

Tuottaja: Matti Mielonen • Ulkoasu: Arja Nukarinen, Meidi Poikonen • Kuvatoimittaja: Antti Salonieminen

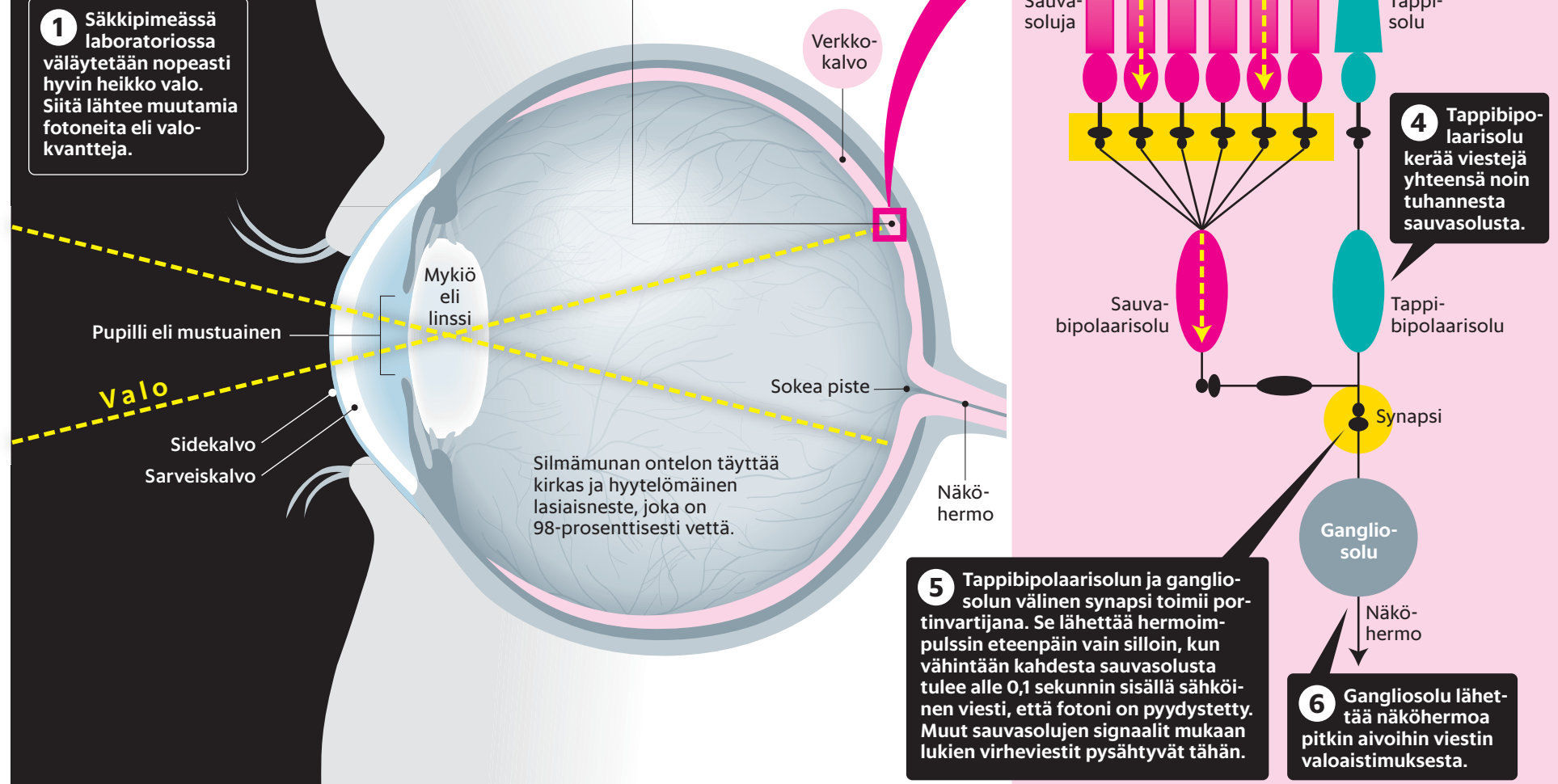
1 Älykäs verkkokalvo

Näin toimii verkkokalvon hermoverkko, joka välittää viestejä aivan hämäränäön kynnyksellä.

1 Säkkipimeässä laboratoriossa väläytetään nopeasti hyvin heikko valo. Siitä lähtee muutamia fotoneita eli valokvantteja.

2 Yksinkertaisessa esimerkissä kaksi fotonia kulkee silmän läpi. Ne osuvat kahden eri hämäränäkö- eli sauvasolun päässä olevaan väripigmenttimolekyylisiin. Osumat saavat aikaan sähköiset viestit, jotka välittyvät eteenpäin.

3 Lämmön vaikutuksesta sauvasolujen väripigmenttimolekyylissä syntyy kaiken aikaa satunnaisesti virheviestejä. Myös ne välittyvät eteenpäin.



Koonnut: ANTTI KIVIMÄKI, grafiikka: JUKKA HIMANEN HS, lähde: Petri Ala-Laurila

Tiedetoimitus

Arja Kivipelto, Matti Mielonen,
Timo Paukku
hs.tiede@hs.fi +358 9 122 2353

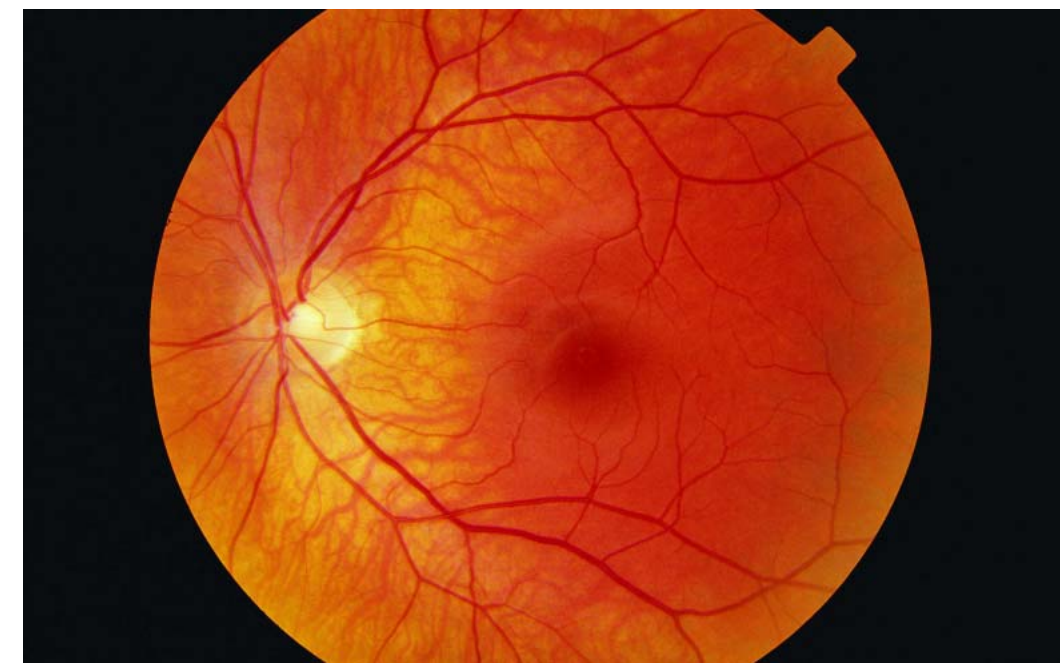
Tausta

Verkkokalvo varoittaa saaliseläintä

VERKKOKALVOLLA on yli 60:ta hermosolutyyppeä. Luonto ei yleensä tee monimutkaisia rakenteita turhaan. Nyt syytä on löytynyt viljalti! Aivoihin lähtee näköhermoa pitkin viestikanavia noin 20 erilaisesta gangliosolusta. Tietyt gangliosolut viestivät aivoille nimenomaan tiettyyn suuntaan liikkuvista kohteista. Toiset gangliosolut viestivät, kun kohde liikkuu eri suuntaan kuin ympäröivä

maailma. Kun koripalloilija juoksee kentällä, näkyvät vaihtelevat hänen silmissään vinosti. Silti pelaaja havaitsee muiden pelaajien liikkeet. Se tapahtuu alustavasti verkkokalvolla. Vuonna 2009 hiiren verkkokalvosta löydettiin gangliosolutyyppejä, joka on erikoistunut havaitsemaan joka suunnassa suurenevaa tummaa kohdetta. Kun havainto syntyy, verk-

kalvo välittää aivoihin käskyn paeta. "Jos aivoissa tulkittaisiin kahdestakymmenestä eri gangliosolusta tulleet viestit ja kompleksien laskutoimitusten jälkeen todettaisiin, että haukka lienee lähestymässä ilmasta, se veisi liikaa aikaa. Laskutoimitus pitää hoitaa nopeasti jo verkkokalvon tasolla", Petri Ala-Laurila sanoo.



Verkkokalvo on rakenteeltaan monimutkainen. Sillä on havaittu 60:ta hermosolutyyppeä.

Äly alkaa silmän pohjalla –

Verkkokalvo tekee neurotieteilijä Petri Ala-Laurilan mukaan mutkittaita laskutoimituksia, joiden

Antti Kivimäki

OPPIKIRJAT vertaavat silmän pohjalla olevaa verkkokalvoa usein kameraan.

Vanhan tiedon mukaan verkkokalvo vain ottaa passiivisesti vastaan valon välittämää tietoa ja lähettää sen aivoihin käsiteltäväksi. Nyt vanha käsitys horjuu.

"Jos verkkokalvo olisi videokamera, se olisi ylivoimainen varattuna ihmisen keuhkoihin kameroihin. Alle puolen millimetrin paksuiseen kudokseen on pakattu hämmästyttävä laskentateho ja supertietokoneen suorituskykyyn ylittävä dynamiikka", selittää neurotieteilijä Petri Ala-Laurila.

ALA-LAURILA tutkii verkkokalvoa ja sekä akatemiattutkijana Helsingin yliopistossa että biofysiikan apulaisprofessorina Aalto-yliopistossa. Hän sai vuoden 2014 akatemiapalkinnon tieteellisestä rohkeudesta.

"Verkkokalvo suorittaa valta-

vasti monimutkaisia neuromaalisia laskutoimituksia, joiden aiemmin kuviteltiin tapahtuvan vasta aivoissa. Näköhermon tiedonvälityskapasiteetti on rajallinen, joten kuvainformaatiota pitää pitkälti käsitellä jo verkkokalvolla."

HÄTKÄHDYTTÄVÄ todiste verkkokalvon "älystä" saatiin vuonna 2007. Princetonia yliopiston silloiset tutkijat Greg Schwartz ja Michael Berry näyttivät salamantierin ja hiiren irrotetuille verkkokalvoille tasaisessa rytmissä valonvälähdyksiä, joihin verkkokalvon neuronit reagoivat säännönmukaisesti.

Sitten tutkijat jättivät yhden välähdyksen välistä – ja juuri sillä hetkellä, kun puuttuvan välähdyksen olisi pitänyt tulla, verkkokalvo lähetti aivan toisenlaisen, voimakkaan signaalin.

"Verkkokalvo kertoi aivoille, kun sen luomaan ennusteeseen tuli poikkeama. Ilmiö on sukua aivotutkija Risto Näätäsen jo 1970-luvulla aivojen tasolla löy-

tämälle poikkeavuusnegatiivisuus-ilmilölle."

VERKKOKALVO on hermostollisesti osa aivoja, mutta toimii itsenäisesti.

Irrotettu verkkokalvo jatkaa elatusnesteessä valoimpulssien käsittelyä ja sähköisten hermo- viestien välitystä eteenpäin jopa vuorokausia. Sille voidaan laboratoriokokeessa näyttää visuaalisia ärsykeitä, vaikkapa elokuvia. Kuuttomana kirkkaana yönä saatamme erottaa himmeän tähden, vaikka siitä tulisi silmiimme vain pari fotonia eli valokvanttia. Olemme tottuneet näköaistimme suorituskykyyn emmekä osaa hämmästellä sitä.

Valoherkkyyden saavuttamiseksi yhteen sauvasoluun on pakkautunut miljardi valoherkkää näköpigmenttimolekyylillä.

Näköherkkyyden rajalla toimiva gangliosolu kerää signaalinsa tuhansista sauvasoluista.

Pulmana on hermojärjestelmän oma kohina. Joskus näköpigmenttimolekyylit aktivoituvat lämmön vaikutuksesta vahingossa ja lähettävät väärän viestin.

Keskimäärin yksittäiselle näköpigmentille vahinkoja sattuu vain kerran 2 000 vuodessa.

hermoradan läpi sauvasoluista aina gangliosoluihin, mistä lähtee näköhermo aivoihin.

"Tunnistamme jokaisen neuronin tässä hermoverkossa ja voimme mitata signaalit yksittäisten valokvanttien tarkkuudella", Ala-Laurila kertoo.

Synapsi lähettää hermoimpulssin eteenpäin vain silloin, kun vähintään kaksi sauvasolua tulee alle 0,1 sekunnin sisällä sähköinen viesti, että fotonit on pyydystetty. Muut sauvasolujen signaalit mukaan lukien virheviestit pysähtyvät tähän.

Gangliosolu lähettää näköhermoa pitkin aivoihin viestin valo-ärsytyksestä.

"Näin synapsi vahvistaa te-

mutta koska niitä on valtavasti, gangliosoluihin on koko ajan tyrkällä epämääräistä hälyä.

MITEN verkkokalvo erottaa oikeat viestit omasta kohinastaan? Ala-Laurila ja hänen yhdysvaltalainen kollegansa Fred Rieke löysivät hiljattain vastauksen verkkokalvon signaaliradan viidenneisestä synapsista, tappibipolaarisolun ja gangliosolun välis-

tyä. Synapsi kerää signaaleja tuhannesta sauvasolusta. Synapsi lähettää hermoimpulssin eteenpäin vain silloin, kun vähintään kaksi sauvasolua viestivät lähes yhtä aikaa – alle 0,1 sekunnin sisällä – pyydystä- neensä fotonin. Muut impulssit pysähtyvät tähän synapsiin.

"Synapsi on kuin hermoverkon porttari. Se päästää läpi yhdessä saapuvat signaalit, jotka todennäköisesti edustavat fotoneja. Samalla se torjuu yksittäiset impulssit, jotka todennäköisemmin ovat neuromaalisia kohinaa", Ala-Laurila sanoo.

"Näin synapsi vahvistaa te-

nen luultiin toteutuvan vasta aivoissa

verkkokalvolla

ennen luultiin toteutuvan vasta aivoissa

hokkaasti olennaisia signaaleja ja torjuu kohinaa. Toisaalta vain yhteen sauvasoluun tullut aito fotoniviesti menetetään. Se hinta varmuudesta pitää maksaa."

KUN verkkokalvon toiminnot opitaan tuntemaan syvemmin, niitä matkimalla voidaan kehittää laitteita pimeänäköön.

Eniten hyöttyä aivotutkimus. "Jos hermostosta löytyy perusmekanismeja yhdestä paikasta, niitä on todennäköisesti muuallakin. Aivojen hermoverkot saattavat huolehtia viestinkuljetuksen laadusta ja torjua kohinaa herkkyytensä rajoilla samalla tavoin kuin verkkokalvo. Mualla aivoissa vain ei vielä päästä vastaavaan mittaustarkkuuteen", Ala-Laurila sanoo.

AIVOT koostuvat noin 100 miljardista hermosolusta. Aivojen yksittäisiä funktionaalisia hermo- verkkoja on liki mahdotonta tunnistaa.

Sen sijaan verkkokalvon hermoverkossa pystytään tunnistaa

Olemme lapsesta asti tottuneet näköaistimme hurjaan suorituskykyyn emmekä osaa hämmästellä sitä.

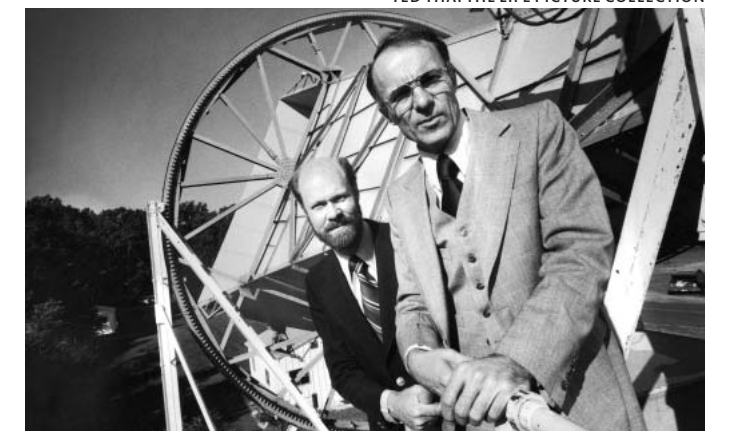
maan jopa kaikki jonkin neuromaalisia laskutoimituksen suorittamiseen osallistuvat neuronit.

Jos verkkokalvolle näyttää elokuvan, nykyisin voidaan tietäisä tilanteissa mitata kokonaisen gangliosolupopulaation vasteet lähes jokaisen hermoimpulssin tarkkuudella. Tämä koodi sisältää absoluuttisesti kaiken aivojen tästä solutyypissä vastaanotaman informaation.

Ala-Laurila aikoo tehdä vielä joskus tällaisen kokeen: "Tällöin olemme verkkokalvon avulla lähellä tilannetta, että voimme olla aivohakkereita, jotka pyrkiivät murtamaan aivojen salakielen eli koodin."

► **Lähteet:** Gollisch & Meister (2010): Eye Smarter than Scientists Believed: Neural Computations in Circuits of the Retina. *Neuron*. Elsevier.

Ala-Laurila & Rieke (2014): Coincidence detection of single-photon responses in the inner retina and the sensitivity limit of vision. *Current Biology*.



Robert Wilson (vasemmalla) ja Arno Penzias havaitsivat maailmankaikkeuden taustasäteilyn taustalla näkyvällä antennilla.

Sattumalta vaikka Nobel

Tieteen päivien teemana tieteen onnenkantamoiset

Matti Mielonen HS

KAIKKEA sattuu, myös tarkkoihin mittauksiin ja havaintoihin perustuvassa tieteessä.

Sattumalla oli sijansa, kun Arno Penzias ja Robert Wilson tulivat mitanneeksi universumin taustasäteilyä. Yhdysvaltalaisen Bellin laboratorion kaksikko tutki viestintäyhteyksiä Maata kiertävän satelliitin kautta.

Pulmana oli säteily, jota tuli joka suunnasta heidän antenniinsa. He jopa siivosivat antennitorvesta pulunpesän. Samaa aikaan toinen ryhmä Princetonia yliopistossa valmistautui vasiten etsimään taustasäteilyä.

Mutta niin kävi, että Penzias ja Wilson saivat fysiikan Nobelin palkinnon vuonna 1978. Nykyisin taustasäteily on maailmankaikkeuden tutkijoiden keskeinen kohde.

SATTUMA on keskiviikkona Helsingissä alkavien Tieteen päivien teema. "Sattuma suosii valmistau-

tunutta mieltä", lainaa Aalto-yliopiston professori Ari Sihvola ranskalaista mikrobiologia Louis Pasteuria.

Keskuskampuksella on liki sata avointa luentoa ja tapahtumaa sunnuntaihin asti. Eri tieteenalojen tutkijat pohtivat sattumaa tieteen, ihmisen ja yhteiskunnan kehityksessä.

Ensimmäisiä luentoja keskiviikkona on Sattuma ja universumi. Maailmankaikkeuden siemenet ovat sattumasta syntyneitä, yliopistonlehtori Syksy Räsänen pohjustaa.

"Molekyylipiuron kehittyminen solulliseksi elämäksi on edennyt yhä uusien ja uusien satunnaisen tapahtumien kautta", Turun yliopiston dosentti Kirsi Lehto jatkaa luontotieteiden puolesta.

Luennolla pohditaan esimerkiksi viruksen leviämistä, ilmastomuutoksen mekanismeja ja historian sattumia. Tähtitieteellinen yhdistys Ur- sa tuo pienoispianetaarion yliopiston päärakennukseen.

1799 Napoleonin armeijan upseeri, joka valvoi linnoitustöitä Rosettan kaupungissa. Ja sattumalla Pierre-François Bouchard oli oppinut mies, joka tajusi löydön tärkeiden.

► Tieteen päivien ohjelma on osoitteessa tieteenpaivat.fi.

Tausta

Sattumat seuraavat sarjassa

TIETEEN sattumien klassikkoja on penisilliiniin löytyminen.

Brittiläinen tutkija Alexander Fleming huomasi jo vuonna 1922, että jotkin aineet tappavat bakteereita, kun hänen silmästään putosi kyynel bakteeriviljelykseen.

Bakteereja tuhoutui kyynelen putoamiskohdasta. Havainnosta ei ollut vielä hyötyä. Kyyneleen antibioottinen entsyymi tehoi vain melko vaarattomiin bakteereihin.

Kuusi vuotta myöhemmin Flemming huomasi, että bakteeriviljelmään pudonneen homeiläiskän ympäriltä bakteerit olivat kadonneet.

Flemming muisti kyyneleensä: home ilmeisesti eritti ainetta, joka tappoi bakteerit.

NIIN sanotti Rosettan kivi oli onnenpotku egyptologeille.

Kivipäasissa on sama teksti egyptiläisillä hieroglyfeillä, muinaisegyptin kirjoittamiseen käytetyillä demottisilla kirjoitusmerkeillä ja kreikaksi. Vihdoin voitiin avata hieroglyfit vertailemalla tekstejä!

Kivipäiden löysi vuonna 1799 Napoleonin armeijan upseeri, joka valvoi linnoitustöitä Rosettan kaupungissa.

Ja sattumalla Pierre-François Bouchard oli oppinut mies, joka tajusi löydön tärkeiden.

► Lähteenä muun muassa professori Hannu Salmen kirja Serendipisyys, tieteen onnenkantamoiset ja täysosumat.