

V študijah prehranjevalnih spletov se sicer poleg izotopov dušika in ogljika uporablja tudi izotope žvepla, kisika in vodika, a sta prva dva elementa daleč najpogostejša. Razlog za to je, da sta razmerji izotopov dušika in ogljika že sami po sebi zelo informativni, hkrati sta to elementa, ki sta v zadostni količini prisotna že pri zelo majhni masi tkiva in imata takšne kemijske lastnosti, da je analiza v primerjavi z drugimi enostavnejša. Razmerje izotopov ogljika nam pove, kakšne vire hrane živali izrabljajo, saj imajo živali zelo podoben »odtis« kot njihovi viri hrane; razmerje med lažjim in težjim izotopom ogljika je pri živalih in njihovi hrani skoraj enako. Drugače je pri razmerju stabilnih izotopov dušika, kjer pri prehodu med trofičnimi nivoji pride do obogatitve s težjim izotopom. Plenilci imajo tako več težjega izotopa dušika kot razkrojevalci. Stopnja obogatitve se sicer nekoliko razlikuje med živalskimi skupinami in glede na tkiva, ki jih analiziramo, a v splošnem velja, da je dokaj konstantna med posameznimi trofičnimi nivoji in lahko, kadar nimamo dovolj drugih podatkov, uporabljamo splošno široko uporabljano vrednost. Na podlagi razlike med osnovnimi viri hrane in živalmi lahko tako ocenimo trofični nivo in ugotovimo, ali se prehranjujejo kot razkrojevalci, plenilci ali celo kot plenilci drugega reda.

drugih vrst, lahko zaključimo, da so slepe postranice le del očitno zelo pestrih prehranjevalnih spletov. V mnogih jamah, kjer najdemo vrste slepih postranic, ki se prehranjujejo kot plenilci drugega reda, je prisoten tudi proteus, največji plenilec v podzemnih vodah Dinaridov. Ta potencialno doda še en trofični nivo, kar podaljša dolžino prehranjevalne verige na štiri člene – takšna prehranjevalna veriga pa je že povsem primerljiva s površinskimi ekosistemi.

Glede na obstoječo literaturo prehranjevalne verige v podzemnih vodah po svetu dosegajo dolžino do dveh ali treh trofičnih nivojev, pri čemer so daljše verige povezane s prisotnostjo primarnih proizva-

jalcev, kemoavtotrofov. Z rezultati naše študije lahko podzemne vode Dinaridov postavimo ob bok Edwardsovemu vodonosniku v Teksasu v ZDA, ki je zaenkrat edini sistem, v katerem so potrdili obstoj prehranjevalne verige s štirimi členi porabnikov.

Nedostopnost ekosistemov, zahtevnost vzorčenja in zahtevne ter dolgotrajne analize nedvomno doprinesejo k temu, da so tovrstne študije tako redke. Ravno zato je vsak prispevek o podzemnih prehranjevalnih verigah, pa čeprav predstavlja le majhen vpogled vanje, izjemno pomemben. Prehranjevalni spleti namreč zagotavljajo kroženje energije in hranil v ekosistemih. Če želimo dolgoročno ohranjati zdrava, neoporečna vodna okolja,

moramo poznati tudi člene prehranjevalnih verig in kroženje snovi v podzemlju, saj so ti neposredno povezani s površjem. Vemo, da lahko izginotje posameznih členov v prehranjevalnih spleteh povzroči nepopravljivo porušenje ravnovesja ter kopičenje organskih snovi, kar lahko vodi v onesnaženja in organske obremenitve tako podzemnih kot površinskih voda. Čeprav so očem skriti in jih večina ljudi nikoli ne sreča, imajo podzemni organizmi nezamenljivo vlogo v kroženju snovi v vodnih ekosistemih. Kakšno točno in kakšne trofične niše zasedajo druge vrste dinarskih podzemnih vodnih nevretenčarjev, pa ostajajo vprašanja za prihodnost. ✨

## Kako dobro vidijo delfini

Besedilo: Nik Lupše Foto: Društvo Morigenos

**Velika pliskavka je edina vrsta delfinov, ki jo redno srečujemo v slovenskem morju. Poleg njenega »nasmeha« – ki ni stvar čustvenega stanja, temveč zgolj hidrodinamike – je predvsem oko tisti del živali, ki ga ob pregledovanju fotografij glave najhitreje opazimo, pa čeprav ni nujno predmet našega proučevanja. Kako pa kiti in delfini pravzaprav vidijo?**

### KAKŠEN JE TIPIČEN VRETEŃČARSKI VID?

Vid temelji na zaznavanju ozkega dela elektromagnetnega spektra med približno 350 in 700 nanometri valovne dolžine in je primarno čutilo velike večine vretenčarskih vrst. Vidna informacija je pomembna za orientacijo v prostoru, za iskanje hrane, zavetja in potencialnih partnerjev, pa tudi za zaznavanje in izogibanje plenilcem. Ekološke potrebe organizmov, njihovi vedenjski vzorci, fiziološke potrebe ter njihova evolucijska



Oko, ki veliki pliskavki omogoča dober vid tako pod kot tudi nad gladino morja.

preteklost so privedli do ogromne raznolikosti tega čutila. Slednja je lahko očitna (velikost očesa, oblika leče in zenice) ali

pa se odraža na mikroskopskem, tudi molekularnem nivoju in temelji na izražanju različnih genov.



V globljih plasteh morja primanjkuje valovnih dolžin rdečega dela barvnega spektra, zato potapljaške obleke ne vidimo več rdeče.

Oko je organ, kjer se vidna zaznava začne. Svetloba v očesu najprej potuje skozi roženico in lečo do mrežnice, ki je med metabolno najbolj aktivnimi tkivi v telesu. V mrežnici so svetlobno občutljive čutne celice – fotoreceptorji, ki vpijejo (absorbirajo) del svetlobnega valovanja in ga pretvarjajo v električni odziv. Ta se obdeluje v več tipih živčnih celic mrežnice in nato preko vidnega živca prenese do vidnih centrov v možganih, kjer se »ustvari« slika vidnega. V membranah fotoreceptorskih celic se nahajajo posebne svetlobno občutljive beljakovine – opsini –, ki so zaslužne za zaznavanje svetlobne energije. Opsini se razlikujejo po spektralni občutljivosti – zmožnosti vpitja različnih valovnih dolžin svetlobe.

Vretenčarski fotoreceptorji so dveh vrst – čepnice in paličnice. Slednje so pri človeku okrog tisočkrat bolj občutljive od čepnic. Paličnice omogočajo vidno zaznavo v mraku – na primer ponoči ali globlje v vodnem stolpcu –, medtem ko čepnice služijo predvsem gledanju podnevi, najpogosteje pa se jih povezuje z barvnim vidom.

Barvni vid je sposobnost razločevanja spektralne sestave svetlobe neodvisno od njene jakosti. Človeški barvni vid temelji na treh razredih čepnic, ki jih glede na sestavo opsinske molekule ločimo v kratkovalovne (najbolj občutljive v modrem delu spektra), srednjevalovne (najbolj občutljive v zelenem delu) ter dolgovalovne čepnice z vrhom občutljivosti v rdečem delu spektra. Veliko drugih vrst vretenčarjev ima dodaten razred na UV-svetlobo občutljivih čepnic (*glej preglednico*). Električni odziv čepnic je odvisen od količine vpite svetlobne energije in ne vsebuje informacije o spektralni sestavi svetlobe. Kratkovalovna (»modra«) čepnica odgovori tudi na rdeči dražljaj, le da mora biti ta višje jakosti. Razlikovanje med valovnimi dolžinami in s tem ustvarjenje barvne slike nam omogoča šele primerjava signala med vsaj dvema različnima razredoma čepnic, ki sta različno občutljiva pri različnih valovnih dolžinah svetlobe. Barvne odtenke najbolje zaznavamo tam, kjer se občutljivost ene čepnice manjša, druge pa večja (pri človeku je to v delu spektra, ki ga zaznavamo kot rumeno).

Raznolikost čepnic v mrežnici vretenčarskega očesa (za »povprečnega predstavnika« skupine brez vključitve izjem) ter valovna dolžina svetlobe, pri kateri je učinkovitost (absorpcijska sposobnost) posameznih razredov čepnic največja.

Organizmi	Razred čepnic glede na svetlobo			
	UV	S (modra)	M (zeleno)	L (rdeča)
hrustančnice		X	X	X
kostnice	X	X	X	X
dvoživke	X	X		X
plazilci	X	X	X	X
ptice	X	X	X	X
zveri, kopitarji, opice novega sveta		X		X
človek in opice starega sveta		X	X	X
kiti in delfini				X
Valovna dolžina	347–383 nm	397–482 nm	452–537 nm	501–573 nm

Di-, tri-, tetrakromatnost: prisotnost dveh, treh, štirih razredov čepnic, ki omogoča zaznavo barv. Barvni prostor ima eno os pri dikromatih in dve pri trikromatih (pri človeku: zelena–rdeča, modra–rumena).

Monokromatnost: prisotnost zgolj enega razreda čepnic, ki ne omogoča barvnega vida, omogoča pa večji razpon svetlobnih jakosti, v katerih oko dobro deluje.

Akromatnost: odsotnost vseh razredov čepnic (na primer pri številnih vosatih kitih).

Barvna slepota pri človeku je največkrat posledica izpada funkcije enega razreda čepnic (rdečih: protanopija, zelenih: devteranopija, modrih: tritanopija). Akromatopsija je nedelovanje celotnega barvnega sistema pri človeku, največkrat je posledica okvare signalne verige, ki prizadene vse čepnice.

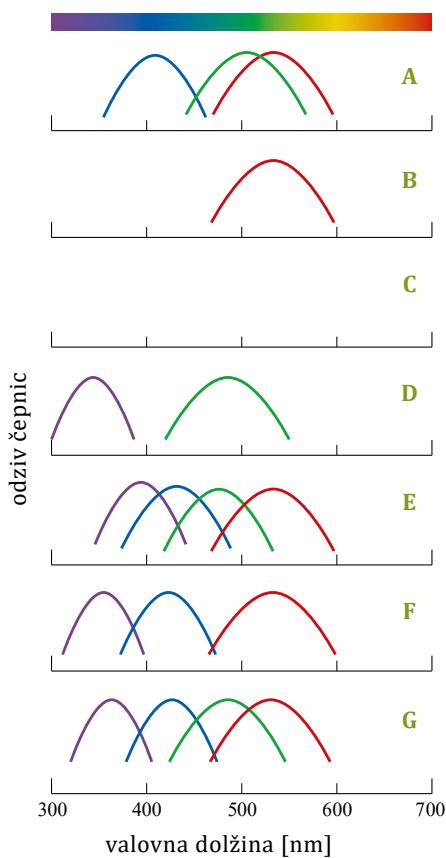
V bolj občutljivih paličnicah najdemo razred opsinov z vrhom občutljivosti v modro-zelenem delu spektra. Čeprav opsin paličnic omogočajo gledanje v temi, pa slednje niso aktivne zgolj v mraku – so stalno aktivne, vendar so lahko večino dneva zasičene (saturirane) in ne tvorijo uporabnega živčnega signala. Na primeru delfinov bomo v nadaljevanju videli, da lahko »črno bele« paličnice omogočajo barvni vid, »barvne« čepnice pa le stežka omogočijo kaj več od gledanja odtenkov sive.

#### VIDNE PRILAGODITVE KITOV IN DELFINOV

Količina in sestava svetlobe, ki prodre v morje, se spreminjata z globino. Svetloba daljših valovnih dolžin (npr. rdeča) ne prodre prav globoko, prisotna je le v zgornjih nekaj deset metrih morskega stolpca. Najgloblje prodrejo kratke valovne dolžine (npr. modra), morje daleč pod gladino (1.000 m in globlje) pa je povsem brez sončne svetlobe. Očesi kitov in delfinov, ki ležita stransko (lateralno) in omogočata 120–130 stopinjski vidni kot, imata številne prilagoditve na raznolik morski svet. Naštetimo samo prisotnost odbojne plasti za mrežnico (t. i. *tapetum lucidum*), ki omogoča, da fotoreceptorji vpijejo svetlobo še na njeni poti nazaj, debelejšo roženico za boljšo mehansko zaščito očesa ter okroglo lečo, ki učinkovito lomi svetlobo. Ločljivost in ostrina vida, še posebej velikih pliskavk, sta relativno dobri tako v morju kot v zraku, kjer so pliskavke rahlo daljnovidne. To je pomembno takrat,

ko se osebkii dvigajo nad morskii gladino, pogosto z namenom dodatne orientacije v obalnem okolju.

Mrežnice kitov in delfinov imajo, tako kot mrežnice vseh sesalcev, paličnice, ki jim omogočajo tudi zaznavanje kontrasta (npr. med jatami krila in okolico). V primerjavi z ostalimi sesalci imajo kiti in delfini samo en tip čepnic (rdeč) in so torej monokromati. Tudi ta razred čepnic pa se je skozi evolucijo izgubil pri številnih vosatih kitih (lahko bi jim rekli akromati). Prav tako so jih izgubili številni glavachi in kljunati kiti, verjetno zato ker se hranijo v globinah, kjer so jakosti svetlobe prenizke za vzdraženje čepnic. Zobati kiti, med katere uvrščamo tudi pri nas živeče velike pliskavke, pa so jih ohranili in se ponašajo z vidom, ki ga omogočata dve vrsti fotoreceptorjev – paličnice in čepnice. Vid zobatih kitov naj bi bil tako kompleksnejši in bolj prilagojen na relativno plitvejša, svetlobno pestrejša območja morij.



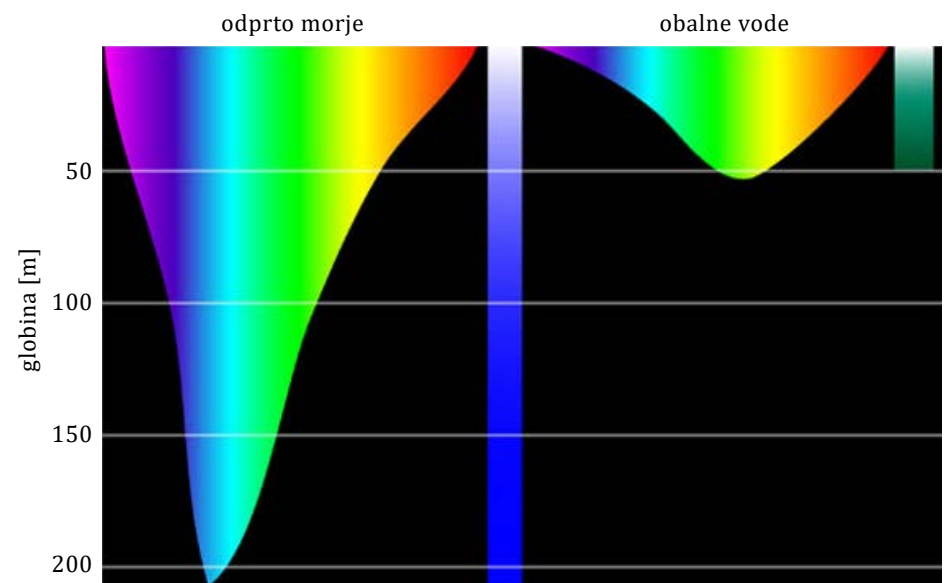
Krivulje spektralne občutljivosti čepnic izbranih vretenčarjev, ki ponazarjajo široko paleto sistemov za zaznavanje svetlobe. A: človek (*Homo sapiens*), B: zobati kiti – primer velika pliskavka (*Tursiops truncatus*), C: vosati kiti – primer kit grbavec (*Megaptera novaeangliae*), D: hišna miš (*Mus musculus*), E: domača kokoš (*Gallus domesticus*), F: navadni močerad (*Salamandra salamandra*), G: zlati koreselj ali zlata ribica (*Carassius auratus*). (povzeto in prirejeno po: Falcón in sod. (2020): Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience* 14: 1–39)

### ALI VIDIJO VELIKE PLISKAVKE V BARVAH?

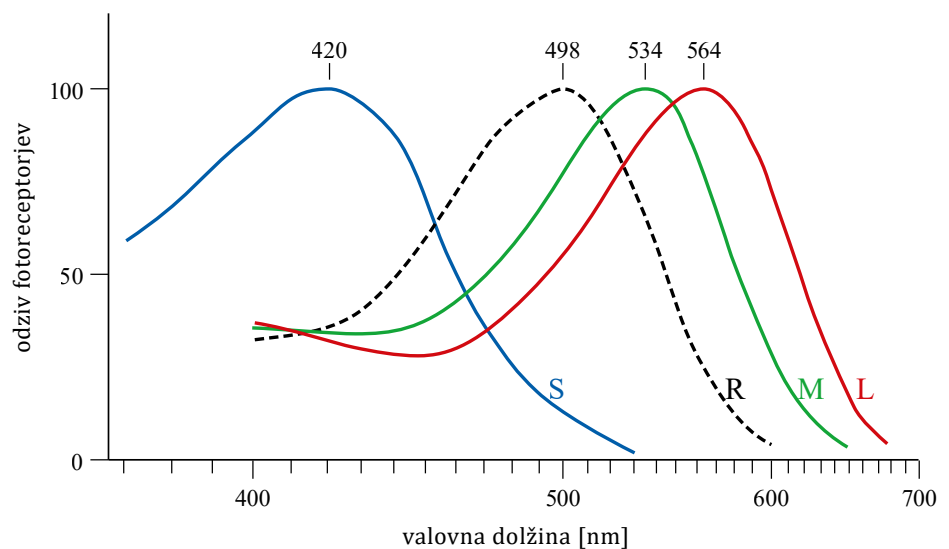
Preprost odgovor na to vprašanje žal ne obstaja. Čeprav spadajo čepnice velikih pliskavk v razred tistih, ki so najbolj občutljive na rdečo svetlobo, to še zdaleč ne pomeni, da vidijo v odtenkih rdeče, kakor bi rahlo zavajajoče ime nakazovalo. Barva je stvar konceptualizacije možganov in »rdeče« čepnice ne pomenijo nič drugega kot to, da so ti fotoreceptorji najučinkovitejši pri zaznavanju svetlobe valovne dolžine, ki jo mi vidimo kot rdečo in ki je prisotna v plitvinah morij, kjer se velike pliskavke večinoma zadržujejo.

Velja, da možgani niso sposobni ustvariti barvnega spektra brez primerjanja aktivnosti različnih tipov fotoreceptorskih celic. Velika pliskavka podnevi in ponoči, to-

rej takrat ko uporaben živčni signal pride le iz čepnic oziroma paličnic, ne more zaznavati barv. (Osamljena »aktivnost« paličnic ponoči je tudi razlog, zakaj ponoči človek vidi črno-belo.) Zora in mrak pa na drugi strani ponujata svetlobne razmere, ki bi lahko omogočale barvni vid. Takrat je jakost svetlobe dovolj nizka, da paličnice tvorijo uporaben živčni signal, še vedno pa je tudi dovolj visoka, da ne pade pod prag, ki omogoča normalno delovanje čepnic. V času zore in mraka sta lahko torej aktivna oba tipa fotoreceptorjev ter tako tvorita uporaben živčni signal, s čimer je izpolnjen pogoj za možno barvno zaznavo. Velika pliskavka je tako dvakrat dnevno sposobna zaznavanja več kot le odtenkov sive. To pogojno dikromatnost so potrdili tudi vedenjski eksperimenti, v katerih so se velike pliskavke pokazale



Primerjava prodiranja svetlobe različnih valovnih dolžin v odprtem morju in obalnih vodah. (vir: NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, Public domain, Wikimedia Commons)



Normaliziran odziv treh razredov čepnic (polne črte) in paličnic (črtkana črta; R) pri človeku v odvisnosti od valovne dolžine vpadne svetlobe. Čepnice ločimo glede na sestavo opsinske molekule v kratkovalovne – S (najbolj občutljive v modrem delu spektra), srednjevalovne – M (najbolj občutljive v zelenem delu) ter dolgovalovne čepnice – L (z vrhom občutljivosti v rdečem delu spektra). (vir: Bowmaker J.K. & Dartnall H.J.A. (1980): Visual pigments of rods and cones in a human retina. *J. Physiol.* 298: 501–511; Wikipedia commons)



kot sposobne ločevanja različnih valovnih dolžin svetlobe. Številni vosati kiti, na drugi strani, pa barvne zaznave niso sposobni. Njihov vidni repertoar je zaradi enega samega tipa fotoreceptorja – čepnice – najverjetneje ves čas črno-bel. Le težka si predstavljamo, kako kiti in

delfini dojemajo svoj povečini črno-beli svet in kakšne izzive predstavlja življenje na meji med vodo in zrakom. Vsekakor se zdi, da tako kot zanima podvodni svet nas, tudi velike pliskavke zanima dogajanje nad vodo. To je še posebej očitno na terenu, ko jih vidimo plavati bočno prav

ob čolnu. V takšnih trenutkih se vprašamo, kdo pravzaprav opazuje in kdo je opazovan. ✎

# Mačja vonjalna komunikacija

Besedilo: Maja Mohorović Risbe: Petra Muhič

Ste se kdaj vprašali, kako poteka vonjalna komunikacija pri prostoživečih mačkah, kot so na primer ris, divja mačka, leopard in druge vrste mačk? In če si izposodimo sodobni človeški žargon v zvezi z objavljanim na družbenih omrežjih – je vseeno, kakšne vrste objavo izbereš in kje ter na kakšen način jo objaviš, če si, recimo, ris? Ali in kako se zaudarjanje (s človekovega izhodišča, se razume) mačjega urina spreminja skozi čas in na različnih gozdnih podlagah ter ali je to v mačjem svetu sploh pomembno? Za odgovore se je bilo treba podati na zanimivo, avanturistično, a hkrati tudi precej zahtevno vonjalno odpravo. Ta je med drugim vključevala izdatno ovohavanje simuliranih urinskih markacij. Z lastnim nosom. Kaj porečete? Fuj, fej? Zanimivo? Prismojeno? Poglejmo, kako je vse skupaj potekalo, in če vas zamika, vabljeni, da vsaj za drobec časa poskusite stopiti v mačje čevlje tudi sami.

Znano je, da prostoživeče mačke (družina Felidae), kot tudi mnogi drugi sesalci, med sabo zelo pogosto komunicirajo preko vonjalnih (kemičnih) sporočil. Prednost teh je, da so dolgo obstojna in tako omogočajo učinkovito posredno komunikacijo. »Prejemnik« takšno vonjalno sporočilo brez težav prejme tudi, ko »pošiljatelj« že davno ni več na lokaciji markiranja. To je torej zelo uspešna strategija zlasti pri samotarskih vrstah, kar velja za večino vrst iz družine mačk, od najmanjše rjaste mačke (*Prionailurus rubiginosus*) pa vse do največje med njimi – tigra (*Panthera tigris*).

Označevanje z vonjem je raznovrstno in lahko vključuje denimo iztrebljanje, drgnjenje žlez ob različne objekte, praskanje in uriniranje. Pri mačkah je ključnega pomena predvsem slednje, pri čemer so pretekle raziskave nakazale, da bolj ko je

markacija obstojna (tj. jo je moč zavohati dlje časa po uriniranju), tem večja je njena učinkovitost, saj je posledično potreba po njenem osveževanju manjša. Pomembna pa je tudi intenzivnost vonja. Intenzivnejši, bolj izrazit vonj lahko učinkoviteje privabi druge osebkke, kar je za medsebojno komunikacijo pri samotarskih vrstah precej pomembno. Kako pa živali sploh uravnavajo obstojnost in intenzivnost vo-

njalnih markacij? Ena od strategij, ki je v preteklih raziskavah večkrat omenjena, a prej še ni bila sistematično testirana, je izbiranje takšnih mikrolokacij oz. objektov za markiranje, na katerih se vonj bolje obdrži.

Ampak kako vendar z nekim sistematičnim testom oz. poskusom preveriti, ali je dejansko kaj na tem? Po skorajda

