



GAUEZ KOLORETAN IKUSTEKO GAI DIRA, BAINA NOLA?

GADEA ERRASTI DIAZ DE GEREÑU
URTZI MUÑOZ URIARTE
EHUko biologia lizentziaturako ikasleak

Ikusmena, banako baten biziraupenean, faktore garrantzitsuenetarikoa bat da; harrapakinen jazarpenean, harraparien ekiditean eta bikotekidearen ezagumendu-prozesuan ezinbestekoa. Aldakortasun handia du, eta egoera ezberdin askotara moldatzeko gaitasuna ere ikus daiteke animalien artean, bai eta haien eboluzioan ere. Horrela, begiaren zenbait egitura (adibidez, *tapetum lucidum*) funtzionalki berdinak izatera heldu dira erlazio ebolutibo esturik gabeko leinuetan.

Ikusi ahal izateko ezinbesteko egiturak begiaren erretinan kokaturiko fotohartzaileak dira. Bi motatakoak izan daitezke: ko-

noak (koloretako ikusmena) eta makilak (argiaren intentsitatea). Konoetan opsina molekula agertuko da eta hiru motatakoa izan daiteke: S opsinak uhin-luzera motzeko argiarekiko sentikorak dira, M opsinak tarteko uhin-luzerarekiko eta L opsinak uhin-luzera handiekiko; horrela, kolore urdin-bioleta, berdea eta gorria ikustea ahalbidetzen dute, hurrenez hurren. Izaki bakoitzak izango dituen opsina-motak genetikoki determinatuta egongo dira. Makiletan, opsina behar-rean, errodopsina agertzen da, zeinak, inguruko argi-intentsitatearen arabera, aktibitate-maila ezberdina izango duen. Argiz-

tapen oso altuetan inaktibo badago ere, argiztapen baxuetan oso baliagarria da da goen argi apurra aprobetxatzeko.

Hautespen naturalak, mekanismo ebolutibo gisa, une eta leku jakin bakoitzean ezberdin eragiten du, eta denboran zehar fabortzen dituen geneek soilik egiten dute aurrera. Jatorriz, ugaztunen leinuan ikusmena dikromata zen (bi kolore bereizten zituzten), baina lerro ebolutibo bakoitzak izandako bilakaren arabera aldatu egin da, bakoitzaren beharrezan eta hautespenaren eraginaren arabera. Jatorrizko egoeran, S opsina beti agertzen zen, eta harekin batera M edo L opsina.



Aye-aye (*Daubentonia madagascariensis*). ARG.: © KLAUS RUDLOFF/KDRUDLOFF@WEB.DE/WWW.BIOLIB.CZ.

Egungo zetazeoetan, esaterako, S opsina kodetzen duen genea desagertu egin da, eta monokromatak dira (kolore-gama bakarrean ikusten dute). Gizakion leinuan, berriz, jatorrizko egoera dikromata determinatzen zuten geneetan duplikazio bat gertatuko zen eta bi-koizturiko geneak funtzio berria garatuko

zuen, egungo egoera trikromata sortuz (hiru opsinak aldi berean ditugu erretinan, hiru kolore-gama bereizteko gai izanik).

Ikusmenaren aldakortasunaren barruan, bada egoera bereizgarrikeri ere; besteak beste, animalia gautarretan garaturiko ikusmen eredua. Animalia hauentzat oso ga-



Epomophorus wahlbergi espezieko saguzar frutajalea banana bat jaten. Megachiroptera taldekoa da. ARG.: KIBUYU/CC_BY-NC-SA.



Lavia frons espeziea. Microchiroptera taldeko saguzarra. ARG.: FRANK VASSE/CC-BY.

rrantzitsua da gauetako argi apurra (izarrak, ilargia...) erretinara bideratzea, eta, horretarako, erretinako makilak ahalik eta sentikorenak izatea. Hala, Solovei et al.-ek 2009an ikusi zuten ezen, animalia gautarren makiletan, alderantzikatua dagoela gainerako animalien makiletan agertzen den DNAREN banaketa-patroia, horri esker errodopsina gehiago ekoizten dela, eta, beraz, argiarekiko sentikortasuna emendatzen dela.

Ikusmen gautarra garatzeaz gain, baina, badira muturrekoagoa den egoera garatu duten animaliak ere: gauzez eta koloretan ikusteko gai direnak, hain zuzen ere. Beti uste izan da ugaztunen eboluzioan zehar ikusmenari dagokionez gertaturiko aldaketak elikagai zein harrapakinaren jazarpenarekin erlazonaturik daudela. Hala, dikromazia eguneko animaliekin erlazonatu da, eta animalia gautarretan, berriz, koloreak garrantzi handirik ez zuela uste izan da. Harrigarria bada ere, baina, egungo ikerketek ez dute ideia hori sostengatzen, ikusi baita hainbat ugaztun gautarrek koloreak bereiz ditzaketela. Egungo trikromaten bereizmen mailara iristen ez badira ere, bi opsina mantentzen dituzte.

Bi opsina mantendu izanaren zergatien inguruan, bi hipotesi plazaratu dituzte ikeritzaileek. Lehenengoaren arabera, animalia hauetan dikromazia ez da bere horretan abantailatsua, baizik eta orain gutxi gautar bihurtutako animalien ezaugarri plesiomorfikoa (arbasotatik jasoa). Bigarren hipotesiaren arabera, oster, dikromazia ezaugarri abantailatsua litzateke animalia gautarrentzat ere, edota opsina-geneek, kolorearekin erlazonaturiko funtzioaz gain, besteren bat ere beteko lukete. Ikerketetan frog, daitekeenez, M eta L opsinak aldaketa handirik gabe mantendu dira hainbat leinu gautarretan jatorrizko egoerarekiko, eta horren adibide dira, besteak beste, aye-aye-a (*Daubentonia madagascariensis*) eta hainbat saguzar.

AYE-AYEA

2007an, Perry et al.-ek aye-ayearen DNA-sekuentzia beste lemuriforme batzuenarekin konparatu zuten, opsina-geneetan aldaketarik izan zen edo ez behatu eta, horretan oinarrituta, gauzez eta koloretan ikusteko gaitasunari erantzuna eman nahian. Hori horrela, aye-ayearen opsinetan ez zuten jatorrizko egoera dikromatarekiko aldaketarik atzeman, eta pentsa daiteke koloreak bereizteak animalia gautar hauentzat abantailaren bat ekarriko duela eta gertaturiko al-



daketak, faboratuak ez izatean, desagertu egingo zirela.

Aye-aye orain dela denbora asko banatu zen gainerako taldekideetatik, eta bere nitxo ekologikora moldatzeko hainbat ezaugarri garatu ditu denbora honetan guztian. Hala ere, opsina-geneek jatorrizko egoera mantendu dute denboran zehar, berriro ere haien funtzionalitatearen inguruko hipotesia indartzuz.

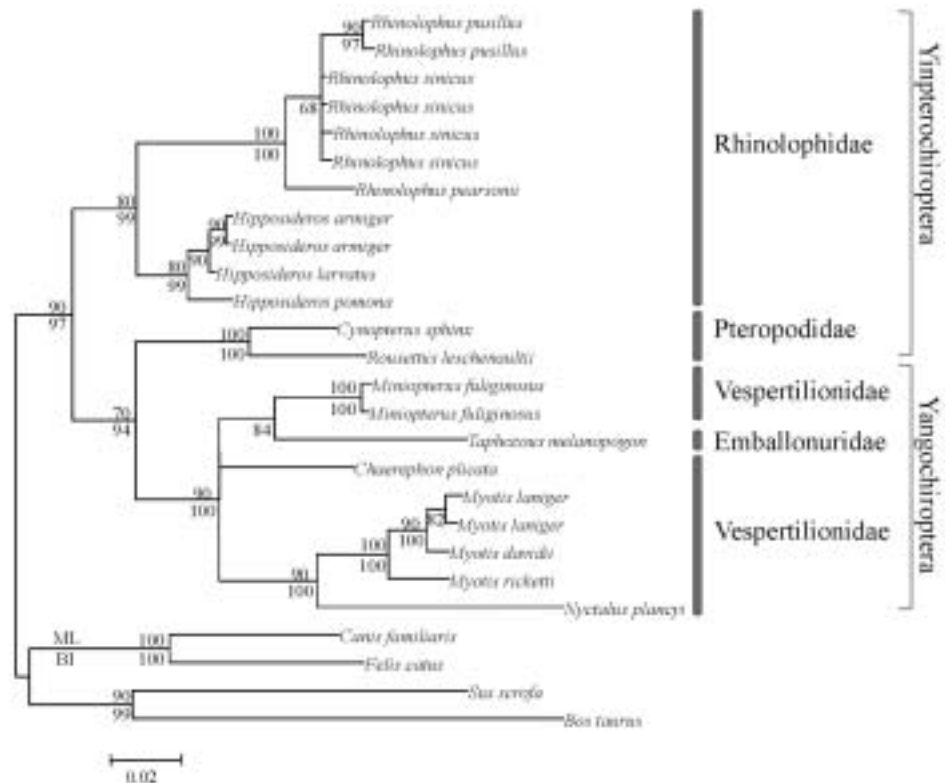
SAGUZARRAK

Saguzarrak bi talde nagusitan banatzen dira: Megachiroptera frutajaleak (*Yinpterochiroptera*) eta Microchiroptera intsektiboroak (*Yangochiroptera*); eta ekolokalizazio modu ezberdinak garatu dituzte, bakoitzaren beharrak ere ezberdinak baitira. Lehenengoek ikusmen zein usaimen ongi garatuak dituzte eta garaturiko ekolokalizazioa “low-duty-cycle” erakoa da. Igortzen dituzten soinuak iraupen laburrekoak dira eta ez dira oihartzunarekin gainjartzen. Bigarrenen kasuan, berriz, ekolokalizazioa laringeo da eta uhinak konstanteki igortzen dira, itzultzen ari diren uhinarekin gainjartzen.

Ekolokalizazio modu bien efizientzia ezberdina izanda, eta Microchiroptera-n begiak hain garatuak ez direnez, saguzar horiek ekolokalizazioan oinarritzen direla eta ikusmen oso ona ez dutela pentsatu ohi da. Hala ere, S opsina mantendu egin da bi taldeetan; hala, argi ultramorea ikusteko gai dira, eta, beraz, ez dira itsuak, maiz esan ohi den bezala. Saguzarrok argi ultramorea ikusi ahal izatearen arrazoietako bat beren dietaren parte diren lepidoptero gautarren hegoekin erlazionaturik egon daiteke, haietatik % 80k argi ultramorea islatzen baitute. Bestalde, ikusmenaren baliagarritasunaren beste froga bat saguzarrok duten ehiza-moduan dugu. Izan ere, ekolokalizazio-uhinak baliatuz harrapakinari hurbildu eta gero, azken urratsean ikusmena erabiltzen dute, intsektuak uhinak detektatzeko gai direnez ihes egingo luketelako bestela.

Megachiroptera-n, ostera, duten dietagatik batez ere, ekolokalizazioak ez du hainbesteko garrantzirik. Izan ere, loreak nektarrez gainezka eta fruituak heldurik noiz dauden antzemateko, usaimena eta ikusmena ezinbestekoak dira.

Azterketa genetikoak eginez lorturiko emaitzen arabera, saguzar-talde guztietan S opsina mantendu egin da, baita M edo L opsina ere, bigarrena gailenduz. L aleloa



Opsina- zein errodopsina-geneekin egindako konparaketetan oinarrituriko zuhaitz filogenetikoa. Adarren gaineko zenbakiek bootstrap balioa adierazten dute, eta azpikoek, berriz, Bayes balioa. ARG.: SHEN ET AL. ©.

mantentzearen aldeko hautespenaren arrazoia kolore gorria ikustearrekin erlazionatuta egon daiteke, fruitu askoren heldutasunaren adierazlela baita kolore hori. Gene hauekin egindako ikerketetan lorturiko datuekin erakitzen diren zuhaitz filogenetikoek, gainera, egoki islatzen dute saguzarren leinuan emandako eboluzioa, eta egungo taldekapena berresten dute.

Ikusitakoaren arabera, ikusmenak garapen modu ezberdinak izan ditu, eta maiz konbergenteki egoera bertsuetara iritsi da, animalien beharizan eta portaera etoekologikoaren arabera. Hala ere, ugaztunak ez diren eta haiekiko filogenetikoki oso urrun dauden animalia gautar batzuetan ere aurkitu da gauez koloreak bereizteko ahalmena; geckoak eta *Sphingidae* familiako zenbait sits 6 kolore bereizteko gai dira, adibidez, ilargiaren zein izarren argia baliatuz. Oraindik ere, beraz, ikertzeko asko dago arlo honetan. ●

ERREFERENTZIAK

PERRY, G.H.; MARTIN, R.D.; VERRELLI, B.C.: 2007. Signatures of functional constraint at Aye-aye

opsin genes: the potential of adaptive color vision in a nocturnal primate. *Molecular biology and evolution*, 24(9):1963-1970.

SHEN, Y.; LIU, J.; IRWIN, D.M.; ZHANG, Y.: 2010. Parallel and convergent evolution of the dim-light vision gene *RH1* in bats (Order: Chiroptera). *PLoS One*, 5(1).

SOLOVEI, I.; KREYSING, M.; LANCTÔT, C.; KÖSEM, S.; PEICHL, L.; CREMER, T.; GUCK, J.; JOFFE, B.: 2009. Nuclear architecture of rod photoreceptor cells adapts to vision in mammalian evolution. *Cell*, 137:356-368.

WANG, D.; OAKLEY, T.; MOWER, J.; SHIMMIN, L.C.; YIM, S.; HONEYCUTT, R.L.; TSAO, H.; LI, W.: 2004. Molecular evolution of bat color vision genes. *Molecular biology and evolution*, 21(2):295-302.

ZHAO, H.; ROSSITER, S.; TEELING, E.; LI, C.; COTTON, J.; ZHANG, S.: 2009. The evolution of color vision in nocturnal mammals. *PNAS*, 106(22):8980-8985.

Zhao, H.; Xu, D.; Zhou, Y.; Flanders, J.; Zhang, S.: 2009. Evolution of opsin genes reveals a functional role of vision in the echolocating little bat (*Myotis lucifugus*). *Biochemical systematics and ecology*, 37:154-161.