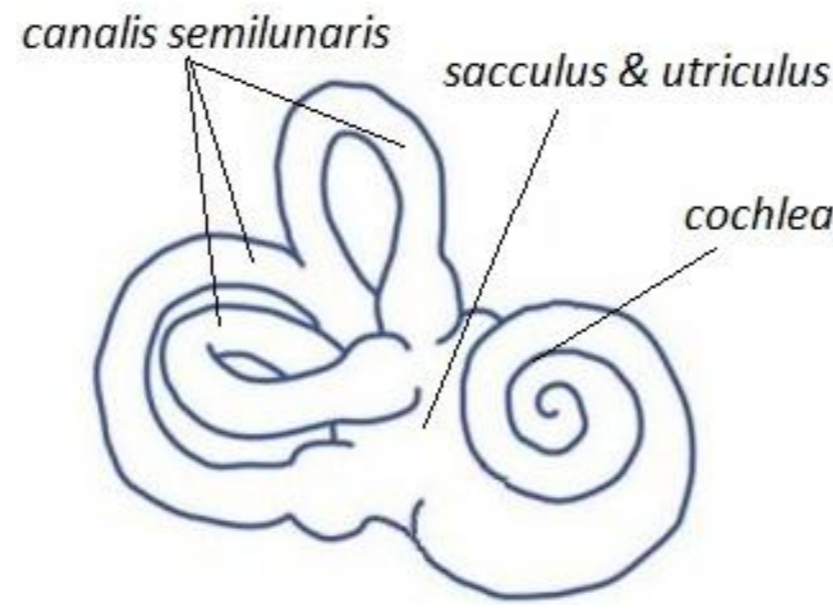


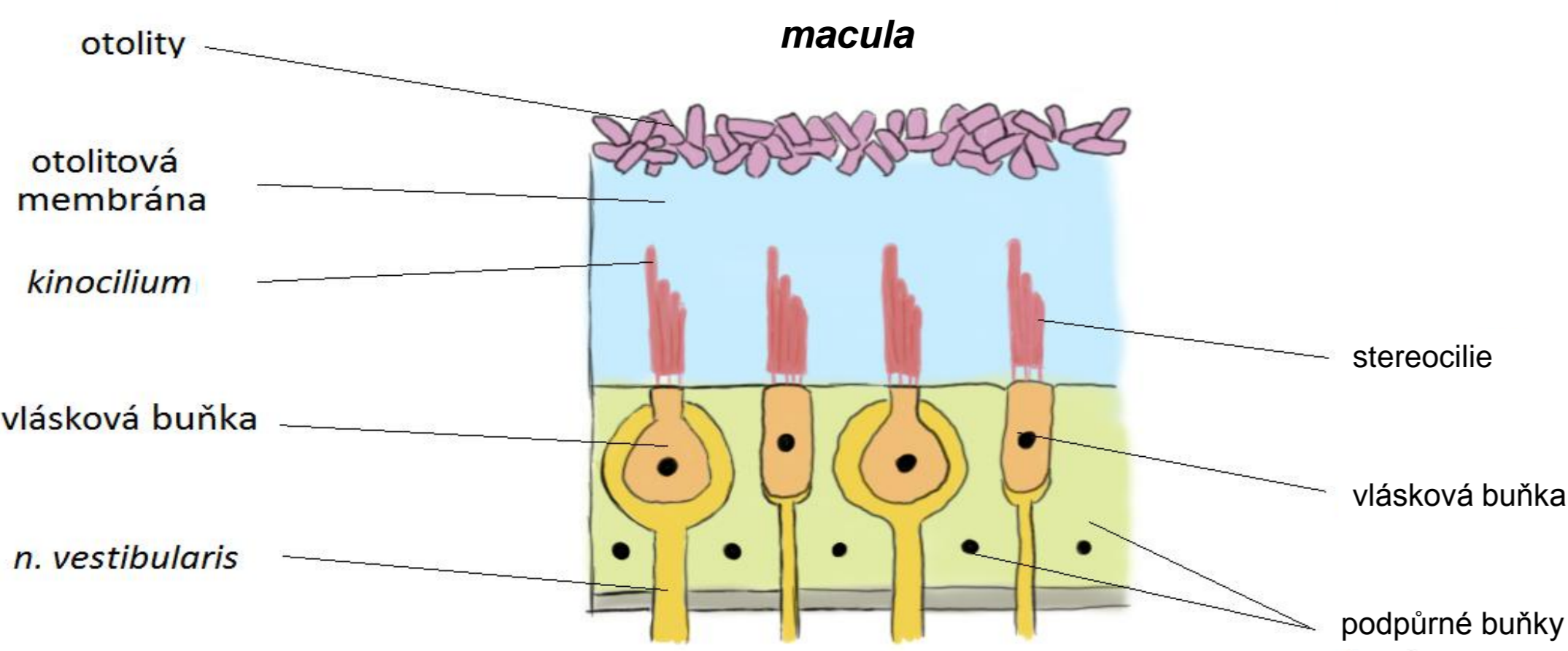
Anatomický úvod - Rovnováha

- Vestibulární aparát se skládá ze dvou samostatných sensorických orgánů.
- Z anatomického hlediska se jedná o dva blanité vřívky a tři polokruhovitě kanálky.
- Oba vřívky (**sacculus a utriculus**) jsou uloženy ve společné dutině kostěného labyrintu (**vestibulum**).
- Tři navzájem na sebe kolmé polokruhovitě kanálky (**canalis semicircularis anterior, posterior a lateralis**) mají ampulovitě rozšířený konec (**ampulla**), kterým ústí do utrikula.



Statické čidlo – utriculus a sacculus

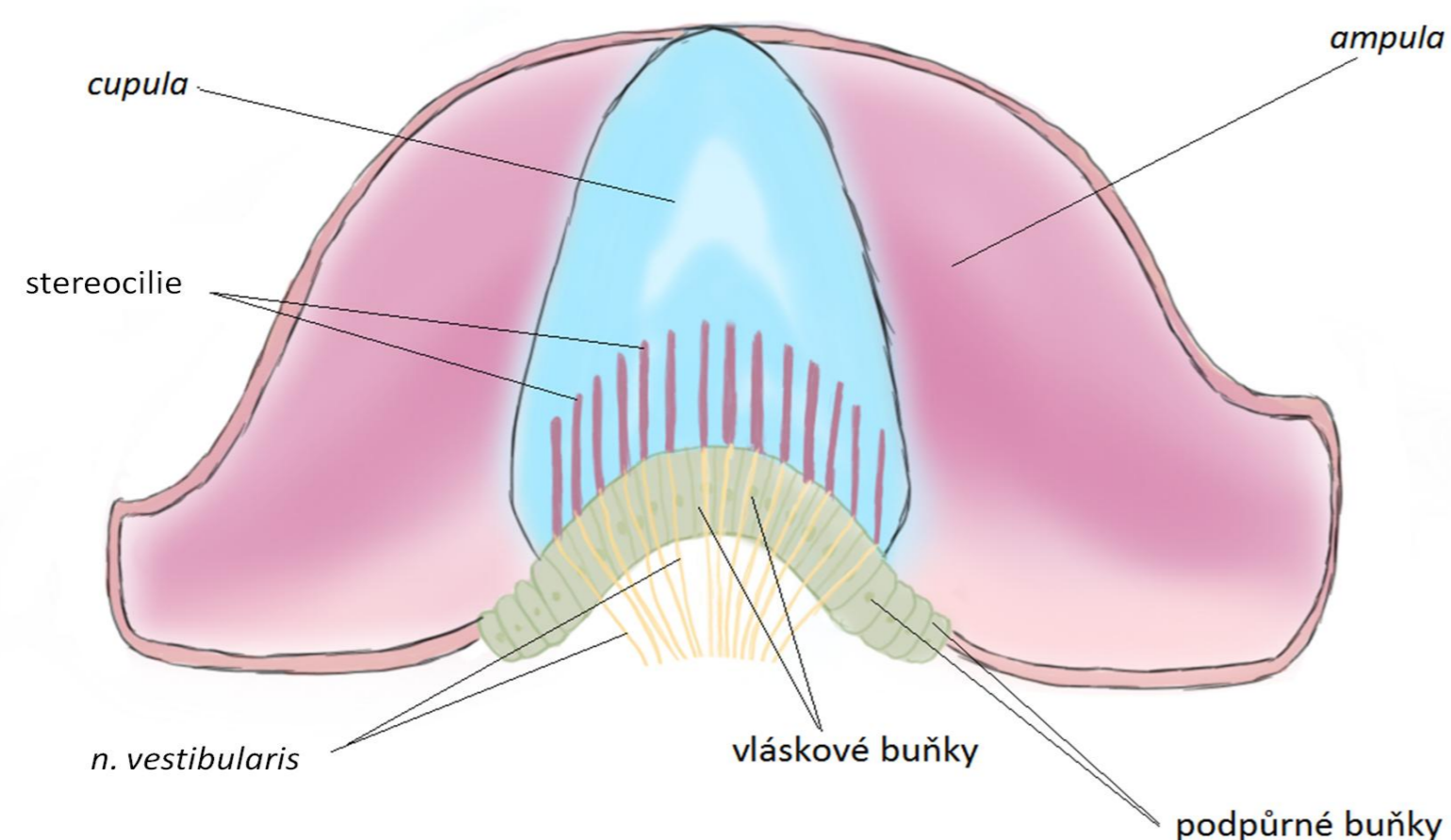
- Uvnitř každého vřívky se nacházejí malé ostrůvky z vyvýšeného epitelu, **macula utriculi** a **macula sacculi**, které jsou vzájemně kolmé a obsahují **otolitický orgán** s receptorovými buňkami.
- Makuly obsahují vláskové a podpůrné buňky. Stereocilie vláskových buněk jsou omývány endolymfou a zanořeny do **otolitové membrány**.
- Otolitová membrána je produkovaná okolními podpůrnými buňkami. Jedná se o glykoproteinovou vrstvu rosolovitě konzistence obsahující **otolity (statoconia / statolity)**, což jsou drobné krystalky uhličitanu vápenatého.



- Při změně polohy hlavy dochází k posunu otolitové membrány a následnému ohybu stereocilií vláskových buněk. V závislosti na směrové citlivosti a poloze hlavy vzniká ve vláskových buňkách depolarizační nebo hyperpolarizační receptorový potenciál.
- Sacculus** registruje lineární zrychlení ve vertikálním směru (nahoru a dolů). **Utriculus** registruje lineární zrychlení v horizontálním směru (dopředu, dozadu a do stran).

Kinetické čidlo - canalis semicircularis

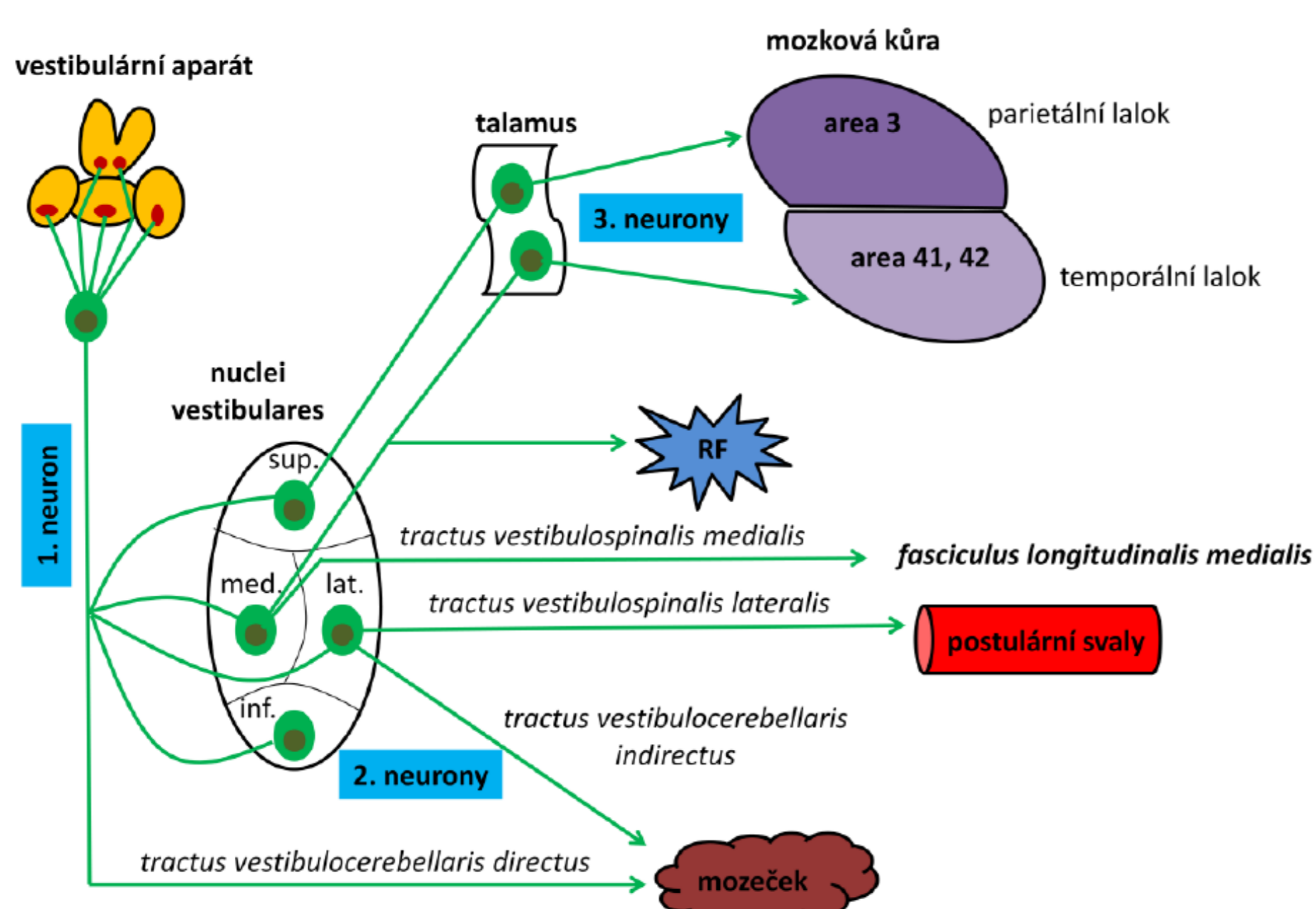
- Polokruhovitě kanálky jsou na sebe kolmé, takže jsou orientovány do třech prostorových rovin.
- Na konci každého polokruhovitě kanálku se nachází vakovité rozšíření tzv. **ampulla**, ve které vyvýšenina epitelu vytváří **ampulární křistu (crista ampularis)**.
- Každá křista obsahuje receptorové vláskové buňky a podpůrné buňky.
- Stereocilie vláskových buněk jsou omývány endolymfou a svými konci prostupují do rosolovité hmoty označované jako **kupula (cupula)**. Ta má stejnou hmotnost jako endolymfa, takže se v ní volně vznáší a tím může reagovat na sebemenší pohyby.



- Kinetické čidlo reaguje na úhlové zrychlení, kde adekvátním podnětem je změna rychlosti rotace v rovině kanálku.
- Pohyb endolymfy se přenáší na volně se vznášející kupulu. Ta se začne vychýlovat do stran, což vede k ohybu stereocilií vláskových buněk.
- Pohyb endolymfy směrem ke **crista ampularis** má za následek depolarizaci vláskových buněk a vznik **receptorového potenciálu**.
- Při pohybu endolymfy od **crista ampularis** dochází naopak k hyperpolarizaci vláskových buněk a tím k jejich útlumu.

Nervová dráha - rovnováha

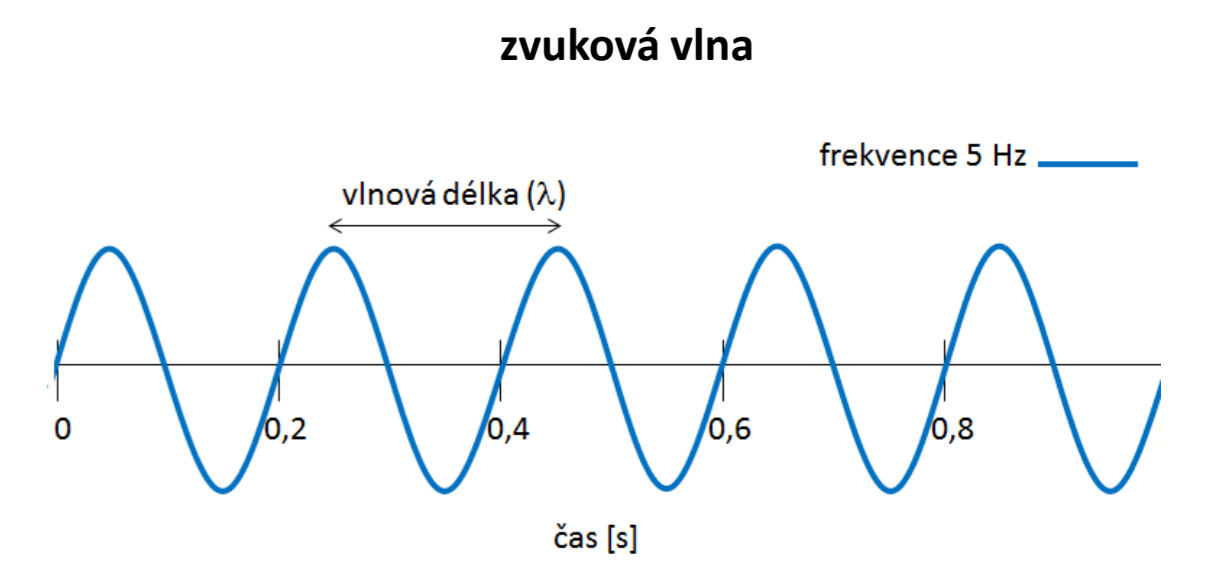
- Vestibulární nervová dráha je **tříneuronová**, zkrřížená.
- Axony senzitivních neuronů inervujících vláskové buňky se v dalším průběhu seskupují do **n. vestibularis** (VIII. hlavový nerv).
- Část vláken pokračuje jako **tractus vestibulocerebellaris directus** bez přepojení přímo do mozečku.
- Ostatní vlákna končí ve vestibulárních jádrech (**nuclei vestibulares pontis**), kde dochází k přepojení na druhý neuron.



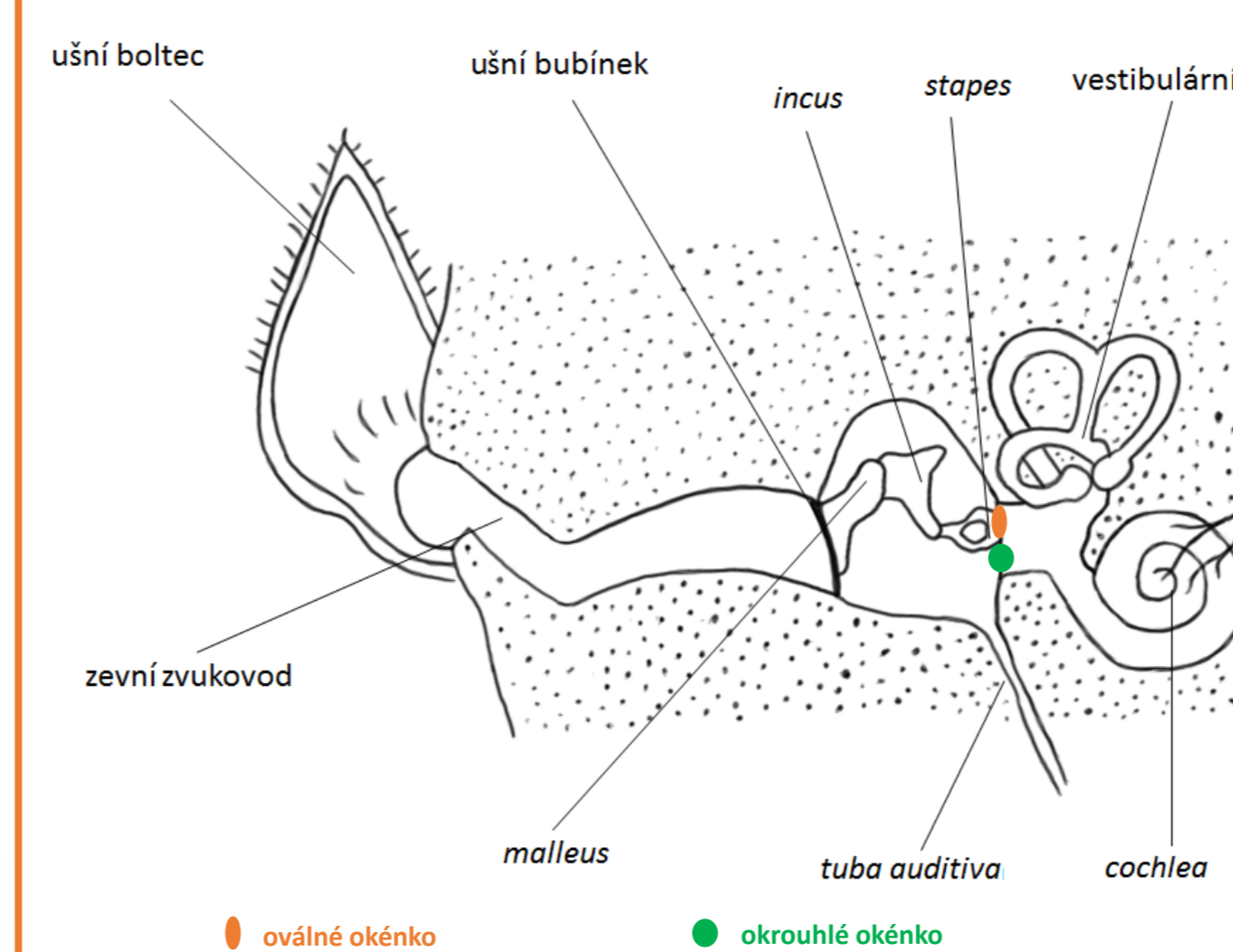
- Odtud pokračují axony do různých struktur. **Tractus vestibulocerebellaris indirectus** do mozečku.
- Tractus vestibulospinalis medialis** a **lateralis** do míchy, do jader hlavových nervů řídících pohyby očí, retikulární formace a do talamu.
- V talamu v **nuclei ventrales thalami** dochází k přepojení na třetí neuron, který vede informace do dvou částí mozkové kůry.
- Jedna oblast korových center rovnováhy se nachází v area 41 a 41 **gyri temporales transversj** temporálního laloku, druhá v area 3 **gyrus postcentralis** parietálního laloku mozkové kůry.

Zvuk

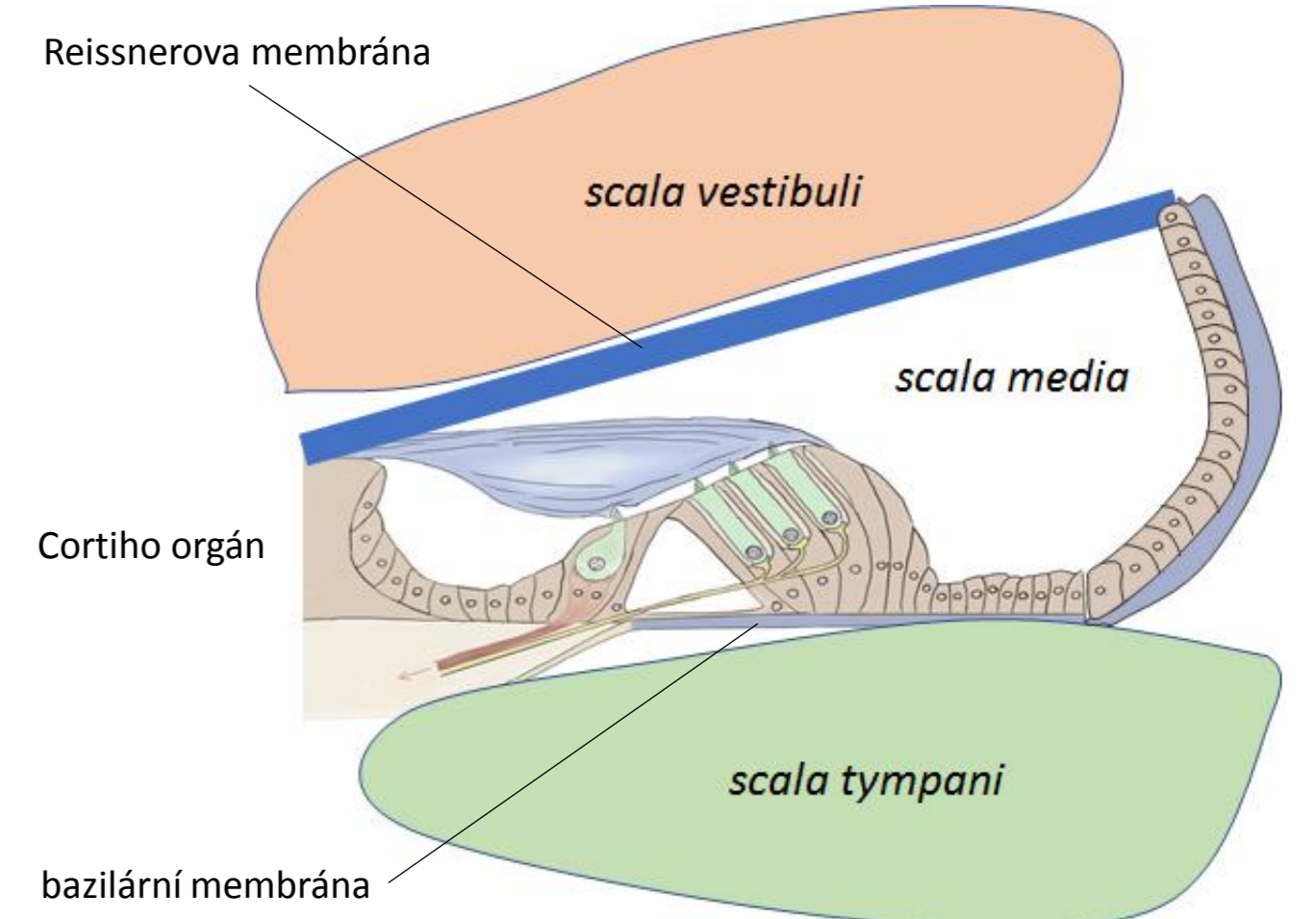
- Z fyzikálního hlediska lze zvuk chápat jako mechanické vlnění hmotných částic šířících se v prostředí.
- Z fyziologického hlediska zvuk představuje každý akustický podnět, který je schopen vyvolat sluchový vjem.
- Vlnová délka** znázorňuje úsek vlny, který se periodicky opakuje a je nepřímou úměrná frekvenci.
- Frekvence (kmitočet)** udává počet opakování periodického děje za daný časový úsek.
- Zdrojem zvuku může být jakékoliv kmitající těleso, které vytváří podélné (zvukové) vlny.



Anatomický úvod - Sluch



- Zevní ucho** je tvořeno z ušního boltece a zevního zvukovodu. Funkcí zevního ucha je zachytávání zvukových vln, jejich usměrnění do zevního zvukovodu a přenos zvukového signálu až k bubínku.
- Střední ucho** představuje dutinu uprostřed spánkové kosti se třemi sluchovými kůstkami – kladívko (**malleus**), kovádlinka (**incus**), a třímének (**stapes**). Sluchové kůstky převádějí kmitu bubínku na membránu oválného okénka hlemýždě, čímž zajišťují přenos zvuku z plynného prostředí zevního ucha do tekutého prostředí vnitřního ucha.
- Vnitřní ucho** se skládá z kostěného a blanitého labyrintu. Prostor mezi oběma labyrinty vyplňuje **perilymfa**. Uvnitř blanitého labyrintu se nachází **endolymfa** a v kochleární části je uložen **Cortiho orgán** pro vnímání sluchu.

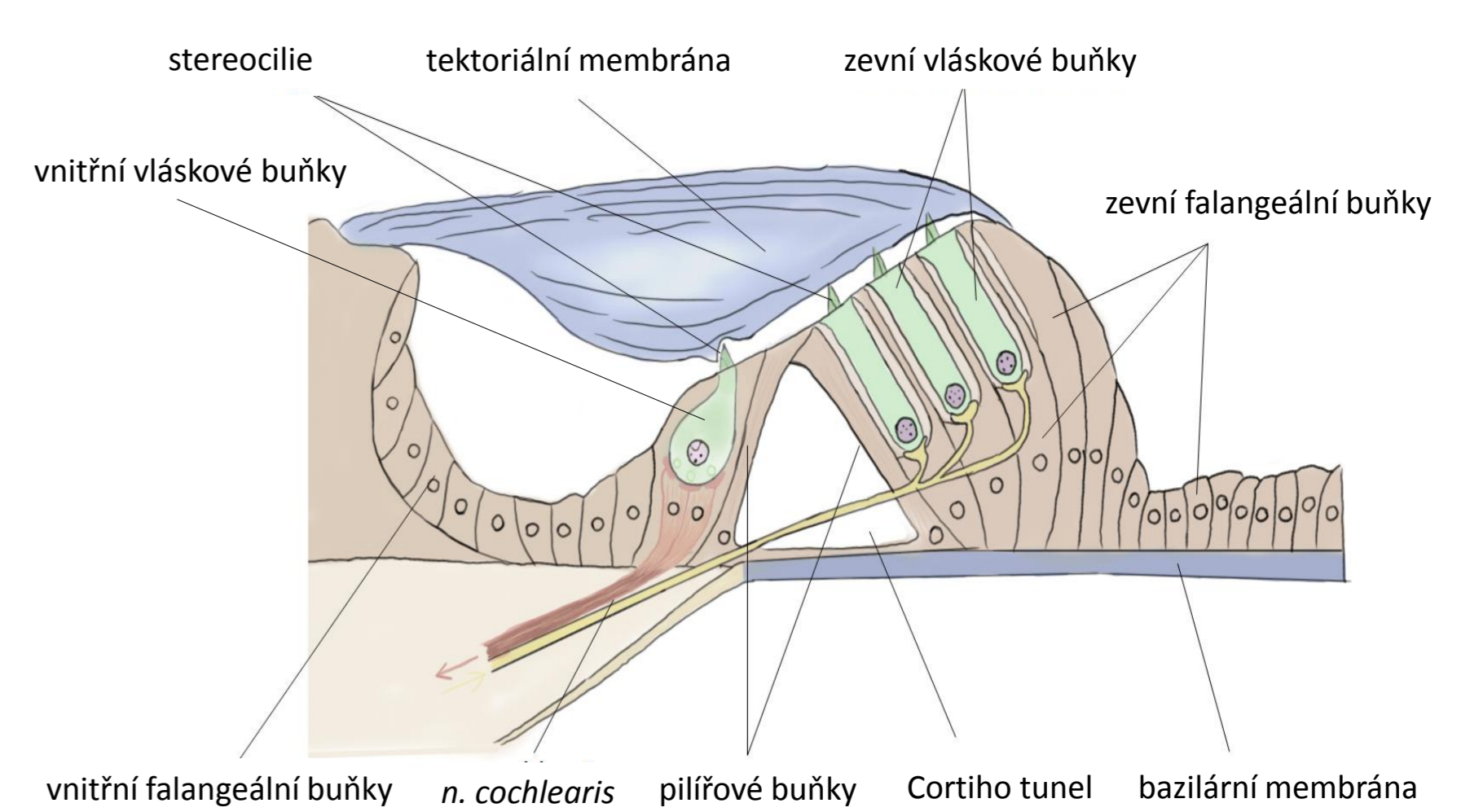


Labyrinthus cochlearis

- Představuje spirálovitě stočenou trubici kolem kostěného jádra - **modiolu** ve skalní kosti. V celém svém průběhu je kochleární část labyrintu rozdělena pomocí **bazilární** a **Reissnerovy membrány** do tří komor - **scala vestibuli**, **scala media** a **scala tympani**.
- Horní **scala vestibuli** začíná u oválného okénka a dolní **scala tympani** končí na membráně okrouhlého okénka. Obě tyto komory jsou vyplněny perilymfou a jsou vzájemně propojeny na vrcholu hlemýždě malým otvorem - **helikotrema**.
- Scala media** je obklopena horní a dolní komorou se kterými nekomunikuje, obsahuje endolymfu.

Cortiho orgán

- Cortiho orgán** tvoří vlastní sluchový orgán, který nasedá na bazilární membránu.
- Obsahuje receptorové buňky uspořádané ve čtyřech řadách - **tři řady zevních vláskových buněk a jednu řadu vnitřních vláskových buněk**.
- Na apikálním konci každé vláskové buňky se nacházejí výběžky - **stereocilie**.
- V apikální části stereocilií vláskových buněk jsou lokalizovány **mechanosenzitivní kationtové kanály**.
- Vrátka těchto kanálů jsou mechanicky spojena pomocí cytoskeletálního vláknka se sousedním stereociliem.

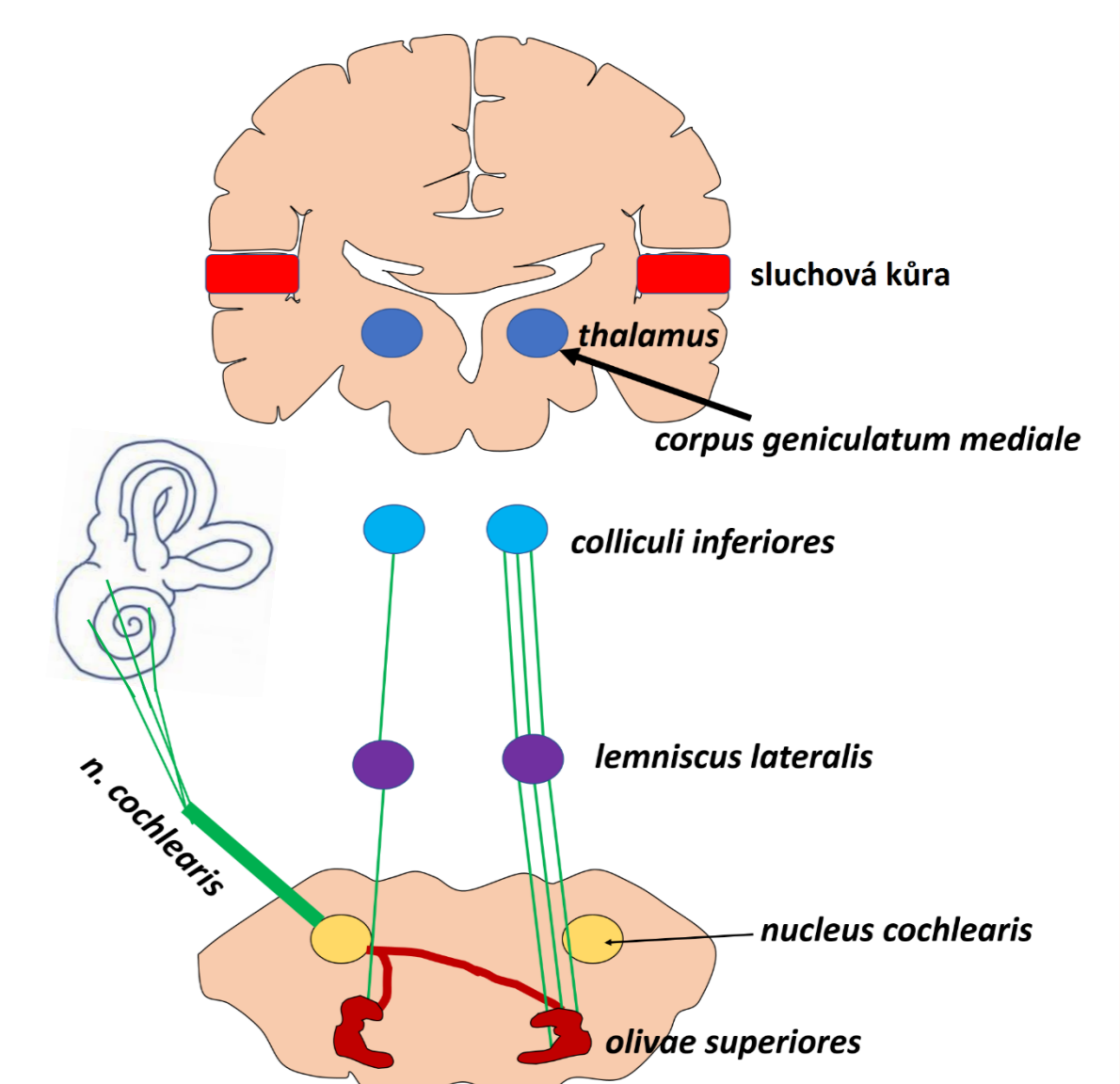


Přeměna mechanického podnětu na elektrický

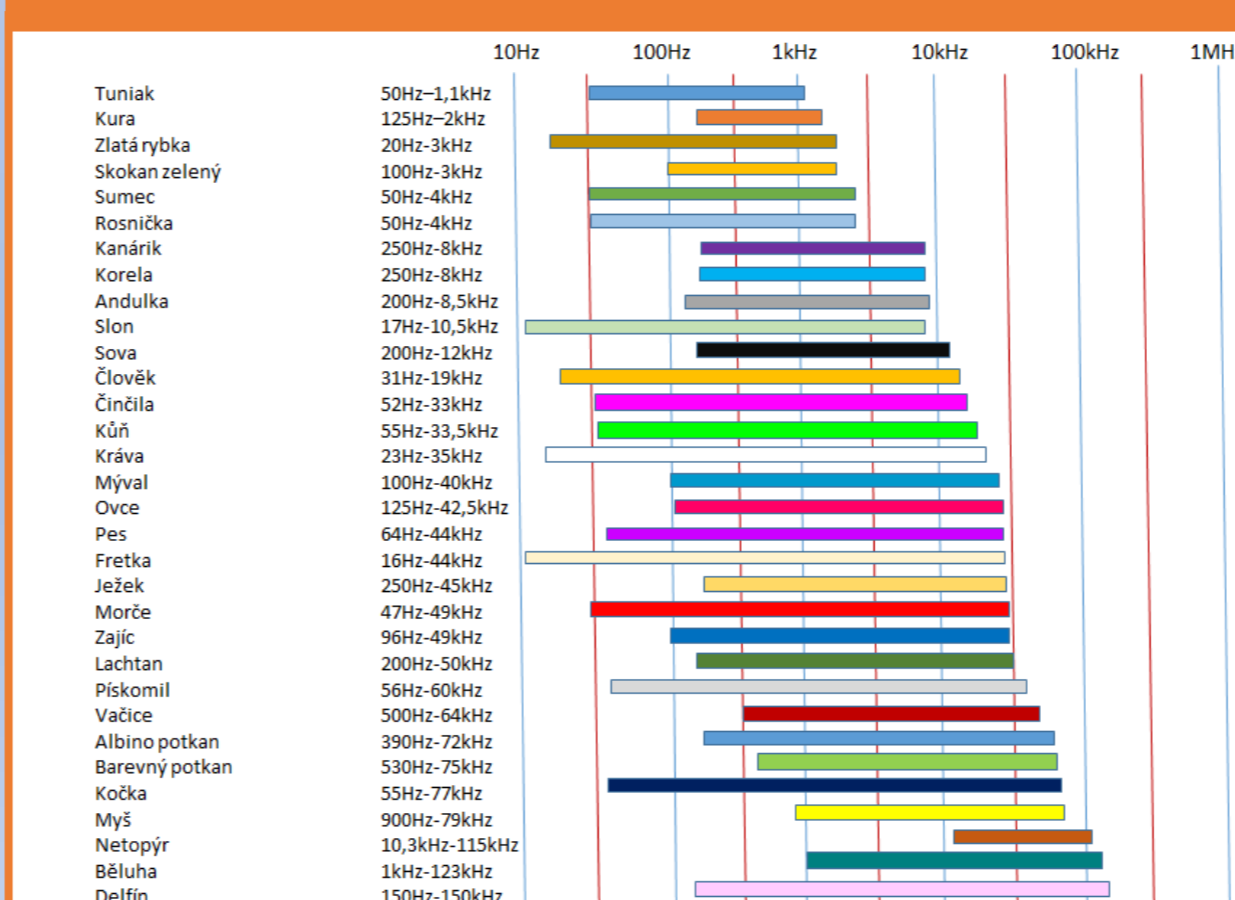
- Při ohybu stereocilií dochází k **mechanickému otevření iontových kanálů**.
- Proud **K⁺** do buněk vyvolává jejich depolarizaci a vzniká tak **excitační depolarizační receptorový potenciál**.
- Společně s **K⁺** vstupují do buněk také **Ca²⁺** a dochází k uvolňování synaptického mediátoru z vezikul do synaptické šterbiny s následnou depolarizací aferentního neuronu.
- Tři řady zevních vláskových buněk plní funkci **kochleárního zesilovače**. Díky kontraktilnímu aparátu jsou schopny kontrakce, která napomáhá k zintenzivnění kmitů endolymfy a tím dokonalejšímu podráždění vnitřních vláskových buněk.

Nervová dráha - sluch

- Sluchová nervová dráha je **čtyřneuronová**.
- První, **bipolární neuron** vytvářejí synapse s vláskovými buňkami Cortiho orgánu. Jejich axony tvoří **pars cochlearis VIII. hlavového nervu** a pokračují do prodloužené míchy.
- Druhý neuron navazují na **kochleární jádra** v prodloužené míše a tvoří tři svazky - **corpus trapezoideum**, **stria acustica intermedia**, **stria acustica dorsalis**. Tyto svazky postupují v kontralaterální části mozkového kmene jako **lemniscus lateralis** a končí v **colliculi inferiores** v mezencephalu (centrum sluchových reflexů).
- Třetí neuron navazují na **colliculi inferiores** a pokračují do **corpus geniculatum mediale** v talamu, kde dochází k dalšímu přepojení.
- Čtvrté neuron dále pokračují jako **tractus geniculocorticalis** do **primární sluchové kůry** v horní části temporálního laloku.
- Informace z obou uší se konvergují v komplexu olivárních jader (**olive superiores**).

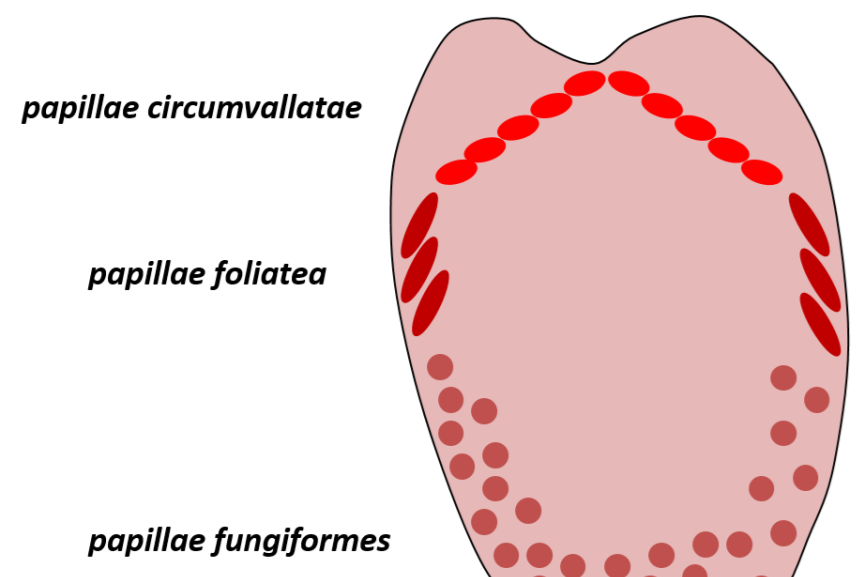


Medzidruhové rozdíly – zajímavosti



- Netopři** vydávají série pisklavých zvuků o vysoké frekvenci (ultrazvuk), které se odrážejí od předmětů/kořisti v prostředí. Tyto odrazy tzv. echa pak zpětně zachytávají s určitým zpožděním, jehož doba indikuje vzdálenost od předmětu.
- Ušní boltec slona** umožňuje zachytávat zvuky až na vzdálenost 6 km. Sloni mají na těle a končetinách receptory schopné zaznamenávat zvuky o nízké frekvenci (infrazvuk).
- Kočky** mají 32 uchohybných svalů díky kterým mají rozsah pohybu ušního boltece až 180°.
- Krtci** mají horizontální postavení ušního bubínku, což jim napomáhá zachytávat vibrace z povrchu země.

Anatomický úvod - chuť



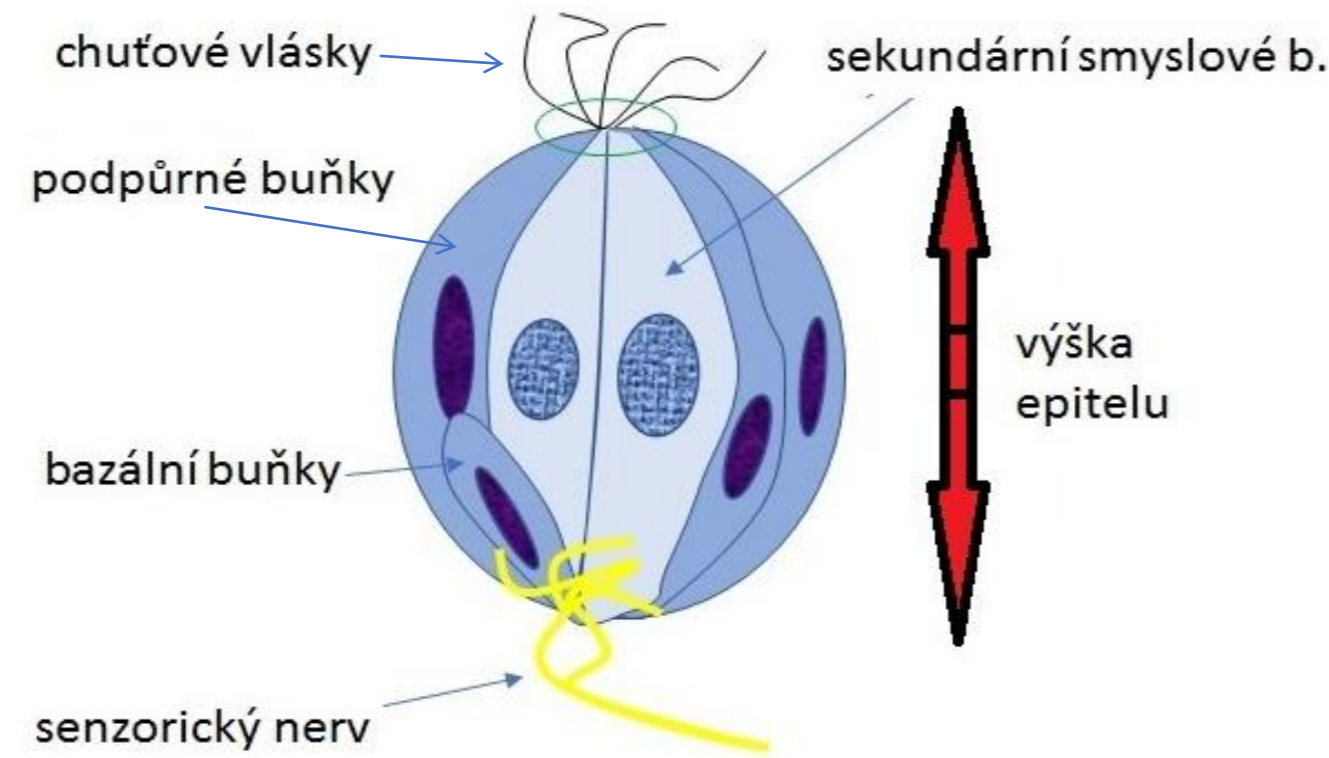
- Sliznice jazyka je tvořena vrstevnatým dlaždicovým epitelem, který na určitých místech vyběhá v jazykové papily.
- Vlastní smyslové buňky se nacházejí v chuťových pohárcích lokalizovaných na těchto papilách.
- U savců jsou rozlišovány tři druhy jazykových papil – hřezané papily (*papillae circumvallatae*), listové papily (*papillae foliatae*) a houbovitě papily (*papillae fungiformes*).

Chuťové pohárky se skládají ze čtyř typů buněk:

- dva typy podpůrných buněk
- sekundární smyslové buňky
- bazální buňky

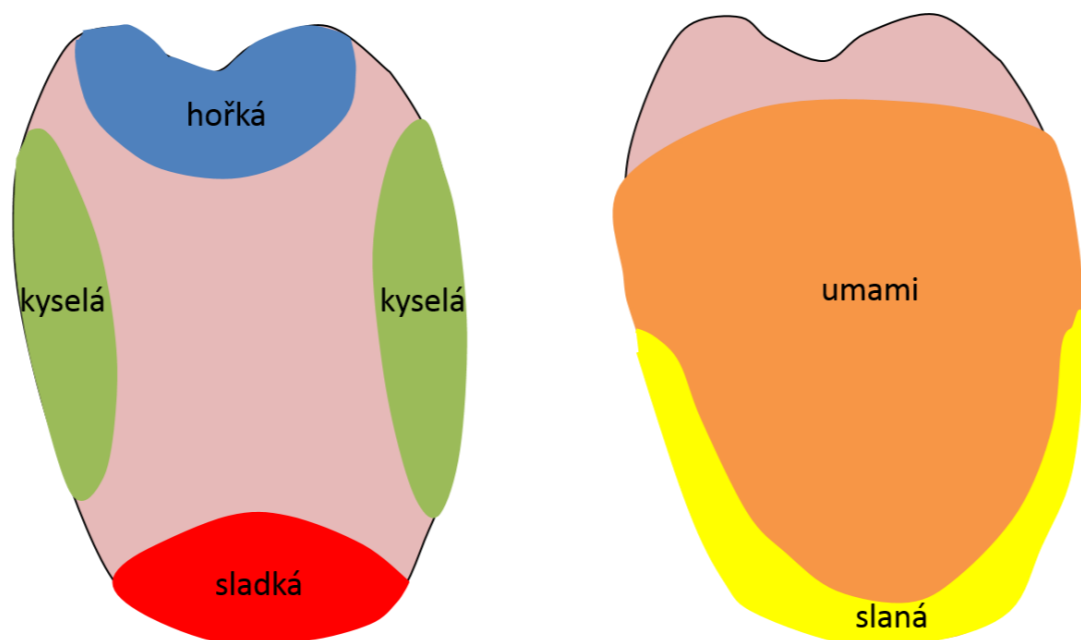
Sekundární smyslové buňky představují vlastní receptorové buňky. Na apikálním povrchu mají chuťové vlásky, které zprostředkovávají chuťový vjem.

Chuťové pohárky jsou inervovány senzoryckými vlákny třech různých hlavových nervů – VII, IX, X.



Vznik chuťového vjemu

- Existují čtyři základní chuťové kvality – kyselá, slaná, sladká a hořká. Dále se popisuje *umami*, která zprostředkovává chuť glutamátu.
- Chuťové pohárky pro vnímání dané kvality chuti jsou lokalizovány na různých místech jazyka.
- Práh citlivosti receptorových buněk k jednotlivým kvalitám chuti se liší podle typu látky. Nejnižší práh je pro hořké látky. Naopak nejvyšší práh pro látky sladké.



Transdukcce chuťového signálu

Podnětem pro receptorové buňky chuťového pohárku jsou látky rozpuštěné ve vodě, resp. slinách. Transdukcce chuťového signálu se odehrává dvěma různými způsoby podle typu membránového receptoru.

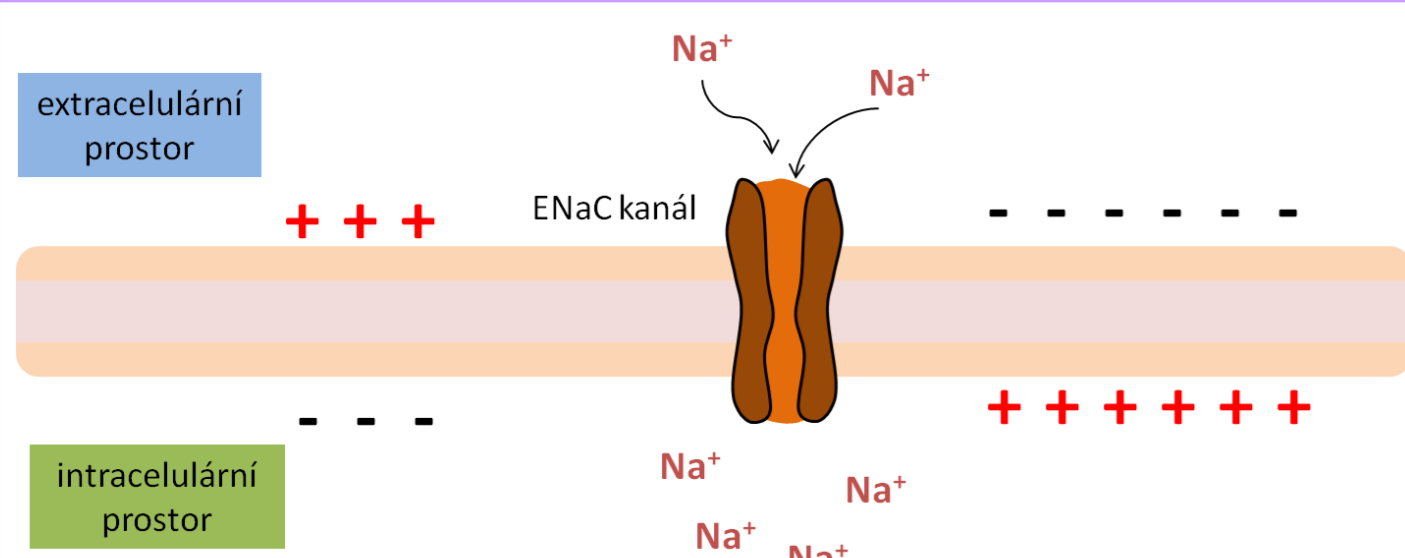
- Ionotropní transdukcce signálu** - vnímání slané a kyselé chuti

Je zprostředkována receptory, které vytvářejí membránové iontové kanály. Tyto kanály jsou stále otevřené a umožňují přestup kationtů do buněk.

- Metabotropní transdukcce signálu** - vnímání sladké, hořké a *umami* chuti

Je zprostředkována membránovými receptory, které jsou spřažené s G-proteiny.

Vnímání chuti – slaná a kyselá

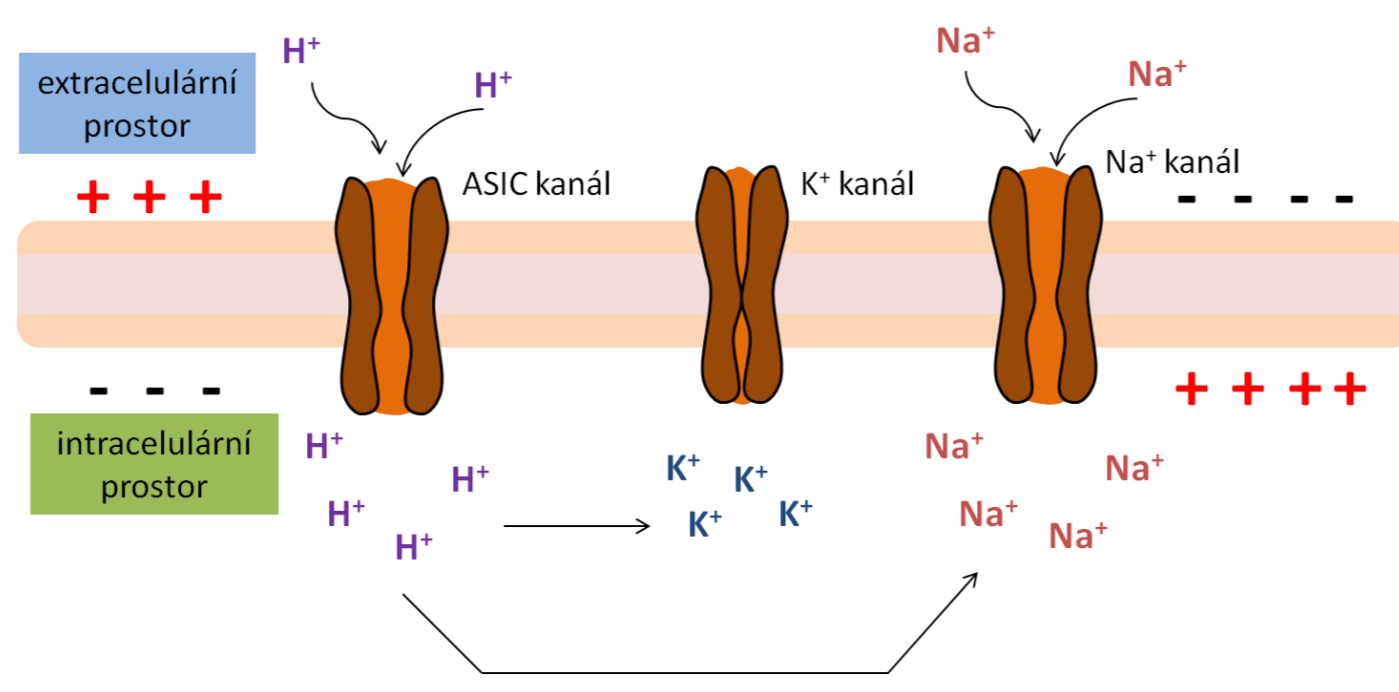


- Slaná chuť je způsobena Na⁺.

Při vnímání slané chuti se uplatňují ENaC kanály. Jedná se o stále otevřené Na⁺-kanály, které umožňují kontinuální tok Na⁺ do buňky.

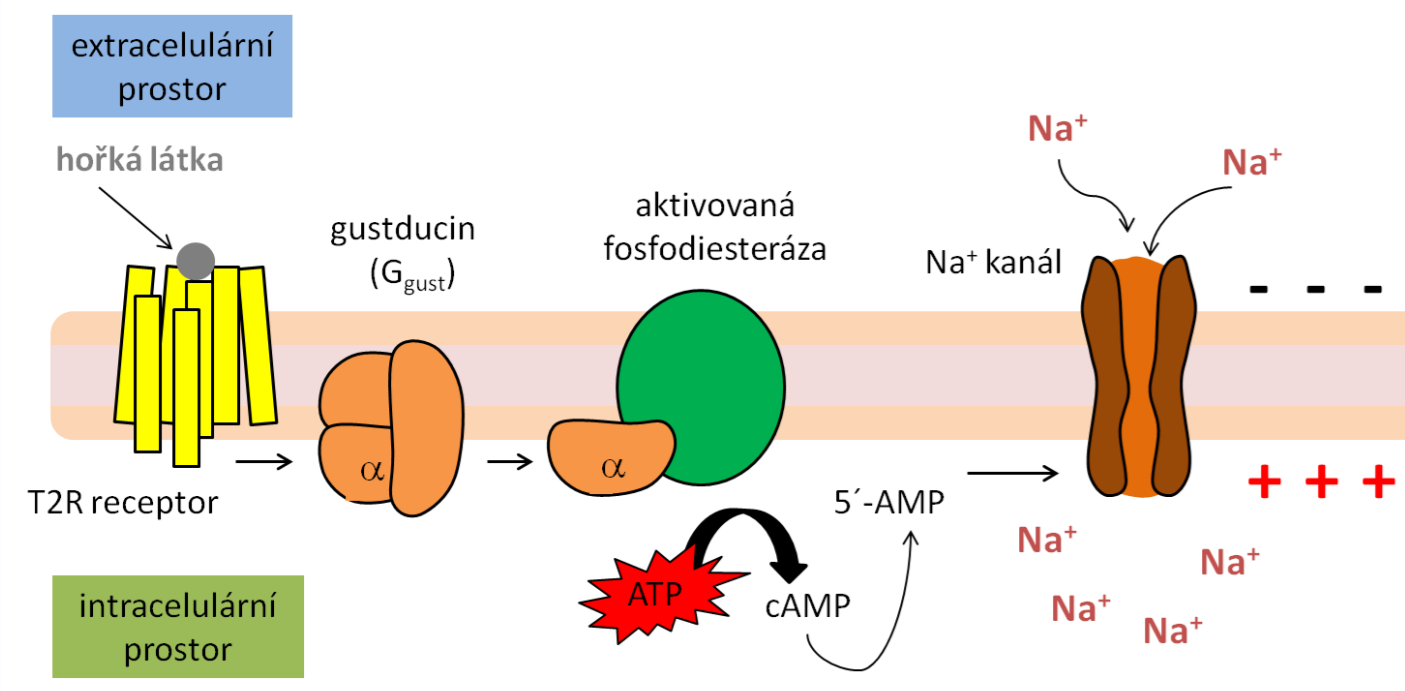
Při příjmu slaných látek se zvyšuje intracelulární koncentrace Na⁺, která vede následně k depolarizaci buněčné membrány.

- Kyselá chuť je způsobena H⁺.
- Při vnímání kyselé chuti se uplatňují ASIC kanály. Jedná se o stále otevřené H⁺-kanály.
- Při příjmu kyselých látek se zvyšuje intracelulární koncentrace H⁺.
- Vodíkový gradient ovlivňuje aktivitu K⁺-kanálů, které se uzavírají a Na⁺-kanálů, které se otevírají. Zvýšená intracelulární koncentrace K⁺ a Na⁺ vede k depolarizaci buněčné membrány.

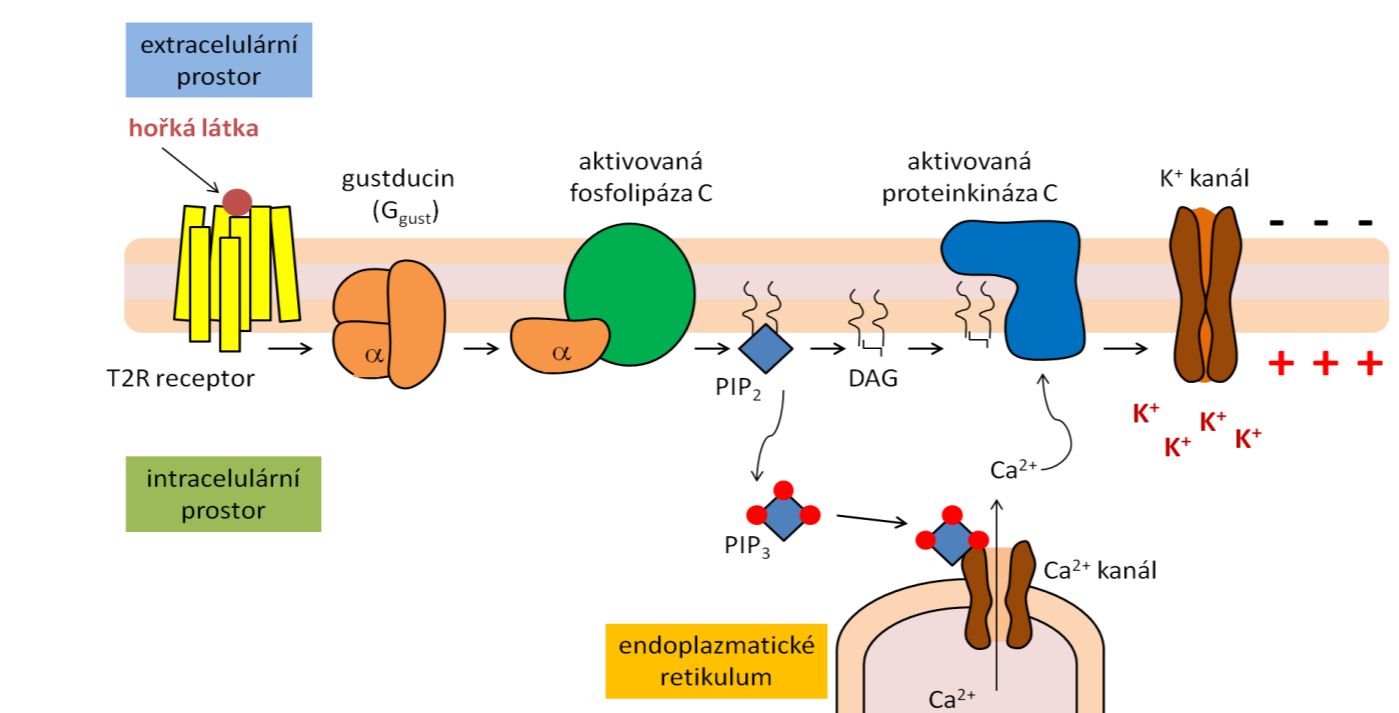


Vnímání chuti – hořká a sladká

Hořká chuť je zprostředkována T2R receptory spřaženými s G-proteinem (gustducinem). Po navázání hořké látky na membránový receptor se odštěpuje podjednotka α s GTPázovou aktivitou. Následují dvě možné cesty vzniku akčního potenciálu.



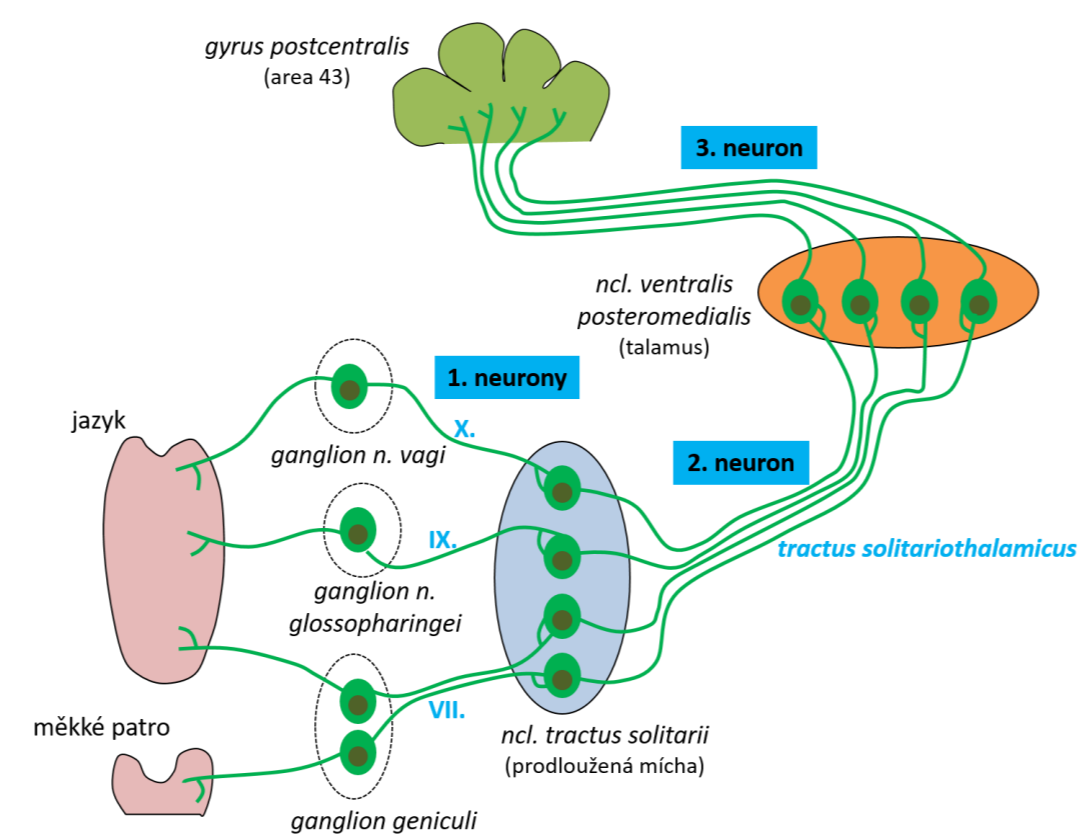
- Podjednotka α aktivuje fosfolipázu C, která štěpí fosfatidylinositol bisfosfát (PIP₂) na diacylglycerol (DAG) a inositoltrifosfát (IP₃).
- DAG aktivuje proteinkinázu C a IP₃ mobilizuje Ca²⁺.
- Následně dochází k uzavření iontových kanálů pro K⁺ depolarizaci buněčné membrány.



- Sladká chuť je zprostředkována T1R receptory spřaženými s G-proteinem.
- Podjednotka α aktivuje adenylyl cyclázu, která katalyzuje syntézu cAMP z ATP.
- Zvýšená intracelulární koncentrace cAMP má za následek uzavření iontových kanálů pro K⁺ a depolarizaci buněčné membrány.

Nervová dráha - chuť

- Chuťová nervová dráha je třineuronová.
- Prvních dvě třetiny jazyka inervuje *n. lingualis* a oblast měkkého patra *n. petrosus major*. Ve svém průběhu dále pokračují jako *n. facialis*.
- Zadní třetinu jazyka inervuje *n. glossopharyngeus* a kořen jazyka až po faryngální oblast *n. vagus*.
- Všechny tři hlavové nervy vedou informace do chuťového jádra *ncl. tractus solitarii* v prodloužené míše.
- Dále je signál veden společně prostřednictvím *tractus solitariothalamicus* do *ncl. ventralis posteromedialis* v talamu.
- Zpracování chuťového vjemu probíhá v oblasti arey 43 *gyrus postcentralis* mozkové kůry.



Anatomický úvod – buňky čichové dráhy

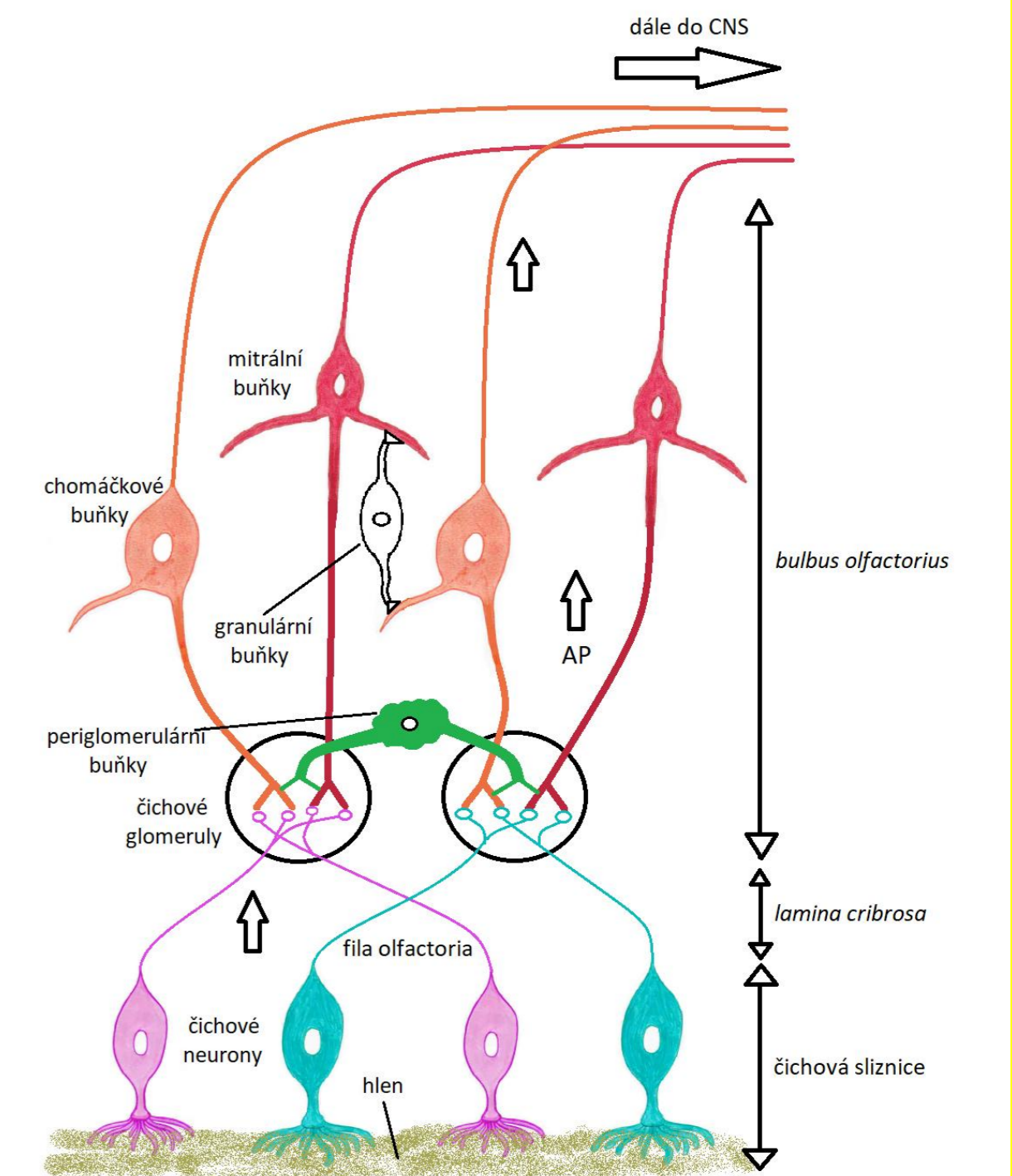
- Čichové receptory (neurony) jsou v podstatě bipolární neurony, které se u většiny obratlovců nacházejí na stropu dutiny nosní v oblasti *regio olfactoria*.

- Těla bipolárních neuronů jsou celá situována v čichové sliznici.
- Krátký a silný dendrit směřuje do dutiny nosní a je zakončen knoflíkovitým rozšířením označovaným jako čichová tyčinka, z které vybíhá 20-30 malých řasinek (*cilie*).
- Cilie* jsou zanořeny v hydrofilní vrstvičce hlenu, který je produktem Bowmanových žlázek čichové sliznice.

- Axony čichových neuronů jsou dlouhá, nemyelinizovaná vlákna. Ve svém průběhu se sdružují do *fila olfactoria*, které procházejí přes *lamina cribrosa* čichové kosti do čichového bulbu (*bulbus olfactorius*).

- Zde se nacházejí složité kulovité synapse tzv. čichové glomeruly (*glomeruli olfactorii*). Jednotlivé čichové glomeruly jsou vzájemně propojeny pomocí periglomerulárních buněk.

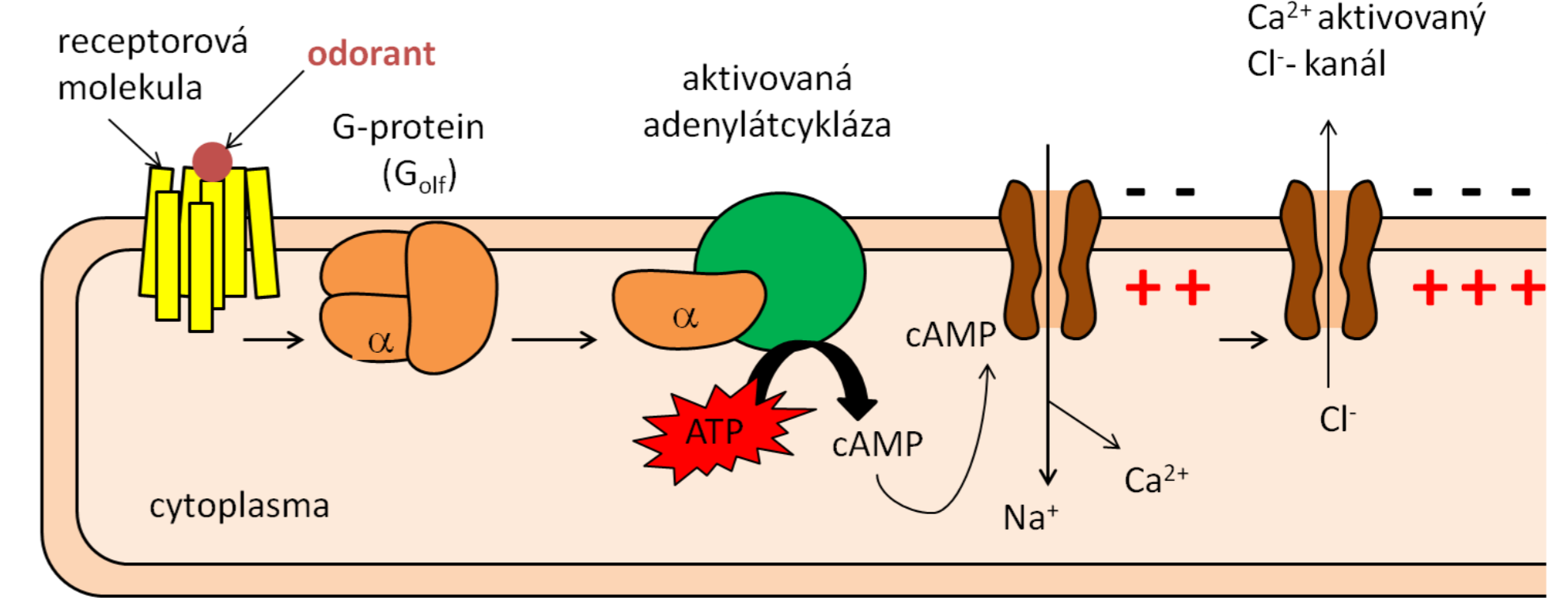
- Čichová sliznice obsahuje také podpůrné buňky a bazální zárodečné buňky. Bazální buňky jsou zodpovědné za kontinuální obnovování čichových neuronů, jejichž životní cyklus trvá přibližně 60 dnů.



- Mezi mitrálními a chomáčkovými buňkami se laterálně připojují granulární buňky, které nemají žádné axony.
- Periglomerulární a granulární buňky zprostředkovávají laterální inhibici mitrálních a chomáčkových buněk.

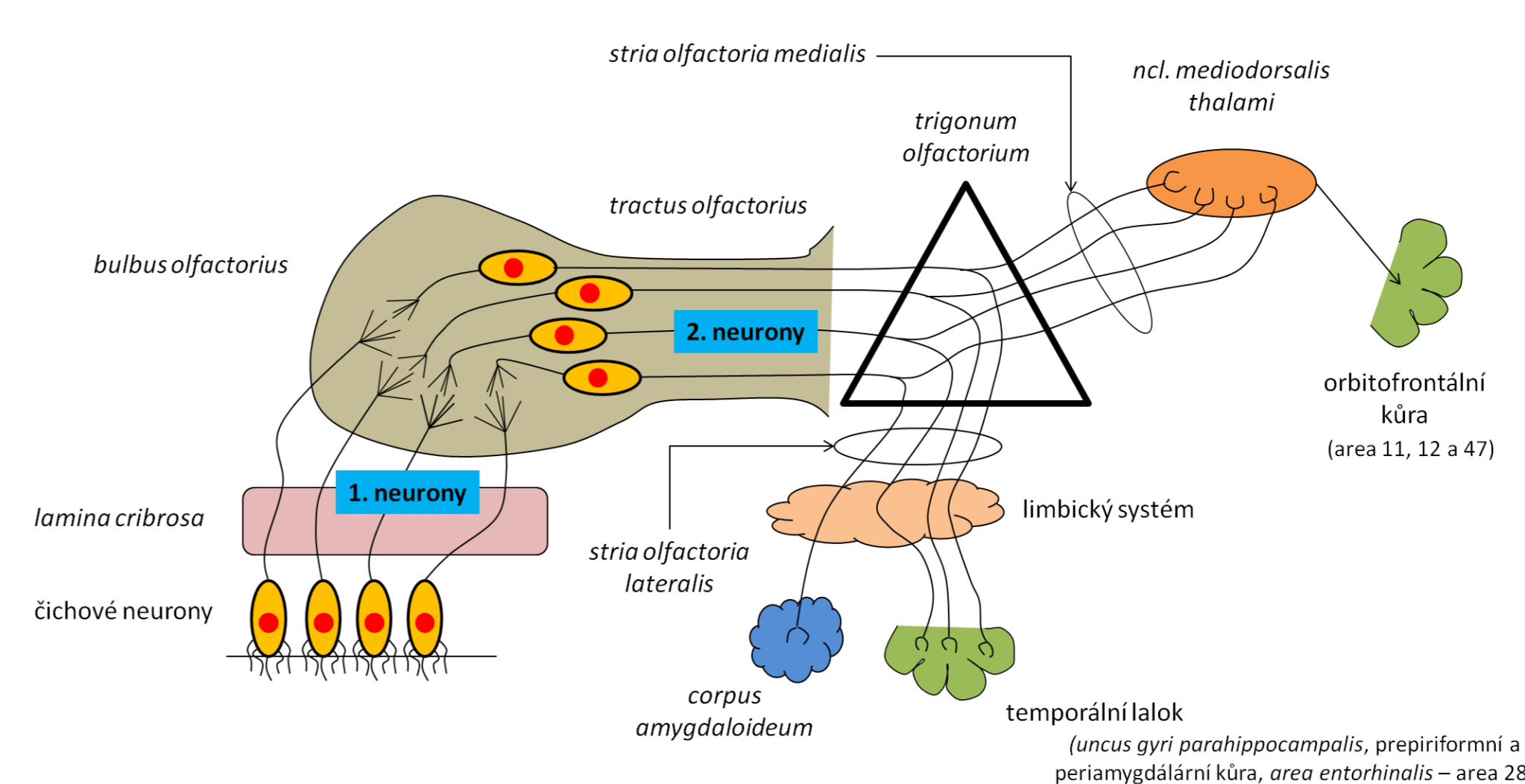
Vznik čichového vjemu

- Podle povahy pachové látky (*odorant*) dochází v *regio olfactoria* ke dvojímu způsobu zachycení pachové informace.
- Látky hydrofilní povahy se rozpouštějí v tenké vrstvičce hlenu, pomocí které se dostanou přímo do kontaktu s cíliemi čichových neuronů.
- Látky lipofilní povahy vytvářejí vazbu se speciálními proteiny tzv. *odorant binding proteins* (OBP) nacházející se v hydrofilním hlenu. OBP tak zajistí přenos odorantů k cíliím čichových neuronů.
- Na cíliích čichových neuronů se nacházejí receptorové molekuly spřažené s G-proteinem (G_{olf}).
- Po vazbě odorantu na receptorovou molekulu dochází k aktivaci přidruženého G-proteinu. Odštěpuje se podjednotka α s GTPázovou aktivitou, která aktivuje adenylyl cyclázu.
- Aktivovaná adenylyl cycláza katalyzuje syntézu cAMP z ATP. Stoupající koncentrace cAMP vyvolá otevření neselektivních iontových kanálů pro Na⁺ a Ca²⁺, které začnou vstupovat do buňky. Výsledkem je depolarizace buněčné membrány.
- Ca²⁺ dále aktivuje otevírání Cl⁻-kanálů, které umožňují vypustovat Cl⁻ z buňky, což ve výsledku vede k další depolarizaci.



Nervová dráha - čich

- Nervová čichová dráha je dvouneuronová, nezkrácená. Akční potenciály vznikají v bipolárních čichových neuronech (I. hlavový nerv *n. olfactorius*). K přepojení na druhé neurony dochází v *bulbus olfactorius*.
- Zde se nacházejí kulovité synapse tzv. čichové glomeruly, které propojují axony čichových neuronů s dendrity mitrálních buněk a chomáčkových buněk. Odtud je informace vedena přes *tractus olfactorius* dále do *trigonum olfactorium*.



- Z *trigonum olfactorium* vedou dva hlavní směry do čichové kůry.
- Jeden směřuje přes limbický systém do *corpus amygdaloideum* a čichové kůry temporálního laloku (area 28).
- Druhý směřuje přes *nucleus mediodorsalis thalami* do orbitofrontální kůry frontálního laloku (area 11, 12 a 47).

Mezidruhové rozdíly - zajímavosti

- Člověk má asi 5 milionů čichových buněk, čímž se hominidě řadí mezi mikrosmátý.
- Kočka má v čichové sliznici asi 19 milionů čichových buněk, zatímco pes zhruba 220 milionů čichových neuronů, čímž se tyto druhy řadí mezi makrosmátý.
- Naopak mezi anosmátý patří kytovci, kteří nemají vůbec žádné čichové buňky.
- Kivi hnědý má 600 genů pro čichové buňky a díky tomu je schopný se pohybovat v noci a spoléhat se přitom výhradně na čich.
- Dokonce kachna březnačka se 430 genů má ve srovnání s člověkem (cca 200 genů) mnohem lepší čich.
- Naopak ptáci s nejméně vyvinutým čichem jsou zejména sýkory nebo kanáři (150-200 genů).

Vomeronasální orgán

- Vomeronasální orgán neboli Jacobsonův orgán je okrsek čichové sliznice specializovaný na detekci feromonů.
- Jedná se o výduť nosní přepážky, která vyúsťuje na horním patře dutiny ústní jako *ductus incisivus*.
- Čichové receptory v této oblasti se vyznačují přítomností mikrokříků na apikální straně.
- Inervaci zajišťuje *n. vomeronasalis*, jehož axony postupují po stropě dutiny nosní do *bulbus olfactorius accessorius* a dále přes limbický systém do amygdaly a hypotalamu.
- Nejlépe je Jacobsonův orgán vyvinut u hadů, kteří jsou na něm životně závislí, protože je to jejich jediný orgán čichu a dokonce i chuti.
- Poměrně dobře je také vyvinut u hlodavců, kočkovitých šelem, kopytníků, u kterých má význam zejména pro sociální vnitrodruhovou komunikaci.
- Může přímo ovlivňovat α-rytmy mozku nebo agresivitu (zejména u hlodavců), či ovlivňovat pohlavní chování v době rozmnožování (flémování u hřebců, zástava březosti u hlodavců).



Anatomický úvod - oko

- Tvar oka je určen pevností vnějších obalů tj. **bělimy (sclera)** a **rohovky (cornea)**, které zároveň zajišťují ochrannou vrstvu bulbu.
- Pod bělimou se nachází **cévnatka (chorioidea)** zajišťující výživu očních struktur. V přední části oční koule cévnatka přechází v **řasnaté tělísko (corpus ciliare)**.
- Vnitřní plochu stěny bulbu až k pupilárnímu okraji duhovky vystýlá **sítnice (retina)** obsahující receptorové buňky.
- Čočka (lens)** je průhledný útvar zavěšený na tenkých vlákních **závěsného aparátu (zonula Zinni)**, který se upíná do řasnatého tělíska.
- Duhovka (iris)** obsahuje pigmentové buňky, které jí dávají barvu a neprůhlednost. Nachází před čočkou a díky přítomnosti hladkých svalových vláken může měnit průměr **zornice**.
- Sklivec (corpus vitreum)** představuje čirou rosolovitou hmotu vyplňující prostor mezi čočkou a sítnicí.

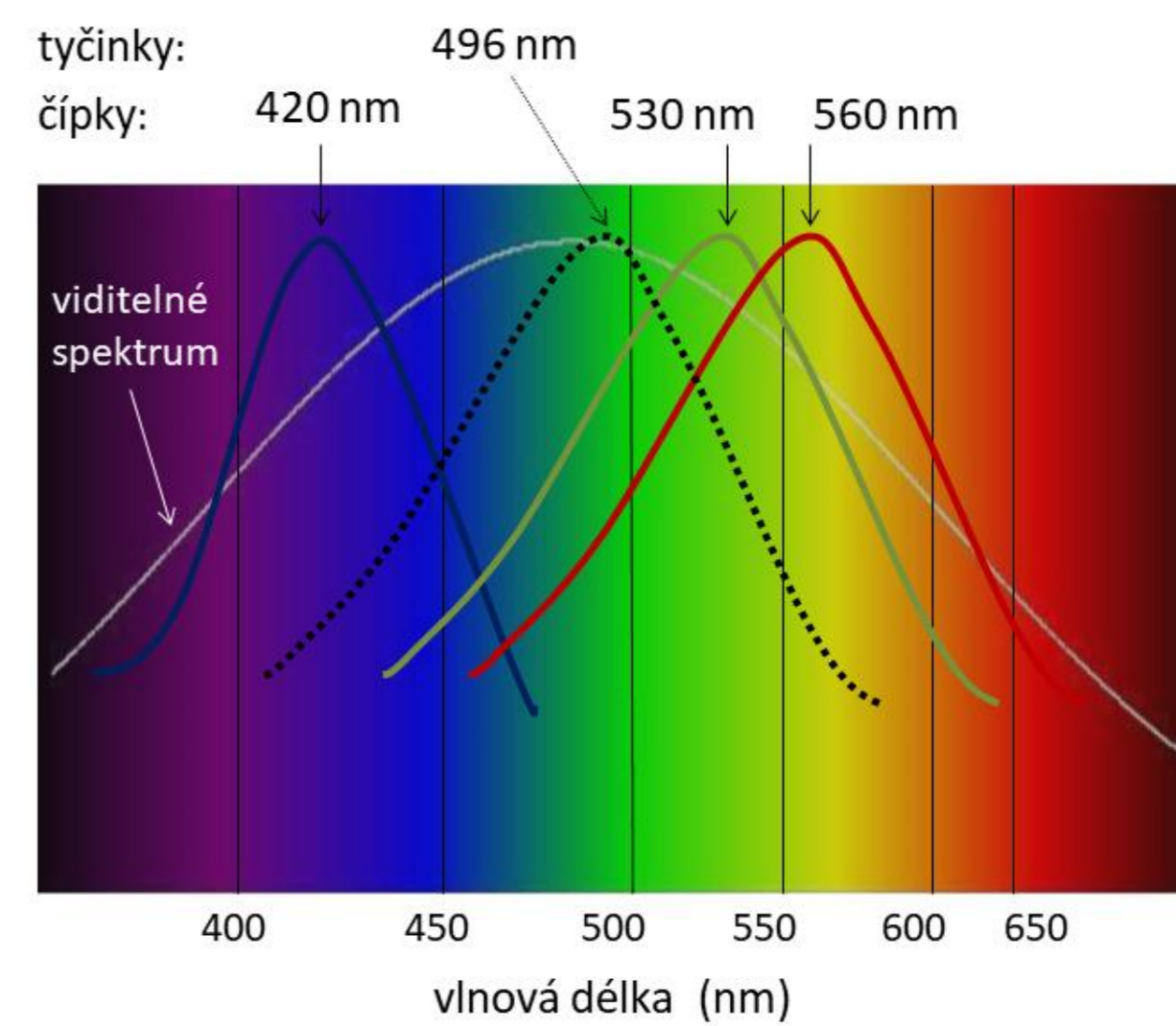
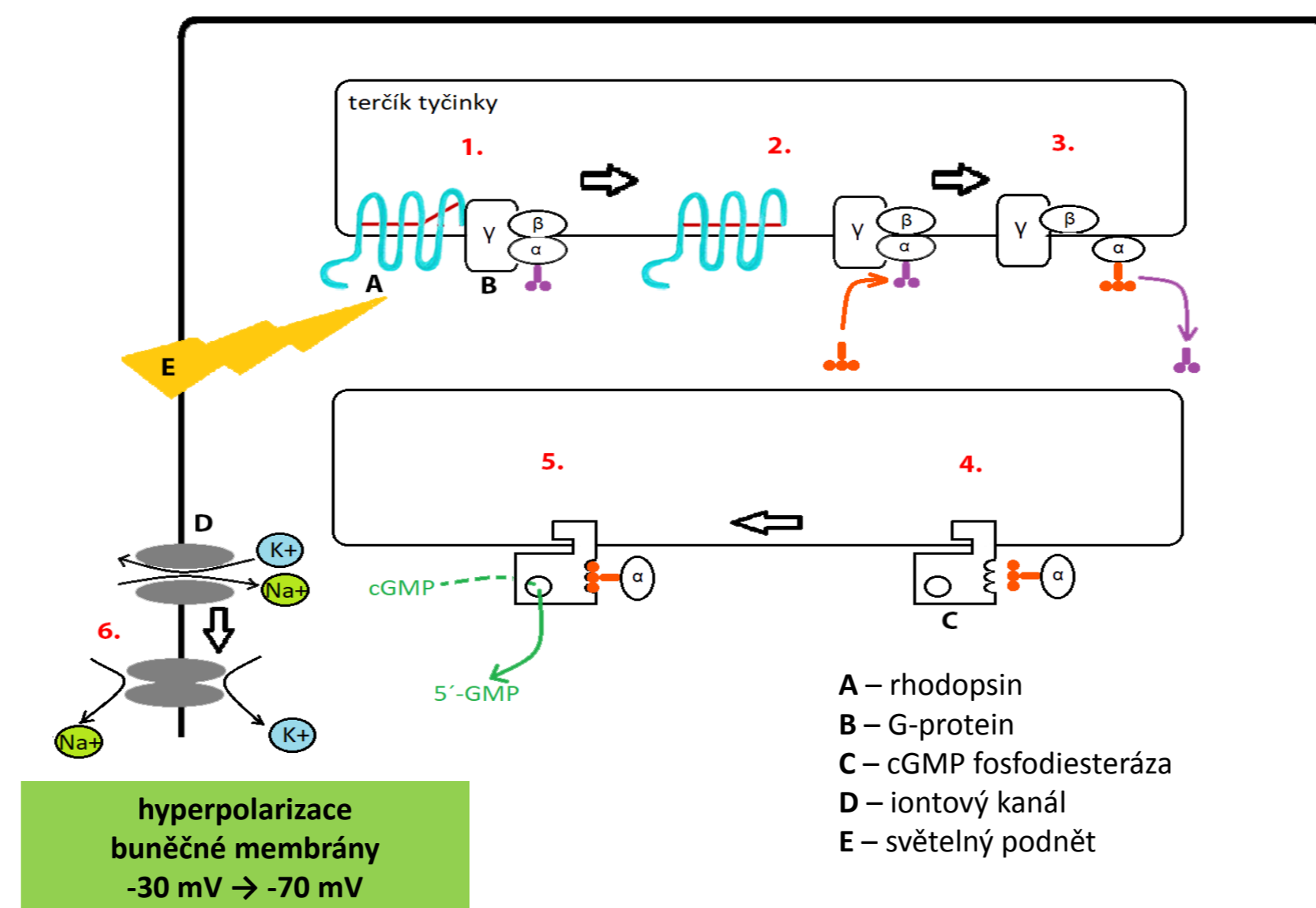
Sítnice je tvořena receptorovou vrstvou tyčinek a čípků, která je přivrácená k buňkám pigmentového epitelu a čtyřmi typy neuronů – **bipolární buňky**, **horizontální buňky**, **amakrinní buňky** a **gangliové buňky**, jejichž axony se sbíhají a opouštějí oko jako **zrakový nerv (n. opticus)**.

Fotorecepce

- Oko savců je schopné rozpoznat světelné paprsky **viditelného spektra** tj. o vlnové délce **400 – 750 nm**.
- U primátů se vyskytují tři typy čípků (**trichromatické vidění**), které pokrývají rozdílné části viditelného spektra, přičemž jejich senzorické oblasti se překrývají.
- Množství světla, které do oka prostupuje, je regulováno velikostí zornice.
- Pro vznik obrazu je klíčová sítnice. Světlo proniká až do vrstvy tyčinek a čípků, kde způsobuje molekulární změny fotosenzitivních sloučenin a nervové podráždění, které se přenáší na další neurony sítnice. Výsledkem je **vznik akčního potenciálu v gangliových buňkách**.

Biochemická podstata fotorecepce:

- V tyčinkách a čípcích se nacházejí fotosenzitivní sloučeniny složené z bílkoviny **opsinu** a aldehydu vitamínu A1 tzv. **retinenu 1**.
- Hlavní fotosenzitivní pigment je **rodopsin**, který se nachází v tyčinkách. Rodopsinu podobný fotosenzitivní pigment je obsažen také v čípcích.
- Podstatou transdukce světelného signálu na elektrický je změna konfigurace rodopsinu.**
- Působením světla dochází ke změně konfigurace retinenu 1 z 11-*cis* izomeru na **all-trans izomer** (1).
- Změnou konfigurace molekuly rodopsinu se aktivuje přidružený G-protein (**transducin**). Na α podjednotku se na místo ADP navazuje ATP (2).
- Podjednotka α se odštěpuje z transducinu (3) a aktivuje **cGMP fosfodiesterázu** v membráně disku (4).
- Aktivovaná cGMP fosfodiesteráza hydrolyzuje **cGMP na 5'-GMP**, jehož koncentrace v buňce tak stoupá (5).
- Následně se **uzavírají Na^+ kanály** v membráně tyčinky, což vede k destabilizaci Na/K rovnováhy a vzniku **hyperpolarizačního receptorového potenciálu** (6).

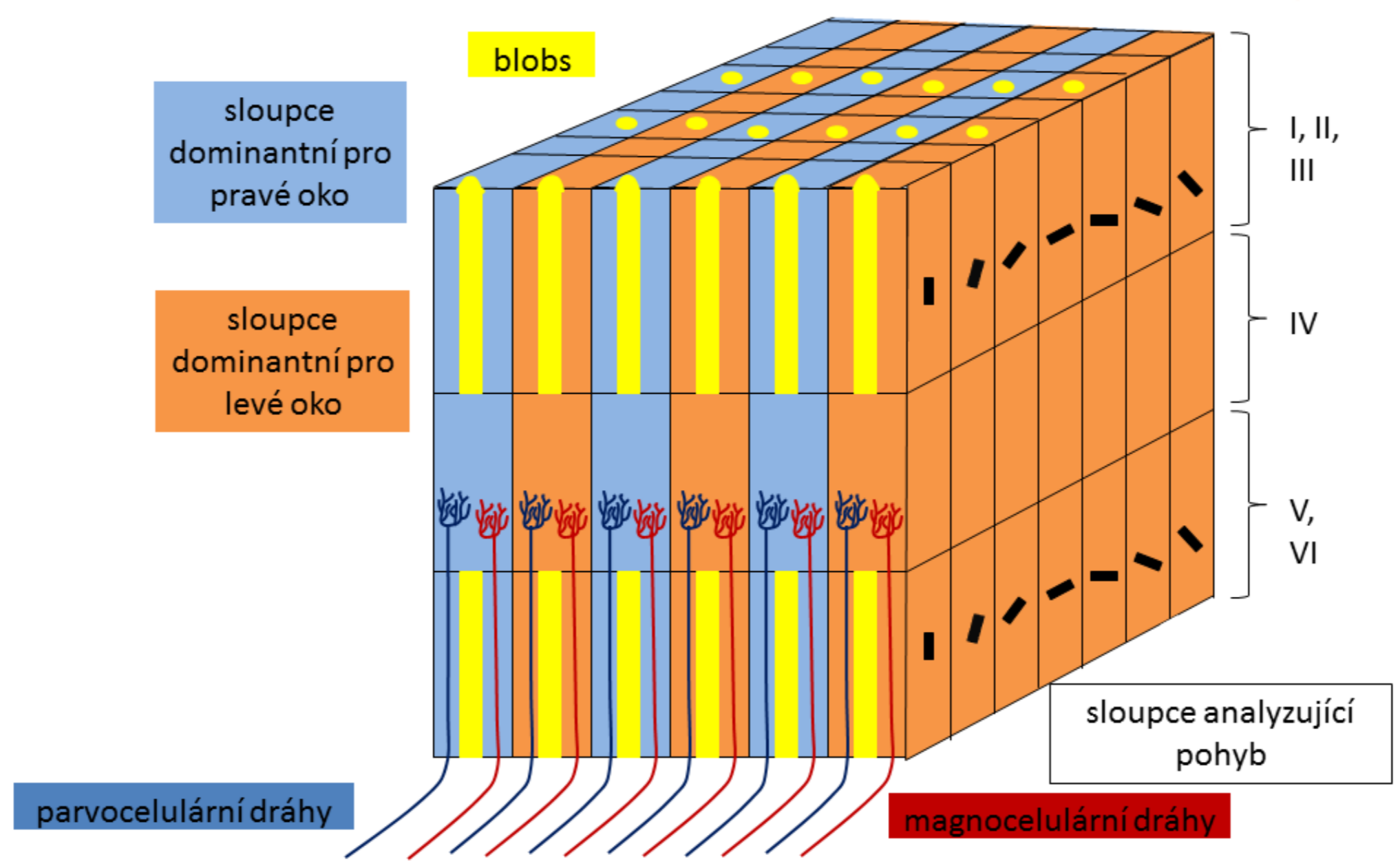
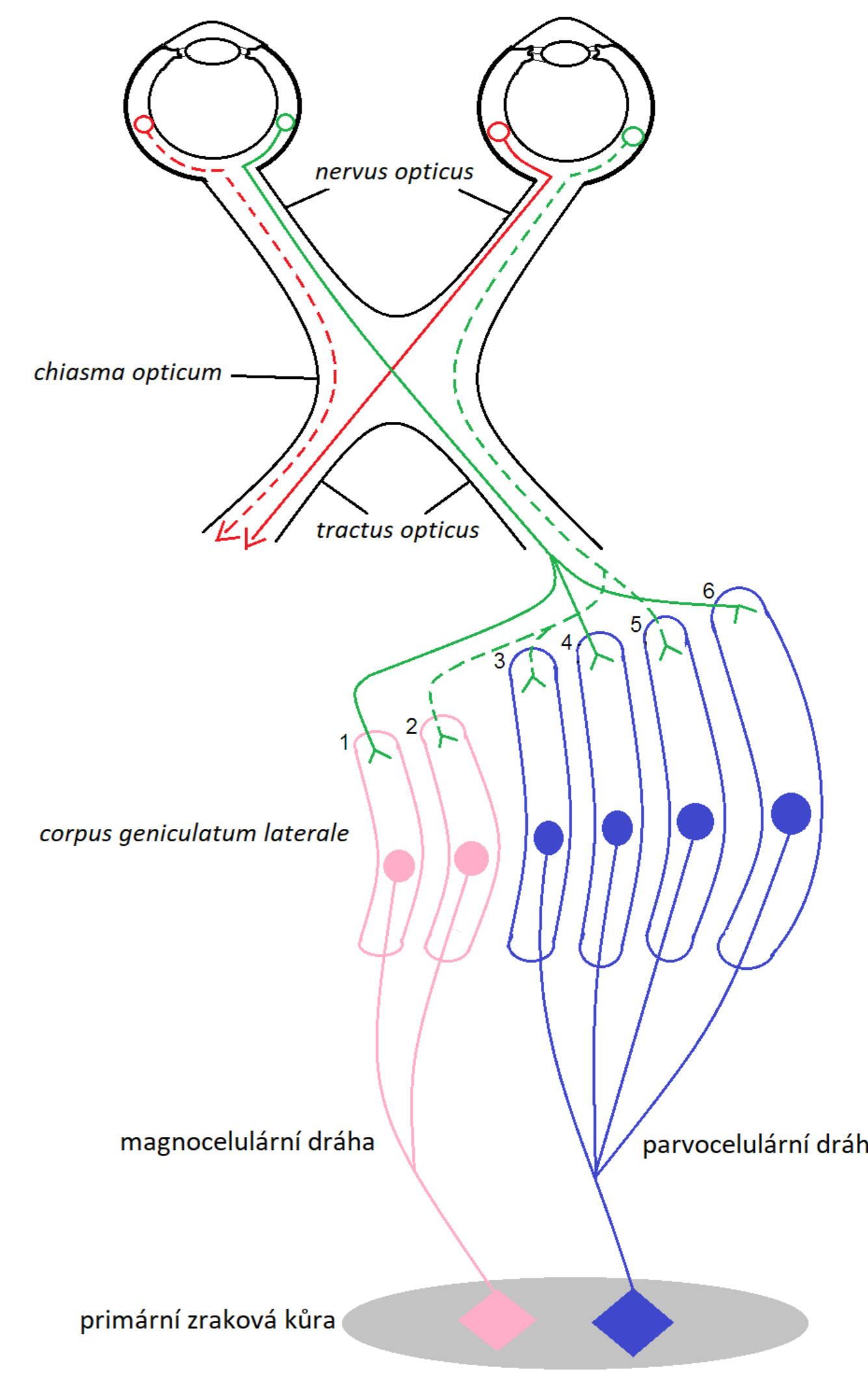


Zpracování zrakové informace v sítnici:

- Po vzniku hyperpolarizačního receptorového potenciálu ve fotosenzitivních buňkách postupuje signál sítnicí dvěma možnými cestami.
- Přímý tok signálu** - bipolární buňka je napojena přes synapsi přímo na centrální shluk tyčinek nebo čípků na jedné straně a na gangliovou buňku na straně druhé (čípek/tyčinka – bipolární buňka – gangliová buňka).
- Laterální tok signálu** - bipolární buňka je napojena pomocí horizontálních buněk nepřímo na skupinu tyčinek nebo čípků kolem centrálního shluku a přes amakrinní buňky je informace vedena ke gangliovým buňkám (čípek/tyčinka – horizontální buňka - bipolární buňka – amakrinní buňka - gangliová buňka).
- V gangliových buňkách vznikají akční potenciály** složením receptorových potenciálů všech neuronů sítnice.
- Akční potenciál se dále šíří přes axony gangliových buněk, které tvoří **n. opticus**.

Nervová dráha - zrak

- Nervová zraková dráha je **čtyřneuronová**.
- Světločivné buňky – tyčinky a čípky (1. neuron)**
- Bipolární buňky (2. neuron)**
- Gangliové buňky (3. neuron)**
- N. opticus (axon 3. neuronů)**
- Chiasma opticum**
- Tractus opticus**
- Buňky v corpus geniculatum laterale (4. neuron)**
- Tractus geniculocalcarinus (axon 4. neuronů)**
- Primární zraková kůra (area 17)**
- Asociační zraková kůra (area 18 a 19)**
- Gangliové buňky sítnice generují akční potenciály.**
- Existují dva hlavní typy gangliových buněk.
- Velké **M-buňky** (magnocelulární) mají velká receptivní pole a silné axony. Informují o náhlé změně a mají tak podíl na rozlišení pohybu a prostorových změn.
- Malé **P-buňky** (parvocelulární) mají malá receptivní pole a tenké axony. Zprostředkovávají rozlišení detailů (struktura a tvar) a barvy.
- Axony gangliových buněk se shlukují do n. opticus.** Nervová vlákna přicházejících z temporální strany sítnice v dalším průběhu zůstávají na stejné straně. Nervová vlákna z nazální strany sítnice se kříží v **chiasma opticum** a pokračují na kontralaterální straně.
- Společně pokračují jako vlákna **tractus opticus** do **corpus geniculatum laterale** v talamu.
- Corpus geniculatum laterale** v obou hemisférách je tvořeno šesti vrstvami.
- Vrstvy 1 a 2** se nazývají **magnocelulární**, protože obsahují nervová vlákna gangliových M-buněk.
- Vrstvy 3 – 6** obsahují nervová vlákna gangliových P-buněk a tvoří tak **parvocelulární** část.
- Do vrstev 1, 4 a 6 vstupují nervová vlákna z nazální části sítnice z kontralaterálního oka a do vrstev 2, 3 a 5 vstupují nervová vlákna z temporální části sítnice ipsilaterálního (stejnostranného) oka.
- Z **corpus geniculatum laterale** pokračují axony čtvrtého neuronu jako **parvocelulární a magnocelulární dráhy** a dohromady tvoří **tractus geniculocalcarinus**, který směřuje do **primární zrakové kůry** v neokortexu.

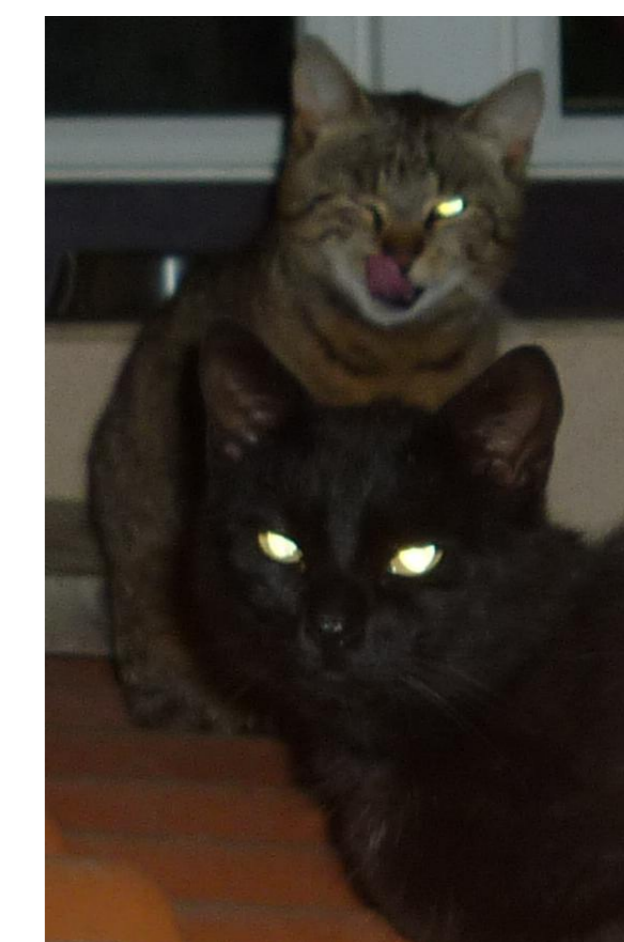


- Primární zraková kůra (area 17)** je rozdělena do **šesti vrstev**.
- Vzájemná komunikace mezi jednotlivými vrstvami primární zrakové kůry je dána strukturálním uspořádáním neuronů do vertikálních sloupců.
- Axony magnocelulárních i parvocelulárních drah z **corpus geniculatum laterale** vstupují především **do čtvrté vrstvy** zrakové kůry.
- Hlavní projekce ze čtvrté vrstvy směřuje do **vrstvy II a III**.
- Výsledkem procesů v primární zrakové kůře jsou informace o pohybu, barvě a formě obrazu. Tyto informace postupují do okcipitálního laloku, kde dochází k samotné asociaci a celkové tvorbě obrazu.
- Hlavní asociční oblasti zrakové kůry, které přijímají informace z primární zrakové kůry, jsou tzv. **area 18 a area 19**.
- Odtud se informace šíří dvěma cestami.
- Okcipitoparietální dráha** končí v **zadní parietální kůře**, kde dochází ke **vnímání pohybu a prostoru**.
- Okcipitotemporální dráha** končí v **inferotemporální kůře**, kde dochází ke **vnímání formy a barvy obrazu**.

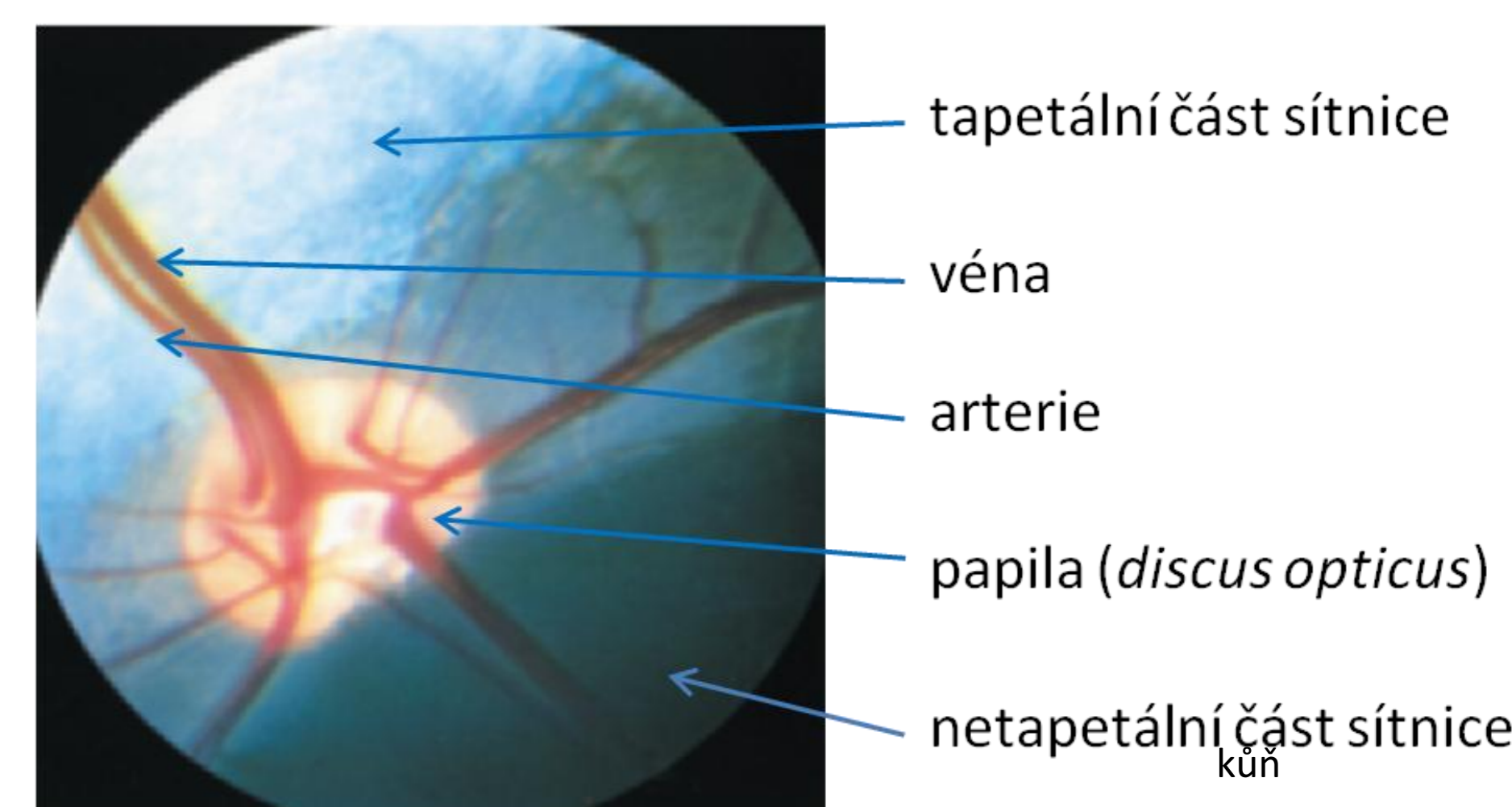
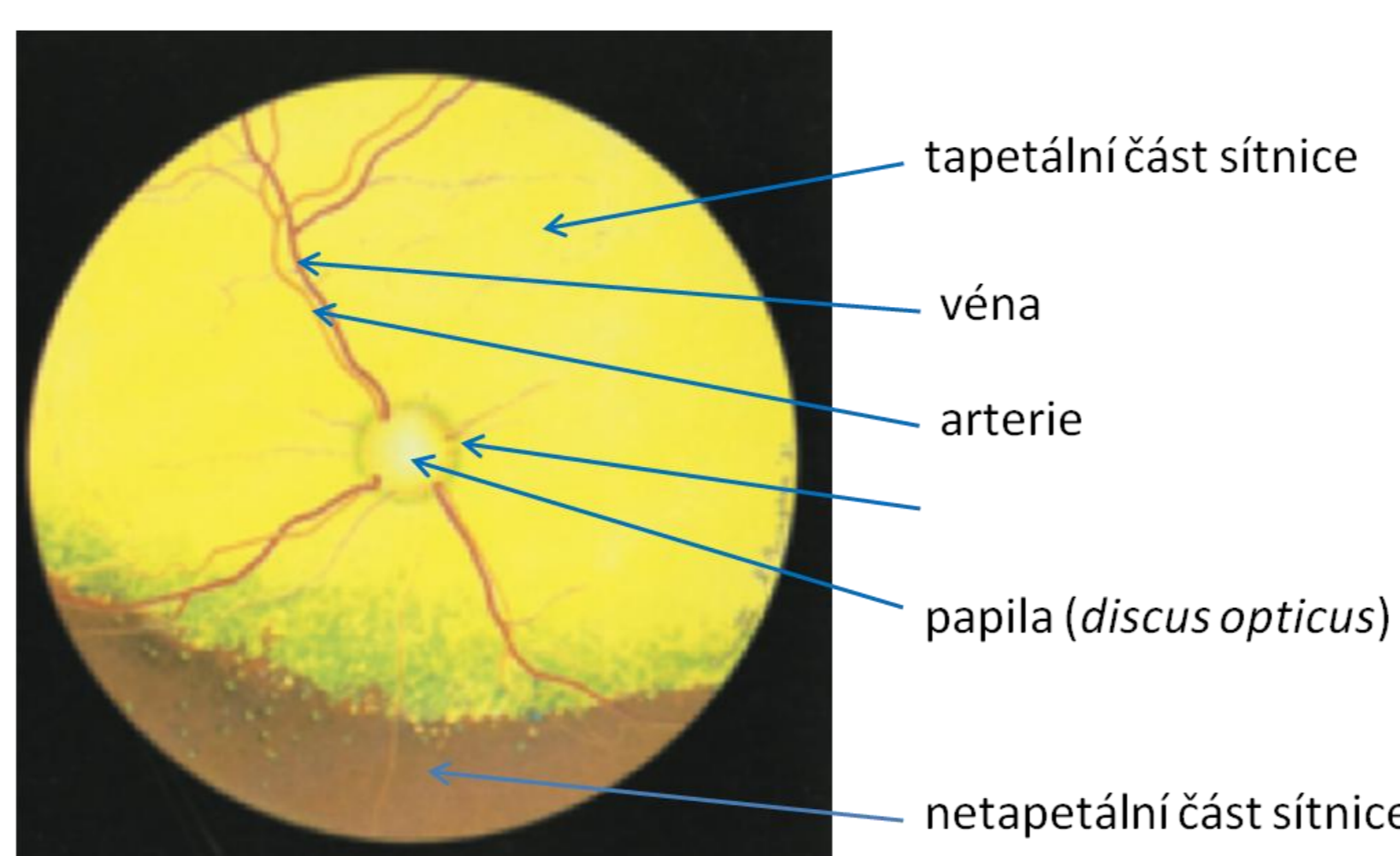
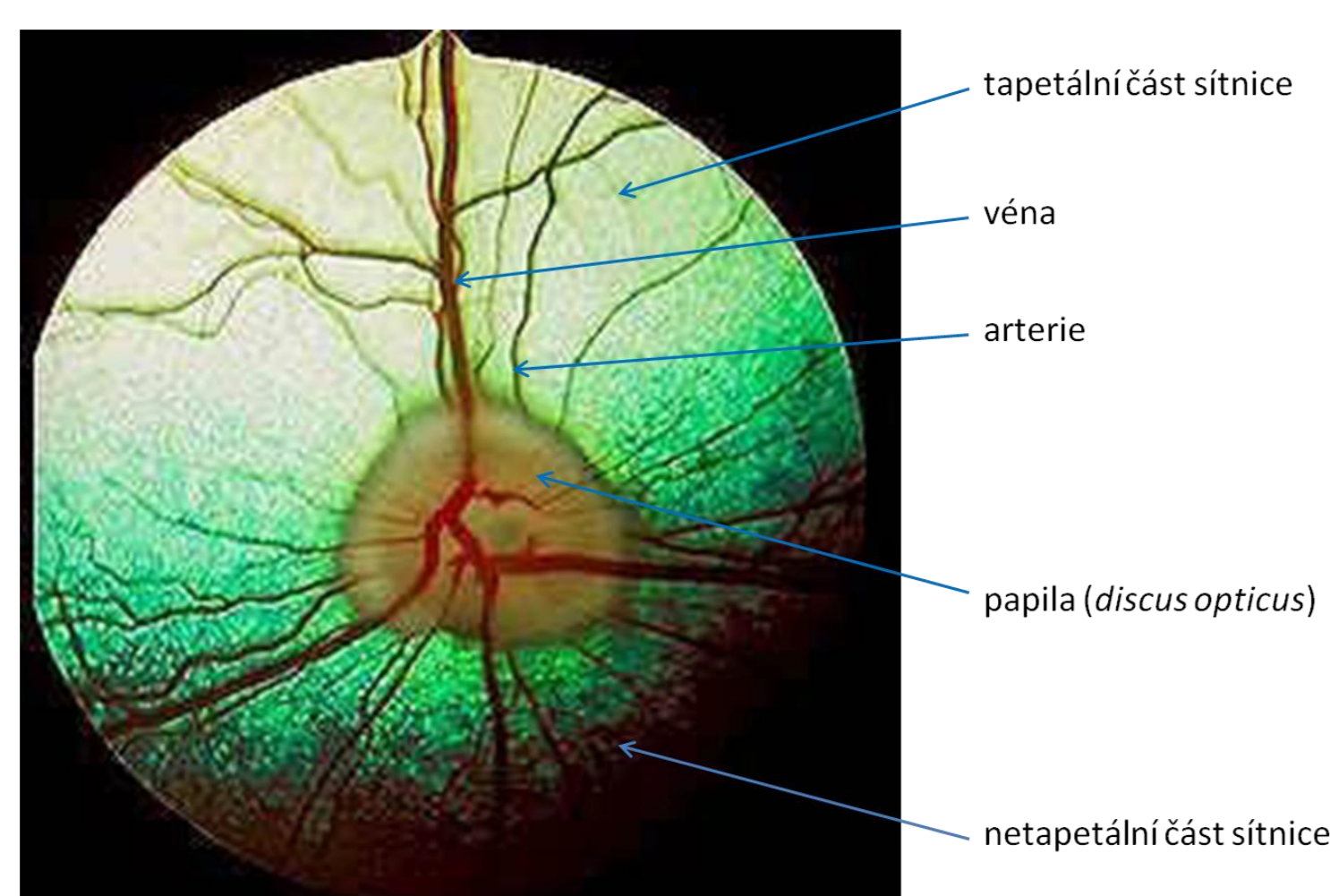
Tapetum lucidum



- Pro zvýšení citlivosti světločivných buněk se u některých zvířat vyvinula speciální fotoodrazivá vrstva tzv. **tapetum lucidum**, která umožňuje opětovnou stimulaci tyčinek a čípků.
- Nachází se **mezi poslední vrstvou sítnice a cévnatkou**.
- Světločivné buňky jsou stimulovány při prvním průchodu světla očním bulbem a znovu poté, co se světelné paprsky odrazí od **tapetum lucidum** zpět.
- Odrazivost je založena na fyzikálních vlastnostech pojivových vláken a krystalků Zn nebo guaninu.
- Odraz světla způsobuje tzv. **blyskání očí**.
- Jedná se o adaptaci tkáně na dobu se sníženou intenzitou osvětlení umožňující zvířatům **lepší vidění za šera**.
- Vyskytuje se u **přežvýkavců, koní, šelem** a jiných nočních živočichů, **poloopic, žraloků** nebo **nočních ptáků**.
- Barva odraženého viditelného světla závisí na úhlu dopadu světelných paprsků, na druhu reflexní vrstvy nebo na množství pigmentu.
- Velikost a rozsah tapeta lucida je mezidruhově odlišná**, ale obecně platí, že **tapetum lucidum** nezaujímá celou plochu očního pozadí a je obklopeno tzv. **netapetální částí**.



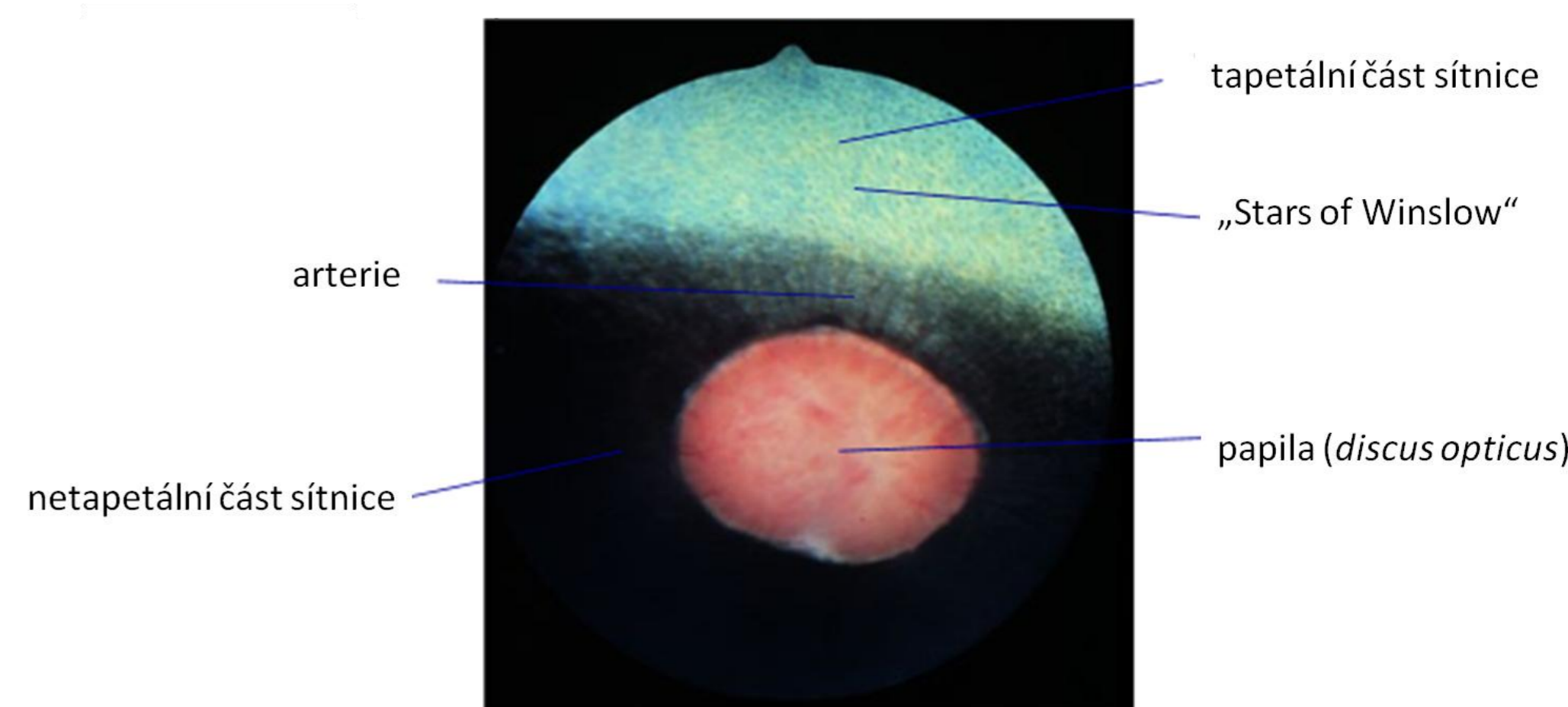
Oční pozadí



- Tapetální** (zastíněná oblast) a **netapetální** (barevná) část fundu.
- Papila** psa je nejčastěji situovaná na přechodu tapetální a netapetální části. Má oválný až trojúhelníkovitý tvar a nabývá světle růžové až bílé barvy v důsledku myelinizace.
- Na očním fundu jsou zpravidla zřetelné **3-4 retinální cévy**, které vystupují z centrální oblasti optického disku a dále postupují **superiorně, nasálně, temporálně** a příp. **inferiorně**.
- Retinální cévy doprovází více malých arterií, které mají podobný průběh. **Vény jsou vždy výrazně větší v porovnání s arteriemi**.

- Tapetum lucidum** nabývá různé barvy od žluté po zelenou.
- Papila** kočky je situována v tapetální části a v porovnání se psem je výrazně menší. Má kulatý tvar a peripapilární je lemována pigmentovaným prstencem.
- Na očním fundu jsou zpravidla zřetelné **3 retinální cévy**, které vystupují z okraje optického disku a dále postupují **superiorně, nasálně** a temporálně.
- Retinální cévy doprovází několik malých arterií, které mají obdobný průběh a jsou výrazně menší.

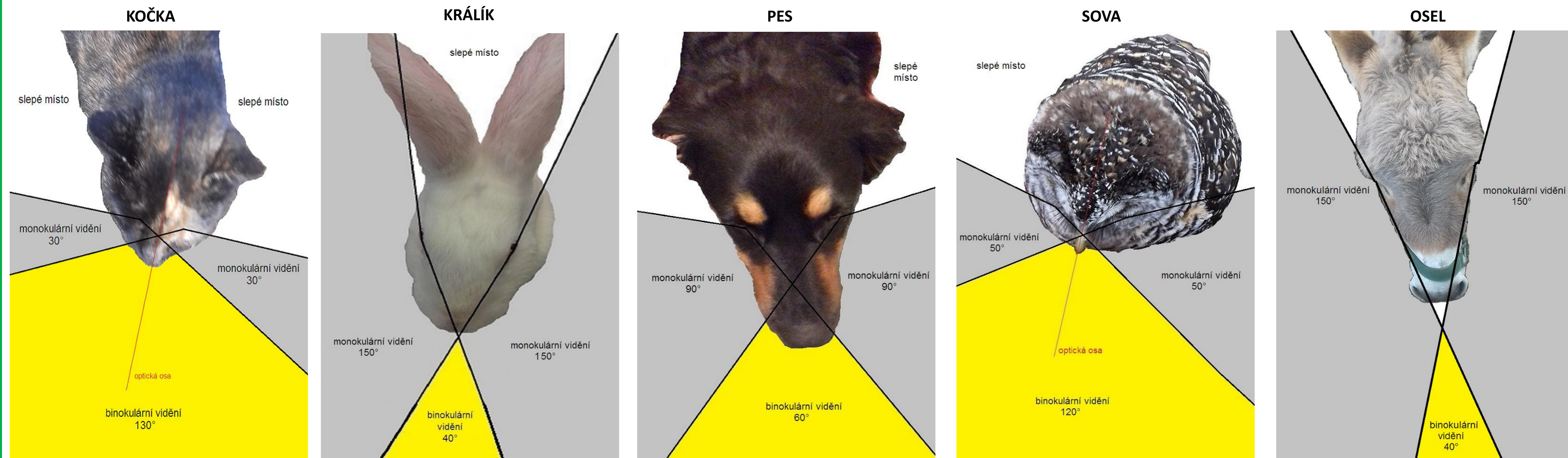
- Papila** přežvýkavců je obvykle kruhovitá nebo elipsoidní s dlouhou osou v horizontálním směru (podobně jako u koně).
- Barva tapetální části je různá od žluté přes modrofialovou.
- Na očním fundu jsou zpravidla zřetelné **4 retinální cévy**, které vystupují z centrální oblasti optického disku a ve svém průběhu jsou doprovázeny arteriemi.



Zdroje:
 • University of Pennsylvania, School of Veterinary Medicine, Ophthalmology, ©2006, James V. Schoster, DVM DACVO
 • Direct and indirect veterinary eye and ear examination instructions, Welch Allyn®, State University of New York, Veterinary College

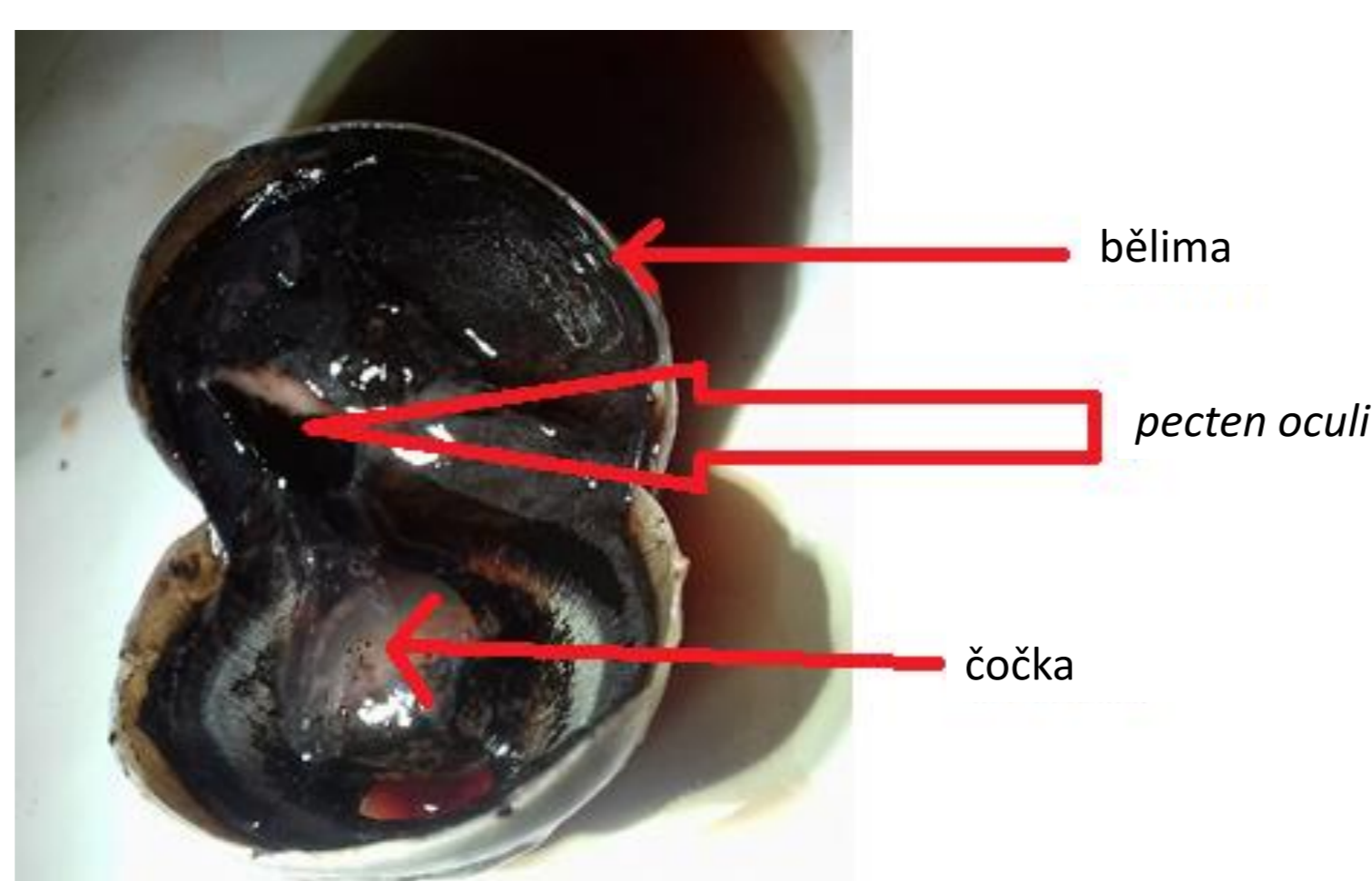
Zorné pole

- Zorný úhel**, je část prostoru v maximálním úhlu z pomyslné vodorovné roviny, který vidí jedno oko, aniž by se měnilo jeho nasměrování. V tomto úhlu popisujeme **monokulární vidění**, kdy se vytváří **plošný obraz**.
- V prostoru, kde se překrývají zorné úhly obou očí, popisujeme **binokulární vidění**, které vytváří **stereoskopický (prostorový) obraz**.
 - Dokonalé binokulární vidění umožňuje postavení očí, jejichž osy jsou v klidu rovnoběžné.
 - Monokulární vidění naopak převažuje tím více, čím jsou oči postaveny laterálněji.
 - Většina zvířat ale dokáže oba způsoby vidění kombinovat a střídat díky postavení hlavy a krku.



Pecten oculi a další zajímavosti

- V oku ptáků a některých plazů se nachází specifická struktura označovaná jako **pecten oculi** neboli **hřeben**.
- Jedná se o **bohatě vaskularizovaný a pigmentovaný výstupek cévnatky**, který prochází sklivcem směrem k čočce.
- Připomíná zřasenou plotěnku, která nabývá mezidruhově různý tvar a velikost.
- Denní ptáci mají **pecten oculi** větší než sovy nebo hrabaví ptáci.
- Význam pecten oculi**.
 - Výživa sklivce a doplnění vyživování sítnice.
 - Podílí se na sekreci nitrooční tekutiny.
 - Napomáhá vyrovnávat tlak v oku při letu a při potápění.
 - Díky bohaté vaskularizaci udržuje stálou teplotu oka.
 - Udržuje správné pH sklivce.



Mezidruhové rozdíly v počtu tyčinek a čípků:

- Výrazné rozdíly jsou patrné mezi denními a nočními druhy ptáků.
- Holub** je typickým představitelem denního letce.
 - Na sítnici nemá vůbec žádné tyčinky, a proto v noci nelétá.
- Sova** je typickým představitelem nočního letce.
 - Na sítnici je přítomno 95-99% tyčinek na úkor čípků.

Rozdíly v počtu čípků přímo ve žluté skvrně:

- Dravci mají až 7x více čípků na mm² (což je více jak 1 milion buněk) v porovnání s člověkem.

Rozdíly ve tvaru, umístění nebo velikosti žluté skvrny dle způsobu života:

- Ptáci vodních planin mají **protáhlou žlutou skvrnu**, která se táhne po obvodu oka přes celou sítnici. Tato adaptace jim umožňuje dobře a ostře sledovat veškeré dění na celém horizontu.
- U ptáků, kteří loví svou kořist v rychlém letu a zároveň mají oči postavené po stranách hlavy, se vyvinula **přídavná žlutá skvrna na mediální části sítnice**. Díky tomu mají dokonalé prostorové vidění.