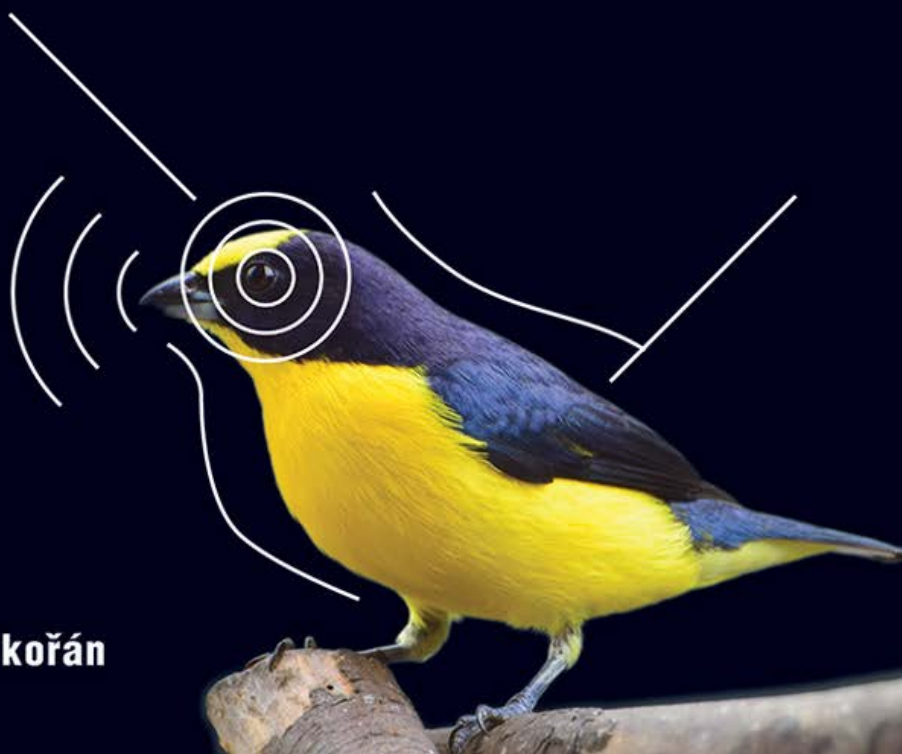


Jaroslav Petr

DESATERO SMYSLŮ

Jak lidé a zvířata vnímají okolní svět



argo / dokořán

Jaroslav Petr

DESATERO O SMYSLŮ

Jak lidé a zvířata vnímají okolní svět

ARGO / DOKOŘÁN

Jaroslav Petr

DESATERO SMYSLŮ

Jak lidé a zvířata vnímají okolní svět

Copyright © Jaroslav Petr, 2021

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).

Odpovědný redaktor Marek Pečenka.

Redakce Alžběta Knappová.

Obálka, sazba podle návrhu Pavla Růta

a konverze do elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2021 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 1107. publikaci (357. elektronická).

ISBN 978-80-7675-014-2

OBSAH

Úvod	9
Zrak	13
Sluch	51
Echolokace	91
Chuť	105
Čich	127
Feromony	157
Hmat a další opomíjené smysly	179
Orientace	219
Magnetorecepce	233
Smysl pro elektrické pole	249
Přehled použité literatury	261
Rejstřík	295

*Věnováno Toníkovi a Rostovi s přáním,
aby je nikdy nepřestalo bavit
odhalování tajů světa všemi smysly.*

ÚVOD

Za všechno, co víme a umíme, vděčíme svým smyslům. Vedle znalostí budících respekt, jako je výpočet diferenciální rovnice nebo transplantace srdce, nám přinášejí i bezpočet vjemů, které bereme jako samozřejmost, i když jsou ve své podstatě stejně úžasné jako vyšší matematika či kardiochirurgie. Pryskyřičná vůně linoucí se z borového lesa za prosluněného letního dne. Příjemná hořkost doušku čaje z hrnečku svíraného ve zkřehlých dlaních. Svěží zeleň lístků deroucích se z pupenu na větvičce břízy. Tlukot slavíka zaznívající z rákosin na břehu rybníka. Navlhlá měkkost mechu pokrývajícího kameny u potoka. To všechno nám předkládá „velká pětka“ smyslů tvořená zrakem, sluchem, čichem, chutí a hmatem.

Živočichové toho vnímají mnohem více než lidé. Soví uši nabízejí poslech v prostorovém provedení, před kterým blednou i ty nejmodernější zvukové aparatury. Hlubinné ryby si prohlížejí okolí v pestrých barvách, i když člověk si v temnotě oceánu bez umělého světla nevidí ani na špičku nosu. Madagaskarští lemuři si sdělují rodinné novinky tělesnými pachy a americký krtek se světem prohmatává pomocí dvaadvaceti prstíků, které si proti všem zvyklostem nenese na končetinách, ale na nose. Broukovi vrubounovi kutálejícímu kulíčku z trusu ukazuje správný kurz pás Mléčné dráhy protínající noční oblohu.

Svět však nevnímáme jen „velkou pětkou“ smyslů. Pokud bychom se opravdu snažili, napočítali bychom smyslů i několik desítek. Vnímáme bolest, chlad i horko. Smysl označovaný česky jako polohocit nám dává jistotu, že i když se probudíme uprostřed temné noci, okamžitě víme, jestli máme ruce u těla, nebo jsme se jimi roztáhli přes celou postel. Vjemy z těchto smyslů bereme s ještě větší samozřejmostí, než s jakou přijímáme dary „velké pětky“. O to hůře pak neseme, když nás některý z těchto podceňovaných smyslů nechá na holičkách.

Zvířatům jsou mnohé z našich smyslových vjemů cizí. Jeskynní ryby jsou slepé, delfínům zbyla z chutí pouze slaná a kyselá a včely registrují ve srovnání s člověkem jen třetinové spektrum pachů a vůní. Na druhé straně však živočichové disponují dovednostmi, které jim můžeme jen závidět. Paúhoři si zahrávali s elektrickými výboji dávno před italským fyzikem Voltou. Mořským želvám ukazuje cestu při transoceánských plavbách vnitřní kompas. Včely hravě zjistí, že někde blízko jejich družka tasila žihadlo, a je to pro ně

signál k mobilizaci před blížícím se nebezpečím. Mnohá zvířata využívají smysly s překvapivou rafinovaností. Americký sysel odpuzuje nepřátele tím, že se navoní pachem chřestýše.

Z překvapení nevycházíme ani nad výkony pětice základních smyslů. Jak je například možné, že sépie navzájem komunikují barevnými změnami kůže, když jsou barvoslepé? Jak zjistí ptáci lesňáčci blízcí se živelní pohromu s předstihem, který jim umožní prchnout před katastrofou stovky kilometrů daleko? Cítí hroch něco přes svou pět centimetrů tlustou kůži? Jak najde motýl *danaus* stěhovavý cestu z rodiště v jižní Kanadě na mexická zimoviště, když tuto cestu naposled v celku absolvovali jeho pradědečkové a prababičky? A kdo by čekal, že čichat umí i srdce a že mícha má své vlastní chutě?

Homo sapiens čili člověk moudrý si smysly „prodloužil“ a zpřístupnil si místa, která zůstávala pro dlouhé generace našich předků *terra incognita*. Prostřednictvím Hubbleova vesmírného teleskopu jsme nahlédli do nejvzdálenějších hlubin vesmíru. Taje subatomárního světa nám odhaluje obří urychlovač částic zbudovaný na pomezí Švýcarska a Francie. Lidským smyslům jsme moderními technikami zpřístupnili dokonce i dění v nejkomplicovanější hmotě, jakou jsme zatím ve vesmíru našli, tedy v lidském mozku.

K vzestupu člověka a vzniku lidské civilizace významně přispěla „konzervace“ smyslových vjemů. Řeč, jako jeden z nejúžasnějších lidských vynálezů, zprostředkovává vjemy, které se odehrály bůhví kdy a kde. Zvířata žijí přítomností. Lidé si však zážitky vyprávěním předávali z pokolení na pokolení a také je hromadili. Objev písma „konzervaci“ vjemů pozvedl na novou úroveň. Dnes ukládáme obrovské objemy dat na servery počítačů a zažehli jsme informační explozi. Do roku 1900 potřebovalo lidstvo na zdvojnásobení objemu všech znalostí zhruba jedno století. Od roku 1950 jsme ke stejnému nárůstu znalostí docházeli každých 25 let. Počínaje rokem 2006 už nám k tomu stačí pouhých 13 měsíců. A daleko prý není doba, kdy se objem dat nashromážděných lidstvem zdvojnásobí každých 12 hodin.

Mnohem dál než v získávání informací „prodloužením“ smyslových orgánů a „konzervací“ smyslových vjemů jsme zašli v „krmení“ svých smyslů. Náš zrak, sluch, čich, chuť či hmat nejsou lepší, než byly smysly prvních lidí *Homo sapiens* žijících v Africe před 300 000 lety. Vládneme však podstatně účinnějšími prostředky pro zásobování smyslů vjemy. Po tisíciletí jsme je „přikrmovali“ uměním, Shakespearovými dramaty, fugami Johanna Sebastiana Bacha nebo plátny Vincenta van Gogha. Dnes dominuje menu pro lidské smysly produkce zábavního průmyslu a obsah sociálních sítí. Smyslovými vjemy jsme přehlceni. A nešetříme ani živočichy. Smyslové vnímání jim svými aktivitami komplikujeme. Tažným ptákům putujícím v noci jsme zamotali hlavy, když jsme hvězdy na obloze přesvítili září lidských sídel. Přízemní ozón znečišťující

ovzduší odbourává chemickými reakcemi molekuly tvořící vůni květů a zne-
snadňuje včelám a čmelákům pátrání po pylu a nektaru. Samice žab v rybníce
u rušné silnice už v hluku projíždějících automobilů neslyší kvákání žabáků.

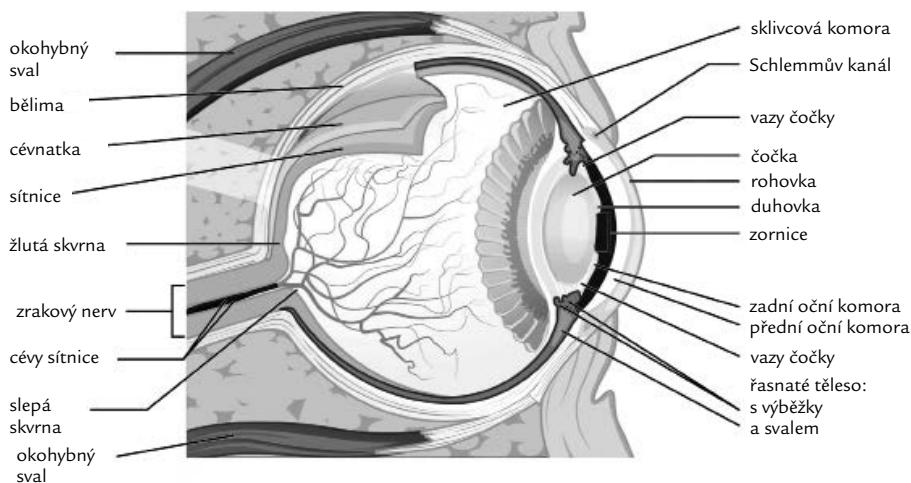
Není na čase se zastavit a zamyslet se nad tím, k čemu byly naše smysly mi-
liony let dlouhou evolucí předurčeny, a porovnat to s tím, k čemu je užíváme
nyní? Má zrak sloužit k tomu, abychom na sociálních sítích pásli po epizodách
ze života pochybných celebrit? Máme sluch na to, abychom ho zahlcovali ba-
nálním žvaněním, fámami a dezinformacemi? Vybavila nás příroda chutěmi
proto, abychom je zaměstnávali dalšími a dalšími porcemi pokrmů? Nehodí
se hmatové receptory v kůži našich prstů víc k pohlazení někoho blízkého,
než ke kochání se hebkostí kůže na sedačkách luxusního auta? Neměl by nás
čich varovat před stavem znečištěného ovzduší místo toho, aby se oddával de-
liriu nejrůznějších osvěžovačů vzduchu?

Svět smyslů a smyslových vjemů je úžasný i ve své prapůvodní prostotě.
Neodehrávají se tu bulvární skandály, a přesto tu není nouze o neuvěřitelné
příběhy plné lásky a sebeobětování, stejně jako úkladů, intrik a machiavelis-
tických manipulací. Tyto příběhy nabízejí příležitost k zamyšlení se nad tím,
k čemu všemu své smysly využijeme a čemu je už nepropůjčíme.

ZRAK

Oko má tak komplikovanou stavbu, že mu Charles Darwin ve svém přelomovém díle *O původu druhů* věnoval zvláštní pasáž. Slavný biolog se předem obával, že právě objasnění evoluce oka a zraku bude pro jeho teorii nepřijemně tvrdý oříšek. Na druhé straně byl Darwinův současník, německý fyzik a lékař Hermann von Helmholtz, trpce zklamán nevalnou kvalitou oka z hlediska optiky a došel k závěru, že tu příroda nijak skvělou práci neodvedla.

Ať už v oku vidíme evoluční brak, nebo naopak mistrovské dílo, nic to nemění na skutečnosti, že jeho prostřednictvím přijímáme informace o okolním



Oko člověka

V přední části kryje oko rohovka, za kterou se nacházejí oční komory vyplněné tekutinou, tzv. komorovou vodou. Mezi přední a zadní komorou se nachází duhovka, přes kterou otvorem zornice prochází světlo do nitra oka. Zornice se stahuje nebo roztahuje jako clona a reguluje množství světla vstupující do oka. Za zornicí prochází světlo čočkou. Ta je upnutá na řasnaté těleso, které tahem svých svalů mění tvar čočky a dovoluje nám zaostření obrazu na sítnici. Zadní strana oka je na vnější straně kryta bělímou, na kterou se upínají okohybné svaly. Pod bělímou se nachází cévnatka prostoupená tepénkami a žilkami zajišťujícími prokrvení oka. Cévy prostupují až do řasnatého tělesa, kde se z krve tvoří komorová voda. Ta se dostává do očních komor Schlemmovým kanálem. Na cévnatku nasedá sítnice se světločivnými buňkami. Z těch putují nervové vzruchy zrakovým nervem do mozku. Tam, kde zrakový nerv prostupuje sítnicí, chybí světločivné buňky a vzniká tzv. slepá skvrna. Nejvyšší nahromadění světločivných buněk se nachází v malé oblasti sítnice označované jako žlutá skvrna. Když dopadá světlo do žluté skvrny, vidíme nejostřeji.

Betts J. G. et al.: *Anatomy and physiology*. Houston: Rice University, 2017.

světě v neuvěřitelném množství i kvalitě. Zrak nám dovoluje rozlišit bezpočet tvarů a miliony barev a jejich odstínů. Vděčíme za to sítnici oka, která funguje jako jedinečný převodník, v němž se mění fotony světla na elektrický náboj. Elektrický stimul je následně zrakovým nervem odveden do mozku, kde na něj reagují podrážděním neurony zrakového centra.

Zrak nám nezprostředkovává jen přímo nabyté zkušenosti. Dovoluje nám čerpat ze zkušeností a myšlenek, které nasbíraly předchozí lidské generace a „zakonzervovaly“ je pro další pokolení. Díky tomu můžeme dnes číst Epos o Gilgamešovi vyrytý do hliněné tabulky babylónským písařem před bezmála čtyřmi tisíciletími. Můžeme si prohlížet z harddisku počítače vyvolané snímky povrchu Jupiterova měsíce Europa pořízené v roce 1996 kosmickou sondou Galileo. Zrak nám dovolí, abychom se potěšili Shakespearovým sonetem, filmovým westernem *Tenkrát na Západě* nebo malbami Šestatřicet pohledů na Fudži japonského mistra Kacušky Hokusaie. Za to všechno a mnohé další vděčíme zraku.

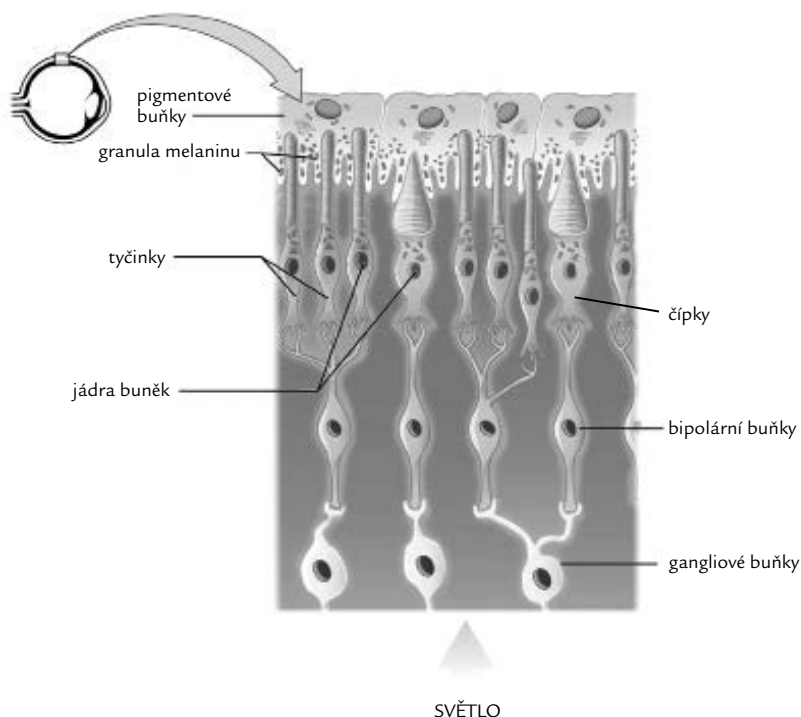
MISTŘI OSTRÉHO ZRAKU

Na vzdálenost tří kilometrů rozezná člověk s dobrým zrakem objekt velikosti lidské postavy. Ve tmě na stejnou vzdálenost rozliší, jestli auto svítí jedním, nebo dvěma reflektory. Orel skalní (*Aquila chrysaetos*) zahlédne na tři kilometry králíka příkrčeného k zemi. Proč máme oproti orlům tak chabý zrak?

Už zběžný pohled prozradí, že člověk má oči ve srovnání s orlem poměrně malé. Velké druhy orlů s hmotností kolem deseti kilogramů mají oko stejně velké jako urostlý muž, který měří bezmála dva metry. Největšíma očima se v poměru k rozměrům těla pyšní orel klínoocasý (*Aquila audax*). Tento australský dravec s třímetrovým rozpětím křídel váží až šest kilogramů. Jeho oko měří v průměru přes tři centimetry a v předozadním směru dokonce tři a půl centimetru. Větší oko má už jen africký pštros dvouprstý (*Struthio camelus*). Bezmála čtyřcentimetrové pštrosí oko předčí velikostí dokonce i mozek uložený v pštrosí lebce. V poměru k velikosti těla ale oko pštrosů nijak mimořádné není, protože tito ptáci často dorůstají výšky přes dva metry a hmotnosti přes sto kilogramů.

Zdatnost orlího zraku netkví jen ve velikosti oka. Zadní stěna oka dravců je znatelně zploštělá. Díky této inovaci se obraz vzdálených předmětů promítá orlovi na větší plochu sítnice, než když dopadá na kulovitou sítnici v oku člověka. Dravci mají navíc na sítnici nacpáno mnohem víc světločivných buněk. Zatímco sítnice lidského oka má na milimetru čtverečním asi 40 000 buněk reagujících na světlo, poštolce obecné (*Falco tinnunculus*) se jich na stejnou plochu vejde skoro dvakrát tolik. V místě, které zajišťuje nejostřejší obraz, se nám na jednom milimetru čtverečním tísňí kolem 200 000 světločivných

MISTŘI OSTRÉHO ZRAKU



Sítnice oka

V sítnici oka probíhají reakce, které převádějí energii světelného záření na nervový vzruch. Ten pak putuje zrakovým nervem do zrakových center mozku. Na vnějším okraji sítnice se nacházejí pigmentové buňky s granuly barviva melaninu. Tato granula pohlcují světlo a brání jeho odražení zpět do oka. Na pigmentované buňky nasedají světločivné buňky, které jsou v sítnici zastoupeny tyčinkami a čípkami. Tyčinky reagují na slabé světlo, ale nerozlišují barvy. Pomáhají nám vidět za zhoršených světelných podmínek. Čípky reagují odlišně na světlo různých vlnových délek a dovolí člověku rozlišit tři základní barvy – modrou, zelenou a červenou. Pro svou práci potřebují čípky intenzivní světlo.

Vzruchy vzniklé ve světločivných buňkách převádějí bipolární buňky do gangliových buněk, které pak tento vzruch svými výběžky předají do zrakového nervu.

Betts J. G. et al.: *Anatomy and physiology*. Houston: Rice University, 2017.

buněk. Orel jich má v milimetru čtverečním této tzv. žluté skvrny kolem jednoho milionu. Rozdíl mezi lidskou a orlí sítnicí můžeme přirovnat k zrnitému obrazu na monitoru starého televizního přijímače a vysokému rozlišení obřích moderních obrazovek.

Ani teď ale nejsme ve výčtu evolučních zlepšováků oka dravců u konce. Lidské oko obdařila příroda jen jednou žlutou skvrnou o průměru asi pěti milimetrů. K ptákům byla mnohem štedřejší. Některým opeřencům dala do vínku protáhlou žlutou skvrnu, díky které pták vidí ostře celý obzor, a nikoli jen jeho malý výsek. Na sítnici dravců se nacházejí hned dvě žluté skvrny spojené pásem hustě nahloučených světločivných buněk.

Mezi ptáky jsou dravci výjimeční i tím, že mají podobně jako člověk trojrozměrné tzv. binokulární vidění. Oči mají otočené dopředu a jejich zorná

pole se velkou měrou překrývají. To dovoluje dravcům „obejmout“ předměty zrakem a vnímat je prostorově. Významný je tento efekt pro přesný odhad vzdálenosti. Pro sokola stěhovavého (*Falco peregrinus*) útočícího střemhlavým letem rychlostí 380 kilometrů v hodině na holuba letícího rychlostí kolem 140 kilometrů v hodině je to přímo nutnost. Velmi dobré binokulární vidění mají také sovy (*Strigiformes*). Mezi hady těží z této vymoženosti např. tropické bičovky (*Ahaetulla*).

Binokulárním viděním příroda rozhodně neplýtvá. Mezi bezobratlými se jím mohou pyšnit jen kudlanky (*Mantodea*). Ty však vnímají trojrozměrně pouze pohyblivé cíle. Pokud se cíl nepohybuje, kudlanka ho vidí „placatě“. Bohatě jí to stačí, protože ji ze všeho nejvíc zajímá kořist, a ta bývá pohyblivá. Statické objekty, jako jsou kamínky nebo větvičky, se obvykle k jídlu nehodí, a kudlanka proto na hodnocení jejich obrazu neplýtvá silně omezenou kapacitou svého nervového systému.

Za obrácení očí dopředu a překrývání jejich zorných polí platí živočichové zúžením celkového zorného pole. Proto si prostorové vidění nemohou dovolit obratlovci žijící v neustálém ohrožení. Atak vedený ze „slepého úhlu“ by je mohl stát život. Tito tvorové mají oči po stranách hlavy a každým okem si hlídají polovinu prostoru kolem sebe. Zatímco při prostorovém vidění musí obě oči svůj pohyb při sledování cíle vzájemně koordinovat, tvorové, kteří vystačí s plošným obrazem, pohybují každým okem nezávisle, a nejednou proto vypadají, jako kdyby silně šilhali.

Za skutečné mistry v šilhání platí chameleoni (*Chamaeleoninae*). Dokážou sledovat každým okem nezávisle něco jiného. Když je ale potřeba, umějí práci obou očí zkoordinovat. V tomto umění za nimi nezaostávají ani někteří ptáci. U opeřenců někdy vede šilhání do všech stran k tomu, že pro určité úlohy přednostně využívají jen jedno oko. Například samci brodivých ptáků pisil čáponohých (*Himantopus himantopus*) se s větší chutí dvoří samičkám, které vidí levým okem. Sokol stěhovavý se přibližuje k vyhlídnuté kořisti tak, aby ji měl pod kontrolou pravého oka. Vrány kaledonské (*Corvus moneduloides*) patří k rozeným ptačím kutilům. Můžeme je zastihnout např. při výrobě jednoduchých nástrojů z větviček nebo když s nimi následně dobývají hmyz ze škvír. Používají k tomu své „oblíbené“ oko. Některé vrány preferují pravé oko, jiné zase upřednostňují levé. Poměr mezi očními „praváky“ a „leváky“ je v populaci vran novokaledonských zhruba vyrovnaný.

Protože je levé oko ovládáno pravou polovinou mozku a naopak, umožní preference jednoho oka odpovídající mozkové hemisféře, aby se specializovala na zvládání úkolů náročných na kontrolu zrakem. Ptáci pak dosahují v dané činnosti vyššího mistrovství, než kdyby zaměstnávali obě oči stejně.

Rozdíly v ostrosti zraku mezi jednotlivými příslušníky živočišné říše jsou

VÝHODY ROZMAZANÉHO VIDĚNÍ

propastné. Pokud budeme kvalitu zraku měřit počtem „řádek“, které oko daného tvora rozliší pod zorným úhlem jednoho obloukového stupně, pak ostrozrací draví ptáci, jako je orel klínoocasý, rozliší kolem 150 řádků na obloukový stupeň. Člověk se zdravým zrakem jich odliší kolem šedesáti. Pokud se nám obraz rozmaže natolik, že odlišíme méně než deset řádků na obloukový stupeň, jsme prakticky slepí. Pro kočku (*Felis silvestris f. catus*) je ale taková ostrost zraku naprosto normální. Většina hmyzu vidí opravdu mizerně a rozliší nejvýše jeden řádek na stupeň. Korýši (*Crustacea*) vidí ještě hůř. Rozliší jeden řádek, jen když jim v zorném poli zabírá alespoň deset úhlových stupňů.

Velké rozdíly v ostrosti zraku různých živočichů dokázali využít někteří pavouci křížáci (*Araneoidea*). Většinou do svých sítí tzv. stabilimentum z bílých vláken vytvářejících nápadný kříž. O účelu téhle „ozdoby“ se vědci dlouho přeli, protože se jim zdálo nelogické, aby pavouci výstražným znamením upozorňovali potenciální kořist na nastraženou síť. Modelování zraku různých tvorů však odhalilo, že letící moucha domácí (*Musca domestica*) stabilimentum nevidí, ani když se mu přiblíží na dvacet centimetrů a pavouk trůní přímo uprostřed kříže. Šídlo *Anax junius* ale zahlédne kontury stabilimenta na vzdálenost jednoho metru a z dvaceti centimetrů už ho vidí zcela zřetelně. Má tedy čas se sítí vyhnout. Pro pavouka je to důležité, protože šídlo pro něj představuje příliš velké sousto. Síť by takovou kořist nezadržela a náraz letícího hmyzu by ji těžce poškodil. Podobně vidí stabilimentum už na vzdálenost několika metrů ptáci. I oni mají dost času na to, aby se takové překážce za letu vyhnuli, a ušetří tak pavoukovi práci s rozsáhlou rekonstrukcí poničené sítě.

VÝHODY ROZMAZANÉHO VIDĚNÍ

Navzdory všem zjevným výhodám ostrého zraku můžeme v přírodě potkat živočichy, kteří vidí překvapivě rozmazaně, a přitom je pro ně zrak životně důležitý. Jedním z nich je skákavka skleníková (*Hasarius adansoni*). Jak jméno tohoto asi sedm milimetrů dlouhého pavouka napovídá, loví různý hmyz dlouhým skokem na nic netušící kořist. Zvládá výpady dlouhé i několik centimetrů a zjevně musí mít perfektní smysl pro odhad vzdálenosti.

Člověk odhadne správně vzdálenosti kromě jiného i díky tomu, že se mu překrývají zorná pole obou očí a vidí prostorově. Stejný optický trik prostoroového vidění využívají i další savci a někteří ptáci. Vzdálenost se však dá poměrně spolehlivě odhadnout i v případech, že si lovec prohlíží kořist jen jedním okem. Umí to třeba chameleoni. Ti mění zaostření oka tak, aby se kořist dostávala střídavě do ohniska a pak zase mimo. Chvíli ji vidí ostře a chvíli zase rozmazaně. Chameleon tak bezpečně pozná vzdálenost, na jakou se musí přiblížit ke kořisti, aby na ni mohl vystřelit svůj dlouhý „teleskopický“ jazyk.

Skákavka skleníková na to jde jinak. Dopředu se dívá hned čtyřma očima. Prostřední pár očí má trubicovitý tvar a je zatažen hluboko do nitra pavoučího těla. Zorné pole je velmi úzké, což skákavka kompenzuje velkou pohyblivostí těchto zrakových orgánů. Speciálními svaly zamíří skákavka oko žadáním směrem. Hlavní pár očí tak nabízí skákavce podobný pohled, jako když si člověk ve tmě svítí baterkou. Vidí z okolí jen malou osvětlenou část, ale pohybem kuželu světla z baterky může libovolně pátrat na všechny strany. Postranní oči mají podstatně jednodušší stavbu a jsou vysoce citlivé na jakýkoli pohyb. Právě s pomocí těchto očí skákavka zjišťuje, kam má upřít zrak párem hlavních očí.

Zorná pole středového páru očí skákavek se nepřekrývají tak jako u prostorově vidících savců nebo ptáků. Jak tedy odhaduje vzdálenost pro skoky na kořist? Sítnice očí skákavky skleníkové má světločivné buňky uspořádané hned do čtyř vrstev. Druhá nejhlubší vrstva je citlivá jen na zelené světlo. Přitom ale zelená část světelného spektra není na této vrstvě zaostřená a obraz je proto rozmazaný. Jak se pavouk blíží ke kořisti, vidí ji v zelené části světla stále rozmazanější. A právě podle toho odhadne vzdálenost a při skoku se strefí.

Tento zcela unikátní systém pro odhad vzdálenosti mají všichni pavouci skákavky. My si ho můžeme přiblížit pohledem na fotografii s ostrým popředím a rozmazaným pozadím. Stačí nám na ni jen mrknout a je nám hned jasné, že ostrý objekt a rozmazané pozadí se nenacházejí od objektivu ve stejné vzdálenosti. Tím však naše dovednosti končí. Nikdo nedokáže přesně určit, jak daleko je ostrý předmět v popředí od rozmazaných předmětů v pozadí.

Měření vzdálenosti rozostřeným zrakem využívá při lovu také oliheň *Sepioteuthis lessoniana*. Ta upoutala vědce prapodivným chováním. Loví u srázů korálových útesů, kde si vybírá kořist mezi rybami, kraby a dalšími obyvateli tohoto neuvěřitelně pestrého světa. Potlouká se kolem skalisek, a jakmile narazí na potenciální kořist, začne se pohupovat na místě. Chvilku stoupá k hladině a vzápětí zamíří zpět do hlubin. Jako na gumě poskakuje v průzračné vodě a zcela jistě je díky tomu nápadnější, než kdyby se nehnutě vznášela na jednom místě. Je to zjevně poněkud neopatrné jednání. Oliheň se však bez něj neobejde, protože si „poskakováním“ vyměřuje finální atak a odhaduje, jak je od oběti daleko. Její oko má na zadní stěně oční komory světločivnou sítnici podobně jako člověk. K oku olihně však ze zadu těsně přiléhá nervová uzlina, která na sítnici silně tlačí a vytváří na ní jakousi bouli. V oku „poskakující“ olihně se promítá obraz cíle útoku na sítnici a přechází i přes bouli, kde se rozostří. Oliheň tak vidí obraz kořisti střídavě ostrý a rozmazaný. Podobně jako skákavky z toho dokáže přesně určit vzdálenost, jakou musí překonat při ataku.

OKO Z MINERÁLŮ

Měkkýš chroustnatka zrnitá (*Acanthopleura granulata*) žije v přílivové zóně při pobřeží Karibského moře. Měkké tělo jí chrání schránka složená z osmi velmi tvrdých a pevných štítků. Základ materiálu tohoto brnění tvoří organický chitin a nerost aragonit. Chroustnatka žije pod vypouklou schránkou jako pod pokličkou. Dokáže se přimknout k podkladu a pevně se k němu přisát.

Mohlo by se zdát, že se chroustnatka z bezpečí své pancéřované schránky o okolní dění příliš nezajímá. Ani po potravě se nemusí nijak zvláště rozhlížet. Svalnatým jazykem opatřeným několika řadami extrémně tvrdých zubů se škrabává z povrchu kamenů vrstvičky mikroorganismů. K tomu, aby se nasytila, jí stačí pomalíčku lézt z místa na místo a „olizovat“ kamení pod sebou. Přesto chroustnatka okolí vnímá. A kupodivu kvůli tomu nemusí vykouknout ze svého bezpečného úkrytu. Svět sleduje stovkami očí velmi nenápadné, ale o to důmyslnější konstrukce.

Těsně pod schránkou skrývá tento živočich na mnoha místech těla malá políčka tvořená světločivnými buňkami. Vypadá to, jako kdyby měla chroustnatka po těle rozetou spoustu miniaturních očních sític překrytých pevnou schránkou. Může jimi vůbec vidět? Ano, může. A také se jejich prostřednictvím dívá. Ve štítcích schránky mají chroustnatky vsazena průhledná okénka o průměru necelé desetiný milimetru tvořená čirým minerálem. Mají dokonce vyklenutý tvar, takže fungují jako miniaturní čočky. „Okénka“ soustředí paprsky světla přímo na světločivné buňky.

Koordinují stovky miniaturních oček svou činnost a skládají své dílčí obrázky do jednoho obrazu? Kdepak. Každé očko pracuje zcela samostatně, nezávisle na druhých. Okénky ve schránce se nabízí chroustnatce série pohledů do okolí, podobně jako když ostraha banky sleduje nejrůznější místa budovy na panelu obrazovek napojených na systém bezpečnostních kamer.

Čočky zasazené do schránky chroustnatky jsou z optického hlediska překvapivě kvalitní. Rozlišovací schopnost jednotlivých políček světločivných buněk je ale z hlediska lidských nároků na vidění naprosto nedostatečná. Každé políčko je tvořeno zhruba stovkou těchto buněk a jednotlivá oka nabízejí podobně hrubý obraz, jako kdybychom si my okolní svět zobrazili různými odstíny šedi na desetkrát deseti políčkách. Je jasné, že takovými očima bychom se jen těžko kochali pohledem na tajemný úsměv da Vinciho Mony Lisy.

Chroustnatkám hrubý obraz generovaný „minerálním okem“ bohatě stačí. Jejich život běží loudavým tempem. Po vlhkém kamení příbojové zóny se přemisťují šnečí rychlostí. I kdyby měly ostříží zrak, nebyl by jim mnoho platný, protože v moři neexistuje mnoho tvorů tak pomalých, aby před nimi chroustnatka stačila včas prchnout. Její obranná strategie je založena na tom, že se pevně přichytí podkladu a přitiskne k němu okraje schránky. Pak je pro

každého nepřítele těžké chroustnatku od podkladu odtrhnout a zaútočit na měkkou spodní stranu jejího těla.

Stovky oček rozmístěných po povrchu schránky hlídají celý prostor nad chroustnatkou. Pokud se nad živočichem „setmí“, protože na něj dopadne stín jiného tvora, stačí, aby se přimkl ke kameni. Zrak chroustnatek je „nerozbitný“. Když se nějaké očko nenávratně poškodí, obranyschopnost to nijak zvlášť nepostihne. Okolní očka práci ztraceného zrakového orgánu převzou. Záhadou zůstává, jak chroustnatka informace získané prostřednictvím stovek očí nakonec zpracuje a vyhodnotí. Má totiž velmi primitivní nervový systém, který se zdá pro zvládnutí takového úkolu naprosto nedostatečný.

SVĚT BAREV

Sluneční záření dopadající na zemský povrch má různé kmitočty. Člověk a většina savců z něj vnímají jen poměrně úzký výsek. Naše oko zachytí záření s vlnovou délkou od 390 do 770 nanometrů (1 nanometr je miliardtina metru). Ultrafialové záření s ještě kratšími vlnami ani delší vlny infračerveného záření za normálních okolností nevidíme.

Sítnice oka člověka a spolu s ní i sítnice většiny obratlovců je uzpůsobena k vnímání světla prostřednictvím dvou typů buněk. Silné světlo aktivuje světločivné buňky označované jako čípky. Ty jsou u mnoha živočichů zodpovědné i za vnímání barev. Za zhoršených světelných podmínek přicházejí ke slovu tyčinky reagující na kontrast.

Funkce oka, sítnice a světločivných buněk závisí na souhře dvou základních molekul. První vzniká modifikací pigmentů karotenoidů, které se nacházejí ve velkém množství v rostlinách. Živočichové je obvykle přijímají s potravou. Býložravci konzumují karotenoidy přímo z jejich rostlinného zdroje. Masožravci je získávají zprostředkovaně z těla své kořisti. Druhou základní komponentou nutnou pro vidění je bílkovina opsín. Modifikovaný karotenoid se váže na opsín a vytváří tak základní komponentu pro zachycení světla. Pokud na ni dopadne foton, mění se nejprve tvar modifikovaného karotenoidu a následně i prostorové uspořádání opsínu, který je pevně zabudován do membrán světločivných buněk. V reakci na změnu tvaru molekuly opsínu se aktivuje světločivná buňka. Opsínů je v oku hned několik typů a každý je připravený pro vnímání světla určité vlnové délky – tedy barvy.

Lidské oko je vybaveno pro zachycení modré, zelené a červené barvy. Kombinací těchto vjemů pak vnímáme další barvy a jejich odstíny. Když se například díváme na žlutou barvu květu pampelišky, dostává náš mozek silné podněty z buněk sítnice reagujících na červenou a zelenou složku světla.