

## SMYSLOVÁ ÚSTROJÍ

Rybí smysly se vyznačují selektivností, to znamená, že přijímají jen takový podnět, který je pro ně adekvátní. Jsou velmi dobře vyvinuty, umožňují rybám orientaci v prostředí, vyhledávání potravy, zjišťování nebezpečí a hrají důležitou roli při rozmnožování. U ryb rozeznáváme následující smyslová ústrojí:

**zrakové, statoakustické, čichové, chuťové, hmatové a postranní čáry.**

### **Zrakové ústrojí**

Rybí oko nemá víčka ani slzné žlázy, je vybaveno pouze slizovými žlázami. Velikost oka je druhově charakteristická, závisí na způsobu života a způsobu potravní orientace. Velké oči mají rybí druhy s denní aktivitou, získávající potravu především vizuálně (např. štika obecná, candát obecný, cejn velký, lipan podhorní). Zvláště důležitou roli hraje zrak při vyhledávání a příjmu potravy u planktonofágů. Naopak malé oči nalézáme spíše u druhů s noční aktivitou, využívajících k potravní orientaci převážně čich (např. úhoř říční, sumec velký, mník jednovousý).

Velikost oka tedy signalizuje Zrakové schopnosti druhu. Viditelnost ve vodním prostředí je podstatně horší než v atmosférickém, ryba vidí dobře asi do 5 m, maximálně do 10 m. Oko je zaostřováno pohybem čočky k sítnici pomocí speciálního svalu, nikoliv změnou tvaru čočky, která je stále kulovitá. Rybí oči jsou umístěny po stranách hlavy, takže vytvářejí binokulární zorné pole. Na jejich poloze závisí šířka zrakového úhlu. Čočka je v rybím oku umístěna poměrně blízko rohovky a oko je značně pohyblivé, proto je šířka zrakového úhlu relativně velká: v horizontální rovině 160-170° a kolem 150° ve vertikální rovině.

### **Hlavní části rybího oka**

**Bělíma** (*sclera*) je tuhá a neprůhledná vazivová tkáň na obvodu oka, která je ještě vyztužena chrupavkou. U kostnatých ryb je tato chrupavka často navíc vybavena jednou nebo dvěma podpůrnými kůstkami. Bělíma tvoří oční obal a zvyšuje pevnost oka.

**Rohovka** (*cornea*) je průhledná vrstva v přední části oka. Je bez krevních cév a chrání oko před poškozením. U některých ryb, žijících v blízkosti písčitého dna (vranka obecná), je rohovka tvořena dvěma průhlednými vrstvami a vzniklý prostor je vyplněn tekutinou. Tento útvar se označuje jako "brýle" a představuje zvýšenou ochranu oka před mechanickým poškozením.

**Sítnice** (*retina*) tvoří vnitřní vrstvu oka pod cévnatkou a je sídlem fotorecepce. Zevní vrstva sítnice přivrácená k cévnatce obsahuje světločivné buňky (tyčinky a čípky). Jejich počet a velikost závisí na druhu ryby, u ryb lovcích za šera nebo v noci převládají tyčinky. Ryby lovcí potravu za dne

nebo u hladiny mají více čípků a malý počet tyčinek, které jsou však velké. Tyčinky umožňují vidění za šera, čípky vnímají denní světlo a umožňují barevné vidění. Například na stejné ploše sítnice má mník jednovousý 260 malých tyčinek a štika obecná 18 velkých. Počet čípků závisí hlavně na velikosti oka, čím je oko větší, tím obsahuje sítnice více čípků. Výběžky tyčinek a čípků obrácené k bělimě obsahují fotolabilní zrakové pigmenty. Sítnice je inverzní, její smyslová část přiléhá k cévnatce, nervová ke sklivci (*corpus vitreum*), který vyplňuje vnitřní část oka mezi sítnicí a čočkou. V sítnici se rozvětvují vlákna zrakového nervu, který vystupuje z oka v místě tzv. slepé skvrny. Mezi sítnicí a cévnatkou je vrstva melanoforů (*tapetum nigrum*), která pohlcuje světelné paprsky prošlé sítnicí.

**Cévnatka** (*chorioidea*) tvoří další vrstvu oka pod bělimou, je bohatá na krevní kapiláry a slouží k výživě oka, zpravidla je také bohatě pigmentovaná. U většiny kostnatých ryb je v cévnatce zvláštní specializovaná žláza (strukturálně podobná plynové žláze v plynovém měchýři), regulující tlak kyslíku v očích mořských druhů. Mezi cévnatkou a bělimou je u některých rybích druhů přítomna ještě vrstva tvořená krystalky guaninu (*argentea, tapetum lucidum*), odrážející dopadající světlo znovu na sítnici. To umožňuje rybím druhům, žijícím ve větších hloubkách (např. candát obecný, cejn velký) zvýšit zrakovou citlivost.

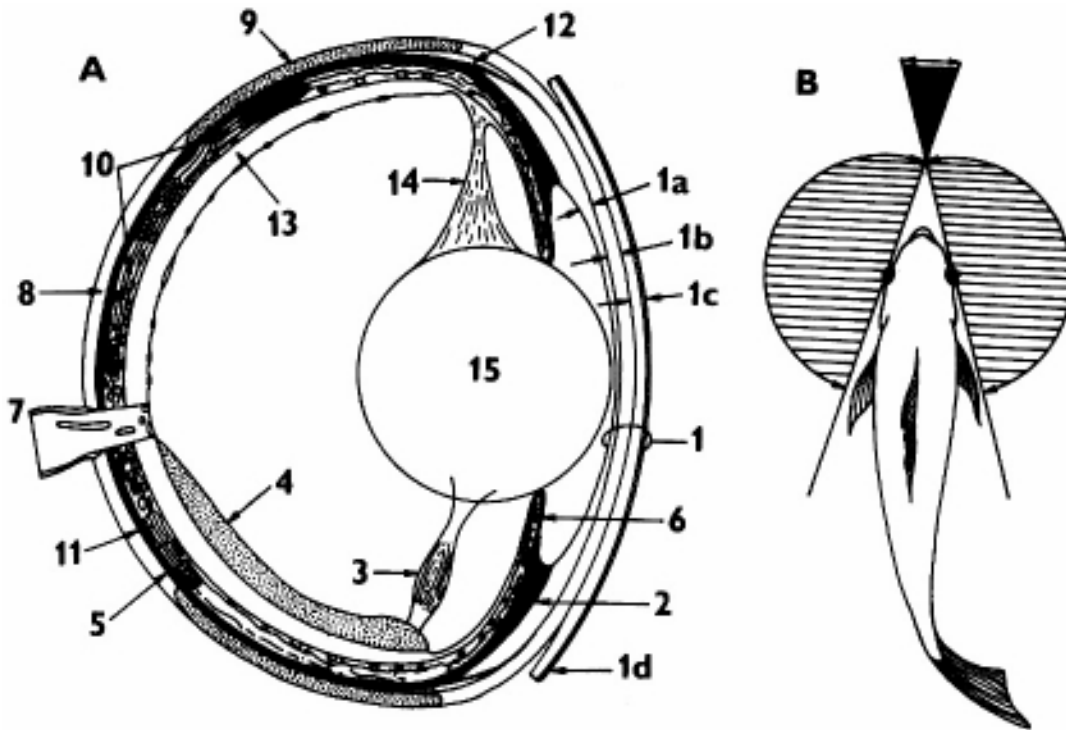
V přední části oka přechází cévnatka v **duhovku** (*iris*). Duhovka leží pod rohovkou, je pigmentována a bohatě krvena. Uprostřed je otvor pro čočku (zornice, *pupilla*), která je velice pohyblivá u některých žraloků, ale u kostnatých ryb pohyblivá jen u několika málo druhů (např. u úhoře říčního). Zbarvení duhovky je druhově rozdílné a může sloužit jako pomocný systematický znak. Duhovka v podobě mezikruží objímá průhlednou čočku.

**Čočka** (*lens*) je kulovitého tvaru a je zavěšena na nepružném vazu na rozhraní cévnatky a duhovky. Díky tvaru čočky je rybí oko krátkozraké (v závislosti na druhu 3-25 dioptrií). Zaostrování oka na větší vzdálenost umožňuje pohyb čočky zpět k sítnici pomocí speciálního svalu (*musculus retractor lentis, campanula Halleri*), který představuje zakončení tzv. srpkovitěho výběžku (*processus falciformis*). Tato schopnost je nejlépe vyvinuta u dravých ryb s vizuální potravní orientací.

Citlivost zrakových světločivných buněk je založena na fotochemických změnách zrakového pigmentu. Produkty rozkladu fotolabilních substancí potom vyvolávají nervový impuls, který je přenášen do mozku. Zrakový purpur je složen z proteinu (opsin) a derivátu vitamínu A. U mořských ryb je jeho součástí derivát vitamínu A<sub>1</sub> a nazývá se **rhodopsin**. U sladkovodních ryb je to derivát vitamínu A<sub>2</sub> a nazývá se **porfyropsin**. Porfyropsin vykazuje vyšší citlivost vůči červené části světelného spektra. U diadromních rybích druhů (např. losos obecný, úhoř říční) se vyskytují oba druhy zrakového pigmentu. Je zajímavé, že u anadromních migrátorů (losos obecný) dominuje

porfyrropsin a u katadromních migrátorů (úhoř říční) rhodopsin.

Rybí zrak dobře registruje pohyb v prostředí, rozlišuje tvary předmětů a spolehlivě rozeznává barvy, dokonce i odstíny jedné barvy. Ryby navíc vidí i část ultrafialového a infračerveného spektra.



Obr. 14 A: Schematický průřez rybím okem, 1 rohovka (1a autochtonní vrstva, 1b sklerální vrstva, 1c dermální vrstva, 1d spojivka), 2 prstenčité uspořádané vazivo iridokorneálního úhlu (*ligamentum anulare*), 3 *musculus retractor lentis* 4 *processus falciformis*, 5 *argentea* cévnatky, 6 *argentea* duhovky, 7 zrakový nerv, 8 bělima, 9 chrupavka bělimy, 10 chorioidální žláza, 11 cévnatka, 12 epichorioidální lymfatický prostor, 13 sítnice, 14 vazivový závěsný aparát čočky, 15 čočka (Podle Wallse, 1942)

Obr. 14 B: Zorné pole ryby

### Statoakustické ústrojí

Je u ryb tvořeno jednoduchým párovým orgánem (blanitým labyrintem), prakticky redukovaným na vnitřní ucho. Slouží rybě k udržování rovnováhy, určování polohy těla a k registraci zvukových vln. Je uložen oboustranně v kaudální části lebeční dutiny po stranách mozku (ve výši mozečku a prodloužené míchy) v chrupavčitém nebo kostěném pouzdře vyplněném perilymfou.

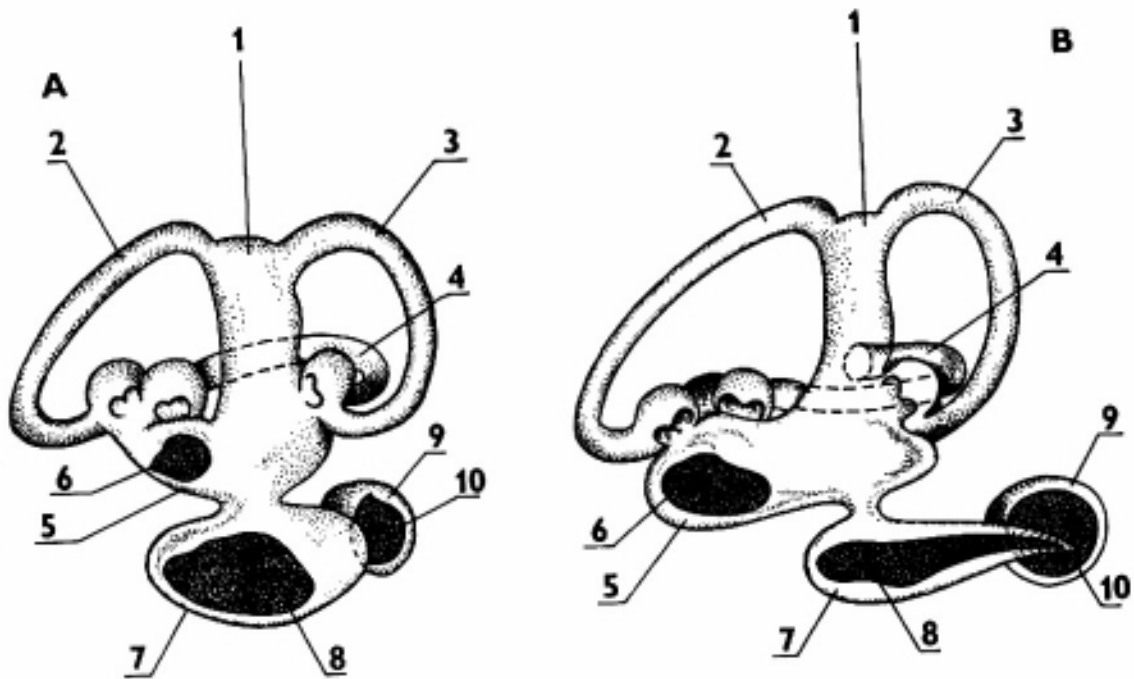
Blanitý labyrint kostnatých ryb je pouze během embryonálního vývoje spojen s vnějším prostředím. Později toto spojení mizí a *ductus endolymphaticus* končí slepě, pouze u mihulí a žraloků je zachováno po celý život. Z vývojového hlediska je vnitřní ucho specializovanou částí senzorického systému postranní čáry.

**Blanitý labyrint** je tvořen horní částí (*pars superior*) a dolní částí (*pars inferior*), obě části jsou u většiny rybích druhů propojeny krátkým kanálkem (*ductus utriculosaccularis*). Celý labyrint je vyplněn endolymfou.

*Pars superior* je sídlem statického orgánu a skládá se ze tří polokruhovitých kanálků (*canales semicirculares*) a váčkovitého útvaru označovaného jako *utricleus*. V utrikulu se nachází jeden sluchový kamének (otolit, statolit) *lapillus*. Z utrikulu vybíhají tři na sebe navzájem kolmé polokruhovité kanálky (horizontální, přední vertikální a zadní vertikální), na jejichž koncích jsou výdutě (*ampullae*).

*Pars inferior* představuje sluchový orgán a tvoří jej jednoduše stavěný váček, sestávající ze dvou částí: *sacculus* a *lagena*. V této části se nacházejí dva statolity, v sakulu *sagitta* a v lageně *asteriscus*. Statolity jsou uloženy na tzv. statických skvrnách (*maculae staticae*) a jsou tvořeny z krystalků uhličitanu vápenatého. Všechny statolity se vrstevnatě zvětšují s růstem ryby a mohou být použity k určování jejího věku a růstu (vyžadují však vybroušení a optické projasnění). Velikost a tvar statolitů je charakteristický pro jednotlivé druhy kostnatých ryb. U žraloků jsou statolity malé, početné a rozptýlené.

Polokruhovité kanálky labyrintu registrují pohyby hlavy a těla. Při pohybu ryby se pohybuje i endolymfa v polokruhovitém kanálku, který se nachází ve směru pohybu. Proudění endolymfy registrují smyslové útvary (*crustae ampullares*) ve výduti kanálku. Při změně polohy těla se mění také poloha a tlak statolitů na smyslové buňky.

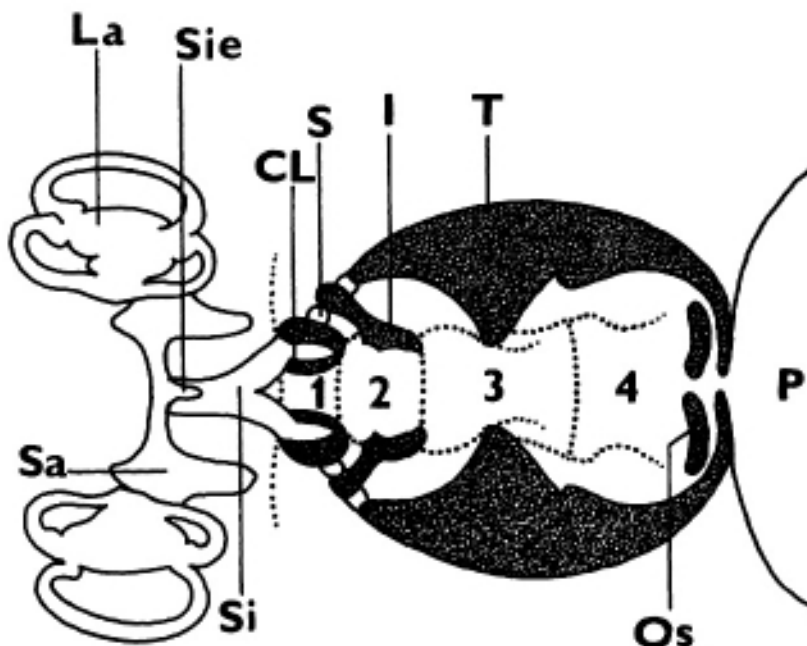


Obr. 15: **A** Statoakustický orgán lososovitých ryb

**B** Statoakustický orgán kaprovitých ryb

1 společné rameno předního a zadního vertikálního kanálku (*crus commune*), 2 přední vertikální kanálek, 3 zadní vertikální kanálek, 4 horizontální kanálek, 5 *utricleus*, 6 *lapillus*, 7 *sacculus*, 8 *sagitta*, 9 *lagena*, 10 *asteriscus* (Podle Frische, 1957)

Zvukové vlny přijímá z vnějšího prostředí lebeční kostra ryby a přenáší je na labyrint. Citlivost sluchového orgánu je druhovou vlastností, obecně jím ryby přijímají zvukové vlny v rozsahu 16 Hz - 13.000 Hz. Rybí druhy, které mají sluchový orgán spojen prostřednictvím **Weberova aparátu** (*Cypriniformes*, tj. asi 70% sladkovodních ryb, *Characidae*) s plynovým měchýřem, slyší velmi dobře. U těchto ryb plynový měchýř plní i funkci rezonátoru a jeho vibrace jsou prostřednictvím kůstek Weberova aparátu přenášeny na labyrint. Weberův aparát je tvořen třemi páry kůstek (*intercalare*, *scaphium* a *claustrum*) a párovou kostí (*tripus*), pohyblivě spojenou s přední částí páteře. *Intercalare*, *scaphium* a *claustrum* se kraniálním směrem vzájemně napojují na *tripus*. Tyto kosti vývojově vznikají z prvních tří až čtyř páteřních obratlů.



Obr. 16: Weberův aparát kaprovitých ryb, **La** blaný labyrint, **Sa** *sacculus*, **Sie** sinus *endolymphaticus*, **Si** *sinus impar*, **CL** *claustrum*, **S** *scaphium*, **I** *intercalare*, **T** *tripus*, **Os** *ossa suspensoria* (spojovací kůstky), **P** plynový měchýř, **1-4** těla prvních obratlů (Podle Holčíka a Hensela, 1972)

U některých rybích druhů může existovat i přímé spojení plynového měchýře s labyrintem (u více čeledí řádu *Clupeiformes*). U těchto ryb vybíhá přední část plynového měchýře do výběžků, vstupujících do lebečních kostí. Ryby, které nemají sluchový orgán spojen s plynovým měchýřem, slyší hůře (*Salmonidae*, *Perciformes*). Tóny nízké frekvence přijímají ryby také postranní čarou. Fyzikální podmínky pro šíření zvuku ve vodě jsou výrazně odlišné od atmosféry. Rychlost šíření zvuku ve vodě je asi 4,5 krát vyšší, ale jeho intenzita se rychle ztrácí.

### Čichové ústrojí

Čichové ústrojí kostnatých ryb je párový orgán (u mihulí nepárový), umístěný na horní části hlavy před očima. Je tvořeno párem nosních jamek, rozdělených u většiny ryb příčnou blanitou přepážkou na dvě části. Čichové jamky nekomunikují s ústní dutinou. Voda vstupuje do dutiny nosní přední nozdrou a zadní nozdrou vystupuje ven. Plocha nosní dutiny je zvětšena četnými kožními záhyby, pokrytými čichovým epitem, tvořeným pohárkovitými čichovými buňkami, do nichž se větví zakončení čichového nervu. Vedle těchto smyslových receptorů obsahuje sliznice ještě

podpůrné a bazální buňky.

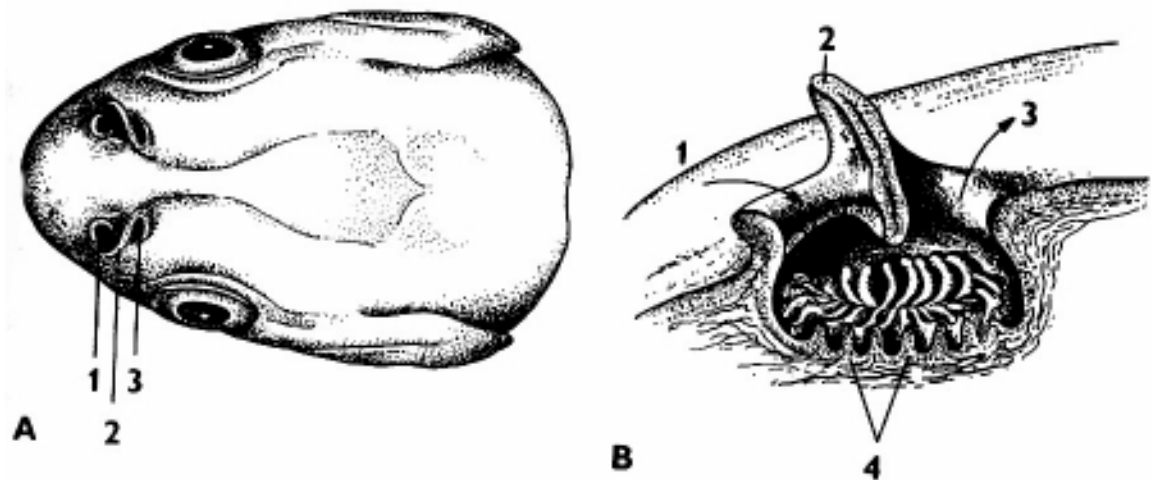
Rybí čich reaguje na nízké koncentrace pachových látek rozpuštěných ve vodě a je velmi důležitý pro potravní orientaci ryby na větší vzdálenost. K nejlepšímu příjmu čichových vjemů dochází při pohybu ryby nebo v proudící vodě. Některé rybí druhy (např. plotice obecná, střevele potoční, úhoř říční) mají čichovou sliznici vybavenou ještě řasinkovým epitelem, který umožňuje proudění vody čichovými jamkami i tehdy, je-li ryba v klidu. Mimořádně dobře vyvinutý čich mají úhoři a murény. Pokusně bylo zjištěno, že úhoř říční rozezná růžovou esenci ještě v ředění  $2,857 \cdot 10^{-18}$ . Podle uspořádání, velikosti čichových jamek a rozvoje čichové sliznice můžeme obecně usuzovat, jak dokonale je čich u rybího druhu vyvinut a jak se podílí na vyhledávání potravy:

1. Ryby, které se potravně orientují převážně zrakem (např. štika obecná), mají čichovou sliznici poměrně hladkou a čich vyvinutý slaběji. Avšak i těmto rybím druhům čich často slouží k lokalizaci kořisti.

2. Ryby, lovcí potravu za špatné viditelnosti, nebo v noci (např. úhoř říční, mník jednovousý, sumeček americký), mají mohutně zvrásněnou čichovou sliznici, vyšší počet sensorických buněk a jejich čich je hypersenzibilní.

3. Ryby, představující z hlediska potravní orientace smíšený typ (např. pstruh obecný, okoun říční), využívají k vyhledávání potravy vedle čichu i další smyslové orgány, především zrak. Zároveň však mají velmi dobře vyvinutý čich.

Fyziologickými studiemi potravního chování ryb v posledních 30 letech byla zjištěna řada přírodních látek, které ryby excitují prostřednictvím čichových vjemů. Jsou to aminy (hlavně betain), amidy, alkoholy, nukleotidy, sacharidy, lipidy, mastné kyseliny s dlouhým řetězcem, vitamin B 12 a kyselina mléčná. Prakticky žádné sloučeniny však nevyvolávají tak obecnou čichovou aktivitu jako aminokyseliny, působící na ryby jako chemické mediátory na dálku. Z tohoto pohledu jsou nejdůležitější aminokyseliny alanin, histidin, glycin, threonin, leucin, kyselina glutamová, isoleucin, valin, methionin, arginin, asparagin, lysin, kyselina gama aminomáselná a tryptofan. Výzkumy prováděné u tažných lososů a pstruhů duhových ukazují, že toto podráždění může probíhat v extrémně nízkých koncentracích, řádově až několika samostatných molekul. Ryby jsou schopny rozlišit i nepatrné rozdíly v pachu a jejich čichový orgán citlivě reaguje i na rezidua syntetických molekul. Čichovou citlivost lze ještě zvýšit "výcvikem" a u ryb existuje na chemické látky dlouhodobá paměť. (V Japonsku bylo zjištěno, že pstruh duhový reagoval na koncentraci  $10-15 \text{ ng.l}^{-1}$  metylrtuti ještě několik měsíců po její aplikaci.) Pro tyto schopnosti se ryby uplatňují jako bioindikátory mikroznečištění v různých vodárenských objektech.



Obr. 17: Umístění a stavba čichového ústrojí střevele potoční, **A** umístění čichových jamek na hlavě, **B** stavba čichové jamky, 1 přední nozdra, 2 kožní přepážka, 3 zadní nozdra, 4 lamely čichového epitelu. (Podle Hardera, 1975)

Význam čichu pro ryby:

- při vyhledávání potravy
- při formování a udržení rybího hejna (na základě druhově specifického pachu kožního slizu)
- pro varování před jiným rybím druhem (dravec x kořist)
- při vyhledávání jedinců druhého pohlaví v době tření
- při třecích migracích (např. anadromní migrátoři se orientují podle specifické aminokyselinové pachové stopy rodné řeky)

### Chut'ové ústrojí

Ústrojí chuti je řazeno společně s čichovým ústrojím k tzv. chemickým smyslům. Na rozdíl od čichu však chut'ové ústrojí slouží k registraci a rozlišení chemické substance rozpuštěné ve vodě na malé vzdálenosti od receptoru a tedy ve výrazně silnějších koncentracích. Příjem chut'ových vjemů probíhá pomocí chut'ových pupenů, tvořených vedle vlastních smyslových buněk ještě podpůrnými a bazálními buňkami, a umístěných na různých částech rybího těla:

- na vousech (zvláště u sumce velkého a mníka jednovousého)
- v ústech (zejména u kapra obecného na patrové bulvě)
- v jícnu
- na povrchu těla (u řady rybích druhů na prsních ploutvích, na bocích těla, u sumečka amerického na celém povrchu těla).



Čidlo chuti u ryb tedy není lokalizováno pouze na ústní dutinu. Množství a rozmístění chuťových buněk závisí na způsobu života ryby (u ryb s vizuální potravní orientací je vyvinut menší počet chuťových buněk, ale i u štiky obecné existuje určitá chuťová orientace v ústech). Inervaci chuťových pupenů zajišťují *nervus facialis*, *n. glossopharyngeus* a *n. vagus*.

Ryby i po vyloučení čichu dobře rozliší čtyři základní chutě (slanou, sladkou, kyselou, hořkou). Nejslaběji je u nich vyvinuta schopnost vnímat hořké látky (hořká semena lupiny se používala jako krmivo pro kapry, hořavka duhová je běžnou kořistí dravých ryb). Zvláště citlivě vyvinutou chuť má střevle potoční, která je například schopna rozlišit přítomnost cukru v 500 krát nižší koncentraci a soli ve 180 krát nižší koncentraci než člověk. Kapr obecný si ověřuje chuťové vlastnosti přijaté potravy především na patrové bulvě a přijaté balastní látky vyvrhuje žabemími štěrbinami a ústy. Sumec velký má velmi dobře vyvinuté chuťové receptory na pyscích a na vousech. Hmatová funkce vousů má obecně podstatně menší význam, chuťové pupeny jsou v dutině ústní sumce vyvinuty slabě.

### **Kožní receptory**

Ryby jsou ve vodním prostředí vystavovány různým fyzikálním vlivům, zvláště změnám teploty, tlaku a mechanickému působení, které jsou přijímány receptory v kůži.

Termorecepční schopnost byla zjištěna pouze u kostnatých ryb a je přisuzována nesespecializovaným epidermálním nervovým zakončením. Ještě ve 30. letech našeho století byla termorecepční funkce připisována postranní čáře. Později bylo experimentálně zjištěno, že ryby jsou schopny odpovědět potravní aktivitou na změny teploty, v závislosti na druhové příslušnosti, v rozsahu desetin až setin °C.

Kožní receptory reagující na dotyk se nejčastěji vyskytují na nejvíce exponovaných částech těla (vousy, pysky, ústní dutina) a registrují především tvrdá tělesa, celkově jsou u ryb vyvinuty poměrně slabě. U ryb se také celkově neprojevuje pocit bolesti, známý u savců. To však nesmí být důvodem k nešetrnému zacházení s nimi, zejména během manipulací při výlovech, transportu apod. Rozsáhlejší poškození rybí kůže nebo silný manipulační stres může ve svém důsledku přivodit smrt rybího organismu.

### **Orgán postranní čáry**

Postranní čára (*linea lateralis*) je speciální smyslový orgán, který se vyskytuje pouze u ryb a u larválního stadia obojživelníků. Představuje specializovaný smyslový orgán, přijímající z vodního

prostředí informace o pohybu vody (laminární proudění a vlnění na hladině) registrací změn nízkofrekvenčního vlnění.

Stavba postranní čáry:

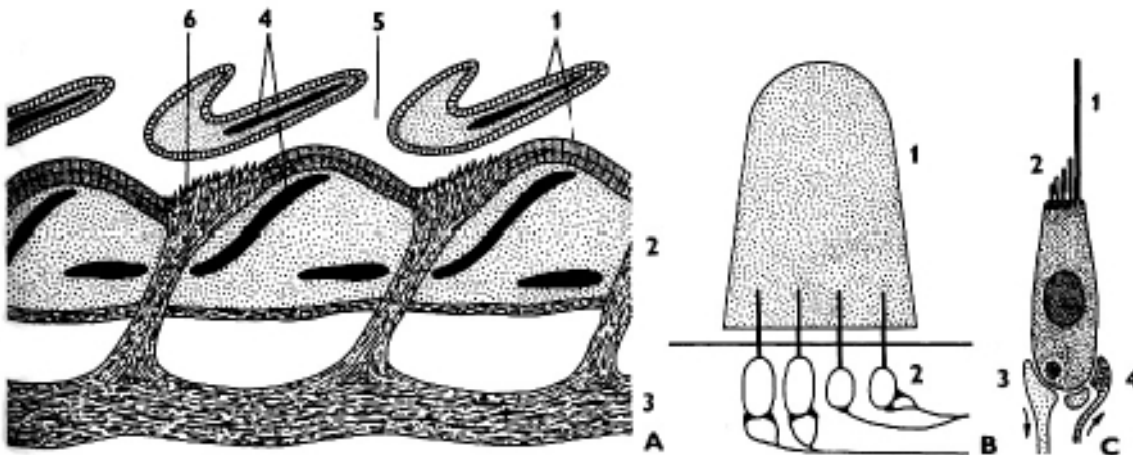
- Nejjednodušší stavba se vyskytuje v larválním stadiu ryb, kdy smyslová tělíska (neuromasty) volně vyčnívají nad ostatními buňkami pokožky. V tomto stadiu vývoje zůstává postranní čára po celý život např. u koljušky tříostné.

- U některých druhů ryb jsou smyslové kuželíky postranní čáry umístěny v otevřeném žlábků, např. u štiky obecné na ocasním násadci.

- Nejběžnější stavbu postranní čáry kostnatých ryb představuje uložení neuromastů do uzavřeného kanálku, který komunikuje s prostředím malými otvory. Kanálek probíhá povrchově po obou bocích těla ryby (*canalis lateralis*) a na hlavě se rozvětjuje do čtyř základních větví:

1. temenní kanálek (*canalis supratemporalis*), který příčně spojuje levou a pravou hlavní větev
2. nadočnicový kanálek (*canalis supraorbitalis*)
3. podočnicový kanálek (*canalis infraorbitalis*)
4. skřelověčelistní kanálek (*canalis operculomandibularis*), který probíhá po skřelovém víčku a spodní čelisti

Na těle pokrytém šupinami a na hlavě ryby jsou vidět pouze výstupní otvory postranní čáry, které jsou větší u dravých ryb než u nedravců. Ve stavbě postranní čáry a v jejím průběhu na rybím těle existují mezidruhové rozdíly. Nejčastěji má ventrálně mírně prohnutý průběh, zřídka rovný. Například u hořavky duhové je postranní čára extrémně krátká, u štiky obecné je tvořena krátkými segmenty, probíhajícími po celém boku těla.



Obr. 18: Stavba postranní čáry, A podélný řez: 1 pokožka, 2 škára, 3 nervová vlákna, 4

šupiny, **5** kanálek postranní čáry, **6** smyslové kuželíky (neuromasty) **B** stavba neuromastu: **1** *cupula*, **2** vlasové buňky **C** stavba a inervace vlasové buňky: **1** *kinocilium*, **2** *stereocilia*, **3** aferentní nervové zakončení, **4** eferentní nervové zakončení (**A** podle Šimka, 1989; **B** podle Alexandra, 1967; **C** podle Flocka, 1971)