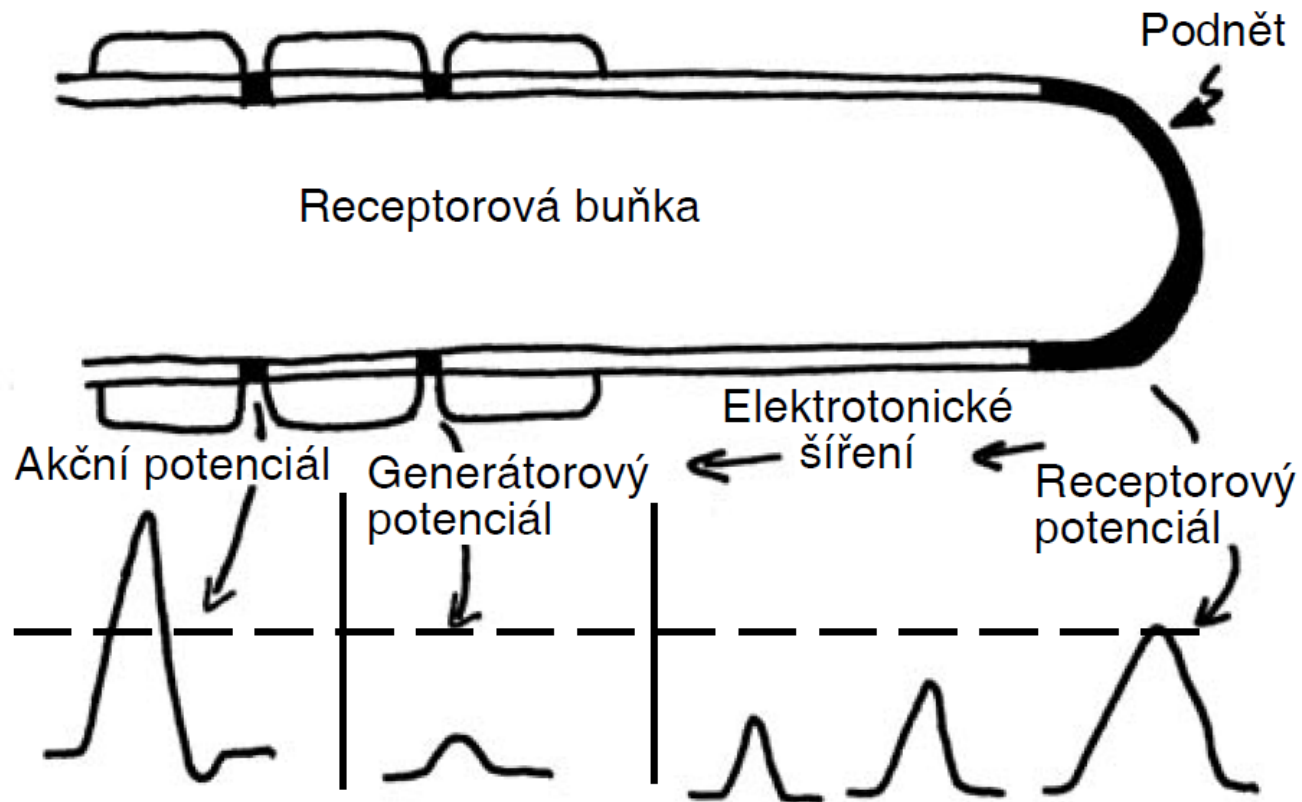


# Čidla (smysly)

Alena Žáková

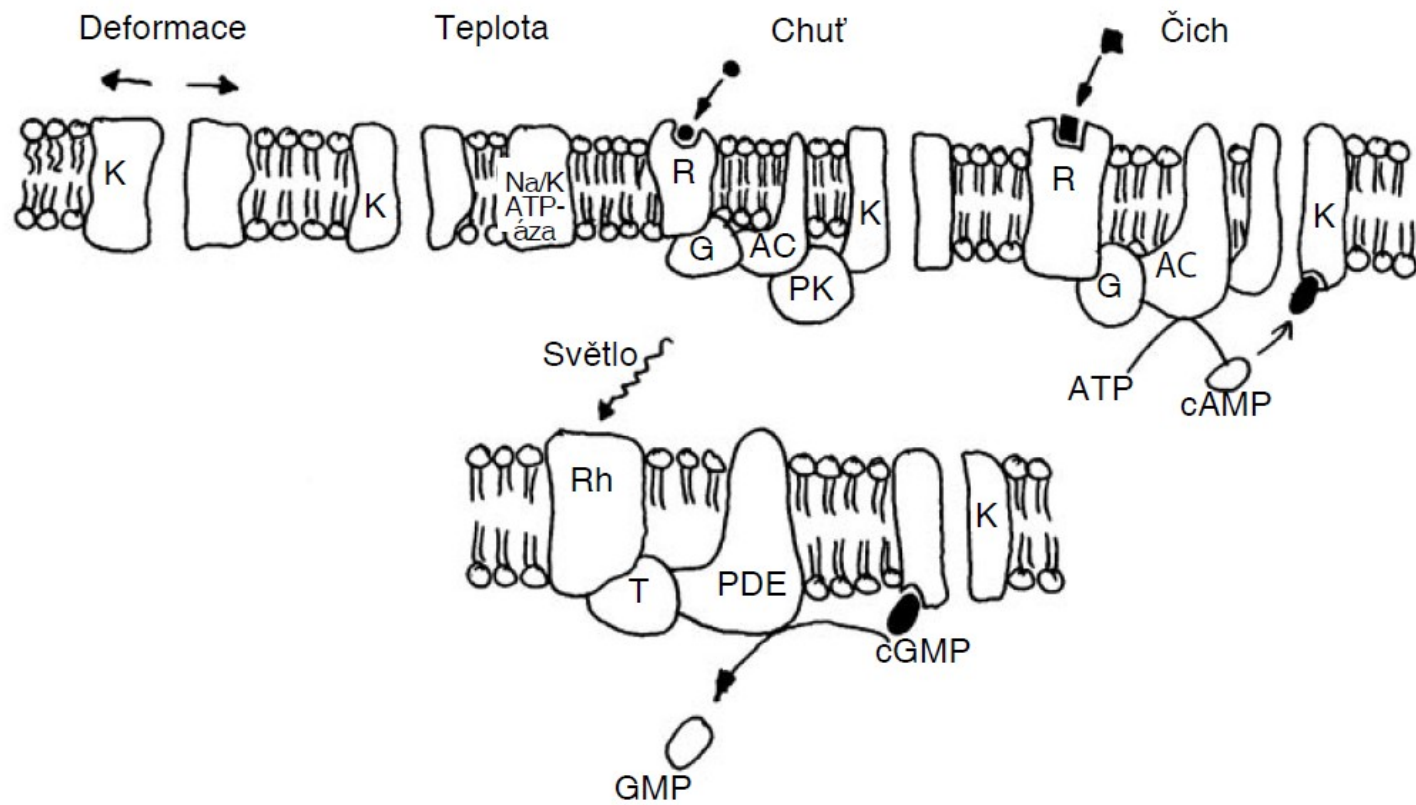
Zdroj: Vácha, M. a kol.: Srovnávací fyziologie živočichů. Brno, MU 2010.



**Vstup informace do nervového systému (NS).** Na podnět reaguje specializovaná receptorová membrána změnou iontové propustnosti a vzniká receptorový potenciál (transdukce). Ten se pasivně šíří a překročí-li depolarizace (generátorový potenciál) prahovou hodnotu, vzniká na axonu akční potenciál. Ten pokračuje do NS (transformace).

Zajímavost: některé receptory se rychle adaptují (**diferenční**) (čich, t kůže), kdy receptorový potenciál a následně frekvence akčních potenciálů s časem slábne, ačkoli podnět je konstantní. Neadaptující se r. (**proporcionální**) (př. obsah kyslíku, poloha kloubů, t krve)

Rozdělení receptorů z hlediska umístění orgánů:  
**Interoreceptory** – čidla ve vnitřních orgánech (pH krve, poloha končetin)  
**Proprioreceptory** – čidla v pohybové soustavě (kloubní rec., svalové vřetenko, Golgiho šlachová tělíska,  
**Exteroreceptory** – informace o vnějším světě (čich, zrak)



**Specifita citlivosti jednotlivých typů receptorů**  
 Je dána: strukturou membrány vyladěnou na určitý typ podnětu

**Mechano** – mechanické deformování membr. proteinů – dochází k propustnosti kanálu (sluch, hmat, vnitřní napětí svalu a šlach,

**Termo** – 1. přímá reakce membránových enzymů (Na/K pumpa) na změnu teploty nebo 2. změna teplotní oscilace kanálových molekul vedoucí ke změně membránové propustnosti.

**Chemo**-1. navázání molekuly dané látky na bílkovinný receptor spuštěním kaskády dalších pochodů na jejímž konci je zásah do enzymatického řízení a tedy funkce buňky nebo 2. změna iontové propustnosti a tedy i membránového potenciálu.

**Foto**-zachycují energii světelného záření. Změna konformace molekuly fotoropigmentu po dopadu fotonu spouští aktivační zesilující kaskádu membránového potenciálu

**Obr. Schéma transdukce různých smyslových podnětů na receptorový potenciál.**

Podnět musí ovlivnit propustnost kationtových kanálů. **Mechanické podněty** mohou jednoduše kanály deformovat, teplotní oscilace mohou ovlivnit pravděpodobnost **otevírání kanálů nebo činnost Na/K pumpy**, chemické látky a světlo spouští transdukční **enzymovou kaskádu**. K – kanál, R – receptor, G – G-protein, AC – adenylátcykláza, PK – proteinkináza, Rh – rhodopsin, PDE – fosfodiesteráza.

## Úloha CNS při vzniku smyslového vjemu

**Př. zrak:** zraková informace je na mnoha úrovních smyslové dráhy mnohonásobně zpracovávána, než ve vědomí vznikne finální smyslový vjem.

**Rozpis:** Receptory – přenos vzruchu do CNS – zde oddělenými kanály zpracovávány různé kvality vstupující informace:

- 1.** V jedné části mozku je například lokalizováno rozeznání tvaru, barvy a přesné rozeznání viděného objektu
- 2.** Jiná mozková oblast reaguje a vyhodnocuje směr a rychlost pohybu viděného atd
- 3.** Komplexní smyslová informace je postupně sestavována z jednodušších prvků do složitějších celků v odpovídajících, hierarchicky uspořádaných smyslových centrech mozku komplexní vjem, který je přístupný vědomí
- 4.** Působí dělba práce a specializace korových neuronů smyslových drah.
- 5.** V rámci jednoho smyslu nalézáme neurony reagující jen na jedinou určitou variantu podnětu (neurony specialisté – u zraková dráha, kde jediný neuron specializovaný např. na tvář známého člověka, u sluchu - poslech tónu jediné určité výšky, u čichu - čichání určité jedinečné vůně

# Mechanoreceptory

chuť a čich – nejstarší a nejuniverzálnější

**Prvoci:** odpovídají únikovou reakcí na kyselé, alkalické nebo slané podněty, reagují pohybem (chemotaxí) na chemické podněty z okolí př. přítomnost potravy

Oddělení chutě a čichu (charakterizuje fylogeneticky přechod od živočichů na souš) je důležitým smyslem pro všechny vyšší taxony až k obratlovcům.

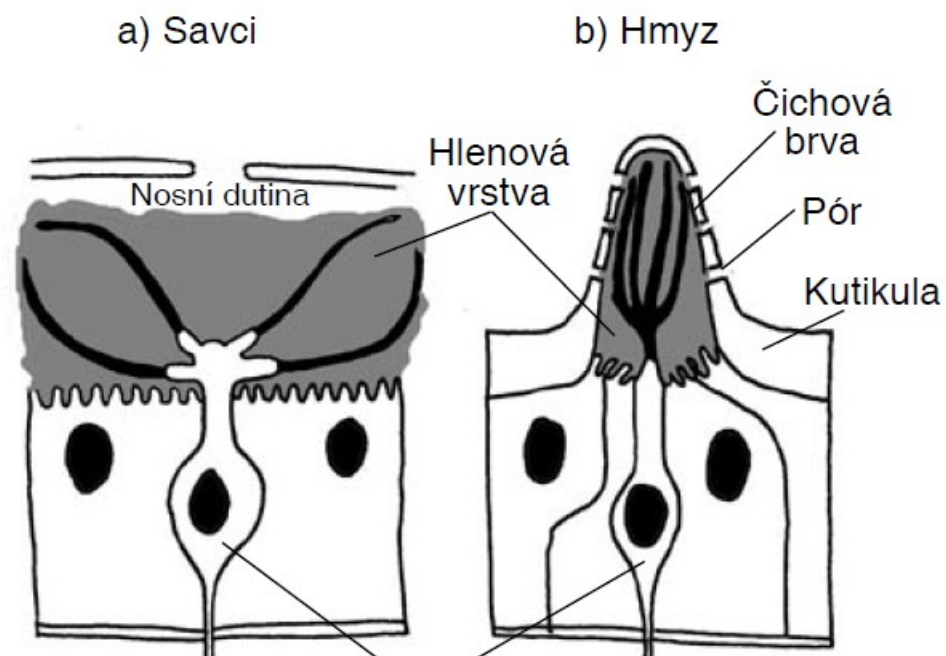
## Čich

primární smyslové buňky (člověk až 20 milionů na 5 cm<sup>2</sup>)  
v horní části nosní dutiny.

Rozdílná citlivost: CO nedetekujeme, merkaptan 2,5.10<sup>-10</sup> mg/l  
vzduchu . Adaptace.

Čichové receptory savců a hmyzu jsou podobné jako u chuti.  
Molekuly látek nesené vzduchem jsou zachyceny a rozpustí se  
ve vrstvě hlenu. Pak se vážou na receptory prstovitých výběžků  
receptorových buněk.

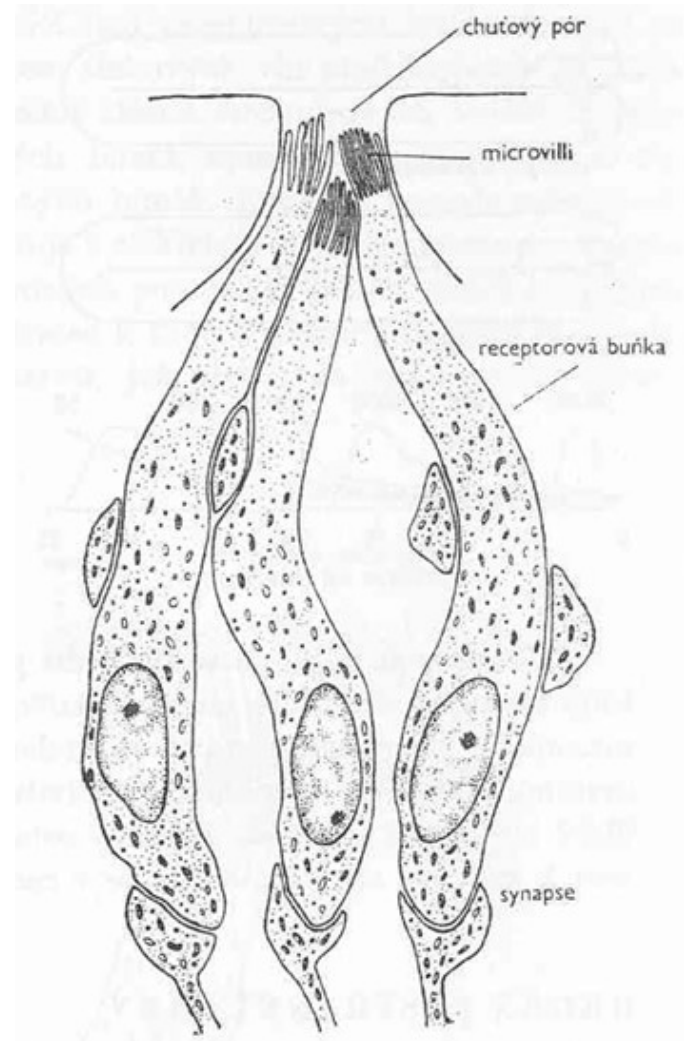
**Zajímavost:** například čichové sensily tykadel některých motýlů  
reagují pouze na jedinou látku, a to dokonce jen v určité  
stereoisomerní formě trans nebo cis.



## Chuť

sekundární smyslové buňky  
(člověk 10 tisíc), ústí dutina.

Citlivost NaCl  $10^{-2}$  M, chitin  $0,8 \cdot 10^{-5}$  M.





# Chuť

**Bezobratlí** - Hlemýžď má chemoreceptory na kratších hlavových tykadlech, jiní bezobratlí v různých smyslových jamkách a hrbolcích.

## Obratlovci

### Chuťové pohárky

**Obojživelníci a ryby** - ch. p. 1. v celé ústní dutině, některé druhy ryb na 2. hlavových přívěscích, 3. v kůži po celém těle.

**Plazi** - ch. p. 1. podél vnitřního okraje dolní čelisti, 2. na jazyku, 3. podnebí a 4. na dně ústní dutiny.

**Ptáci** - (horní plocha jazyka zrohovatělá), 1. při kořenu jazyka a 2. ve sliznici hltanu.

**Člověk** – zajímavost: 3 tisíce čichových kvalit, receptorových buněk až několik tisíc. Výsledný čichový vjem vzniká mísením podnětů z různě vyladěných receptorových buněk. Citlivost NaCl 10<sup>-2</sup> M, chitin 0,8.10<sup>-5</sup> M.

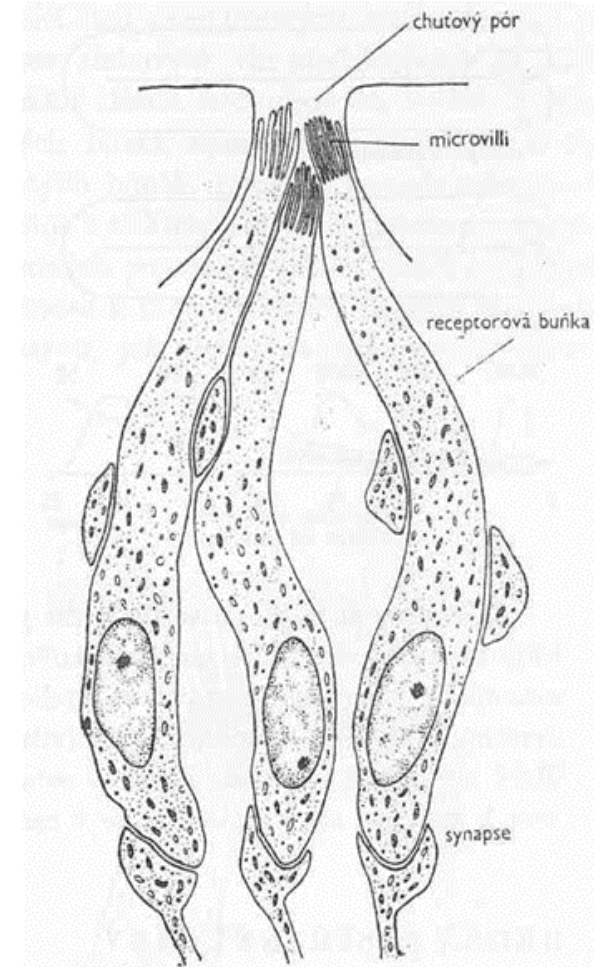
**Feromony** - nalezeny u různých živočišných skupin:

**u bezobratlých** (hmyzu, pavouků, měkkýšů a dalších),

**u obratlovců** (ryb, hlodavců), ale i u člověka - důležitý význam zejména ve vnitrodruhové komunikaci.

**Funkce:** 1, ovlivňují chování a tedy i sociální nebo sexuální vztahy mezi jedinci, 2. hustotu populace, 3. řídí rychlost vývoje nebo reprodukční schopnost aj.

**Zajímavost:** některé hmyzí čichové receptory jsou tak citlivé, že i jediná molekula látky může vyvolat akční potenciál (přenos informace do CNS)



Chuťové receptoras

# Hmat

**Taktilní receptory** – jsou smyslové buňky v kůži citlivé na dotek, tlak, chlad i teplo

## Bezobratlí:

uloženy na zvlášť exponovaných místech těla,

**u nezmarů** na chapadlech a v okolí ústního otvoru,

**u medúz** na spodní straně klobouku.

**u ploštěnců a máloštětinatců** 1. jako volná nervová zakončení, 2. na přídí těla a) smyslové štětiny a b) kožní pupeny s tyčinkovitými výběžky smyslových buněk.

**U členovců** s tuhou kutikulou výskyt roztroušeně po celém těle zvláštní hmatové brvy upevněné kloubně v kutikulárních jamkách, do dutiny proniká čivý výběžek primární smyslové buňky, při každém ohnutí chlupu je mechanicky drážděn



## Obratlovci

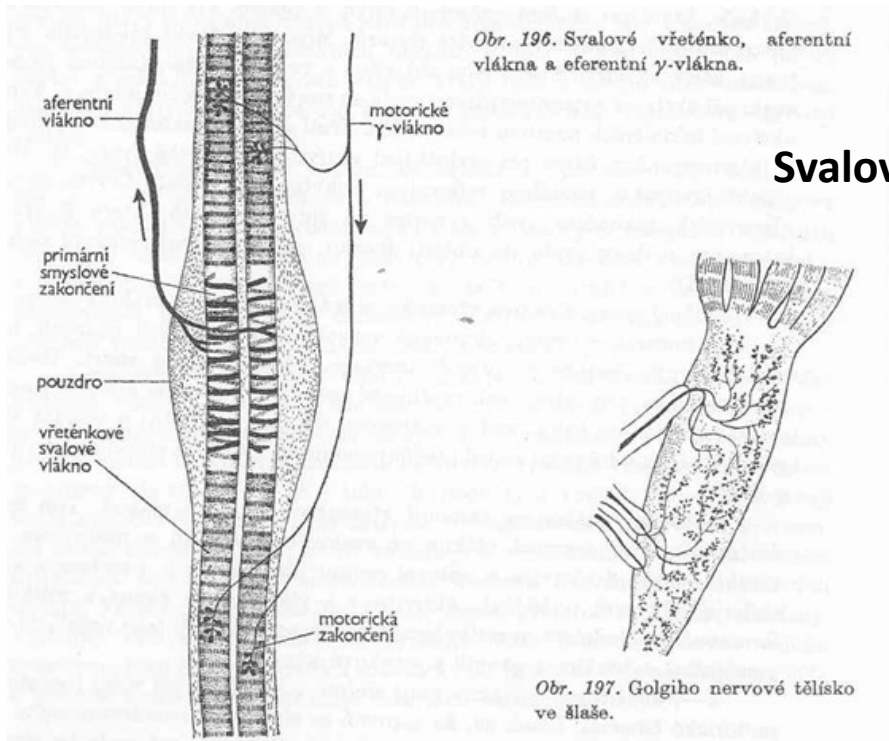
**Dotykové receptory:** hmatová peříčka nebo hmatové chlupy, Meissnerova tělíska

**Tlakové:** Vater-Pacciniho tělíska, **Mechanoreceptory:** svalová vřeténka, šlachová tělíska,

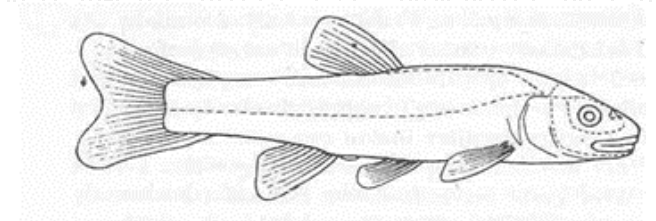
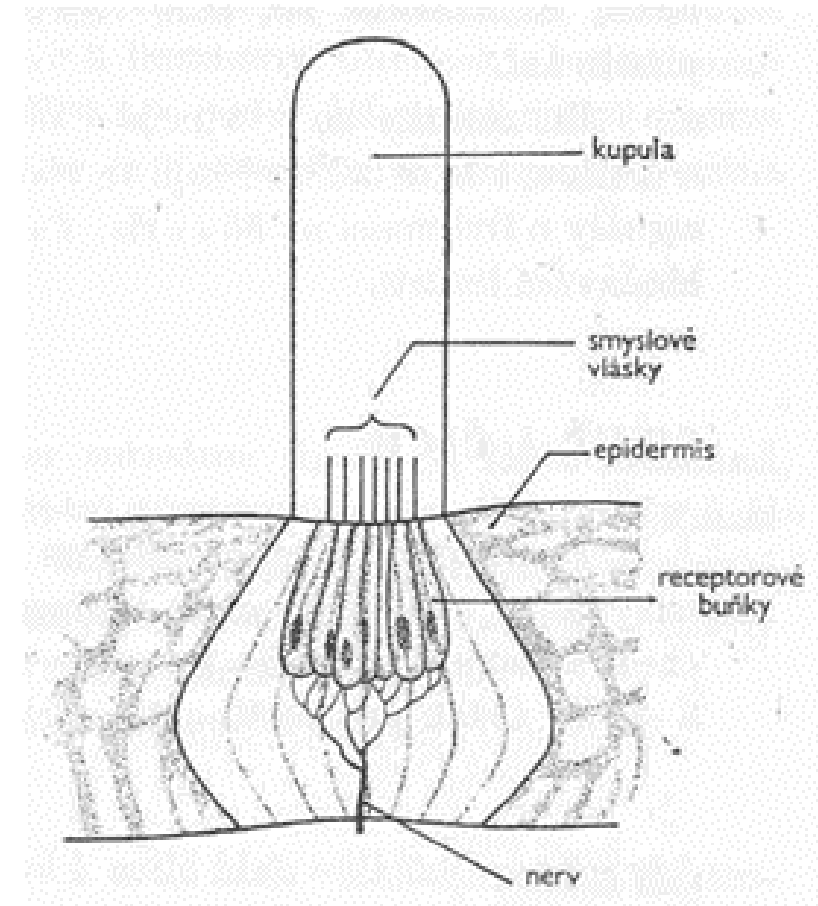
**Útrobní mechanoreceptory:** kardiovaskulární baroreceptory, Pulmonární receptory, gastrointestinální Receptory, renální receptory, volná nervová zakončení

**Podrobnější rozpis:** u ptáků a savců jsou nervová vlákna napojena **na bázi peří a chlupů**, z nichž některé mohou být specializovány jako **hmatová peříčka** nebo **hmatové chlupy**. Orientace hmatovými chlupy je důležitá zejména pro savce obývající úzké tmavé chodby a dutiny. U některých savců (např. kočka) jsou sinusové chlupy charakteristicky rozmístěny **kolem ústního otvoru**. Dotykovými receptory jsou citlivé buňky v horních

pyscích úst, na tvářích a nad očima savců, **Meissnerova tělíska** na dlani, tlapkách a konečcích prstů. Tlak registrují i **Vater-Pacciniho tělíska** v hlubších vrstvách kůže. **Mechanoreceptory**, které umožňují detekovat vzájemnou polohu a pohyby jednotlivých částí těla patří mezi tzv. proprioreceptory. Nejznámějšími jsou **svalová vřeténka** registrující změny v natažení svalů a **šlachová tělíska** kontrolující svalové napětí a tonus. K **útrobním mechanoreceptorům** patří **kardiovaskulární baroreceptory**, které reagují na změny krevního tlaku, umístěny např. v oblouku aorty. **Pulmonární receptory** reagují na změny objemu plic, **gastrointestinální receptory** jsou stimulovány náplní žaludku a střev, **renální receptory** reagují na náplň ledvin a močového měchýře. Bolest má na rozdíl od jiných počitků především význam ochranný. **Specifickými receptory pro bolest** jsou rovněž **volná nervová zakončení**, jež lze nalézt ve většině tělních tkání. Některé tělesné tkáně však na působení bolestivých podnětů nereagují (plíce, játra, slezina, ledviny, mozková tkáň). **Svědění** (pruritus) vzniká lehkým drážděním receptorů pro bolest, a to zpravidla **při hojení ran a při mírném poškození kůže**, z níž se uvolňuje zejména histamin.



## Svalové vřeténko a nervové tělíčko



Proudový orgán

## Proudový orgán

Základem proudového orgánu jsou skupiny **kožních mechanoreceptorů** zvané **neuromasty**, neuromasty zasahují vlásky do kupuly, ta ohybem nerovnoměrně natahuje vlásky a stimuluje receptorové buňky (obě ryby a paryby)

# Proudový orgán

## Podrobnější rozpis:

V nejjednodušším případě jsou uloženy v mělkých brázdách tělního povrchu (kruhoústí, některé paryby). U vývojově pokročilejších živočichů leží hlouběji pod kůží ve v kanálcích ústících na povrch těla. U ryb je sídlem tohoto dalekohmatného smyslu ústrojí zvané **postranní čára**, skládající se ze dvou, po bocích těla probíhajících **kanálků**, které se na hlavovém konci větví ve složitý **labyrint chodbiček**. Navenek tyto kanálky vyústují krátkými vývody, kterými do nich vniká voda. Každý neuromast je tvořen sekundárními smyslovými buňkami s vláskovitými výběžky, které jsou obaleny rosolovitým sloupcem zvaným kupula. Vodní proud ohýbá kupulu a dráždí tak vlásky smyslových buněk, napojených především na jednu z větví bloudivého nervu. **Ryba si tak uvědomuje polohu těla v proudící vodě**, zjišťuje překážky, je informována o kořisti, o poloze sousedních jedinců při pohybu v hejnech atp.

Z vývojového hlediska je důležité, že **neuromasty** proudového orgánu **jsou velmi podobné smyslovým buňkám vnitřního ucha** (obr. 17.4.a). Vzhledem k tomu, že mohou vnímat i vlnění vody o nízkém kmitočtu, mohou se podle některých autorů podílet i na vnímání zvuku. Přední část postranní čáry lze považovat za strukturu, z níž se vyvinul **vestibulární a sluchový aparát vnitřního ucha obratlovců**.

Jistá analogie proudového smyslu se vyskytuje i u létajících živočichů. Vnímají jí rychlost proudění nebo vibrace vzduchu. U hmyzu se nazývá **Johnstonův orgán**. Překročí-li rychlost větru určitou hranici (např. pro druhy rodu *Lucilia* více jako 2,5 m/s), hmyz nelétá.

Pavoukům se vyvinuly zvláštní **mechanoreceptory – seizmoreceptory** reagující na vibrace sítě. Pavouk jimireaguje na nejjemnější záchvěvy.



a) Meissnerovo tělísko



b) Merkelův disk



c) Paciniho tělísko



d) Receptor chlupového váčku



e) Ruffiniho tělíska



f) Volné nervové zakončení

### Různé typy kožních receptorů savců.

Slouží k transdukci **a) doteku a pomalých vibrací**; **b) doteku a tlaku**, **c) tlaku a rychlých vibrací**, **d) jemného doteku a pomalých vibrací**, **e) doteku a tlaku**, **f) bolesti**.

### Doplňěk

Volně a aktivně se pohybující živočichové potřebují být přesně a rychle informováni o své pozici, poloze a pohybu těla. Tyto informace přicházejí z různých smyslů. Proprioreceptivní informace přicházejí ze šlach a svalů a informují o poloze a pohybu částí těla. K tomu přispívají receptory v pokožce. Důležitá je také vizuální informace. Nicméně ani tyto všechny informační vstupy nestačí a většina zvířat má vyvinutý statokinetický orgán – vestibulární aparát, který je specializovaným smyslem pro rovnováhu. Detekuje polohu a pohyb

# Vestibulární orgány

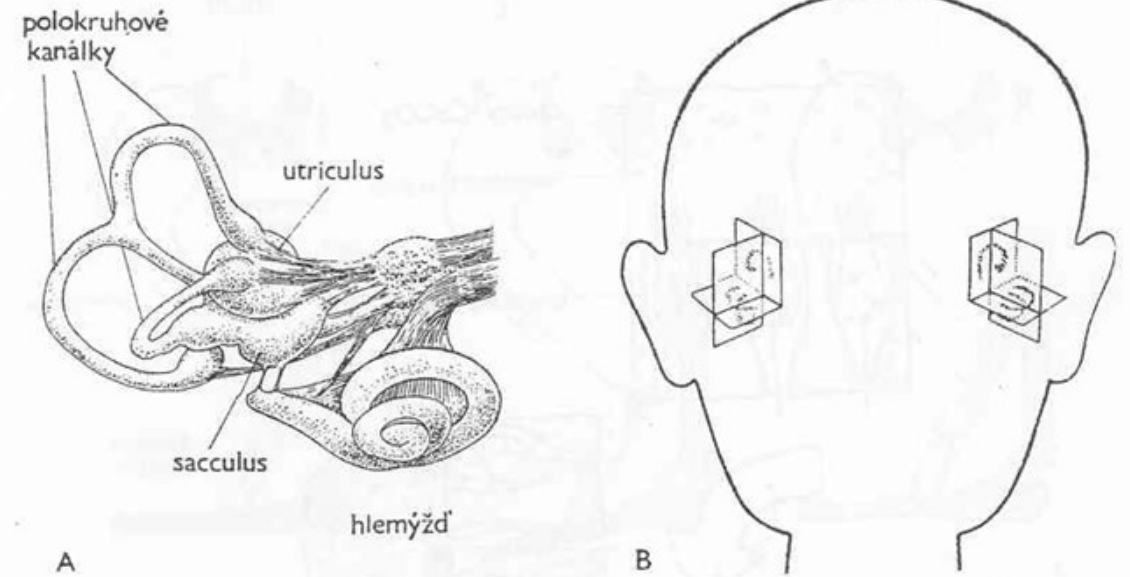
uloženy v hlavové části organismu.

význam: **v reflexní reakci udržující hlavu a trup ve vzpřímené a vyvážené poloze vůči gravitaci.**

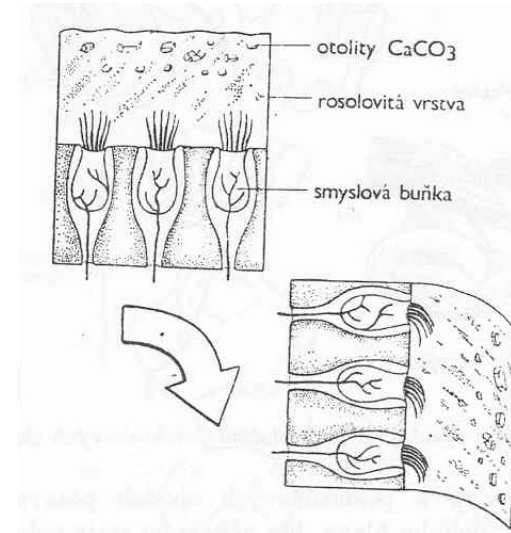
## Statokinetické receptory –

3 polokružné chodby a 3 váčky. Skvrny vláskových buněk s kupulou v ústí chodeb jsou drážděny rozporů mezi pohybem vestibulárního systému a setrvačností endolymfy.

V *utriculu* a *sacculu* v kupule otolity pro registraci vůči zemské tíži.



Obr. 194. A – Vestibulární systém. B – Rozložení polokruhových chodeb.



Receptory v utrikulu a sakulu

# Vestibulární orgány

**Podrobnější rozpis:** existuje ve dvou modifikacích: **1. statocysta**, která je charakteristicky tvořena kapalinou naplněným váčkem, na vnitřním povrchu políčko sensorických buněk (zvané **makula**). Tyto buňky mají jemné vlásky, které na svých konečcích nesou pevné krystalky (otokonia) slepené dohromady želatinózním materiálem. Když se statocysta nachýlí na stranu nebo vpřed, vlásky se ohýbají a na axonech naměříme salvy akčních potenciálů. Toto zařízení je citlivé na lineární zrychlení nebo směr gravitace, zajišťuje tedy statickou rovnováhu. Statocystu ve funkci gravireceptoru nalezneme s výjimkou hmyzu u všech bezobratlých živočichů. Raci mají otevřené statocysty na bázi prvního páru tykadel. Funkci statolitů zde mají zrnka písku. Medúzy mají statocysty umístěné paprskovitě na okraji zvonu. Za orgán rovnováhy dvoukřídlého hmyzu jsou považovány haltery (kyvadélka) – zakrnělý druhý pár křídel.

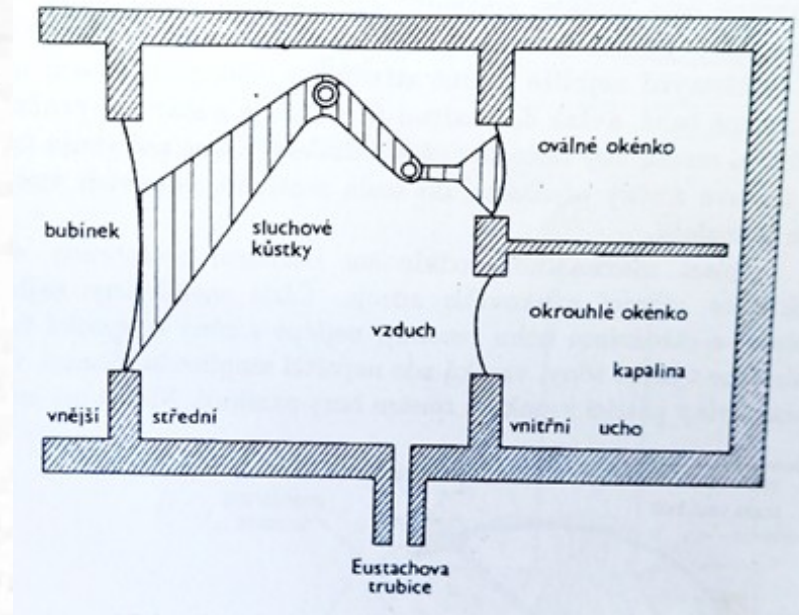
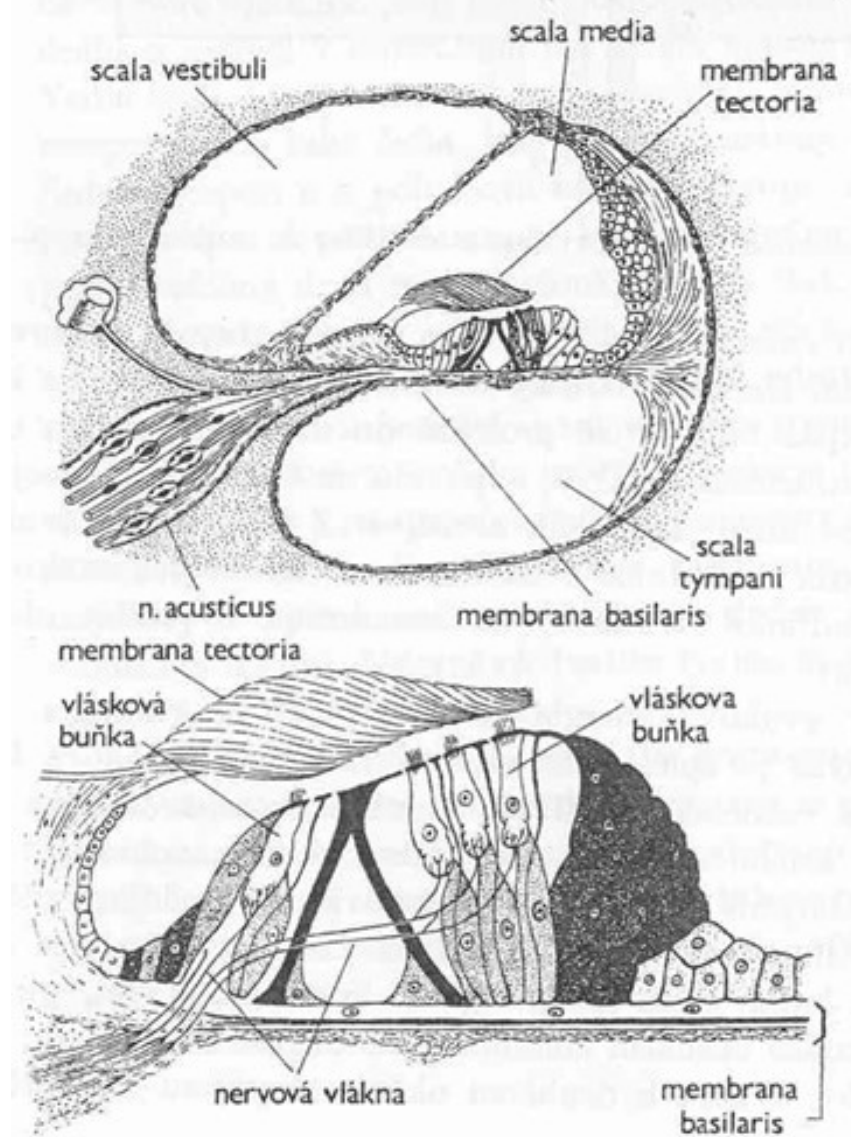
**2. kanál naplněný tekutinou s políčky smyslových buněk na stěně.** U obratlovců nalezneme tři (u kruhoústých dva) polokruhovitě kanálky vnitřního ucha, kolmo na sebe postavené, rozšířené do baňky (ampula) vyplněné endolymfou. Jsou to opět vláskové buňky, jejichž vlásky trčí do dutiny kanálku a jsou kryty želatinózní kupulou – podobnou té, kterou známe z proudového orgánu, a která se rozpíná přes celou dutinu. Při pohybech hlavy se pohyb endolymfy opoždí za pohybem stěn kanálku, přičemž se kupula vychyluje jako létací dveře a dráždí receptorové buňky na bázi ampuly. Tento orgán detekující **rotační zrychlení** a zajišťující **dynamickou rovnováhu** nalezneme vzácně u některých bezobratlých (humr, chobotnice), naopak pro obratlovce je charakteristický. Statokinetické receptory patří mezi **tonické** receptory – neadaptují se. Statokinetický orgán zprostředkovává řadu polohových a pohybových reflexů.



## Sluch: sluchové receptory

(**tympanální orgán**, sluchový orgán) – reakce na tlak molekul (vlny zhušťování) – přenos bubínkem přes sluchové kůstky (1,3 – kladívko, kovadlinka a třmínek ← **columela**) na membránu oválného okénka, do hlemýždě. Přenos vln perilymfou přes *scala vestibuli* (**horní kanál**), *helicotremu* do *s. tympani* rozechvívá **bazilární membránu**. Její vychýlení registrují vláskové buňky **Cortiho orgánu** (vůči *m. tectoria*). Dutina středního ucha má spojení s trávicí trubicí (**Eustachova trubice**). **Lidské ucho**: 16 – 20 000 Hz, ultrazvuk [až 175 000 Hz] někteří obratl. (let., kyt. [i hmyzožr.] – orientace.

**Echolokace** – vysílání ultrazvukových vln a zpětný příjem

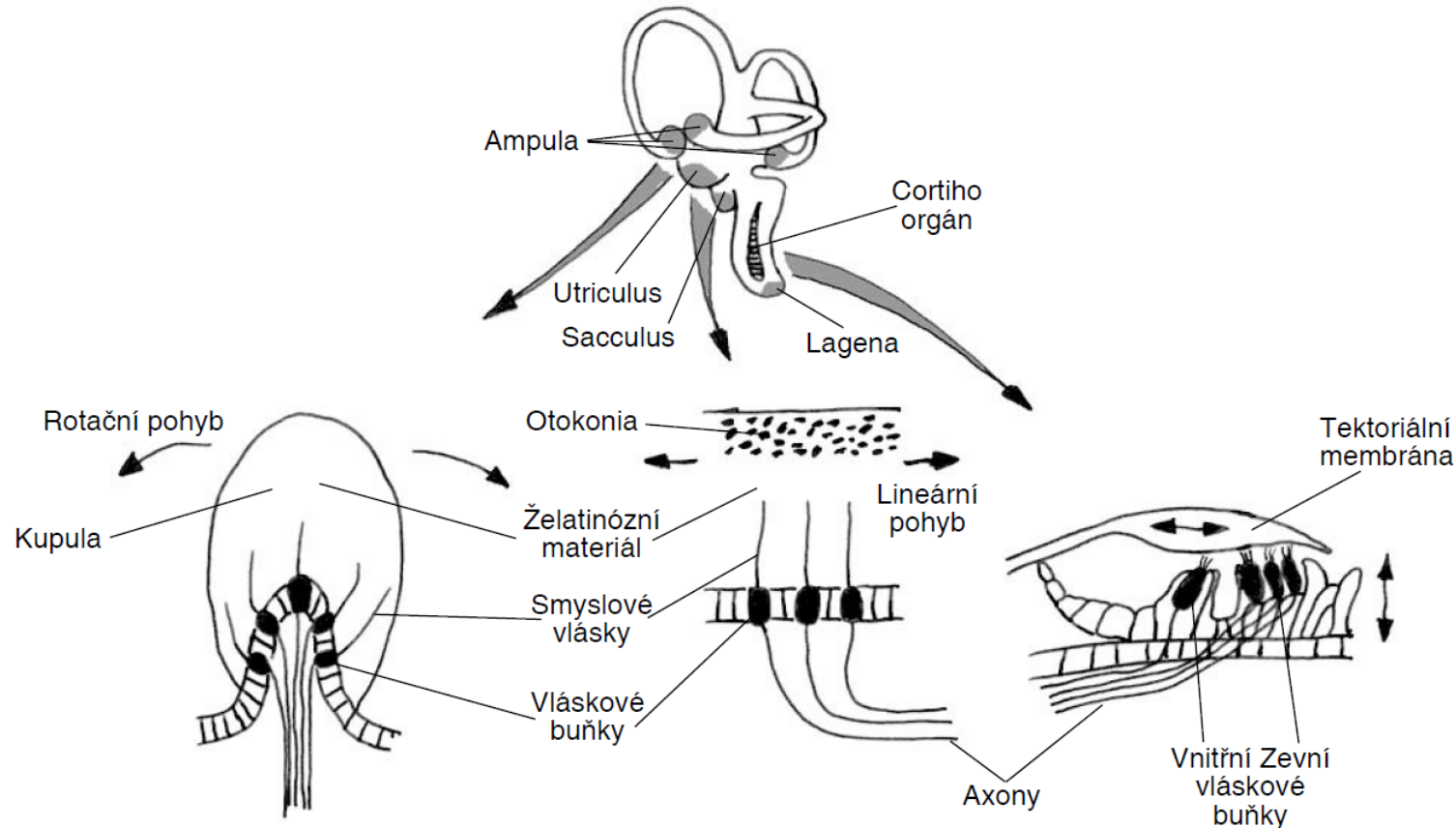


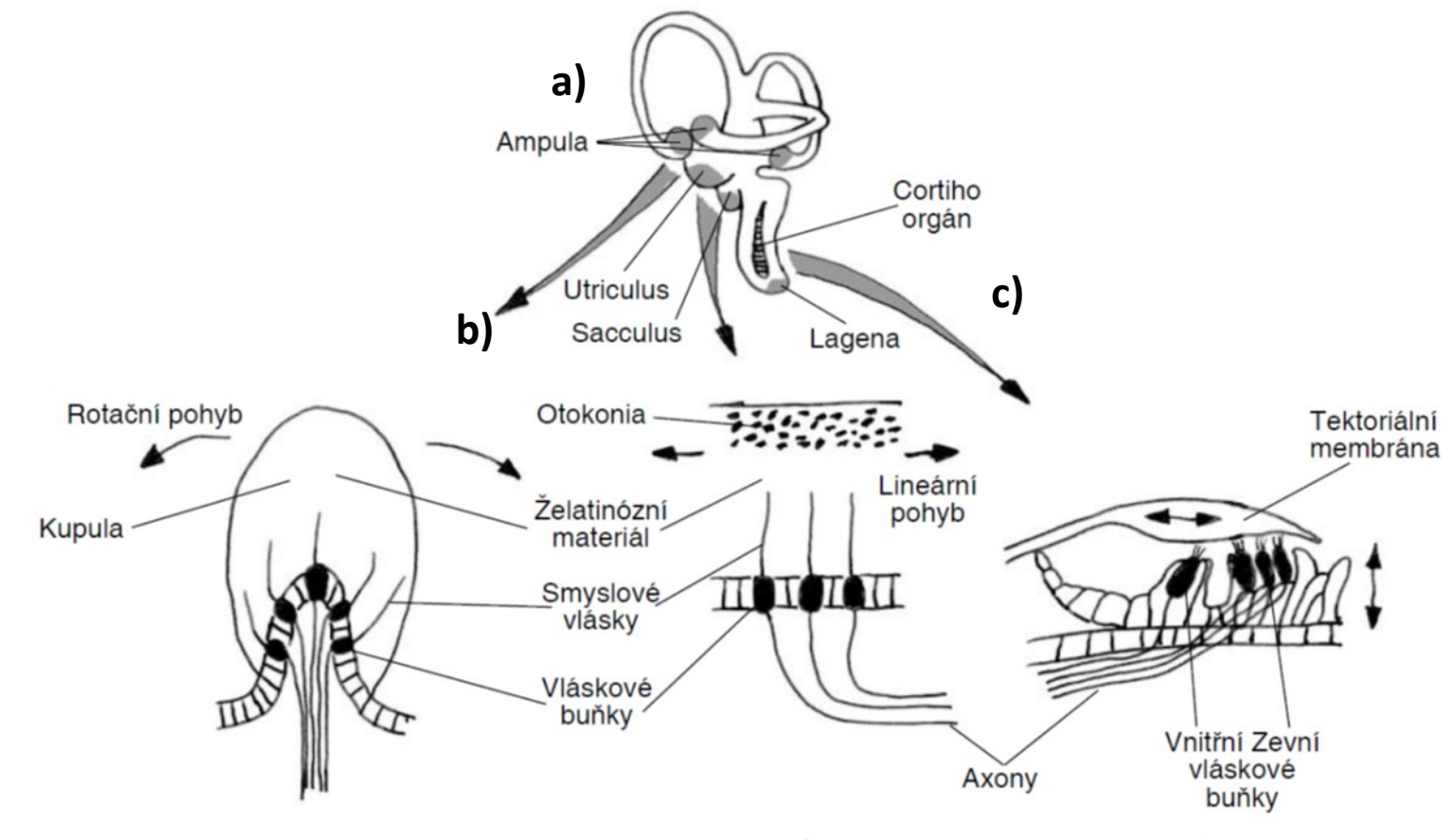


## Rozpis

Adekvátním podnětem pro sluchové receptory je zvuk – periodické kmitání přenášené vzduchem nebo vodou. Jsou ze všech mechanoreceptorů nejcitlivější. Z bezobratlých živočichů je na rozmanité zvuky nejcitlivější hmyz. Některé druhy využívají Johnstonův orgán na bázi mohutně větvených tykadel – např. samečci komárů. Jiné druhy mají na vnímání zvuku vyvinut tympanální orgán. Je uložen po straně těla nebo např. u kobylek a cvrčků v holeních předních končetin. Chvění membránovitého bubínku se zde přenáší na řadu tonotopicky uspořádaných (podobně jako u savců) sensil. Hmyz reaguje na frekvence, které vnímá i člověk. Některé druhy jsou však citlivé i na ultrazvuk.

sluch





Vláškové buňky a stavba vnitřního ucha obratlovců (ptáka). Sluchové ústrojí je ve spojení se statokinetickým. Polokruhové chodby s váčky (**ampulami**), v nichž se pohybuje želatinózní kupula, detekují rotační zrychlení (a). Lineární zrychlení a gravitaci detekují tři políčka vláskových buněk (**utriculus, sacculus, lagena**) s krystalky v želatinózní čepičce (b). Třetí orgán – Cortiho – slouží jako sluchový (c).

U ptáků a savců tvoří sluchové orgány dohromady s polohovým ústrojím společný sluchově-polohový orgán.

**Podrobnější rozpis:** Všechny druhy savců včetně člověka mají dobře vyvinutý sluch. Zvukové signály jsou zachycovány ušním boltcem a zvukovodem jsou vedeny na bubínek – membránu oddělující **vnější a střední ucho**. Středním uchem je zvuk u savců přenášen sluchovými kůstkami (**kladívko, kovádlínka a třmínek**) na membránu oválného okénka vnitřního ucha.

U obojživelníků, plazů a ptáků je ve středním uchu vyvinuta pouze jediná kůstka (**kolumela**). Smyslem tohoto převodu je zvýšit účinnost přenosu energie ze vzduchu do kapaliny zvýšením síly vibrací, a to jednak mechanismem nerovnoramenné páky sluchových kůstek, jednak soustředěním energie z velké plochy bubínku na malou plošku oválného okénka. Prostor středního ucha je vyplněn vzduchem, jehož tlak se vyrovnává s atmosférickým Eustachovou trubicí.

Vlastní receptory zvukové energie jsou uloženy ve vnitřním uchu v **hlemýždi**. Je to spirálovitě stočený kanál ve spánkové kosti, v němž je po celé délce uchycen dvěma membránami vymezený kanál nebo chodbička (blanitý hlemýžď). Horní stěna blanitého kanálu se nazývá **Reissnerova membrána, spodní bazilární membrána**. Tímto dvojitým přepažením vznikají shora dolů tři chodby: **scala vestibuli, scala media a scala tympani**. Media je na konci hlemýždě slepá – uzavírá blanitou chodbičku do tvaru jakéhosi váčku vyplněného endolymfou, zatímco vestibuli a tympani vyplněné perilymfou spolu v hrotu hlemýždě komunikují. Na bazilární membráně je po celé délce hlemýždě uložen **Cortiho orgán**, který mezi opornými buňkami obsahuje vlastní recepční vláskové sluchové buňky. Každá je vybavena asi 100 stereociliemi, které shora kryje blána – **membrana tectoria**. Sledujme nyní cestu zvukové vlny od třmínku, zasazeném v oválném okénku. Pohyb třmínku se přenáší na perilymfu hlemýždě. Jelikož tekutina je nestlačitelná, musí zde být zařízení, které by tlakovým změnám uhýbalo. Je jím blanka v okrouhlém okénku, která se může vyklenout do středního ucha. Pohyb tekutiny rozechvěje na určitém místě celou blanitou chodbičku. Tím se i bazilární membrána posouvá vůči membráně tektoriální – jako listy sem a tam prohýbaného telefonního seznamu – přičemž ohýbá cilie vláskových buněk. Tím je vyvolán vznik receptorového potenciálu. Čím nižší je frekvence kmitů, tím bližší je místo maximálních vibrací bázi hlemýždě. Vzruch, který tímto podrážděním vznikne, je veden nervovými vlákny sluchového nervu do CNS. Přesnou lokalizaci maximálních vibrací a tedy i určení výšky tónu pomáhá stanovit princip laterální inhibice. Rozsah vnímaných zvukových frekvencí není u všech savců stejný. Některé druhy slyší i ultrazvuky. Potkani pomocí ultrazvuků signalizují agresivitu, sexuální aktivitu, emociální stavy (úlek, bolest). Některé druhy suchozemských (netopýři) a vodních (delfíni) savců využívají ultrazvukovou echolokaci. Pomocí ultrazvukových signálů se orientují, komunikují a loví.

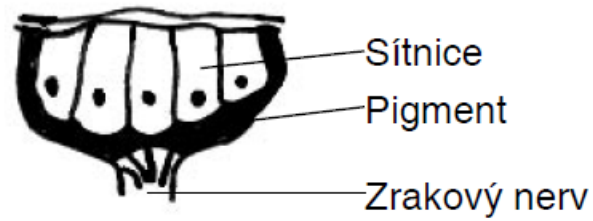
# Fotorecepce

## Podrobnější rozpis:

Světlo a jeho periodické změny jsou významným biologickým faktorem, podmiňujícím orientaci živočichů v prostoru a čase. Detekce světla umožňuje existenci za nejvýhodnějších životních podmínek. Význam zraku ve fylogenezi roste (samozřejmě ve vazbě na prostředí). Pro člověka je nejdůležitějším smyslem. Udává se, že až 85 % veškerých informací se získává jeho prostřednictvím. Světlo ovlivňuje řadu pochodů i v nesenzorických buňkách a dokonce i cytoplazmu. Citlivost povrchu těla na světlo – dermální citlivost – byla popsána u všech živočišných kmenů. Umožňuje však vnímat pouze difuzní přítomnost světla a tím tedy střídání noci a dne a jeho délku, případně zareagovat na stín predátora. Světlo je patrně detekováno volnými nervovými zakončeními v kůži prostřednictvím fotosenzitivních pigmentů jako jsou karotenoidy. Takovou funkci mají i fotosenzitivní skvrny v plazmě jednobuněčných živočichů.

Specializovanější fotorecepční orgány už přinášejí informaci také o tvaru pozorovaného předmětu, směru, intenzitě a barvě světla. To by nebylo možné bez vývoje pomocných struktur, především světlolomného aparátu – čočky, zaostřující obraz na vrstvu fotoreceptorů v sítnici. Stínící pigmentové vrstvy zajišťují ostrostobrazu bez rozptylu a odrazů. Z obr. 17.7. je patrné, jak od plochých očí (např. ploštěnců nebo kroužkovců) zanořováním pod povrch vedl vývoj k dokonalejším miskovitým očím (např. ploštěnek), až nakonec ke komorovým očím hlavonožců nebo obratlovců. Jakousi paralelní cestou vývoje jsou složené oči některých kroužkovců, plžů a členovců. Jednotlivá radiálně uspořádaná omatidia jsou individuální fotorecepční jednotky a mají každé svou vlastní čočku, stínící pigment a fotorecepční buňky. Samotné fotoreceptory bezobratlých i obratlovců se vyznačují bohatě zprohýbanou a zřasenou membránou ať už do vnitřních disků nebo vnějších mikrovilů maximalizujících plochu styku se světlem

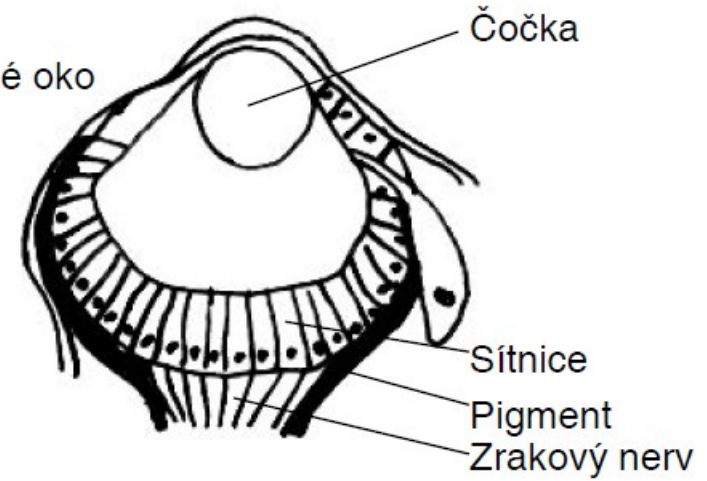
a) Ploché oko



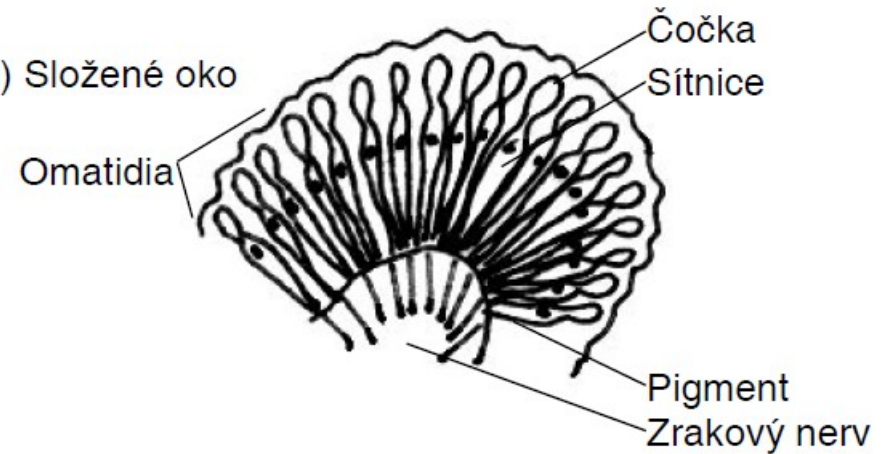
b) Miskovité oko



c) Komorové oko



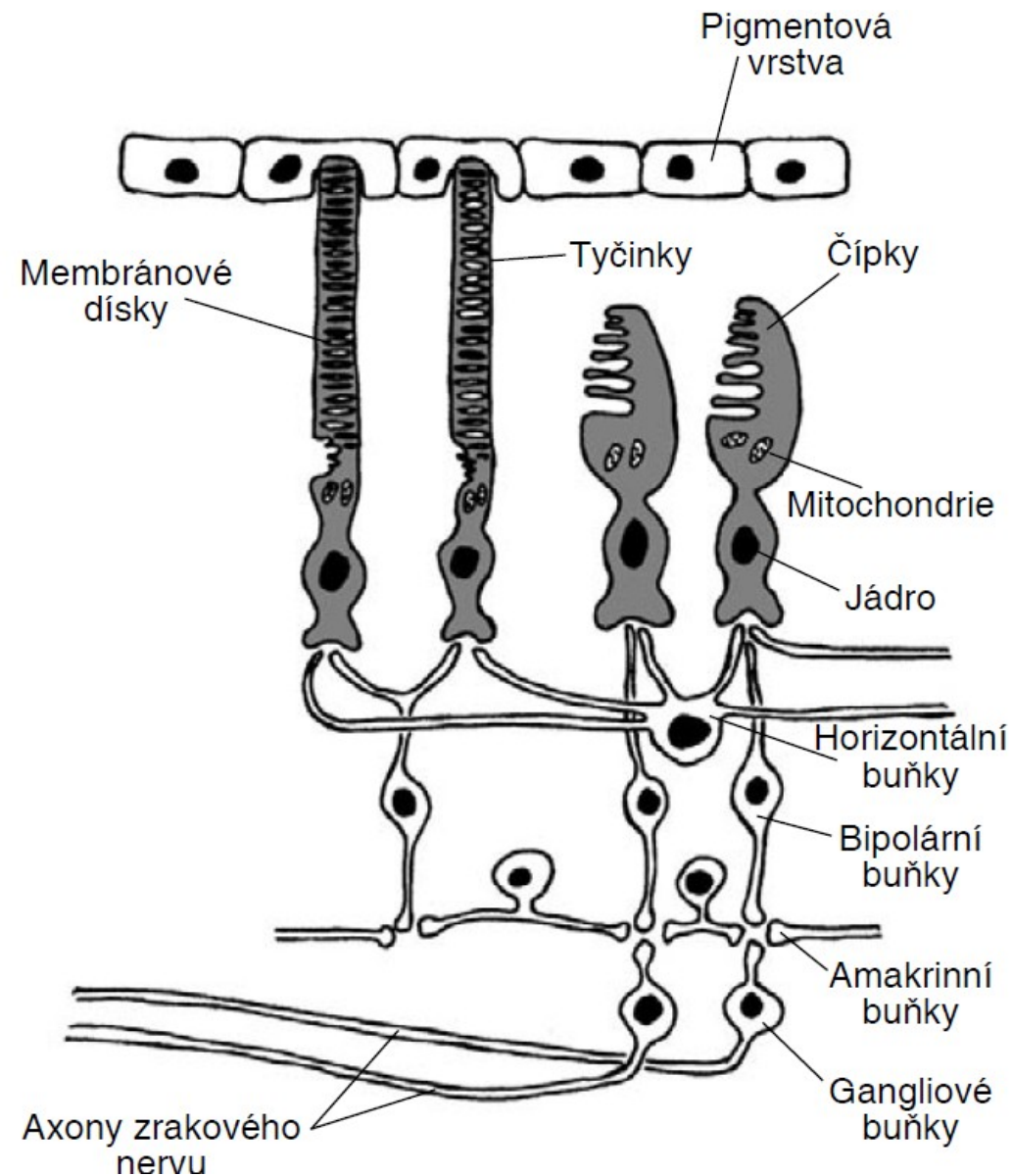
d) Složené oko



**Vývoj oka.** Od plochých očí kroužkovců ke komorovému oku obratlovců se vyvíjí světlolomný aparát – **čočka** –soustředící paprsky na vrstvu fotoreceptorů – **sítnici**. **Pigmentové stínící vrstvy** zvyšují ostrost. Složené oko je tvořeno mnoha samostatnými jednotkami – **omatidii**.

**Obr. Fotoreceptory a vrstvy propojovacích neuronů v sítnici.**

Tyčinky i čípky mají bohatě členěné membrány zachycující světelnou energii. Několik vrstev propojovacích neuronů ještě v sítnici upravuje zrakovou informaci předtím, než odejde zrakovým nervem do mozku. U tzv. inverzních očí obratlovců světlo na cestě k receptorům projde všemi přepojovacími vrstvami.





## **Složené oko, rozpis:**

nejcharakterističtější pro hmyz, je tvořeno množstvím jednotlivých oček – omatidií. Obraz vnímaný složeným okem je proto mozaikový. Počet omatidií je u různých hmyzích druhů různý. Např. složené oko mouchy má 400, oko motýla 12.000–17.000, vážky 10.000–30.000 omatidií. Na vnějším, distálním konci omatidia tvoří kutikula průsvitnou rohovku (faceta nebo cornea). Pod ní je krystalinní kuželík, který má funkci čočky a zaostřuje světlo na rabdom. Rabdom je tyčinkovitá struktura v ose omatidia, kterou vytváří na svém styku 7 nebo 8 do kruhu uspořádaných sítnicových buněk. Ty mají, podobně jako tyčinky obratlovců, bohatě členěnou membránu s fotonpigmenty orientovanou do rabdomu. Každé omatidium je odděleno od sousedních omatidií dvěma prstenci pigmentových buněk, takže omatidium představuje trubici izolovanou proti vnikání světla ze stran. U nejjednodušších typů složených očí je jen malý počet omatidií a oko tohoto typu nevytváří skutečný obraz. Zaznamenává jen změny v podobě větších světlých, či tmavých skvrn. U pokročilejších typů očí (např. u vážek) je již počet omatidií velký, avšak schopnost tohoto složeného oka vytvářet obraz je na daleko nižší úrovni ve srovnání s okem lidským. Hmyz má na hlavové části těla i jednoduchá očka (ocelli). Některým druhům (např. včelám) umožňují přesně registrovat intenzitu světla. Mají tedy funkci jakéhosi expozimetru. Pro většinu obratlovců a některých bezobratlých (hlavonožci) je typické oko komorové. Jde o dokonalé optické zařízení, vytvářející na sítnici nezkreslený obraz.



## Termorecepce

Termoreceptory - rozmístěny po celém povrchu těla. **1. chladové** a **2. teplotní**. Povrchové termoreceptory se poměrně rychle adaptují. Naproti tomu **v hypotalamu jsou receptory hlídající tělesnou teplotu a udržující odpověď konstantní**.

Zvířata vnímají teplotu prostředí, tedy teplo vedené **1. kondukcí** či **2. konvekcí**, ale i **3. infračervené elektromagnetické**

**záření – tedy teplo sálavé, radiační**. infračervené receptory mají mnozí 1. hadi a 2. někteří bezobratlí.

Usnadňují lokalizování **homiotermních živočichů** – ptáků a hlodavců, kteří jim slouží za kořist. Párové orgány (termoreceptory) jsou např. u chřestýšů lokalizovány mezi oči a nozdry.

Doplňek:

Základní uspořádání je takové, že mezi dvěma dutými a vzduchem naplněnými komorami, fungujícími jako tepelné izolátory, je napnutá jemná membrána s velkým množstvím volných nervových zakončení citlivých na změny teploty. Změna teploty membrány o pouhých 0,003 °C už může být detekována. Bilaterální lokalizace infrareceptorů umožňuje hadům podobně přesné stereoskopické lokalizování kořisti jako zrak.