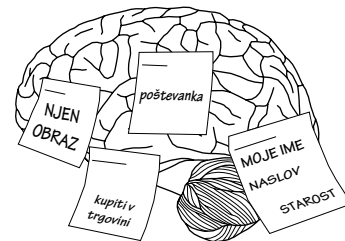


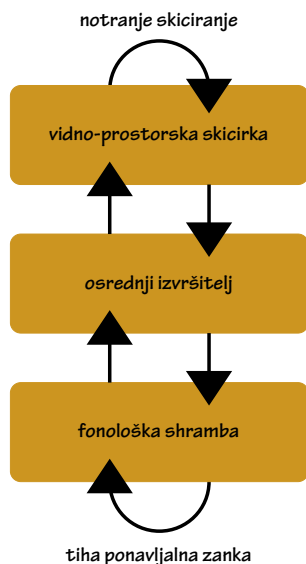
# Učenje in spomin



Spomini so ključni za našo individualnost. Če se spominjamo sami, je vedno različno od spominov drugih ljudi, tudi če smo isti dogodek doživeli skupaj. Vsi pa se, na svoj lasten način, spominjamo dogodkov, dejstev, čustev in veščin - nekaterih za krajši čas, drugih celo življenje. V možganih najdemo več spominskih sistemov z različnimi lastnostmi, ki jih podpirajo različna nevrnska omrežja. Novi spomini zelo verjetno nastanejo s pomočjo procesa sinaptične plastičnosti, ki je opisan v prejšnjem poglavju, niso pa še znani mehanizmi, ki omogočajo njihov priklic. Čeprav se radi pritožujemo nad svojim spominom, je ta večinoma prav dober in začne popuščati šele v starosti in pri nekaterih nevroloških boleznih. Morda bi bilo dobro poskusiti izboljšati spomin, bi si pa s tem zapomnili tudi mnogo stvari, ki jih je morda bolje pozabiti.

## Organizacija spomina

V možganih ne obstaja le eno možgansko področje v katero bi shranjevali vse, kar se kadarkoli naučimo. **Delovni spomin** aktivno vzdržuje v zavestnem stanju informacije, ki jih v našem umu hranimo le kratek čas. **Dolgoročni spomin** pa predstavlja veliko širše in bolj pasivno skladišče informacij.



Sistem za kratkoročno hranjenje informacij v delovnem spominu.

## Delovni spomin

Podobno kot uporabimo blokec, da si nanj zapišemo ime ali telefonsko številko, ki si jo moramo zapomniti za trenutek, imajo tudi možgani sistem, ki omogoča zanesljivo vzdrževanje

in delo z manjšim številom informacij. Uporabljamo ga, da si govor zapomnimo tako dolgo, da lahko dojamemo tok pogovora, da lahko v mislih računamo in da si zapomnimo, kje smo trenutek nazaj odložili ključe. Zanesljivost je ključnega pomena, žal pa je možna le na račun omejene kapacitete in vzdržljivosti. Velikokrat poudarimo, da si lahko v delovnem spominu zapomnimo le  $7 \pm 2$  elementov. To je razlog, da večina telefonskih števil ni daljših od 7 ali 8 števk. Bolj kot njihova dolžina je pomembno, da si jih zapomnimo pravilno. Omejen obseg in trajanje delovnega spomina lahko s pomočjo prijateljev prikažete z enostavno preizkušnjo.



### Preizkus kratkoročnega spomina

“Črkovni razpon” je enostaven preizkus delovnega spomina. Zanj potrebujete najmanj dva udeleženca, čeprav deluje bolje, če sodeluje celotni razred. Eden od vas skrivoma zapiše nize črk, za začetek takšne s samo dvema črkama. Paziti je treba, da črke ne sestavljajo besede (npr. UD). Potem sestavi nadaljnje nize črk, vedno za črko daljše kot predhodne (npr. petčrkovni TVHKZ, ali desetčrkovni DVCUKMBPSZ). Preizkus se prične, ko so vsi nizi pripravljeni. Drugi udeleženec (ali celotni razred) prisluhne vsakemu nizu ter skuša po približno petih sekundah iz spomina zapisati vse črke iz niza v pravilnem vrstnem redu. Preizkus naj se prične pri enostavnih nizih z dvema črkama in napreduje k daljšim. Večina ljudi si lahko popolno zapomni okoli 7 ali 8 črk, potem pa se začne vsiljevati napake. Zelo redki si lahko pravilno zapomnijo 10 črk. Obseg kratkoročnega spomina je bil opisan z “magično številko 7 plus ali minus 2”.

**Osrednji izvršilni sistem** nadzoruje tok informacij, pri čemer ga podpirata dva dodatna spominska podsistema. **Fonološka shramba** sodeluje s **tiho ponavljalno zanko** pri vzdrževanju besednih informacij. Gre za tisti del možganov, ki ga uporabljamo, ko govorimo s seboj. Tudi če besede ali številke preberete zapisane v vidni obliki, bo informacija pretvorjena v fonološki zapis in v tej obliki shranjena v omenjenem sistemu. Drugi podsistem pa je **vidno-prostorska skicirka**, ki vzdržuje slike ali predmete tako dolgo, da lahko z njimi v mislih izvajamo različne manipulacije.

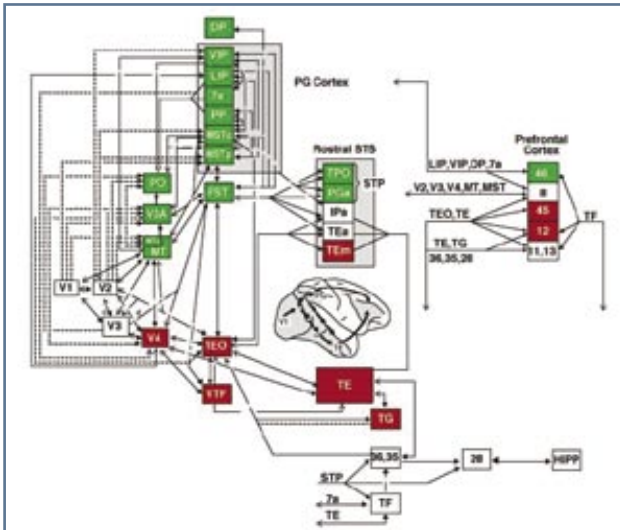
Delovni spomin je v največji meri lociran v **čelnem in temenskem režnju** možganov. Slikanje možganov (glej str. 41) s pomočjo PET in fMR kaže, da se slušni deli delovnega spomina, večinoma nahajajo v čelnem in temenskem režnju

leve možganske poloble, kjer sodelujejo z nevronskimi omrežji za govor, načrtovanje in odločanje. Vse to so aktivnosti, za katere je dober delovni spomin nujen. Vidno-prostorska skicirka pa se nahaja pretežno v desni možganski polobli (več v okviru na koncu poglavja).

Kako se je razvil delovni spomin? Živali, med njimi tudi večina sesalcev, najbrž nimajo enakega sistema za delovni spomin, kot ga imamo ljudje. Lahko smo prepričani, da se ni razvil, da bi zgodnjim hominidom pomagal zapomniti si telefonske številke! Raziskave pri majhnih otrocih kažejo, da ima delovni spomin zelo pomembno vlogo pri učenju jezika in kažejo, da se je ta spominski sistem verjetno razvijal skupaj z govorom. Natančnost, ki jo zahteva sledenje besedam i njihovem vrstnem redu in stavku, je bistvena za pravilno razumevanje njihovega pomena.

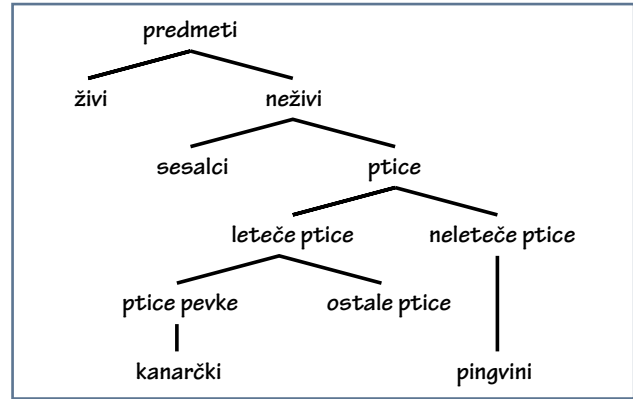
## Dolgoročni spomin

Tudi dolgoročni spomin se deli na različne sisteme, locirane v široko razpršenih možganskih omrežjih. Ta omrežja vršijo zelo različne naloge. V splošnem lahko rečemo, da informacije najprej vstopijo v senzorične sisteme, nato pa se prenašajo v čedalje bolj specializirane sisteme za njihovo procesiranje. Vidna informacija na primer iz striatne skorje po tako imenovani ventralni poti vstopi v medialni del senčnega režnja in potuje po zaporedju omrežij, v katerih se določajo njene lastnosti, kot so oblika, barva, identiteta in domačnost, vse dokler se ne ustvari nek spomin tega konkretnega predmeta, kot tudi, kdaj in kje je bil viden.



Kaskada možganskih poročij, preko katerih se vidne informacije obdelajo najprej zaznavno, potem pa še za namen pomnjenja.

O tej kaskadi analiz lahko razmišljamo na različne načine. Kot prvo, obstajajo v možganski skorji področja, ki izluščijo **zaznavne reprezentacije** tega kar opazujemo. Z njihovo pomočjo si zapomnimo in kasneje prepoznamo stvari v naši okolici. Funkcija tega sistema se kaže denimo v naši sposobnosti prepoznavne znanih ljudi (npr. politikov) v karikaturah. Soroden sistem je **semantični spomin**. Ta hrani vse dejstveno znanje, ki smo ga osvojili o svetu. Vemo, da je Paris glavno mest Francije, da DNA kodira genetsko informacijo v obliki zaporedja baznih parov in tako dalje.



Dejstva, ki jih vemo o živalih, so organizirana v drevesno strukturo. Kako nevronskim omrežjem v možganih uspe ustvariti take strukture, nam še ni jasno.

Bistvena lastnost semantičnega spomina je, da so dejstva organizirana v kategorije. Slednje je ključno za učinkovit priklic, saj lahko iskalni mehanizem hitro in uspešno preiskuje drevesne diagrame. Če bi bil semantični spomin organiziran tako, kot nas večina organizira stvari, ki jih skladiščimo na podstrešjih (torej bolj ali manj naključno), bi imeli velike težave, ko bi se skušali česar koli spomniti. Na srečo se v možganih informacije pred zapomnjenjem same razporedijo v kategorije, čeprav je ob zapletenih stvareh, ki se jih na primer učimo v šolah, dobro imeti izkušenega učitelja. Nadarjeni učitelji so namreč sposobni take strukture kategorij ustvarjati pri svojih učencih brez posebne napora.

Prav tako se učimo **veščin** in osvajamo **čustva**. Vedeti, kaj je klavir, je eno, znati igrati nanj pa nekaj povsem drugega. Znati voziti kolo je uporabna stvar, dobro pa se je tudi zavedati, da so določene situacije na cesti lahko nevarne. Veščin se naučimo preko zavestnega in aktivnega treninga, medtem ko je s čustvi povezano učenje lahko zelo hitro. Običajno tudi mora biti hitro, še posebej pri stvareh, katerih nas je strah. Obema omenjenima načinoma učenja rečemo **pogojevanje**. V tako učenje so vpletene posebne možganske strukture – pri učenju veščin sodelujejo **bazalni gangliji in mali možgani**, pri s čustvi povezanem učenju pa **amigdaloidno jedro**. Večina živali se je sposobna učiti veščin - sposobnost, ki je bistvena za njihovo preživetje.



Šimpanzi so se naučili veščine lovljenja termitov s pomočjo paličic. Mladi šimpanzi se učijo z opazovanjem svojih staršev.

## Odpoved spomina in lokalizacija epizodnega spomina v možganih

Zadnjo vrsto spominskega sistema v možganih imenujemo **epizodni** spomin. Uporabljamo ga za zapomnjenje vseh osebnih izkušenj in doživetij. Zapomniti si, kako je potekal nek posamezen dogodek, je nekaj drugega kot naučiti se dejstev o svetu. Dogodki se namreč zgodijo le enkrat. Če pozabite, kaj ste jedli danes zjutraj (kar je malo verjetno) ali kaj se je zgodilo ob lanskem Božiču (kar je že možno), ne morete še enkrat ponoviti in doživeti teh dogodkov. Sistem je prilagojen hitremu učenju, ker drugačno v takih pogojih niti ni možno.

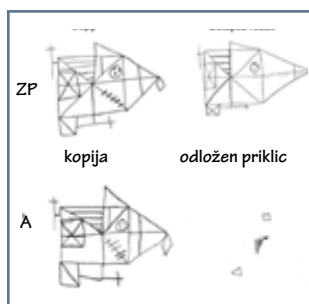
O epizodnem spominu smo se veliko naučili iz opazovanj vedenja nevroloških bolnikov, ki včasih po možganskih kapeh, tumorjih ali virusnih vnetjih, kot je herpetični encefalitis, kažejo zelo specifične spominske motnje. Natančne in načrtne raziskave takih bolnikov so nam povedale precej novega o anatomski organizaciji epizodnega spomina in drugih spominskih sistemov.

„Ne zanima nas toliko sama poškodba ali okvara, temveč kako taka okvara razkrije normalno funkcijo možganov.“

*(Sir Henry Head, nevrolog iz 20. stoletja).*

Ljudje, ki jih prizadene **amnezija**, se ne morejo več spomniti, kaj so doživeli pred kratkim - na primer ljudi, ki so jih srečali pred pol ure. Prav tako ne vedo, kaj so pred kratkim jedli, kje v stanovanju so odložili različne pomembne stvari. Če jim pokažemo kakšno kompleksno sliko, kot je ta v spodnjem okvirju, jo lahko natančno prerišejo, ne bodo pa je znali ponovno narisati iz spomina borbih 30 minut pozneje, kar zdravim ljudem ne predstavlja nikakršnih težav. Dostikrat se tudi ne morejo spomniti stvari, ki so se zgodile, malo preden so zboleli. Temu pojavu rečemo retrogradna amnezija.

Tako življenje nima prave strukture in orientiranosti v času in prostoru. Eden od amnezičnih bolnikov ga je opisal kot „neprestano prebujanje iz sna“. Vendar pa taisti človek nima nobenih težav z govorom in razumevanjem pomena

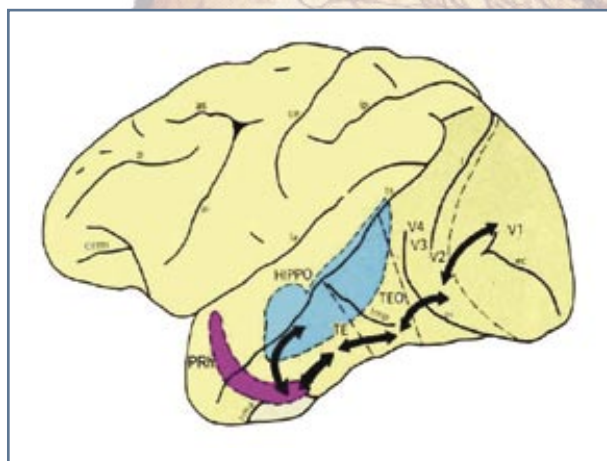


besed, prav tako mu normalno deluje delovni spomin, zaradi česar se je sposoben povsem razumljivo pogovarjati. Njegovih težav ne moremo zaznati, razen če se z njim ponovno pogovorimo čez nekaj minut. Takrat šele lahko opazimo, kako uničujoče izolirano je njegovo doživljanje.

Bolniki z amnezijo (A) dobro zaznajo in natančno prerišejo tako kompleksno sliko, v nasprotju z zdravimi preiskovanci (ZP) pa si je ne uspejo zapomniti za dalj časa.

Še bolj presenetljivo je, da se amnezični bolniki lahko naučijo določenih stvari, obenem pa se tega zavestno ne spomnijo! Lahko se na primer naučijo novih motoričnih veščin, ali pa branja besed nazaj. Hitro vzvratno branje besed je težavno in vzame kar nekaj časa, preden se ga naučimo, tako pri amnezičnih bolnikih kot pri zdravih preiskovancih. Vendar pa se amnezični bolniki tega učenja ne bodo nikdar spomnili. V njihovi zavesti torej obstaja osupljivo razhajanje sposobnosti. Dokler se učijo, se tega učenja zavedajo, kasneje pa izkušnje zavestnega učenja ne morejo več priklicati.

Okvare, ki povzročijo opisano stanje, se lahko nahajajo v različnih delih možganov. Posebej pomembne strukture za ustvarjanje epizodnih in semantičnih spominov so **mamilarna telesca** v diencefalonu, **talamus** in **hipokampus** v medialnem delu senčnega režnja.



Dve strukturi sta še posebej pomembni za procese epizodnega spomina - peririnalna skorja (PRH), ki posreduje občutek domačnosti ob zapomnjenih informacijah in hipokampus (HIPPO), ki kodira dogodke in kraje.

## Drugi spominski sistemi

Okvare v drugih delih možganov lahko motijo ostale spominske sisteme. Degenerativne bolezni, kot so nekatere oblike **semantične demence** (ena vrsta Alzheimerjeve bolezni), lahko povzročijo osupljive vzorce okvar semantičnega spomina. V zgodnjem poteku bolezni so na primer bolniki lahko še povsem sposobni pravilno prepoznati slike mačke, psa, avta ali vlaka, kasneje pa morda ne prepoznajo več slike miši in jo poimenujejo za psa. Taka napaka potrjuje, da so dejstva v možganih organizirana po kategorijah tako, da so dejstva v zvezi z živim svetom shranjena skupaj, nekje stran od dejstev v zvezi z neživimi objekti.

## Nevrobiologija spomina

Raziskave nevroloških bolnikov nam lahko nakažejo, kje v možganih se posamezne spominske funkcije nahajajo. Kako pa spominski sistemi delujejo na ravni posameznih nevronov in kemičnih prenašalcev, nam lahko povedo le dobro načrtovane raziskave z laboratorijskimi živalmi.

Nevroznanstveniki menijo, da je precej mehanizmov precizne nastavitve nevronske povezave med razvojem možganov vpletenih tudi v procese zgodnjega učenja. Vzpostavitev intimnega odnosa, ki se razvije med otrokom in materjo, so preučevali pri mladih piščančkih preko procesa **vtiskanja**. Zdaj vemo, kje v možganih piščančka poteka ta proces in s sproščanjem katerih kemičnih transmittorjev je povezan.

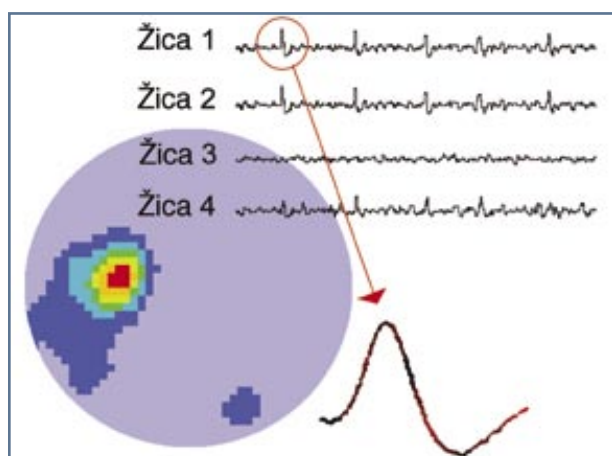


### hipokampus

Golgijevo barvanje prikaže nekatere nevrone v črni barvi

Transmittorji delujejo na receptorje določenih nevronov in omogočijo shranitev nekakšne „slike“ matere, ki je tako natančna, da se piščanček nikdar ne zmoti, da bi sledil kakšni drugi materi kot svoji. Mlade živali se morajo prav tako zgodaj naučiti, katera hrana je varna. To storijo tako, da poskušajo majhne količine različne hrane in se učijo, katera ni užitna. Tako učenje je rezultat razvojno pogojenih mehanizmov učenja in ne more biti prepuščeno le genetskim vplivom. Med omenjenimi procesi vtiskanja ali pa preskušanja hrane se sproščajo kemični transmittorji, ki delujejo na receptorje, ti pa v celici sprožajo zaporedja sekundarnih prenašalcev, ki v jedru celice aktivirajo gene za sintezo posebnih proteinov, ki lahko dobesedno utrdijo spominske sledi.

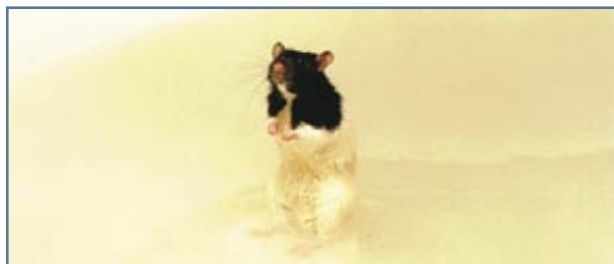
Pomembno odkritje so tudi s **prostorom povezane živčne celice**. Gre za nevrone v hipokampusu, ki sprožajo akcijske potenciale le, kadar se žival giblje v znanem prostoru. Različne celice kodirajo različne dele prostora, tako da skupina celic sestavlja zemljevid celotnega prostora. Druge celice v sosednjem možganskem področju kodirajo smer, v katero se žival giblje. Obe področji delujeta skupaj, zemljevid prostora in občutek smeri živali pomagata, da se nauči najti pot v prostoru. To je seveda nujno za preživetje živali, ki mora najti hrano in vodo, nato pa se vrniti v brlog, gnezdo ali drugo skrališče. Tak navigacijski sistem vsebuje elemente semantičnega in epizodnega spomina. Živali oblikujejo stabilne reprezentacije pomembnih položajev na področju svojega teritorija, podobno kot se mi naučimo dejstev o svetu, v katerem živimo. Tak zemljevid prostora obenem predstavlja okvir za priklic zapomnjenega – na primer, kje je bil nazadnje viden kak tekmeč ali plenilec. S prostorom povezani nevroni torej morda kodirajo več kot le prostor – morda pomagajo pri zapomnjenju posameznih dogodkov.



Štiri elektrode, vstavljene v hipokampus, razkrijejo električno aktivnost posameznih nevronov (žica 1, 2 in občasno 4), ki se prožijo takrat, ko je žival na točno določenem mestu (rdeče polje v barvnem krogu, ki prikazuje njen gibalni prostor). Povečava iz rdečega krožca prikazuje obliko vala iz zapisa električne aktivnosti.

Kako v možganih nastanejo taki zemljevidi in drugi spominski zapisi? Nekateri znanstveniki domnevajo, da je vpleten proces sinaptične plastičnosti, ki ga posredujejo receptorji NMDA. V prejšnjem poglavju smo opisali, kako ta proces preoblikuje moč sinaptičnih povezav v omrežju nevronov in da je tako preoblikovanje verjetno podlaga shranjevanja informacij. Učenje o prostoru je ovirano, če v hipokampus vnesemo snovi, ki blokirajo **receptorje NMDA**. Podgane in miši lahko

na primer naučimo, da s plavanjem v bazenu z obarvano vodo najdejo ploščad, ki je skrita pod gladino. Pri tem uporabljajo že omenjene nevrone, ki so povezani s procesiranjem lokacije v prostoru ali smeri gibanja. Pravilna lokacija platforme v bazenu se shrani s pomočjo sinaptične plastičnosti, ki jo sprožijo receptorji NMDA. Z genskim inženiringom so vzredili miši, ki nimajo receptorjev NMDA v hipokampusu. Take živali se slabo učijo prostorskih odnosov, njihovi prostorski nevroni pa so tudi zelo nenatančni. Kot je bilo opisano v prejšnjem poglavju, lahko spremembe v učinkovitosti sinaptičnih povezav nastanejo tudi preko spreminjanja ekscitatornih receptorjev AMPA. Zanje še ne vemo, ali so morda povezani s spominom. Ta možnost se v zadnjem času intenzivno raziskuje.



Podgana je v bazenu z belo obarvano vodo priplavala na skrito ploščad, na kateri stoji.

### Ali lahko spomin izboljšamo?

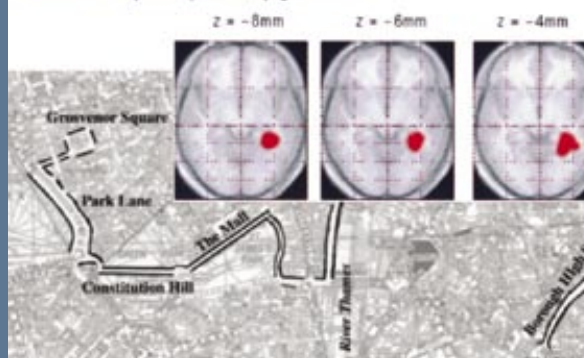
Vsi kdaj pomislimo, da bi bilo dobro izboljšati obseg ali trajnost našega spomina. Starejši ljudje se velikokrat pritožujejo nad svojim spominom. Izboljšanje spomina pa prav gotovo ni nedolžna stvar. Dober spomin namreč pomeni ravnovesje med pomnjenjem in pozabljanjem. Če bi pomnjenje izboljšali, bi nas gotovo začelo motiti, da ne moremo pozabiti vseh banalnih stvari, ki smo jih doživeli preko dneva in za katere ni potrebe, da bi si jih zapomnili. „Jin in jang“ dobrega spomina je ravno v v ravnovesju – da smo si sposobni zapomniti pomembne stvari in jih dobro organizirati v spominu, ter obenem pozabiti vse, kar je manj pomembno. Verjetno ne bomo nikdar iznašli tabletko, ki bi čudežno ojačala spomin, vsaj ne pri zdravih ljudeh. Evolucija je poskrbela, da je naš spominski sistem optimalno uravnovešen.

Pri hujši pozabljalnosti bi si morda lahko pomagali z zdravili, ki bi izboljšala delovanje receptorjev NMDA in AMPA, ali s snovmi, ki bi spodbudile sekundarne prenašalce znotraj celice, za katere so v raziskavah pri mladih živalih dokazali, da sodelujejo v procesih učenja. Bilo bi zelo koristno, če bi znali zavreti napredovanje nevrodegenerativnih procesov, kot je Alzheimerjeva bolezen, ki že zgodaj v svojem poteku prizadenejo spominske sposobnosti. Eno najbolj zanimivih področij v sodobni nevroznanosti, tako za znanstvenike z univerz in inštitutov kot za farmacevtska podjetja, je ravno sodelovanje pri projektih te vrste. Ker se v vseh razvitih državah sedaj močno povečuje delež starejših ljudi v populaciji, bi bili ukrepi, ki bi jim omogočili čim daljše samostojno življenje, zelo dobrodošla.

Nekateri znanstveniki verjamejo, da bo pri tem pomembno vlogo ob zdravilih igral tudi **kognitivni inženiring**. O tem se v medijih ne govori tako veliko kot o novih zdravilih, vendar je prav tako pomembno. Zamisel sloni na praktični izrabi

### Raziskovalna obzorja

Vozniki taksijev kažejo med predstavljanjem poti povečano aktivnost v hipokampusu in njegovi bližini.



Londonški vozniki taksijev morajo mesto zelo dobro poznati, preden lahko začnejo s prevozi potnikov. Ko so izkušene taksiste posadili v napravo za slikanje možganov in jim naročili, naj si zamislijo pot iz Marble Archa do Elefanta in Gradu, so pri njih opazili povečano aktivacijo parahipokampalnega področja v desni hemisferi (označeno rdeče). Strukturne MR slike možganov taksistov kažejo tudi spremembe v relativni velikosti različnih predelov hipokampusa, kar je morda povezano s tem, kolikšen del mesta so si zapomnili. Pri razlagi rezultatov je seveda potrebno upoštevati tudi morebitne druge dejavnike.

spoznanj o tem, kako spominski procesi potekajo, kako si sledijo obdobja kodiranja, shranjevanja, utrjevanja in priklica informacij. Lahko bi uporabili različne strategije, ki pomagajo pri utrjevanju spomina, kot so usmerjanje pozornosti, optimalna časovna razporeditev učnih lekcij in uporaba pogostih opomnikov. Nekateri starejši bolniki tako že s pridom uporabljajo pripomočke, kot je „NeuroPage“ - gre za elektronsko napravo, ki jih opozarja, kaj morajo storiti v prihajajočem delu dneva. Na ta način so dnevna opravila strukturirana in jih ne pozabijo. Zavedati se je treba, da različne vrste spomina potrebujejo različne načine učenja. Veščine se na primer ne boste nikdar naučili le s poslušanjem, čeprav je le-to povsem zadostno za shranjevanje v epizodnem spominu. Vsak, ki se želi naučiti veščine, jo mora pogosto vaditi, kar vsak glasbeni učitelj venomer dopoveduje svojim učencem.

Alan Baddeley je predlagal razlago delovnega spomina, po kateri ta obsega več različnih, med seboj povezanih sistemov.



Fonološka zanka, vidnoprstorska skicirka in centralni izvršitelj se nahajajo v različnih predelih možganov.

