseho
tělísko



- podobné Meissnerovu tělísku, ale leží hlouběji

Vaterovo–
Paciniho
tělísko



- v podkožním vazivu pod škárou
- zaznamenává dotyk a tlak (i vibrace)
- jedno z nejsložitějších tělísek (stavbou)
- rychlá adaptace

volné
nervové
zakončení



- vnímání bolesti
- nespecifické nervové zakončení
- nejčastější forma zakončení neuronu
- nejčastěji v kůži (proniká epidermis a končí ve *stratum granulosum*)

Dotek a tlak

umožňuje vnímat

- jemné/silné tlakové změny
- rozlišit tvrdé/měkké
- určit tvar, vlastnosti povrchu

Bolest

- reakce na podnět, který by mohl zničit tkáň = obranný reflex
- receptory ve všech tkáních (mozek výjimka)
 - = zakončení nemyelinizovaných (volná) nervových vláken ($A\delta_{(\text{delta})}$ a C-vlákna)
 - citlivost 1000krát nižší jak u tlakových čidel



Bolest

- informace z $A\delta$ vláken \rightarrow specifickými drahami \rightarrow **thalamus** a somato-senzorická oblast **kůry**
= ostrá, lokalizovaná, „rychlá bolest“
- informace z C-vláken – pomalejší \rightarrow nespecifické dráhy **retikulární formace** = tupá, hůře lokalizovatelná bolest
 \rightarrow emoční motiv k odstranění podnětu + **lymbický systém** (emoce)

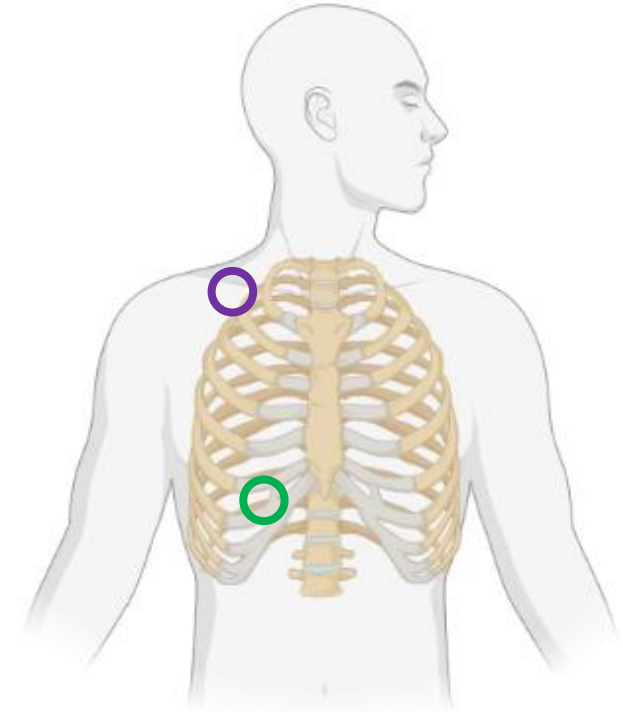
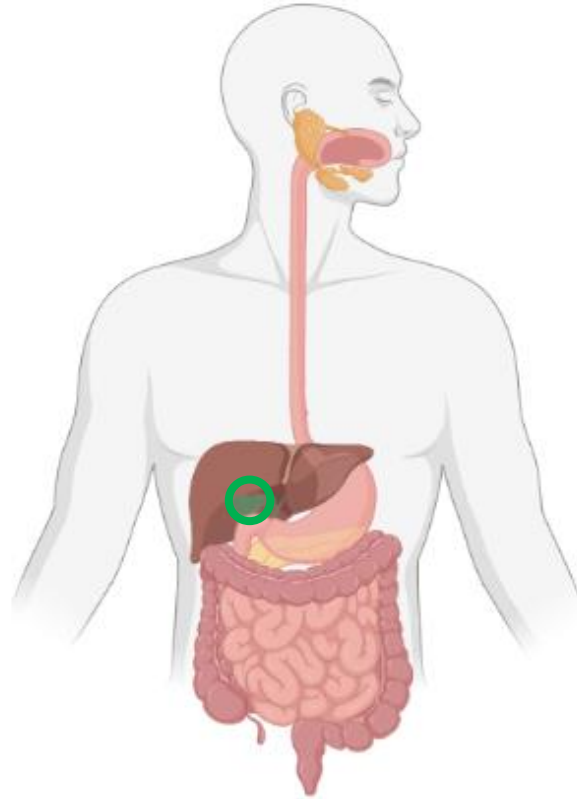
Bolest

EMOCE

- silný pozitivně emoční náboj – snížení vnímání bolesti
- negativní emoční náboj – zvýšení vnímání bolesti

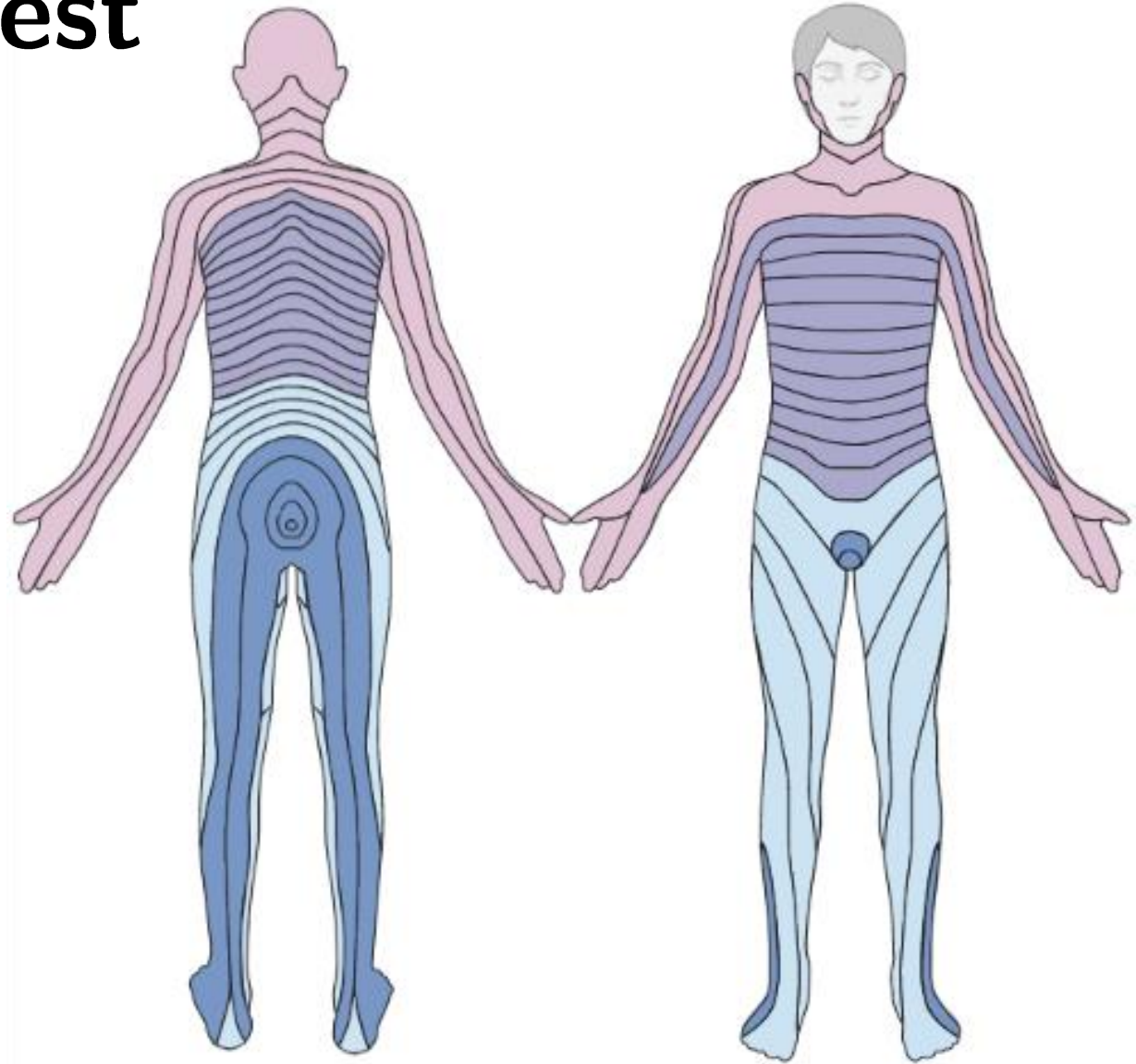
Bolest

- z vnitřních orgánů
 - špatně lokalizovatelná
 - často projekce do kůže
→ nervová vlákna ze stejného nervového segmentu



Bolest

- z vnitřních orgánů
 - dermatomy
= pásy kůže, oblasti
útroob a svalů, inervované
senzitivně stejnými
zadními míšními kořeny



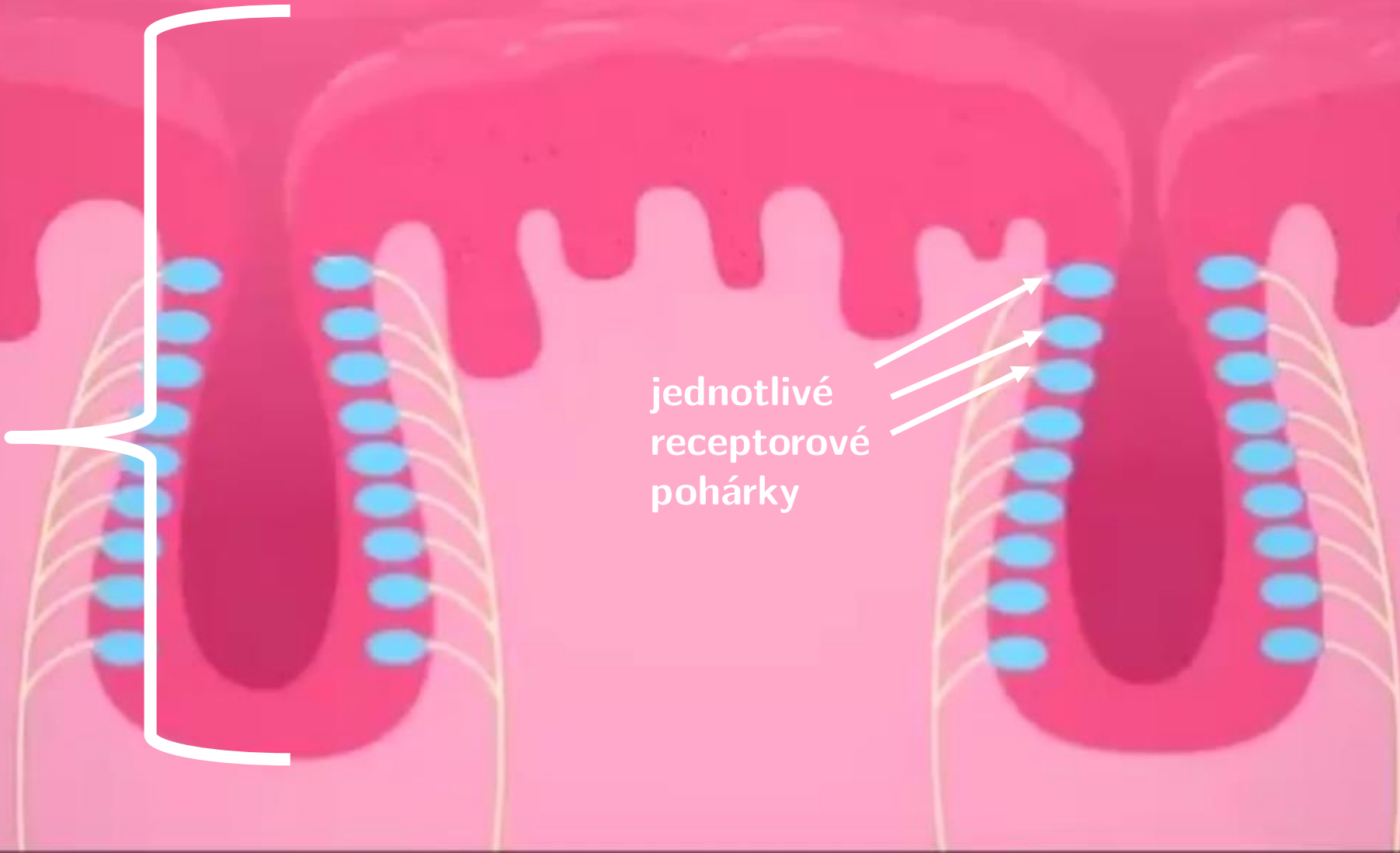
Chuť

- chemoreceptory
- jazyk, patro, hltan, horní část jícnu
- chuťové pohárky - buňky žijí jen cca 2 týdny (receptorové buňky, podpůrné buňky)
- pouze u látek rozpustných ve vodě
 - sladká – molekuly na bílkovinné senzory membrány
 - slaná – prostup Na^+ do buněk
 - kyselá a hořká – prostup H^+ iontů membránou
- dlouhodobé působení podnětu → adaptace

Chuť

papila
s chuťovými
pohárky

jednotlivé
receptorové
pohárky

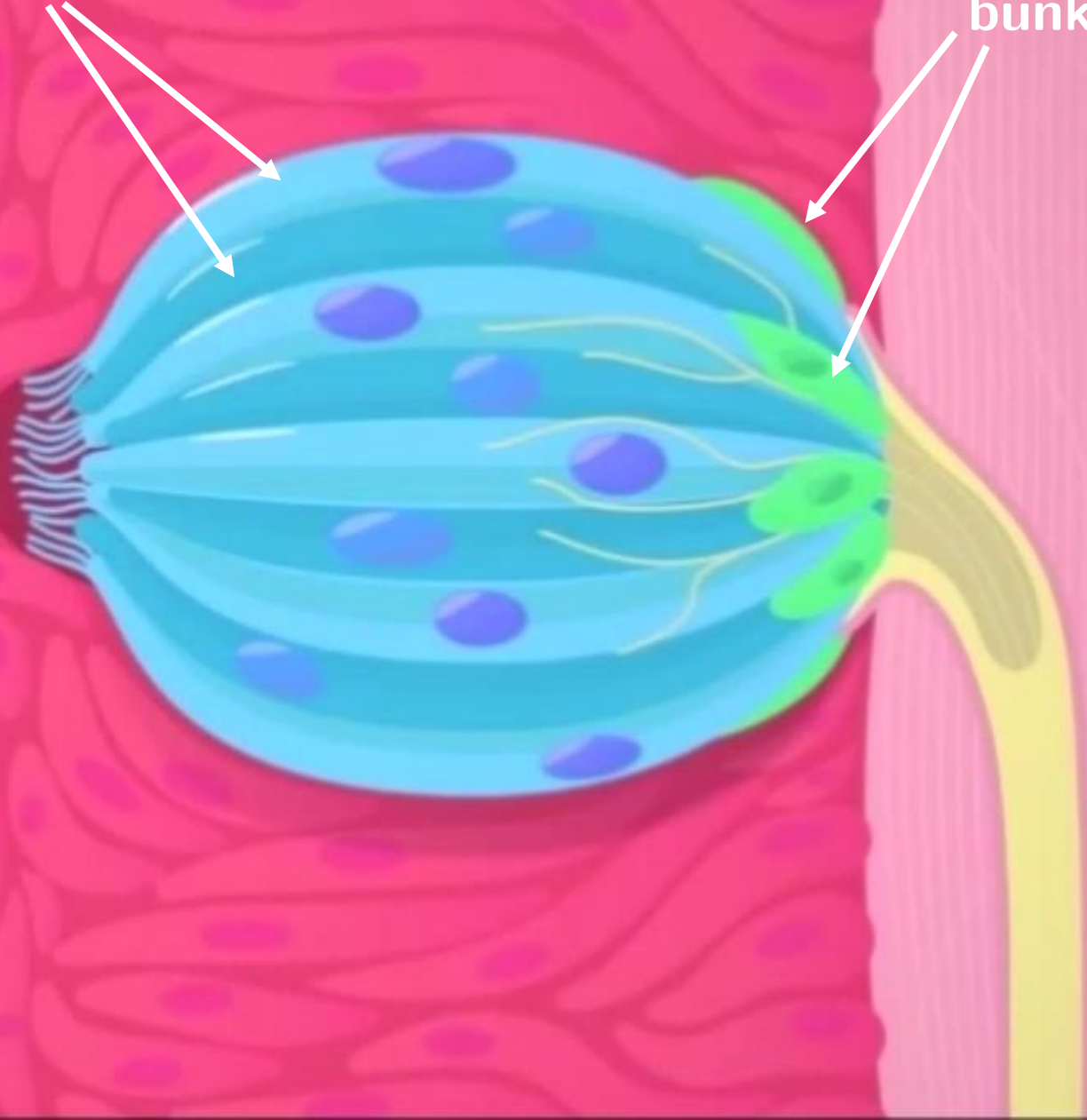
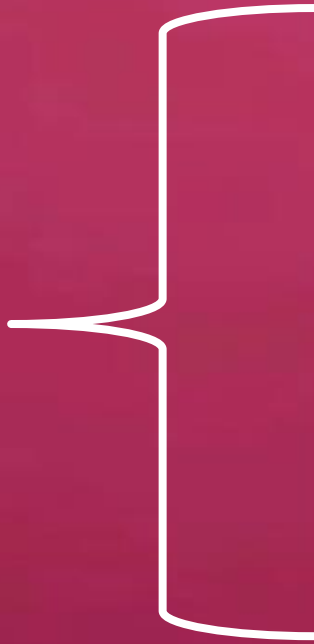


Chuť

chuťový
pohárek

chuťové
(receptorové)
buňky

podpůrné
buňky



Chuť

- aferentní vlákna chuťových pohárků = výběžky VII., IX. a X. hlavového nervu

→ VII. = *n. facialis* (lícní nerv)

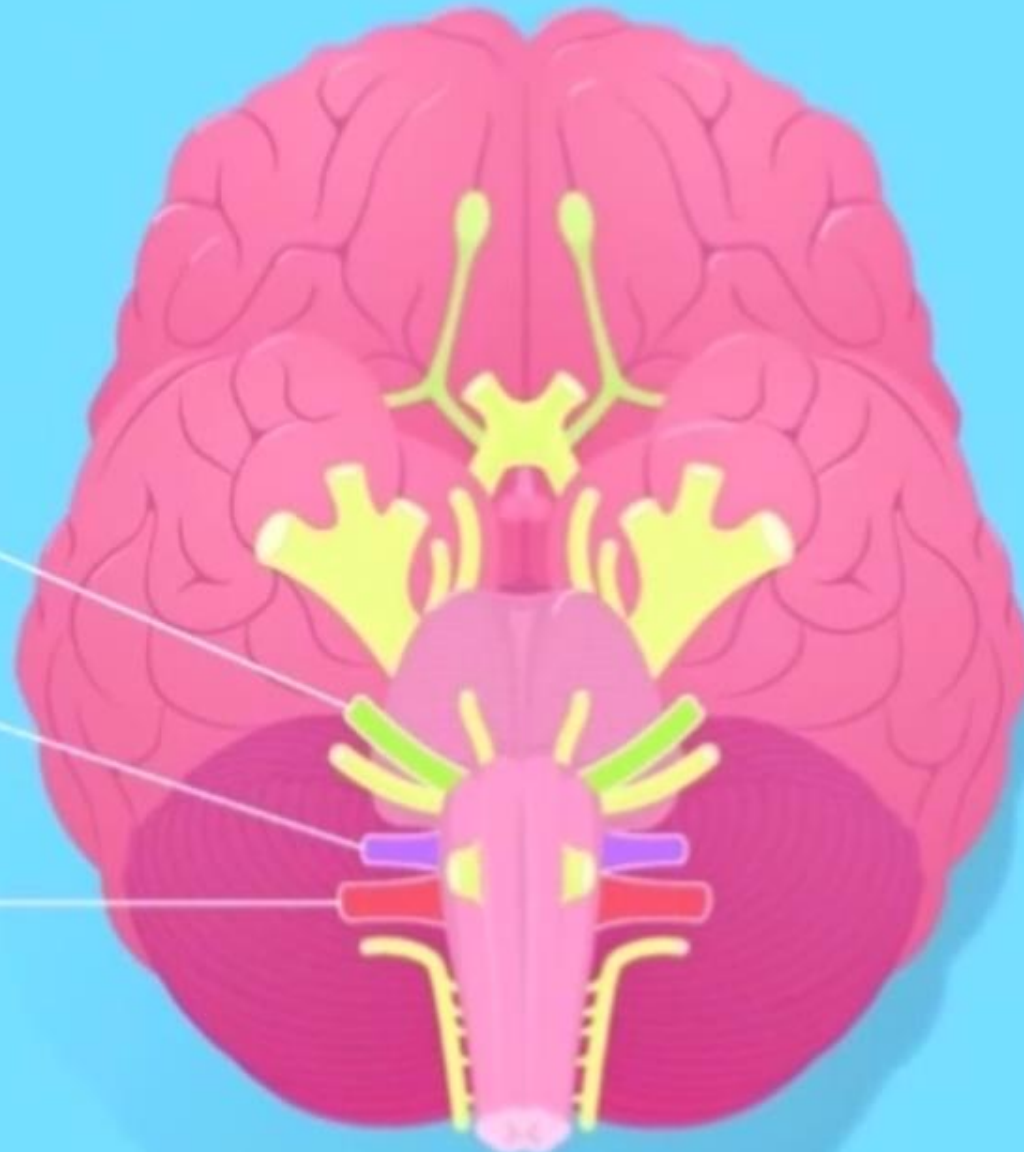
→ IX. = *n. glossopharyngeus* (jazykohltanový nerv)

→ X. = *n. vagus* (bloudivý nerv)

→ chuťová centra **mozkového kmene** projekce i do **talamu** a **mozkové kůry** + **retikulární formace** mozkového kmene a **lymbický systém** (hypotalamus) = emoce

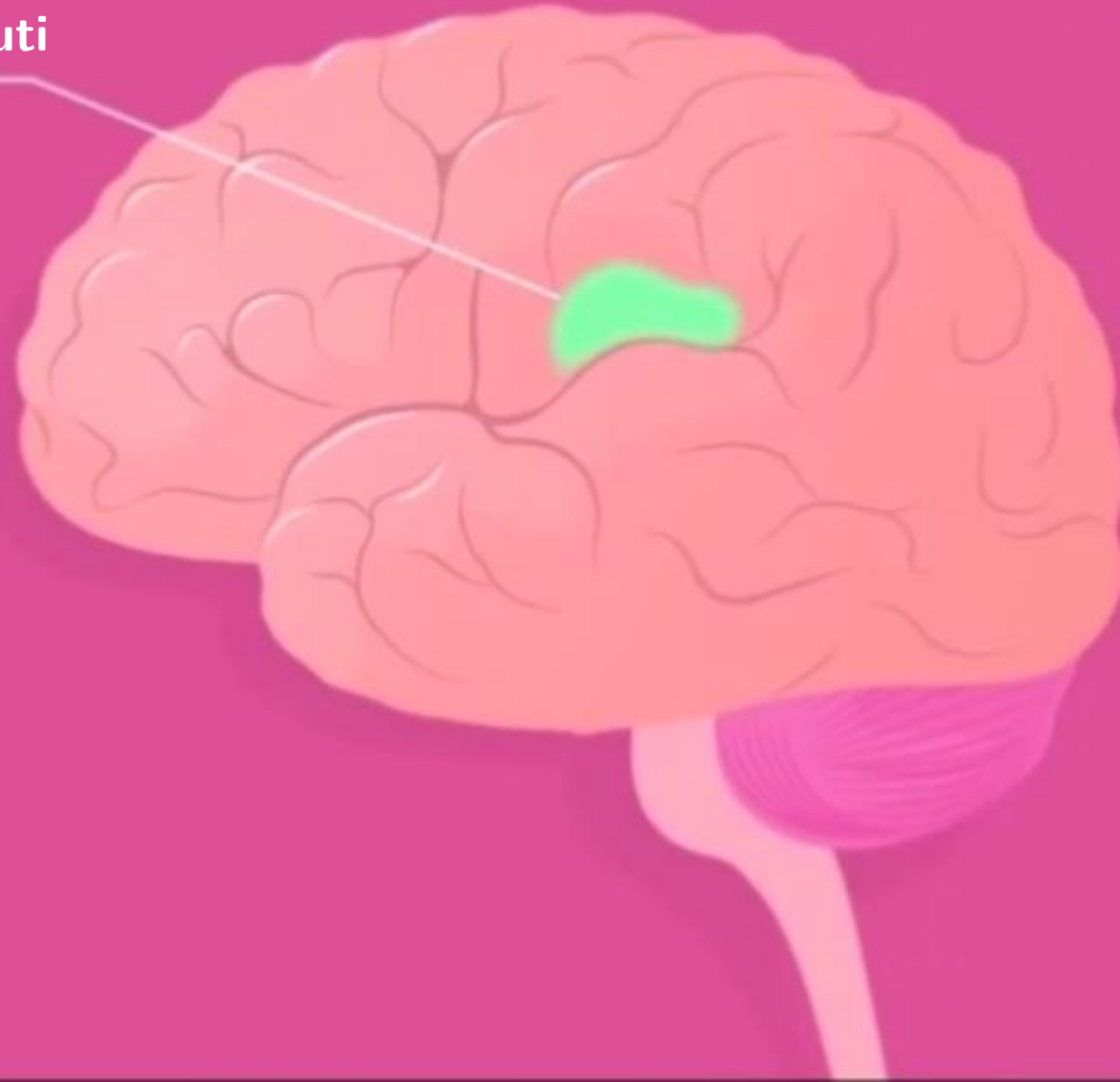
Chuť

- lícní nerv 7
- jazykohltanový nerv 9
- bloudivý nerv 10



Chuť

korové centrum chuti



Čich

- nejvyšší senzorický vstup (potrava, rozmnožování)
 - čichový epitel – velmi malá plocha
- = receptorové buňky (bipolární neuron schopný regenerace)
+ podpůrné buňky + hlenové buňky

čichové dráhy z *bulbus olfactorius*

→ různé oddíly mozku

- **korová** projekce + projekce do **lymbického systému**

= emoční zabarvení čichových vjemů

Čich

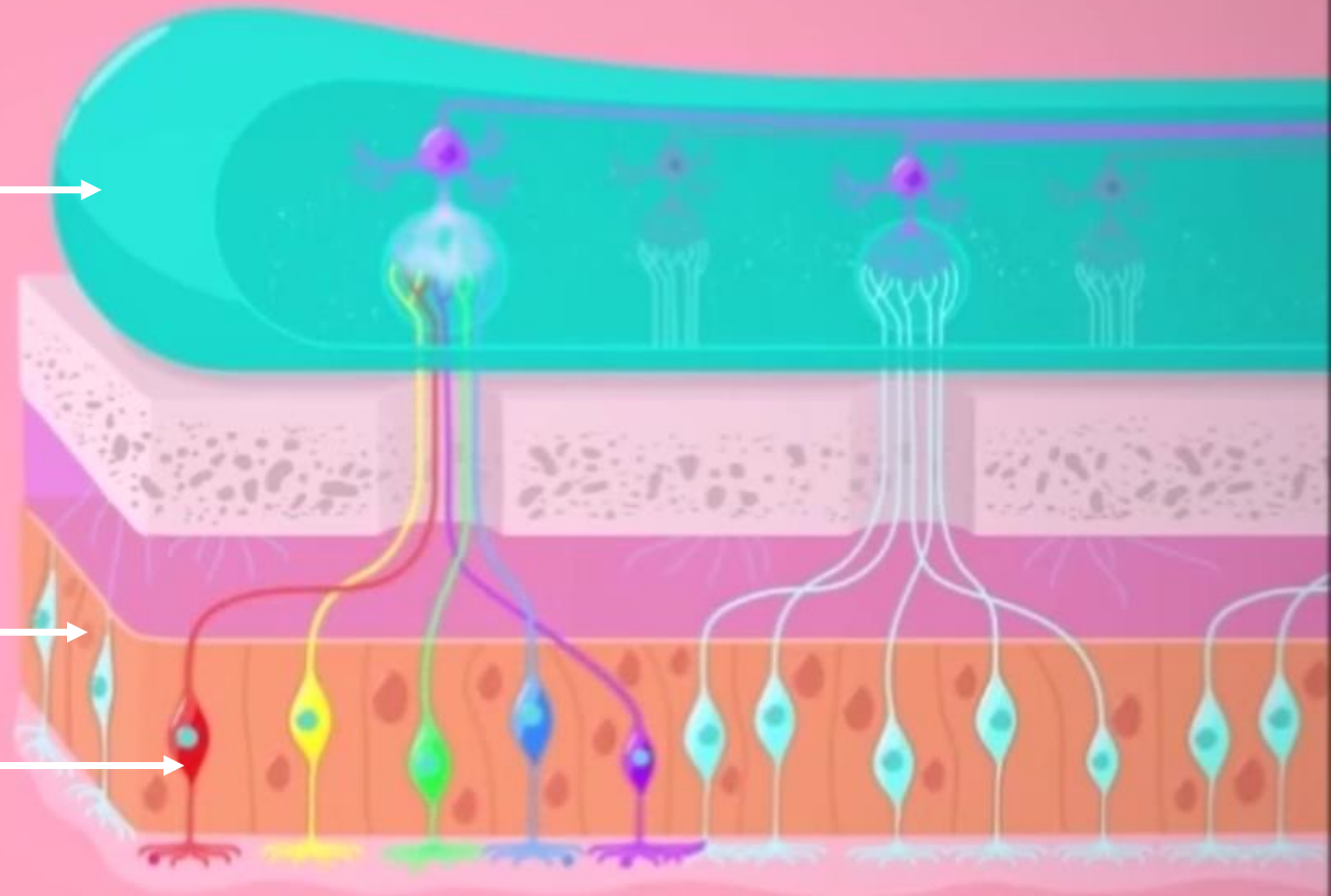


Čich

bulbus olfactorius

podpůrné a
hlenové buňka

bipolární neuron



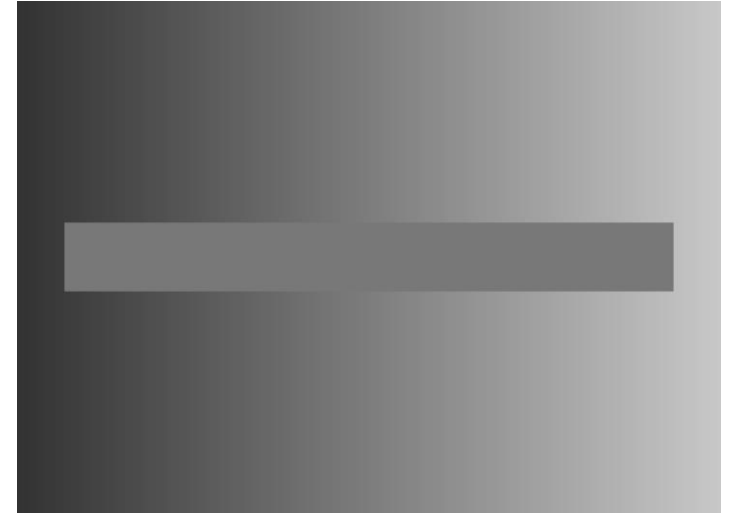
Čich

*korové čichové
centrum*

čichová dráha



Zrak



- vnímání
 - elektromagnetického vlnění 400-750 nm
 - jasů
 - kontrastu (rozdíl barevného odstínu sousedních ploch)
- vznik vjemu = podráždění receptorů sítnice
- obraz na sítnici – převrácený, zmenšený

Zrak

- optický aparát oka
 - čočka
 - duhovka, zornice
- sítnice
- přídatné orgány oka
 - oční víčka
 - slzné žlázy
 - okohybné svaly, ochranný tukový polštář

Zrak

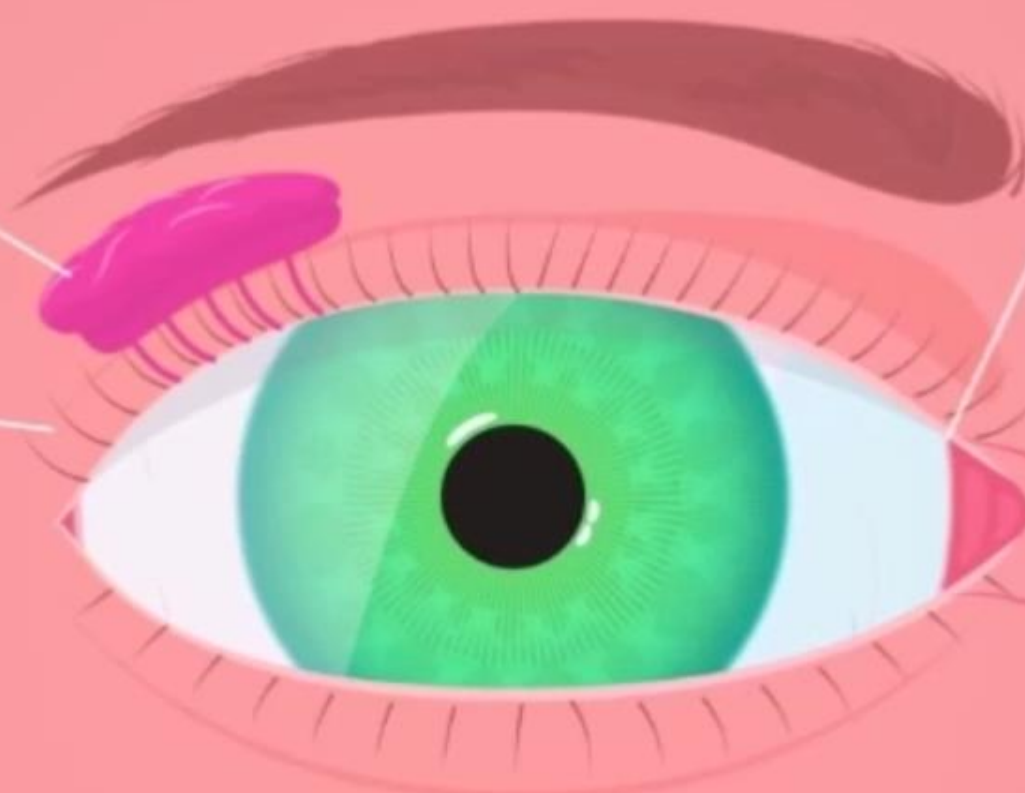
slzná žláza

oční víčko

slzný bod

slzný kanálek

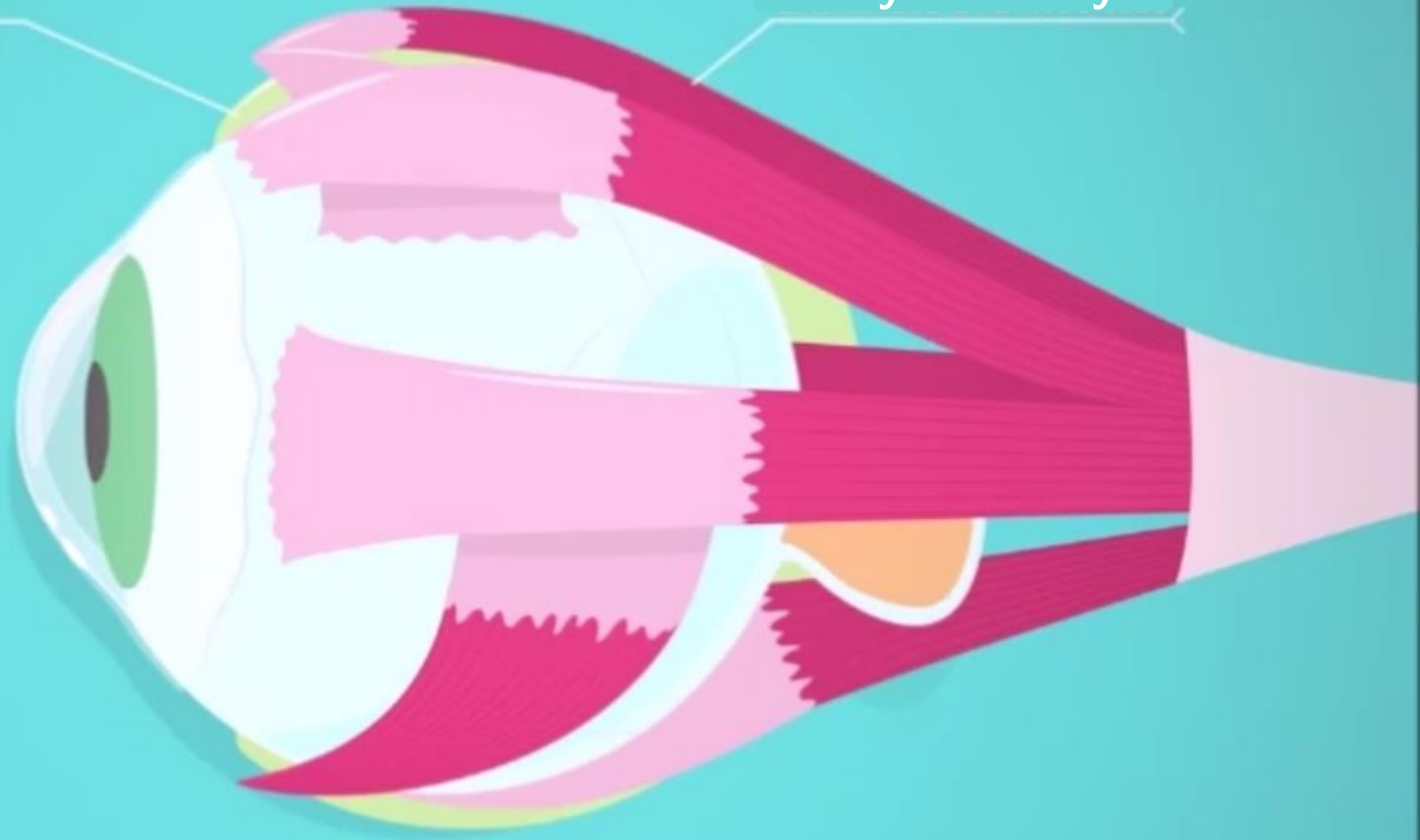
slzný vak



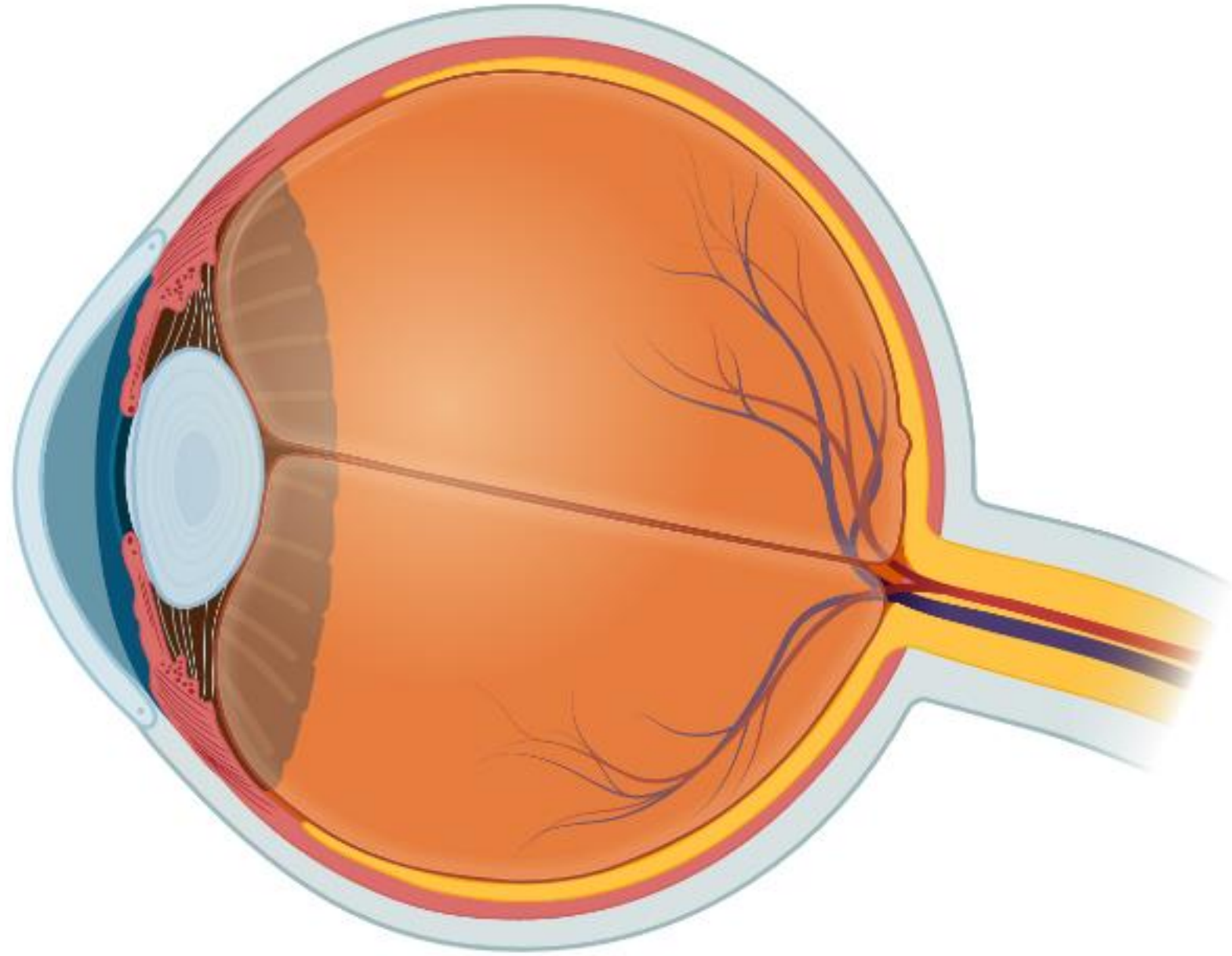
Zrak

ochranný tuk

okohybné svaly



Zrak



Zrak

ČOČKA

- výživa difuzně z komorové tekutiny → centrální část stárne (ztráta pružnosti) → vznik PRESBYOPIE (brýle „na blízko“)
- schopnost akomodace (úprava lomivosti) - ciliární svaly (stah řízen parasymptikem)

vady čočky

- myopie = obraz vzniká před sítnicí - brýle s rozptylkou (čočka)
- hypermetropie = obraz vzniká za sítnicí - brýle se spojkou
- katarakta = šedý zákal, ztráta průhlednosti čočky

Zrak

DUHOVKA

- pigment = neprostupná pro světlo
- paprscitý a kruhovitý sval = změna velikosti zornice

ZORNICE

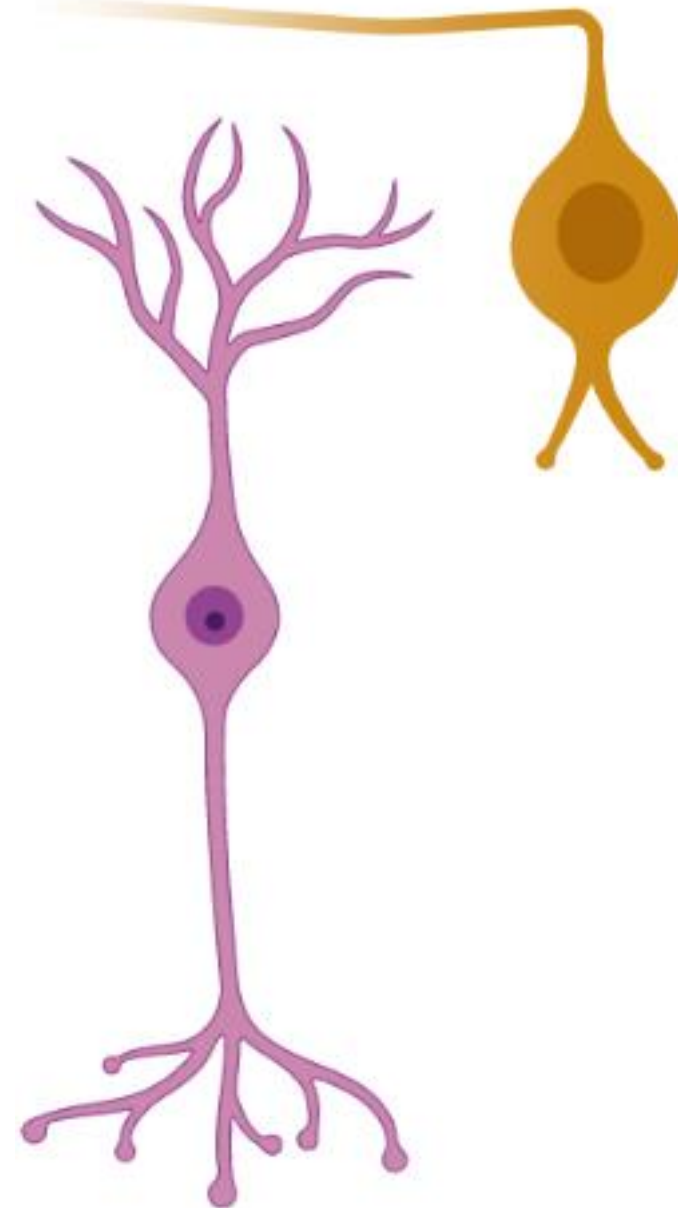
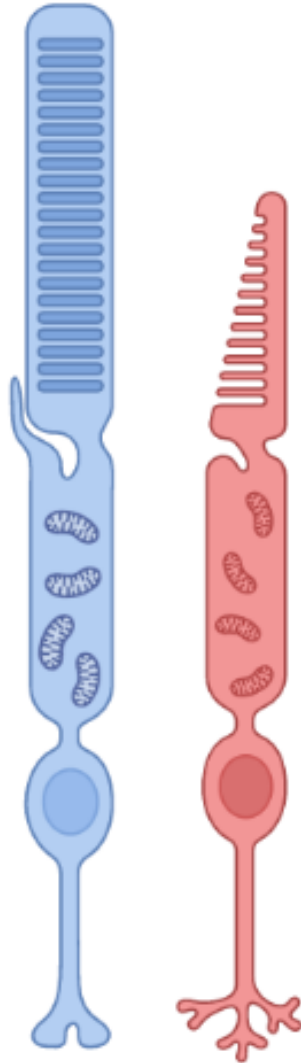
- spánek – zúžená, bezvědomí – rozšířená

Zrak

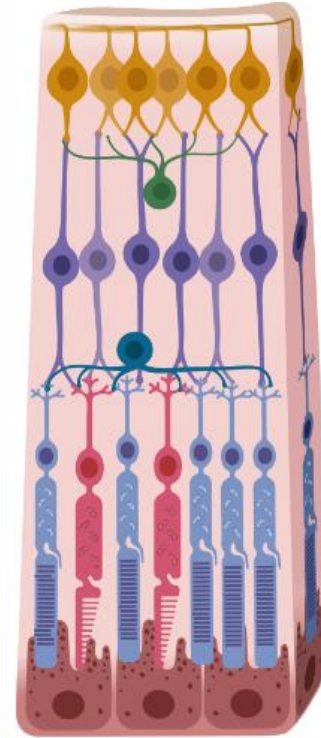
SÍTNICE

vnitřní vrstva

- tyčinky
- čípky
- bipolární neurony
- gangliové buňky



Zrak



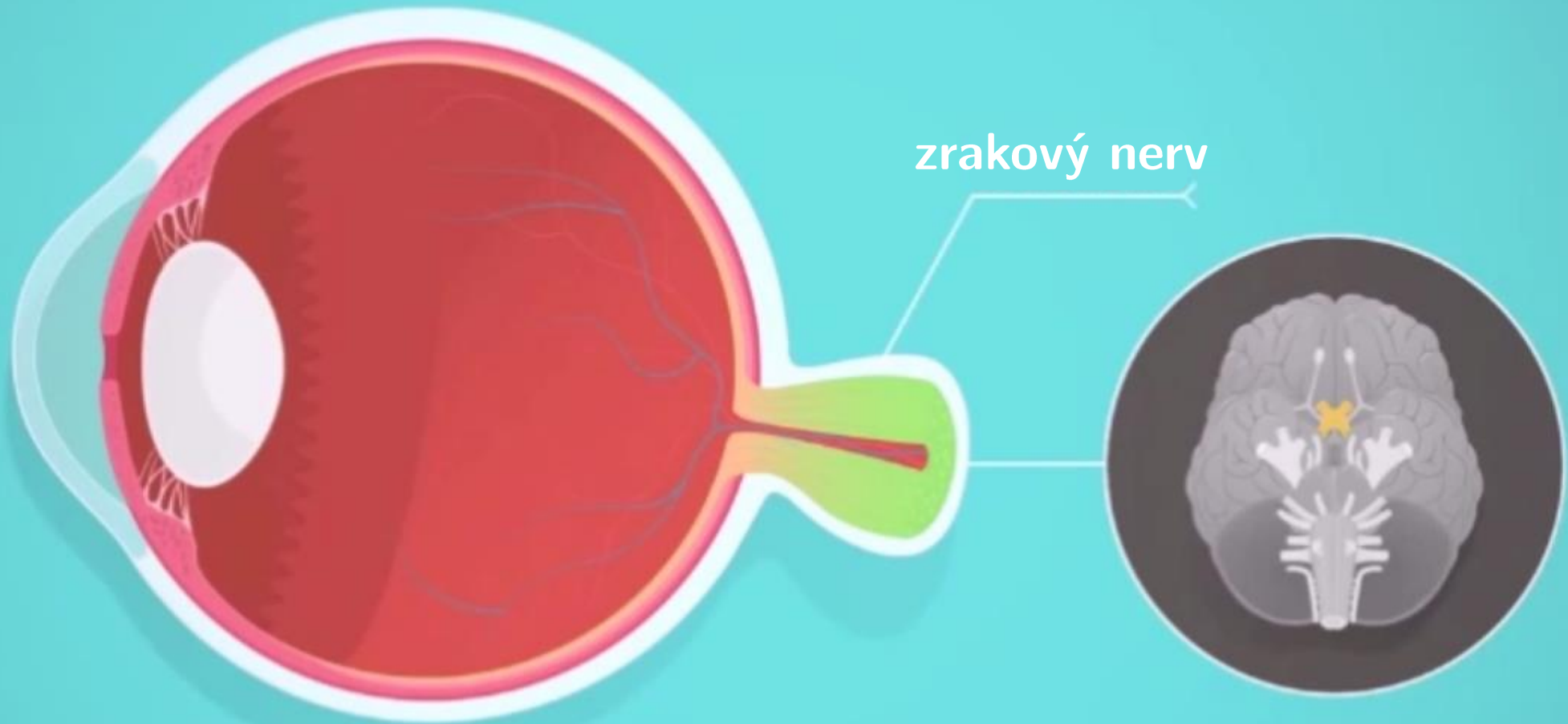
zraková dráha

tyčinky + čípky

- bipolární neurony
- gangliové neurony
- zrakový nerv
- **talamus**
- týlní oblast **mozkové kůry** (+ vlákna do jader **mozkového kmene**, **mozečku**, **retikulární formace**)

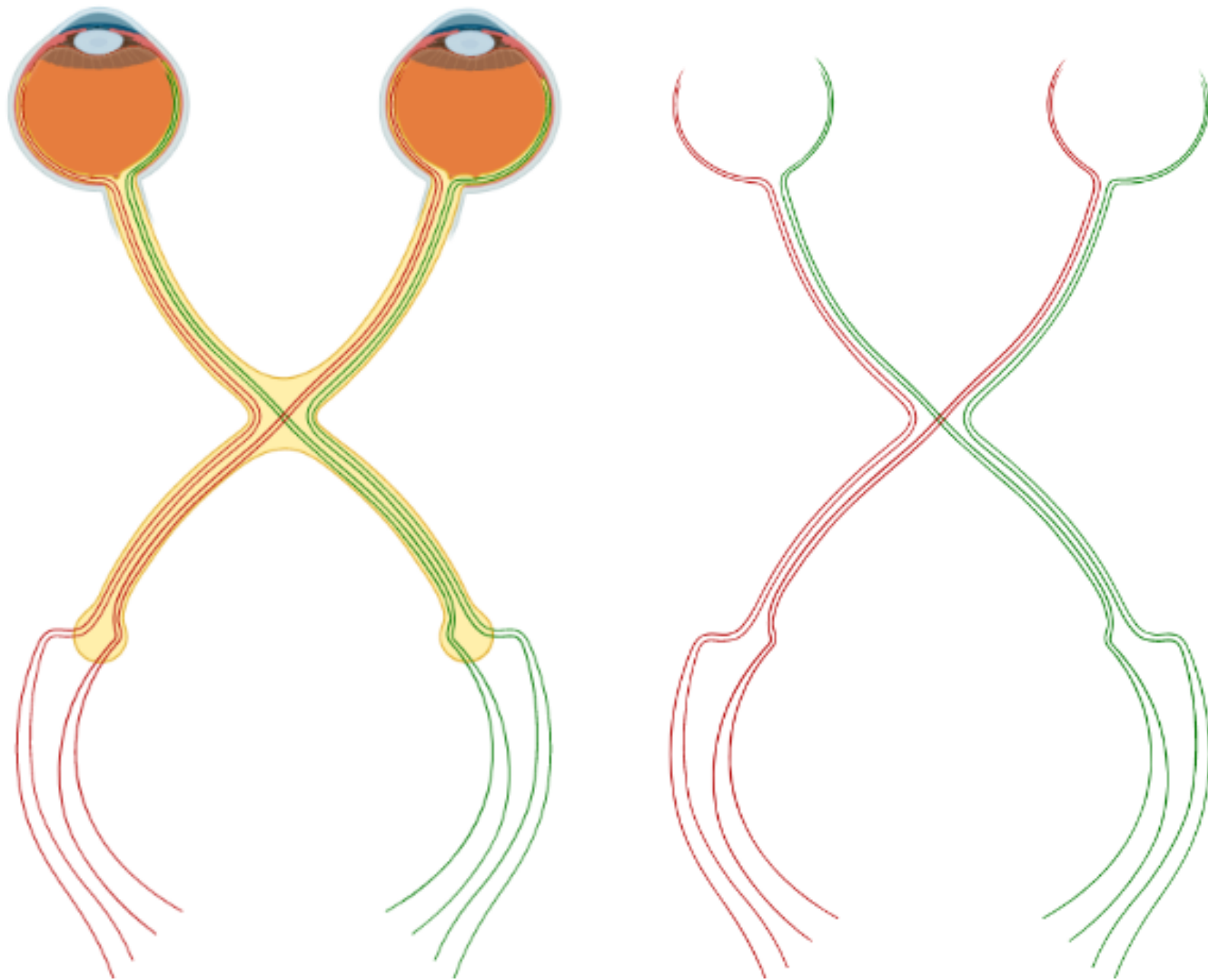
- axony gangliových buněk – křížení = *chiasma opticum*
 - každá mozková hemisféra – informace ze **stejnolehlé** poloviny oka

Zrak



Zrak

- axony gangliových buněk – křížení
= *chiasma opticum*
 - každá mozková hemisféra –
informace ze **stejnolehlé**
poloviny oka



Zrak

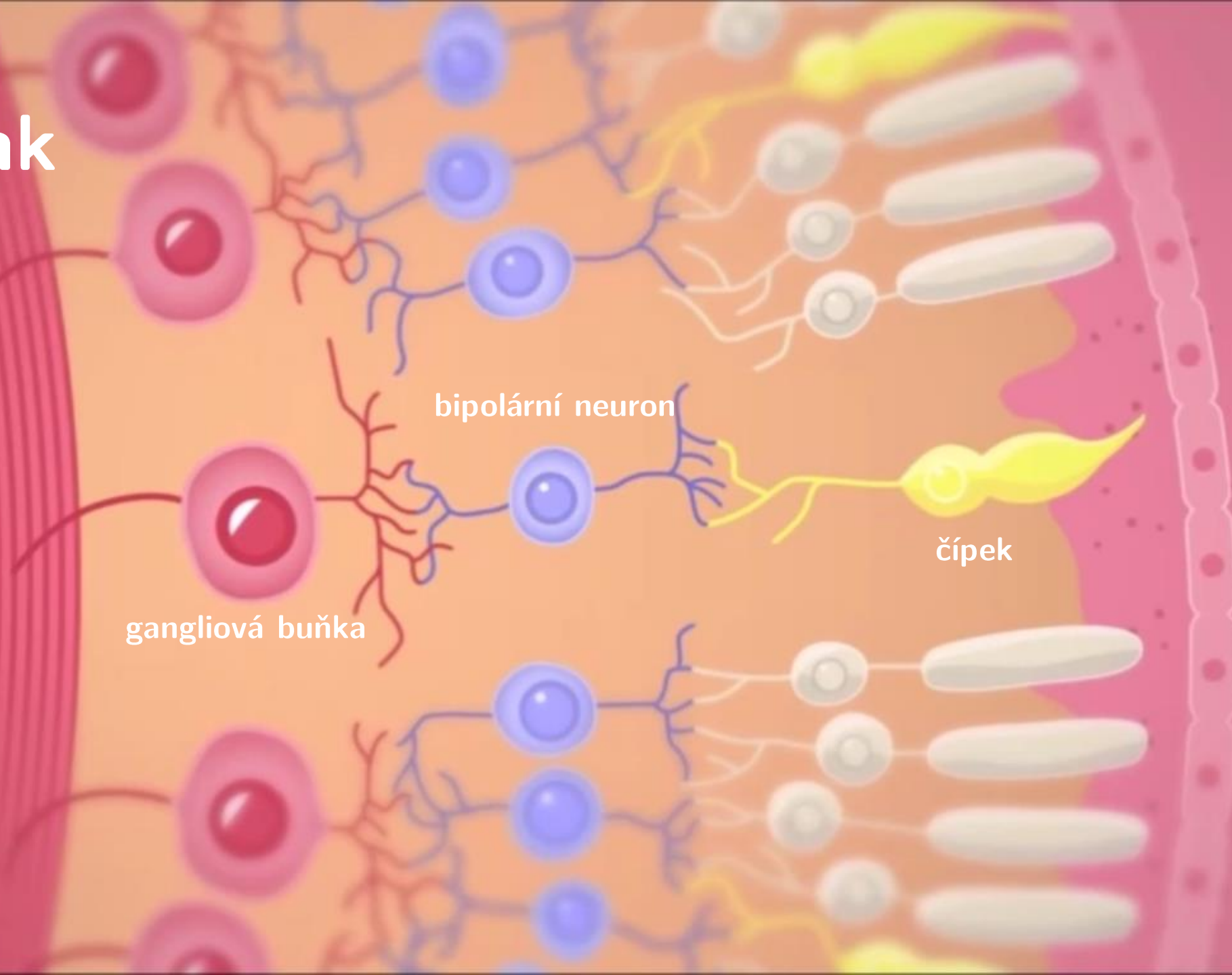
čípky

- v centrálních partiích sítnice
- přímé spojení do vyšších oddílů mozku
- 3 druhy – barevné vidění
- 1 čípek = 1 bipolární neuron

tyčinky

- citlivější
- vidění v horších světelných podmínkách
- konvergence = neurony své dráhy sdílejí → sčítání signálu
→ vyšší citlivost

Zrak

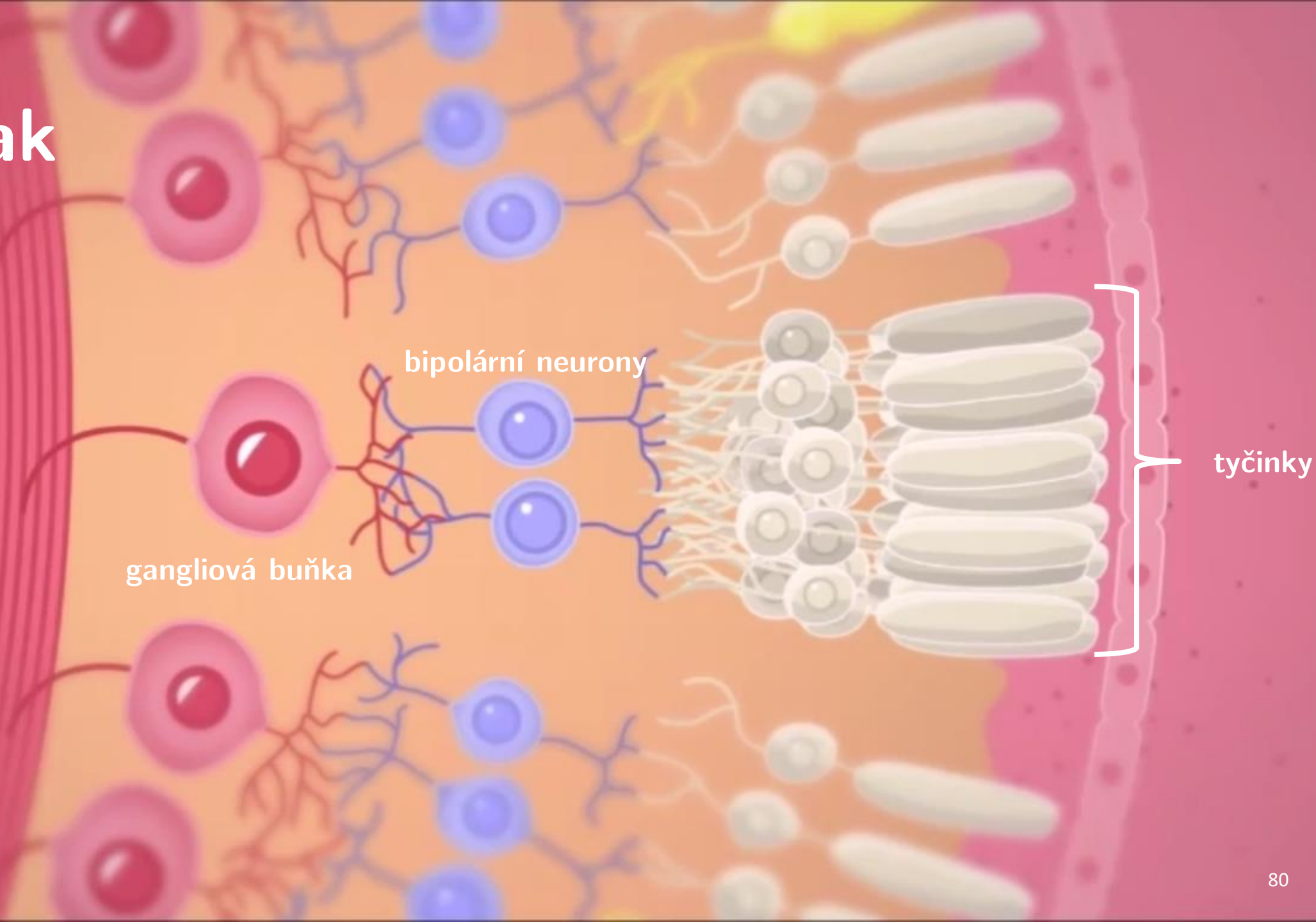


gangliová buňka

bipolární neuron

čípek

Zrak



bipolární neurony

gangliová buňka

tyčinky

Šedý zákal - katarakta



- zakalení čočky

Zelený zákal - glaukom

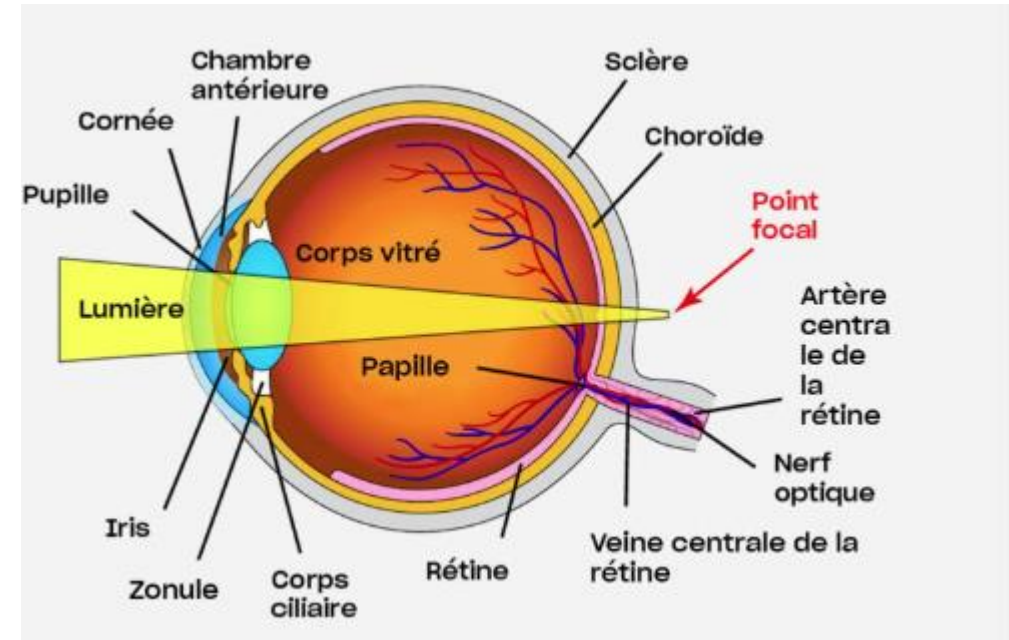


- neuropatie zrakového nervu

Krátkozrakost - myopie



Dalekokožrakost - hyperopie



Barvoslepost

normální vidění, achromatomalie a achromazie



Barvoslepost

- anomální trichromazie

- a) protanopie

- chybí senzory pro červenou barvu

- b) deuteranopie

- chybí senzory pro zelenou barvu

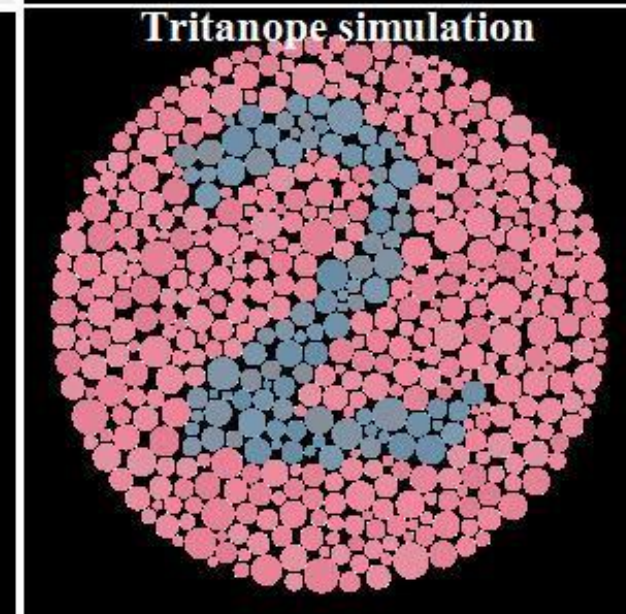
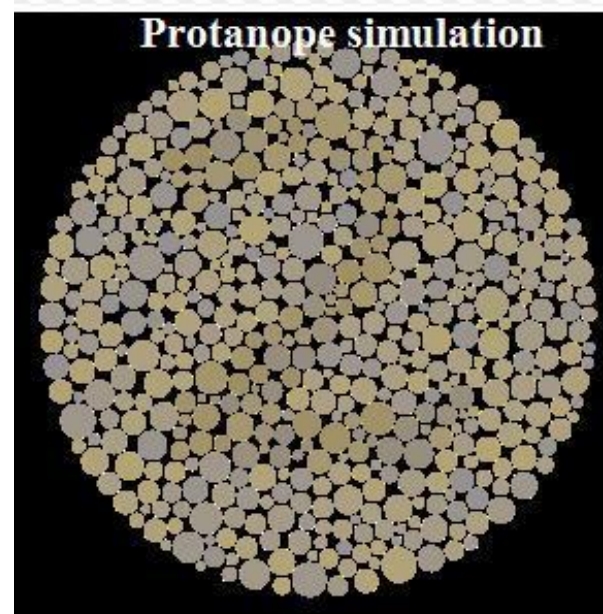
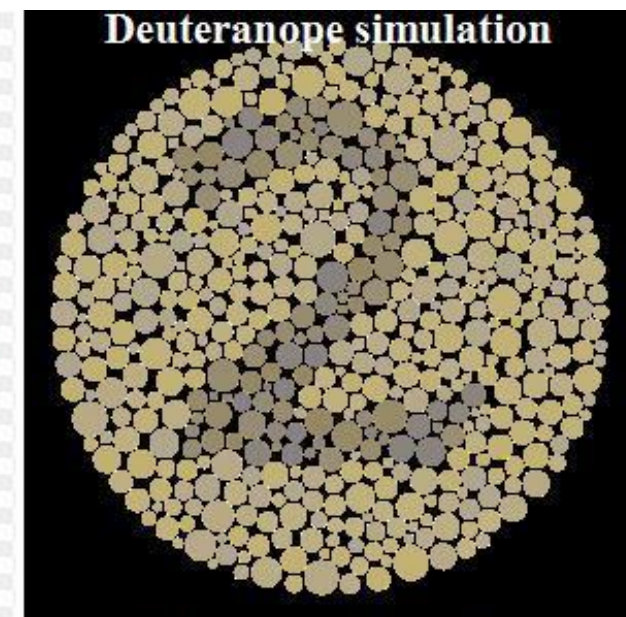
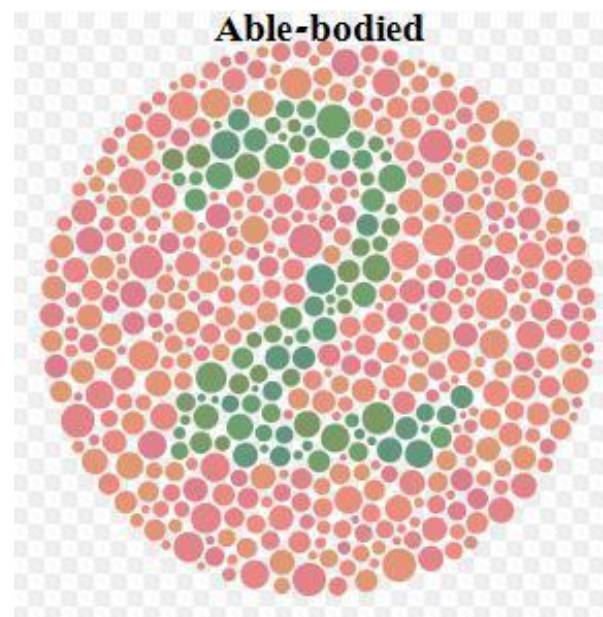
- c) tritanopie

- chybí senzory pro modrou barvu




Barvoslepost

Simulace různých typů poruch barvocitu



Děkuji za pozornost!

Zdroje

- LANGMEIER, Miloš. *Základy lékařské fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2526-0.
- SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka: překlad 8. německého vydání. 4. české vydání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4271-7.
- MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada, 2012. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-3918-2.
- ROKYTA, Richard. *Fyziologie*. Třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství Galén). Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.
- CrashCourse: Anatomy & Physiology [online]. [cit. 2021-09-20]. Dostupné z:  <https://thecrashcourse.tumblr.com/downloads/anatomyphysiology>
- Interactive Biology: 031 How Rods and Cones respond to Light. In: Youtube [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Fm45A4yjmvo&list=PL25AE732D9E27096D&index=31&ab_channel=InteractiveBiology
- Paroc: Obecné informace o zvuku. In: Paroccz [online]. [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/obecne-informace-o-zvuku>
- Obrázky zpracované v <https://BioRender.com/> 