

Pedagogická fakulta Trnavskej univerzity

# Všeobecná zoológia

## II. Organológia

Alfréd Trnka



Trnava 2017



# **Všeobecná zoológia**

## **II. Organológia**

**Alfréd Trnka**

**Trnava 2017**

© Prof. RNDr. Alfréd Trnka, PhD.

Recenzenti: Prof. RNDr. Oto Majzlan, CSc.,  
Doc. Ing. Viera Peterková, PhD.

ISBN 978-80-568-0071-3

# OBSAH

PREDSLOV	7
<b>1 ORGÁNY A ORGÁNOVÉ SÚSTAVY</b>	<b>8</b>
1.1 VZNIK A FYLOGENÉZA ORGÁNOV	8
1.2 UMIESTNENIE ORGÁNOV A SYMETRIA TELA	10
<b>2 KRYCIA SÚSTAVA</b>	<b>12</b>
2.1 JEDNOBUNKOVCE	12
2.2 MNOHOBUNKOVCE	12
2.3 DERIVÁTY NA POVRCHU TELA STAVOVCOV	13
<b>3 OPORNÁ SÚSTAVA</b>	<b>16</b>
3.1 VONKAJŠIA KOSTRA	16
3.1.1 Schránky	16
3.1.2 Kostra článkonožcov	17
3.1.3 Vonkajšia kostra stavovcov	17
3.2 VNÚTORNÁ KOSTRA	18
3.2.1 Bezchordáty	18
3.2.2 Chordáty	19
<b>4 POHYB A POHYBOVÁ SÚSTAVA</b>	<b>20</b>
4.1 FORMY POHYBU	20
4.2 POHYB JEDNOBUNKOVCOV	21
4.3 SVALOVÝ POHYB BEZSTAVOVCOV	22
4.4 POHYB STAVOVCOV	23
4.5 SVALY A SVALOVÉ SÚSTAVY	28
<b>5 TRÁVIACA SÚSTAVA</b>	<b>30</b>
5.1 SPÔSOBY VÝŽIVY A PRÍJMU POTRAVY	31
5.2 TRÁVIACE ORGANELY JEDNOBUNKOVCOV	32
5.3 TRÁVIACA SÚSTAVA MNOHOBUNKOVCOV	32
5.3.1 Tráviaca dutina	33
5.3.2 Tráviaci vak	33
5.3.3 Tráviaca rúra	34
5.4 TRÁVIACA SÚSTAVA NIŽŠÍCH CHORDÁTOV	35
5.5 TRÁVIACA SÚSTAVA STAVOVCOV	36

<b>6 DÝCHACIA SÚSTAVA</b>	<b>38</b>
6.1 NEPRIAME DÝCHANIE	39
6.1.1 Dýchanie celým povrchom tela	39
6.1.2 Žiabre	40
6.1.3 Pľúcne vaky a pľúca	41
6.2 PRIAME DÝCHANIE	42
6.2.1 Vzdušnice	42
6.2.2 Vzdušnicové žiabre	43
<b>7 OBEHOVÁ SÚSTAVA</b>	<b>44</b>
7.1 OTVORENÁ CIEVNA SÚSTAVA	44
7.2 UZAVRETÁ CIEVNA SÚSTAVA	45
7.2.1 Bezstavovce	46
7.2.2 Stavovce	46
<b>8 VYLUČOVACIA SÚSTAVA</b>	<b>48</b>
8.1 SPÔSOB VYLUČOVANIA ODPADOVÝCH DUSÍKATÝCH LÁTOK	48
8.2 ZÁKLADNÉ TYPY VYLUČOVACÍCH ORGÁNOV	49
8.2.1 Vylučovacie vakuoly	50
8.2.2 Protonefrídium	50
8.2.3 Metanefrídium	50
8.2.4 Malpighiho trubice	51
8.2.5 Obličky	52
<b>9 NERVOVÁ SÚSTAVA</b>	<b>54</b>
9.1 TYPY NERVOVÝCH SÚSTAV	54
9.1.1 Rozptýlená nervová sústava	54
9.1.2 Gangliová nervová sústava	55
9.1.3 Trubicová nervová sústava	56
9.1.4 Vegetatívna nervová sústava	57
<b>10 ZMYSLOVÉ ORGÁNY</b>	<b>58</b>
10.1 ZÁKLADNÁ STAVBA A ČLENENIE ZMYSLOVÝCH ORGÁNOV	58
10.2 MECHANORECEPTORY	59
10.2.1 Hmatové orgány a orgány pre vnímanie tlaku a bolesti	60
10.2.2 Prúdové orgány	60
10.2.3 Statokinetické orgány	61
10.2.4 Sluchové orgány	62
10.3 CHEMORECEPTORY	64
10.3.1 Chuťové orgány	64

10.3.2 Čuchové orgány	65
10.4 RÁDIORECEPTORY	65
10.4.1 Fotoreceptory	65
10.4.2 Termoreceptory	68
<b>11 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA</b>	<b>69</b>
11.1 HORMÓNY	69
11.2 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA BEZSTAVOVCOV	70
11.3 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA STAVOVCOV	72
11.3.1 Hypotalamo-hypofyzárny systém	72
11.3.2 Šuškovité teliesko	74
11.3.3 Štítna žľaza	74
11.3.4 Príštitné telieska	75
11.3.5 Nadobličky	75
11.3.6 Podžalúdková žľaza	75
11.3.7 Pohlavné žľazy a pohlavné hormóny	76
<b>12 POHLAVNÁ (ROZMNOŽOVACIA) SÚSTAVA</b>	<b>77</b>
12.1 SPÔSOB ROZMNOŽOVANIA ŽIVOČÍCHOV	77
12.2 ZLOŽENIE POHLAVNEJ SÚSTAVY GONOCHORISTOV	78
12.2.1 Pohlavné žľazy	78
12.2.2 Pohlavné vývody	78
12.2.3 Prídavné pohlavné žľazy	79
12.2.4 Páriace orgány	79
Literatúra	81
Zdroje obrázkov	82

# Predslov

Predkladané učebné texty sú určené pre študentov 1. ročníka učiteľstva biológie na Pedagogickej fakulte v Trnave, ale aj pre ostatných záujemcov o biológiu a konkrétne živočíchy, vrátane človeka. Obsahovo nadväzujú na histológiu živočíchov a zároveň sú východiskovým študijným materiálom pre fyziológiu živočíchov, s ktorými tvoria jeden tematický celok v rámci učebného predmetu Všeobecná zoológia. Ich náplňou je základný opis a morfológická štruktúra jednotlivých orgánov a orgánových sústav, ich pôvod a význam.

Výber, poradie a rozsah jednotlivých kapitol vychádza z aktuálneho akreditovaného študijného programu učiteľstva biológie, pričom rešpektuje náplň a obsah ostatných blízko príbuzných, resp. nadväzujúcich predmetov. Z tohto dôvodu sa preto menej pozornosti venuje napr. všeobecným biologickým otázkam, ktoré sú náplňou všeobecnej biológie, alebo opisu a vývoju orgánových sústav v rámci jednotlivých taxonomických skupín, ktorých podrobnejšia charakteristika je súčasťou zoológie bezchordátov a zoológie chordátov ako i biológie človeka. Väčšia pozornosť a dôraz sa naopak kladie na stavbu a základné princípy vzniku a vývoja jednotlivých orgánov a orgánových sústav.

Keďže základnou podmienkou správneho pochopenia a osvojenia si poznatkov v biologických vedách sú názorné ilustrácie, osobitná pozornosť v týchto učebných textoch je venovaná obrazovým prílohám. Tie sú prevzaté z rôznych literárnych prameňov a internetových zdrojov, ktoré sú uvedené v zozname použitých obrázkov.

Štúdium organológie sa opiera o základné poznatky z ďalších vedných disciplín, ako sú cytológia, histológia, systematická zoológia, fylogenéza, biochémia, fyzika a iné. Vzhľadom na obmedzený rozsah predkladaných učebných textov nebolo však možné v nich všetky tieto informácie obsiahnuť. V tomto smere je preto potrebné, aby si čitateľ/študent doplnil vedomosti i z týchto hraničných vied organológie.

Za starostlivé prečítanie rukopisu týchto učebných textov a cenné pripomienky, ktoré významne prispeli k zvýšeniu ich celkovej úrovne, ďakujem recenzentom prof. RNDr. O. Majzlanovi, CSc. a doc. Ing. Viere Peterkovej, PhD.

Verím, že predkladané učebné texty budú pre študentov dostatočným a inšpiratívnym študijným materiálom a pomôžu im nielen zvládnuť, ale i rozšíriť si poznatky z daného vedného odboru.

autor

# 1 ORGÁNY A ORGÁNOVÉ SÚSTAVY

**Orgány** sú funkčne a morfológicky usporiadané súbory tkanív vykonávajúcich jednu alebo viaceré špecifických funkcií (napr. orgány pohybu, zmyslové orgány). Zvyčajne jedno **hlavné tkanivo** je vykonávateľom špecifickej funkcie orgánu, ostatné **vedľajšie tkanivá** sa podieľajú na stavbe orgánu alebo zaisťujú optimálnu činnosť hlavného tkaniva, t.j. plnia ochrannú, podpornú alebo vyživovaciu funkciu. Napr. hlavným tkanivom srdca je srdcový sval (*myocardium*), vedľajšími tkanivami sú nervové tkanivo, spojivové tkanivo a krv. Všeobecne pritom platí, že čím dokonalejší orgán plní určitú funkciu, tým viac má vedľajších tkanív.

Orgány predstavujú samostatné jednotky organizmu ohraničené od ostatných jeho častí. Nachádzajú sa vždy na tom istom mieste alebo môžu prestupovať do viacerých orgánových sústav (napr. nervová sústava). V rámci organizmu sú pritom navzájom funkčne prepojené a medzi sebou koordinujú, napr. pohlavná a vylučovacia sústava, srdce – pľúca a pod. Existuje teda medzi nimi korelačný vzťah (tzv. **zákon korelácie orgánov**).

Súbor orgánov zabezpečujúcich určitú komplexnú funkciu tvorí **orgánovú sústavu** alebo systém. Rozoznávame pritom nasledujúce orgánové sústavy:

1. **krycie, oporné, pohybové**
2. **metabolické** – tráviaca, dýchacia, obehová, vylučovacia
3. **dráždivo-regulačné** – nervová, zmyslová, endokrinná
4. **rozmnožovacie** – pohlavná

Orgány majú vyvinuté len mnohobunkové živočíchy. U jednobunkových organizmov zodpovedajúce funkcie vykonávajú osobitné vnútrobunkové štruktúry nazývané **organely**. Tráviacu funkciu napr. zabezpečujú potravné vakuoly, vylučovaciu a osmoregulačnú pulzujúce vakuoly, pohyb panôžky, brvy alebo bičinky.

## 1.1 VZNIK A FYLOGENÉZA ORGÁNOV

Hlavným evolučným krokom pre vznik, resp. diferenciaciu živočíšnych orgánov je **holozoická výživa**, t.j. konzumácia tel iných organizmov alebo ich častí či produktov. Získavanie takejto potravy si nevyhnutne vyžaduje schopnosť pohybu z miesta na miesto, t.j. **lokomócie**, s ktorou nevyhnutne súvisí aj rozvoj pohybovej sústavy tvorenej svalmi. Tie často tvoria významný podiel na celkovej hmotnosti tela živočíchov. Pre správnu koordináciu pohybu a orientáciu v priestore je zas nevyhnutný vývoj ďalších orgánov a orgánových sústav, a to konkrétne nervovej sústavy



a zmyslových orgánov. Rozvoj týchto sústav je u rôznych živočíšnych skupín rôzny a je vždy znakom pokročilosti evolúcie. Príkladom pokročilej evolučnej skupiny sú napr. u mäkkýšov hlavonožce, ktoré majú z celej tejto skupiny najdokonalejšiu nervovú sústavu, pohybové a zmyslové orgány (komorové oko).

Fylogeneticky sa pritom orgány vyvíjajú u rôznych skupín živočíchov odlišne. Čím je však organizmus fylogeneticky, ale aj ontogeneticky, vyspelejší, tým je stavba jeho orgánov zložitejšia. Vývoj a morfológia orgánov pritom závisí aj od prostredia, v ktorom organizmy žijú (napr. tvarovo odlišné ústrojenstvo na príjem potravy u hmyzu). Pre vývoj orgánu je dôležitá tiež miera jeho aktivity. Orgány s intenzívnou aktivitou sú spravidla väčšie a silnejšie a ďalšou činnosťou sa ešte zdokonaľujú. Nedostatočnou činnosťou orgán naopak zakrpatieva (**atrofuje**) – **zákon o používaní, resp. účelnosti orgánov** (alebo aj Lamarckov zákon, pretože jeho autorom je J. B. Lamarck), alebo ak z nejakých dôvodov svoju funkciu nemôže vykonávať, môže dôjsť k nahradeniu (**substitúcii**) jeho činnosti iným orgánom – **Kleinerbergerov princíp substitúcie orgánov**. Naopak, vplyvom zmenených podmienok môže niektorý orgán úplne zmeniť svoju funkciu i morfológickú štruktúru, čo vysvetľuje zas **Dohrov princíp zmeny funkcie**. Takéto zmeny alebo nahradenie funkcie orgánov majú význam najmä z hľadiska prispôsobovania sa (**adaptácie**) organizmov k meniacim sa životným podmienkam. Orgány, ktoré stratili počas fylogenézy svoju pôvodnú funkciu, ale zachovali si stále ešte svoj tvar a štruktúru, nazývame **rudimentárne**. Takými sú napr. zvyšky zadných končatín u veľhadov a pytónov, krídla nelietavých vtákov, či kostrčové stavce a výbežok slepého čreva u človeka.

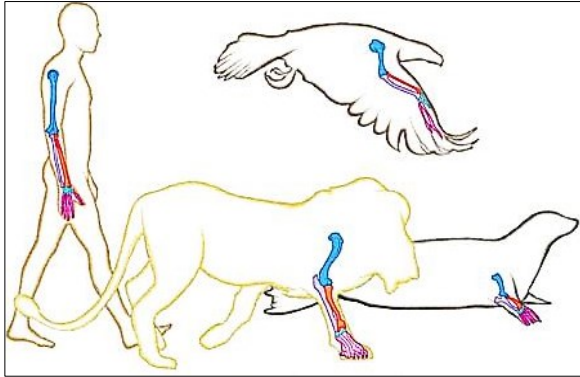
Proces diferenciácie a špecializácie orgánových sústav prebieha hlavne počas embryonálneho vývinu a nazývame ho **organogenezou**. Orgány sa diferencujú zo základných zárodočných listov, pričom jeden orgán môže vzniknúť aj z viacerých zárodočných listov (napr. v tráviacej sústave predné a zadné črevo vzniká z ektodermu, stredné črevo je endodermálneho pôvodu). Pôvod niektorých orgánov a orgánových sústav je uvedený nižšie:

- orgány **ektodermálneho** pôvodu: pokožka a jej deriváty, nervová sústava, zmyslová sústava, u bezstavovcov aj dýchacie, vylučovacie (hmyz) a tráviace orgány (okrem žalúdka prvoústovcov),
- orgány **mezodermálneho** pôvodu: oporná sústava, svaly, obehová sústava, vylučovacia sústava, pohlavná sústava,
- orgány **endodermálneho** pôvodu: tráviaca sústava (okrem ústnej a análnej časti, ktoré sú ektodermálneho pôvodu), tráviace žľazy a dýchacia sústava u druhoústovcov.

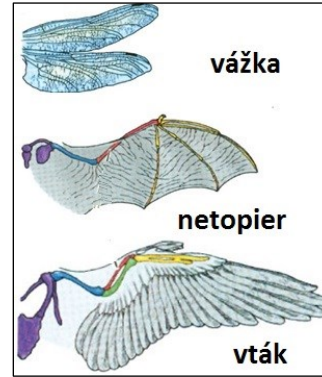
Ako vidieť i z vyššie uvedeného prehľadu, niektoré orgány môžu vznikať u rôznych živočíchov z rovnakých zárodočných listov, t.j. majú rovnaký pôvod, ale plnia rôzne funkcie (napr. plynový mechúr rýb a pľúca stavovcov alebo horná/predná končatina človeka,

suchozemského cicavca, vodného cicavca a vtáka, obr. 1) – to sú orgány **homologické**, a naopak, orgány s rovnakými funkciami môžu mať odlišný pôvod, t.j. vznikajú z odlišných zárodočných listov (napr. krídla vtákov, netopierov a hmyzu, obr. 2) – to sú orgány **analogické**.

**Obrázok 1:** Príklad homologických orgánov<sup>1</sup>



**Obrázok 2:** Príklad analogických orgánov<sup>2</sup>



Orgány sa môžu pritom vyvíjať jednotlivo (pečeň), v pároch (obličky) alebo vo väčšom počte (napr. semenníky u ploskavcov). Ak sú vyvinuté párovito, označujeme ich ako **homotypické**. Môžu sa dokonca opakovať aj v každom telovom článku (metanefrídie u obrúčkavcov). Takéto orgány nazývame **homodynamické**. Pri väčšom počte orgánov s tou istou funkciou môže pritom jeden orgán nahradiť iný, poškodený. Napr. pri zlyhaní funkcie jednej obličky, druhá oblička môže zosilnieť a plne nahradiť chýbajúcu obličku. Podobne u samíc vtákov, u ktorých je zvyčajne funkčne vyvinutý iba jeden (ľavý) vaječník, môže po jeho poškodení dorásť a prevziať funkciu pravý vaječník. Tento jav nazývame **kompENZAČNÁ HYPERTROFIA**.

## 1.2 UMIESTNENIE ORGÁNOV A SYMETRIA TELA

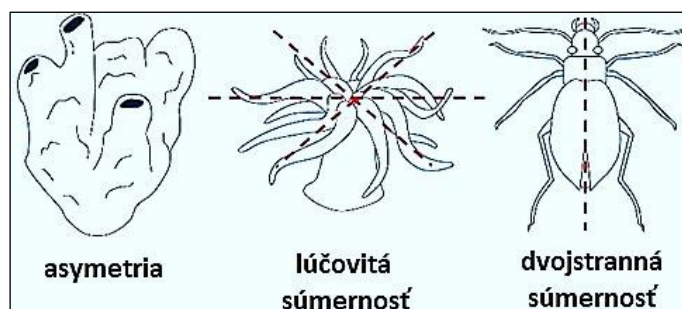
Umiestnenie orgánov v živočíšnom organizme je výsledkom spôsobu života a prostredia, v ktorom daný živočích žije. Tieto faktory určujú aj jeho celkovú **symetriu**, t.j. súmernosť tela (obr. 3). Najjednoduchšou formou tela je **asymetrická** (brvavce, hubky) a **sférická forma** (slnčovky), pri ktorej sú orgány alebo ich časti rozostavené okolo jedného bodu, takže ich telom možno preložiť viacerou osí a rovín súmernosti.

Naopak, najdokonalejšie vyvinuté živočíchové – stavovce, ale i obrúčkavce a článkonožce, sú **dvojstranne (bilaterálne) súmerné**. Ich telom môžeme preložiť jedinú, tzv. mediánnu rovinu, ktorá ho rozdeľuje na dve zrkadlivo súmerné polovice (pravú a ľavú, obr. 4). Orgány nachádzajúce sa bližšie k mediánnej rovine majú **mediálnu polohu**, orgány nachádzajúce sa ďalej od mediánnej roviny majú polohu **bočnú, laterálnu**. Okrem mediánnej roviny poznáme aj ďalšie, a to rovnobežné (sagitálne) roviny, ktoré sú rovnobežné s mediánnou rovinou

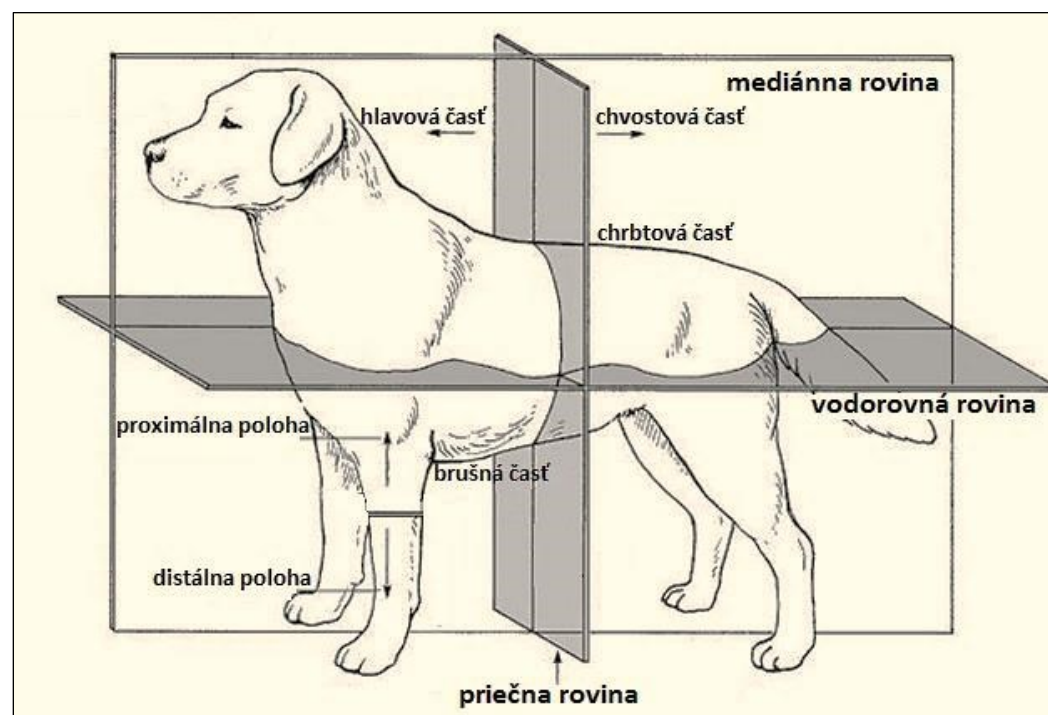
a rozdeľujú telo na nerovnaké asymetrické časti; priečne (transverzálne) roviny, ktoré rozdeľujú telo živočíchov na prednú alebo **hlavovú (kraniálnu)** a zadnú alebo **chvostovú (kaudálnu)** časť a vodorovné (horizontálne) roviny. Tieto sú kolmé na mediánnu rovinu a rozdeľujú telo na hornú alebo **chrbtovú (dorzálnu)** a dolnú alebo **brušnú (ventrálnu)** časť. Od toho sa potom udáva aj poloha jednotlivých orgánov, napr. kraniálna, kaudálna, dorzálna či ventrálna. Orgány na končatinách, ktoré sú bližšie k trupu majú zas polohu **proximálnu**, ďalej od trupu polohu **distálnu**.

Posledným typom symetrie je **lúčovitá (radiálna) súmernosť**. Na rozdiel od dvojstrannej súmernosti má vždy viac rovín súmernosti. Takýto typ súmernosti majú napr. mechúrniky a ostnatokožce.

**Obrázok 3:** Základné formy symetrie u živočíchov<sup>3</sup>



**Obrázok 4:** Hlavné roviny a časti dvojstranne súmerných živočíchov<sup>4</sup>



## 2 KRYCIA SÚSTAVA

**Krycia sústava** súvisle pokrýva celý povrch živočíchov a oddeľuje tak ich telo od vonkajšieho prostredia. Plní pritom viacero funkcií, z ktorých hlavnou je ochrana organizmu pred vonkajšími mechanickými a chemickými vplyvmi a prenikaniu mikroorganizmov. Okrem toho sa zúčastňuje na termoregulácii, dýchaní, prijímaní a vylučovaní látok a chráni pred stratou vody vyparovaním. Súčasne prijíma podnety z vonkajšieho prostredia pomocou zmyslových orgánov citlivých na dotyk, tlak, teplo/chlad a bolesť. Môže obsahovať i rôzne špeciálne **integumentárne** útvary (šupiny, perie, srst, kopytá, rohy). Tie bývajú zväčša lokálne zoskupené a nachádzajú sa v nich často aj rôzne farbivá. U jednoduchých foriem živočíchov bol krycí epitel opatrený brvami, ktoré slúžili na pohyb. Neskôr, vytvorením špecifických pohybových orgánov, táto funkcia povrchových buniek zaniká, prípadne sa na pohybe zúčastňujú spolu so svalovou sústavou (napr. u ploskulíc). Brvy a ich pohybová funkcia sa zachovávajú aj u lariev hubiek, mechúrnikov a obrúčkavcov, ale aj dospelých jedincov ďalších druhov, najmä okolo ústneho otvoru, kde slúžia na prísun potravy do úst.

Základná charakteristika a osobitosti krycej sústavy jednobunkových a mnohobunkových živočíchov sú uvedené nižšie.

### 2.1 JEDNOBUNKOVCE

Povrch tela jednobunkovcov je tvorený polopriepustnou (semipermeabilnou) **cytoplazmatickou membránou**, ktorá ohraničuje bunku od okolitého prostredia a zabezpečuje medzi nimi výmenu látok. Zvyčajne sa skladá z dvoch vrstiev oddelených od seba svetlejšou hmotou, ale môže byť aj rôzne modifikovaná, napr. zdvojená (výtrusovce) alebo dokonca trojitá (gregariny). U brvavcov, opalín a niektorých ďalších jednobunkovcov s charakteristickým tvarom je cytoplazmatická membrána spevnená systémom mikrotubulov uložených tesne na membránu. Takýto systém sa nazýva **pelikula** alebo *cortex*. Pelikula môže byť pružná a ohybná alebo naopak tuhá. Cytoplazmatická membrána môže u niektorých skupín (napr. mrežovce) produkovať i vápenaté či kremičité schránky.

### 2.2 MNOHOBUNKOVCE

Povrch tela bezstavovcov tvorí **jednovrstvová pokožka** (*epidermis*) ektodermálneho pôvodu. Môže byť tvorená tiež riasinkovým jednovrstvovým (ploskavce) alebo viacradovým (páskovce) epitelom, obsahovať žľazy alebo žľazové bunky produkujúce sliz, vosk (včely) a podobne.



U niektorých skupín pokožka produkuje **kutikulu** (napr. okrúhlovce, plášťovce, kopijovce). Najlepšie je vytvorená u článkonožcov. Základom kutikuly je organická látka **chitín**, ktorá je odolná voči kyselinám a zásadám a neprepúšťa pary, čím chráni suchozemské článkonožce pred vyschnutím. Chitín môže byť inkrustovaný i uhličitanom vápenatým. Povrch kutikuly nie je zvyčajne hladký, ale jemne vzorovaný a môže na povrchu obsahovať aj ďalšie rôzne útvary, akými sú napr. **mikrotrichie** (na krídlach dvojkřídlcov) alebo **makrotrichie** (šupiny – premenené chlípky na krídlach motýľov). Keďže pevný chitín v kutikule neumožňuje telu rásť (zväčšovať sa), živočích sa musia pravidelne zvliekať (lieniť sa).

Povrch tela bezstavovcov môže byť pokrytý, resp. obalený aj inými výlučkami pokožky, ako napríklad rôsolovitým **plášťom** (*tunica*). Jeho základnou stavebnou zložkou je polysacharid tunicín, podobný celulóze.

Povrch tela stavovcov je tvorený **viacvrstvou pokožkou** ektodermálneho pôvodu a **zamšou**, ktorá vzniká z mezodermy, pod ktorou sa nachádza bohato prekrvené **podkožné tkanivo**. U mnohých stavovcov sa v ňom ukladá tuk, ktorý ich chráni pred podchladením (napr. veľryby). V pokožke sa často nachádzajú **pigmenty** (pigmentové bunky), najmä čierne, hnedé alebo tmavožlté **melaníny**, žlté a červené **karotenoidy** alebo **lipochrómy** a vzácnejšie i zelené a ružové **porfyríny**. Pokožka stavovcov môže byť nerohovatejúca (ryby, obojživelníky) alebo rôzne rohovaté (plazy, vtáky, cicavce). U plazov je rohovenie tak intenzívne, že musia pokožku pravidelne zvliekať.

Koža väčšiny druhov stavovcov obsahuje aj množstvo žliaz, produkujúcich sliz (ryby, obojživelníky), jed (obojživelníky), maz (vtáky, cicavce), ďalej pachové žľazy (plazy, cicavce), potné a mliečne žľazy (cicavce). Pachové a mliečne žľazy u cicavcov vznikli premenou potných žliaz. Najmenej kožných žliaz majú vtáky. Ich pokožka, podobne ako pokožka plazov, je suchá. Výnimku tvorí **nadchvostová žľaza** (*glandula uropygii*), z ktorej vtáky zobákom vytlačujú olejovitý sekret a roztierajú si ho po perí (izolácia proti vode).

## 2.3 DERIVÁTY NA POVRCHU TELA STAVOVCOV

Na povrchu tela stavovcov nachádzame viacero rôznych útvarov, ktoré sú derivátmi pokožky, sú teda ektodermálneho pôvodu, alebo vznikajú zo zamše, a teda sú mezodermálneho pôvodu. Niektoré útvary, napr. **plakoidné šupiny** drsnokožcov, môžu byť aj zmiešaného mezodermálno-ektodermálneho pôvodu (vlastné telo šupiny je kostného mezodermálneho pôvodu, povrchová emailová vrstva ektodermálneho pôvodu).

K derivátom pokožky patria najmä **šupiny** plazov, **perie** vtákov a **chlpy** (vlasy) cicavcov. Šupiny plazov vznikli rohovením pokožky a perie vtákov zložitou prestavbou plazej šupiny. Chlpy a vlasy (teda srst) sú naopak novotvarom, ktorý sa zakladal medzi, resp. za šupinami.

Okrem toho k typickým kožným útvarom ektodermálneho pôvodu patria i nechty, pazúry a kopytá na posledných článkoch prstov a rohy na hlave. **Pazúry** sú okrúhle zrohovatené útvary. Silne vyvinuté sú najmä u vtákov (dravce, sovy, kurotvare) a cicavcov (mäsožravce, hmyzožravce). **Nechty** na rozdiel od pazúrov sú ploché zrohovatené doštičky. Typické sú u primátov. **Kopyto** je naopak tvrdé rohovité symetrické puzdro na poslednom článku prstov nepárnokopytníkov, zatiaľ čo u párnokopytníkov je toto puzdro nesymetrické a nazývame ho **ratica** alebo paznecht. **Rohy** sú tvorené rohovinovou časťou, ktorá nasadá na kostený násadec vyrastajúci z čelovej kosti (tzv. tulec), medzi ktorými je zamša s cievami a nervami, takže ich poranenie je bolestivé. Vlastné rohy sú ektodermálneho pôvodu. Sú duté, rôzne pokrútené, zvyčajne sa ale nevetvia (pozri však vidloroh americký *Antilocarpa americana*, obr. 5) a po celý život dorastajú, t.j. majitelia ich nezhadzujú. Rastú pritom odspodu, takže najstaršia časť je vždy navrchu (obr. 6). Rohy sú charakteristické pre turovité, nosorožcovité a vidlorohovité.

**Obrázok 5:** Vetvené rohy vidloroha amerického<sup>5</sup>



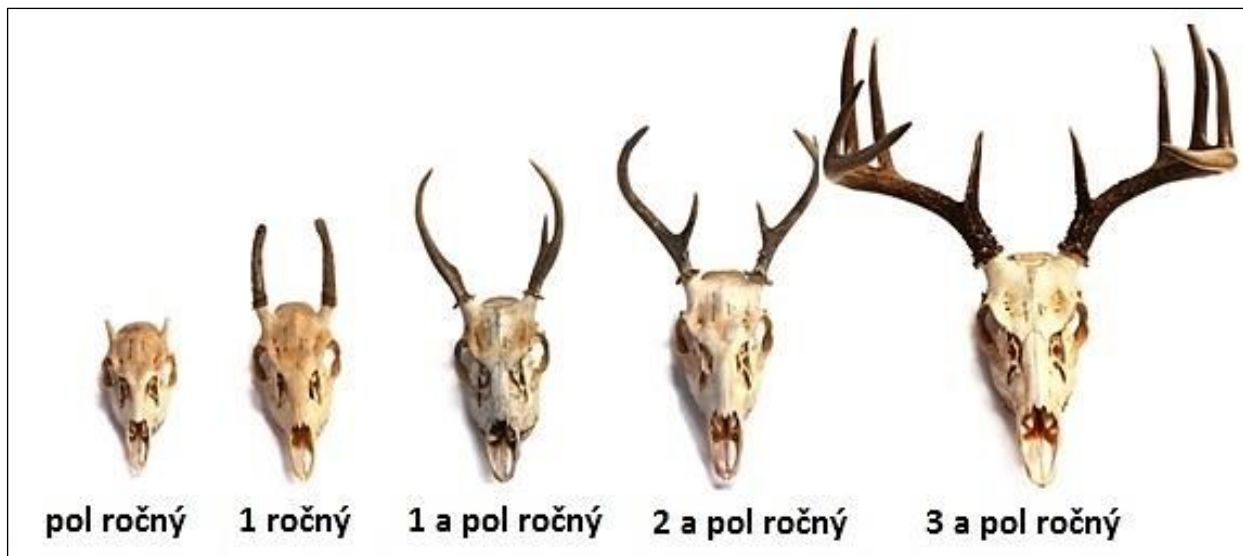
**Obrázok 6:** Určovanie veku muflóna podľa ročných prírastkov rohov<sup>6</sup>



Útvary kostného pôvodu na povrchu tela stavovcov sú kostený pancier, šupiny rýb, kostené štítiky a kostené doštičky u plazov a parohy u cicavcov. Všetko sú to deriváty zamše. **Kostený pancier** predstavoval pôvodný kožný kryt najstarších stavovcov (štítnatce a panciernatce). Pretože značne obmedzoval pohyb týchto živočíchov, postupne dochádzalo k redukcii panciera a jeho nahradzovaniu kostenými šupinami. V súčasnosti kostený pancier nachádzame iba u korytnačiek. Najstarším typom **šupín** sú **ganoidné šupiny** s typickou ganoinovou vrstvičkou (sklovinou) na ich povrchu, a ich modifikácia – **šupiny kozmoidné** s charakteristickou kozmínovou vrstvou dentínového pôvodu. Ganoidné šupiny nachádzame najmä u zástupcov chrupkokostnatých a prvokostnatých, kozmoidné šupiny zas u

násadcoplutvovcov. U lúčoplutvovcov sa najlepšie uplatnili **leptoidné šupiny**, ktoré podľa tvaru ich okraja rozdeľujeme na **cykloidné** a **ktenoidné**. Tie sú zároveň i významným taxonomickým znakom. Cykloidné šupiny sú charakteristické pre kaprotvaré, ktenoidné šupiny pre ostriežotvaré. **Kostené štítky** (*osteoscuta*) nachádzame u jašteríc, **kostené doštičky** (*gastralia*) na brušnej strane tela krokodílov. **Parohy** vznikajú kostnaténím zamše, sú teda mezodermálneho pôvodu. Patria k najrýchlejšie rastúcim kostiam živočíchov. Vyrastajú z pučnice, čo je vlastne výbežok čelovej kosti. Parohy prirastajú zvrchu, takže najstaršia časť zostáva vždy pri pučnici (obr. 7). Parohy nie sú duté, bývajú rozkonárené (jednoduché sú len v prvom roku vývoja) a ich majitelia ich v dôsledku rozpadu kostného tkaniva (*osteolýzy*) pravidelne zhadzujú. Parohy sú charakteristické len pre samce jeleňovitých s výnimkou soba arktického (*Rangifer tarandus*), u ktorého parohy majú obe pohlavia, hoci u samíc sú menšie.

**Obrázok 7:** Určovanie veku jeleňa podľa parožia<sup>7</sup>



**Obrázok 8:** Samec a samica soba polárneho počas ruje<sup>8</sup>



## 3 OPORNÁ SÚSTAVA

Hlavnou funkciou opornej sústavy je spevňovať mäkké časti živočíšnych organizmov a poskytovať im tak oporu pre ich telo a chrániť dôležité životné orgány (napr. mozog a srdce). Zároveň slúži ako závesný aparát pre svaly a tým sa pasívne podieľa aj na pohybe živočíchov. Spolu s pokryvom tela určuje celkový vonkajší tvar živočíchov. Všeobecne platí, že pohyblivé druhy majú úspornejšiu opornú sústavu ako druhy nepohyblivé alebo málo pohyblivé (napr. u prhlivcov nezmar vs. koral). Najdokonalejšie majú opornú sústavu vyvinutú stavovce a z bezstavovcov článkonožce. Podľa jej umiestnenia ju rozdeľujeme na **vonkajšiu** a **vnútornú kostru**.

### 3.1 VONKAJŠIA KOSTRA

Nachádza sa na povrchu tela. Tvorená býva uhličitanom vápenatým, chitínom alebo oxidom kremičitým. Patria sem rôzne **schránky**, **chitínová kutikula** a **panciere**.

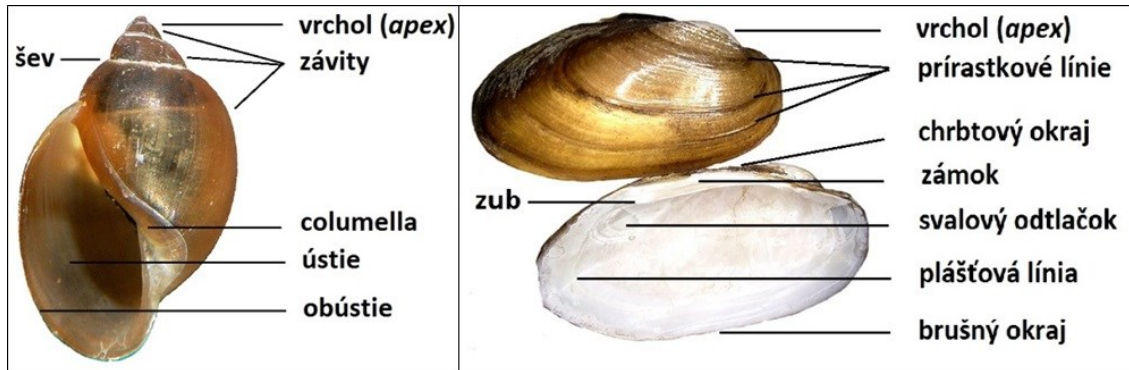
#### 3.1.1 Schránky

Majú zväčša ochrannú funkciu. Produkované sú buď pokožkovými bunkami alebo vznikajú prilepovaním rôzneho materiálu anorganického či organického pôvodu (larvy potočnikov). Najznámejšie a najdokonalejšie vyvinuté schránky majú mäkkýše. Tvorené sú tromi (lastúrniky) alebo štyrmi vrstvami (ulitníky), ktoré však môžu byť rôzne redukované. Na povrchu schránky je konchiolínová vrstva *periostracum* tvorená organickou hmotou nazývanou konchiolín. Často obsahuje pigmenty a rôzne výrastky. Pod ňou je u ulitníkov pseudoprismatická vrstva a ďalej vrstva *ostracum* tvorená kryštálkami uhličitanu vápenatého. Posledná, najspodnejšia aragonitová vrstva *hypostracum* dodáva vnútornej časti schránky charakteristický perleťový lesk. Býva neustále vylučovaná, čím schránka aj hrubne. Táto vrstva sa podieľa i na tvorbe periel. Schránky mäkkýšov môžu byť stočené do **ulity** (u ulitníkov) alebo predstavovať dvojchlopňové **lastúry** (u lastúrnikov) spojené na chrbtovej strane pružným väzom (*ligamentum*). Tvar týchto schránok a ich opis pozri obr. 9

Dvojitú (škrupinovú) schránku majú aj ramenonožce. Vzniká činnosťou pláštia, ktorý vylučuje na povrchu kutikulu a pod ňu vápenec. Brušná škrupina je väčšia a klenutejšia, chrbtová menšia. Dvojchlopňovú vápenatú schránku nachádzame tiež u drobných kôrovcov lastúrníček. Má tvar vajcovitej lastúry, pričom obe tieto časti sú na chrbtovej strane spojené pružným väzom, ktorý schránku otvára. Schránky nachádzame aj u ďalších skupín bezstavovcov a dokonca aj u chordátov (napr. vršovky).



**Obrázok 9:** Tvar a základná stavba ulity a lastúr mäkkýšov<sup>9,10</sup>



### 3.1.2 Kostra článkonožcov

Kostru článkonožcov tvorí **chitínový pancier**. Je to pravá vonkajšia kostra, pretože na rozdiel od schránok sa na ňu upínajú aj svaly. Najdokonalejšie je vyvinutá u hmyzu. Tvorí ju tzv. **kutikula**, ktorá sa skladá zo skleritov doštičkovitého alebo rúrkovitého tvaru. Sklerit predstavuje tvrdú, sklerotizovanú časť vonkajšej kostry hmyzu ohraničenú od ostatných častí švami, kĺbmi a blanitými spojeniami. Skladá z chrbtového štítka (*tergit*) a brušného štítka (*sternit*), medzi ktorými je pružná blana (*pleura*). Sklerity pokrývajú celý povrch tela, vrátane hlavy a hrudných článkov, čím tvoria dokonalú oporu svalom končatín a krídiel. Aj jednotlivé články končatín sú pokryté skleritmi v podobe hrubostenných trubíc.

### 3.1.3 Vonkajšia kostra stavovcov

Tvorí ju ploché kosti na povrchu tela, ako napr. kosti lebky, kosti lopatkového pásma, skrely rýb, kostené doštičky krokodílov a hatérií, panciere korytnačiek a pásovcov.

**Pancier** korytnačiek je zložený z veľkého počtu kostených a rohovinových, vzájomne sa neprekrývajúcich štítkov, ktoré tvoria jednotný vonkajší (rohovinový) a vnútorný (kostený) štít. Ku kostenému pancieru prirastajú stavce, hrudné a brušné rebrá a časť pásiem končatín. Chrbtová časť panciera je viac alebo menej vyklenutá a nazýva sa *carapax*, plochú brušnú časť označujeme ako *plastrón*.

Kostený pancier pásovcov pokrýva hlavu, chrbát a chvost. Na povrchu je pokrytý rohovinovou vrstvou. Pancier tvoria voľne spojené a pohyblivé doštičky.

## 3.2 VNÚTORNÁ KOSTRA

Vnútoraná kostra alebo endoskelet je vždy mezodermálneho pôvodu alebo vzniká z mezoglei – rôsolovitej hmoty nachádzajúcej sa medzi ektodermom a endodermom. Pri jednobunkovcoch možno za vnútornú kostru pokladať spevňovací útvar **axostyl** vznikajúci z mikrotubulov. Vyskytuje sa napr. u zástupcov radov trichomonády, mnohobičkovcov a oxymonád. S vnútornou kostrou sa stretávame častejšie u bezchordátov, ale najmä u chordátov, kde najdokonalejšie je vyvinutá u stavovcov.

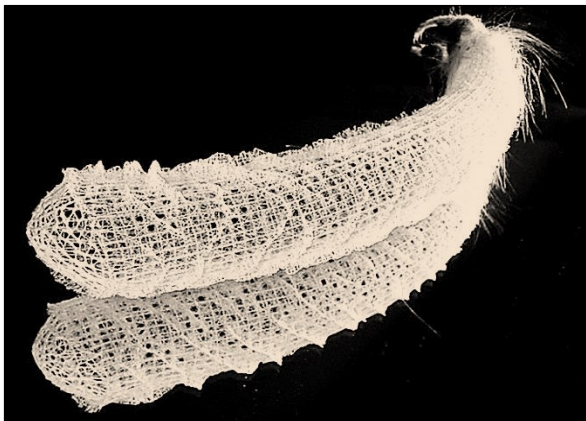
### 3.2.1 Bezchordáty

Vnútornú kostru hubiek tvoria **ihlice** (*spikuly*) produkované osobitnými bunkami – *skleroblastmi*, nachádzajúcimi sa v mezoglei. Tie sa delia na *kalkoblasty*, ktoré tvoria vápenité ihlice, *silikoblasty* tvoriace kremičité ihlice a *spongoblasty*, ktoré tvoria vlákna zo spongínu, čo je bielkovinová látka podobná keratínu. Ihlice nachádzame aj u niektorých mechúrnikov, konkrétne koralovcov (obr. 10).

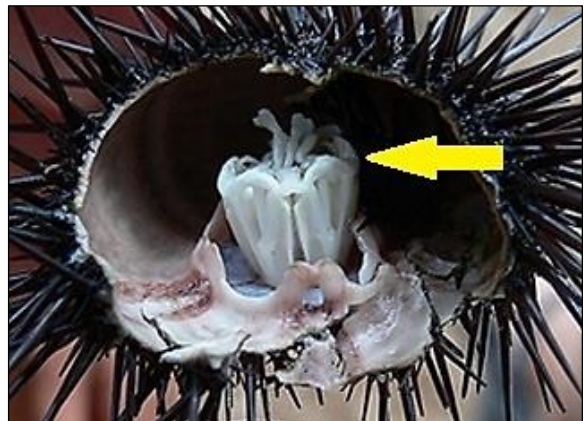
U ostnatokožcov vnútornú kostru predstavujú zas **vápenaté doštičky** alebo ostne a ihlice. Vápenaté doštičky môžu pritom zrastať a vytvárať tak súvislý pancier na povrchu posiaty ostňami, napr. u ježoviek. Kostrovým útvarom u ježoviek je aj špeciálny rozomieľací aparát v ústnom otvore nazývaný tiež **Aristotelov lampáš** (obr. 11). Pre vnútornú kostru ostnatokožcov je typická lúčovitá súmernosť.

Mäkkýše na rozdiel od predchádzajúcich typov vnútorných kostier majú chrupkovitý skelet. Predstavuje ju tzv. **subradulárna chrupka** spevňujúca radulu, orgán v ústnej dutine slúžiaci na strúhanie potravy. Chrupkovitá vnútorná kostra je najdokonalejšie vyvinutá u hlavonožcov, konkrétne sépií, kde rozoznávame hlavovú, ramennú, tylovú, chrbtovú a plutvovú chrupku.

**Obrázok 10:** Vnútoraná kostra koralovcov <sup>11</sup>



**Obrázok 11:** Aristotelov plášť <sup>12</sup>



### 3.2.2 Chordáty

Základom vnútornej kostry chordátov je elastická **chrbtová struna** – *chorda dorsalis*, skladajúca sa z veľkých vakuolizovaných buniek. Uložená je nad tráviacou a pod nervovou trubicou. Úplne vyvinutú ju majú však iba nižšie chordáty a bezčelustnatce (pozri nižšie), pričom sa po celý život zachováva len u vršoviek a kopijovcov. U ostatných, u ktorých dospelé jedince žijú prisadnuto alebo sa iba voľne vznášajú vo vode, sa vyskytuje len v larválnom štádiu a v dospelosti zaniká.

U stavovcov je chrbtová struna úplne zachovaná u bezčelustnatcov (obr. 12). U ostatných tried je postupne zatlačovaná telami stavcov do medzistavcových priestorov, kde sa napr. u cicavcov zachováva už len v medzistavcových platničkách. U vtákov úplne chýba.

**Obrázok 12:** Chrbtová struna u bezčelustnatcov (sliznatiek)<sup>13</sup>



Vlastná vnútorná kostra stavovcov vzniká prevažne chondrogénnou osifikáciou (desmogénnou osifikáciou vznikajú napr. len ploché kosti lebky, spodná čeľusť a niektoré ďalšie). Podľa pôvodu ju delíme na:

- **somatickú** (mozgová časť lebky – *neurocranium*, stavce, rebrá, hrudná kosť, väčšina kostí končatín) a
- **viscerálnu** (žiabrové oblúky, tvárová časť lebky – *viscerocranium*).

Podľa umiestnenia a funkcie vnútornú kostru stavovcov delíme zas na:

- **kostru trupu** (chrbtica a chrbtová struna, rebrá a hrudná kosť),
- **kostru lebky** (*neurocranium* a *viscerocranium*) a
- **kostru končatín** (nepárové a párové končatiny).

Vnútoraná kostra stavovcov prekonala počas vývoja významné zmeny. Tie sa týkajú najmä evolúcie viscerocrania, ale aj stavcov, končatín a ostatných častí kostry. Mnohé zmeny sú aj výsledkom adaptácie stavovcov na rôzne typy prostredia (plutvy u veľrýb, krídla u netopierov a pod.). Všetky tieto vývojové zmeny sú predmetom samostatnej vednej disciplíny – **evolučnej morfológie**.

## 4 POHYB A POHYBOVÁ SÚSTAVA

**Pohyb** (lokomócia) je jeden zo základných prejavov existencie živočíchov. Je to cieľavedomá činnosť umožňujúca jedincovi meniť svoju polohu v priestore tak, aby bola čo najoptimálnejšia vo vzťahu k vonkajším i vnútorným podnetom. Pohyb môže prebiehať na všetkých úrovniach organizmu: **vnútro bunkovej** (subcelulárnej), **bunkovej** (celulárnej) a **organizmovej**. Na vnútro bunkovej úrovni dochádza k vlastnému pohybu cytoplazmy v každej živočíšnej bunke za účelom rozvádzania živín a transportu rôznych látok (sekréty, exkréty) a organel (mitochondrie, ribozómy) počas života a delenia (mitózy) bunky. Na bunkovej úrovni ide o pohyb špecializovaných buniek mnohobunkových organizmov (napr. biele krvinky, spermie) a na organizmovej o pohyb celého jednobunkového alebo mnohobunkového organizmu. Pohyb živočíchov využívajú na vyhľadávanie potravy, vhodných životných podmienok, úkrytov, na únik pred nebezpečenstvom a na rozmnožovanie.

### 4.1 FORMY POHYBU

U živočíchov rozoznávame dve základné formy pohybu: pasívny a aktívny. **Pasívny pohyb** je taký pohyb, pri ktorom živočíchov využívajú vonkajšie faktory prostredia bez vlastnej pohybovej aktivity. Nechávajú sa teda voľne unášať napr. vodou, vzduchom, alebo sú prenášané inými živočíchmi. Patria k nim napr. ekto- a endoparazity ale i druhy, ktoré sa aktívne zachytávajú na iné druhy výhradne iba za účelom premiestnenia. Sú to tzv. **forézne organizmy**, ako napr. larvy májkovitých triungulíny, ktoré sa prichytávajú na včely a tie ich prenášajú do svojich hniezd. Typickým príkladom pasívneho pohybu je **kĺzavý let** vtákov ale aj niektorých ďalších živočíchov (poletuchy, dráčik, obr. 13). Pri ňom vtáky, napr. albatrosy, supy, orly, využívajú vzostupné vzdušné prúdy, pričom sa môže meniť ich výška ale rýchlosť letu ostáva rovnaká – takýto let označujeme ako **plachtenie**, alebo vtáky výšku letu nemenia, ale klesá ich rýchlosť – **vznášanie**.



**Obrázok 13:** Príklady pasívneho letu u plazov (dráčik lietavý *Draco volans*), vtákov (sup tmavohnedý *Aegypius monachus*) a cicavcov (poletucha veľká *Cynocephalus volans*)<sup>14- 16</sup>



**Aktívny pohyb** je výsledkom vlastnej pohybovej činnosti živočícha. Umožňuje mu cielene a efektívne regulovať jeho polohu a umiestnenie v priestore. Je energeticky náročný a viazaný na špecifické pohybové orgány alebo organely (u jednobunkovcov). Aktívny pohyb podmienil celý fylogenetický vývoj organizmov a postupné zdokonaľovanie orgánov a orgánových sústav, ktoré s ním súvisia. Pri aktívnom pohybe je nevyhnutná najmä dokonalá orientácia živočícha v priestore, koordinácia jeho pohybových orgánov (organel) a dostatočný prívod kyslíka a živín. S tým súvisí preto najmä rozvoj nervovej, zmyslovej, dýchacej a obehovej sústavy. Hoci aktívny pohyb je všeobecnejšia a častejšia forma pohybu živočíchov ako pasívny pohyb, obe tieto formy pohybu sa v skutočnosti dopĺňajú. Plachtiaci albatros musel najskôr aktívnym letom vyhľadať vzostupné teplé vzdušné prúdy, ktoré mu plachtenie umožňujú, roztoč vlastným pohybom sa zas dostať na najvhodnejšie miesto na prenášačovi a pod. Vo zvyšnej časti tejto kapitoly sa budeme zaoberať už len aktívnymi formami pohybu živočíchov.

## 4.2 POHYB JEDNOBUNKOVCOV

U jednobunkovcov rozoznávame dva základné typy pohybu: pohyb pomocou bičíkov, brv a panôžok – **meňavkovitý (amébovitý) pohyb**. Je to tzv. nesvalový pohyb, pri ktorom sa uplatňujú iné mechanizmy pohybu. Hoci ide o typický typ pohybu jednobunkovcov, môže sa vyskytovať aj u niektorých špecializovaných buniek mnohobunkových organizmov (pozri nižšie).

Pohyb pomocou bičíkov a brv je charakteristický pre bičíkaté jednobunkovce a brvavce. Pomocou bičíkov sa pohybujú aj samčie pohlavné bunky väčšiny mnohobunkových živočíchov a niektoré epitelové bunky. Tento typ pohybu je pritom vždy viazaný na tekuté prostredie (voda alebo vnútorné prostredie iných organizmov). Bičíky (*flagellum*) a brvy (*cilie*) sa svojou štruktúrou podobajú a ani samotný pohyb bičikmi a brvami sa od seba principiálne neodlišuje. Rozdiel je len v tom, že bičíky bývajú väčšie a dlhšie a vyskytujú sa jednotlivo alebo len v malých

zhlukoch, zatiaľ čo brvy sú krátke a vyskytujú sa spravidla vo väčšom množstve (zvyčajne pokrývajú celý povrch tela). Každý bičík či brva vyrastá z bazálneho telieska zakotveného v cytoplazme a vo svojej osi má 11 bielkovinových vlákien, z ktorých dva centrálné tvoria vodivú sústavu a zvyšných 9 obvodových je zodpovedných za samotný pohyb.

U niektorých jednobunkovcov, napr. parazitických tripanozóm žijúcich v krvnej plazme alebo v pošve, sa medzi bičíkom a povrchom bunky vytvoril plazmatický lem – **undulujúca** (vlnivá) **membrána**, ktorá im uľahčuje pohyb v hustejšom prostredí.

Meňavkovitým pohybom sa pohybujú napr. meňavky (od toho je i pomenovanie tohto pohybu), ale napr. aj biele krvinky mnohobunkových živočíchov. Uskutočňuje sa pomocou **panôžok** (*pseudopódií*) vznikajúcich v dôsledku prelievania sa cytoplazmy v bunke, resp. kontrakcií aktino-myozínového cytoskeletu bunky.

Rýchlosť a smer pohybu jednobunkových organizmov alebo špecifických buniek mnohobunkových organizmov môže byť často vyvolaný alebo ovplyvnený rôznymi vonkajšími podnetmi. Môžeme pritom hovoriť o tzv. **kinézach**, čo je zrýchlenie alebo spomalenie pohybovej aktivity vzhľadom na nejaký podnet, napr. pohyb črievičky vo vzťahu k svetlu alebo teplu, a **taxiach**, zmenách smeru pohybu vo vzťahu k nejakému podnetu. Ak ide o reakciu na chemické podnety, hovoríme o **chemotaxiách** (napr. pohyb spermie k vajíčku), ak o reakciu na svetelné podnety hovoríme o **fototaxiách** (eugléna zelená *Euglena viridis*).

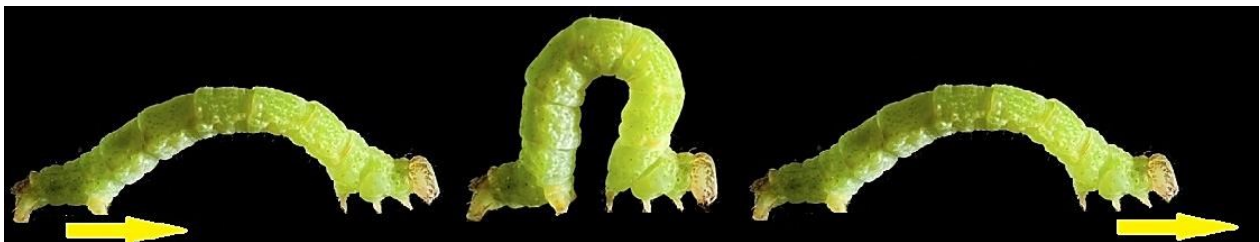
### 4.3 SVALOVÝ POHYB BEZSTAVOVCOV

Pohyb väčšiny mnohobunkových živočíchov sa uskutočňuje svalovým pohybom prostredníctvom rôzne diferencovanej svaloviny. **Jednoduchý svalový pohyb** sa vyskytuje napr. u mäkkýšov, konkrétne ulitníkov, ktoré sa pohybujú pomocou mohutnej svalnatej nohy. Tá obsahuje hladkú svalovinu a štrbinky vyplnené telovou tekutinou. Antagonistické pôsobenie svalových kontrakcií a napätia tekutiny umožňuje charakteristický plazivý pohyb slimákov. Pohybu často napomáha i vylučovanie slizu.

U hlavonožcov sa stretávame s osobitým spôsobom tzv. **reaktívneho pohybu**, založenom na prudkom zmršťovaní **kuželovitého lievika** (*hyponom*) v zadnej časti pozmenenej nohy a vystreknutí vody z tohto lievika. Odraz vody umožní rýchly pohyb sépie alebo chobotnice opačným smerom. Podobne medúzy majú vo svojom „klobúku“ svalové vlákna, zmrštením ktorých vystrekne cez otvor vo **svalovej plachtičke** (*velum*) voda, ktorá tlakom na okolitú vodu posunie telo medúzy dopredu. Reaktívny pohyb používajú aj niektoré nižšie chordáty (salpy). Hlavný jedinec (oozoid) sťahmi obrúčkovitých svalov vypudzuje zadným vyvrhovacím otvorom vodu von z tela a tým sa posúva dopredu.

Ploskavce a obrúčkavce majú vyvinutý kožno-svalový vak, prostredníctvom ktorého uskutočňujú **jednoduchý lokomočný pohyb**. U obrúčkavcov je tvorený okružnými, pozdĺžnymi a priečnymi svalmi. Stiahnutím pozdĺžnej svaloviny sa napne okružná svalovina a naopak, a tak jednotlivé sťahy postupujú po celej dĺžke kožno-svalového vaku čo vytvára **červovitý (peristaltický) pohyb**. U pijavíc sú dobre vyvinuté antagonistické chrbtovo-brušné svaly, ktoré im umožňujú vlnitý pohyb vo vode a prichytávaním sa prísavkami umiestnenými na prednom a zadnom konci tela o podklad i osobitý **piadivkový pohyb**. S principiálne tým istým spôsobom pohybu sa stretávame aj u húseníc niektorých motýľov (piadiviek – od toho i toto pomenovanie, obr. 14) a nezmarov.

**Obrázok 14:** Pohyb húseníc piadiviek<sup>17, 18</sup>



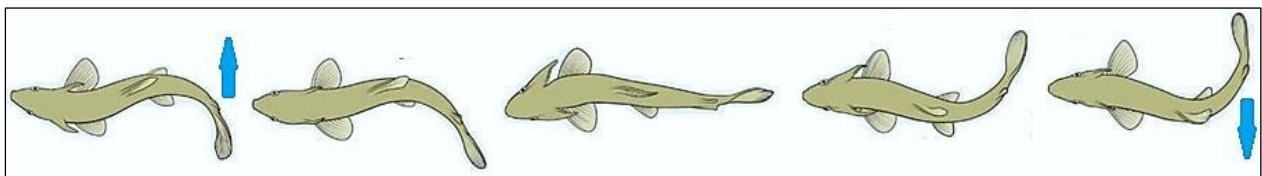
S typickým **pohybom pomocou končatín** sa u bezstavovcov stretávame pri článkonožcoch. Súvisí to u nich s utvorením vonkajšej kostry vrátane kostry končatín, na ktoré sa upínajú priečne pruhované svaly. Počet končatín môže byť pritom u článkonožcov rôzny. Veľký počet končatín majú mnohonôžky a stonožky, pavúkovce majú štyri páry končatín a hmyz tri páry. Niektoré končatiny môžu byť premenené na iné orgány (napr. ústne ústroje) a plnia inú funkciu. Krídla u hmyzu nepredstavujú samostatné končatiny ako u lietajúcich stavovcov (vtákov a netopierov), ale sú vychlípeninami pokožky. Ovládané sú špeciálnymi svalmi umiestnenými v druhom a treťom hrudnom článku.

#### 4.4 POHYB STAVOVCOV

Stavovce podobne ako článkonožce využívajú na pohyb najmä končatiny – **plutvy** (*ichthyopterygium*), **nohy** (*chiropterygium*) alebo **krídla** (*alae*), ovládané priečnepruhovanou svalovinou. Spôsob pohybu ako i celkový tvar tela stavovcov je výrazne ovplyvnený aj prostredím, v ktorom daný druh žije. Primárne vodné stavovce (drsnokožce, ryby) majú hydrodynamický tvar tela často pokrytý slizom, ktorý znižuje pri pohybe trenie. Podobný spôsob pohybu a vonkajšiu stavbu tela majú aj niektoré sekundárne vodné stavovce, napr. veľryby a plutvonožce, u ktorých došlo i k premene pôvodných končatín (nôh) na plutvy. Súvisí to najmä s vyššou hustotou (až 775 krát vyššou ako je hustota vzduchu) a viskozitou vody (100 krát vyššou

ako je viskozita vzduchu) oproti životu na suchej zemi. Základom pohybu vodných stavovcov je pritom pohyb pomocou **nepárovej chvostovej plutvy** do strán (u rýb, obr. 15) alebo zhora nadol (u veľrýb). Ostatné nepárové (chrbtová a análna) a párové (brušné a prsné) plutvy slúžia hlavne pri manévrovaní alebo ako opora tela pri pohybe po dne. **Plávanie** je z vývojového hľadiska prvá a východzia forma pohybu stavovcov. Základným predpokladom preň okrem orgánov pohybu a hydrodynamického (torpédovitého) tvaru tela je aj vyššia merná hmotnosť. Práve morské živočíchy dosahujú najväčšiu hmotnosť na Zemi (vráskavec ozrutný *Balaenoptera musculus* váži až 130 ton).

**Obrázok 15:** Základný pohyb primárne vodných stavovcov prostredníctvom chvostovej plutvy<sup>19</sup>



Plávajú však aj iné stavovce, hoci tento spôsob pohybu nie je u nich jediný alebo hlavný. Ide pritom o ďalšie spôsoby plávania:

- **plávanie na hladine** (kačice, labute),
- **potápanie** (kormorány, potápk) a
- **príležitostné alebo vynútené plávanie** (pokračovanie suchozemského spôsobu pohybu).

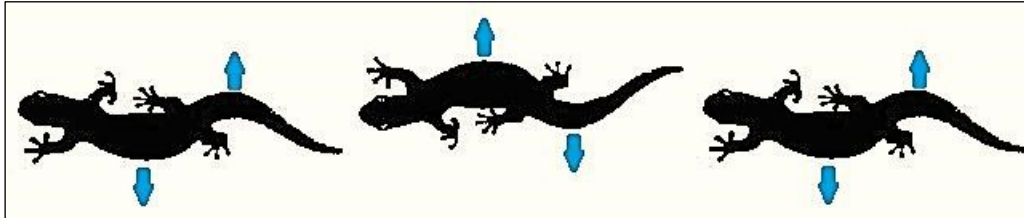
Pri potápaní mnohé vodné vtáky vypudzujú z peria vzduch aby tak zvýšili svoju mernú hmotnosť. Na plávanie i potápanie sú prispôbosené i morfológicky: posunutím zadných končatín dozadu a **plávacími blanami** alebo **lemami** medzi prstami. Plávacími blanami sú opatrené aj prsty niektorých cicavcov (vtákopysk, vydra), a môže byť u nich špeciálne vyvinutý (napr. sploštený) aj chvost (bobor). Pred zmáčaním si vtáky chránia perie rozotieraním sekrétu nadchvostovej žľazy (pozri kap. 2.2).

Suchozemské stavovce musia pri pohybe po zemi alebo vo vzduchu čeliť najmä zemskej príťažlivosti. Z tohto dôvodu je u nich okrem všeobecných predpokladov pohybu (pozri podkapitolu. 4.1) významná i poloha ťažiska. Mnohé druhy si pri pohybe pomáhajú aj svojím chvostom. U suchozemských stavovcov rozoznávame šesť základných spôsobov pohybu: kráčavý pohyb, plazenie, hrabanie, pohyb po vetvách a šplhanie, lietanie.

**Kráčavý pohyb** je základný spôsob lokomócie suchozemských stavovcov. Východiskovou formou je lezenie obojživelníkov, pri ktorom sa končatiny pohybujú **diagonálne**, t.j. naraz sa dopredu pohybujú pravá predná a ľavá zadná noha, a potom ľavá predná a pravá zadná noha,

pričom sa výrazne vychýľuje os tela. Avšak iba jedna končatina sa zdvíha nad podklad, ostatné tri sú pevne na zemi (obr. 16).

**Obrázok 16:** Východisková forma pohybu suchozemských stavovcov<sup>20</sup>



Podľa spôsobu a frekvencie pohybu končatín rozoznávame nasledovné typy kráčavého pohybu:

- **striedavý krok** (súčasný pohyb dvoch končatín po uhlopriečke, väčšina stavovcov),
- **mimochodný krok** (súčasný pohyb dvoch končatín na jednej strane, napr. slony, ťavy, kone, medvede),
- **lezenie, krok, klus** (je to symetrický pohyb. Líšia sa rýchlosťou pohybu, resp. frekvenciou pohybu končatín),
- **beh** (je to asymetrický pohyb. Ide o súčasný pohyb oboch predných a súčasný pohyb oboch zadných končatín, ktoré sa v niektorých fázach behu vôbec nedotýkajú podkladu) a
- **skákavý pohyb**, u ktorého rozlišujeme
  - (a) bipédne skákanie (po dvoch zadných končatinách, u vtákov, klokanov, ale i hlodavcov),
  - (b) skákanie obožživelníkov (doprevádzané zmenou polohy tela počas skoku – odrážajú sa zadnými končatinami ale dopadajú na predné).

Pohyb a držanie tela počas kráčavého pohybu môže byť regulované aj samotnými proporciami a držaním tela, napr. žirafa dlhým krkom, gepard pomocou chvosta a pod.

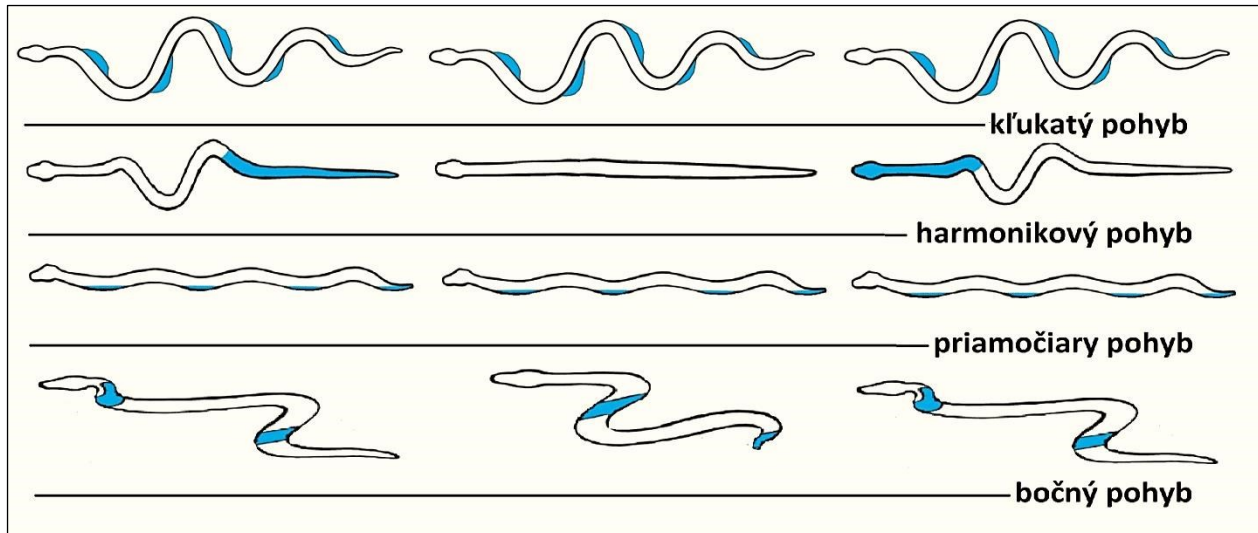
**Plazenie.** Osobitý pohyb beznohých stavovcov (hady), pri ktorom využívajú trenie medzi ich telom a podkladom pomocou sťahov svalstva. Podľa toho v akom prostredí sa daný živočích nachádza rozlišujeme štyri spôsoby plazenia:

- **kľukatý** (hady v prostredí, ktoré im poskytuje dostatočnú oporu),
- **harmonikový** (hady v jednotvárnom drsnom prostredí, napr. na vetvách),
- **priamočiary** (pohyb brušných šupín vo vlnách na hladkom podklade, napr. vretenice) a



- **bočný pohyb** (pohyb na piesku iným smerom ako sa pohybuje hlava, pričom živočích sa dotýka podkladu vždy len v dvoch bodoch, napr. štrkáče).

**Obrázok 17:** Základné spôsoby plazenia hadov (modrou farbou sú vyznačené oporné časti tela)<sup>21</sup>



**Hrabanie.** Je to pohyb pod povrchom zeme, čomu sa tiež zvyčajne prispôsobili i končatiny (napr. hrabavé predné nohy krta). Môže mať dve úlohy:

- hrabanie dočasných úkrytov alebo hniezd (cicavce a plazy hrabú zvyčajne prednými končatinami a zeminu vyhadzujú zadnými, vtáky a obojživelníky hrabú zadnými končatinami)
- vytváranie podmienok pre lokomóciu pod povrchom zeme (krt, hlodavce).

Zvláštnym spôsobom hrabania sú vŕtacie pohyby hlavy u niektorých beznohých obojživelníkov (červone) a plazov (obrúčkavcoblízne).

**Pohyb po vetvách stromov a šplhanie** je vlastne pokračovaním pohybu po zemi, pričom neexistujú medzi týmito pohybmi presné hranice. Poznáme tri formy:

- **šplhanie po zvislých stenách** (kmene stromov, skaly), a to pomocou:
  - a) pazúrov (cicavce, vtáky),
  - b) prísavných doštičiek (rosničky) alebo
  - c) štrukturalizovanej chodidlovej plochy (gekon),
- **pohyb po vetvách** (uplatňuje sa pri ňom obopínanie konárov prstami) a
- **pohyb pod vetvami:** a) chrbtom dolu (leňochody, mravčiare, poletuchy),  
b) brachiácia (ľudoopy).

**Lietanie** je fyzicky, ale najmä energeticky najnáročnejší spôsob pohybu stavovcov vyžadujúci si vývoj špecializovaného lietacieho aparátu. Schopnosť aktívneho letu je preto nielen pre stavovce, ale aj bezstavovce, pomerne vzácna, a vyskytuje sa z bezstavovcov len u hmyzu a zo stavovcov u vtákov a netopierov. Základným predpokladom lietania je najmä 1. nízka hmotnosť, ktorú vtáky dosahujú pneumatizáciou (duté kosti) a redukciou kostí (chvostové stavce), 2. aerodynamický tvar tela a 3. orgány pohybu – **krídla**. Významnú funkciu pri lietaní u vtákov plní aj **perie**, najmä ručné letky a chvostové (kormidlové) perá. U netopierov funkciu lietacej plochy (peria) nahrádza **kožná blana** (*patagium*). Rozdelená je na dve časti – krídlujú (*plagiopatagium*), rozprestierajúcu sa medzi prednými a zadnými končatinami, a chvostovú (*uropatagium*), nachádzajúcu sa medzi zadnými končatinami a chvostom. Niektoré vtáky stratili schopnosť lietať (bežce) alebo využívajú krídla na iný druh pohybu – plávanie (tučniaky).

Rozoznávame nasledovné typy aktívneho letu:

- **mávavý** (frekvencia pohybu krídel dosahuje až 200 úderov/min., napr. spevavce, obr. 18),
- **veslovací** (pohyb krídlami je pomalší a v menšom rozsahu, napr. dravce, volavky, husi),
- **trepotavý** (trepotanie krídlami na mieste, resp. vo vzduchu, napr. sokoly) a
- **vírivý** (extrémna forma trepotavého letu pripomínajúca plávanie motýlika, frekvencia úderov dosahuje 50 – 80 úderov/s., napr. kolibríky).

**Obrázok 18:** Jednotlivé fázy mávavého letu<sup>22</sup>



Mnohé druhy živočíchov používajú často dve alebo i viac spôsobov pohybu. Hmyz dokáže napr. kráčať a lietať (chrúst obyčajný *Melolontha melolontha*) alebo dokonca plávať a lietať (vodomil čierny *Hydrous piceus*), hrabať a lietať (kutavky), vtáky kráčať, plávať a lietať (kačica divá *Anas platyrhynchos*), šplhať sa po zvislých stenách a lietať (ďateľ veľký *Dendrocopos major*), hrabať a lietať (včelárík zlatý *Merops apiaster*), cicavce plávať, hrabať a kráčať (ondatra pižmová *Ondatra zibethica*), šplhať sa po zvislých stenách a lietať (netopiere) a podobne. V mnohých prípadoch pritom pohyb mohol stratiť aj svoj lokomočný význam a môže slúžiť ako súčasť komunikačných systémov zvierat, napr. pri dvorení (napr. svadobné tance u vtákov),

zastrašovaní (šelmy) alebo samotnom dorozumievaní (včely). Všetky tieto spôsoby pohybu mnohobunkových živočíchov sú zabezpečované prostredníctvom svalov a svalových sústav.

## 4.5 SVALY A SVALOVÉ SÚSTAVY

U väčšiny živočíchov pohyb zabezpečujú **priečne pruhované svaly** (*musculi*), ktoré sa upínajú na vonkajšiu alebo vnútornú kostru. Vyznačujú sa výraznou schopnosťou predlžovať sa i pri najmiernejšom ťahu, t.j. **extenzibilitou**, a schopnosťou vrátiť sa po prerušení ťahu do pôvodnej polohy, t.j. **elasticitou**. Zároveň si každý sval v pokoji zachováva vlastné svalové napätie – **tonicitu**, schopnosť zmrštiť sa pri pôsobení akéhokoľvek adekvátneho podnetu – **excitabilitu**, a výrazne skrátiť svoju dĺžku pri súčasnom zväčšení jeho priemeru – **kontraktilitu**. Hoci tvar svalov je rozmanitý, na väčšine z nich môžeme rozoznať nasledovné časti: **odstupovú hlavu** (*caput*), stredné **svalové bruško** (*venter*) a **chvost** (*cauda*). Svaly s viacerými odstupovými hlavami nazývame **dvoj-**, **troj-** či **viachlavé** (*musculus biceps*, *m. triceps*, atď.). Podobne podľa počtu svalových brušiek poznáme svaly **dvojbruškové** či **viacbruškové**. Fixný koniec svalu nazývame **svalový odstup** (*origo*), pohyblivú časť svalu **svalový úpon** (*insertio*). Svaly sa výrazne líšia svojou dĺžkou i tvarom. Pri **dlhých svaloch** prevláda ich dĺžka nad šírkou a ich tvar môže byť vretenovitý, stužkovitý alebo až povrazovitý. **Krátke svaly** majú dĺžku, šírku i hrúbku približne rovnaké. Pri **plochých svaloch** zas prevláda dĺžka a šírka nad ich hrúbkou. Niektoré svaly prebiehajú dokonca v kruhu, tzv. **kruhovú svaly**, a pokladajú sa teda za nekonečné.

Na jednotlivé časti skeletu (kosti) sa svaly upínajú pomocou **šliach** a **väzivových blán** ako **jednoramenná** alebo zriedkavejšie **dvojramenná páka**. Spojenie je tak pevné, že pri úrazoch dôjde skôr k pretrhnutiu šľachy alebo kosti, ako k prerušeniu spojenia medzi šľachou a kosťou. Samotný pohyb sa pritom uskutočňuje **kontrakciou svalu**. Vzniknutá sila sa potom prenáša na kosti, ktoré menia svoju polohu. Keď sa kosti od seba oddávajú a uhol medzi nimi zväčšuje, hovoríme o **natiahnutí**. Ak sa kosti naopak približujú k sebe a uhol medzi nimi sa zmenšuje, ide o **ohyb**. **Krútenie** predstavuje zas otáčanie sa kostí okolo svojej hlavnej (najdlhšej) osi.

Základom pohybovej činnosti je **pákový princíp**, ktorý sa vyvinul už u článkonožcov. Ak sa jeden alebo viac tzv. **synergických** svalov skrúti, druhý alebo druhé protipôsobiacie **antagonistické** svaly sa predlžia a naopak. Príkladom sú dvojhlavý a trojhlavý ramenný sval. Pri ohybe hornej končatiny sa biceps skrúti, zatiaľ čo triceps sa napne, pri natiahnutí sa naopak biceps napne a triceps sa skrúti. Samotná sila a veľkosť kontrakcie svalu závisí od viacerých faktorov (vzdialenosť svalového úponu, uhol v akom sa svaly upínajú, os pohybu) ako aj od samotnej veľkosti a hmotnosti svalu.

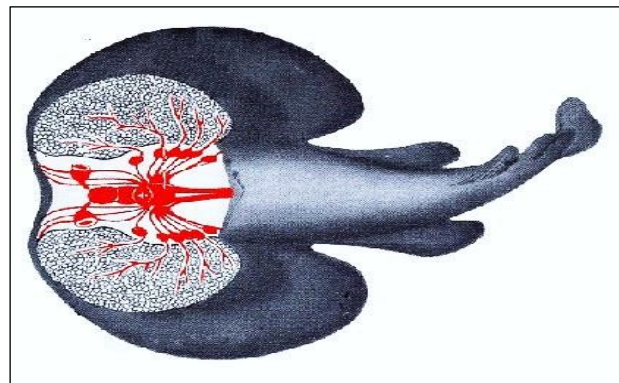
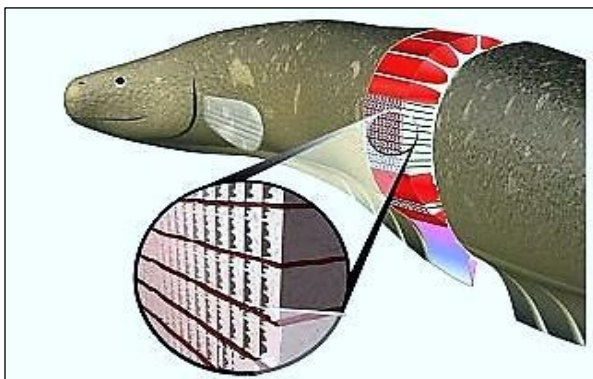
Jednotlivé svaly utvárajú **svalovú sústavu**. Najdokonalejšie je vyvinutá u chordátov, kde ju rozdeľujeme na somatickú, viscerálnu a kožnú. Samotný pohyb zabezpečuje **somatická**

**svalovina**, ktorá predstavuje aj základnú svalovinu chordátov. Tvorená je **priečne pruhovaným** svalstvom. Pôvodne bola členená na **myoméry** oddelené **myoseptami** (tak ako napr. u kopijovcov). U primárne vodných stavovcov sa vytvoril mohutný **bočný sval** pozdĺžne rozdelený väzivovou prekážkou na chrbtovú a brušnú časť. Postupne v priebehu ďalšieho vývoja sa bočný sval rozpadol na veľký počet samostatných svalov upínajúcich sa na stavce, rebrá a pásma končatín. Prechodom na suchú zem dochádza i k postupnému vývoju a diferenciacii svaloviny voľných končatín.

**Viscerálne svalstvo** tvorí prvotne **hladká svalovina**. Patrí k nej najmä svalovina tráviacej a dýchacej trubice, pľúc, ciev a pod. Pôvodná viscerálna svalovina v žiabrovej oblasti sa však neskôr mení na priečne pruhované žiabrové svaly, ktoré u primárne vodných stavovcov rozširujú a zužujú žiabrové štrbiny, ale zabezpečujú i pohyb dolnej čeľuste. U suchozemských stavovcov po zániku žiabier sa stávajú súčasťou žuvacích svalov (cicavce), jazyky a hltana. Viscerálne svalstvo tvorí naopak väčšiu časť svalov na hlave suchozemských stavovcov. Zo somatického svalstva sa zachovávajú len očné, podjazykové a tylové svaly. Osamostatňovanie podkožného svalstva sa začína od plazov a najväčšieho rozvoja dosahuje u vtákov a cicavcov. Patria k nemu napr. **napriamovače** peria alebo srsti, ktoré vtákom a cicavcom umožňujú ich našuchorenie.

Svaly, najmä priečne pruhované, popri pohybe plnia aj mnohé ďalšie funkcie, ako je napr. termoregulácia, pohyb telových tekutín, ventilácia pľúc, ochrana vnútorných orgánov (brušné svaly), alebo fixácia častí tela (chrbtica). Premenou svaloviny vznikli u niektorých živočíchov špecifické **elektrické orgány**, zložené z väčšieho počtu elektrických doštičiek. Tieto orgány produkujú vplyvom podráždenia elektrické výboje až o sile 300 V (paúhor elektrický *Electrophorus electricus*, obr. 19), ale zvyčajne menej (70–80 V, raja mramorová *Torpedo marmorata*). Tieto orgány slúžia jednak na omráčenie alebo usmrtenie koristi alebo ako ochrana pred nepriateľom, ale aj na orientáciu vo vodnom prostredí.

**Obrázok 19:** Umiestnenie a stavba elektrických orgánov u paúhora elektrického a raje mramorovej<sup>23, 24</sup>



## 5 TRÁVIACA SÚSTAVA

Tráviaca sústava slúži na príjem a spracovanie potravy nevyhnutnej pre živočíchy z hľadiska energie a živín (bielkoviny, cukry, tuky, voda, minerálne látky, vitamíny) potrebných pre vykonávanie ich základných životných pochodov. Je to súbor orgánov, ktoré mechanicky a chemicky potravu rozkladajú (štiepia), produkujú tráviace enzýmy, hormóny, ale zúčastňujú sa aj na vylučovaní nestrávených alebo nepotrebných zvyškov potravy. Keďže fyzikálne a chemické vlastnosti potravy sú veľmi rozmanité, rozmanité sú i tráviace orgány a ich funkčné časti, ako i celé tráviace sústavy.

**Mechanické spracovanie potravy** predstavuje fyzikálnu úpravu potravy na menšie časti. Prebieha zvyčajne v prvých oddieloch tráviacej sústavy, kde sa potrava drví a navlhčuje, čím sa vytvára kašovitá hmota. Na mechanické spracovanie potravy slúžia zuby, jazyk, zrohovatené útvary v zobáku, radula a pod.

**Chemické trávenie potravy** je v základoch spoločné pre všetky živočíchy a spočíva v štiepení (hydrolýze) potravy na nízkomolekulové látky schopné rezorpcie. Môže pritom prebiehať na bunkovej (teda vo vnútri bunky) alebo mimobunkovej úrovni, prípadne kombinovane. Podľa toho rozlišujeme štyri základné typy trávenia:

- **vnútrobunkové (intracelulárne) trávenie** prebieha priamo vo vnútri bunky. Je to fylogeneticky najstarší spôsob štiepenia živín, pri ktorom sú čiastočky potravy pohlcované fagocytózou priamo do buniek, kde potom prebieha ich samotné trávenie. Vyskytuje sa u jednobunkovcov a u niektorých mnohobunkovcov (napr. hubky, ploskavce),
- **mimobunkové (extracelulárne) trávenie**, pri ktorom tráviace bunky vylučujú enzýmy do tráviacej dutiny, kde prebieha aj samotná hydrolýza látok. Je to fylogeneticky pokročilejší spôsob trávenia typický pre vyššie bezstavovce a stavovce. Prechod medzi intracelulárnym a extracelulárnym trávením je pritom plynulý. Už nezmar s intracelulárnym trávením trávi do istej miery aj extracelulárne, a naopak, u kopijovca, ktorý trávi extracelulárne, sa ešte zachovalo aj intracelulárne trávenie,
- **kombinované (extra- a intracelulárne) trávenie**. Vyskytuje sa napr. u mäkkýšov a ostnatokožcov, u ktorých trávenie niektorých látok prebieha vo vnútri buniek a iných látok mimo nich. Napr. slimák záhradný (*Helix pomatia*) trávi extracelulárne len polysacharidy, ostatné látky, t.j. tuky a bielkoviny, intracelulárne v bunkách hepatopankreasu, a
- osobitným spôsobom trávenia je **mimotelové (extrasomatické) alebo mimočrevné (extraintestinálne) trávenie**. Vyskytuje sa napr. u pavúkov, ktoré tráviace enzýmy vylučujú priamo do tela koristi (teda mimo telo) a potom z nej vycicajú už natrávenú potravu. Podobne to robia i parazitické vošky alebo niektoré muchy, larvy potápnikov, vodomilov a



mravcolevov. Mimotelové trávenie poznáme dokonca aj u nižších stavovcov, konkrétne u kruhoústnic.

## 5.1 SPÔSOBY VÝŽIVY A PRÍJMU POTRAVY

Z hľadiska prijímania energie a živín môžeme živočíchy rozdeliť do niekoľkých skupín. Energiu môžu získavať priamo zo svetelnej energie ako **fitotrofné** organizmy (napr. bičíkovce s chlorofylom), z organických látok iných organizmov ako **heterotrofné** organizmy alebo podľa konkrétnych životných podmienok zo svetelnej energie alebo organických látok iných organizmov. Takéto živočíchy nazývame **mixotrofné** (bičíkovce).

Z hľadiska príjmu dusíka potrebného na syntézu bielkovín rozdeľujeme živočíchy na **autotrofné**, ktoré získavajú dusík z anorganických zlúčenín, napr. z dusitanov, dusičnanov či amoniaku (napr. bičíkovce), **mezotrofné**, ktoré prijímajú jednu alebo len niekoľko esenciálnych aminokyselín potravou (niektoré jednobunkovce) a **metatrofné**, ktoré na syntézu bielkovín využívajú dusíkaté látky, t.j. väčšie množstvo rôznych aminokyselín, syntetizované inými organizmami (väčšina živočíchov).

Podobne sa živočíchy môžu špecializovať výhradne na rastlinnú potravu – **bylinožravce** (*herbivora*), telá iných živočíchov – **mäsožravce** (*carnivora*), alebo rastlinnú i živočíšnu potravu – **všežravce** (*omnivora*). Osobitnú skupinu tvoria **parazity** (ekto- a endoparazity), ktoré sa živia spracovanými látkami hostiteľov (pásomnice, kliešte) a **symbiotické** živočíchy, nachádzajúce sa napr. v tráviacom trakte bylinožravcov. Ďalšie delenie živočíchov podľa druhov živočíchov či rastlín a ich počtu, ktorými sa môžu živiť (plodožravé, hmyzožravé, rybožravé, a pod.), je už skôr predmetom ekológie.

Samotný príjem potravy môže pritom u živočíchov prebiehať nasledovnými spôsobmi:

- **osmoticky** – príjem rozpustných látok celým povrchom tela po koncentračnom spáde, t.j. difúziou, alebo aktívne pomocou enzýmov, bielkovinových prenášačov či amébov priamo do obehovej sústavy (napr. jednobunkovce, črevné parazity),
- **endocytózou** – pinocytóza, fagocytóza – pohlcovanie látok alebo celých častíc potravy na ľubovoľnom mieste tela (napr. koreňonožce, makrofágy). Na rozdiel od fagocytózy sa pri pinocytóze nevytvárajú panôžky a pohlcované bývajú zväčša tekuté látky rozpustené v extracelulárnej tekutine,
- **ústnym otvorom** – ním sa dostávajú celé časti pevnej potravy, ale i vody do tela. Objavuje sa už u nálevníkov ako *cytostom*, u mnohobunkových živočíchov ako ústa. Tie môžu byť opatrené rôznymi útvarmi na uchytenie a drvenie potravy (napr. radula u mäkkýšov, hryzávé orgány u hmyzu, zuby u stavovcov).

## 5.2 TRÁVIACE ORGANELY JEDNOBUNKOVCOV

Jednobunkovce môžu prijímať potravu v tekutom stave celým povrchom tela (napr. parazitické druhy) alebo v pevnom stave. Ich hlavnou tráviacou organelou je **potravová vakuola** (*fagozóm*), ktorá vzniká vchlípením cytoplazmatickej membrány do cytoplazmy. V tele sa pohybuje v určitom cykle, ktorý nazývame aj **cyklóza**, a to po dvoch dráhach: 1. pri jej pohybe je v tele reakcia okolitého prostredia najskôr kyslá, čím dochádza k usmrteniu potravy, a 2. potom sa zmení na zásaditú. Vtedy dochádza k samotnému rozkladu potravy. Strávené časti potravy prechádzajú nakoniec do cytoplazmy, nestrávené zvyšky sa vylučujú z organizmu v mieste zvanom *cytopyge*.

Potrava do tela býva pritom pohlcovaná ktoroukoľvek časťou tela (meňavky), alebo len na určitom mieste (bičíkovce), prípadne môžu mať niektoré skupiny (nálevníky) vyvinuté už aj jednoduché **bunkové ústočky** (*cytostom*), vpredu často opatrené zložitým **príustným aparátom** (*peristom*), ktorými potrava prechádza do potravovej vakuoly. K bunkovým ústočkám alebo prijímacím vakuolám môže byť potrava priháňaná rôznymi bunkovými povrchovými útvarmi, ako sú bičíky u bičíkovcov, brvy u brvavcov alebo cicavé rúročky u cicaviek (brvavce).

## 5.3 TRÁVIACA SÚSTAVA MNOHOBUNKOVCOV

Stavba a zložitosť tráviacej sústavy mnohobunkových živočíchov závisí výrazne od:

- stupňa fylogenetického vývoja organizmu a
- druhu prijímanej potravy.

Všeobecne pritom platí, že čím je živočích na vyššom stupni fylogenetického vývoja, t.j. fylogeneticky vyspelejší, tým má zložitejšiu tráviacu sústavu (napr. ryba vs. cicavec). Na druhej strane tráviaca sústava bude aj tým zložitejšia, čím ťažšie je spracovateľná samotná potrava (napr. mäsožravce vs. byľinožravce). Vo vývoji tráviacej sústavy mnohobunkovcov je pritom významný najmä prechod od tráviacej dutiny k tráviacej trubici, a to v súvislosti s vývojom análneho (vyvrhovacieho) otvoru. Podľa toho môžeme živočíchy rozdeliť na dve hlavné skupiny:

- živočíchy bez análneho otvoru (prijímací otvor môže byť súčasne i vyvrhovacím otvorom) a
- živočíchy s análnym otvorom (prijímací a vyvrhovací otvor sú vždy oddelené).

Na základe toho rozoznávame tri základné typy tráviacej sústavy mnohobunkovcov: **tráviaca dutina, tráviaci vak a tráviaca trubica**.

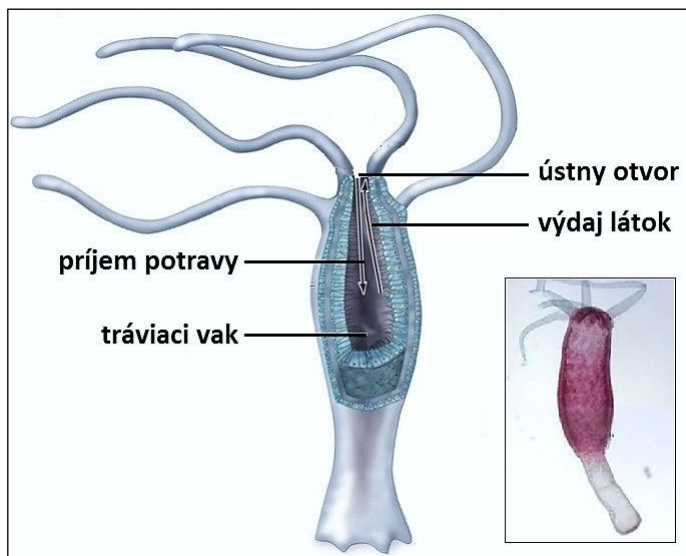
### 5.3.1 Tráviaca dutina

Vyskytuje sa u hubiek. Na povrchu ich tela sú malé **otvory** (*ostie*), ktorými do vnútra preniká voda s čistočkami potravy. Vlastný tráviaci epitel nesie špecializované **golierikové bunky** (*choanocyty*), ktoré vycytávajú planktón. Podľa toho, kde sú tieto bunky umiestnené, ako i podľa celkového tvaru tráviacej dutiny, môžeme hubky aj rozdeliť, a to na *gscón* (choanocyty sú umiestnené v paragastrálnej dutine), *sycon* (choanocyty sú umiestnené v kanálikoch steny hubky) a *leucon* (choanocyty sú umiestnené v dutinkách steny hubky). Vlastné trávenie je intracelulárne. Voda a nestrávené zvyšky potravy odchádzajú z tela otvorom zvaným *osculum*, umiestneným na vrchole tela hubky.

### 5.3.2 Tráviaci vak

Tráviaci vak predstavuje vlastne **prvočrevo** (*archenteron*) opatrené vpredu prvoústami, ktoré slúžia zároveň na prijímanie potravy ako i vyvrhovanie jej nestrávených zvyškov. Vo vnútri prvočreva sa nachádza riasinkový epitel s tráviacimi žľazami. Trávenie začína extracelulárne už priamo v mechúriku, a potom intracelulárne v samotných bunkách. Ide teda o prechod od intracelulárneho k extracelulárnemu tráveniu (obr. 20).

**Obrázok 20:** Tráviaca sústava nezmara<sup>25,26</sup>



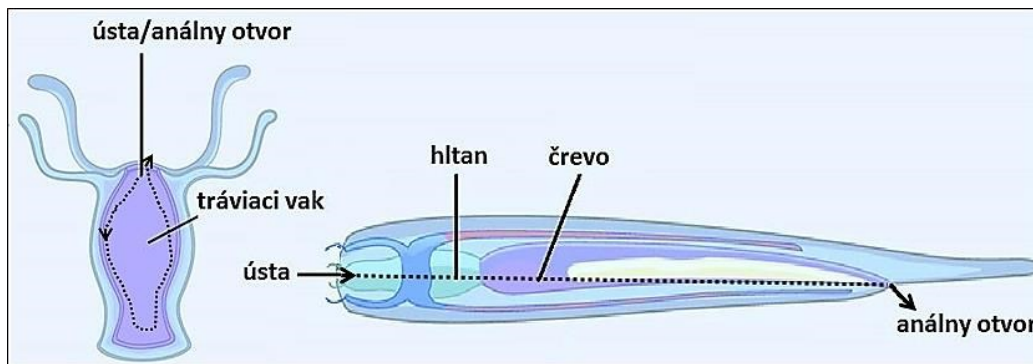
Z takéhoto jednoduchého tráviaceho vakovitého útvaru vzniká postupne zložitejšia uzavretá **gastrovaskulárna sústava**. Je vyplnená morskou vodou a dochádza v nej k obehu látok vrátane plynov, k vylučovaniu splodín látkového metabolizmu, ale i uvoľňovaniu pohlavných buniek. Najlepšie je vyvinutá u medúzovcov, ktoré majú za ústami aj hltan a žalúdok

ektodermálneho pôvodu. Žalúdok môže byť viackomorový, oddelený prepážkami (septami), ktoré zväčšujú jeho vnútornú plochu, alebo sa rozvetvovať do kanálikov – slepo ukončených čriev (rebrovky).

### 5.3.3 Tráviaca rúra

Vznik tráviacej rúry je spojený so vznikom druhotného otvoru. Blastoporus prvočreva sa u prvoústovcov mení na ústny otvor a druhotne vzniká análny otvor, u druhoústovcov sa naopak blastoporus mení na análny otvor a druhotne vznikajú ústa (obr. 21). Tým je tráviaca rúra otvorená. Rozdelená je na tri oddiely: **prednú časť** (*stomodeum*), **strednú časť** (*mesenteron*) a **zadnú časť** (*proctodeum*). Stredná časť tráviacej rúry je endodermálneho pôvodu a obsahuje tráviace žľazy. U prvoústovcov ho tvorí žalúdok a črevo, u druhoústovcov takmer všetky časti tráviacej sústavy. Predná časť hneď za ústami a zadná časť tráviacej sústavy sú ektodermálneho pôvodu.

**Obrázok 21:** Základné rozdiely medzi gastrovaskulárnou sústavou (vľavo) a tráviacou rúrou (vpravo)<sup>27</sup>



Výhody tráviacej rúry a extracelulárneho trávenia v nej oproti predchádzajúcim typom tráviacich sústav sú nasledovné:

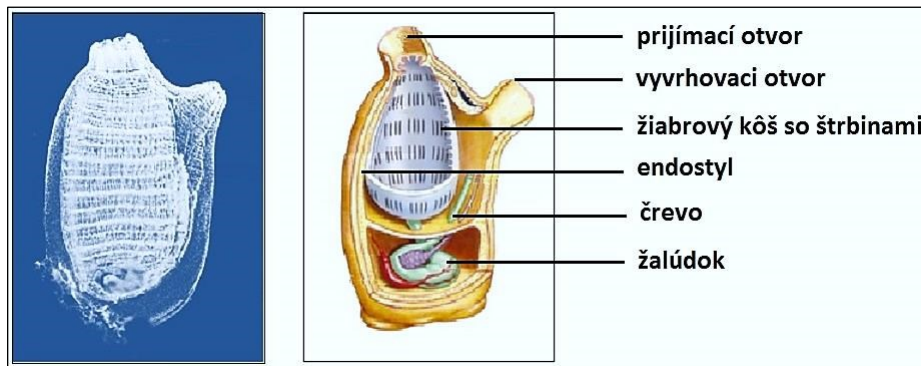
- schopnosť tráviť väčšie častice potravy ako sú samotné bunky,
- špecializácia na dielčie tráviace funkcie (zásobáreň potravy, sekrécia, trávenie a resorbcia živín),
- priestorové oddelenie rôznych pochodov trávenia (mechanické, chemické) v rôznom prostredí (kyslé, zásadité, neutrálné) a
- jednosmerný tok potravy (od ústneho k análnemu otvoru).

Bezchordáty majú tráviacu sústavu rôzne modifikovanú. Parazitické ploskavce nemajú napríklad tráviace ústrojenstvo vyvinuté vôbec. S otvorenou tráviacou sústavou s dvoma otvormi (prijímacím – ústa a vyvrhovacím – análnym) sa stretávame až u hlístovcov. Pomerne diferencovanú tráviacu sústavu s tzv. **hepatopankreasom** a so zmiešaným intra- a extracelulárnym trávením majú už mäkkýše. Vnútorňú plochu čreva u nich zväčšuje **špirálna riasa** (*typhlosolis*). Jednoduchú tráviacu trubicu rozdelenú na predné, stredné a zadné črevo má hmyz a ostatné článkonožce. Spravidla už obsahuje hltan, pažerák a hrvoľ, svalnatý a žľaznatý žalúdok. V strednej časti čreva je vytvorená **peritrofická membrána**, ktorá obaľuje zapracovávanú potravu a zamedzuje tým jej kontaktu so sekrečným a resorbčným epitelom.

## 5.4 TRÁVIACA SÚSTAVA NIŽŠÍCH CHORDÁTOV

Pre nižšie chordáty je typická prítomnosť tzv. **hltanovožiabrového vaku** alebo koša (obr. 22). Ústny (prijímací) otvor vedie do veľkého priestranného hltana, ktorý je prederavený veľkým množstvom **žiabrových štrbín** a vedie do **peribranchiálneho priestoru**. Na brušnej strane tela má pozdĺžnu ryhu **endostyl** opatrenú žľaznatými a bičíkatými bunkami, na chrbtovej strane **epibranchiálnu ryhu** s bičíkatými bunkami, odkiaľ sa transportujú častice potravy do pažeráka.

**Obrázok 22:** Tráviaca sústava plášťovcov<sup>28, 29</sup>



Čiastočky potravy sa spolu s vodou dostávajú ústnym otvorom do hltana, kde sa zachytia na žiabrových štrbinách. Žľazy endostylu vylúčia sekret, ktorý zlepí čiastočky potravy, zatiaľ čo voda býva odfiltrovaná do peribranchiálneho priestoru. Vírivým pohybom bičikov endostylu sú zlepené čiastočky potravy transportované do pažeráka, žalúdka a čreva. To sa ohýba nakoniec hore a ústi do tzv. **kloakálnej dutiny** peribranchiálneho priestoru. Odtiaľ sa nestrávené časti vylučujú vyvrhovacím otvorom (*atriopor*) na chrbtovej strane mimo telo. Peribranchiálny priestor môže druhotne chýbať (napr. vršovkám).



Takúto stavbu tráviacej sústavy a spôsob príjmu a spracovania potravy majú vyvinutú okrem nižších chordátov aj larvy mihľotvarých z podkmeňa stavovce. Neskôr sa s ňou však už nestretávame.

## 5.5 TRÁVIACA SÚSTAVA STAVOVCOV

Medzi tráviacou sústavou bezstavovcov, resp. bezchordátov, a stavovcov je zjavných niekoľko zásadných odlišností. U bezstavovcov je na rozdiel od stavovcov:

- výrazne rozšírené intracelulárne trávenie,
- nie sú u nich oddelené sekrečné oblasti od resorbčných, zatiaľ čo u stavovcov sú tieto časti výrazne diferencované,
- všetky tráviace enzýmy sa vyskytujú v jednej tráviacej šťave, zatiaľ čo u stavovcov rôzne tráviace šťavy obsahujú špecifické enzýmy a
- štiepenie bielkovín prebieha u nich pri neutrálnej reakcii, zatiaľ čo u stavovcov pri kyslej reakcii za prítomnosti osobitného enzýmu pepsínu.

Z funkčného hľadiska delíme tráviacu sústavu stavovcov už na tri časti: 1. časť, ktorá je špecializovaná na príjem a mechanické spracovanie potravy, tvoria ju **ústna dutina**, **hltan** a **pažerák**, 2. časť s mechanickou ale najmä chemickou tráviacou funkciou a resorbciou látok je tvorená **žalúdkom** a **tenkým črevom** a 3. časť, kde dochádza k resorbcii vody ale najmä hromadeniu a následnému vylučovaniu nepotrebných zvyškov, tvorí ju **hrubé črevo** a **konečník (kloaka)**. Takéto členenie však nie je univerzálne, nakoľko jednotlivé funkcie sa v rôznych častiach tráviacej sústavy môžu prekrývať. Napr. v ústnej dutine nedochádza len k mechanickému spracovaniu potravy, ale prebieha tu aj chemické štiepenie cukrov. Stavba a zložitosť tráviacej sústavy stavovcov však závisí aj od prijímanej potravy. V evolúcii tráviacej sústavy stavovcov (ale i bezstavovcov s tráviacou rúrou) sa pritom prejavuje tendencia zväčšovania jej vnútorného povrchu (vznik špirálnej riasy, slepých výbežkov, klkov). U rôznych potravných alebo taxonomických skupín stavovcov sa môžeme stretnúť aj s rôznymi osobitnými orgánmi tráviacej sústavy (napr. hrvol u vtákov).

**Ústna dutina** (*cavum oris*). Jej prvotnou funkciou bolo uchopovanie potravy. Vybavená je jazykom s chuťovými pohárikmi a zubami, dôležitými pre trhanie a rozomieľanie potravy. Zuby sa vyskytujú len u čelustnatcov, druhotne môžu však i chýbať (u recentných vtákov, korytnačiek, veľrýb). Do ústnej dutiny ústia aj slinné žľazy, ktoré potravu zmäkčujú a zvlhčujú. Obsahujú enzým ptyalín, dôležitý pre štiepenie cukrov.

**Hltan** (*pharynx*). Pôvodnou funkciou hltana bola filtrácia potravy z vody cez žiabrové štrbiny. Neskôr sa dostáva aj do úzkeho vzťahu s dýchaním. Vychlípením z jeho chrbtovej časti vznikol u rýb plynový mechúr.

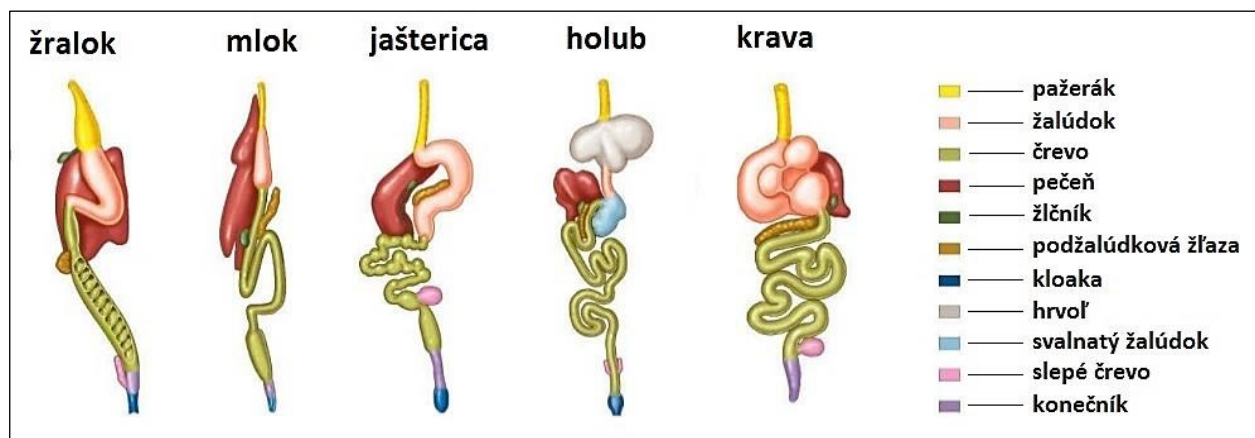
**Pažerák** (*oesophagus*). Slúži hlavne na transport potravy do žalúdka. U nižších stavovcov je krátky, u vyšších tvorí dlhú trubicu. U vtákov, najmä semenožravých, z jeho časti vzniká špecializovaný útvar – **hrvoľ** (*ingluvies*), ktorý slúži ako zásobáreň potravy, ale čiastočne sa tu potrava môže už i tráviť; u cicavcov časť predžalúdku.

**Žalúdok** (*ventriculus*). Jeho pôvodnou funkciou bolo zhromažďovanie potravy. Až neskôr sa v ňom utvára stena s tráviacimi žľazami. U rastlinožravých druhov sa rôzne člení, napríklad u vtákov na svalnatý a žľaznatý žalúdok, u prežúvavcov na bachor, čepiec, knihu a slez.

**Črevo** (*intestinum*). Prebieha v ňom vlastné trávenie a resorbcia látok. U primárne vodných stavovcov je zväčša jednoduché, jeho vnútorná plocha môže byť zväčšovaná rôznymi štruktúrami (napr. špirálnou riasou). U vyšších stavovcov sa morfológicky člení na tenké (*i. tenue*) a hrubé črevo (*i. crassum*), kde dochádza najmä k resorpcii vody. Ukončené býva **konečníkom** (*rectum*). Osobitnou časťou sú **slepé výbežky** (*caeca*), bohaté na črevnú mikroflóru. Vyvinuté sú najmä u rastlinožravých druhov.

**Kloaka** (*cloaca*) je pravdepodobne pôvodnejším orgánom stavovcov ako konečník. Ústi do nej tráviaca trubica a vývody močovo-pohlavnej sústavy. Vzniká rozšírením koncovej časti čreva. Druhotne chýba iba bezčelustnatcom, rybám z triedy lúčoplutvovcov a placentálnym cicavcom. Konečník alebo kloaka ústia von z tela samostatným **análnym otvorom** (*anus*).

**Obrázok 23:** Stavba a vývoj tráviacej sústavy u jednotlivých tried stavovcov<sup>30</sup>



Všeobecne najjednoduchšiu tráviacu sústavu zo stavovcov majú ryby. Je pomerne krátka a u mnohých druhov nie je diferencovaný ani žalúdok, takže pažerák prechádza priamo do

čreva. U obojživelníkov je črevo rozdelené len na tenké črevo a krátky konečník, ktorý prechádza do kloaky. Keďže nemajú vyvinuté tvrdé podnebie v ústach, pri prehltávaní potravy si pomáhajú očnými guľami, ktoré zaťahujú pomocou špeciálneho svalu a zatláčajú tak potravu do hltana. U plazov je hltan a pažerák značne rozťahnutelný a tráviaca rúra výrazne svalnatá, čo im umožňuje prehĺtať veľkú korisť v celku a transportovať ju priamo až do žalúdka. V ich ústnej dutine sa po prvýkrát objavujú aj slinné žľazy, ktoré sú u hadov modifikované na jedové žľazy. Tráviaca sústava vtákov je charakteristická hrvoľom a svalnatým a žľaznatým žalúdkom. Svalnatý žalúdok slúži na drvenie potravy. Často obsahuje aj **kremičité kamienky** – *gastrolity*, ktoré pomáhajú rozomieľať tvrdé semená. U cicavcov je najviac modifikovaný žalúdok. Zvyčajne je rozdelený na niekoľko oddielov alebo môže byť vytvorený jeden alebo viac predžalúdkov (obr. 23).

Súčasťou tráviacej sústavy sú aj niektoré žľazy, a to **pečeň** (*hepar*) a **podžalúdková žľaza** (*pancreas*), ktoré sa podieľajú okrem iných funkcií aj na tvorbe tráviacich štiav.

## 6 Dýchacia sústava

Energia, ktorá je uložená v chemických väzbách organických látok prijatých a tráviacou sústavou spracovaných živín, sa v bunkách väčšiny živočíchov uvoľňuje pomocou kyslíka. Pri tomto procese zároveň vzniká ako vedľajší produkt oxid uhličitý. Prívod kyslíka do organizmu, resp. k tkanivám a bunkám, a odvod oxidu uhličitého z organizmu zabezpečuje dýchacia sústava, a proces, ktorým sa to uskutočňuje, nazývame **vonkajšie dýchanie**. Vlastné metabolické procesy v bunkách (t.j. oxidatívna fosforylácia), pri ktorých sa uvoľňuje z organických látok energia, predstavujú zas **vnútorné dýchanie**. Tento typ dýchania je však už obsahom fyziológie.

Hoci dýchanie nie je špecifické len pre živočíchov, vyznačuje sa u nich značnou intenzitou, čo viedlo i k evolúcii osobitných dýchacích sústav. Tie môžeme u živočíchov rozdeliť z viacerých hľadísk: 1. podľa toho, akým spôsobom privádzajú kyslík ku tkanivám a bunkám, 2. podľa pôvodu a 3. podľa prostredia, v ktorom živočíchov žijú.

1. Dýchacie orgány môžu privádzať kyslík k tkanivám a bunkám a odvádzať z nich oxid uhličitý nepriamo prostredníctvom telových tekutín. Takéto dýchanie nazývame aj **nepriame dýchanie**. Jednotlivé orgány majú pritom na svojom povrchu špecifický respiračný epitel prepúšťajúci dýchacie plyny a pod ním bohato rozvetvenú sieť vlásočníc. Okrem dýchania celým povrchom tela k takýmto orgánom patria žiabre, pľúcne vaky a pľúca. Pri **priamom dýchaní**

dýchacie orgány zásobujú tkanivá a bunky kyslíkom priamo (difúziou) bez účasti obehovej sústavy. Patria k nim vzdušnice a vzdušnicové (tracheálne) žiabre.

2. Podľa pôvodu rozdeľujeme dýchacie orgány na **orgány ektodermálneho a endodermálneho pôvodu**. Derivátmi ektodermu sú vzdušnice, pľúcne vaky pavúkovcov a pľúcny vak mäkkýšov, ktoré vznikli vchlípením pokožky dovnútra, a žiabre ostatných prvoústovcov. Derivátmi endodermu, konkrétne tráviacej rúry, sú čiastočne žiabre, pľúcne vaky a pľúca druhoústovcov.

3. Podľa typu prostredia môžu mať živočíchy vyvinuté dýchacie orgány umožňujúce prijímanie kyslíka rozpusteného vo vode, t.j. **dýchanie vo vode**, alebo prijímanie kyslíka z atmosférického vzduchu, t.j. **dýchanie zo vzduchu**. K prvému typu orgánov patria najmä žiabre, k druhému vzdušnice a pľúca. Voda a ovzdušie pritom poskytujú úplne odlišné podmienky pre dýchanie, ako i pre celkový život. Hoci vzduch rozpustený vo vode má rovnaké percentuálne zloženie jednotlivých plynov ako atmosférický vzduch, t.j. 78 % dusíka, 21 % kyslíka, 0,9 % argónu a 0,03 % oxidu uhličitého, z dôvodu veľmi nízkej rozpustnosti kyslíka vo vode je v nej obsiahnutý až 26 krát v menšom množstve (cca 8 ml/1 liter vody) ako v atmosférickom vzduchu (210 ml/1 liter vzduchu). Podobne jeho difúzia je vo vode rádovo 6 krát pomalšia ako na vzduchu. Tento nedostatok je však u vodných živočíchov čiastočne kompenzovaný tým, že z dôvodu vyššej hustoty vody sú v nej nadľahčované a pri pohybe tak vydávajú menej energie ako suchozemské živočíchy na zemi, ovšem za predpokladu hydrodynamického tvaru tela, slizových obalov znižujúcich trenie a ďalších adaptácií.

Pre študijné potreby sú v týchto učebných textoch jednotlivé dýchacie orgány a sústavy ďalej prezentované z ich funkčného hľadiska, t.j. podľa spôsobu akým sa uskutočňuje výmena dýchacích plynov medzi tkanivami a vonkajším prostredím. Z tohto hľadiska je počas evolúcie tendencia zväčšovať vnútornú alebo vonkajšiu respiračnú plochu dýchacích orgánov, nahrádzať difúziu plynov z vody difúziou z atmosférického vzduchu a na prenos plynov utvárať špecifické dýchacie farbivá. Najväčšie zmeny v spôsobe dýchania a stavbe dýchacích orgánov nastali prechodom živočíchov z vodného prostredia na súš.

## 6.1 NEPRIAME DÝCHANIE

### 6.1.1 Dýchanie celým povrchom tela

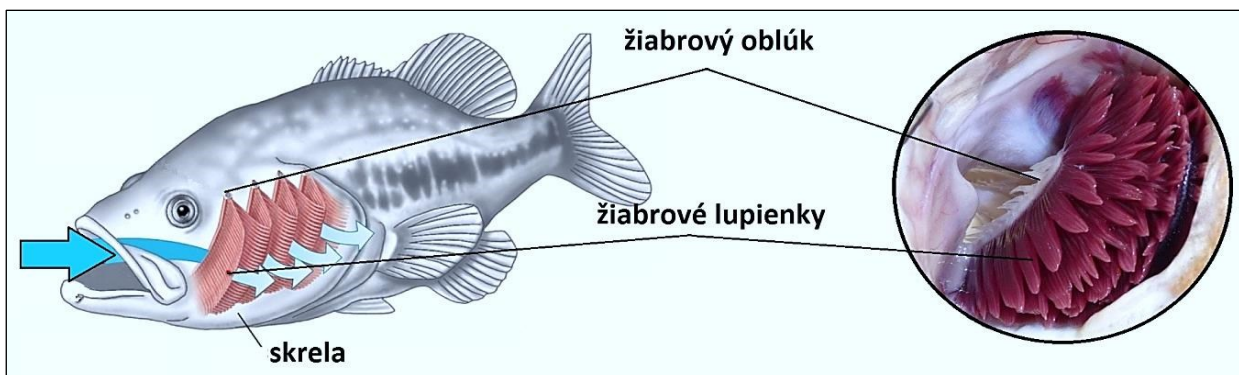
Je to najjednoduchší spôsob dýchania, pri ktorom sa výmena plynov uskutočňuje ich difúziou cez povrch tela. Uplatňuje sa najmä u živočíchov s relatívne veľkým povrchom tela vzhľadom k ich objemu a pomalším metabolizmom, a to tak vodných ako i suchozemských, ako sú prvoky, hubky, mechúrniky, obrúčkavce, pijavice a ďalšie. Podobne u obojživelníkov sa dýchanie celým

povrchom tela podieľa až 80-mi % všetkého objemu dýchania. Dýchací epitel u nich tvorí celá pokožka, pod ktorou sa nachádza bohatá sieť vlásočníc. Aby nedošlo k vyschnutiu pokožky a tým k obmedzeniu kožného dýchania, pokožka u nich obsahuje množstvo slizových žliaz. Kožné dýchanie sa ako doplnujúci spôsob dýchania zachováva aj u vývojovo vyšších živočíchov, ako sú plazy, vtáky a väčšina cicavcov, vrátane človeka (1 – 2 % objemu všetkého dýchania).

### 6.1.2 Žiabre

Zabezpečujú dýchanie vo vode. Sú to bohato členené a rozvetvené **vychlípeniny** pokožky (žiabre bezstavovcov) alebo deriváty hltanu (stavovce). Dýchajú nimi primárne vodné živočíchy (mäkkýše, kruhoústovce, drsnokožce, ryby), ale i kôrovce a mnohoštetinavce. Môžu voľne vyčnievať do vody ako **vonkajšie žiabre** (mnohoštetinavce, larvy chvostnatých obojživelníkov), alebo byť uložené v telových dutinách (napr. v plášťovej dutine u mäkkýšov) či byť rôzne kryté a chránené, napr. duplikatúrou panciera u kôrovcov, žiabrovými viečkami (skrelami) u rýb alebo operkulom u starších žubrienok žiab. Takéto žiabre nazývame **vnútorné žiabre**. Na povrch ústia samostatnými otvormi, u lariev žiab otvorom zvaným *spiraculum*, u ostatných vodných stavovcov **žiabrovými štrbinami**, ktoré vznikajú z vychlípenín stien hltana a ďalších vonkajších vrstiev. Pôvodne ich mohlo byť až 17, u recentných druhov sa ich počet pohybuje od sedem (bezčelustnatce) po päť (ryby), resp. štyri (chimérovice). Vlastné žiabre predstavujú u bezčelustnatcov žiabrové lamely, ktoré sú uložené v žiabrových vačkoch, u čelustnatcov sú to žiabrové lupienky nasadajúce na žiabrové prepážky (drsnokožce) alebo priamo na žiabrové oblúky (ryby), čo sú oporné tyčinkové kosti medzi žiabrovými štrbinami (obr. 24).

Obrázok 24: Žiabre rýb<sup>31, 32</sup>



Žiabre sú bohato prekrvené a ich prekrvenie je založené na protiprúdovom systéme, t.j. krv do žiaber prúdi opačne ako voda, ktorá ich obmýva. Tým sa dosahuje aj lepšie nasýtenie krvi kyslíkom. Okrem toho pravidelná výmena vody v okolí žiaber je zaisťovaná aj ventilačnými pohybmi napr. skrieli u rýb.

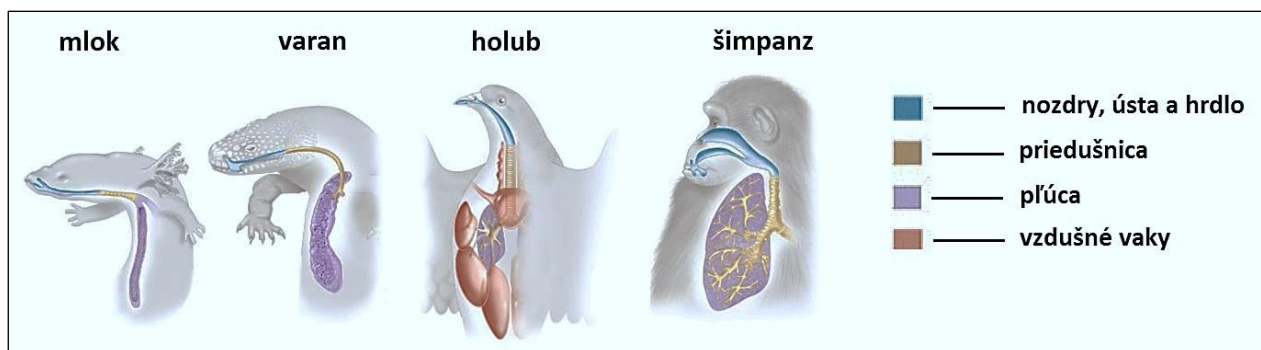


### 6.1.3 Pľúcne vaky a pľúca

S tendenciou dýchania atmosférického vzduchu dochádza aj k vývoju orgánov usporobných na príjem kyslíka zo vzduchu. Ako prvé vznikajú **pľúcne vaky** alebo vačky u bezstavovcov, a to napr. u pavúkovcov zo žiabier bruškových nožičiek, alebo u pľúcnych mäkkýšov redukciou žiabier a ich nahradením plášťovou dutinou s bohato rozvetvenými cievami. Pľúcne vačky u pavúkovcov sú fylogeneticky staršie ako vzdušnice.

Vlastným pľúcam stavovcov predchádzali tiež pľúcne vaky, ktoré u nich vznikli vychlípením z brušnej strany hltana. Tieto sa pôvodne vyvinuli iba ako pomocný dýchací orgán u niektorých rýb (násadoplutvovce, dvojdyšníkovce), neskôr ich zdokonalením vznikli pľúca vystlané dýchacím epitelom a sieťou vlásočníc. Podobne ako pľúcne vaky si aj pľúca zachovávajú párové usporiadanie, hoci pravý lalok pľúc je takmer vždy väčší ako ľavý, ktorý môže dokonca i chýbať (hady, červone), čo súvisí aj s prítomnosťou a uložením srdca. Pľúca majú u zástupcov jednotlivých tried suchozemských stavovcov odlišný stupeň dokonalosti, ktorý nesúvisí len so stupňom ich fylogenetického vývoja, ale aj s prostredím, v ktorom ten ktorý živočích žije (obr. 25). U obojživelníkov sú relatívne malé, vakovité, s hladkou vnútornou plochou, pričom väčší objem dýchania u nich zabezpečuje kožné dýchanie (pozri kap. 6.1.1). Keďže obojživelníky ešte nemajú vyvinutý hrudný kôš, ventilácia vzduchu do pľúc a späť je u nich zabezpečovaná zmenou objemu ústnej dutiny, resp. činnosťou svalov v jej spodnej časti. Pľúca plazov sú už výraznejšie diferencované, s množstvom prepážok. Najdokonalejšie, **alveolárne pľúca**, majú vyvinuté cicavce. Rozdelené sú na laloky a obsahujú veľké množstvo **pľúcnych mechúrikov** (*alveoly*). Na dýchaní sa zúčastňuje bránica a medzirebrové svaly (hrudné dýchanie). Z celkového vývojového plánu pľúc stavovcov sa vymykajú pľúca vtákov. Sú pomerne malé a ťažko rozťahnutelné, čo súvisí najmä s ich aktívnym letom a vývojom mohutnej lietacej svaloviny. Ventiláciu pľúc im preto zabezpečuje pôvodne 5 párov (druhý pár neskôr splynul do jedného) **vzdušných vakov**.

**Obrázok 25:** Stavba a vývoj dýchacej sústavy (pľúc) u jednotlivých tried stavovcov<sup>33</sup>



So vznikom pľúc súvisí aj celkový vývoj a diferenciácia dýchacích ciest. Tie sa v hltane krížia s tráviacimi cestami a postupujú **štrbinou** (*glottis*) do **hrtana** (*larynx*), **priedušnice** (*trachea*) a **priedušiek** (*bronchi*). Na začiatku dýchacích ciest sa spravidla nachádzajú aj zvukové orgány (**hlasivky**). Uložené sú buď v hrtane (obojživelníky, plazy a cicavce) alebo v mieste vetvenia priedušníc – v bifurkácii (vtáky) ako špeciálny hlasový ústroj *syrinx*. Zvukové orgány fungujú zvyčajne na princípe rezonátorov vzduchu a zvuky môžu byť zosilňované aj ďalšími zvukovými rezonátormi.

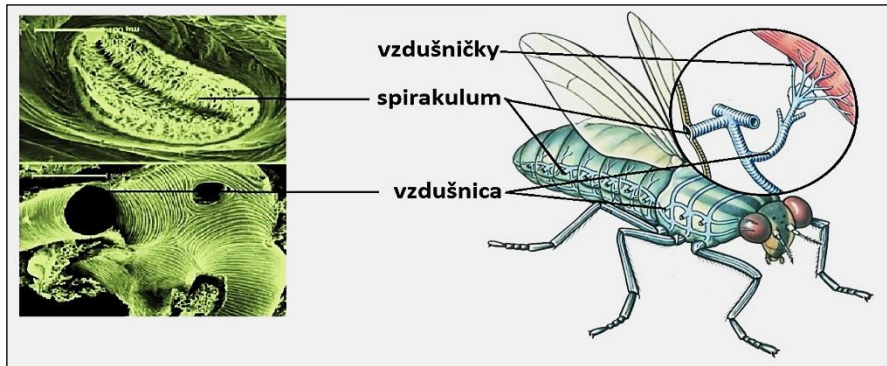
## 6.2 PRIAME DÝCHANIE

### 6.2.1 Vzdušnice

Je to sústava bohato rozvetvených (hmyz) alebo nerozvetvených rúrok (pavúkovce) prenikajúcich do celého tela (obr. 26). Vznikli **vchlípením** (invagináciou) pokožky niekoľkokrát za sebou do vnútra organizmu. Vyskytujú sa u štúrikov, solifúg, koscov a roztočov, ale najdokonalejšie sú vyvinuté u hmyzu. Vo vnútri sú vystlané jemnou kutikulou a vystužené chitínovým špirálovitým vláknom, ktoré zabezpečuje ich pružnosť a zabraňuje preliačeniu stien. Pri zvliekaní lariev sa zvlieka i celá chitínová a kutikulárna výstelka vzdušníc, takže samotné zvliekanie je u hmyzu jedným z najkritickejších období života. Na povrch tela vzdušnice ústia malými otvormi, nazývanými **spirakuli** alebo **stigmy**, opatrenými zvieračmi, ktoré uzatvárajú vchod do vzdušnice. Je ich zvyčajne 10 párov (dva páry hrudných a 8 párov na brušku, alebo tri páry hrudných a 7 párov brušných u včely medonosnej *Apis mellifera*). V tomto prípade hovoríme o tzv. **holopneustickej** vzdušnicovej sústave. Ak je spirakúl menej, napr. u druhov s úplnou premenou, ide o **hemipneustickú** vzdušnicovú sústavu. Pred znečistením alebo zanesením prachom chráni vzdušnice špecifický filter z brv, umiestnený v predsieni za otvorom. Vo vnútri tela sú vzdušnice zakončené koncovou, tracheolárnou bunkou hviezdicového tvaru, kde sa vzdušnice rozpadajú na **vzdušničky** (*tracheoly*), čo sú vlastne tenké slepé zakončenia vyplnené tekutinou a zasahujúce medzi tkanivá až k bunkám.

Vzduch sa do vzdušníc dostáva buď pasívne difúziou alebo aktívne dorzoventrálnymi pohybmi svaloviny bruška (**abdominálne dýchanie**) za súčasného riadeného zatvárania a otvárania určitých skupín spirakúl. Takto dýchajú napr. včely a osy. Straty vody pri dýchaní mnoho druhov minimalizuje udržiavaním trvalého podtlaku vo vzdušniciach a len v prípade krátkych erupcií oxidu uhličitého tento systém intenzívne prevzdušňujú. Celkový objem vzdušnicovej sústavy sa u hmyzu pohybuje od 5 % do 50 %, a to v závislosti od spôsobu života jednotlivých druhov.

Obrázok 26: Vzdušnicový systém hmyzu<sup>34, 35</sup>



### 6.2.2 Vzdušnicové žiabre

**Vzdušnicové** alebo **tracheálne žiabre** sa vyskytujú u lariev vodného hmyzu (pošvatky, vážky, podenky, potočníky,) a sú určitou modifikáciou vzdušnicovej sústavy suchozemských druhov hmyzu (dvojkřídlowce, chrobáky). V tomto prípade ale ide o uzavretú vzdušnicovú sústavu, ktorá má vzdušnice voči vonkajšiemu prostrediu uzavreté. Vzdušnice vytvárajú pod kutikulou bohatú sieť, cez ktorú do nich difundujú z vody a do vody dýchacie plyny, podobne ako v pravých žiabrach medzi krvou a vodou. Môžu vytvárať aj rôzne útvary lístkovitého alebo niťovitého tvaru alebo byť kríčkovité, vyrastajúce na povrch tela v mieste spirakúl. Takéto žiabre nazývame **vonkajšie**. Môžu sa nachádzať po stranách zadočku (larvy podeniek), na jeho konci (šidielka), alebo na hrudi či iných častiach tela. **Vnútorne** (alebo rektálne) tracheálne žiabre sa vyskytujú len u lariev niektorých vážiek (šidlá). Ich črevo je po bokoch mechúrikovito rozšírené a z hrubých vzdušnic (stvolov) vybieha množstvo pričných vetvičiek až do samotného konečníka. Ventilácia takýchto žiaber je zabezpečená nasávaním vody do konečníka a jej prudkým vypudzovaním.

Okrem základných dýchacích orgánov a spôsobov dýchania uvedených vyššie sa u živočíchov stretávame aj s rôznymi pomocnými alebo prídavnými dýchacími orgánmi, ktoré im pomáhajú lepšie sa adaptovať na dané prostredie alebo prekonať nepriaznivé podmienky pre riadne dýchanie. Vyvinuté sú najmä u primárne vodných druhov. U niektorých druhov rýb je ním napr. plynový mechúr, črevo (plžovité), ústna sliznica (býčkovité), dýchací labyrint (lozivoblížne) a ďalšie. Podobne niektoré sekundárne vodné druhy hmyzu (napr. potápnikovité, splošťušovitité) majú vyvinuté rôzne rúrkovité útvary, ktorými si obnovujú zásoby atmosférického vzduchu. O týchto a ďalších typoch prídavných dýchacích orgánov a spôsoboch dýchania sa čitateľ dozvie viac v rámci zoológie bezchordátov a zoológie chordátov vo vyšších ročníkoch.

## 7 OBEHOVÁ SÚSTAVA

Obehová sústava zabezpečuje cirkuláciu telových tekutín (hemolymfy alebo krvi) v organizme a spoločne s nimi sa podieľa najmä na transporte živín získaných trávením a distribúcií dýchacích plynov. U živočíchov, kde sa obehová sústava nepodieľa na prenose dýchacích plynov (napr. u hmyzu), je táto značne zjednodušená. Významnú úlohu zohráva aj pri teplotnej regulácii a obranných mechanizmoch živočíchov. Na obehovú sústavu ďalej nadväzuje vylučovacia sústava a sústava žliaz s vnútornou sekréciou. Napriek značným rozdielom medzi jednotlivými skupinami živočíchov sú pre ich obehovú sústavu charakteristické nasledovné spoločné prvky: 1. **cirkulujúca telová tekutina**, 2. **srdce** (*corr*), ktoré uvádza telové tekutiny do pohybu a 3. **cievny systém**, v ktorom telová tekutina obieha. Aby tekutina mohla v cievach cirkulovať, okrem srdca, ktoré ju poháňa dopredu, pôsobia proti jej prúdu ďalšie dve sily: 1. **zotrvačnosť telovej tekutiny** a 2. **odpor cievneho riečišťa** (periférny odpor).

U živočíchov, ktoré nemajú telovú dutinu a teda ani vnútorný cirkulačný systém, ako sú napr. mechúrniky, rebrovky a ploskavce, sa vyvinula osobitná **gastrovaskulárna** cirkulácia tekutiny v rámci črevnej dutiny, kde sa výmena látok s okolitým prostredím zabezpečuje jednoduchou difúziou. U hubiek živiny transportujú navyše aj amébovito pohyblivé bunky – *archeocyty*. Avšak ani so vznikom telovej (pseudocélovej či célomovej) dutiny a vnútornej telovej tekutiny nemusí ešte existovať srdce a cievy, napr. u hlístic, a pseudocélová tekutina je u nich uvádzaná do pohybu iba pohybmi ich tela. Srdce a cievy vznikajú po prvýkrát až u článkonožcov. Samotný obeh telovej tekutiny pritom môže byť **otvorený**, na ktorom sa zúčastňuje všetka mimobunková tekutina predstavujúca 1/4 objemu tela, a **uzavretý**, pri ktorom v uzavretých dráhach obieha iba menšia časť telovej tekutiny (menej ako 1/10 objemu tela). Podľa toho rozlišujeme **otvorenú a uzavretú cievnu sústavu** (obr. 27).

### 7.1 OTVORENÁ CIEVNA SÚSTAVA

Pri otvorenej cievnej sústave jediná telová tekutina **hemolymfa** je zo srdca vedená cievnym systémom do priestorov medzi orgánmi nazývanými **lagúny** alebo sínusy, kde sa voľne rozlieva a obmýva tkanivá. Samotná výmena látok medzi hemolymfou a tkanivovými bunkami sa potom uskutočňuje difúziou. Cievy môžu byť výrazne redukované (u hmyzu) alebo úplne chýbať (perloočky). Srdce je zväčša **arteriálne** a je umiestnené v chrbtovej časti tela. Keďže tu nepôsobí periférny odpor, určitým problémom je jeho plnenie hemolymfou. U mäkkýšov je preto zložené z viacerých tenkostenných predsiení (ich počet závisí od počtu žiabier) a hrubostennej komory, ktoré sú uložené v dutine *perikardium*. Jeho objem je relatívne stály, a preto v komore pri systole vzniká podtlak, ktorý spôsobuje nasávanie predsiení hemolymfou. Článkonožce, konkrétne hmyz, majú trubicovité srdce tvorené chrbtovou cievnou. Nemá predsienie. Je

zavesené na pružných väzoch, ktoré ho naťahujú a sťahujú. Hemolymfa sa do komôr nasáva bočnými otvormi zvanými **ostie**. Prúdenie hemolymfy v tele uľahčujú aj **pomocné pulzujúce orgány**, ktoré sa nachádzajú na báze tykadiel, krídel a končatín.

Najdokonalejšiu cievnu sústavu a srdce majú hlavonožce, u ktorých býva cievna sústava už takmer uzavretá. Niekedy sa preto hlavonožce zaraďujú aj medzi živočíchy s uzavretou cievnu sústavou. Lagúny sú u nich redukované a nahrádzané sieťou vlásočníc. Krv do srdca prichádza priamo zo žiabier a ženie ju ďalej k jednotlivým orgánom, čím sa tak utvára veľký krvný obeh. Malý krvný obeh tvoria žiabrové srdcia, ktoré vŕhajú telovú tekutinu chudobnú na kyslík do žiabier.

## 7.2 UZAVRETÁ CIEVNA SÚSTAVA

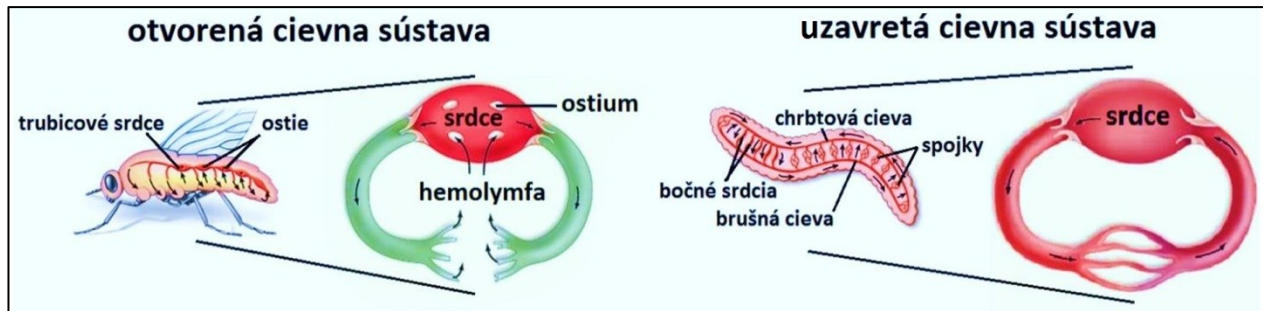
V uzavretých cievnych sústavách telové tekutiny prúdia v uzavretých cievach. Od cirkulujúcej krvi sa oddeľuje tkanivový mok, v ktorom žijú bunky. Krv komunikuje s tkanivami a jednotlivými bunkami stenami jemnej a hustej kapilárnej siete. Hoci uzavretý cievny systém je dokonalejší ako otvorený, nie vždy sa z neho aj vyvinul. Prechod od otvorenej k uzavretej cievnej sústave môžeme pozorovať u hlavonožcov, zatiaľ čo u niektorých pijavíc a mnohoštetinavcov vznikol naopak z uzavretého cievneho systému otvorený.

Hlavné výhody uzavretých cievnych sústav oproti otvoreným sú:

- krv v nich prúdi plynule a dotyková plocha medzi ňou a tkanivami je oveľa väčšia ako v otvorených cievnych sústavách, čím sú vytvorené aj lepšie podmienky pre výmenu látok s tkanivami,
- sú v nich väčšie možnosti riadiť distribúciu telových tekutín do rôznych tkanív a
- transportný mechanizmus v nich je výkonnejší, hoci energeticky náročnejší ako v otvorených cievnych systémoch, a to z dôvodu väčšieho periférneho odporu v cievach, väčšieho rozdielu medzi systolickým a diastolickým tlakom a teda i väčšieho výkonu samotného srdca.

Uzavretá cievna sústava sa vyskytuje u stavovcov a z bezstavovcov u obrúčkavcov, páskovcov a kopijovcov. Hlavonožce majú síce cievnu sústavu veľmi podobnú cievnej sústave stavovcov, ale nejde ešte o úplne uzavretý systém (zachované sú napr. lagúny v okolí mozgu a slinných žliaz, pozri aj kap. 7.1).

**Obrázok 27:** Základná stavba a porovnanie otvorenej (vľavo) a uzavretej cievnej sústavy (vpravo)<sup>36, 37</sup>



### 7.2.1 Bezstavovce

Cievna sústava obrúčkavcov je tvorená chrbtovou (dorzálnou) a brušnou (ventrálnou) cievnou, ktoré sú navzájom pospájané priečnymi **spojkami**. Tie sa môžu na svojej báze rozširovať na **pomocné (auxilárne) srdcia**, alebo sa rozvetvovať do siete jemných vlásočníc, z ktorých sa krv zbiera do brušnej cievy. Samotný pohyb krvi je zabezpečovaný peristaltickými sťahmi ciev, najmä chrbtovej. Krv v chrbtovej cieve prúdi smerom k hlave a dýchacím orgánom, v brušnej cieve k zadnému koncu tela do tzv. črevného krvného zálivu, t.j. proti smeru pohybu hodinových ručičiek.

Kopijovce tiež nemajú srdce a ich cievny systém je tvorený len uzavretou sústavou trubic. Absencia srdca je však pravdepodobne u nich iba druhotná. Jeho funkciu nahrádza tzv. **žilový splav (sinus venosus)**, čo je vlastne cievna rozšírenina. Do neho z tela prúdi odkysličená krv. Tá pokračuje ďalej do brušnej aorty a žiabrových tepien, ktoré vedú až do žiabier. Odtiaľ okysličená krv ide odvodnými žiabrovými tepnami do chrbtovej aorty a z nej jednotlivými tepničkami až k orgánom. Na rozdiel od obrúčkavcov krv cirkuluje v tele kopijovcov opačným smerom – brušnou cievnou smerom k hlave a chrbtovou k chvostu (t.j. v smere pohybu hodinových ručičiek). Hoci cievna sústava kopijovcov nie je ešte dokonalá, predstavuje základ cievnej sústavy všetkých stavovcov.

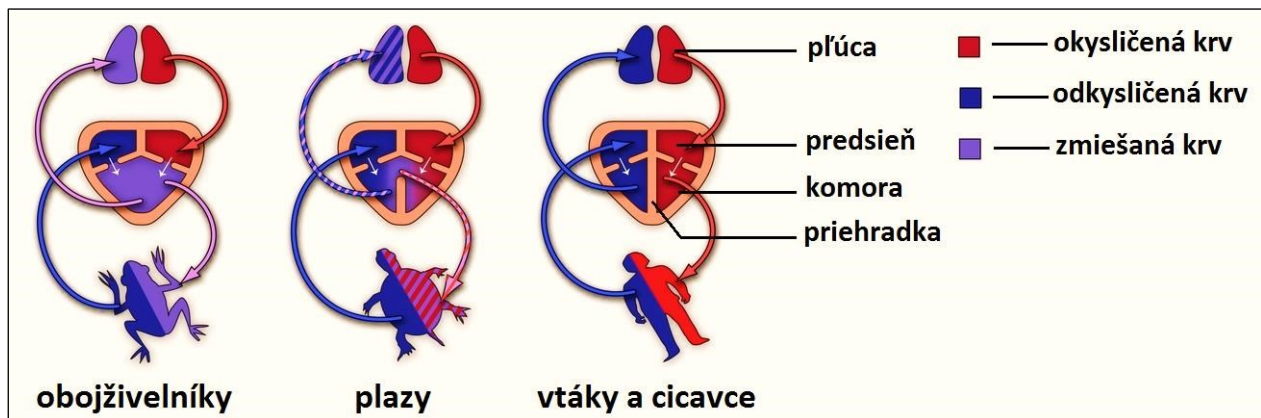
### 7.2.2 Stavovce

Cievna sústava stavovcov je tvorená **srdcom** a oddelenými **tepunami** a **žilami**. Srdce malo pôvodne tvar rozšírenej trubice, ktorá sa v priebehu evolúcie esovito ohýbala a špirálovito stáčala. U primárne vodných stavovcov (ryby) bolo už delené na štyri časti: žilový splav, **predsieň (atrium cordis)**, **komoru (ventriculus cordi)** a **srdcový nástavec (conus arteriosus)**, ktorý je u bezčelústnatcov a pravých rýb redukovaný. Žilový splav a srdcový nástavec pretrvávajú až



k obojživelníkom, u vyšších stavovcov je srdcový nástavec súčasťou steny komôr. V ďalšom vývoji obehovej sústavy stavovcov možno sledovať tendenciu postupného oddelenia okysličenej krvi, t.j. krvi bohatej na kyslík, od krvi odkysličenej, resp. chudobnej na kyslík. Tento trend je naznačený už u dvojdyšníkovcov a vejároplutvovcov, u ktorých sa v predsieni utvorila špeciálna pozdĺžna riasa. U obojživelníkov je srdce rozdelené na dve predsieni a jednu komoru, takže ešte stále dochádza k miešaniu krvi z pľúc a z tela. Srdce plazov má už dve predsieni a dve komory, ale priehradka medzi komorami ešte nie je stále úplne uzavretá. Najdokonalejšie sú komory oddelené u krokodílov, ale aj tu sa v priehradke zachováva ešte malý otvor (*foramen Panizzae*). Dokonale rozdelené srdce na dve samostatné komory a dve predsieni majú až vtáky a cicavce. Tým u nich dochádza k úplnému oddeleniu okysličenej krvi od krvi odkysličenej a utvoreniu **malého** (pľúcneho) a **veľkého** (telového) **krvného obehu** (obr. 28).

**Obrázok 28:** Vývoj srdca a malého a veľkého krvného obehu u stavovcov<sup>38</sup>



Podobne ako srdce významné vývojové zmeny prekonal aj systém tepien a žíl. **Tepny** (*arteriae*) privádzajú krv zo srdca do tela, resp. k jednotlivým orgánom a tkanivám. **Žily** (*venae*), naopak, privádzajú krv z tela do srdca, pričom spravidla sledujú tepny. Keďže v tepnách je vyšší tlak i rýchlosť prietoku krvi ako v žilách, steny tepien sú hrubšie a obsahujú veľké množstvo elastických vlákien. Podobne na priereze majú zvyčajne okrúhly alebo mierne sploštený tvar, zatiaľ čo žily sú oveľa viac sploštené. K najvýraznejším zmenám tepnového ako i žilového systému došlo v súvislosti s prechodom stavovcov z vodného prostredia na suchú zem. Podrobnejšie bude tento vývoj opísaný v rámci zoológie chordátov.

Súčasťou srdcovo-cievnej sústavy stavovcov je aj **lymfatická** (miazgová) **sústava** (*systema lymphaticum*), ktorá sa napája na systém žíl. Je špecifická len pre stavovce. Skladá sa z **lymfatických ciev**, **lymfatického tkaniva** a **lymfatických orgánov** (slezina, týmus, Fabriciov vačok). Jej funkciou je odvádzať z orgánov a tkanív látku, ktoré sa nemôžu vstrebávať priamo do krvi. Zároveň sa v nej tvoria lymfocyty a špecifické protilátky.

## 8 VYLUČOVACIA SÚSTAVA

Základnou funkciou **vylučovacej** alebo **exkrecej sústavy** je udržiavať stálosť (homeostázu) vnútorného prostredia organizmu, a to odstraňovaním odpadových látok z jeho tela. Všeobecne vžitá predstava, že vylučovacia sústava slúži na vylučovanie „škodlivých“ látok je preto v zmysle vyššie uvedenej definície neúplná a vyžaduje si spresnenie. Pod **odpadovými** (exkrečnými) **látkami** totiž nerozumieme len škodlivé, t.j. toxické produkty metabolizmu alebo cudzorodé látky (napr. liečivá, drogy a pod.), ale i bežné látky ako je voda, sodíkové ióny alebo glukóza, ktoré sú pre život naopak nevyhnutné. Problém nastáva, až keď koncentrácie týchto látok prekročia optimálnu mieru, na ktoré je daný organizmus adaptovaný. Vtedy sa stávajú pre organizmus nežiaduce a sú z tela vylučované. Kedy však určitá koncentrácia týchto látok, napr. solí, je pre organizmus už nežiaduca, a kedy naopak pre život nevyhnutná, závisí od druhu živočícha a prostredia, v ktorom žije.

Živočíšne bunky nemajú totiž pevnú bunkovú (celulózovú) stenu ako rastlinné bunky, ktorá by udržiavala ich stálu veľkosť a tvar. Preto v slanšom (**hypertonickom**) prostredí, t.j. v prostredí s vyššou koncentráciou solí ako je koncentrácia solí v ich vnútornom prostredí (cytoplazme), majú bunky tendenciu strácať vodu a dehydrovať sa, a naopak, v sladšom (**hypotonickom**) prostredí napučiavať a praskať (napr. hemolýza červených krviniek). Aby udržali vo svojich bunkách osmotický tlak, morské živočíchy neustále pijú vodu a žiabrami vylučujú prebytočné soli do prostredia, sladkovodné živočíchy, a naopak, neustále vylučujú vodu a žiabrami prijímajú z vody ióny (solí). Hospodárenie s vodou a soľami je teda tiež jednou z hlavných funkcií vylučovacej sústavy.

### 8.1 SPÔSOB VYLUČOVANIA ODPADOVÝCH DUSÍKATÝCH LÁTKOK

Prítomnosť vody v prostredí, resp. jej dostupnosť, významne ovplyvňuje aj spôsob, akým sa živočíchy zbavujú produktov metabolizmu, konkrétne dusíkatých látok ako vedľajších produktov metabolizmu aminokyselín a nukleových kyselín. Podľa toho, v akej forme organizmy vylučujú dusíkaté splodiny metabolizmu z tela a podľa miery ich rozpustnosti vo vode delíme živočíchy na tri základné skupiny:

- **amotelné** – zvyčajne vodné alebo pri vode žijúce druhy, ktoré vylučujú vo vode veľmi dobre rozpustný **amoniak**, a to difúziou celým povrchom tela alebo rozpustený vo veľkom objeme vody vylučovacími orgánmi. Patria sem niektoré vodné bezstavovce, ryby, larvy obojživelníkov a vodné korytnačky;

- **ureotelné** – druhy s obmedzeným prístupom k vode, ako sú kôrovce a väčšina mäkkýšov, ale i vodné ostnokožce a drsnokožce, dospelé obojživelníky a cicavce, vrátane človeka. Vylučujú **močovinu** s väčším množstvom vody;
- **urikotelné** (purinotelné) – suchomilné druhy extrémne šetriace vodou. Premieňajú amoniak na vo vode nerozpustnú kyselinu močovú alebo iné deriváty purínu (preto aj purinotelné), ktoré vylučujú v koncentrovanom stave. Patrí sem najmä hmyz, ulitníky, plazy a vtáky.

Živočíchy počas svojho života však nemusia využívať iba jeden spôsob vylučovania dusíkatých látok. Závisí to opäť hlavne od prostredia, v ktorom sa vyvíjajú. Napr. larvy obojživelníkov, ktoré sa vyvíjajú vo vode sú amonotelné, dospelé obojživelníky tráviace veľa času i mimo vody zas ureotelné. Vtáky počas embryonálneho vývinu vo vajíčku vystriedajú dokonca všetky tri spôsoby vylučovania.

## 8.2 ZÁKLADNÉ TYPY VYLUČOVACÍCH ORGÁNOV

Bez ohľadu na spôsob vylučovania dusíkatých látok z tela, prostredie, v ktorom ten ktorý živočích žije, a jeho fylogenetické postavenie, je pre vylučovacie orgány všetkých živočíchov charakteristické:

- vždy sú v určitom vzťahu k telovej tekutine daného živočícha, ktorá zabezpečuje prívod odpadových látok z tkanivových buniek,
- zabezpečujú homeostázu *osmolality*, t.j. udržiavajú osmotický tlak vnútorného prostredia,
- majú zvyčajne podobu trubíc (rúrok), pričom v jednotlivých ich častiach prebieha aj spätná resorbcia látok a
- vyžadujú určité množstvo energie, pretože exkrécia ako i resorbcia látok v nich prebieha proti koncentračnému spádu.

Pôvodným a fylogeneticky najstarším spôsobom vylučovania látok a vody je celým povrchom tela. Typický je pre jednobunkovce a niektoré vodné mnohobunkové organizmy. Odvodeným typom exkrécie celým povrchom tela je aj potenie alebo vylučovanie prostredníctvom špecializovaných epiteliálnych štruktúr, ako sú análne papily u hmyzu alebo žiabre u rýb. Niektoré živočíchy môžu odpadové látky ukladať dokonca aj vo svojom tele, napr. v kutikule (bezstavovce) alebo v kožných derivátoch – šupinách, perí, srsti (stavovce), a zbavujú sa ich až pri zvliekaní či preperovaní alebo plznutí. Avšak súčasne s týmto spôsobom vylučovania sa už počnúc jednobunkovcami vyvíjajú aj špeciálne vylučovacie organely a orgány. Patria medzi ne vylučovacie vakuoly, protonefrídiá, metanefrídiá, Malpighiho trubice a obličky.

### 8.2.1 Vylučovacie vakuoly

Vylučovacie vakuoly nachádzame u všetkých sladkovodných jednobunkovcov. Keďže žijú v hypotonickom prostredí s nižším osmotickým tlakom, vyvinuli sa u nich špeciálne tzv. **pulzujúce** (kontraktilné) **vakuoly**, ktoré exocytózou neustále odstraňujú z ich cytoplazmy vodu a iné odpadové látky. V najjednoduchšom prípade to je jednoduchá guľovitá vakuola, ktorá sa naplňuje a zväčšuje do určitej veľkosti až napokon na povrchu bunky praskne a jej obsah sa vyleje do okolitého prostredia. Zložitejšiu stavbu majú pulzujúce vakuoly u brvavcov. Zložené sú z centrálnej dutiny a prívodných kanálikov, okolo ktorých je tubulózna plazma, kde sa vylučuje voda. Voda z pulzujúcej vakuoly je vytláčaná von z bunky v mieste nazývanom **exkrečný pór** (*porus exkretorius*). Je zaujímavé, že tieto pulzujúce vakuoly sa u jednobunkovcov prenesených do slanej vody strácajú, ale po ich opätovnom vrátení do sladkej vody môžu opäť regenerovať. Podobne u morských jednobunkovcov, ktoré túto vakuolu nemajú, sa im po prenesení do sladkej vody tieto vakuoly vytvoria. Okrem exkrečnej funkcie môžu pritom mať aj dýchaciu funkciu.

### 8.2.2 Protonefrídium

Je fylogeneticky najstarším a zároveň najjednoduchším vylučovacím orgánom mnohobunkových živočíchov. Vyskytuje sa u ploskavcov, nemertín, pamachoviek, bruchobrvcov a vírnikov. Sú tvorené sústavou rozvetvených rúrok – **protonefridiálnych kanálikov**, ktoré na jednom konci ústia von z tela alebo do nadväzujúcich zberných kanálikov. Na opačnom konci je jeden alebo viac bičikov vo zväzkoch. Sú to vlastne pozostatky vyliačeného obrveného epitelu. Svojím kmitavým alebo vírivým pohybom vyvolávajú podtlak, ktorý umožňuje potom nasávať extracelulárnu tekutinu do protonefridiálnych kanálikov. Protonefrídie s jedným bičíkom sa nazývajú **solenocyty**, s viacerými bičikmi **plamienkové bunky** (*cyrtocyty*). Názov dostali podľa toho, že svojím pohybom pripomínajú plamienok ohňa.

Modifikovaný typ protonefrídií nachádzame ešte aj u mnohoštetinavcov. Skladá sa zo skupiny solenocytov, umiestnených na proximálnom konci odvodného kanálika. Bičik z každej bunky prechádza do odvodného kanálika, ktorý extracelulárnu tekutinu odvádza do špecializovaného mechúrika a odtiaľ von z tela.

### 8.2.3 Metanefrídium

Metanefrídie predstavujú dokonalejší typ vylučovacích orgánov a po prvýkrát sa objavujú už u obrúčkavcov, kde ich existencia súvisí primárne so vznikom uzavretej cievnej sústavy. Sú párové a uložené v každom telovom článku (segmente). Metanefrídium začína obrveným **lievikom** (*nefrostrom*). Ten sa otvára do coelomovej dutiny jedného článku a kanálikom vyúsťuje

na brušnej strane druhého článku, kde sa nachádza rezervoár (akýsi močový mechúrik) ústiaci von z tela. Samotný kanálik je stočený a má pomerne zložitú stavbu. Člení sa na tri hlavné časti: úzky, stredný a široký kanálik. Telová tekutina je lievikom privádzaná do kanáliku. Tlak potrebný k filtrácii tekutiny je vyvolaný vírivým pohybom brv obrveného lievika. V kanáliku sa potom už vychytávajú a spätne resorbujú vhodné látky a vylučujú odpadové látky vrátane prebytočnej vody.

Z metanefrídií môžeme odvodiť aj ďalšie typy vylučovacích orgánov u bezstavovcov. K ich najznámejším modifikáciám patria také, kde sa krv alebo hemolymfa filtrujú tlakom udržovaným aktivitou srdca. Patria k nim Bojanove orgány, koxálne žľazy a antenálne žľazy.

**Bojanove orgány** sa vyskytujú u mäkkýšov, predovšetkým lastúrnikov. Sú párové a ich lievik je umiestnený priamo v osrdcovníku. Krv je filtrovaná cez stenu osrdcovníka a odtiaľ do kanáliku, ktorý sa rozširuje do špeciálneho vrecúška s prepážkami (vlastný Bojanov orgán), odkiaľ odvodným kanálikom vyúsťuje do čreva a plášťovej dutiny.

Pri **koxálnych** (panvičkových) **žľazách** je lievik nahradený vačkom, ktorý predstavuje pozostatok coelomovej dutiny. Ten potom pokračuje ďalej kanálikom ústiacim von pri báze panvičky kráčavých nôh. Od toho pochádza aj názov týchto orgánov (panvička = *coxa*). Vyskytujú sa u klepietkavcov.

Podobne ako pri koxálnych žľazách aj pri **antenálnych** (tykadlových) **žľazách** kôrovcov sú vačky rudimentom coelomovej dutiny. Na rozdiel od nich však močový mechúrik vyúsťuje von z tela otvormi umiestnenými na báze druhého páru tykadiel (*antennae*). Preto i tento názov. Samotný vačok prechádza do kanáliku, ktorého jedna časť sa na proximálnom konci rozširuje do labyrintu s veľkým počtom komôrok a ďalšia časť na distálnom konci do močového mechúrika.

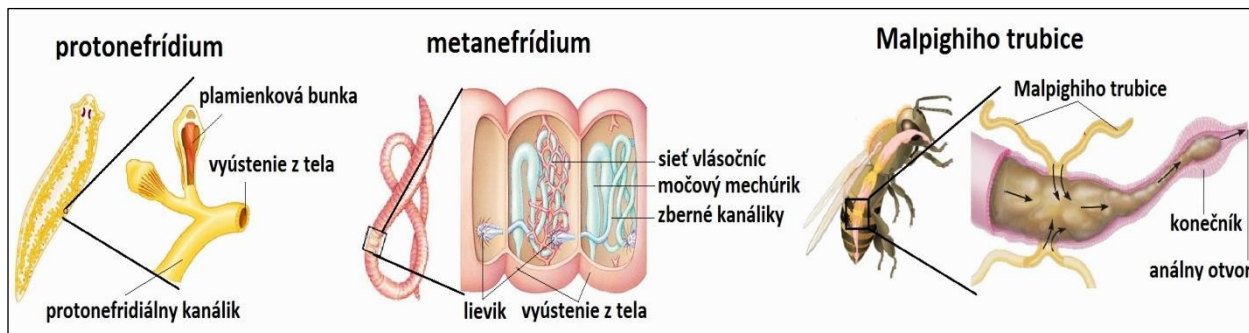
Od metanefrídií môžeme v konečnom dôsledku odvodiť aj obličky stavovcov, u ktorých obrvený lievik pôvodných metanefrídií sa postupne vyvinul do uzatvoreného vačku tesno objímajúceho kľbko cievnych kapilár (pozri kap. 8.2.5).

#### 8.2.4 Malpighiho trubice

Sú to prevažne nerozvetvené a slepo končiace sa vyliačeniny (trubice) zadného čreva (*proctodeum*), teda ektodermálneho pôvodu, voľne uložené v mixoceli, odkiaľ odoberajú z hemolymfy odpadové látky a odvádzajú ich von z tela. Počet trubíc sa môže pritom pohybovať od štyroch do 100 v závislosti od druhej príslušnosti. Ich pôvodný počet však bol pravdepodobne štyri ako u dvojkrídlavcov až šesť (motýle). Malpighiho trubice využívajú teda iný nasávací mechanizmus ako predchádzajúce typy vylučovacích orgánov, kde hlavným motorom filtrácie je hydrostatický tlak. Do Malpighiho trubíc je voda s rozpustenými odpadovými látkami strhávaná spolu s aktívne čerpanými iónami.

Malpighiho trubice alebo žľazy sú vyvinuté najmä u hmyzu, ale tiež pavúkovcov, u ktorých však sú endodermálneho pôvodu. Keďže tieto orgány sú napojené na tráviacu sústavu, samotné vylučovanie moču súvisí s ich prijatou potravou.

**Obrázok 29:** Základné typy vylučovacích orgánov bezstavovcov<sup>39-42</sup>



## 8.2.5 Obličky

**Obličky** (*renes*) sú pôvodne párové a segmentované vylučovacie orgány stavovcov. Ich základnou stavebnou jednotkou je **nefrón** (*nephron*), ktorý sa skladá z Malpighiho **obličkového telieska** (*corpuscula renis*) tvoreného **klbkom vlásočnic** (*glomerulum*) a lievikom – **Bowmanovým vačkom** (*capsula glomeruli*), a z **obličkových kanálikov** (*tubuli renales*). Klbko vlásočnic tak predstavuje cievnú časť nefrónu, obličkové kanáliky jeho tubulárnu časť. Môže byť vonkajšie (*glomerulum externum*) alebo vnútorné (*glomerulum internum*). Kanáliky sú zložené najmenej z dvoch častí: proximálneho a distálneho kanáliku, prípadne u cicavcov i z Henleovej kľučky (obr. 30 vpravo). V Malpighiho teliesku sa z krvi filtruje pod tlakom primárny moč do obličkových kanálikov.

Počas vývoja stavovcov sa obličky výrazne morfológicky menia a diferencujú. Fylogeneticky najpôvodnejším typom je *holonefros* a *pronefros*. Ďalšími základnými typmi sú *opistonefros*, *mesonefros* a *metanefros* (obr. 30 vľavo).

**Holonefros** je najjednoduchším typom obličiek. Vyskytuje sa len u lariev mihulotvarých a červoňotvarých. Je výrazne segmentovaný s vonkajšími glomerulami a jeho kanáliky sa napájajú na párový primárny močovod – **Wolffovu chodbu**, ktorá ústi do kloaky. Hlavová časť holonefrosu sa ešte zachováva takmer u všetkých embryí stavovcov ako **pronefros**, ktorý môžeme však ešte nájsť aj u niektorých bezčelústnatcov, rýb a lariev obojživelníkov.

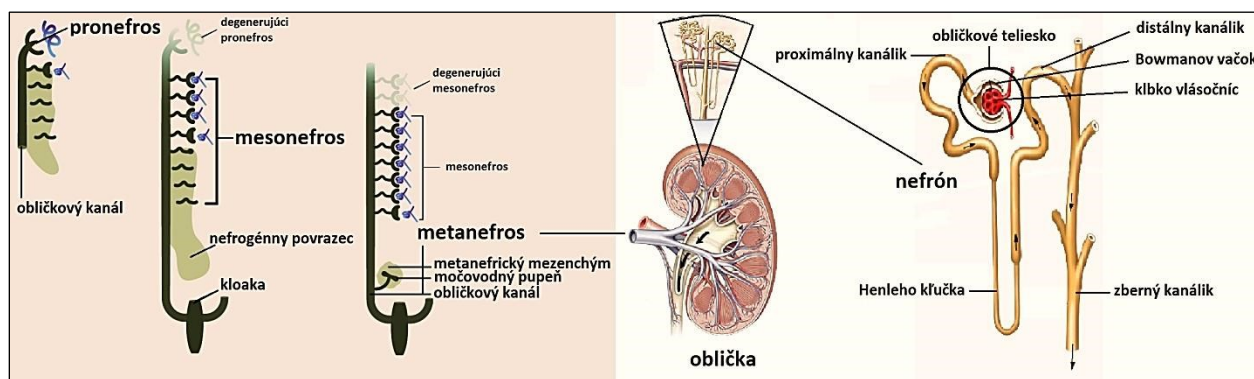
Zo zadnej časti holonefrosu vzniká **opistonefros**. Je už dokonalejším typom obličky. Charakteristickým je preň strata segmentácie, zmnoženie počtu kanálikov a Bowmanov vačok s vnútornými glomerulami. Jeho vývodom je ešte stále primárny močovod, ale u žralokov



a niektorých mlokov je naznačený aj sekundárny močovod, na ktorý sa u vyšších taxonomických skupín (obojživelníky) napájajú aj vývody semenníkov, takže potom slúži aj ako spermomočovod.

Opistonefros sa ďalej diferencuje na **mesonefros** (tzv. prvoobličky), ktorý je podobný opistonefrosu a vyskytuje sa len embryonálne, a **metanefros** (pravá oblička), ktorá je už typickým vylučovacím orgánom všetkých blanovcov, a to ako juvenilných (nedospelých), tak i adultných (dospelých). Je charakteristický množným počtom nefrónov a tesnejším spojením kĺbka vlásočnic s Bowmanovým vačkom. Okrem primárneho močovodu, ktorý plní u samcov už len funkciu semenovodu (*ductus deferrens*), je utvorený aj **sekundárny močovod** (*ureter*).

**Obrázok 30:** Etapy vývinu obličky a základná stavba nefrónu<sup>43-45</sup>



Vylučovacie orgány u stavovcov vyúsťujú buď do **močopohlavnej** (urogenitálnej) **bradavice**, napríklad u kruhoústnic a rýb, do **kloaky** (drsnokožce, obojživelníky, plazy a vtáky), alebo do **močového mechúra** u cicavcov, z ktorého je moč potom odvádzaný močovou rúrou.

## 9 NERVOVÁ SÚSTAVA

**Nervová sústava** je hlavnou riadiacou a integračnou sústavou v živočíšnom organizme a hoci je fylogeneticky mladšia ako chemická (hormonálna) regulácia, svojou činnosťou a účinkom je jej nadradená. Jej základnou funkciou je prijímať a prenášať informácie zo sensorických receptorov, centrálné ich spracovávať a vysielat' nové signály k výkonným orgánom (efektorom), a tak zaisťovať vnútornú rovnováhu organizmu a jeho prispôsobovanie sa vonkajším podmienkam prostredia. Základnou stavebnou a funkčnou jednotkou nervovej sústavy je nervová bunka – **neurón** (bližšie pozri histológia, nervové tkanivo).

V priebehu fylogenézy živočíchov je vo vývoji samotnej nervovej sústavy tendencia zvyšovať citlivosť a špecializáciu receptorov, rýchlosť vedenia vzruchov a rýchlosť odpovede organizmu na vysielané signály. Vždy tu však platí prísna hierarchia, kedy vyššie celky sú vždy nadradené nižším celkom. K základným zmenám, ktoré počas vývoja organizmov vznikajú v nervovej sústave sú: 1) **zmena organizácie**, t.j. zmeny alebo modifikácie jej stavebného plánu, a 2) **zmena funkcie**, t.j. adaptačné zmeny jej činnosti.

Jednobunkové a nižšie mnohobunkové živočíchyma nemajú nervovú sústavu ešte vyvinutú. Avšak aj u jednobunkovcov dochádza k synchronizovaniu pohybu bičíkov alebo brv pomocou vzruchov, a to **neurofibrilami** (argentoфильné vlákienka u brvavcov) umiestnenými v ektoplazme a prepojenými s bazálnymi telieskami pohybových útvarov. Za predchodcu nervovej sústavy možno pokladať aj **myoepiteliálne bunky** prhlivcov a hubiek, ktoré reagujú na podnety stiahnutím sa. Ku kontrakciám dochádza autonómne alebo prostredníctvom plazmatických výbežkov. U prhlivcov vznikajú ale už aj prvé nervové siete tvorené **protoneurónmi**, ktoré na rozdiel od typických neurónov nemajú výbežky rozlíšené na neurit a dendrity a vzruchy prenášajú pomaly a len na krátke vzdialenosti. Regulujú najmä priechodnosť telových otvorov. So skutočnou nervovou sústavou sa však stretávame až od mechúrnikov vyššie. Podľa zoskupovania nervových buniek môžeme nervové sústavy rozdeliť na niekoľko hlavných typov: **rozptýlená, gangliová, rebríčková, trubicová a vegetatívna**.

### 9.1 TYPY NERVOVÝCH SÚSTAV

#### 9.1.1 Rozptýlená nervová sústava

**Rozptýlená** alebo **difúzna** nervová sústava je najjednoduchším typom nervovej sústavy. Vyskytuje sa u mechúrnikov. Nervové bunky sú bipolárne aj multipolárne a nachádzajú sa v ektoderme aj endoderme. Ich výbežky sa navzájom dotýkajú a spájajú v oblasti ústneho otvoru. Keďže nervové vlákna sú vzájomne prekrížené, na podnet z akéhokoľvek miesta živočích

odpovedá kontrakciou celého tela. Reflexná aktivita je ešte chudobná. Obmedzuje sa väčšinou len na potravné odpovede a obranné reakcie. S aktívnym pohybom u medúz dochádza aj k vzniku rozvinutejšej rozptýlenej nervovej sústavy. Jej charakteristickým znakom je koncentrácia nervových buniek a tvorba nervového ústredia (dvojitý nervový prstenec) na obvode zvona a v blízkosti rovnovážnych zrakových orgánov.

### 9.1.2 Gangliová nervová sústava

Ďalší vývoj nervovej sústavy sa uberal smerom k čoraz väčšej koncentrácii nervových buniek do uzlín, resp. **ganglií**, a utváraníu samostatných reflexných oblúkov. Výsledkom je **gangliová** (bilaterálna) **nervová sústava**. Pri nej sú nervové bunky umiestnené tesne pod pokožkou alebo priamo na povrchu tela. V dôsledku diferenciácie hlavovej časti a vzniku dvojstrannej súmernosti časť nervových buniek klesá do vnútra tela a bunky splývajú do nervových uzlov. Tieto gangliá sa zvyčajne nachádzajú okolo hltana, resp. nad a pod ním, kde vytvárajú tzv. **okolohtanovú obrúčku**. Z nej vychádzajú nervové pásy navzájom pospájané priečnymi nervovými vláknami – **spojkami** (*komisúrami*). Keďže vznik hlavového ganglia súvisí so vznikom dvojstrannej (bilaterálnej) súmernosti, gangliovú nervovú sústavu nazývame aj bilaterálna. Takýto typ nervovej sústavy nachádzame u ploskavcov a okrúhlovcov.

Postupným zdokonaľovaním gangliovej nervovej sústavy vznikajú jej ďalšie modifikácie. U obrúčkavcov je výrazne segmentovaná a nachádza sa na brušnej strane tela, kde vytvára tzv. **brušný nervový pás**. V každom telovom článku je jeden pár ganglií, ktoré sú navzájom pospájané spojками, pričom predchádzajúce a nasledujúce gangliá sú pospájané ešte aj pozdĺžnymi nervovými vláknami nazývanými **konektívy**. Keďže táto sústava pripomína rebríčkové usporiadanie, nazývame ju aj **rebríčková nervová sústava**. Modifikovanú rebríčkovú nervovú sústavu nachádzame aj u mäkkýšov, kde okrem **mozgových uzlov** (ganglií) sa utvárajú aj uzly **podhtanové**, **pedálne**, ktoré inervujú nohy, **pleurálne**, inervujúce útrobný vak, **parientálne**, inervujúce žiabre, a **viscerálne**. Tie inervujú vnútorné orgány.

Ďalší vývoj gangliovej, resp. rebríčkovvej nervovej sústavy úzko súvisí so zmenšovaním počtu telových článkov a ich splývaním do väčších a tvarovo diferencovaných častí tela – hlavy, hrude (alebo hlavohrude) a bruška u článkonožcov, čím dochádza aj k splývaniu nervových ganglií. Vzniká už akási centrálna nervová sústava, ktorú reprezentuje nadpažerákové a podpažerákové ganglion a brušný nervový pás. U hmyzu vzniká už **mozog** zložený z troch častí: predný mozog, stredný mozog a zadný mozog. Je centrom pre zmyslové vnímanie (oči, tykadlá), inštinkty ale aj podmienené reakcie (hubovité telesá). Okrem toho sa u hmyzu nachádza aj vegetatívna nervová sústava inervujúca najmä tráviaci systém (bližšie pozri kap. 9.1.3).

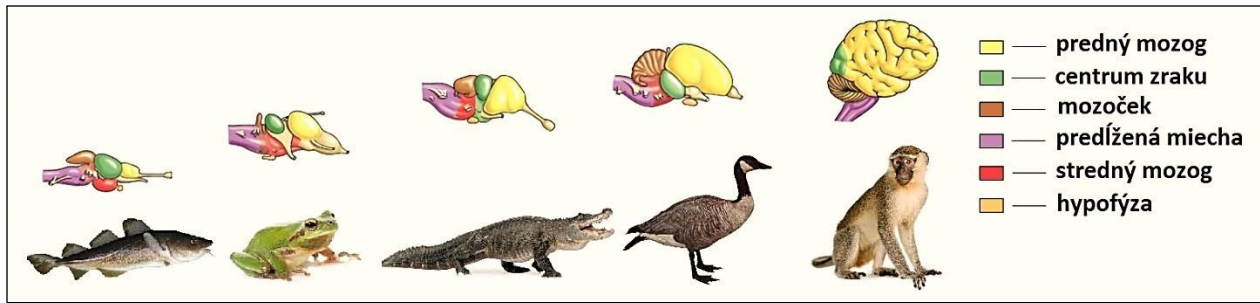
### 9.1.3 Trubicová nervová sústava

**Trubicová** alebo **rúrková nervová sústava** je typická pre chordáty, resp. stavovce. Vznik tejto nervovej sústavy sa pritom uberal úplne iným smerom ako u bezstavovcov. Vznikla vchĺpením ektodermu na chrbtovej časti tela a odvodzujeme ju od nervovej sústavy kopijovcov, resp. bezlebkovcov. Ich nervová trubica sa tiahne tesne nad chordou, pričom ale ešte nie je vyvinutý skutočný mozog, a párové miechové nervy, ktoré vystupujú z nervovej trubice, majú len dorzálnu koreň. Postupne počas vývoja stavovcov dochádza k zložitému procesu ďalšej diferenciácie nervovej sústavy. Diferencovala sa miecha a zväčšoval mozog. Vo vývine centrálnej nervovej sústavy možno pritom sledovať dva základné procesy: 1. **kranializáciu**, t.j. vývoj lebky a 2. **kortikalizáciu** – formovanie mozgovej kôry.

Nervovú sústavu stavovcov z topografického ale i funkčného hľadiska rozdeľujeme na **centrálnu**, ktorú tvorí mozog a miecha, a **periférnu** (obvodovú), tvorenú nervami. Najvýraznejšie tvarové a funkčné zmeny pritom prebiehali vo vývoji **mozgu** (*encephalon*), ktorý sa pôvodne delil iba na **predný mozog** (*prosencephalon*), **stredný mozog** (*mesencephalon*) a **zadný mozog** (*rhombencephalon*). V priebehu ďalšieho vývoja sa predný mozog rozdelil ešte na **koncový mozog** (*telencephalon*) a **medzimotoz** (*diencephalon*) a zadný mozog na **mozoček** (*cerebellum*) a **predĺženú miechu** (*medulla oblongata*). Z fylogenetického hľadiska je dôležitý najmä vývoj koncového mozgu a usporiadanie jeho **šedej mozgovej hmoty**, ktorá sa nachádzala spočiatku okolo komôr v hemisférach, pričom nebola diferencovaná (obr. 31). **Biela hmota** sa naopak nachádzala na jeho okraji, podobne ako je to pri mieche (pozri nižšie). V priebehu vývoja sa však šedá hmota postupne presunula k povrchu hemisfér a utvorila **mozgovú kôru** (*cortex* alebo *pallium*). Tá sa ďalej diferencovala u bezčelústnatcov na 1. *palaeopallium*, ktoré naďalej zostáva centrom pre čuchové vnímanie ako pôvodný koncový mozog, 2. *archipallium*, ktorý sa zakladá už u obojživelníkov a obsahuje aj vyššie asociačné centrá, a 3. *neopallium* (druhotná mozgová kôra), ktoré vzniká medzi *palaeo-* a *archipalliom*. Zakladá sa už u plazov, ale najväčší rozvoj dosiahol u cicavcov. Má osobitnú histologickú stavbu a u vyšších stavovcov je dominujúcim integračným centrom. Časť šedej hmoty zostáva však naďalej pri mozgových komorách ako **bazálne gangliá**, ktoré predstavujú centrá pre inštinktívne správanie. Vyvinuté sú najmä u rýb ako *epistriatum* a vtákov ako *neostriatum*.

Z fylogenetického ale i funkčného hľadiska je významný aj vývoj medzimotozgu, ktorý má dve nepárové vychlípeniny - pineálny a parietálny orgán. **Pineálny orgán** (*glandula pinealis*) obsahuje u bezčelústnatcov, niektorých rýb a obojživelníkov ešte zmyslové bunky, u vyšších stavovcov má ale už sekrečnú funkciu, čo je dôkaz zmeny funkcie časti nervovej sústavy. Podobne **parietálny orgán** u niektorých bezčelústnatcov, obojživelníkov a jašterov funguje ako jednoduché nepárové (tzv. parietálne alebo temenné) oko, citlivé predovšetkým na svetlo.

**Obrázok 31:** Vývoj jednotlivých častí mozgu u stavovcov<sup>46-51</sup>



**Miecha** (*medulla spinallis*) je uložená v chrbtovom kanáli. Jej obvod je tvorený bielou hmotou, vo vnútri sa nachádza sivá hmota. Je fylogeneticky staršia ako mozog. U nižších stavovcov má polkruhovitý alebo oválny tvar, u vyšších sa rozširuje na boky. Nervové dráhy z miechy vystupujú ako miechové nervy, a to **dorzálnymi** a **ventrálnymi koreňmi**. Dorzálne miechové korene vedú vzruchy dostredivo z receptorov (senzitivná funkcia), ventrálne odstredivo ku kostrovej svalovine (motorická funkcia). Dorzálne nervy utvárajú po vyústení z miechy **miechové uzly**, tzv. *spinálne gangliá*. Tie potom u kruhoústnic pokračujú samostatne do tela. U ostatných stavovcov sa dorzálne korene spájajú s ventrálnymi a tvoria iba jeden pár miechových nervov. Tie sa potom opäť delia na tri vetvy, z ktorých jedna (dorzálna) inervuje kožu a svalovinu chrbta, druhá (stredná) kožu a svalovinu bokov a brušnej strany a tretia (ventrálna) vnútornosti.

### 9.1.3 Vegetatívna nervová sústava

Okrem centrálnej nervovej sústavy dochádza v priebehu evolúcie aj k tendencii špecializácie časti nervových dráh na riadenie vnútorných orgánov a ich vegetatívnych funkcií. S vegetatívnou nervovou sústavou sa stretávame už u bezstavovcov (obručkávce a článkonožce), ale až u stavovcov je tento systém zreteľne stavebne i funkčne oddelený od somatického systému. Hoci sa postupne stáva úplne nezávislým (autonómny), oba tieto systémy sú stále vzájomne prepojené.

Ako už bolo uvedené vyššie, hlavnou funkciou vegetatívneho nervového systému je regulácia činnosti vnútorných orgánov, najmä srdca, pľúc, tráviacej a vylučovacej sústavy, pohlavných žliaz a žliaz s vnútornou sekréciou, ale aj teploty a iných vlastností organizmu. Na rozdiel od somatickej nervovej sústavy vegetatívne nervové vlákna sú oveľa tenšie a preto vedú vzruchy pomalšie. Keďže odstredivé dráhy sú prerušované synaptickými gangliami nachádzajúcimi sa mimo centrálnej nervovej sústavy, reflexy vo vegetatívnej nervovej sústave trvajú dlhšie a nie sú ovplyvniteľné vôľou. Aj vo vegetatívnom nervovom systéme rozlišujeme centrálnu a periférnu časť. Periférnu zložku tvoria dostredivé (afarentné, sensorické)

a odstredivé (eferentné, motorické) vlákna, pričom odstredivé nervy sa ďalej podľa funkcie a morfológie delia na 1. **sympatické** (adrenergné) a 2. **parasympatické** (cholínerné). Tieto vlákna pôsobia často protichodne (antagonisticky). Sympatické vlákna vychádzajú z hrudnej a bedrovej časti miechy a stimulujú somatickú aktivitu organizmu a tlmia jeho vegetatívnu činnosť, zatiaľ čo parasympatické vlákna podporujú metabolizmus a naopak tlmia celkovú aktivitu organizmu.

Riadenie tejto sústavy prebieha pritom na viacerých úrovniach. Jednoduché reflexy prebiehajú priamo vo vnútri konkrétneho orgánu, zložitejšie reakcie (napríklad kašeľ alebo zvracanie) aj prostredníctvom centrálnej nervovej sústavy, najmä hypotalamu, a niektorých hormónov.

## 10 ZMYSLOVÉ ORGÁNY

Základnou úlohou zmyslových orgánov je poskytovať organizmu informácie o stave a zmenách ich vonkajšieho a vnútorného prostredia. Jednotlivé informácie prijímajú špecializované bunky nazývané **receptory**. Stimuláciou takéhoto receptora adekvátnou energiou (**podnetom**) sa vyvolá akčný potenciál (**vzruch**), ktorý sa v kódovanej forme prenáša dostredivými dráhami do centrálnej nervovej sústavy. Vlastný zmyslový vnem teda vzniká až v mozgu.

### 10.1 ZÁKLADNÁ STAVBA A ČLENENIE ZMYSLOVÝCH ORGÁNOV

Každý zmyslový orgán sa skladá z:

- z vlastného zmyslového orgánu, t.j. **zmyslových buniek** (napr. tyčinky a čapíky v oku),
- **pomocných ústrojov**, ktoré slúžia na zachytávanie a zosilňovanie podnetov (napr. očná šošovka) a
- **prídavných zariadení** (orgánov), zväčša ochranných (napr. mihalnice, slzné žľazy).

Samotné zmyslové bunky môžu pritom byť **primárne** – majú vlastné neurity, ktoré vedú a predávajú vzruch nervovým bunkám, a **sekundárne**, ktoré nemajú vlastné nervové dráhy a vedenie vzruchov sprostredkovávajú vlákna nervových buniek. Vyskytujú sa len u stavovcov. Patria k nim napríklad zmyslové bunky prúdivého a statokinetickeho orgánu.



Hoci fylogeneticky vyspelejšie živočíchy majú zvyčajne aj dokonalejšie zmyslové orgány, nie vždy je tomu tak (napr. dokonalé oko hlavonožcov a človeka). Všeobecne totiž platí, že vývoj zmyslových orgánov závisí od prostredia, v ktorom daný živočích žije, a od spôsobu jeho života. Nočné živočíchy majú dokonalejšie vyvinutý sluch a hmat, zatiaľ čo denné druhy zrak. Denné dravce budú mať lepšie vyvinutý zrak ako denné bylinožravce a pod. Zmyslový orgán, ktorý má pre život určitého živočícha alebo skupiny živočíchov rozhodujúci význam nazývame **vedúci analyzátor**.

Vlastné zmyslové orgány, t.j. receptory, podľa toho, odkiaľ prijímajú podnety delíme na:

- **exteroreceptory**, ktoré prijímajú informácie o vonkajšom prostredí. Tieto môžu zachytávať signály zo vzdialenejšieho prostredia ako **telereceptory** (napr. zrkové, sluchové a čuchové), alebo priamo z povrchu organizmu ako **kontaktné receptory** (napr. kožné a chuťové) a
- **interoreceptory**, ktoré prijímajú informácie z vnútorného prostredia organizmu. Organizmus môžu pritom informovať o zmenách jeho polohy ako **proprioreceptory** (receptory vo svaloch, kĺboch a šľachách), alebo o zmenách vo vnútorných orgánoch ako **visceroreceptory**.

Podľa druhu vnímaného podnetu, resp. typu energie, ktorá vyvoláva v daných zmyslových bunkách vzrušujúcu aktivitu rozoznávame nasledujúce typy receptorov:

- **mechanoreceptory**, ktoré reagujú na mechanické podnety akými sú napr. tlak, ťah a vibrácie. Patria k nim hmatové orgány a orgány pre vnímanie tlaku, prúdové orgány, statokinetické orgány a sluchové orgány;
- **chemoreceptory**, ktoré reagujú na chemické podnety. Chemorecepcia patrí k najstarším a najuniverzálnejším zmyslom v živočíšnej ríši. Patrí sem chuť a čuch, ale aj voľné zmyslové bunky a nervové zakončenia;
- **rádiorceptory**, ktoré reagujú na rôzne druhy elektromagnetického vlnenia. Takýmto podnetom môže byť svetlo určitej vlnovej dĺžky, na ktoré reagujú **fotoreceptory** (napr. zrkové), teplotné rozdiely, na ktoré reagujú **termoreceptory** (tepelné a chladové receptory) a rádioaktívne a ionizačné žiarenie, na ktoré reagujú vlastné **rádiorceptory**.

## 10.2 MECHANORECEPTORY

Založené sú na vnímaní pôsobenia sily a pohybu. Sú uložené zväčša na povrchu tela a vznikli pravdepodobne modifikáciou pokožkových buniek. Keďže zvyčajne reagujú priamo na dotyk, označujú sa aj ako **dotykové receptory**. Môžu to byť jednoduché nervové zakončenia v pokožke alebo mať tvar rôznych teliesok opatrených prídavnými štruktúrami či predstavovať celé orgány.

### 10.2.1 Hmatové orgány a orgány pre vnímanie tlaku a bolesti

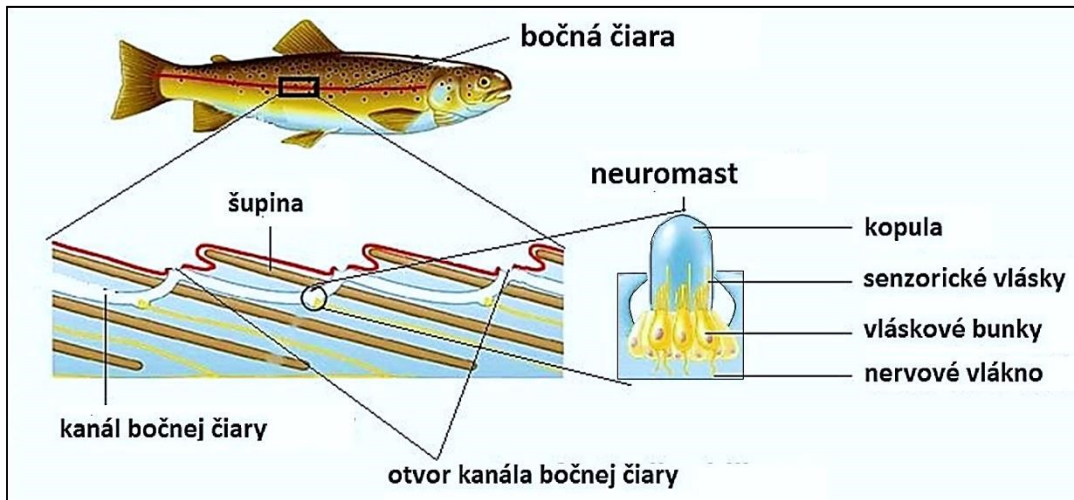
U bezstavovcov hmatové orgány sú väčšinou len voľné nervové zakončenia alebo primárne bunky zodpovedné za vnímanie dotyku a tlaku. U najjednoduchších mnohobunkovcov, napr. polypovcov, sa sústreďujú okolo ústneho otvoru alebo ramien, u článkonožcov ako **hmatové brvy** alebo **štetinky** sú roztrúsené po celom tele. U stavovcov sú už utvorené špecifické **hmatové telieska**. Uložené sú medzi dvoma alebo viacerými bunkami a obalené väzivovým puzdrom. Patria sem napr. **Merkelyho**, **Meissnerove**, **Herbstove** a **Vater-Pacciniho telieska**. Rozmiestnené sú rôzne v koži, najmä však v najviac exponovaných miestach. U človeka to je najmä na dlaniach a bruškách prstov, na perách a viečkach, a najmenej naopak na chrbte a zadku. Hmatové telieska majú však pomerne veľkú adaptačnú schopnosť a po dlhodobom dráždení prestanú na tieto podnety reagovať. U vtákov a ochlpených cicavcov sú jednotlivé nervové vlákna často napojené na bázu pier a chlпов. Z niektorých sa potom vyvinuli špecializované **hmatové perá** alebo **hmatové chlpy**.

Za bolesť zodpovedajú ďalšie voľné nervové zakončenia, tzv. **nocireceptory**. Podľa miesta vzniku rozdeľujeme bolesť na **somatickú** (povrchovú), **viscerálnu** (útrobnú) a **centrálnu**. Viscerálna bolesť sa môže ako tzv. **prenesená** bolesť premietiť z vnútorných orgánov aj do určitých miest na povrchu tela. Takéto miesta označujeme ako **Headove zóny**. Napr. bolesť, ktorá vzniká pri infarkte myokardu sa navonok premieta do bolesti ľavého ramena a vnútornej strany ľavej nohy.

### 10.2.2 Prúdové orgány

**Prúdové orgány** pomáhajú živočíchom orientovať sa v priestore počas rýchleho pohybu, a to tak vo vode, ako i vo vzduchu. U vodných živočíchov zabezpečujú najmä vnímanie prúdenia vody a rozdielov tlakov. Hlavným podnetom sú vibrácie na povrchu tela vyvolané tlakom tečúcej vody (napr. u ploskulíc). U primárne vodných stavovcov a obojživelníkov vo vodnom štádiu, t.j. lariev a dospelých jedincov trvalo žijúcich vo vode, prúdový orgán tvoria špeciálne sekundárne zmyslové bunky **neuromasty**, uložené najmä na hlave a bokoch tela a u rýb v tzv. **bočnej čiare** (*linea lateralis*). Tá je tvorená osobitnými kanálikmi vnorenými v koži pod šupinami alebo povrchom kostí. Na povrch tela ústia otvormi v šupinách (obr. 32). Neuromasty sú blízke bunkám vnútorného ucha a predpokladá sa, že sa môžu podieľať aj na vnímaní zvuku. Ich premenou vznikli u drsnokožcov (pásožiabrovce) tzv. **Lorenziho ampuli**, ktorými sú tieto živočichy schopné zaznamenávať elektrické impulzy. To využívajú najmä pri vyhľadávaní koristi.

Obrázok 32: Prúdový orgán rýb<sup>52</sup>



U lietajúcich suchozemských živočíchoch prúdové orgány slúžia na vnímanie smeru a najmä rýchlosti prúdenia vetra. U hmyzu je to špeciálny tzv. **Johnstonov orgán**. Má tvar dutého cylindra a nachádza sa na druhom článku tykadiel. Registruje chvenie a tlak vzduchu, u chrobákov z čeľade krútnavcovité aj chvenie povrchovej vodnej blanky. Podobne pavúky majú **seizmореceptory** uložené v špeciálnych chĺpkoch *trichobotriách*, ktoré reagujú na záchvevy vzduchu napr. pri prelete hmyzu. U suchozemských stavovcov sa na vnímaní vibrácií podieľajú najmä receptory tlaku.

### 10.2.3 Statokinetické orgány

**Statokinetický orgán** (*organum vestibulocochleare*) alebo **vestibulárny aparát** je špecializovaným zmyslovým orgánom pre rovnováhu. Zabezpečuje vnímanie polohy tela a jeho pohybu v priestore. Hlavným podnetom pre tieto receptory je zemská príťažlivosť a pohyb. Umiestnené bývajú prevažne v hlavovej časti organizmu, kde zabezpečujú držanie hlavy a trupu vo vzpriamenej a vyváženej polohe voči zemskej gravitácii.

Najjednoduchším typom statokinetického orgánu je u bezstavovcov okrem hmyzu **statocysta**. Tvorená je otvoreným alebo zatvoreným vačkom naplneným kvapalinou. Na jej vnútornom povrchu je vrstva sensorických buniek nazývaná **makula**. Bunky majú jemné vlásky s pevnými kryštálkami **otokóniami** alebo **statolitmi** na ich konci, zlepenými želatinóznym materiálom. Nachýlením statocysty dopredu alebo nabok sa vlásky sensorických buniek ohýbajú a statolity ich dráždia svojou hmotnosťou. Raky majú otvorené statocysty umiestnené na báze prvého páru tykadiel a namiesto statolitov v nich majú zrnká piesku. Ak zrnká piesku vymeníme za kovové piliny, magnetom môžeme ľubovoľne meniť polohu ich tela. Za orgán rovnováhy hmyzu sa pokladajú rudimenty prvého (samce čeľade riasavcovité) alebo druhého páru krídiel

(dvojkřídlowce, samce červcov) nazývané **kyvadielka** alebo *haltery*. Sú vyplnené hemolymfou a na báze majú špeciálne zmyslové bunky (*skolopídie*), ktoré kontrolujú rovnováhu tela počas letu. Toto zariadenie zabezpečuje **statickú rovnováhu**, t.j. lineárne zrýchlenie alebo smer gravitácie.

U stavovcov funkciu pohybovo-rovnovážneho orgánu plní vestibulárny orgán tvorený kanálom. Vývojovo a funkčne je podobný prúdovému orgánu. Uložený je v dutine vnútorného ucha, ktoré je tvorené **kostným labyrintom** vyplneným tekutinou **perilymfou**. V ňom leží **blanitý labyrint** s tekutinou **endolymfou**. Tvorený je z dvoch vačkov – **vajcovitého** (*utrículus*) a **guľovitého** (*sacculus*). U nižších stavovcov z bázy vajcovitého vačku vybieha ešte tretí vaček – **lagna**. Na vajcovitom vačku sa nachádzajú tri (u kruhoustnic dva) na seba kolmo postavené polkruhovitú kanáliky rozšírené pri výstupe do **banky** (*ampula*). V nej sú opäť vláskové bunky trčiace do dutiny kanálikov. Pokryté sú želatinóznou **kupulou**. Pri pohybe hlavy sa pohyb endolymfy oneskoruje za pohybom stien kanálikov, čím sa kupula vychýľuje a dráždi zmyslové bunky v ampule. Tento orgán zabezpečuje **dynamickú rovnováhu**, t.j. rotačné zrýchlenie.

Statokinetické zmyslové receptory patria medzi tzv. **tonické receptory**, t.j. neadaptujú sa. To znamená, že ak na ne pôsobíme dlhodobo, vzruchy v nich vznikajú neprestajne. Statokinetické orgány môžu zároveň sprostredkovať aj mnoho pohybových alebo polohových reflexov, napr. pri otočení hlavy sú pripravené predné končatiny ku skoku, pri vzpriamení sa ňaťahujú zadné končatiny.

#### 10.2.4 Sluchové orgány

Hlavnou funkciou sluchových orgánov je vnímať zvuk. Takéto orgány sa objavujú až u článkonožcov, resp. hmyzu. Dovtedy sa u živočíchov vyskytovali len jednoduché formy netympanálneho vnímania zvuku pomocou tzv. **trichoidných chĺpkov** (senzíl), ktoré sú citlivé na vibrácie okolitého prostredia. Ďalšími špecializovanými útvarmi sú **chordotonálne orgány**, čo sú strunovité útvary napnuté naprieč telovými dutinami a prepojené vláknami nervových sensorických buniek vnímajúcich ich vibrácie. Chordotonálne orgány sa vyskytujú aj u hmyzu, a to najmä na článkoch tykadiel, končatín a na báze krídiel. Jeho modifikáciou je aj Johnstonov orgán (pozri kap. 10.2.2).

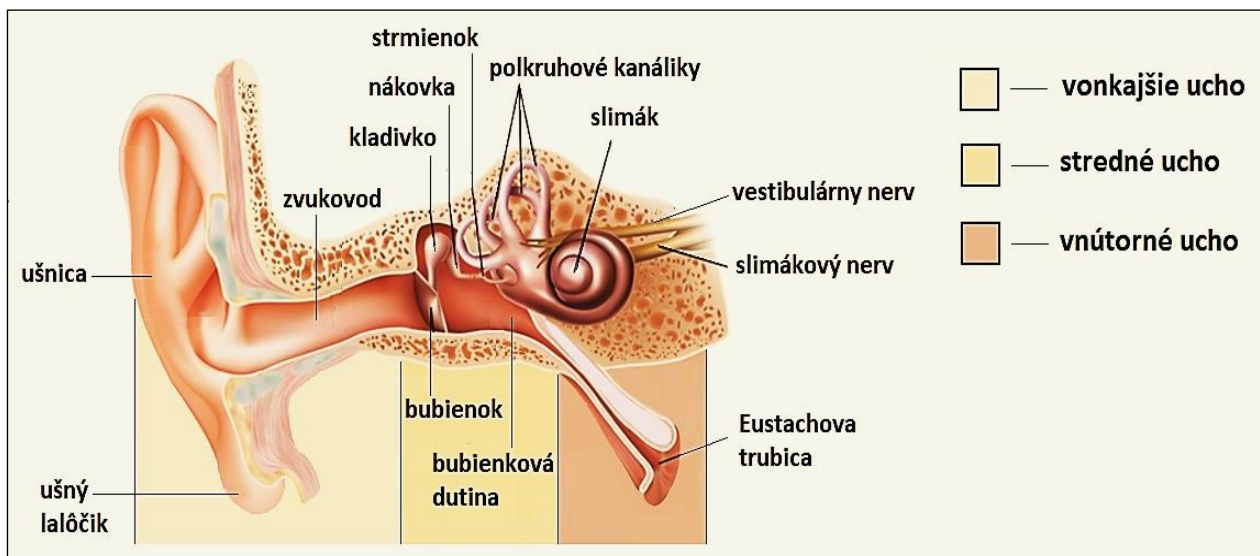
Skutočnými sluchovými orgánmi sú však až **tympanálne orgány** u hmyzu a **polohovo-sluchový orgán** u stavovcov. Tympanálne orgány sa skladajú z bubienka, rezonátora a sluchových buniek. **Bubienok** predstavuje tenkú blanú napnutú na chitínovom rámečku umiestnenom na spodku krátkej chodby. **Rezonátor** je vakovito rozšírená vzdušnica, na ktorú prilieha bubienok. Medzi bubienkom a rezonátorom sa nachádzajú vlastné zmyslové bunky s čapíkmi. Zvuk prechádza otvorom tympanálneho orgánu, rozochveje bubienok a to podráždi zmyslové bunky. Tympanálne orgány sa môžu vyskytovať na hrudi, holeniach prvého páru

predných nôh, na zadočku, ale aj krídlach rôznych druhov hmyzu, ktorý je schopný vyludzovať zvuky.

Pôvodným sídlom pre vnímanie zvuku u stavovcov je pravdepodobne vajcovitý vačok blanitého labyrintu vo vnútornom uchu s lagenou, ktorá sa po prvý raz objavuje u drsnokožcov a niektorých rýb. Počas ďalšieho vývoja sa lagena ďalej predlžuje a diferencuje, až sa nakoniec stáva hlavnou sluchovou oblasťou. Lagena u vtákov a cicavcov rozdeľuje vnútorný priestor, v ktorom sa nachádza špirálovito stočený útvar (kanál) nazývaný **slimák** (*cochlea*). Vlastné vláskové sluchové bunky sa nachádzajú v **Cortiho orgáne** umiestnenom na spodnej membráne blanitého slimáka.

Vnútorné ucho pôvodne komunikovalo s vonkajším prostredím osobitnými kanálikmi, ústiacimi na povrch. Takýto spôsob sa zachoval napríklad u žralokov. Neskôr sa však ukazuje potreba efektívnejšieho spôsobu komunikácie s prostredím a utvára sa u obojživelníkov stredné ucho, a od plazov vyššie i vonkajšie ucho. **Stredné ucho** vzniká premenou 1. a čiastočne 2. žiabrového oblúka. Tvorí ho **bubienková dutina** (*cavum tympanum*) a v nej uložené sluchové kostičky prenášajúce zvukové vlny prostredníctvom **bubienka** do vnútorného ucha. U obojživelníkov, plazov a vtákov je to **tyčinka** (*columella*), u cicavcov tri samostatné kostičky: **strmienok** (*stapes*), ktorý vznikol z tyčinky, **nákovka** (*incus*) a **kladivko** (*malleus*). U rýb (kaprotvaré), ktoré nemajú stredné ucho ešte vyvinuté, prenos zvukových vln do vnútorného ucha zabezpečuje tzv. **Weberov orgán**. **Vonkajšie ucho** tvorí zvukovod, ktorý bol spočiatku krátky (plazy), predĺžený s náznakom ušnic (vtáky) alebo dlhý s dokonale vyvinutými ušnicami (cicavce). Tie slúžia na zachytávanie zvukových vln (obr. 33).

**Obrázok 33:** Stavba ucha cicavcov<sup>53</sup>



Mnohé druhy bezstavovcov (hmyz) ako i stavovcov (netopiere, veľryby) dokážu zachytávať a vnímať aj zvuky vyššieho kmitočtu – **ultrazvuk**, čo využívajú tiež na orientáciu (echolokácia) a komunikáciu.

## 10.3 CHEMORECEPTORY

Schopnosť vnímať chemické podnety zo svojho okolia je najstarším a najuniverzálnejším zmyslom v celej živočíšnej ríši. Umožňuje to živočíchom získavať informácie o kvalite potravy pred jej prijatím (chuť) a kvalite ovzdušia, ako aj o prítomnosti predátorov, sexuálnych partnerov či potravy (čuch). Chemoreceptory majú veľmi jednoduchú stavbu. Adekvátnym podnetom pre ne sú molekuly látok rozptýlené vo vode alebo vo vzduchu. Vodné živočíchky reagujú rovnako na látky rozpustené vo vode, suchozemské živočíchky na látky rozpustené vo vode reagujú chuťou a na látky rozpustené vo vzduchu čuchom.

### 10.3.1 Chuťové orgány

**Chuť** vnímajú živočíchky prostredníctvom jednoduchých chuťových buniek opatrených spravidla vláskami so špecifickými receptormi. U bezstavovcov sa nachádzajú zväčša voľne rozptýlené po celom povrchu tela alebo na najviac exponovaných miestach ako sú okolie úst, ústna dutina a ústne orgány, tykadlá a nohy. U stavovcov základnou funkčnou jednotkou chuťového orgánu je **chuťový pohárik** oválneho tvaru. Uložený je tesne pod povrchom sliznice a nachádzajú sa v ňom vlastné zmyslové a podporné bunky. Zmyslové bunky obsahujú množstvo vláskov, ktoré vyčnievajú do vstupného otvoru chuťového pohárika – **chuťovej jamky**. Chuťové poháriky sa u nižších stavovcov nachádzajú na celom povrchu tela, na hlave, na fúzoch okolo úst (u rýb) a v ústach a hltane. U plazov, vtákov a cicavcov sú sústredené už len na jazyku a sliznici úst.

Chuťové receptory rozlišujú štyri základné chute: **sladkú, slanú, kyslú a horkú** a ich kombinácie. Štyrom rôznym chutiam zodpovedajú aj štyri rôzne typy chuťových buniek. Tie sú u cicavcov špecificky rozmiestnené na rôznych častiach jazyka. Na špičke jazyka je to sladká chuť, vpredu po bokoch jazyka slaná chuť, vzadu po bokoch jazyka kyslá chuť a na koreni jazyka horká chuť. Najnižší prah citlivosti má horká chuť, ktorá nás aj varuje pred toxickými látkami. Pri dlhšom pôsobení tej istej látky na chuťové receptory sa však ich citlivosť na daný podnet znižuje, čo do určitej miery obmedzuje aj efektívnosť vnímania chuti.



### 10.3.2 Čuchové orgány

**Čuchové orgány** zaznamenávajú chemické podnety vo forme plynných látok vo vzduchu. Na rozdiel od chuti patria teda k diaľkovým (dištančným) receptorom. Najjednoduchšie čuchové receptory u bezstavovcov predstavujú jednotlivé bunky opatrené brvou alebo čapíkom. Roztrúsené sú zvyčajne po celom povrchu tela alebo na určitom mieste napr. v čuchových jamkách u obrúčkavcov. Hmyz má viacero typov chemoreceptorických, teda aj čuchových, senzíl na tykadlách.

Vlastný čuchový orgán stavovcov tvoria primárne zmyslové čuchové bunky, ktoré sú uložené v jednom (u bezčelústnatcov) alebo v dvoch **čuchových vačkoch** (u čelústnatcov). Tie komunikujú s vonkajším prostredím prostredníctvom **nozdiar** (*nares*), ktoré smerom k lebke končia slepo a neskôr, od zástupcov triedy násadcoplutvovcov, vznikajú aj vnútorné nozdry, ktoré spájajú čuchové vačky s ústnou dutinou a u vyšších stavovcov slúžia i k prenosu vzduchu na dýchanie. Čuchová sliznica je neustále zvlhčovaná výlučkami **Bowmanových žliaz**. Citlivosť čuchových buniek je vysoká. Psy sú schopné detegovať dokonca jedinú molekulu v jednom litri vzduchu.

Osobitným čuchovým orgánom stavovcov je **vomeronasálny** alebo tzv. **Jacobsonov orgán**, ktorý sa vyskytuje u niektorých žiab, plazov (okrem krokodílov a korytnačiek) a niektorých cicavcov. U človeka Jacobsonov orgán chýba, pozostatok po ňom si však ešte stále môžeme nahmatať na podnebí v ústnej dutine. Je tvorený slepými vačkami s čuchovou sliznicou v ústnej dutine. Tento orgán slúži hlavne na feromónovú sexuálnu komunikáciu (napr. flémovanie u muflónov).

## 10.4 RÁDIORECEPTORY

Rádiorceptory slúžia na vnímanie elektromagnetického vlnenia. K hlavným typom rádiorceptorov patria **fotoreceptory** a **termoreceptory**.

### 10.4.1 Fotoreceptory

Vnímanie svetla, t.j. žiarenia v oblasti vlnovej dĺžky viditeľného svetla, umožňuje živočíchom orientovať sa v priestore a efektívne vyhľadávať potravu alebo vhodné prostredie pre život ako aj získavať dôležité informácie o dennej a ročnej dobe. Citlivosť na svetlo je pritom vlastnosťou takmer všetkých živočíchov. V najjednoduchšom prípade ide o tzv. **vnímanie difúznej prítomnosti** a/alebo **intenzity svetla** ako je striedanie dňa a noci alebo reakcia na tieň (napr. predátora), a to voľnými nervovými zakončeniami v koži (napr. u dážďoviek). U jednobunkovcov (bičíkovcov) túto funkciu plnia tzv. **očné škvvrny** (*stigmaty*). Dokonalejším typom sú skupiny

svetlocitlivých buniek usporiadaných do polguľovitej misky (**miskovité oko** u ploskulíc) alebo pohárika (**pohárikovité oko**) obaleného pigmentom, ktoré umožňujú dopad svetla na bunky len z určitého smeru. Takéto oči zabezpečujú už **smerové vnímanie svetla**, a teda lepšiu orientáciu v priestore. Aby živočích získal aj informácie o tvare pozorovaného predmetu v priestore (teda obraz), a o intenzite a prípadne i farbe svetla, počas evolúcie došlo k vývoju pomocných zrakových štruktúr, najmä svetlolomného aparátu šošovky. Tá usmerňuje zväzok svetelných lúčov tak, aby obraz dopadajúci na zmyslové receptory (sietnicu) bol ostrý. Takéto zrakové orgány môžu mať len jednu svetlolomnú sústavu a ich obraz na sietnici je celý ale prevrátený, v tomto prípade hovoríme o **komorovom oku**, alebo sa skladajú z väčšieho počtu očiek a ich obraz je neprevrátený ale mozaikovitý. Takéto oko nazývame **zložené**.

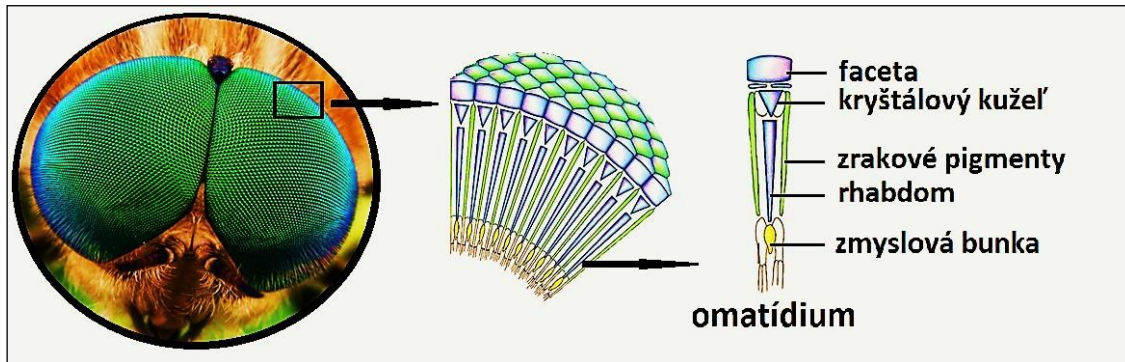
**Zložené** (facetové) **oči** (*oculi compositi*) sú typické pre hmyz (obr. 34). Zložené sú z desiatok až tisícok jednoduchých kuželovitých očiek **omatídií**. Každé očko je prekryté priehľadnou chitínovou kutikulou – **facetou** (odtiaľ aj názov facetové oči), ktorá chráni vnútorné časti oka a podieľa sa aj na koncentrácii svetla na zmyslové bunky. Pod ňou je svetlolomná časť tvorená štyrmi kryštalotvornými bunkami. Nazýva sa **kryštalový kužel** a plní funkciu šošovky. Pod nimi sa ešte nachádza tyčinkovitá štruktúra s útvárom nazývaným *rhabdom*, ktorá obsahuje zrakové pigmenty. Spolu so sietnicovými bunkami ju nazývame aj **sietničkou** (*retinula*).

Zložené oko nie je schopné zaostrovania (**akomodácie**). U niektorých druhov hmyzu sa preto vyvinuli dva typy omatídií: **makroomatídiá**, ktoré zabezpečujú videnie do diaľky, a **mikroomatídiá**, zabezpečujúce videnie do blízka. Podľa adaptácie na svetlo delíme zložené oko zas na:

- **apozíčné**, v ktorom sú omatídiá obalené pigmentovou vrstvou, chrániacou sietnicu pred silným svetlom. Tento typ zloženého oka je charakteristický pre denné druhy, pretože umožňuje ostré videnie za jasného svetla. Za šera však nie je takéto oko schopné svetlo vnímať, a
- **superpozíčné**, v ktorom sú za šera izolované pigmentom len spodné časti omatídií, takže svetlo môže vnikáť do viacerých očiek. To umožňuje vnímať aj svetlo nízkej intenzity, a preto sa vyskytuje najmä u nočných alebo súmravných druhov. Vo dne sa pigment môže rovnomerne rozptýliť a oko potom funguje ako apozíčné.

Okrem zložených očí majú mnohé druhy hmyzu a larvy druhov s neúplnou premenou aj jednoduché očka nazývané *ocelli*. Sú zväčša tri a nachádzajú sa na dorzálnnej strane hlavy. Citlivé sú na zmeny intenzity svetla a podieľajú sa tak najmä na vnímaní dňa a svetla. Niektoré druhy majú **teleskopické** zložené oči umiestnené na stopkách, ktoré im uľahčujú vnímanie okolia napr. z krytu.

Obrázok 34: Zložené oko hmyzu<sup>54, 55</sup>

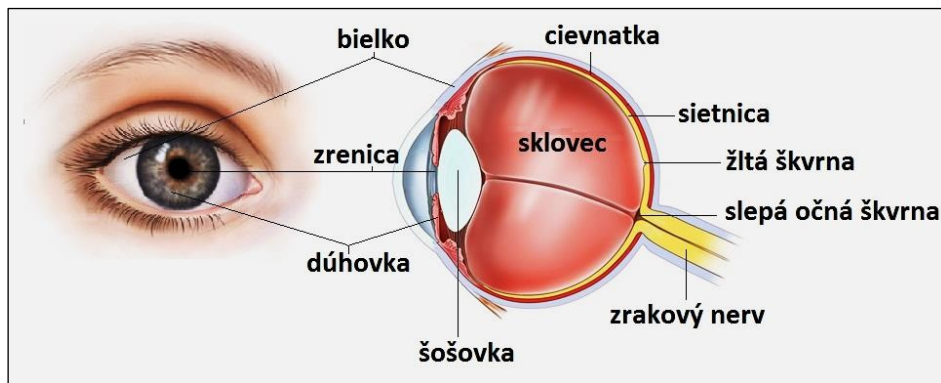


Na rozdiel od komorového oka má zložené oko oveľa nižšiu rozlišovaciu schopnosť. Na druhej strane prítomnosť mnohých očiek im umožňuje oveľa lepšie vnímať okolie pri pohybe hlavy a dokonale binokulárne vnímať vzdialenosti. To využívajú najmä predátori pri love koristi, napr. vážky.

**Komorové oko** je zrkovým orgánom stavovcov. Skladá sa z týchto hlavných častí: očnej gule, ktorej súčasťou je sietnica, šošovky a očných svalov. **Očná guľa** (*bulbus oculi*) slúži ako tmavá komora. Vyplnená je priehľadným **sklovcom**. Zložená je z troch hlavných súčastí (obr. 35):

- **bielka** (*sclera*), ktorý vpredu prechádza do **rohovky** (*cornea*),
- **cievnatky** (*chorioidea*), prechádzajúcej vpredu do **dúhovky** (*iris*) so **zrenicou** (*pupilla*) a **šošovky** (*lens*). Šošovka ohýba a usmerňuje zväzok svetelných lúčov, a to buď posúvaním sa k sietnici alebo od nej (bezčelústnatce, drsnokožce, obojživelníky, hady), alebo zmenou jej tvaru (ostatné stavovce). Samotné zaostrovanie sa okrem šošovky môže realizovať aj pomocou rohovky a tzv. **riasnatého telesa**, na ktorom je šošovka zavesená. Medzi rohovkou a dúhovkou sa nachádza **predná očná komora** vyplnená komorovým mokom, medzi dúhovkou a šošovkou je **zadná očná komora**.
- **sietnice** (*retina*), zloženej z 10 vrstiev neurónov a jednej vrstvy vlastných fotoreceptorických **tyčiniek**, umožňujúcich vnímanie čiernobielych kontrastov a videnie v šere, a **čapíkov**, zodpovedných za ostré a farebné videnie za svetla. Farebne vidia pravé ryby, niektoré plazy, niektoré cicavce (vrátane človeka) a všetky vtáky. Miestom najostrejšieho videnia je tzv. **centrálne** alebo **žltá škvrna** (*area centralis* alebo *macula lutea*) nachádzajúca sa v centrálnej časti sietnice. **Slepá škvrna** sa nachádza zas v mieste, kde vstupuje zrkový nerv do oka a nevyskytujú sa tu ani tyčinky ani čapíky.

**Obrázok 35:** Stavba komorového oka<sup>56</sup>



Rozoznávame dva základné spôsoby akomodácie oka. V rôznom pomere sa na ňom podieľajú šošovka i rohovka:

- oči sú v pokoji zaostrené na blízko. Pri zaostrovaní na diaľku sa priťahuje šošovka k sietnici a splošťuje sa aj rohovka (bezčelustnatce), alebo sa tvar rohovky nemení (u rýb),
- oči sú v pokoji zaostrené na diaľku. Pri zaostrovaní na blízko sa šošovka buď posúva od sietnice, pričom tvar rohovky sa nemení (drsnokožce a obojživelníky), alebo sa mení tvar (zakrivenie) šošovky i rohovky (vyššie stavovce).

Okrem základného zrakového orgánu majú stavovce ešte ďalšie **pomocné štruktúry**, ktoré ho chránia a zabraňujú vysychaniu. Sú to **slzné**, **mazové** ale i **pachové žľazy** (napr. u jeleňovitých) a mihalnice, resp. **viečka** (*palpebrae*). Stavovce žmurkajú buď hornými (napr. cicavce), iné dolnými viečkami (väčšina vtákov). Plazy a vtáky majú i tretie viečko, tzv. **žmurku**.

### 10.4.2 Termoreceptory

**Termoreceptory** sprostredkovávajú vnímanie teplotných zmien ako aj reakcií organizmu, ktoré sa podieľajú na regulácii telesnej teploty. Rozmiestnené bývajú zvyčajne po celom povrchu tela v koži, ale aj vo vnútri tela a v centrálnej nervovej sústave. Receptory vo vnútri tela a CNS sa však nepodieľajú na vedomom vnímaní teploty. Termoreceptory v koži živočíchov podľa ich aktivity delíme na **chladové** a **teplotné**. Sú to v podstate voľné nervové zakončenia reagujúce na zmeny teploty kože vo vrstve, v ktorej sa nachádzajú. U stavovcov na vnímanie tepla slúžia špecializované **Ruffiniho** alebo **Golgi-Mazzoniho telieska** a na vnímanie chladu **Krauseho telieska**. Samotný pocit tepla alebo chladu má však difúzny charakter, to znamená, že ho nemôžeme presne lokalizovať na tele ako napríklad pocit bolesti alebo hmat. Nerovnomerné rozloženie teplotných a chladových receptorov a ich adaptabilita však spôsobuje rôznu citlivosť kože na teplo alebo chlad. Ochlpené časti tela sú napr. citlivejšie na chlad ako neochlpené časti.

Vyššie uvedené typy receptorov však vnímajú len teplo vedené z prostredia vedením (kondukciou) či prúdením (konvekciou), ale nie žiarením. Nejde teda o rádioreceptory v pravom slova zmysle. Receptory na vnímanie **infračerveného** elektromagnetického **žiarenia** (radiácie) majú len niektoré hady a bezstavovce. U hadov sú to párové orgány lokalizované po bokoch hlavy medzi očami a nozdrami, ktoré dokážu detegovať zmeny teploty už od 0,003 °C. Ich bilaterálne umiestnenie umožňuje hadom presnú stereoskopickú lokalizáciu teplokrvných živočíchov aj v úplnej tme, čo mnohé druhy, napr. štrkáče, využívajú i pri love. Podobne je to i u hmyzu napr. komáre pomocou tykadiel vyhľadávajú svojich hostiteľov, t.j. teplokrvné živočíchy vyžarujúce teplo.

## 11 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA

Endokrinná sústava predstavuje systém **žliaz s vnútorným vylučovaním** biologicky aktívnych látok (hormónov) podieľajúcich sa na regulácii životných pochodov živočíchov. Každá žľaza plní inú úlohu, pričom môže produkovať aj viac typov hormónov. Ich funkcia je zvyčajne časovo neobmedzená, niektoré žľazy fungujú iba periodicky (pohlavné žľazy). Endokrinná sústava úzko spolupracuje s nervovou sústavou, hovoríme aj o neuro-hormonálnej regulácii organizmu, niektoré súčasti nervovej sústavy majú dokonca aj funkciu endokrinných žliaz (napr. hypotalamus a hypofýza). Najlepšie preštudovaná je endokrinná sústava stavovcov, najmä človeka.

### 11.1 HORMÓNY

**Hormóny** (z gr. *hormaó* = poháňam, povzbudzujem) sú organické látky bielkovinovej povahy, ktoré chemickou cestou prenášajú informácie vo vnútri (**endohormóny**) alebo aj mimo tela organizmu (**ektohormóny**), a tým ovplyvňujú činnosť rôznych orgánov. Nie sú zdrojom energie ani stavebnou látkou, ale majú len riadiacu funkciu. Vylučované sú žľazami s vnútornou sekréciou (**glandulárne hormóny**), ale aj jednotlivými telovými (**tkanivové hormóny**) alebo nervovými bunkami (**neurohormóny, mediátory**). V tele sú potom k bunkám cieľových orgánov transportované zvyčajne krvou, mozgovomiechovým mokom alebo prostredníctvom nervov. Poznáme pritom viac ako 20 druhov hormónov, ktoré z chemického hľadiska rozdeľujeme na hormóny peptidové, amínové, steroidné a eikozanoidy. Niektoré hormóny môžu pôsobiť aj protichodne (antagonisticky), t.j. jeden hormón určité činnosti alebo životné pochody stimuluje,

druhý ich naopak inhibuje. Spôsob prenosu hormónov a informácií, ktorých sú nositeľmi, je už obsahom fyziológie hormonálnej regulácie.

## 11.2 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA BEZSTAVOVCOV

U bezstavovcov prevláda vylučovanie hormónov nervovými bunkami (tzv. **neurosekrécia**). K vzniku a vývoju vlastnej endokrinnnej sústavy dochádza až v súvislosti so vznikom a vývojom obehovej sústavy, ktorá zabezpečuje hlavný transport hormónov. Nižšie bezstavovce (napr. plášťovce) produkujú len malé množstvo neurohormónov, ktoré riadia hlavne ich rast, vývoj, regeneráciu a činnosť pohlavných orgánov. U hlavonožcov je už vyvinutá špeciálna **branchiálna žľaza**, ktorá okrem iného reguluje celkový vývin jedinca a jeho krvný obeh. U kôrovcov nachádzame už viacero komplexov produkujúcich hormóny. Jeden z nich tvorí dva antagonistické hormóny, ktoré ovplyvňujú zvliekanie kutikuly. **Zvliekací inhibujúci hormón** produkovaný neurosekretoickými bunkami optického laloku mozgu (tzv. **X-orgán**) zvliekanie kutikuly zastavuje, **zvliekací indukujúci hormón** produkovaný endokrinnou žľazou (tzv. **Y-orgán**) zvliekanie kutikuly spúšťa. Ďalším komplexom je **podpažeráková (subezofageálna) sústava**. Hormóny tejto sústavy riadia farbozmenu, metabolizmus a pohlavné funkcie.

Z bezstavovcov najlepšie preskúmaná je endokrinná sústava hmyzu. Tá ovplyvňuje hlavne ich rozmnožovanie a vývoj. Hormóny produkuje jednak **neurosekretonická ústredná nervová sústava** (nadradené centrá CNS) a jednak samostatné **endokrinné žľazy**. Neurosekretoické bunky sú tvorené **protocerebrálnymi lalôčkami** a ostatnými časťami centrálnej nervovej sústavy. Produkujú **aktivačný (protoracikotropný) hormón**, ktorý reguluje činnosť ostatných endokrinných žliaz a aktivuje tvorbu zvliekacieho a juvenilného hormónu. Protocerebrálne lalôčky produkujú aj hormón **burzikón**, ktorý riadi začiatok sklerotizácie (tvrdnutia kutikuly) buniek.

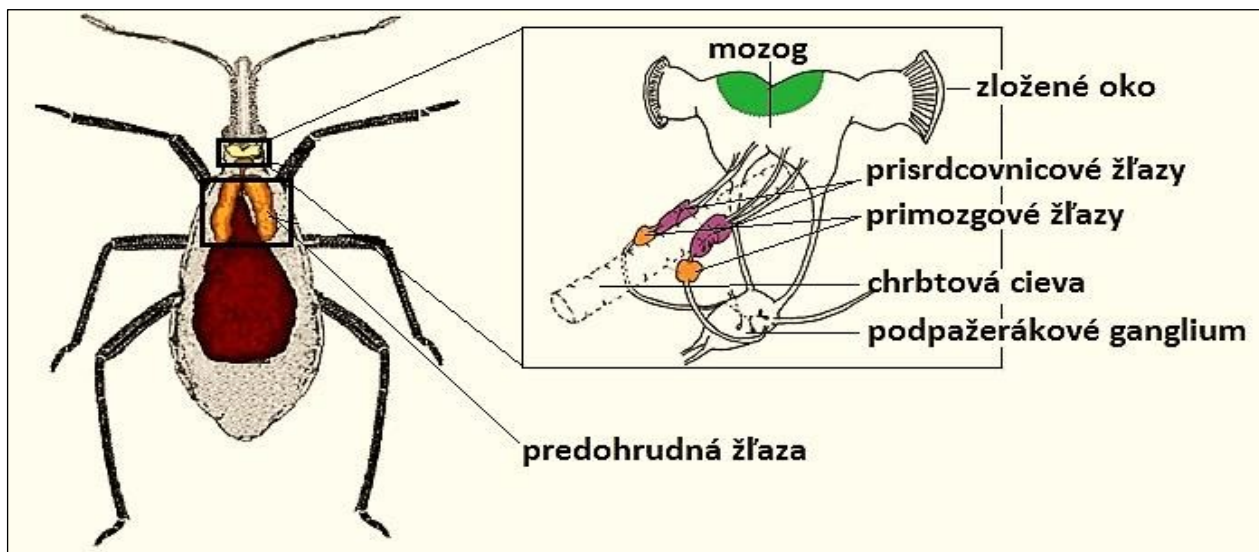
K hlavným endokrinným žľazám hmyzu patria (obr. 36):

- **prisrdcovnicové žľazy** (*corpora cardiaca*) – hromadí sa v nich neurosekrét a tvorí gonadotropný hormón. Okrem toho regulujú dýchanie a tvorbu tukov v tukovom telese,
- **primozgové žľazy** (*corpora allata*) – produkujú **juvenilný hormón** (*neotenin*), ktorý ovplyvňuje metamorfózu hmyzu a u dospelých samíc i tvorbu zrelých vajíčok (*oogenézu*). Jeho absencia môže viesť k predčasnej metamorfóze a vzniku tzv. **trpasličích foriem**. Nadbytočné množstvo zas vedie k oddialeniu alebo úplnému potlačeniu metamorfózy, výsledkom čoho sú **gigantické larvy** alebo prechodné juvenilné formy, pričom hmyz pohlavne nedospieva,

- **predohrudná (protorakálna) žľaza** (*glandula prothoracalis*) – produkuje **zvliekací hormón** (*ekdyson*), ktorý stimuluje bunky pokožky u lariev a kukiel vylučovať zvliekacie látky. Keď sa tento hormón prestane vylučovať, hmyz sa prestane vyvíjať a upadá do **diapauzy**. Po dosiahnutí dospelosti žľaza degeneruje
- **ventrálna žľaza** (*glandula ventralis*) – má podobnú funkciu ako predohrudná žľaza a po metamorfóze tiež zaniká.

K endokrínnej sústave hmyzu patria aj skupiny buniek ektodermálneho pôvodu, tzv. **énocyty** (*oenocyty*), ktorých hormóny regulujú činnosť lipoproteínov a ovplyvňujú rast vrchnej voskovej vrstvy kutikuly, a **špecifické žľazy** produkujúce **feromóny**. Feromóny sú silne prchavé, druho špecifické ektohormóny, ktoré slúžia na prenos informácií medzi jedincami toho istého druhu. U hmyzu ich vylučujú hlavne samice. Významne ovplyvňujú aj správanie živočíchov.

**Obrázok 36:** Hlavné endokrinné žľazy u hmyzu<sup>57, 58</sup>



Podľa druhu informácie a funkcie môžeme feromóny rozdeliť na:

- **pohlavné** (slúžia na hľadanie, rozpoznávanie a/alebo vábenie partnerov opačného pohlavia a k navodeniu sexuálneho správania),
- **agregačné** (vyhľadávanie a zhukovanie jedincov za iným účelom ako je rozmnožovanie),
- **poplachové** (vyvolávajú únikové alebo obranné reakcie),
- **upokojujúce** (utlmujú poplachové alebo obranné reakcie),
- **stopovacie** (navádzajú k zdroju potravy),



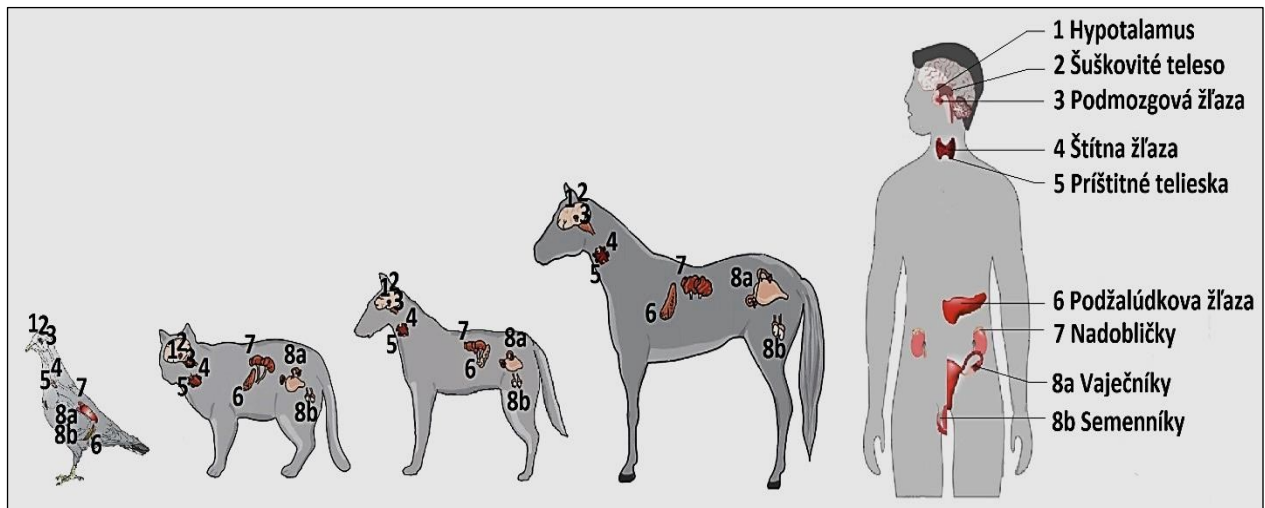
- **sociálne** (zabezpečujú komunikáciu a riadenie v hmyzích kolóniách alebo spoločenstvách) a
- **maturačné** (urýchľujú vývoj nedospelých jedincov).

Takéto delenie feromónov je však len orientačné a okrem vyššie uvedených sa môžeme v špecializovanej odbornej literatúre stretnúť aj s mnohými ďalšími.

### 11.3 ENDOKRINNÁ SÚSTAVA STAVOVCOV

U stavovcov prevláda na rozdiel od bezstavovcov endokrinná sekrécia nad neurosekréciou. Nadradenú funkciu nad ostatné endokrinné žľazy má ale **hypotalamo-hypofýzárny systém**, ktorý je priamo napojený aj na nervovú sústavu a umožňuje tak prepojenie nervovej a hormonálnej regulácie. Pod jeho kontrolou je viacero endokrinných žliaz (napr. štítne žľaza, kôra nadobličiek, pohlavné hormóny), iné žľazy môžu byť na tomto systéme ale nezávislé (Langerhansove ostrovčeky pankreasu, týmus, prištitné telieska, dreň nadobličiek). Umiestnenie jednotlivých endokrinných žliaz u teplotných stavovcov je znázornené na obr. 37.

**Obrázok 37:** Endokrinná sústava teplotných stavovcov<sup>59-63</sup>



#### 11.3.1 Hypotalamo-hypofýzárny systém

Základom tohto systému je hypofýza a hypotalamus. **Hypofýza** alebo **podmozgová žľaza** je umiestnená pod medzmozgom, v priehlbene na klinovej kosti nazývanej aj turecké sedlo (*sella turcica*), a spojená stopkou s hypotalamom, s ktorým tvorí jeden funkčný celok. Skladá sa z troch lalokov, ktoré produkujú hormóny so špecifickými funkciami. Sú to:

- **predný lalok** (*adenohypofýza*) – vzniká z klenby ústnej dutiny. Produkuje nasledovné hormóny:
  - somatotropín (rastový hormón), ovplyvňuje najmä celkový rast organizmu a stimuluje proteosyntézu,
  - adrenokortikotropín, pôsobí na kôru nadobličiek a zvyšuje produkciu ich hormónov,
  - tyreotropín, riadi tvorbu a sekréciu hormónov štítnej žľazy,
  - filotropín (folikulostimulačný hormón), u samíc stimuluje rast folikulov pred ovuláciou a tvorbu estrogénov, u samcov spermatogézu,
  - lutropín (luteinizačný hormón), u oboch pohlaví stimuluje tvorbu pohlavných hormónov a u samíc vyvoláva aj ovuláciu a
  - prolaktín, stimuluje tvorbu materského mlieka, blokuje ovuláciu a menštruačný cyklus počas kojenia.
- **stredný lalok** (*pars intermedia*) má podobný pôvod ako predný lalok a je sním v úzkom spojení. Produkuje jediný hormón:
  - melanotropín (melanocyt stimulujúci hormón), má vplyv na zafarbenie a farbozmenu (zosvetlenie alebo stmavnutie) živočíchov.
- **zadný lalok** (*neurohypofýza*) vzniká zo spodnej časti medzimozgu. Do krvi vylučuje nasledovné hormóny, tvorené neurosekreторickými bunkami hypotalamu:
  - vasopresín (antidiuretický hormón), riadi zadržovanie vody v tele, resp. stimuluje absorpciu vody v obličkách, a
  - oxytocín, stimuluje ejakciu (vystreknutie) materského mlieka a kontrakcie hladkej svaloviny maternice, čím sa urýchľuje pôrod.

**Hypotalamus** (*hypothalamus*) je spodná časť medzimozgu. Tvorí dno tretej mozgovej komory. Tvorí sa v ňom hormóny vasopresín a oxytocín, a zároveň riadi pocity hladu, smädu, reguluje telesnú teplotu a podieľa sa na kontrole emócií, bolesti, strachu a na sexuálnej aktivite. Dodnes bolo preukázaných šesť stimulujúcich a inhibujúcich hormónov hypotalamu, z ktorých každý vyvoláva v adenohypofýze sekrečné reakcie v špecifických bunkách. Sú to:

- somatostatín (somatotropín inhibujúci hormón),
- somatoliberín (somatotropín stimulujúci hormón),
- dopamín (prolaktín inhibujúci hormón),

- kortikoliberín (adrenokortikotropín stimulujúci hormón),
- tyreotropín stimulujúci hormón a
- gonadotropíny stimulujúci hormón.

### 11.3.2 Šuškovité teliesko

**Šuškovité teliesko** (*glandula pinealis*) alebo **pineálny orgán** či *epifýza* je malý nepárový výbežok na strope tretej mozgovej komory. Je to vývojový pozostatok tretieho temenného (parietálneho) oka. U niektorých nižších stavovcov (napr. hatérií) si zachovalo funkciu temenného oka; u rýb, obojživelníkov, plazov a čiastočne vtákov registruje svetelné podnety a podáva informácie o intenzite dopadajúceho svetla, u vyšších stavovcov, najmä cicavcov, plní hlavne endokrinnú funkciu. Šuškovité teliesko produkuje jeden hormón **melatonín**, ktorý vzniká zo serotonínu, a to prevažne v noci Zlepšuje kvalitu spánku. Svetlo jeho hladinu znižuje a organizmus je preto, naopak, cez deň aktívny. Hladina melatonínu v krvi podáva teda bunkám základné informácie o fotoperióde a hrá dôležitú úlohu v činnosti **vnútorných hodín** stavovcov. Zároveň má významný antigonadotropný účinok, t.j. potlačuje pohlavnú činnosť. S predĺžovaním svetelného dňa v jarnom období sa produkcia melatonínu znižuje, čo najmä u vtákov a niektorých cicavcov vedie k rozvoju pohlavných orgánov a zvýšeniu ich funkcie (jarné obdobie rozmnožovania).

### 11.3.2 Štítne žľazy

**Štítne žľazy** (*glandula thyroidea*) je párový (vtáky, cicavce) alebo nepárový orgán umiestnený na prednej strane krku pozdĺž hrtana. Patrí medzi najväčšie endokrinné žľazy, u človeka váži asi 30 g. Produkuje tri hormóny, ktorých sekrécia je riadená množstvom jódu ako aj hormónmi hypotalamo-hypofyzárneho systému. Sú to tieto hormóny:

- tyroxín a trijódtýronín (zvyšujú metabolizmus, stimulujú celkový rast a ovplyvňujú produkciu tepla) a
- kalcitocín (vzniká v parafolikulárnych bunkách štítnej žľazy, ktoré u drsnokožcov a pravdepodobne i rýb a obojživelníkov tvoria samostatný endokrinný orgán. Kalcitonín znižuje množstvo vápnika v krvi a podporuje jeho ukladanie do kostí, čím chráni aj kostné tkanivo matky počas tehotenstva).

### 11.3.3 Príštitné telieska

**Príštitné telieska** (*glandulae parathyreoideae*) sú štyri malé žľazy uložené na póloch oboch lalokov štítnej žľazy. Napriek úzkemu spojeniu so štítnou žľazou nemajú rovnaký pôvod ani funkciu. Produkujú hormón **parathormón**, ktorý je antagonistom hormónu kalcitocínu, t.j. zvyšuje hladinu vápnika jeho uvoľňovaním z kostí, zvyšovaním príjmu z potravy a znižovaním vylučovania obličkami. Jeho sekrécia je riadená hladinou vápnika v krvi.

### 11.3.4 Nadobličky

**Nadobličky** (*glandulae suprarenales*) sú párové orgány uložené na oboch horných póloch obličiek. Skladajú sa z **kôry** (*cortex*) a **drene** (*medulla*) nadobličiek, ktoré však u nižších stavovcov (drsnokožce a ryby) nie sú ešte anatomicky spojené. Zatiaľ čo dreň sa objavuje už u hlavonožcov, kôra nadobličiek sa vyvinula až u stavovcov.

Kôra nadobličiek vytvára tri vrstvy buniek. 1. **Vonkajšia vrstva** – tvoria sa v nej **mineralokortikoidy**, z ktorých najvýznamnejším je hormón aldosterón. Podieľa sa na riadení metabolizmu minerálov, najmä sodíka a draslíka, a hospodárení s vodou (ovplyvňuje zadržiavanie vody a zvyšuje objem extracelulárnej tekutiny). 2. **Prostredná vrstva** – v nej sa tvoria **glukokortikoidy**, najmä kortizol, ktorý sa podieľa na udržiavaní normálnej hladiny cukrov (glukózy) v krvi, zosilňuje srdcové sťahy, stimuluje produkciu žalúdočnej šťavy a má protizápalové, protialergické a imunosupresívne účinky. 3. **Vnútoraná vrstva** – okrem glukokortikoidov sa v nej tvoria i **nadobličkové pohlavné hormóny** (steroidy), najmä androgény, čo sú anabolické hormóny stimulujúce tvorbu bielkovín a rast svalovej hmoty.

**Dreň nadobličiek** je zložená z pôvodných nervových buniek vegetatívnej nervovej sústavy. Tvoria sa v nej dva hormóny: adrenalín a noradrenalín, označované aj ako stresové hormóny. Vylučujú sa najmä pri fyzickej a psychickej záťaži a ich účinok je podobný (noradrenalín pôsobí ale viac periférne). Účinkujú na srdcovo-cievny systém, hladkú svalovinu a metabolizmus, pričom zvyšujú výkon srdca, krvný tlak a prekrvenie kostrového svalstva a mozgu, a zároveň mobilizujú energetické zásoby organizmu.

### 11.3.5 Podžalúdková žľaza

**Podžalúdková žľaza** (*pancreas anulare*) má okrem endokrinnnej funkcie aj funkciu exokrinnú, tráviacu – vylučuje pankreatickú šťavu do dvanástorníka. Svojou stavbou pripomína slinné žľazy, od čoho pochádza aj jej starší alebo český názov slinivka. Vlastnú endokrinnú funkciu plnia skupinky buniek nazývané **Langerhansove ostrovčeky** (*insulae Langerhansi*). Sú troch typov: 1. **Bunky typu A**, ktoré produkujú hormón glukagón, 2. **Bunky typu B** produkujúce hormón inzulín a 3. **Bunky typu D**, tvoriace hormón somatostatín. Glukagón a jeho antagonistu inzulín regulujú

hladinu cukrov v krvi (glukagón ju zvyšuje a inzulín naopak znižuje), somatostatín tlmí uvoľňovanie inzulínu a glukagónu, a tým znižuje samotné využívanie živín.

### 11.3.6 Pohlavné žľazy a pohlavné hormóny

**Pohlavné žľazy** majú na rozdiel od iných žliaz s vnútornou sekréciou (s výnimkou podžalúdkovej žľazy) dvojakú, exoendokrinnú funkciu. Produkujú jednak pohlavné bunky (spermie a vajíčka), a jednak pohlavné hormóny, ktoré riadia v organizme deje spojené s jeho rozmnožovaním. Ovplyvňujú samotné dospievanie živočíšneho jedinca, vývoj jeho pohlavných orgánov a pohlavného správania, tvorbu pohlavných buniek, vývoj oplodneného vajíčka, embrya a plodu, ale aj ďalšie procesy týkajúce sa starostlivosti o potomstvo. Tieto hormóny sú pohlavne špecifické, t.j. rozlišujeme samčie (**androgény**) a samičie pohlavné hormóny (**estrogény** a **gestagény**), avšak u každého pohlavia nachádzame tak samčie ako i samičie pohlavné hormóny, ale v inom pomere. Podobne rozlišujeme samčie a samičie pohlavné žľazy.

Samčou pohlavnou žľazou sú **semenníky** (*testes*), ktoré produkujú samčí pohlavný hormón testosterón. Vzniká v intersticiálnych **Leydigových bunkách** a jeho sekréciu ovplyvňuje hormón predného laloku hypofýzy lutropín, ktorý je zas riadený gonadotropínym stimulujúcim hormónom z hypotalamu (pozri vyššie). Testosterón zodpovedá najmä za vývoj samčích sekundárnych pohlavných znakov a samčieho pohlavného správania, riadi tvorbu spermií, zvyšuje rast a sekréciu prídavných pohlavných žliaz, ale má tiež anabolické účinky – stimuluje tvorbu bielkovín a kostí a rast svalovej hmoty. V semenníkoch sa tvoria aj samičie pohlavné hormóny estrogény.

Samičou pohlavnou žľazou sú **vaječníky** (*ovaria*), ktoré produkujú samičie pohlavné hormóny estrogény a progesterón. Estrogény sa tvoria najmä v **Graafových folikuloch** a zodpovedajú hlavne za vývoj samičích sekundárnych pohlavných znakov a samičieho pohlavného správania, zvyšujú libido pri pohlavnom styku, podporujú rast tkanív spojených s rozmnožovaním, a podobne ako samčie androgény, majú tiež anabolický účinok, ale neporovnateľne nižší ako testosterón. Progesterón je produkovaný zas **žltým telieskom** (*corpus luteum*). Pripravuje sliznicu maternice na uhniesdenie vajíčka, podporuje rast mliečnej žľazy a zabraňuje ovulácii ďalších vajíčok. K hormónom žltého telieska patrí aj relaxín, ktorý stimuluje uvoľnenie väziva panvy a lonovej spony (*symphysis pubica*), čím uľahčuje pôrod.

Mužské ako i ženské pohlavné hormóny však nevznikajú len v samotných pohlavných žľazách, ale aj v iných žľazách s vnútornou sekréciou, napr. v kôre nadobličiek, zadnom laloku hypofýzy, placenty a inde (pozri vyššie).

## 12 ROZMNOŽOVACIA SÚSTAVA

### 12.1 SPÔSOB ROZMNOŽOVANIA ŽIVOČÍCHOV

**Rozmnožovanie** alebo reprodukcia je základný biologický proces replikácie génov prostredníctvom nových jedincov a jeho hlavným cieľom je zachovanie genotypu. Pre existenciu samotného jednotlivca ale nie je nevyhnutné. Živočíchy sa môžu rozmnožovať **nepohlavne** (*asexuálne*) a **pohlavne** (*sexuálne*). Pri nepohlavnom rozmnožovaní základ nového jedinca tvoria telové (somatické) bunky rodičovského organizmu, pričom nový jedinec (klon) nesie tú istú genetickú informáciu. Rozoznávame niekoľko druhov nepohlavného rozmnožovania. K tým základným patria:

- **delenie**, pri ktorom sa materská bunka pozdĺžne (bičíkovce) alebo priečne (brvavce) rozdelí na dve identické dcérske bunky (jednobunkovce, niektoré ploskavce),
- **pučanie**, kedy na materskej bunke alebo organizme vyrastie jeden alebo viac púčikov, ktoré dorastú a oddeľujú sa od materského jedinca (jednobunkovce, prhlivce, hubky a nižšie chordáty) a
- **schizogónia**, pri ktorej sa materský organizmus rozpadne na viacero častí, z ktorých vyrastú nové jedince (výtrusovce).

Pri pohlavnom rozmnožovaní nový jedinec vzniká z pohlavných buniek (**gamét**) zväčša dvoch iných rodičovských organizmov, a má jedinečnú genetickú výbavu, ktorá je odlišná od genetickej výbavy jeho rodičov. Takýto spôsob rozmnožovania je dôležitý najmä z hľadiska evolúcie a zabezpečenia dostatočnej genetickej diverzity v populáciách živočíchov. Pohlavné rozmnožovanie môže pritom predstavovať dočasné splynutie dvoch jedincov, ktoré si vymenia časť genetického materiálu a potom sa normálne delia – **konjugácia** (brvavce), alebo pohlavné spojenie dvoch jedincov za účelom prenosu samčích pohlavných buniek do samičieho tela alebo tela obojpohlavného partnera – **kopulácia** (väčšina mnohobunkových živočíchov). Pri kopulácii sú potrebné pohlavné orgány, resp. pohlavná rozmnožovacia sústava (*systema genitale*). Niekedy môže dôjsť k vývoju samčej pohlavnej bunky aj bez jej oplodnenia. Takýto spôsob pohlavného rozmnožovania nazývame **partenogenéza** a vyskytuje sa napr. u kôrovcov, hmyzu, niektorých druhov rýb a plazov. Inokedy môžu byť jedince schopné sa pohlavne rozmnožovať už v larválnom štádiu, resp. napriek ich pohlavnej zrelosti u nich ešte stále pretrvávajú juvenilné znaky. Tento jav označujeme ako **neoténia** alebo pedogenéza.

Väčšina živočíchov sú **gonochoristi**, t.j. oddeleného pohlavia, pričom obe pohlavia majú iba jeden typ pohlavných orgánov a pohlavných buniek, a to samčie alebo samičie. Výnimku tvoria **hermafroditi**, t.j. obojpohlavné živočíchy, u ktorých sa nachádzajú tak samčie ako

i samičie pohlavné bunky. Sú to zvyčajne druhy so zníženou mobilitou (napr. slimáky) alebo s izolovaným spôsobom života (napr. parazity).

## 12.2 ZLOŽENIE POHLAVNEJ SÚSTAVY GONOCHORISTOV

Pohlavná sústava gonochoristov sa skladá z pohlavných žliaz, pohlavných vývodov, prídavných žliaz a páriacich orgánov. Vývoj a zložitosť celej sústavy alebo jednotlivých jej častí závisí od stupňa vývoja organizmu, spôsobu jeho života a oplodnenia vajíčok.

### 12.2.1 Pohlavné žľazy

**Pohlavné žľazy** (pozri aj kap. 11.3.6 vyššie) sú oválne alebo trubicové útvary, ktorých funkciou je popri produkcii pohlavných hormónov tvorba pohlavných buniek. Samčie pohlavné žľazy semenníky produkujú **spermie**, samičie vaječníky **vajcové bunky** alebo vajíčka. Pri hermafroditických organizmoch tieto žľazy produkujú samčie ako i samičie pohlavné bunky. Nazývame ich preto žľazy **obojaké** (*ovotestis*). Spermie i vajíčka v nich môžu dozrievať naraz – vtedy ide o tzv. **simultánny** hermafroditizmus, alebo postupne – **sukcedánný** hermafroditizmus, kedy párenie takéhoto hermafroditického jedinca musí obvykle prebiehať za účasti iného jedinca. Samčie i samičie pohlavné žľazy sú najčastejšie párové. Nepárové pohlavné žľazy nachádzame napr. zo stavovcov u mihuloťvarých, sliznatkotvarých a žralokovidných, funkčný iba jeden vaječník majú tiež niektoré vtáky. U väčšiny živočíchov sú spermie zložené z hlavičky a bičika, a sú pohyblivé. Pohlavné žľazy ich produkujú vo veľkom množstve, a to zvyčajne až do staroby, resp. smrti jedinca. Vajíčka majú spravidla guľatý tvar a sú nepohyblivé. Zložené sú z jadra obklopeného žĺtkom, ktorý predstavuje zásobáreň živín. Pohlavné žľazy ich produkujú zväčša v menšom množstve ako spermie a ich tvorba ku koncu života jedinca ustáva.

### 12.2.2 Pohlavné vývody

**Pohlavné vývody** sú zvyčajne kanáliky, ktoré odvádzajú zrelé pohlavné bunky z pohlavných žliaz. Často, najmä u stavovcov, splývajú s vylučovacou sústavou. Vtedy hovoríme aj o **močopohlavnej** (*urogenitálnej*) sústave. Spermie zo semenníkov odvádzajú **semenovody** (*spermoducti*), vajíčka z vaječníkov **vajcovody** (*oviducti*). U nižších stavovcov je vývodom samčích pohlavných žliaz primárny močovod (**Wolfova chodba**), ktorý slúži ako spermomočovod, u vyšších stavovcov (plazy, vtáky, cicavce) len ako spermovod. Naopak, vývodom samičích pohlavných žliaz u stavovcov nie sú nikdy primárne močovody ale tzv. **Müllerove chodby**, ktorých pôvod však nie je dodnes úplne jasný.



### 12.2.3 Prídavné pohlavné žľazy

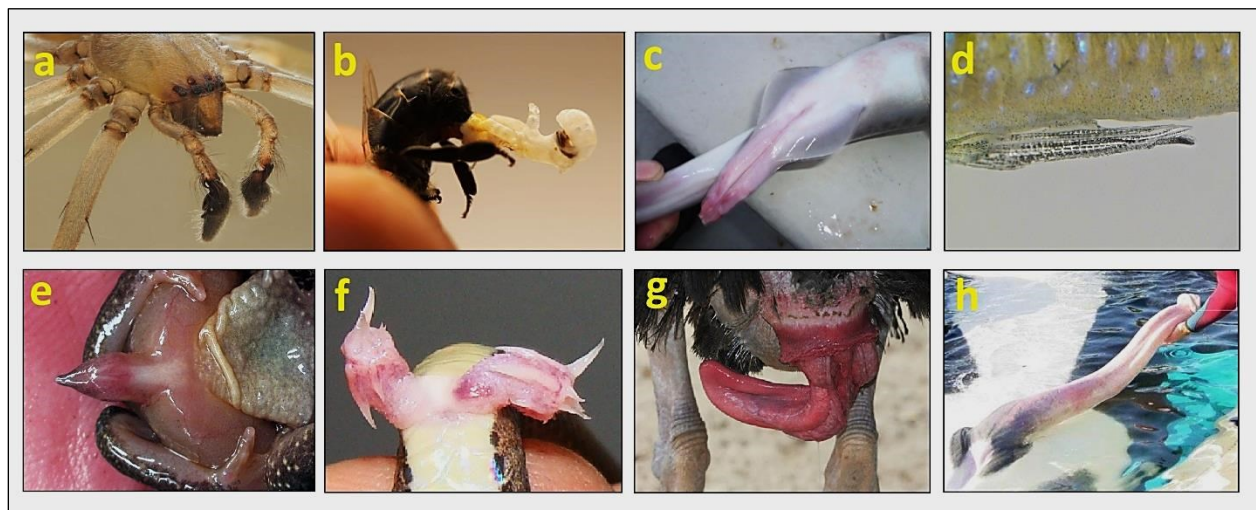
**Prídavné pohlavné žľazy** (*glandulae genitales accessoriae*) sa vyskytujú iba u samcov. Ústia do pohlavných vývodov a produkujú sekréty, ktoré vyživujú a aktivizujú spermie a umožňujú im pohyb a prenikanie do vajíčka. Patria k nim **semenné mechúriky**, **predstojná žľaza** (prostata) a **Cowperova žľaza**. Sekrét Cowperovej žľazy je silne zásaditý a neutralizuje kyslé prostredie vo vnútri pošvy samíc. Okrem prídavných pohlavných žliaz môžu mať niektoré živočíchy (napr. samice vtákov, plazov a drsnokožcov) aj tzv. **nidamentálne žľazy**, ktoré sa podieľajú na tvorbe bielka a vaječných obalov.

### 12.2.4 Páriace orgány

**Páriace** alebo **kopulačné orgány** zabezpečujú prenos samčích pohlavných buniek do samičích pohlavných orgánov. Vyskytujú sa u druhov s vnútorným oplodnením. Avšak nie všetky druhy s vnútorným oplodnením musia mať vždy vyvinuté páriace orgány. Dva jedince si môžu medzi sebou odovzdať spermie aj vzájomným priložením vývodov gonád, kloaky, alebo prostredníctvom semenného vaku (**spermatoforu**), ktorý samce odovzdávajú samiciam. Kopulačné orgány živočíchov majú často rôzny pôvod a tvar. U samcov pavúkov vznikajú napr. premenou posledných článkov hmatadiel (*pedipalpy*), u kôrovcov a vzdušnicovcov premenou končatín v blízkosti pohlavných otvorov, u drsnokožcov sú to premenené časti brušných plutiev (*pterygopody*) a u niektorých rýb (živorodkovité) premenená análna plutva (*gonopodium*), u plazov a cicavcov vznikajú z časti kloaky a môžu byť i párové (obr. 38). Špecifickým kopulačným orgánom živorodých cicavcov je u samcov **penis** (*penis*) a u samíc **pošva** (*vagina*). Homologickým, i keď značne menším orgánom samčieho penisu je u samíc **dráždec** (clitoris). Názov klitoris pochádza z gréckeho Kleitoris, čo v preklade znamená muž s kľúčom, teda ten, kto stráži vchod.

K vlastnej kopulácii dochádza zasunutím samčieho kopulačného orgánu do samičích pohlavných orgánov. Vlastnému pohlavnému aktu zvyčajne predchádza obdobie dvorenia, ktoré môže mať rôzne behaviorálne prejavy a trvať rôzne dlho. Kopulácia však nemusí vždy viesť k oplodneniu, ale môže slúžiť len na uspokojovanie rozmnožovacieho pudu a udržiavanie vzájomných vzťahov, a to najmä u dokonalejšie vyvinutých druhov, akým je napr. šimpanz bonobo (*Pan paniscus*).

**Obrázok 38:** Vybrané samčie kopulačné orgány živočíchov<sup>64-71</sup> (a – pedipalpy u pavúkov, b – penis u včiel, c – pterygopody u drsnokožcov, d – gonopodium u rýb, e – kloakálny výrastok u žiab, f – hemipenis u plazov, g – penis u pštrosov, h – penis u kosatiek)



## Literatúra

- Barnes R. S. K., Calow P. P. Olive., P. J. W., Golding D. W., Spicer J. I., 2001: The Invertebrates: A Synthesis. 3rd Edition. Wiley-Blackwell, 512 s., ISBN 978-0-632-04761-1.
- Beláková, A., 1995: Organológia živočíchov. Bratislava, Univerzita Komenského, 230 s., ISBN 223-0900-1.
- Gaisler, J., Zima, J., 2007: Zoologie obratlovců. 2. prepracované vydanie. Praha, Academia, 692 s., ISBN 978-80-200-1484-9.
- Holecová M., Schlarmanová J., Országhová Z., Matejovičová B., 2016: Anatómia a morfológia živočíchov. Bratislava, Univerzita Komenského, 418 s., ISBN 978-80-223-4029-8.
- Kardong, K. V., 1995: Vertebrates. Comparative Anatomy, Function, Evolution. Dubuque, USA, Wm. C. Brown Publishers, 777 s., ISBN 0-697-21991-7.
- Liem K., Bemis W., Walker W., Grande L., 2001: Functional Anatomy of the Vertebrates: An Evolutionary Perspective. 3rd Edition. Belmont, CA, Brooks Cole, 758 s., ISBN 0030223695.
- Majzlan, O., 1998: Chordáty a bezchordáty (vybrané kapitoly). Bratislava, Oikos s.r.o a ARAD, a.s., 286 s., ISBN 80-967953-4-1.
- Malina, R., 2004: Všeobecná zoológia. Banská Bystrica, Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela, 98 str.
- Miller, S. A., Harley, J. P., 1996: Zoology. 3rd Edition. Boston, WCB McGraw-Hill, 752 s., ISBN 0-697-24373-7.
- Pechenik, J. A., 1996: Biology of Invertebrates. 3rd Edition. Boston, WCB McGraw-Hill, 752 s., ISBN 0-697-13712-0.
- Peterková, V., 2015: Bezchordáty. Zoológia a ekológia. Trnava, Typi Universitatis Tyrnaviensis, 130 s., ISBN 978-80-8082-950-6.
- Roček, Z., 2002: Historie obratlovců. Praha, Academia, 512 s., ISBN 80-200-0858-6.
- Roček, Z., 2002: Obecná morfologie živočíchů. <http://rocek.gli.cas.cz/Courses/courses.htm>
- Schlarmanová, J., Jančová, A., Szekeres, L., Barteková, A., 2005: Organológia živočíchov. Nitra, Fakulta prírodných vied Univerzity Konštantína filozofa, edícia Prírodovedec č. 151, 209 s., ISBN 80-8050-765-1.
- Trnka A., 2008: Chordáty. Zoológia a ekológia. Trnava, Trnavská univerzita, 223 s., ISBN 978-80-8082-244-6.

## Zdroje obrázkov

- <sup>1</sup><http://www.citruscollege.edu/lc/archive/biology/PublishingImages/0343l.jpg>
- <sup>2</sup><http://peabody.yale.edu/sites/default/files/images/exhibits/tree-of-life/convergence4.jpg>
- <sup>3</sup>[http://ib.bioninja.com.au/\\_Media/body-symmetry-2\\_med.jpeg](http://ib.bioninja.com.au/_Media/body-symmetry-2_med.jpeg)
- <sup>4</sup>[http://veteriankey.com/wp-content/uploads/2016/07/B9780702029387000014\\_gr1.jpg](http://veteriankey.com/wp-content/uploads/2016/07/B9780702029387000014_gr1.jpg)
- <sup>5</sup><http://i430.photobucket.com/albums/qq22/buglinbilly/2012%20BB%20Pronghorn%20Hunt/13.jpg>
- <sup>6</sup><http://www.backpackingintherubymountains.info/animals/sheepaging4.jpg>
- <sup>7</sup>[http://animaldiversity.org/collections/contributors/phil\\_myers/horns\\_antlers/deer\\_age.jpg](http://animaldiversity.org/collections/contributors/phil_myers/horns_antlers/deer_age.jpg)
- <sup>8</sup><http://cdn2.arkive.org/media/85/858749FF-096A-4C7B-B513-E41A53F0B714/Presentation.Large/Reindeer-male-and-female-courting-during-the-rut.jpg>
- <sup>9</sup>[https://1.bp.blogspot.com/\\_6XACwplf0k/WCsOVpK8bGI/AAAAAAAAAcY/feReqOZNMJsCTwclUB8nuS9PCp22oiKDAcLcB/s1600/physella%2Bacuta.png](https://1.bp.blogspot.com/_6XACwplf0k/WCsOVpK8bGI/AAAAAAAAAcY/feReqOZNMJsCTwclUB8nuS9PCp22oiKDAcLcB/s1600/physella%2Bacuta.png)
- <sup>10</sup>[https://farm3.staticflickr.com/2764/4540126717\\_a43c6d48a7\\_o.jpg](https://farm3.staticflickr.com/2764/4540126717_a43c6d48a7_o.jpg)
- <sup>11</sup><http://amirshahrokhi.christopherconnock.com/wp-content/uploads/dsc08581-edit.jpg>
- <sup>12</sup>[http://farm1.static.flickr.com/85/243103479\\_a5a15d314c.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/85/243103479_a5a15d314c.jpg?v=0)
- <sup>13</sup>[http://bio.sunyorange.edu/updated2/comparative\\_anatomy/anat\\_3/vertebrae\\_general/20l.jpg](http://bio.sunyorange.edu/updated2/comparative_anatomy/anat_3/vertebrae_general/20l.jpg)
- <sup>14</sup><http://d3lp4xedbqa8a5.cloudfront.net/s3/digital-cougar-assets/AusGeo/2014/05/29/43574/dragon-lizard-draco-volans.jpg>
- <sup>15</sup><http://mhseps4.wikispaces.com/file/view/NorthernFlyingSquirrel.jpg/191012028/420x280/NorthernFlyingSquirrel.jpg>
- <sup>16</sup><http://cdn1.arkive.org/media/1A/1AB5A8F0-A407-488C-9B20-36B64661A280/Presentation.Large/cinereous-vulture-gliding-in-flight.jpg>
- <sup>17</sup><http://media.buzzle.com/media/images-en/gallery/insects/1200-178142318-inchworm-locomotion-loop.jpg>
- <sup>18</sup><http://media.buzzle.com/media/images-en/gallery/insects/1200-178775789-inchworm-locomotion.jpg>
- <sup>19</sup><https://shsapbiop2-taxa.wikispaces.com/file/view/medium.jpg/274904720/460x329/medium.jpg>
- <sup>20</sup><http://biologyboom.com/wp-content/uploads/2014/08/1a4.jpg>
- <sup>21</sup><https://i.warosu.org/data/sci/img/0084/84/1479602933380.jpg>
- <sup>22</sup><https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/c6/25/91/c62591eb4f5b3b2a7588df84ed5a3641.png>
- <sup>23</sup>[http://2.bp.blogspot.com/\\_EfemWp7KFv0/TgjDYihx1XI/AAAAAAAAAHf0/LnWaBwqob4k/s1600/electric-eel4.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_EfemWp7KFv0/TgjDYihx1XI/AAAAAAAAAHf0/LnWaBwqob4k/s1600/electric-eel4.jpg)
- <sup>24</sup><http://www.mun.ca/biology/scarr/Fig28-13.gif>
- <sup>25</sup><http://u.jimdo.com/www27/o/s37af0fcd02709117/img/ic43bdb00ac3b269a/1380561327/std/image.jpg>
- <sup>26</sup><http://www.biologyjunction.com/images/hydra1.jpg>

<sup>27</sup>[http://archive.cnx.org/resources/e5ddc9c78cd5c4f611db57562be8d86aaacaf763/Figure\\_34\\_01\\_04ab.jpg](http://archive.cnx.org/resources/e5ddc9c78cd5c4f611db57562be8d86aaacaf763/Figure_34_01_04ab.jpg)

<sup>28</sup><http://www2.clarku.edu/departments/biology/biol201/2006/mtrivette/images/34-03-Tunicate-L.jpg>

<sup>29</sup>[https://o.quizlet.com/HA-azNfP.F4eyB-4L7pMhA\\_m.png](https://o.quizlet.com/HA-azNfP.F4eyB-4L7pMhA_m.png)

<sup>30</sup><https://image.slidesharecdn.com/animalkingdomcomparativeanatomy-110815154117-phpapp01/95/animal-kingdom-comparative-anatomy-10-728.jpg?cb=1313423895>

<sup>31</sup><https://i.ytimg.com/vi/bEeTIm5Hlq4/maxresdefault.jpg>

<sup>32</sup><http://necropsymanual.net/wp-content/uploads/2015/08/Respiratory-Fig-5-Hemibranch-trout.jpg>

<sup>33</sup><http://slideplayer.com/4651144/15/images/9/Respiratory+Systems+of+Vertebrates.jpg>

<sup>34</sup><http://www.nature.com/nature/journal/v433/n7025/images/433471a-f1.2.jpg>

<sup>35</sup>[http://images.slideplayer.com/38/10780097/slides/slide\\_51.jpg](http://images.slideplayer.com/38/10780097/slides/slide_51.jpg)

<sup>36</sup><http://www.zo.utexas.edu/faculty/sjasper/images/f29.1.jpg>

<sup>37</sup><http://slideplayer.com/8469134/26/images/6/Open+vs.+Closed+Circulatory+Systems.jpg>

<sup>38</sup>[https://3c1703fe8d.site.internapcdn.net/newman/gfx/news/hires/2009/reptile\\_hearts2\\_h.jpg](https://3c1703fe8d.site.internapcdn.net/newman/gfx/news/hires/2009/reptile_hearts2_h.jpg)

<sup>39</sup>[https://lh5.googleusercontent.com/-XJRXrWf2TU/TYGJgLV\\_QFI/AAAAAAAAAIM/DzGA\\_uEoyOo/s1600/PlanarianPronephr.jpg](https://lh5.googleusercontent.com/-XJRXrWf2TU/TYGJgLV_QFI/AAAAAAAAAIM/DzGA_uEoyOo/s1600/PlanarianPronephr.jpg)

<sup>40</sup><http://files.maturitazbiologie2.webnode.sk/200000044-7eeb57fe4b/metanefridie.jpg>

<sup>41</sup><https://textimgs.s3.amazonaws.com/boundless-biology/figure-41-02-03.jpe>

<sup>42</sup>[http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch44/44\\_12MalpighianTubules\\_L.jpg](http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch44/44_12MalpighianTubules_L.jpg)

<sup>43</sup>[http://media.discovery.lifemaps.com/pub/uploadedFiles/images/Stages\\_in\\_Kidney\\_Development\\_Pronephros\\_Mesonephros\\_and\\_Metanephros.png](http://media.discovery.lifemaps.com/pub/uploadedFiles/images/Stages_in_Kidney_Development_Pronephros_Mesonephros_and_Metanephros.png)

<sup>44</sup><https://www.techmed.sk/glomerulonefritidy/oblicka.jpg>

<sup>45</sup><https://media1.britannica.com/eb-media/00/93200-004-59D92E04.jpg>

<sup>46</sup><https://thesalience.files.wordpress.com/2013/05/picture6.png>

<sup>47</sup>[http://media.istockphoto.com/photos/vervet-monkey-chlorocebus-pygerythrus-picture-id93214254?k=6&m=93214254&s=612x612&w=0&h=OXo-\\_b78hF8JErYSEbDDSxDiAFgW5\\_xuBfts-VkqbXA=](http://media.istockphoto.com/photos/vervet-monkey-chlorocebus-pygerythrus-picture-id93214254?k=6&m=93214254&s=612x612&w=0&h=OXo-_b78hF8JErYSEbDDSxDiAFgW5_xuBfts-VkqbXA=)

<sup>48</sup>[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Birds\\_Illustrated\\_Canada\\_Goose\\_white\\_background.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Birds_Illustrated_Canada_Goose_white_background.jpg)

<sup>49</sup><https://i.ytimg.com/vi/5gC438crLVY/maxresdefault.jpg>

<sup>50</sup><https://images2.onionstatic.com/clickhole/3456/8/original/600.jpg>

<sup>51</sup><https://www.immunology.org/sites/default/files/sites/default/files/images/content-types/60-day-tiles/cod%20fish.jpg>

<sup>52</sup><http://www.bio.miami.edu/~cmallery/150/neuro/c7.49.12.lateral.line.jpg>

<sup>53</sup><http://www.audiologyspecialists.com/UploadedFiles/Images/anatomy-of-ear.jpg>

<sup>54</sup>[http://images.slideplayer.com/25/7680210/slides/slide\\_31.jpg](http://images.slideplayer.com/25/7680210/slides/slide_31.jpg)

<sup>55</sup><http://lifeunseen.com/wp-content/uploads/2014/08/Scaptia-sp.-poss-auriflua-1-ChrchllNP260114-3.jpg>

<sup>56</sup><http://www.lifezilla.net/wp-content/uploads/2016/06/Anatomy-of-the-eye.jpg>

<sup>57</sup>[https://www.researchgate.net/profile/Miranda\\_Whitten/publication/6656799/figure/fig2/AS:277825450987543@1443250157694/fig-2-A-comprehensive-scheme-of-the-influence-of-neuroendocrine-control-of-Rhodnius.png](https://www.researchgate.net/profile/Miranda_Whitten/publication/6656799/figure/fig2/AS:277825450987543@1443250157694/fig-2-A-comprehensive-scheme-of-the-influence-of-neuroendocrine-control-of-Rhodnius.png)

- <sup>58</sup><http://ziva.avcr.cz/img/ziva/art2/lrg/hormony-a-hormonalni-rizeni-antistresove-odpovedi.jpg>
- <sup>59</sup><https://image.slidesharecdn.com/chapter019-110713101151-phpapp01/95/19-avian-anatomy-and-physiology-51-728.jpg?cb=1310553023>
- <sup>60</sup>[http://www.merckvetmanual.com/-/media/manual/veterinary/images/ddc\\_cat\\_endocrine\\_glands.gif?la=en&thn=0](http://www.merckvetmanual.com/-/media/manual/veterinary/images/ddc_cat_endocrine_glands.gif?la=en&thn=0)
- <sup>61</sup>[http://www.merckvetmanual.com/-/media/manual/veterinary/images/ddd\\_dog\\_endocrine\\_glands.gif?la=en&thn=0](http://www.merckvetmanual.com/-/media/manual/veterinary/images/ddd_dog_endocrine_glands.gif?la=en&thn=0)
- <sup>62</sup>[http://3.bp.blogspot.com/-OjWnVW3\\_gHQ/URoE7-7aAOI/AAAAAAAAABC8/67xtICpCk1g/s1600/Endocrine+system+of+animals.gif](http://3.bp.blogspot.com/-OjWnVW3_gHQ/URoE7-7aAOI/AAAAAAAAABC8/67xtICpCk1g/s1600/Endocrine+system+of+animals.gif)
- <sup>63</sup><https://previews.123rf.com/images/designua/designua1606/designua160600002/59001654-Endocrine-gland-and-hormones-Human-endocrine-system-anatomy-Human-silhouette-with-highlighted-red-co-Stock-Vector.jpg>
- <sup>64</sup>[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Cheiracanthium\\_mildei\\_male.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Cheiracanthium_mildei_male.jpg)
- <sup>65</sup><https://askentomologists.files.wordpress.com/2015/09/bee-penis.jpg>
- <sup>66</sup><http://rybolovnorsko.cz/user-gallery/poltergeist/1311356926.jpg>
- <sup>67</sup><https://www.ou.edu/schlupp/gim/lptnmgon2.jpg>
- <sup>68</sup><http://www.californiaherps.com/frogs/images/atruaidnmg3153.jpg>
- <sup>69</sup><http://www.sjonhauser.nl/wp-content/uploads/2011/08/aa-Sibynophis-04a.jpg>
- <sup>70</sup><http://i.imgur.com/paH3YXr.jpg>
- <sup>71</sup>[http://static.thefrisky.com/uploads/2011/08/09/killer\\_whale\\_penis.jpg](http://static.thefrisky.com/uploads/2011/08/09/killer_whale_penis.jpg)