

U ovom poglavlju naučit ćemo:

- zašto ljudi imaju dva oka
- o strukturi i organizaciji vidnog sustava u mozgu
- o problemima koje vid mora riješiti da bismo se snašli u okolini
- o prostornom vidu i prostornoj kogniciji
- o vidnim agnozijama

Vid i prostor

Kada uzmemo u obzir količinu informacija koju iz okoline dobivamo vidom, vid je vjerojatno najvažnije ljudsko osjetilo. Istraživači procjenjuju da je barem oko osamdeset posto naše percepcije, učenja, kognicije i aktivnosti koje izvodimo, posredovano vidom. Vid nam omogućuje da uočavamo udaljene objekte u svojoj bližoj i daljoj okolini od kojih se reflektira elektromagnetsko zračenje koje se zove vidljiva svjetlost. Svjetlost se širi u obliku elektromagnetskih valova i ima raspon valnih duljina od otprilike 400 do 700 nanometara. Različite valne duljine subjektivno se doživljavaju tako da čine kontinuirani spektar boja u kojem primjećujemo neke istaknute boje za koje imamo posebna imena – od ljubičaste, preko plave, zelene, žute i narančaste do crvene.

Svjetlost kao medij za doživljavanje prostora ima višestruke prednosti. S obzirom na to da se svjetlost kreće vrlo velikom brzinom od otprilike 300 000 km/s, sve događaje oko sebe praktički opažamo trenutno, tj. gotovo u isti čas kad se dogode, iako je istina da uvijek postoji vrlo mali vremenski zaostatak. Vremenski zaostatak koji nastaje zbog konačne brzine svjetlosti zamjetan je tek onda kad počnemo opažati vrlo udaljene objekte poput nebeskih tijela. Recimo, kad bismo teleskopom opažali slijetanje svemirske letjelice na Mjesec, opazili bismo to sa 1,3 sekunde zakašnjenja. Kad bi se Sunce na trenutak naglo ugasilo, to bismo vidjeli tek za otprilike 8 minuta, a kad na noćnom nebu opažamo galaktiku Andromeda, vidimo ju onako kako je izgledala prije 2,5 milijuna godina. Toliko treba svjetlosti da doputuje do retine našeg oka. Podsjetimo se, retina ili mrežnica sloj je stanica unutar oka koji sadrži receptorske stanice za vid – fotoreceptore. Za svakodnevne udaljenosti koje opažamo, od nekoliko centimetara do nekoliko kilometara, svjetlosno zakašnjenje je toliko malo da je neprimjetno našem mozgu. Ono je kraće nego što je mozgu potrebno da nakon toga procesira informaciju, a to je također vrlo kratko vrijeme. Za znatizeljnike možemo navesti da ovisno o složenosti zadatka mozgu treba od nekoliko desetaka milisekundi pa do otprilike 500 milisekundi da procesira jedinstvenu vidnu informaciju. To su i dalje vrlo kratki intervali i stoga imamo jak dojam da opažamo svijet upravo onda kad se stvari

i događaju. To su prva dva važna svojstva korištenja svjetlosne informacije – informacija se dobiva o udaljenim objektima i događajima, i to praktički u istom trenutku kad se oni dogode.

Sljedeće važno svojstvo svjetlosti jest da se kreće linearno. Dakle, svjetlosna zraka neće zaokretati ili vijugati u prostoru (zaokretat će jedino blizu iznimno masivnih tijela, ali takvih nemamo u svojoj blizini). Dakle, svjetlost reflektirana s nekog objekta koji direktno opažamo uvijek će pravocrtno, najkraćim putem, dospjeti od objekta do našeg oka. To svojstvo svjetlosti omogućuje da naša predodžba prostora, zajedno s rasporedom objekata u njemu, koju stvaramo na temelju retinalne slike, bude gotovo geometrijski pouzdana i precizna. Na temelju takve percepcije prostora, možemo se u njemu uspješno kretati i snalaziti. Zbog tog svojstva svjetla, ako gledamo ravno u neki objekt, odmah znamo da je on točno ispred nas i, ako mu želimo prići, moramo se kretati ravno prema njemu, a ne u nekom drugom smjeru.

Vidni sustav koristi navedena svojstva svjetlosti i na složene načine obrađuje dostupne svjetlosne informacije kako bi uspješno izvršio zadatke vida. **Osnovna dva zadatka vida** uspješna su i brza identifikacija objekata te uspješna i brza lokalizacija objekata u prostoru, kako u odnosu na nas same tako i jednih u odnosu na druge. Identifikacija objekata podrazumijeva njihovo prepoznavanje i imenovanje te odabir ponašanja u skladu sa znanjem o njima. Lokalizacija objekata i doživljaj prostora omogućuje razumijevanje pozicija i međusobnih odnosa raznih objekata u prostoru, stvaranje reprezentacije prostora te odabir putanje za gibanje prostorom kojom dolazimo do željenog cilja i pritom izbjegavamo prepreke. Da bi se uspješno izvršili navedeni vidni zadatci, vidni sustav mora riješiti čitav niz **dodatnih vidnih zadataka**. Tako za kvalitetnu identifikaciju objekata vidni sustav procesira informacije o svjetlini, boji, obrisima i oblicima. Za kvalitetno rješenje zadatka lokalizacije, vid procesira perceptivnu dubinu (treću dimenziju), udaljenosti i dimenzije objekata, kao i gibanje objekata te gibanje samog promatrača u prostoru.

Svi ranije navedeni zadatci vida složeni su problemi koje rješavaju procesi u složenim neuronskim mrežama u našem mozgu. Takvi se procesi nekad nazivaju i neuronska kompjutacija. Kognitivni psiholozi, neuroznanstvenici i računalni stručnjaci otkrili su iznimno složene vidne mehanizme, ali još uvijek ne znaju sve detaljne odgovore o tome kako u stvari funkcionira vid. Najinteresantnija stvar pritom je što se svi vidni zadatci obavljaju bez ika-

kvog mentalnog napora, u djeliću sekunde, i to izvan naše svjesne kontrole. Dovoljno je otvoriti oči i odmah vidimo prostor oko sebe i objekte kojima odmah znamo imena i svrhu. Da bi se to uspješno odvijalo na opisan način, velik dio korteksa, ali i drugih dijelova mozga, posvećen je vidu. Vidu pripada cijeli okcipitalni režanj korteksa te značajni dijelovi parijetalnog i temporalnog režnja. U svim tim dijelovima postoje mnoga specijalizirana područja u kojima stotine milijuna živčanih stanica isprepletenih u guste mreže rješavaju specifične probleme vida i dostavljaju konačno rješenje u našu svijest.

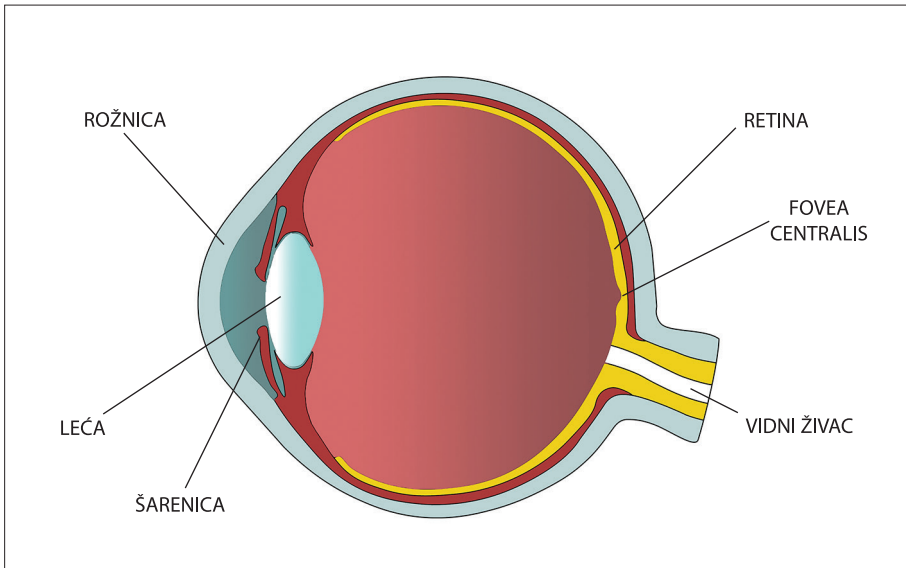
Glavna je tema ovog poglavlja prostorni vid. On omogućuje snalaženje u prostoru. **Prostorna kognicija** odnosi se na stjecanje, organizaciju, korištenje i reviziju znanja o prostornoj okolini. Ljudi su, kao i većina životinjskih vrsta, pokretni organizmi i vrlo su aktivni u svojoj okolini. Za kretanje i djelovanje u prostoru važno je dobiti pouzdanu i obnovljivu predodžbu prostora kako bi se izbjegle prepreke i opasnosti i kako bismo se uputili prema željenim lokacijama ili objektima kao što su hrana ili drugi ljudi. Adekvatno zahvaćanje svjetlosti iz okoline i adekvatna obrada tih informacija čini se da je među raznim životinjskim vrstama najpopularniji način stvaranja prikupljanja prostornih i udaljenih informacija iz okoline. Ipak, moramo odmah napomenuti da neke životinjske vrste prostorne predodžbe stvaraju na druge načine. Recimo, šišmiši ih stvaraju na temelju zvučnih refleksija. No evolucijska prednost iskorištavanja svjetlosti kao brze informacije na temelju koje može nastati prostorna predodžba, toliko je velika da su neki oblik organa vida razvile gotovo sve pokretne vrste koje ne žive u potpunom mraku.

Nastanak oka, građa oka i stereopsis

Evolucijski biolog Richard Dawkins navodi da je oko neovisno evoluiralo kod brojnih životinjskih vrsta više od 40 puta u prirodnoj povijesti Zemlje. Pritom se čini da je evolucija istražila gotovo svaki mogući optički princip tako da danas postoje brojni tipovi očiju: npr. oči tipa kamere s lećom, oči koje koriste zrcalo te tzv. sastavljene oči (engl. *compound eyes*) kakve nalazimo kod insekata. Među brojnim životinjama postoje oči različitog stupnja složenosti koje ovisno o tome mogu različito uspješno iskoristiti svjetlosnu informaciju iz okoline. Biolozi Michael Land i Dan-Eric Nilsson opisuju kako

je evolucija očiju omogućila postupno rješavanje četiriju klasa sve složenijih osjetilnih problema vezanih za svjetlost. Rana vidna osjetila bila su jednostavni sloj fotoreceptorskih stanica na površini organizma (epitel osjetljiv na svjetlost). Takve „oči“ mogu riješiti najjednostavniji zadatak – neusmjerenu fotorecepciju. Postupnim udubljivanjem **fotoreceptorske površine**, specijalizacijom fotoreceptora te uvođenjem sloja pigmenta koji sprječava refleksiju svjetlosti unutar oka, nastaje precizniji vid koji rješava zadatak usmjerene fotorecepcije. Kasnije, kad se postupnim udubljivanjem formiralo zatvoreno oko, riješen je zadatak prostornog vida s niskom rezolucijom koji omogućuje detekciju samopokreta i izbjegavanje prepreka u prostoru. Konačno, evolucijom fokusirajuće optike u oku, tj. leće, omogućeno je rješavanje zadatka prostornog vida s visokom rezolucijom. Land i Nilsson opisali su i računalni teorijski model koji se temelji na konzervativnim pretpostavkama razvoja, a koji je pokazao da je takav razvoj oka od primitivnog epitela osjetljivog na svjetlost do oka tipa kamere s fokusirajućom lećom iznenađujuće brz. Prema tom proračunu potrebno je manje od 400 000 generacija za cjelokupni razvoj oka. To bi se moglo preračunati u manje od 400 000 godina (ako je za novu generaciju odgovarajuće vrste potrebna čak cijela godina), što je za geološke pojmove izrazito kratko, s obzirom na to da život na Zemlji postoji duže od 3,5 milijarde godina. Uzevši to u obzir, više ne čudi Dawkinsov podatak da je oko u evolucijskoj povijesti neovisno evoluiralo više od 40 puta.

Zdravo ljudsko oko izvrsno je adaptirano i funkcionira bolje i od najsofisticiranije kamere. Ima jako visoku rezoluciju, a kad je potrebno, i visoku osjetljivost u mraku, omogućuje bogatu percepciju boja, ima izvrstan fokusirajući mehanizam s lećom i nevjerojatno se dobro prilagođava na promjene u razini osvjetljenja, od noćnog gledanja u gotovo potpunom mraku, samo pod svjetlošću zvijezda, pa do gledanja po blještavom sunčanom danu u ljetno podne. Ljudsko je oko i građeno slično kameri. Ima prilagodljivu leću, prilagodljiv uski otvor za propuštanje svjetlosti (zjenicu), tamnu komoru u kojoj se svjetlost distribuira, ali ne odbija zbog sloja pigmenta i iznad njega sloj retine na kojem se svjetlost pravilno raspoređuje u sliku koja podražuje fotoreceptore čime nastaje živčana aktivnost. Retina bi u ovoj usporedbi s fotokamerom odgovarala fotografskom filmu ili, ako je riječ o suvremenijim digitalnim kamerama, slikovnom senzoru sastavljenom od fotodioda. Na slici 5.1. vidi se struktura i građa ljudskog oka.



Slika 5.1. *Ljudsko oko*

Ljudi imaju dva oka, kao i drugi kralježnjaci. To im omogućuje **binokularno gledanje** koje je važno za prostorni vid i doživljaj trodimenzionalnosti. Naime, slika koja pada u svako pojedino oko je dvodimenzionalna, ali kombiniranjem slika iz dvaju oka, mozak stvara trodimenzionalnu predodžbu. To nije bilo oduvijek jasno čak ni najvećim misliocima tijekom antike, renesanse i novog vijeka. Harvardski psiholog Steven Pinker navodi da se do 19. stoljeća uglavnom mislilo da ljudi i životinje posjeduju dva oka iz istog razloga kao što imaju dva bubrega. Svakako, dobro je imati rezervno oko ako jedno zataji. No ipak, glavni razlog binokularnosti je trodimenzionalna percepcija. Očito se nekad percepciji olako pristupalo, no naknadno se pokazalo da je trodimenzionalna percepcija izuzetno važna te da nastaje pomoću složenih kompjutacijskih procesa u mozgu koji se odvijaju u mreži neurona vidnog korteksa.

Zahvaljujući trodimenzionalnoj percepciji imamo jak dojam rasporeda i različitih udaljenosti objekata u prostoru, kao i voluminoznosti pojedinih objekata. Trodimenzionalna percepcija koja se temelji na binokularnom gledanju naziva se **stereopsis**. Stereopsis nam omogućuje da stvaramo znatno kvalitetniju reprezentaciju prostora od plošne dvodimenzionalne percepcije. Postoje i druge, višestruke informacije koje mozak koristi za stvaranje trodimenzionalne percepcije (npr. ako se na slici preklapaju dva objekta, onaj

koji je zaklonjen čini se i udaljenijim), no jedna od najvažnijih je binokularni vid. Osnovna pretpostavka za binokularnost je činjenica što dva oka, koja se nalaze na različitim pozicijama na glavi (međuzjenični razmak otprilike je 65 mm), dobivaju dvije slike koje su vrlo slične, ali nisu identične. To je lako demonstrirati. Pokušajte postaviti nekoliko različito udaljenih objekata ispred sebe i onda, gledajući ih bez pomicanja glave, brzo i izmjenično namigujte, tj. zatvarajte jedno pa drugo oko. Na taj ćete način vidjeti da među slikama dvaju oka postoje razlike. Te razlike u pozicijama objekata na svakoj pojedinoj slici nazivaju se retinalni dispariteti. Mozak tada, s pomoću analize koju provode binokularne stanice uspoređujući signale iz svakog pojedinog oka, može izvršiti analizu relativne udaljenosti pojedinih objekata u našem vidnom polju. Drugim riječima, stvara se dojam koji je objekt bliži, a koji dalji od točke fiksacije očiju. Postoje posebne stanice u mozgu koje otkrivaju retinalni disparitet. Te stanice, u stvari, otkrivaju „karakterističnu dislokaciju korespondentnih detalja“ pri usporedbi dviju slika dobivenih od dvaju oka. To u stvari znači da stanice registriraju razlike u poziciji detalja kad se slike usporede. Naziv za te specijalizirane stanice jest „disparatno selektivne stanice“ i one se među ostalim stanicama nalaze u vidnoj kori velikog mozga, u okcipitalnom režnju. Čini se da za svaku vrstu i veličinu dispariteta koje oči mogu zahvatiti postoji odgovarajuća specijalizirana stanica. Njezinom aktivacijom mozak je obaviješten o tome da odgovarajuća dva objekta u vidnom polju nisu podjednako udaljena i da je jedan bliži, a drugi dalji za određenu veličinu. Iskorištavanjem tog mozgovnog principa funkcioniraju trodimenzionalne projekcije koje se zovu stereogrami. **Stereogram** se ostvaruje uređajem zvanim stereoskop, s pomoću kojeg se istovremeno projiciraju dvije slike, po jedna u svako oko. Stereogrami potječu još iz 19. stoljeća. Ako želimo biti moderniji, na istom principu funkcionira i 3D kino. Pri 3D kinoprojekciji na platnu se istovremeno prikazuju dvije projekcije koje su vrlo slične, ali ne identične. U stvari, razlika među njima upravo je onakva kakva bi trebala biti među retinalnim slikama dvaju oka kada bismo promatrali stvarni prizor u prostoru, a ne na platnu. To možete provjeriti ako skinete naočale tijekom projekcije. Opazit ćete mutnu i nejasnu sliku jer se dvije projekcije među kojima postoje razlike ne preklapaju savršeno. Naočale koje nose gledatelji u kinu polarizacijski su filteri koji propuštaju samo jednu od dvije projekcije u jedno oko, a drugu u drugo oko. Na taj način svako oko dobiva posebnu odgovarajuću sliku. Bino-

kularne disparatno selektivne stanice u vidnoj kori se aktiviraju, kao što bi se aktivirale i prilikom prirodnog gledanja. Na taj način mozak je prevaren i mi dobivamo iluzorni dojam trodimenzionalnosti.

Postoji i specifična vrsta perceptivnog poremećaja vida kod kojeg osoba ima otežanu ili onemogućenu trodimenzionalnu percepciju iako ima zdrave oči. Taj se poremećaj zove **stereosljepoća**. Oko 2 % ljudi ne uspijeva vidjeti stereogram, oko 4 % ima znatnih poteškoća s time, a još dodatni postotci populacije imaju manjih poteškoća. Stereosljepoća nastaje kad se disparatno selektivni neuroni u vidnom korteksu ne razvijaju na adekvatan način te ne izvršavaju svoju funkciju. Taj se razvoj mora dogoditi dok je mozak još mlad, dakle u djetinjstvu. Mnoge specijalizirane stanice odraslog mozga nemaju svoju specifičnu specijalizaciju odmah pri rođenju, već je u mnogim slučajevima potrebna određena faza razvoja koja se obično događa u ranom djetinjstvu. Za vrijeme faze razvoja događa se ono što je Pinker nazvao „sklapanje mozga“ kako bismo dobili funkcionalan mozak za snalaženje u okolini. To je donekle slično (iako ne identično) tome da imamo računalo u koje je još potrebno instalirati razne programe kako bismo ga mogli koristiti za određene funkcije. Dok to ne napravimo, računalo neće moći obavljati željene zadatke. Takvo programiranje, odnosno razvoj mozga, odvija se u interakciji adekvatnih podražaja iz okoline i prirodnoj dispoziciji stanica da se specijaliziraju. Adekvatni podražaji iz okoline za razvoj stereopsisa prirodne su retinalne slike dvaju oka koje se upravo razlikuju za adekvatne retinalne disparitete, koji odgovaraju stvarnim razlikama u udaljenosti objekata. Dakle, sve što je potrebno za stereopsis je da zdravo dijete gleda svijet oko sebe s oba oka i da bude aktivno u svojoj okolini. Međutim, ako mozgu uskratimo takve podražaje za vrijeme tzv. kritične faze razvoja, neće doći do odgovarajućeg razvoja u specijalizaciji stanica. To se može dogoditi ako mozak dobiva isključivo monokularnu informaciju (samo iz jednog oka) ili ako se binokularna informacija ne može kvalitetno stopiti u jedinstvenu sliku kao što je slučaj s raznim oblicima strabizma (razrokosti). U prošlosti se nije dobro razumjela ova razvojna faza mozga i nije postojala tendencija da se na maloj djeci operira strabizam. Takva operacija smatrala se isključivo estetskom. Djeca koja su u kritičnoj fazi razvoja imala strabizam i zbog toga svoj mozak opskrblivala neskladnim retinalnim slikama, s tek djelomičnim preklapanjem, imala su veću vjerojatnost da razvijaju stereosljepoću. Danas se uloga stereovida bolje razumije i postoji tendencija da se strabizam rano ispravi. Ako želite isku-

stvo strereosljepeće, pokušajte izvesti sljedeće. Probajte gledajući jednim okom (monokularni vid) izvesti preciznu motoričku operaciju, kao što je provlačenje konca kroz vrlo sićušnu ušicu igle. Ili probajte na druge načine s povezanim jednim okom funkcionirati u svojoj okolini.

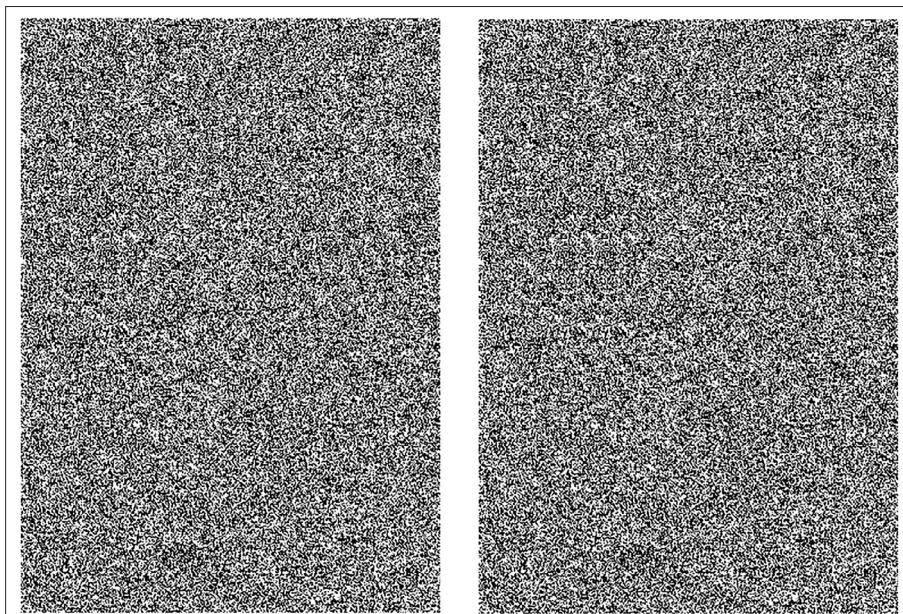
Eksperimentalne dokaze razvoja stereopsisa otkrili su neurofiziolozi David Hubel i Torsten Weisel koji su istraživali karakteristike stanica vidnog sustava na mačkama i majmunima tijekom 60-ih i 70-ih godina 20. stoljeća. Za svoja su otkrića dobili Nobelovu nagradu 1981. U jednom svojem glasovitom istraživanju uspjeli su na mladim mačkama i majmunima izazvati stereosljepeću bez obzira na to što su sva ostala svojstva vida ostala netaknuta. U kritičnoj dobi ranog razvoja životinje su privremeno nosile povez preko jednog oka i to je onemogućilo da se u mozgu razviju stanice koje omogućuju stereopsis. Nasuprot tome, kad su odrasli majmuni sa zdravim vidom nosili povez, čak i duže vrijeme, nije došlo do nikakve promjene u njihovu stereoskopskom vidu. Na taj je način egzaktno potvrđeno da postoje kritične faze u ranom razvoju za vrijeme kojih su se mogle pratiti promjene u strukturi i funkciji binokularnih stanica u primarnom vidnom području mozga (V1 područje). Takva otkrića također imaju značajan doprinos u razumijevanju stoljetne debate je li važnije nasljeđe ili okolina. Danas kad postoji znatno bolje razumijevanje mozga, genetike i evolucije, mogli bismo odgovoriti da iako je nasljedni utjecaj velik, za razvoj mozga i nas samih nije odgovorno ni samo nasljeđe ni samo okolina, pa čak ni jednostavna kombinacija ili mješavina nasljeđa i okoline. Potrebno je razumjeti da se za vrijeme razvoja mozak, kako je Pinker rekao, sklapa. Ponuđeni su sastavni dijelovi koji su nepovezani, nerazrađeni, „neuštamani“ i koji imaju samo osnovne funkcije. Podražajima iz okoline ti se dijelovi aktiviraju, „bude se“ te reagiraju na aktivacije susjednih neurona. Prostorni i vremenski obrasci u aktivacijama susjednih neurona utječu na to da se veze među njima modificiraju, usklađuju, pojačavaju, potiskuju i fino „uštimavaju“. Cijeli taj proces genetski je predodređen tako da mora biti završen u odgovarajućem razdoblju u kojem su neuroni prijemčivi na takve promjene. Poslije toga se oblikovani neuroni uspješno nose sa sve zahtjevnijim zadacima okoline.

Da bi se uopće dispariteti izvukli iz slike i da bi se dobio stereoskopski vid, mozak mora monokularne slike dvaju oka stopiti i stvoriti jedinstvenu mentalnu sliku. Iako se najčešće ne ide za tim, sigurno su svi opazili da, dok gledamo dvama očima, imamo dojam samo jedne trodimenzionalne, a ne dviju

dvodimenzionalnih slika. Zar nije to malo čudno? Meni i mojim prijateljima vršnjacima je još kao djeci bilo čudno da se u filmovima i stripovima slika koja je gledana kroz dvogled prikazuje kao slika unutar dva spojena kruga, a u stvari, kad sami pogledate kroz dvogled, vidite da je unutar kruga samo jedna slika. Tako je i kad gledamo samo očima – imamo samo jednu konačnu sliku. Takva jedinstvena mentalna slika zove se **kiklopska slika**, prema mitološkim monokularnim divovima kiklopima koje je Odisej susreo na svojim lutanjima i koji su imali samo jedno oko na sredini glave. Kiklopska slika čak stvara dojam da potječe iz sredine našeg lica, a ne iz očiju koje su smještene prema stranama lica. Međutim, postoji i bitna razlika između onoga što vide ljudi i što bi vidjeli kiklopi da su ikad postojali. Ljudi s pomoću dva oka vide jednu trodimenzionalnu sliku, a kiklopi bi s jednim okom vidjeli jednu dvodimenzionalnu sliku. Naziv „kiklopska slika“ uveo je psiholog Bela Julesz koji je proveo važne psihologijske eksperimente koji su doprinijeli razumijevanju stereopsisa kao i razumijevanju nastanka kiklopske slike.

Otvaranjem teme o spajanju dviju slika u jednu dolazimo do poznatog **problema korespondencije** u percepciji. Problem je u tome kako mozak uopće zna kako će spojiti dvije slike, iako nisu potpuno identične, u jednu, tako da se idealno poklapaju. Dakle, kako jedna slika uspješno korespondira drugoj. Laički bi odgovor bio da mozak prvo identificira sve objekte na svakoj slici i onda jednostavno spaja identične objekte: krušku s kruškom, jabuku s jabukom, a mačku s mačkom. Takav odgovor može dati netko tko nije upoznat koliko je složen problem vidne identifikacije objekata. Potrebna je značajna neuronska kompjutacija da znamo da gledamo mačku, a ne krušku. Dakle, možemo sad naučiti da je vidna identifikacija izuzetno složen zadatak i jedan od krajnjih ishoda vidnog perceptivnog procesiranja. Vidna se identifikacija među ostalim služi trodimenzionalnim oblikom objekta da bi ostvarila cilj, a ne obrnuto. Prema tome, moramo pretpostaviti da se stereoskopsko stanje slika događa prije identifikacije objekata. Drugim riječima, stereopsis je moguć čak i onda kad u monokularnoj slici ne vidimo nikakav smislen objekt omeđen obrisima. Bela Julesz to je dokazao u svojem najpoznatijem stereoskopskom eksperimentu u kojem je koristio tzv. **nasumično-točkaste stereograme**. Julesz je ispitanicima dao stereogram – u svako pojedino oko dvije slične slike koje su se razlikovale za odgovarajući retinalni disparitet (slično kao što u 3D kinu svako oko dobije svoju sliku). Već smo spomenuli da su

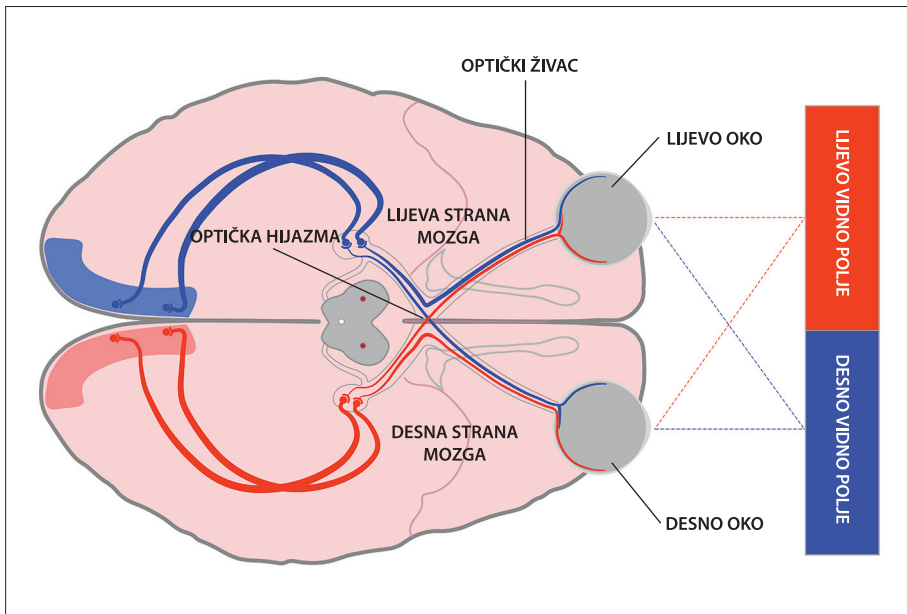
statični slikovni stereogrami bili pomodni u 19. stoljeću. Međutim, Juleszov stereogram bio je različit od svih prije njega. On je zadao „slike“ koje ne sadrže nikakav poznati ili nepoznati, konkretni ili apstraktni objekt, čak ni ikakvu liniju. Slika sadrži samo „šum“ od sitnih točkica. Drugim riječima, slike za nasumično-točkasti stereogram činile su gusto i nasumično raspoređene crne i bijele točkice, bez da tvore ikakav oblik. Slike namijenjene lijevom i desnom oku bile su gotovo identične – razlikovale su se u tome što je jedan komadić površine na desnoj slici bio pomaknut ulijevo za vrijednost retinalnog dispariteta. Vidnom mozgu to je bilo dovoljno da uspješno odradi svoj posao. Budući da je djelić istočkane površine na jednoj slici bio malo pomaknut, ispitanici su tijekom gledanja slika kroz stereoskop s iznenađenjem opazili kako odgovarajući dio istočkane površine djeluje kao da je isturen u prostoru prema opažaču i naizgled bliži od ostatka površine. Dobivena je treća dimenzija na slici bez objekata. Time je Julesz dokazao da za rješenje problema korespondencije nije potrebno prvo identificirati objekte na slici, već da neuronska kompjutacija nastoji poredati i povezati odgovarajuće sitne djeliće slika dvaju oka na odgovarajući način služeći se elementarnim informacijama kao što su



Slika 5.2. *Ilustracija nasumično-točkastog stereograma. Svaka se od prikazanih dviju slika s pomoću stereoskopa prezentira u zasebno oko*

dispariteti. Ilustracija nasumično točkastog stereograma nalazi se na slici 5.2.

Postoji više računalnih neuronskih modela koji pokušavaju riješiti problem korespondencije, tj. pokušavaju objasniti kako to neuroni povezani u mrežu, koji primaju aktivnost s dvije retine (lijevog i desnog oka) i koji se međusobno pojačavaju i prigušuju (ekscitiraju i inhibiraju), uspijevaju stopiti dvije slike u jednu ispravnu reprezentaciju. Dodatna poteškoća s problemom korespondencije je što korišteni računalni algoritam u spomenutim modelima može proizvesti više od jednog rješenja tako da mora postojati mehanizam koji bira ono najbolje. Dosadašnja istraživanja sugeriraju da su neuronske stanice u raznim područjima vidne kore (primarno vidno područje (V1), srednje temporalno područje (MT) i srednje superiorno medijalno područje (MST)) uključene u rješavanje tog problema. Problem korespondencije još uvijek nije zadovoljavajuće riješen ni u robotskom ili računalnom vidu. Ne zna se još do krajnjih detalja kako to mozak rješava. Za sada postoje dobre pretpostavke i dobri opisi. Također se pretpostavlja da se aktivnost odvija u više raznih dijelova vidne kore i da aktivnost doseže čak do inferotemporalnog korteksa (IT) koji predstavlja krajnji dio ventralnog vidnog toka (više o vidnim tokovima uskoro slijedi).



Slika 5.3. Optička hijazma i vidni putovi. Lijevo vidno polje reprezentirano je u desnoj hemisferi mozga i obratno

Građa vidnog živčanog sustava

Do sada smo opisali na koji način posjedovanje dvaju oka utječe na doživljaj prostora. Pritom smo postupno morali u priču uvesti neke dijelove mozga, kao što je npr. primarno vidno područje. Međutim, još nismo naučili koji se sve dijelovi mozga bave procesiranjem vidnih informacija. Da bismo bolje stekli dojam o tome, moramo se malo vratiti unatrag, na vidni signal koji napušta oko.

Snop aksona koji izlaze iz oka zove se vidni živac. Dva vidna živca, iz lijevog i desnog oka, približavaju se te na mjestu koje se zove optička hijazma dolazi do djelomičnog križanja vlakana. Ilustracija optičke hijazme nalazi se na slici 5.3. Dio vlakana koji dolazi iz područja očne retine koja je bliža nosu, prelazi u suprotnu hemisferu mozga (recimo iz lijeve u desnu hemisferu), dok se dio vlakana koji dolazi iz dijelova retine koji su bliži sljepoočnici ne križa, odnosno ostaje u istoj hemisferi. Takvim djelomičnim križanjem postiže se da impulsi iz lijevog vidnog polja završavaju u desnoj hemisferi mozga i obrnuto. Fokus vidnog polja završava u obje hemisfere. Nakon optičke hijazme vlakna se dijele u dva vidna puta: primarni i sekundarni. Primarni (genikulostrijarni) put je evolucijski mlađi te sadrži više vlakana, gotovo 90 %. Taj vidni put imaju isključivo primati (uključujući i ljude). Vlakna primarnog puta protežu se do talamusa – glavne centrale u velikom mozgu u kojoj se prekapča većina osjetilnih i motoričkih vlakana te koji je uključen u regulaciju pobuđenosti i budnosti. Jezgra u talamusu koja je dio primarnog vidnog puta, zove se lateralna koljenasta jezgra jer je savijena poput koljena i ona, među ostalim, omogućuje prostorno i vremensko usklađivanje impulsa koji stižu iz lijevog i desnog oka. Jezgra sadrži šest slojeva od kojih po tri izmjenično pripadaju impulsima iz jednog, odnosno drugog oka. Većina neurona koje ova jezgra sadrži spadaju u dva tipa: parvo stanice koje su važne za percepciju boje i oblika te magno stanice koje su važne za percepciju gibanja i dubine (treće dimenzije). Nakon obrade signala i prekapčanja u talamusu impulsi nastavljaju dalje prema stražnjem, okcipitalnom dijelu mozga.

Već smo spomenuli da je okcipitalni režanj u cijelosti posvećen vidu. U okcipitalnom režnju nalaze se jedno primarno i nekoliko sekundarnih područja za vid. To je primarno područje V1 te više sekundarnih područja poput područja V2 i V3. Uskoro će biti više riječi o pojedinim vidnim područjima. Većina živčanih signala primarnog vidnog puta dopijeva do primarnog vidnog korteksa (V1). Neki se režnjevi dalje dijele na manja područja. Recimo,

sredinom parijetalnog režnja prolazi intraparijetalna brazda. Područje iznad te brazde zove se superiorni parijetalni mali režanj, a područje ispod brazde zove se inferiorni parijetalni mali režanj. Oba područja imaju specifične funkcije u vidnom prostornom procesiranju.

Sekundarni (tektopulvinarni) vidni put evolucijski je stariji i sadrži manji dio svih vlakana koja potječu iz oka (oko 10 %). Kod riba, vodozemaca i gmazova to je jedini vidni put. Ptice i neprimatski sisavci imaju po još jedan specifičan vidni put osim ovog, ali taj nije genikulostrijarni, kao kod ljudi i primata. Sekundarni put važan je za refleksno opažanje i reagiranje na pokretne podražaje u vidnom polju. Takvi refleksni pokreti najvažniji su za mišiće očiju koji tada refleksno pokreću oči prema smjeru gibanja pokretne mete u vidnom polju. Sekundarni vidni put, nakon optičke hijazme, prvo doseže dvije kvržice – kolikule superior koje se nalaze u području filogenetski starijeg, srednjeg mozga, na moždanom deblu, koje se zove tektum. Nakon kolikula superior živčani impulsi dolaze do jedne od jezgri u talamusu koja se zove pulvinarna jezgra ili, jednostavno, pulvinar. Ta je jezgra važna u procesima ljudske vidne pažnje, a ozljeda pulvinara narušava vidnu pažnju i pokrete očiju. Ozljede primarnog vidnog puta i pogotovo primarnog vidnog korteksa mogu kod ljudi rezultirati sljepoćom. To se zove kortikalna sljepoća. U toj situaciji, iako oči nisu oštećene, oštećeno je V1 područje korteksa gdje nastaje primarna vidna reprezentacija. Međutim, ako je sekundarni vidni put očuvan, pacijenti će moći demonstrirati neobično ponašanje koje se naziva „slijepi vid“. Pacijent će očima pratiti pokretnu metu, orijentirat će se ispravno prema pokretnom podražaju i davat će prostorne procjene bolje nego slučajnim pogađanjem, iako će tvrditi da je slijep i da ništa ne vidi. Dakle, sekundarni vidni put odrađuje svoj posao, zdravi dio vidnog sustava reagira, iako pacijent nije toga svjestan. U nastavku tog puta živčani impulsi novim vlaknima nastavljaju uglavnom do sekundarnog V2 područja u vidnom korteksu.

Na samom kraju okcipitalnog režnja smješteno je **primarno vidno V1 područje**. Drugi naziv za primarno vidno područje je strijarni korteks zbog karakterističnih pruga vidljivih golim okom. V1 područje prima glavni vidni ulaz koji stiže primarnim vidnim putem te započinje s procesiranjem boje, pokreta, prostora i oblika. V1 područje ima tzv. **retinotopičnu organizaciju** što znači da je retinalna slika i dalje prostorno očuvana u obrascima živčane aktivnosti na V1 području. Susjedne lokacije u vidnom polju reprezentirane su grupama

susjednih neurona na površini V1 korteksa. Cijelo vidno polje preslikano je na V1 područje mozga. Takvih retinotopičnih vidnih mapa ima još mnogo u cijelom vidnom sustavu i mogu se naći i u regijama srednje i visoke razine obrade vidnih informacija. Čini se da svaka mapa odražuje neku specifičnu vrstu obrade vidne informacije. Tzv. rane vidne mape mogu se naći u okcipitalnim područjima V2, V3, V4/V8. Osim toga mape su identificirane i u dorsalnom toku koji se prostire prema parijetalnom režnju (tzv. „gdje sustav“).

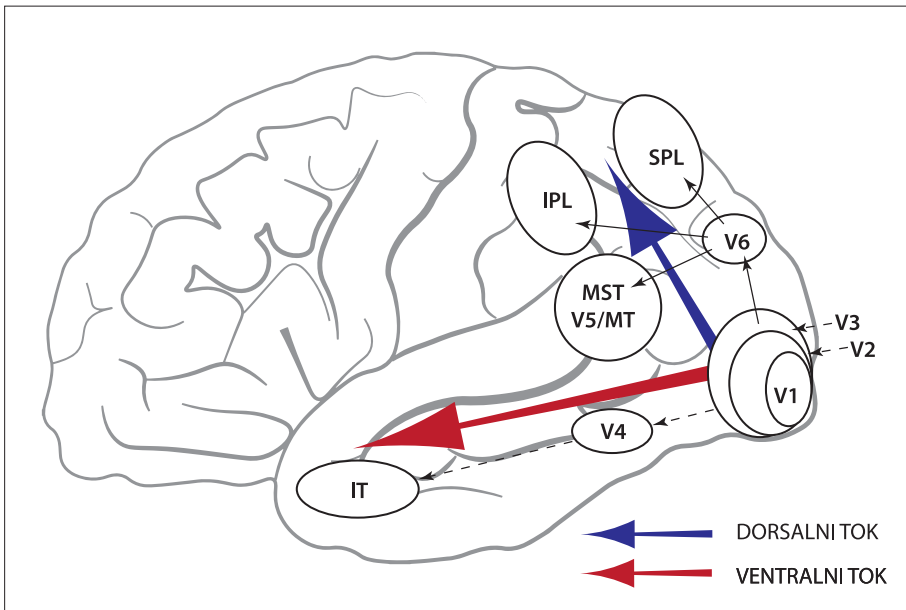
Primarno područje V1 sadrži tzv. jednostavne kortikalne stanice čija su receptivna polja specijalizirana za detekciju jednostavnih oblika poput malih linija i rubova određene orijentacije. Receptivno polje mali je djelić vidnog polja gdje, ako se pojavi odgovarajući vidni podražaj, dolazi do promjene aktivnosti odgovarajuće stanice. Ako je podražaj istog oblika i orijentacije kao i receptivno polje specijalizirane stanice, ta će se stanica aktivirati. Recimo, ako na slici postoji linija ili rub pod nagibom od 20° , aktivirat će se stanice koje su zbog oblika svojeg receptivnog polja osjetljive upravo na taj podražaj. Ako se pojavi linija ili rub s nagibom od 30° , aktivirat će se druga živčana stanica. Na taj način vidni sustav već u ranim fazama obrade vidne informacije može izdvajati obrise likova kombiniranjem aktivnosti onih stanica koje su potrebne da se opiše neki obris. Neuroznanstvenici David H. Hubel i Torsten N. Weisel u svojim su istraživanjima mikroelektrodama snimali aktivnost pojedinih moždanih stanica. Oni su zaslužni za otkrivanje više tipova specijaliziranih stanica u vidnom korteksu. Također su otkrili da V1 područje ima posebno zanimljivu i pravilnu organizaciju stanica. Stanice s istim orijentacijskim svojstvima organizirane su u stupce. To se naziva stupčasta organizacija primarnog vidnog korteksa. Zbog takve su organizacije sve stanice s jednim tipom orijentacije poredane jedne iznad druge, u stupac sa specifičnom prostornom orijentacijom. Pored njih je novi stupac gdje su poredane stanice s prvom sljedećom orijentacijom itd. Cijeli niz tih stupaca opisuje svih 360° stupnjeva mogućih orijentacija. Onda niz kreće ispočetka kako bi cijelo V1 područje bilo gusto prekriveno svim specifičnim orijentacijama stanica. Osim orijentacijskog uređivanja stanica, Hubel i Weisel otkrili su da su nizovi stupaca organizirani i prema očnoj dominantnosti. Očna dominantnost znači da stanica ima tendenciju da odgovara na signal iz jednog određenog oka, lijevog ili desnog. Dakle, niz stupaca posvećen je signalima iz lijevog oka, a odmah tijesno uz njega niz je stanica istih receptivnih polja i orijentacija koji je specijaliziran za signale iz

desnog oka. Nakon toga opet slijedi red s dominacijom lijevog, pa opet desnog oka itd. Pretpostavlja se da očna dominacija stanica i njihova izmjenična poredanost ima važnu ulogu upravo u binokularnom vidu i u rješavanju problema korespondencije. Na temelju usporedbe aktivnosti odgovarajućih stanica s lijevom i desnom dominacijom može se vršiti analiza retinalnog dispariteta.

Oko primarnog vidnog područja u okcipitalnom režnju raspoređeno je više sekundarnih područja koja se zajedno nazivaju i ekstrastrijarni korteks. Oko V1 područja nalazi se sekundarno V2 područje, slijede područja V3, V4 i tako dalje do V8 te još neka područja drukčijih naziva. Npr. V2 i V3 područje imaju stanice sa sve većim i složenijim receptivnim poljima, što uvjetuje njihovu aktivaciju na sve složenije oblike. Psiholozi i neuroznanstvenici Kalanit Grill-Spector i Rafael Malach tumače da su dva temeljna načela po kojima je ustrojen vidni korteks hijerarhijsko procesiranje i funkcionalna specijalizacija. Hijerarhijsko procesiranje odnosi se na to da se konačna vidna percepcija postiže postupnim procesom u kojem se jednostavna skica koja nastaje u V1 području, obradom u kasnijim područjima, transformira u sve složeniju, apstraktniju, cjelovitu i multimodalnu reprezentaciju. Multimodalno znači da može koristiti informacije drugih osjetilnih modaliteta, poput dodira i kinestezije. Drugo načelo je funkcionalna specijalizacija i ona se odnosi na specijalizirane neuronske putove i područja koja procesiraju različite aspekte vidne scene, čime se omogućuje paralelna obrada. Tako se vidni sustav sastoji od paralelnih, hijerarhijskih, procesirajućih tokova koji su specijalizirani za određenu funkciju, odnosno za rješavanje određenog perceptivnog problema. Među prvima su tu ideju artikulirali američki neuropsiholog Mortimer Mishkin i njegovi suradnici u člancima koji su izašli još početkom 1980-ih godina. Oni su izdvojili dva **vidna „toka“** ili sustava koji se protežu izvan okcipitalnog režnja. Jedan od njih (tzv. **dorsalni tok**) proteže se u područja parijetalnog režnja, a drugi (**ventralni tok**) u područja temporalnog režnja. Prvi se sustav još naziva „gdje sustav“ i povezan je s prostornom lokalizacijom i vidno vođenom akcijom. Drugi se sustav naziva „što sustav“ te je povezan s identifikacijom oblika i objekata. Kako se može vidjeti, razni dijelovi vidnog sustava imaju visoku razinu funkcionalne specijalizacije. Posvećeni su izvršenju specifičnih zadataka. Oba vidna sustava započinju u primarnom V1 području i prolaze kroz sekundarna područja V2 i V3. Nakon toga je grananje više izraženo tako da „što sustav“ ide prema temporalnom režnju i pritom obuhvaća specifična područja koja se protežu od V4 sve do inferotemporalnog (IT)

područja u temporalnom režnju. Među njima značajnu ulogu u razlikovanju poznatih i nepoznatih objekata ima LOC (lateralni okcipitalni kompleks) koji uključuje LO (lateralno okcipitalno područje) i dio fuziformnih područja. Tu su također i ventralna područja koja su važna za prepoznavanje objekata, lica i specifičnih lokacija u okolini sadržanih u VOT području mozga (ventralno okcipito-temporalno područje). U prepoznavanju objekata i lica važna je fuziforma vijuga, tj. fuziformno područje za lica (FFA – *fusiform face area*), specijalizirano za percepciju lica. Za prepoznavanje specifičnih okolinskih lokacija važno je područje PPA (parahipokampalno područje za mjesta).

„Gdje sustav“ grana se prema parijetalnom režnju i nakon područja V3 obuhvaća područja MT (srednje temporalno, koje se još zove i V5 područje) i MST (medijalno superiorno temporalno područje). Ta dva područja smatraju se ključnima za percepciju gibanja. Tu je još i područje V7, važno u analizi simetričnosti. Tok se dalje proteže u posteriorni dio parijetalnog režnja korteksa gdje važnu ulogu igra lateralno intraparijetalno područje (LIP) i Broadmanovo područje 7 (koje zahvaća tzv. prekuneus te superiorni parijetalni mali režanj). Prikaz „što“ i „gdje“ sustava (dorsalnog i ventralnog vidnog toka) nalazi se na Slici 5.4.



Slika 5.4. Prikaz dorsalnog vidnog toka („gdje sustav“) i ventralnog vidnog toka („što sustav“)

Vidne agnozije

Kao posljedica anatomske i funkcionalne specifičnosti vidnog mozga postoje specifični poremećaji. Oni su posljedica oštećenja (lezija) specifičnih područja mozga. Takvi poremećaji, kad govorimo o lezijama ekstrastrijarnog vidnog korteksa, zovu se **vidne agnozije**. Riječ agnozija nastala je od grčkih riječi koje znače „ne znati“. Kod vidnih agnozija, vid pacijenta je očuvan, ali oštećena je obrada vidne informacije i zbog toga postoje specifični deficiti u vidnom percipiranju. Vidne agnozije dijelimo na dva osnovna tipa. Prvi su aperceptivne vidne agnozije, kod kojih je onemogućeno generiranje cjelovitog percepta iz vidnih informacija. Aperceptivna vidna agnozija najčešće nastaje oštećenjem sekundarnih vidnih područja u okcipitalnom režnju. Pacijenti s aperceptivnom vidnom agnozijom mogu obratiti pažnju na objekt i mogu intetificirati dijelove objekta, ali imaju poteškoće u povezivanju dijelova u cjelinu i identificiranju objekta. Također imaju poteškoće s precrtavanjem objekata. Drugi su tip agnozija asocijativne vidne agnozije, kod kojih je narušena ili onemogućena identifikacija objekta. Percept se formira, ali pacijenti mu ne mogu odrediti značenje, funkciju ili ime. Ne mogu ga asociirati s njegovim značenjem. Taj tip vidnih agnozija često nastaje zbog lezija mozga na granici između okcipitalnog i temporalnog režnja. Među asocijativne agnozije ubrajaju se i poteškoće u prostornom vidnom procesiranju koje nastaju uslijed oštećenja na granici vidnog i parijetalnog režnja.

Agnozije se mogu podijeliti prema pripadnosti ventralnom („što sustav“) i dorsalnemu toku („gdje sustav“). Tako prema istraživaču Martinaudu ventralnom toku pripadaju prozopagnozija (za lica), akromatopsija (za boje), aleksija (za riječi) i topografagnozija (za orijentire u okolini). Dorsalnom toku pripadaju akinetopsija (za gibanje), orijentacijska agnozija (za raspored objekata u prostoru). U nastavku teksta bit će opisane neke od njih.

Prozopagnozija jedan je od primjera asocijativne vidne agnozije. Radi se o specifičnoj agnoziji kod koje pacijent ne može prepoznati ljudska lica. Pacijent najčešće zna da vidi nečije lice, ali ne može prepoznati osobu na temelju lica. Mora se služiti dodatnom informacijom kao što je boja glasa, karakteristična odjeća ili specifična tema o kojoj ta osoba govori. Ponekad pacijenti ne prepoznaju čak ni svoje vlastito lice. Prozopagnozija je povezana s lezijama donjih dijelova okcipitalnog i temporalnog režnja. U tom području nalazi se

fuziformna vijuga za koju se danas zna, na temelju tehnika moždanog oslikavanja, da igra ključnu ulogu u percipiranju lica.

Obrada informacije o boji odvija se u mnogim dijelovima vidnog sustava. Od retine (receptori specijalizirani za različite pojase spektra, horizontalne stanice i parvo ganglijske stanice), preko lateralne koljenaste jezgre u talamusu do V1 područja vidnog korteksa. Nije sasvim jasno postoji li jedno glavno područje za boju u ekstrastrijarnom korteksu. Klinička istraživanja pokazuju da oštećenja ventralnog okcipitotemporalnog područja vode agnoziji koja se zove **akromatopsija** i označava sljepoću na boje. Moždano oslikavanje pokazuje da su za boju važna ekstrastrijarna područja u ventralnom dijelu okcipitalnog režnja. To su susjedna područja V4 i V8 koja reagiraju znatno intenzivnije na obojeni podražaj nego na podražaj koji se temelji na varijacijama u svjetlini.

Među vidnim agnozijama treba spomenuti i **simultanagnoziju**. Ona se načelno odnosi na nemogućnost pacijenta da istovremeno percipira više od jednog objekta. Međutim, situacija je ponešto složenija zato što postoje dva tipa simultanagnozije – ventralna i dorsalna, ovisno o mjestu gdje je nastala lezija, tako da svaki od tipova pripada svojem vidnom toku. Ventralna simultanagnozija nastaje oštećenjem na inferiornoj poveznici okcipitalnog i temporalnog režnja. Pacijenti mogu opaziti više objekata istovremeno, ali mogu prepoznati jednog po jednog. Dorsalna simultanagnozija nastaje oštećenjima parijetalnog i okcipitalnog režnja. Pacijent ne može obratiti pažnju na više od jednog objekta. Simultanagnozija se dovodi u vezu i s prostornim poremećajem poznatim kao Balintov sindrom. Taj sindrom obuhvaća kombinaciju poremećaja koja uključuje simultanagnoziju, okulomotornu apraksiju (poteškoće u fiksiranju pogleda) i optičku ataksiju (poteškoće u usmjeravanju ruke u smjeru određenog objekta).

Kod **topografagnozije** (topografska agnozija) narušena je sposobnost dosjećanja i pronalaženja ruta zbog nemogućnosti identifikacije poznatih orijentira. Lezija obično pogađa okcipitotemporalni korteks, medijalno temporalno područje desne hemisfere te parahipokampalnu vijugu. Novija literatura navodi da taj poremećaj treba razlikovati od topografske disorijentacije.

Među sekundarnim vidim područjima u korteksu važnu ulogu za percepciju gibanja ima MT (medijalno temporalno područje) koje je još poznato i kao vidno područje V5, a osim njega i MST (medijalno supratemporalno područje). Prije njih, u toku procesiranja gibanja sudjeluju područja V1, V2 i V3. Čini se da MT područje sadrži neurone koje su selektivno osjetljivi na

smjer gibanja. Ti se neuroni mogu selektivno adaptirati prilikom istraživanja naknadnog efekta gibanja. U istraživanjima naknadnog efekta gibanja ispitanici moraju dovoljno dugo gledati u isti jednolični pokretni obrazac (recimo u prirodi možete tako gledati vodopad) koji onda aktivira samo jednu vrstu stanica osjetljivih na gibanje. Zbog produžene aktivacije stanice se zamore. Ako nakon toga brzo pogledamo statične objekte, dobit ćemo iluzorni dojam da se pomiču u suprotnom smjeru. Naknadni efekt gledanja pokretnih meta zove se i iluzija vodopada. Kliničke su studije pokazale da je jedan tip agnozija, poznatih kao akinetopsija, povezan s oštećenjem dijela MT područja.

Akinetopsija je neobični poremećaj, koji se još naziva sljepoća na gibanje, kod kojeg pacijent ne može percipirati gibanje iako bez problema percipira statične objekte. No stvar je u vezi s percepcijom gibanja još složenija. Zasebno se obrađuju nebiološko (recimo kotrljanje kamena niz kosinu) i biološko gibanje (mačka koja trči ili riba koja pliva). Očito je evolucija kao poseban problem percepcije izdvojila percepciju biološkog gibanja, koje opažamo na sasvim drukčiji način. Za obradu vidnih informacija o biološkom gibanju zaduženo je specifično područje – superiorna temporalna brazda (STS) čije stanice pokazuju povećanu aktivnost prilikom promatranja hodanja, trčanja i drugog biološkog gibanja ljudi i životinja, ali ne i za slučajno gibanje u vidnom polju (npr. nasumično gibanje točkica na ekranu). Čini se da je to područje također povezano i sa sustavom „zrcalnih“ neurona koji se aktiviraju prilikom promatranja i izvođenja iste aktivnosti te su važni za sposobnost imitiranja, jezične sposobnosti i socijalnu kogniciju.

Topografska disorijentacija poremećaj je koji uključuje gubitak sposobnosti da se navigira i snalazi u velikom okolišu. Pacijenti ne mogu naći i opisati rutu kretanja. Pacijenti obično imaju desne ili bilateralne lezije u posteriorno parijetalnom području ili superiorno parijetalnom području. Neke od varijacija poremećaja uključile su poteškoće u razumijevanju alocentričnih prostornih odnosa i uključivale su oštećenja desne retrosplenalne regije i medijalni parijetalni režanj.

Orijentacijska agnozija i agnozija za zrcalne podražaje poteškoće su u identifikaciji orijentacije objekta u prostoru i pacijenti s tom agnozijom ne mogu razlikovati objekte koji su rotirani na nekoj od ravnina u prostoru i/ili pak zrcalne prikaze objekata. Ti su poremećaji povezani s bilateralnim lezijama ili oštećenjem u desnom okcipitotemporalnom području.

Oštećenja u parijetalnom režnju mogu rezultirati i agnozijama koje ometaju integraciju vidnih i tjelesnih informacija. Takve agnozije uključuju autotopagnoziju (poteškoća u lokalizaciji i orijentaciji dijelova tijela), heterotopagnoziju (lokaliziranje i pokazivanje tuđih dijelova tijela), i prst-agnoziju (poteškoća u razlikovanju, imenovanju i prepoznavanju prstiju) koja je povezana s lezijama u angularnoj vijugi.

Prostorni vid

Prostorni vid mora riješiti više problema, odnosno ispuniti više zadataka koji će omogućiti uspješno snalaženje u prostoru. Dakle, koji su to sve zadatci koje prostorni vid rješava? Prvo, tu je zadatak stvaranja prostornih mapa. Moramo uočiti veliku razliku između retinalne mape i prostorne mape. Retinalna mapa slika je koju retina u jednom trenutku zahvaća. Drukčije kazano, to je trenutno vidno polje koje je preslikano na retinu. No budući da se naša glava i naše oči stalno pomiču, i retinalna mapa stalno se mijenja. Na primjer, ako gledamo u čašu vode koja se nalazi na stolu, u tome trenutku ta scena određuje našu retinalnu mapu koja se u mozgu vidno obrađuje na razne načine. Međutim, što će se dogoditi ako se okrenemo na drugu stranu? Tada čaša više nije u našem vidnom polju. Znači li to da je ona izbrisana iz našeg doživljaja prostora? Nipošto. Ona je dio jedne apstraktnije reprezentacije prostora koju zovemo **prostorna mapa**. Mi smo i dalje svjesni prisutnosti čaše iza nas iako ju ne vidimo. Svjesni smo i drugih važnih objekata koje smo već skenirali pogledom i znamo gdje se nalaze u odnosu na nas same. Recimo, znamo da će ispred nas, ako se opet okrenemo, još uvijek biti stol s čašom. Znamo, recimo, i na kojoj je strani izlaz iz prostorije. Nadalje, u zatvorenom prostoru znamo da je iznad nas strop, a takvih je primjera još mnogo. Da bi se uspješno izvelo takvo mapiranje, „gdje sustav“ mora ne samo analizirati vidnu scenu koju opažamo već i istovremene informacije o pokretima tijela, glave i očiju. Nadalje, taj sustav mora riješiti problem vlastita kretanja u prostoru. Prostorna mapa nije nam od neke koristi ako se ne možemo koristiti tim prostorom, kretati se u njemu i dohvaćati objekte. Stoga je sustav osjetljiv na specifična strujanja detalja u vidnom polju koja se zovu vekcije ili optički tijek. Primjerice, ako se detalji slike koju gledamo šire iz središta našeg vidnog polja pre-

ma periferiji, to je znak da se krećemo prema naprijed, točno prema središtu vidnog polja. Prema brzini strujanja detalja može se odrediti i vlastita brzina. Postoje vekcije koje signaliziraju kretanje unaprijed, unatrag, bočna kretanja i kružna kretanja. Konačno, informacija o kretanju mora utjecati na mozgovno motoričko procesiranje te tako kontrolirati optimalnu brzinu i smjer kretanja. Zbog toga mora postojati odgovarajuća komunikacija prostornih mapa s motoričkim sustavima mozga koji su smješteni u frontalnom režnju. Zbog ovih specifičnih problema stanice dorsalnog toka imaju svoje specijalizacije. Stanice reagiraju na zajednički neuronski ulaz iz retine i iz mišića očiju i vrata. Zatim, one reagiraju na specifične vekcije te okidaju impulse u skladu s područjima za planiranje akcija.

Prostorno procesiranje počinje od jednostavnih stvari. Treba odrediti dimenzije u prostoru. Dimenzije gore-dolje i lijevo-desno neposredno su prisutne u dvodimenzionalnoj retinalnoj slici. Ipak ispada da je lakše odrediti dimenziju gore-dolje od dimenzije lijevo-desno. Možda je to i stoga što je gore-dolje dimenzija potpomognuta osjećajem sile gravitacije, a lijevo-desno dimenzija je relativna, jer ovisi o tome kako smo okrenuti. Što je jednom čovjeku lijevo, drugom može biti desno. Neki ljudi imaju veći ili manji problem u brzom određivanju što je lijeva ili desna strana. Jedan moj prijatelj imao je manjih problema s takvim snalaženjem kad bi morao brzo reagirati. Pričao je da, dok je služio vojnu obvezu, kad bi časnik naglo zaurloao: „Nadesno!“ on u prvom mahu ne bi znao na koju se stranu okrenuti i onda bi se brzo podsjetio osjećaja u rukama i prstima dok svira harmoniku, što je učio još kao dijete. Budući da se lijeva i desna ruka na harmonici različito pozicioniraju, što stvara različit osjećaj u rukama, u istom bi trenutku znao koja je lijeva, a koja desna ruka, odnosno strana tijela. Neki ljudi imaju znatno veće probleme u snalaženju na prostornoj dimenziji lijevo-desno. Recimo, u literaturi je opisan slučaj pacijentice koja je precrtavala Reyevu složenu figuru (to je jedan neuropsihološki test za testiranje više funkcija koje uključuju vidno-prostorne sposobnosti, pažnju, pamćenje i planiranje) i precrtavala ju je zrcalno, iako je za vrijeme precrtavanja stalno gledala u neizvrnuti original. Pretpostavlja se da do takvih ozbiljnijih poremećaja u doživljaju lijevog i desnog može doći uslijed oštećenja parijetalnog režnja u bilo kojoj hemisferi.

Drugi je važan problem određivanje treće dimenzije, odnosno dubine prostora. O tome smo pisali već u prvom dijelu ovog poglavlja kad smo govorili

o važnosti posjedovanja dvaju oka, binokularnom gledanju, retinalnom disparitetu, o specijaliziranim stanicama osjetljivim na disaritet i stereosljepečići. Opisali smo i više područja dorsalne struje koje su uključene u taj proces.

Treći važan aspekt procesiranja prostorne informacije određivanje je **referentnog okvira**. To se odnosi na razumijevanje lokacije nekog objekta, ovisno o nekoliko referentnih točaka. Egocentrični referentni okvir onaj je u čijem smo središtu mi sami. Dakle, mi određujemo lokaciju i smjer objekata oko nas u odnosu na nas same. Međutim, situacija je složena jer postoje tri centra na koja se možemo referirati: naše tijelo, naša glava i naše oči. Zamislimo da stojimo i ispred nas je više ljudi. Recimo da je točno ispred nas Ivan, lijevo od njega je Marta, a lijevo od nje je Suzana. Naša je glava malo zakrenuta ulijevo, tako da je usmjerena prema Marti, a naš pogled je još malo skrenuo ulijevo i fiksira Suzanu. Možemo koristiti „tijelocentrični“, „glavocentrični“ i „okocentrični“ referentni okvir. Prema prvom, reći ćemo: „Ivan je točno ispred mene.“ Prema drugom rekli bismo: „Moja je glava okrenuta prema Marti.“, a prema trećem: „Sad gledam točno u Suzanu.“

Potpuno druga vrsta referentnog okvira jest alocentrični referentni okvir, kad određujemo prostorne odnose objekata jednih u odnosu na druge, a da se ne referira na nas same. Recimo, „Čaša je na stolu.“ ili „Brod je udaljen od pristaništa 200 metara.“ Lokaliziranje objekata prema egocentričnom i alocentričnom referentnom okviru čini se kao ključan korak u stvaranju prostorne mape. Čini se da značajnu ulogu u egocentričnom lokaliziranju imaju procesi koji se odvijaju u stanicama parijetalnog režnja i lateralno intraparijetalnom području (LIP), dok je za alocentrično procesiranje važno područje 7a (u Broadmanovom području 7) koje je dio superirnog parijetalnog malog režnja. Zanimljivo je da su otkrivene veze tog područja s parahipokampalnom regijom koju smo spominjali kao dio ventralnog „što“ toka koji je specijaliziran za identifikaciju mjesta. Ima smisla da je alocentrična koordinacija povezana s procesima koji identificiraju pojedine lokacije. To je jedan od primjera koji pokazuje da dorsalni „gdje sustav“ i ventralni „što sustav“ nisu neovisni jedan o drugome, već da surađuju u raznim zadacima.

Kognitivna psihologinja i neuroznanstvenica Marie Banich sa Sveučilišta Boulder u Koloradu navodi da je zadatak za referentne okvire složen jer podrazumijeva određenu vrstu specijalizacije stanica za svaki oblik okvira. Ono što još dodatno povećava složenost zadatka jest to što je parijetalni korteks

multimodalno (nekad zvano i multisenzorno) područje, što znači da se u prostornom procesiranju ne koristi samo vidna informacija, već i informacija o dodiru, tijelu (kinestezija) i zvuku. Tu nastaje problem – kako se sve te multisenzorne informacije uspijevaju integrirati? Pretpostavka je da svaki od osjetilnih modaliteta konstruira svoju prostornu mapu. Tada se načinom koji još nije do kraja objašnjen te mape preklapaju i integriraju. Proučavanje aktivnosti mozga pomoću fMRI tehnike ukazuje da se vjerojatno vidne i dodirne mape integriraju u superiorom parijetalnom malom režnju prilikom zadatka „glavocentrične“ orijentacije. Klinička istraživanja na pacijentima s unilateralnim zanemarivanjem pokazuju da lezije desnog parijetalnog režnja vode zanemarivanju i pogreškama u lijevom vidnom polju (preciznije govoreći – lijevo od fiksacije očiju), ali isto tako na lijevoj strani tijela. Dakle, ozljeda parijetalnog režnja može dovesti do multisenzornog deficita vidne i tjelesne percepcije. Pacijenti s poremećajem unilateralnog zanemarivanja ne opažaju lijevu stranu raznih objekata, pa kada moraju precrtati tri poredana kruga, oni precrtaju dva: središnji i desni. Ponekad zanemaruju i lijevu stranu vlastita tijela, pa se ne odijevaju s lijeve strane ili pak ne obriju lijevu stranu lica.

Još složenije sposobnosti koje se tiču prostornog procesiranja su sposobnost manipulacije objektima, imaginacija te korištenje prostornih mapa za kretanje i snalaženje u okolini. Za manipulaciju ili konstrukciju predmeta od velike je važnosti fina motorna kontrola. Na taj način možemo obavljati brojne svakodnevne zadatke. Neuropsihološki testovi koji ispituju te sposobnosti testovi su precrtavanja složenih figura te testovi slaganja blokova. Pokazalo se da pacijenti koji su pretrpili oštećenja i u lijevom i u desnom temporalno-parijetalnom području pokazuju deficit u izvođenju navedenih zadataka.

Imaginacija ili zamišljanje odnosi se na sposobnost predočavanja objekata ili njihovih varijacija dok stvarni podražaj nije prisutan. Recimo, ako vam kažemo da zatvorite oči i da zamislite stablo jabuke sa zrelim plodovima, pretpostavljamo da to možete bez problema učiniti. Također, ako kažemo da zamislite da jabuka pada sa stabla i kotrlja se po travi, i to možete zamisliti. Jedna od klasičnih paradigmi u kognitivnoj psihologiji za ispitivanje imaginacije, koju su među prvima u 70-ima koristili psiholozi Roger Shepard i Jacqueline Metzler, zadatak je mentalne rotacije u kojem se ispitanicima istovremeno zadaju dvije slike apstraktnog 3D objekta, za koje ispitanik mora što prije odgovoriti pripadaju li istom ili različitim objektima. Trik je u tome što su objekti zarotirani u

prostoru u odnosu jedan na drugog. Istraživanja su pokazala da, što je veći otklon u rotaciji između dva prikazana objekta, ispitanicima treba proporcionalno više vremena za točan odgovor. To indirektno dokazuje da ispitanici mogu rotirati mentalne objekte u svojem umu procesom imaginacije na sličan način kao što se stvarni objekt rotira u prostoru. Zaključilo se da je mentalna rotacija kontinuirana transformacija mentalnog objekta pri kojoj se zamišljeni objekt glatko rotira u našem umu. U kasnijim istraživanjima koja su koristila tehnike funkcionalnog oslikavanja mozga, tijekom zadatka mentalne rotacije otkriveno je da se pojačana aktivacija mozga događa u superiornom parijetalnom malom režnju (SPL) u obje hemisfere i da je nešto jača aktivnost zabilježena u desnoj hemisferi. Također je otkriveno da se količina moždane aktivacije povećava sa stupnjem rotacije. Dakle, SPL je aktivniji ako u svojem umu rotiramo mentalni objekt za 120° nego ako je iznos mentalne rotacije recimo 40° .

Kretanje i snalaženje u okolini zove se **prostorna navigacija**. To je vrlo važna sposobnost s pomoću koje možemo svladavati prostor i doći do željenih lokacija. Recimo, ako želimo pješaćiti od svojeg stana do škole. Čak se možemo odlučiti da krenemo putem koji još nismo koristili i uspješno ćemo izvršiti zadatak. Ili ako vozimo automobil do drugog grada. Možemo unaprijed proučiti put i stvoriti si mentalnu prostornu mapu zahvaljujući kojoj ćemo znati koje ceste treba birati, iako nam u tome mogu pomoći i prometni znakovi. Nekad se dogodi, u novim ambijentima kao što je recimo novi grad, da prostorne mape nisu dovoljno pouzdane pa zalutamo. Ponekad, da bismo se lakše snašli, pamtimo upečatljive objekte kraj kojih moramo proći na svojem putu. Recimo, određena benzinska pumpa, pa lijevo, pa određeni park, pa desno, pa određena karakteristična zgrada, pa opet desno i onda još dva raskrižja ravno. Čini se da postoje dvije osnovne strategije za prostornu navigaciju. Jedna se strategija temelji na prostornim mapama i prostornom predočavanju, a druga na stazi s karakterističnim orijentirima kao što su npr. benzinska pumpa, park i karakteristična zgrada. Ova druga strategija ne mora se temeljiti na prostornoj mapi, već na razumijevanju uputa i stoga se smatra svojevrsnom verbalnom strategijom. Promatrač ovdje doživljava prostor prvenstveno na temelju egocentričnog referentnog okvira. S druge strane, ako koristimo prostornu mentalnu mapu prostora, onda u njoj procjenjujemo svoju trenutnu poziciju. Takav je način doživljaja prostora na temelju alocentričnog referentnog okvira. Za testiranje tih sposobnosti koriste se zadatci labirinta. Pokazalo se da u takvim zadatci-

ma ljudi mogu koristiti obje strategije te da deficiti u izvedbi takvih zadataka, iako su u pravilu uzrokovani oštećenjem desnog parijetalnog područja, također mogu biti uzrokovani i oštećenjem temporalnih područja, naročito u situacijama kada se mogu koristiti verbalne strategije za rješavanje zadatka.

Konačno, preostalo je da objasnimo još jednu ideju kojom možemo zaključiti ovo poglavlje. Kako je uopće došlo do podjele vidnog korteksa na ventralni i dorsalni tok? Jedan od odgovora već su spomenuta načela hijerarhijske organizacije i funkcionalne specijalizacije. Time se objašnjava zašto uopće postoje tokovi. Međutim, preostaje pitanje zašto se „što sustav“ protegnuo u upravo dorsalnog smjeru u parijetalni režanj, a „gdje sustav“ u lateralnom smjeru u temporalni režanj? Da bismo to lakše razumjeli, moramo se podsjetiti da se problemi percepcije visoke razine mogu riješiti samo ako se vidna informacija koristi u kombinaciji s drugim procesima i znanjima kojima je mozak opskrbljen. Govorimo o procesima pamćenja, pažnje te o drugim osjetilnim modalitetima poput sluha, dodira, kinestezije i vestibularnog osjetila koji se moraju kombinirati s vidom. Takva preklapanja modaliteta postoje u parijetalnom i temporalnom režnju i ta su se područja nekad nazivala asocijativnim, a danas češće **multimodalnim područjima**.

Uzmimo za primjer dorsalni „gdje sustav“. Opisali smo kako on mora riješiti problem prostora. Dakle, ne samo da se mora stvoriti adekvatna 3D vidna reprezentacija prostora, već je taj prostor potrebno održavati, nadopunjavati, doživati iz pamćenja i uspoređivati, a za te je procese neophodna vidna pažnja. Stoga nas neće nimalo začuditi kad pročitamo da se važni aspekti pažnje procesiraju upravo u parijetalnom režnju, i to naročito u desnoj hemisferi. Oštećenje tog područja vodi već opisanom neobičnom poremećaju koji se zove unilateralno zanemarivanje, kod kojeg pacijenti zbog nemogućnosti da obrate pažnju zanemaruju jednu (najčešće lijevu) stranu svega: vidnog polja, svakog pojedinog objekta, pa čak i svojeg tijela. Jednostavno nisu svjesni jedne strane. Nadalje, kad stvaramo 3D reprezentaciju prostora, nismo samo pasivni promatrači kao u nekom 3D kinu. Upravo suprotno, mi smo aktivni sudionici u tom prostoru. Krećemo se do željenih objekata i ljudi, izbjegavamo prepreke i pritom imamo jasnu percepciju sebe i svojeg tijela u prostoru. Stoga su

za potpuno prostorno snalaženje važne somatosenzorne (tjelesne) informacije koje se procesiraju u parijetalnom režnju. Dakle, parijetalni je režanj mjesto preklapanja vida, somatosenzornog sustava, pažnje i svijesti o okolini.

S druge strane, ventralni „što sustav“ mora riješiti problem identifikacije objekata, osoba i mjesta. Kad uspješno identificiramo objekt, znamo njegovo ime, njegovu nadređenu kategoriju, njegove glavne karakteristike, funkciju i možemo ga povezati sa sličnim objektima. Primjerice, kad ugledamo stolicu i identificiramo ju pomoću perceptivne obrade, znamo da se stolica zove „stolica“, da spada u kategoriju namještaja, da ima noge, površinu za sjedenje i naslon, da služi za sjedenje, ali može i pridržati vrata ili pak može poslužiti kao stepenica kako bismo dohvatili kutiju na vrhu ormara te da postoje i druge stolice koje se u raznim detaljima razlikuju od one koju gledamo, ali i da imaju iste glavne karakteristike. Jednom kad identificiramo stolicu, možemo sjesti na nju ili se pak možemo nekome obratiti i kazati: „Ovdje imaš jednu stolicu. Slobodno sjedi.“ Te akcije ne bi bile moguće da ventralni sustav nije odradio svoj posao. Kako vidimo, u zadatku identificiranja ključno je da se naš percept poveže sa semantičkim pamćenjem – našim dugoročno pohranjenim činjeničnim znanjem. Veza s dugoročnim pamćenjem ostvaruje se preko hipokampusa, vijuge koja se nalazi na donjem djelu velikog mozga i koja je dio temporalnog režnja. Također je važno da se percepcija kategorizira, tj. da su prepoznati objekti kategorički izdvojeni kao skupovi posebnih svojstava, karakteristika i s posebnim imenom za kategoriju takvih objekata. Takvo svojstvo kategorizacije karakteristično je za jezik. Jednom kad imenujemo objekt koji gledamo, koristimo i jezične procese, a prirodni medij jezika je govor. Kao što je opisano u sedmom poglavlju ove knjige, govor se procesira u Wernickeovu području koje se također nalazi u temporalnom režnju. Čak je i Brocino područje, uključeno u produkciju govora, smješteno nedaleko, s obzirom na to da se nalazi u motoričkom području odmah iznad temporalnog režnja. Dakle, temporalni režanj mjesto je preklapanja, vida, sluha, govora i semantičkog pamćenja, informacija potrebnih za identifikaciju i kategorizaciju objekata.

Ovakav cjeloviti pristup pokazuje da što je znanje o mozgu detaljnije, što je bolje naše razumijevanje problema koje okolina postavlja ispred nas, a mozak ih rješava, te što je bolje razumijevanje procesa evolucije živčanog sustava, otkrivamo unutarnju logiku ustroja mozga. Primjer toga upravo je složena organizacija vidnog sustava.

Zaključci

1. Vidljiva svjetlost u rasponu oko 400 – 700 nm valne duljine predstavlja idealan izvor informacija za doživljavanje prostora oko nas. Za to postoji više razloga. Među njima su brzina i pravocrtnost širenja svjetlosti, prozirnost atmosfere za navedeni pojas, kao i bogatstvo kombinacija u kojima se vidljiva svjetlost reflektira i apsorbira od površina objekata u prostoru oko nas. Međutim, postoje i drugi izvori informacija o prostoru kod drugih vrsta, na primjer zvučni eholokacijski sustavi.
2. Binokularni vid odnosi se na gledanje s pomoću dva oka. On omogućuje stereopsis – trodimenzionalni doživljaj prostora i objekata u prostoru. Mozak stapa dvije monokularne slike dvaju oka, koje se razlikuju u tzv. retinalnim disparitetima, a pritom izvlači informaciju o relativnim udaljenostima objekata i detalja objekata u prostoru. Stereopsis se može izazvati i na umjetan način s pomoću uređaja koji se zove stereoskop, a na taj način dobivena trodimenzionalna slika naziva se stereogram.
3. Glavni problemi koje vidni sustav mora riješiti (i to u vrlo kratkom vremenu) jesu percepcija boje, percepcija gibanja, percepcija dubine i prostora te identifikacija objekata.
4. Nakon primarnog vidnog V1 područja u okcipitalnom režnju, vidna se informacija širi i obrađuje u specijaliziranim sekundarnim vidnim područjima i doseže do asocijativnih područja u parijetalnom i temporalnom režnju. Ta dva glavna toka informacija nazivaju se dorsalni tok i ventralni tok, a također se nazivaju „gdje sustav“ i „što sustav“. Oštećenja sekundarnih i asocijativnih područja mozga rezultiraju specifičnim vidnim poremećajima koji se nazivaju vidne agnozije.
5. Viši prostorni vid i prostorna kognicija temelje se na uspostavi adekvatnih prostornih mapa koje reprezentiraju prostor oko nas i našu poziciju u njemu. Na temelju prostornih mapa možemo planirati i provesti prostornu navigaciju kako bismo svladali prostor i pomakli se do željenog cilja. Pritom se služimo odgovarajućim referentnim okvirom koji po svojoj prirodi može biti egocentričan ili alocentričan.

Testirajte se

1. Objasnite što je prostorna kognicija.
2. Objasnite kako funkcionira stereoskop.
3. Objasnite što je to retinotopična organizacija u vidnom korteksu.
4. Nabrojite i ukratko opišite glavne i dodatne zadatke vida.
5. Objasnite što je prostorna mapa.
6. Objasnite i opišite kojim se prostornim referentnim okvirima ljudi služe.
7. Objasnite što je to prostorna navigacija.

Preporučena dodatna literatura

DEHAENE, S., & BRANNON, E. M. (Eds.). (2011). *Space, time and number in the brain: Searching for the foundations of mathematical thought*. Amsterdam: Academic Press. – Knjiga koja opisuje kako mozak, rješavajući temeljne probleme vezane za prostor, vrijeme i brojnost, omogućuje intuicije koje su u osnovi matematičkih sposobnosti.

GROH, J. M. (2014). *Making Space: How the Brain Knows Where Things Are*. Cambridge, MA: Belknap Press. – Razumljivo pisana knjiga o tome kako mozak integrira multisenzornu informaciju i time omogućuje navigaciju u trodimenzionalnom prostoru.

Važni pojmovi

Akinetopsija → Agnozija koja je povezana s oštećenem medijalno temporalnog (MT/V5) područja. Pacijent ima poteškoća u percepciji gibanja objekata, iako statične objekte percipira bez problema.

Akromatopsija → Poremećaj sljepoće na boje koji je povezan s oštećenjem ventralnog okcipitotemporalnog područja.

Binokularno gledanje → Gledanje s pomoću dva oka, za razliku od monokularnog gledanja jednim okom. Svako oko prima zasebnu sliku i te se dvije slike pomalo razlikuju. Razlike u slikama veće su za one objekte koji su više udaljeni u dubinu od točke fiksacije oba oka. Razlike u slikama stvaraju

retinalne disparitete koje registriraju odgovarajuće stanice u mozgu (disparatno osjetljive stanice) i koje onda svojom aktivacijom signaliziraju različite udaljenosti površina objekata u prostoru.

Dorsalni vidni tok → Jedan od dva vidna toka koji se proteže prema parijetalnom režnju. Uključen je u probleme lokalizacije objekata i prostorne kognicije (naziva se i „gdje sustav“). Dorsalni vidni tok uključuje područja V1, V2, V3, MT (V5), medijalno superiornu temporalno područje (MST), V7, lateralni intraparijetalni korteks (LIP) te Broadmanovo područje 7.

Fotoreceptorska površina → Sloj fotoreceptorskih stanica na površini organa koji predstavlja prvi i osnovni korak u evoluciji oka.

Imaginacija ili zamišljanje → Sposobnost da si predočimo objekte ili njihove varijacije, najčešće u prostoru, dok stvarni podražaj nije prisutan.

Kiklopska slika → Jedinствена mentalna slika koja nastaje nakon što mozak stopi dvije zasebne slike iz dvaju oka. Takva slika stvara dojam kao da potječe iz sredine lica. Opis nije potpuno adekvatan za ljudsko iskustvo gledanja, jer su mitološka stvorenja kiklopi opisani kao da imaju samo jedno oko na sredini glave, tako da nisu mogli imati stereoskopski vid.

Multimodalna područja → Područja korteksa koja su se nekad nazivala asocijativnim, a danas sve češće multimodalnim. Karakteristika tih područja je da integriraju informacije iz više osjetilnih modaliteta, npr. vidnog i kinestetičkog. Takva područja nalazimo, primjerice, u parijetalnom i temporalnom režnju.

Nasumično-točkasti stereogram → Stereogram koji ne sadrži oblike ni linije jer se sastoji od nasumičnih crnih i bijelih točkica. Dvije slike stereograma nisu identične, već sadrže odgovarajući retinalni disparitet tako da je dio površine jedne slike pomaknut na drugoj slici. Stereoskopsko gledanje takvih dviju slika stvara trodimenzionalni dojam.

Orijentacijska agnozija i agnozija za zrcalne podražaje → Poteškoće u identifikaciji orijentacije objekta u prostoru povezane s oštećenjima u okcipitotemporalnim područjima.

Primarno vidno područje V1 → Dio korteksa koji se naziva strijarni korteks i koji je smješten na kraju okcipitalnog režnja. Najveći dio impulsa koji pristižu genikulostrijarnim putem prvo stiže u V1 područje. To područje među ostalim karakteriziraju jednostavne kortikalne vidne stanice organizirane u stupce i hiperstupce. Također je važna karakteristika tog područja **retinotopična organizacija/mapa** (v).

Problem korespondencije → Važan problem koji mora riješiti mozak odnosi se na to kako spojiti slike dvaju oka u jednu tako da se idealno poklapaju iako te dvije slike nisu potpuno identične.

Prostorna kognicija → Prostorna je kognicija procesiranje koje se odnosi na stjecanje, organizaciju, korištenje i reviziju znanja o prostornoj okolini. Prostorna kognicija omogućuje ljudima razumijevanje pozicija i odnosa objekata u prostoru te je polazište za uspješno kretanje u prostoru, pronalaženje puta, zaobilazanje objekata te stvaranje prostornih predodžbi u obliku prostornih mapa.

Prostorna mapa → Apstraktna reprezentacija prostora koja nastaje na temelju analiza koje uključuju vidna polja, pokret, analizu dubine, kinesteziju, pamćenje pozicije objekata u prostoru te analize referentnih okvira.

Prostorna navigacija → Složena sposobnost zahvaljujući kojoj možemo svladati prostor i doći do željenih lokacija. Uključuje korištenje prostornih mapa te strategije temeljene na egocentričnim i alocentričnim referentnim okvirima.

Prozopagnozija → Vidna agnozija kod koje osoba ima očuvan vid, dok je sposobnost prepoznavanja i pamćenja lica čak i bliskih osoba narušena ili potpuno onemogućena.

Referentni okvir → Sustav za određivanje lokacije objekta u prostoru. U psihologiji se razlikuje egocentrični referentni okvir, u čijem smo središtu mi sami kao promatrači (npr. „Polica s knjigama desno je od mene.“), i alocentrični referentni okvir u kojem se prostorni odnosi objekata određuju jedni u odnosu na druge, neovisno o promatraču (npr. „Ptica je na krovu kuće.“).

Retinotopična organizacija → Organizacija stanica u određenim dijelovima vidnog korteksa kod koje površinski raspored aktivacije stanica odgovara prostornom rasporedu (obrisima i oblicima) slike koja podražuje retinu. Naziva se i retinotopična mapa.

Simultanagnozija → Vidna agnozija kod koje pacijent ima poteškoća da istovremeno percipira dva ili više objekata. Dijeli se na dva podtipa, ovisno o mjestu gdje je nastalo oštećenje: ventralnu i dorsalnu.

Stereogram → Trodimenzionalna projekcija koja se prokazuje kroz uređaj za binokularno gledanje – stereoskop.

Stereopsis → Trodimenzionalna prostorna vidna percepcija koja se temelji na binokularnom gledanju.

Stereosljepoća → Poremećaj otežane ili onemogućene trodimenzionalne percepcije. Nastaje uslijed neadekvatnog razvoja disparatno selektivnih neurona, najčešće zbog strabizma.

Topografska disorijentacija → Poremećaj koji uključuje gubitak sposobnosti navigacije i snalaženja u velikom okolišu. Povezuje se s oštećenjima različitih dijelova parijetalnog područja (ovisno o specifičnom tipu poremećaja).

Ventralni vidni tok → Jedan od dva **vidna toka** koji se proteže prema temporalnom režnju. Uključen je u probleme identifikacije objekata (nazi-va se i „što sustav“) te uključuje područja V1, V2, V3, V4, LOC (lateralni okcipitalni kompleks), VOT (ventralno okcito-temporalno područje) PIT (posterioro inferotemporalni), CIT (centralno inferotemporalni) i AIT (anterioro inferotemporalni korteks).

Vidne agnozije → Specifični poremećaji u vidnoj percepciji koji najčešće nastaju uslijed lezije određenog, specijaliziranog dijela sekundarnog ili asocijativnog vidnog korteksa. Na primjer, oštećenje fuziformnog područja za lica (FFA) rezultirat će tzv. **prozopagnozijom**.

Vidni tokovi → Vidni korteks je u vrlo općenitom smislu podijeljen u dva sustava: „što sustav“ koji se bavi problemima identifikacije objekata te „gdje sustav“ koji se bavi problemima prostorne kognicije i lokalizacije objekata. Iz primarnog V1 područja šire se dva vidna toka od kojih se jedan proteže prema temporalnom režnju (**ventralni tok** koji čini „što sustav“) te drugi, **dorsalni tok** koji se proteže prema parijetalnom režnju („gdje sustav“).

Zadatci vida → Dva su osnovna zadatka vida identifikacija i lokalizacija objekata u prostoru. U skladu s tom podjelom postoji i temeljna anatomska i funkcionalna podjela vidnih tokova na ventralni, koji se uglavnom bavi identifikacijom objekata, i dorsalni, koji se bavi lokalizacijom objekata i prostornim mapama. Za uspješno izvršavanje osnovnih zadataka, vidni sustav mora riješiti i određeni broj potproblema u koje spadaju percepcija svjetlina, percepcija boja, percepcija obrisa, kontura i oblika (za identifikaciju objekata) te percepcija dubine, percepcija gibanja i percepcija prostora (za lokalizaciju objekata).

LITERATURA

- AREND, I., MACHADO, L., WARD, R., McGRATH, M., RO, T., & RA-FAL, R. D. (2008). The role of the human pulvinar in visual attention and action: evidence from temporal-order judgment, saccade decision, and antisaccade tasks. In C. Kennard, & R. J. Leigh (Eds.), *Progress in Brain Research*, Vol. 171.
- BANICH, M. T. (2004). *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- BANICH, M. T., & COMPTON, R. J. (2010). *Cognitive Neuroscience*. Belmont: Wadsworth.
- CARTER, R. (2014). *The human Brain Book*. London: DK.
- COREN, S., WARD, L. M., & ENNS, J. T. (2003). *Sensation and Perception*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- DAWKINS, R. (2006). *Climbing Mount Improbable*. London: Penguin Books.
- DEHAENE, S., & BRANNON, E. M. (Eds.). (2011). *Space, time and number in the brain: Searching for the foundations of mathematical thought*. Amsterdam: Academic Press.
- GRILL-SPECTOR, K., & MALACH, R. (2004). The Human Visual Cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 649-677.
- GROH, J. M. (2014). *Making Space: How the Brain Knows Where Things Are*. Cambridge, MA: Belknap Press.
- GROSSMAN, E., DONNELLY, M., PRICE, R., PICKENS, D., MORGAN, V., NEIGHBOR, G., & BLAKE, R. (2000). Brain Areas Involved in Perception of Biological Motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 711-720.
- HORTON, J. C. & SINCHIC, L. C. (2004) A New Foundation for the Visual Cortical Hierarchy. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences III*. Cambridge, MA: A Bradford Book. The MIT Press.
- JULESZ, B. (1995). *Dialogues on Perception*. Cambridge, MA: A Bradford Book. The MIT Press.
- MARTINAUD, O. (2017). Visual agnosia and focal brain injury. *Revue Neurologique*, 173(7-8), 451-460.
- MISHKIN, M., UNGERLEIDER, L. G., & MACKO, K. A. (1983). Object

- Vision and Spatial Vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience*, 6, 414-417.
- NIEDER, A. (2003). Stereoscopic Vision: Solving the Correspondence Problem. *Current Biology*, 13(10), R394-R396.
- LAND, M. F. & NILSSON, D.-E. (2012). *Animal Eyes*. Oxford: Oxford University Press.
- PINKER, S. (1999). *How the mind works*. London: Penguin Books.
- POLIZER, T. (2009). Vision is our dominant sense. BrainLine. http://www.brainline.org/content/2008/11/vision-our-dominant-sense_pageall.html
- POSINN, K. L. (2014). Cognition, Spatial. U M. J. Aminoff, & R. B. Daroff (Eds.), *Encyclopedia of the Neurological Sciences*. London: Elsevier.
- SHEPPARD, R. N., & METZLER, J. (1971). Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*, 171, 3972, 701-703.