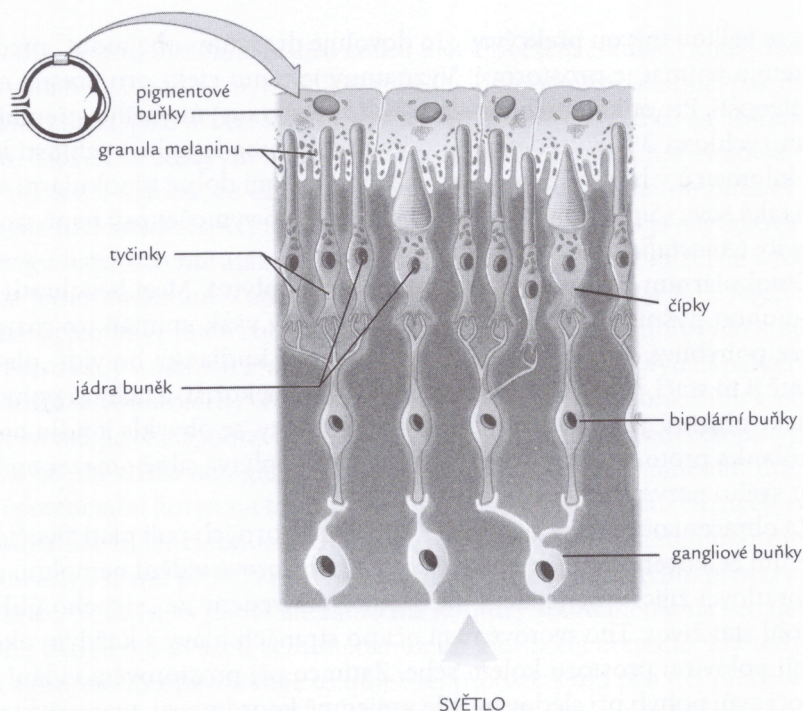


MISTŘI OSTRÉHO ZRAKU

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 přikrčeného 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 tyto 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 tisíci kolem 200 000 světločivných



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 vínků 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 těžší 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.

Rozdíl 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*). Vetkávají 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 síti 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.

ZRAK

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 převezmou. 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 opsin. Modifikovaný karotenoid se váže na opsin a vytváří tak základní komponentu pro zachycení světla. Pokud na ni dopadne foton, mění se nejprve tvar modifikovaného karotenoidu a následně i prostorové uspořádání opsinu, který je pevně zabudován do membrán světločivných buněk. V reakci na změnu tvaru molekuly opsinu se aktivuje světločivná buňka. Opsinů 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.

VÝHODY BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Naopak, buňky citlivé na modré světlo reagují jen velmi slabě. Náš mozek řeší „barevnou“ rovnici:

hodně červené + hodně zelené + málo modré = X.

A kalkulaci dospěje k výsledku:

X = žlutá.

Teprve nedávno se ukázalo, že na barvy reaguje jen malá část světločivných buněk, které jsou k tomu v sítnici předurčeny. Plné dvě třetiny buněk z výbavy pro barevné vidění posílají do mozku „černobílý“ signál. Nebarevné vidění je pro nás zjevně mnohem důležitější, protože jeho prostřednictvím získáváme informace o obrysech a tvarech. Dovoluje nám například při přecházení rušné silnice rozlišit přijíždějící automobil od nedaleko zaparkovaného vozidla. Fakt, zda je přijíždějící auto červené nebo zelené, je ve srovnání s rizikem, že nás přehlédnutý vůz přejede, zcela podružný. Odlišení zelené a červené samozřejmě nabývá na důležitosti, když sbíráme jahody a potřebujeme vybírat jen plně dozrálé plody. Tuto informaci nám však v sítnici oka spolehlivě zajistí i malý počet buněk, jež se rozlišení obou barev ujmou.

Barvy pro nás přesto mají velký význam. Jejich prostřednictvím vnímáme některé detaily prostorového upořádání okolí a lépe pak koordinujeme své pohyby a aktivity. Barvy nás také varují před riziky. Nejedna nebezpečná živočich má pestré výstražné zbarvení. Jako varování působí žluto-černé pruhy sršňů (*Vespa*), černo-bíle pruhovaná jedovatá ryba s případným názvem perutýn pruhovaný (*Dendrochirus zebra*), černo-červené skvrny amerického ještěra korovce jedovatého (*Heloderma suspectum*) nebo barevně kontrastní oranžovo-černé zbarvení křídel amerického motýla danaa stěhovavého (*Danaus plexipus*).

- Pro více informací viz obr. Vlnové délky světla v barevné příloze.