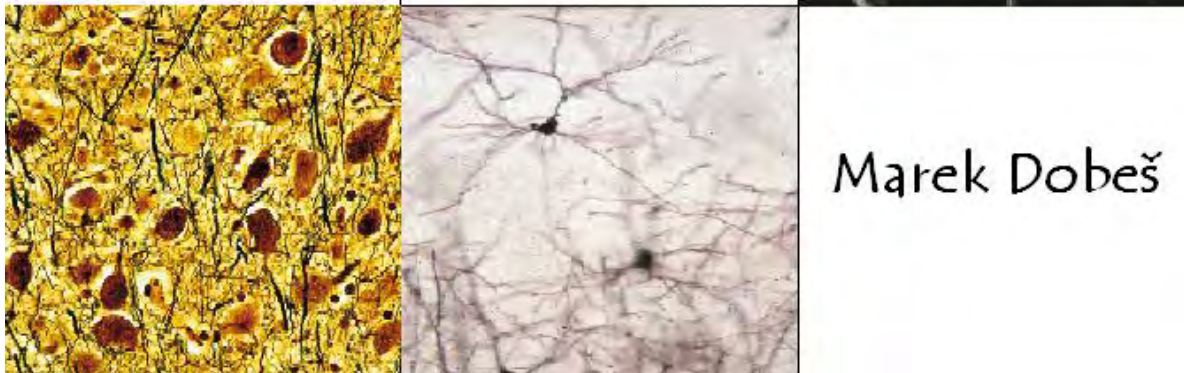
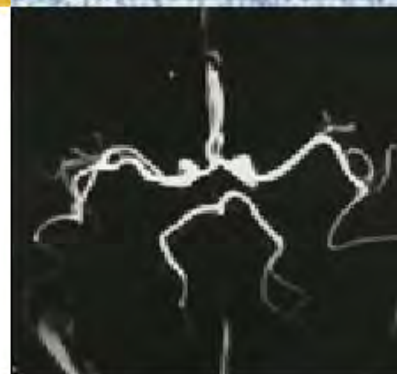


Základy  
neuropsychologie



Marek Dobeš

**Názov: Základy neuropsychológie**

**Autor: PhDr. Ing. Marek Dobeš, PhD.**

**Vydal: Spoločenskovedný ústav SAV, Košice**

**Rok vydania: 2005**

**Vydanie: prvé**

**Recenzent: prof. PhDr. Jozef Výrost, DrSc.**

**Publikácia neprešla jazykovou úpravou.**

**ISBN: 80-967182-4-X (tlačená forma)  
80-967182-5-8 (CD)**

**Publikácia na internete: [pcl.tuke.sk/neuropsychologia](http://pcl.tuke.sk/neuropsychologia)  
[www.saske.sk/SVU/psychologia/download/neuopsy.pdf](http://www.saske.sk/SVU/psychologia/download/neuopsy.pdf)**

**Kontaktný e-mail: [md@saske.sk](mailto:md@saske.sk)**

## Pod'akovanie

Ďakujem  
Ľubici Beňuškovej, Ľudovítovi Veselému,  
Romanovi Beňačkovi a Katke Vasil'ovej  
za pripomienky k práci,  
Norovi Kopčovi za cenné informácie,  
Hruške a všetkým blízkym za podporu,  
a mame za všetko.

Marek Dobeš  
V Košiciach, marec 2005.

## Obsah

Úvod	1
Kapitola 1: Základný pohľad na mozog	3
Oblasti mozgovej kôry	
Štruktúra mozgovej kôry	
Spracovanie informácií v mozgu	
Kapitola 2: Stavebné prvky mozgu	11
Neuróny	
Neuroprenášače	
Neuromodulátory a hormóny	
Druhí poslovia	
Gliové bunky	
Počítačový model neurónu	
Kapitola 3: Metódy výskumu mozgu	23
Poškodenia mozgu	
Meranie aktivity mozgu	
Počítačové modelovanie	

Kapitola 4:	Sluch	29
Kapitola 5:	Zrak	35
	Vedenie informácie do zrakovej kôry	
	Predspracovanie zrakovej informácie	
	Štruktúra primárnej zrakovej kôry	
	Oblasti zrakovej kôry	
Kapitola 6:	Čuch	45
Kapitola 7:	Chuť	47
Kapitola 8:	Hmat	49
Kapitola 9:	Motorický systém	53
	Štruktúra primárnej motorickej kôry	
	Štruktúra sekundárnej motorickej kôry	
	Aktivita v primárnej motorickej kôre	
	Aktivita v sekundárnej motorickej kôre	
Kapitola 10:	Asociačné oblasti	59
Kapitola 11:	Emócie	63
	Podkôrové centrá emócií	
	Kôrové centrá emócií	
Kapitola 12:	Motivácia	66
Kapitola 13:	Pamäť	69
	Explicitná pamäť	
	Implicitná pamäť	
	Dlhodobá a krátkodobá pamäť	
Kapitola 14:	Učenie	74

Kapitola 15: Jazyk a reč	78
Jazyk	
Reč	
Kapitola 16: Myslenie	83
Rozhodovanie	
Mentálna predstavivosť	
Základy matematických schopností	
Kapitola 17: Osobnosť	87
Kapitola 18: Sebaobraz	90
Zložky sebaobrazu	
Ja a vonkajší svet	
Niektoré poruchy sebaobrazu	
Kapitola 19: Vedomie	95
Umiestnenie vedomia v mozgu	
Teórie vzniku vedomia	
Vedomie v rozličných modalitách	
Slobodná vôľa	
Záver	99

## Úvod

Podobne ako sú chemické deje postavené na fyzikálnych princípoch, tak sú psychické deje založené na neurofyziologických procesoch. Ak budeme schopní popísať ľudské správanie na úrovni aktivity neurónov a ich sietí, dostaneme omnoho presnejší obraz dynamiky ľudskej psychiky ako je ten, ktorý máme dnes. Takýto popis si však vyžaduje množstvo informácií, z ktorých ešte zďaleka všetky nepoznáme. Kniha, ktorú držíte v ruke, ponúka prehľad toho najzákladnejšieho, čo sa v tejto oblasti zatiaľ vyskúmalo.

Vychádzame zo základnej premisy, že celá psychika má základ v mozgu a jeho interakcii s okolím. Text je písaný trochu ako príručka popisujúca činnosť zložitého, ešte celkom nepochopeného systému. Je určený najmä študentom psychológie a odborov zaoberajúcich sa ľudským mozgom, no zároveň každému, kto má základné vedomosti o mozgu a psychológii a chcel by sa dozvedieť viac.

Neuropsychológia skúma vzťah medzi mozgom a správaním. Poznávanie ľudského správania a prežívania je doménou psychológie. Mozog je predmetom záujmu mnohých, vzájomne sa prelínajúcich odborov ako sú napríklad neurofyziológia, neuroanatómia, neurológia, neurolingvistika či výpočtová neuroveda. Najvšeobecnejšie sa v poslednom čase používa pojem neuroveda. Táto oblasť ľudského poznávania sa veľmi rýchlo rozvíja. Informácie, ktoré tu podávame, odrážajú stav momentálneho skúmania. Mnohé z nich sú ešte len hypotézami.

Väčšina odborov psychológie zbiera svoje poznatky na základe vonkajších prejavov správania a prežívania. Informácie v tejto publikácii sú návodom na to, ako sa pozerat' na kognície, emócie, či osobnosť z pohľadu aktivity, ktorá prebieha v mozgu.

Text je rozdelený na tri časti. V prvých troch kapitolách podávame informácie o celkovom fungovaní mozgu, jeho základných prvkoch a výskumných metódach, ktoré sa v tejto oblasti vedy používajú. V kapitolách 4 až 10 postupne mapujeme oblasti mozgovej kôry – zmyslové, motorické a asociačné oblasti. Kapitoly 11 a 12 sú prechodom medzi druhou a treťou časťou. Emócie a motivácia sa viažu na konkrétne kôrové oblasti, no zároveň sú už procesmi, do ktorých sa zapájajú i ďalšie oblasti mozgu. V kapitolách 13 až 19 hovoríme o zložitejších kognitívnych procesoch, ktoré nemožno lokalizovať výlučne do niektorej časti mozgu.

V súčasnosti sa neuropsychologickej problematike na Slovensku venuje iba zopár ľudí. Jedným z podnetov pre napísanie tejto knihy bolo želanie, aby ich počet rástol.



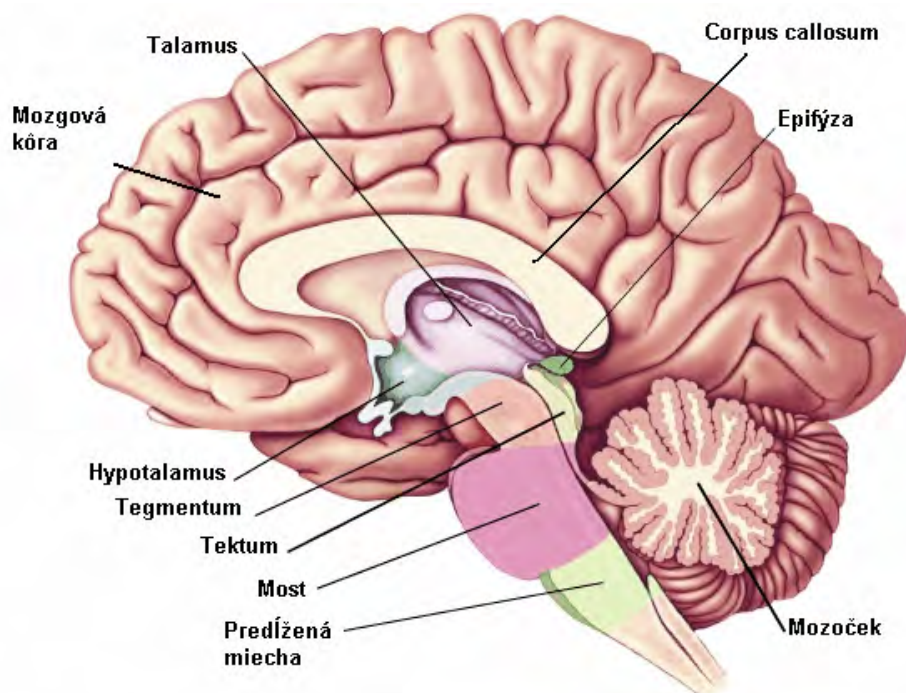
## Kapitola 1: Základný pohľad na mozog

Ludský mozog je nástroj na spracovanie informácií. Prijíma podnety z okolia, z tela i z jednotlivých častí mozgu a výsledky spracovania posiela do iných oblastí mozgu a do tela, najmä do motorických výstupov.

Psychické funkcie, ktoré poznáme, majú základ v jednotlivých oblastiach mozgu a v ich vzájomnej súhre. V mozgu je mnoho centier, ktoré sa zameriavajú na konkrétnu činnosť (zrková kôra, rečová oblasť a podobne), avšak samostatne sú tieto centrá veľmi obmedzené. Skutočná zložitosť nášho správania sa dosiahne iba kombináciou aktivity mnohých oblastí.

Jednotlivé vyššie psychické funkcie nemožno lokalizovať do konkrétnych oblastí mozgu. Mnohé pozorovania poškodenia mozgu ukázali, že porušenie jednej jeho časti môže zhoršiť nejakú funkciu, avšak, pokiaľ nie je veľké, funkcia ďalej pretrvá. I na relatívne jednoduchých činnostiach, ako je napríklad počítanie, či vydávanie zvukov totiž spolupracuje množstvo mozgových oblastí. Je to výhodné, pretože pri poškodení jednej jeho časti je mozog schopný reštrukturalizácie tak, že porušenú funkciu začne vykonávať iná kombinácia mozgových oblastí. Predstavme si to ako reťaz, z ktorej keď vypadne jedno ohnivko, môže byť nahradené inými ohnivkami. Alebo ako cestu, na ktorej keď sa zablokuje jeden prechod, možno sa do cieľa dostať obchádzkou. Je to dlhšie a zložitejšie, ale dá sa to.

Oblasti mozgu, ako predĺžená miecha, most, stredný mozog, či mozoček sú nevyhnutné, avšak nie postačujúce pre zložitejšie spracovanie informácií, ktoré ľudí odlišuje od zvierat. Vyššie kognitívne procesy sa dejú predovšetkým v mozgovej kôre. Preto sa budeme v tejto knihe zaoberať najmä ňou.



Obrázok 1.1: Štruktúry ľudského mozgu. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

## Oblasti mozgovej kôry

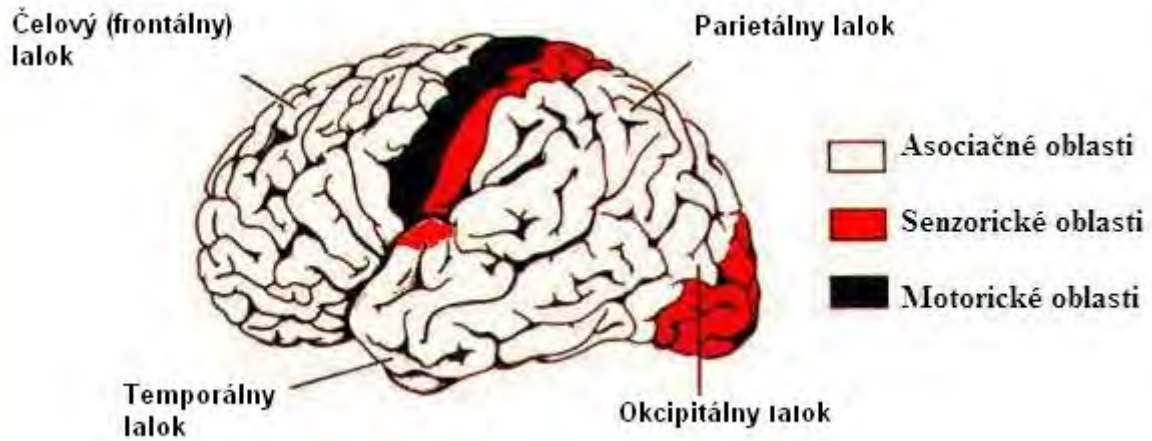
Mozgovú kôru môžeme rozdeliť na tri základné druhy oblastí:

*Senzorické oblasti* majú za úlohu spracovávať podnety zo zmyslových orgánov. Každý zmysel má svoju príslušnú kôrovú oblasť. Máme zrakovú, sluchovú, čuchovú, chuťovú a somatosenzorickú (reprezentujúcu hmat, tlak, bolesť a informácie zo svalov) kôrovú oblasť.

*Asociačné oblasti*, ktoré tvoria väčšinu mozgovej kôry, spájajú informácie z jednotlivých senzorických a motorických oblastí a umožňujú vyššiu úroveň spracovania informácií. Čím vyššie je druh evolučne postavený, tým väčšie percento mozgu zaberajú asociačné oblasti. Výnimočné postavenie medzi asociačnými oblasťami má prefrontálna kôra. Je to oblasť, ktorá je evolučným rozšírením ostatných oblastí v mozgu. Je do veľkej miery zodpovedná za plánovanie, vôľové konanie a niektoré osobnostné charakteristiky.

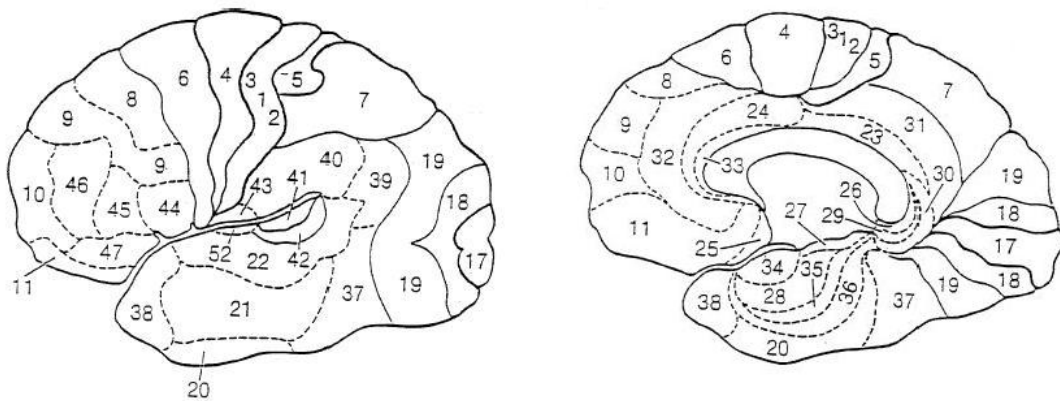
*Motorické oblasti* spracovávajú informácie zo senzorických a asociačných oblastí a rozkladajú ich na konkrétne impulzy pre svaly v tele.

Z hľadiska neuropsychológie je ešte veľmi dôležitý podkôrový *limbický systém*, ktorý má kľúčovú úlohu pri emóciách, motivácii, pamäti a učení.



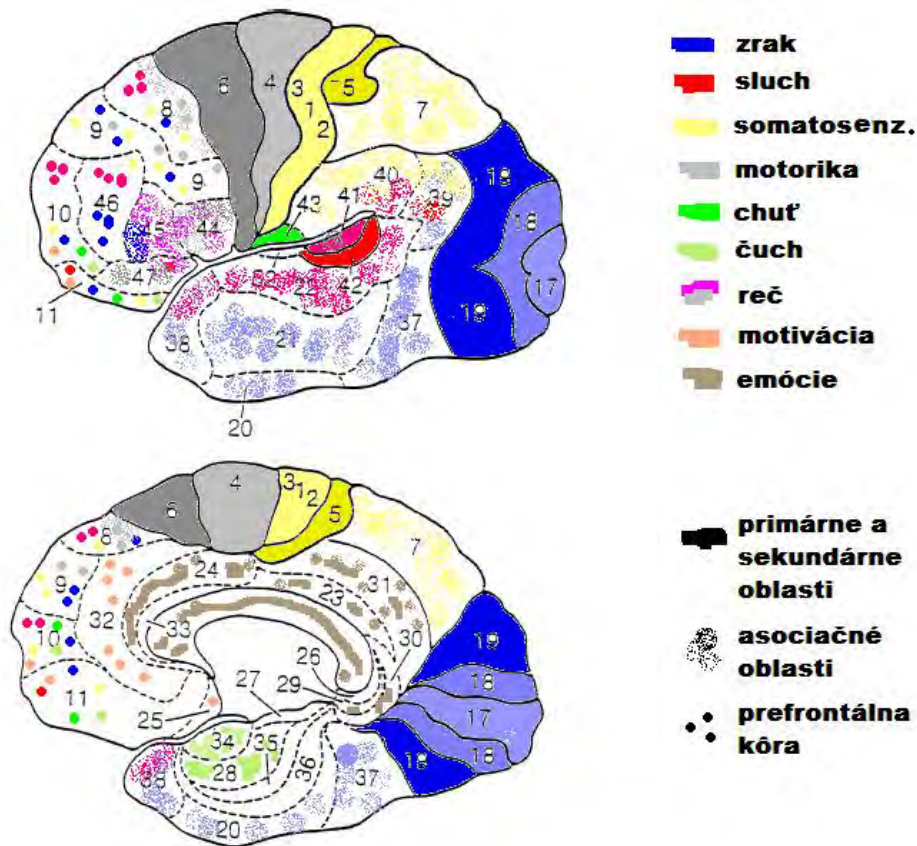
Obrázok 1.2: Podiel senzorických, motorických a asociačných oblastí v mozgovej kôre.

Neuróny v mozgu nie sú poprepájané náhodne. Evolučne sa vyčlenili skupiny neurónov, ktoré majú medzi sebou viac spojení ako s ostatnými neurónmi. Tak môžeme v mozgu rozlíšiť niekoľko relatívne samostatných oblastí. Najznámejšou klasifikáciou týchto oblastí je Brodmanova mapa mozgových kôrových oblastí.



Obrázok 1.3: Brodmanove mapy mozgovej kôry. Pohľad z boku a pohľad zo stredu. Zdroj: Brodman, 1909.

Neurovedcom sa podarilo identifikovať funkcie jednotlivých Brodmanových oblastí, a tak si môžeme vytvoriť schematický obraz o tom, ktorá časť nášho mozgu vykonáva akú činnosť.

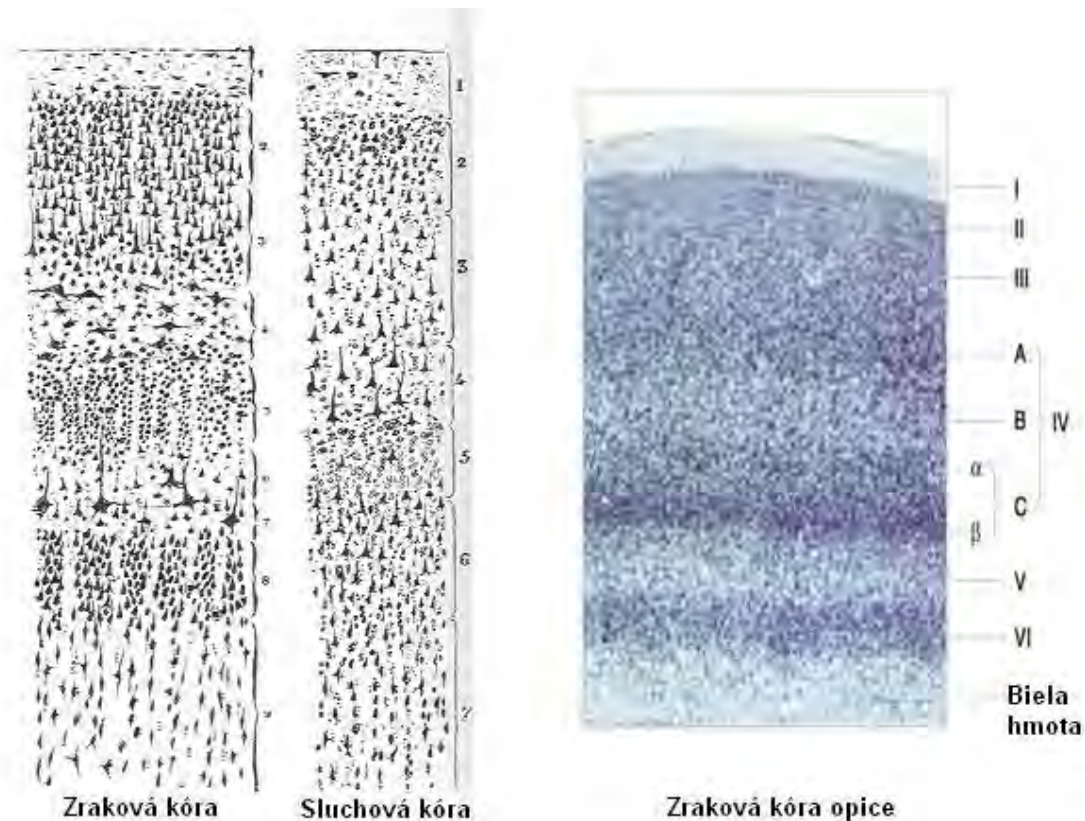


Obrázok 1.4: Funkcie Brodmanových oblastí mozgovej kôry.

Vidíme, že základná štruktúra kôry vyzerá nasledovne: okolo primárnych sensorických oblastí, do ktorých prichádza informácia zo zmyslových orgánov, sú umiestnené sekundárne sensorické oblasti, v ktorých sa táto informácia ďalej spracováva. Medzi jednotlivými sensorickými oblasťami sú umiestnené asociačné oblasti, v ktorých sa „miešajú“ informácie zo sensorických oblastí. Tak napríklad môžeme mať prepojený obraz psa s jeho štekotom alebo farbu slnka s teplom, ktoré dáva. Podobne sú asociované informácie z motorických a sensorických oblastí.

## Štruktúra mozgovej kôry

Z približne 100 miliárd neurónov v mozgu, sa ich v mozgovej kôre nachádza asi 10 miliárd. Sú rozčlenené na oblasti, ktoré sme spomínali. Do hĺbky je mozgová kôra rozdelená na približne šesť vrstiev neurónov.



Obrázok 1.5: Vrstvy neurónov v mozgovej kôre. Schematické a anatomické vyobrazenie.

Zdroj: Swanson (2003), Bear, Connors, Paradiso (2001).

Načo je dobré rozdelenie na viaceré vrstvy? Prečo by nemohla byť mozgová kôra homogénna? Mozog ako celok má vstupy a výstupy. Podobne sú i v mozgovej kôre jednotlivé vrstvy špecializované na vstup informácie, jej spracovanie a výstup do ďalších oblastí.

V prvej, vonkajšej (najvrchnejšej) vrstve je relatívne málo neurónov a ich funkcia nie je tak jasná. Vo vrstve dva sa nachádzajú malé pyramídové neuróny (nazvané podľa trojuholníkovitého tvaru bunky), ktoré vedú asociačné spojenia do ďalších kôrových oblastí tej istej hemisféry. Pyramídové neuróny tretej vrstvy zväčša vedú spojenia do opačnej hemisféry (komisurálne spojenia), a tiež asociačné spojenia do ďalších kôrových oblastí tej

istej hemisféry. Vrstva štyri obsahuje granulórne neuróny, ktoré sú poprepájané najmä v rámci tej istej oblasti medzi sebou a tvoria lokálne mikrookruhy. Prichádzajú do nej informácie z talamu (ktorý je akosi senzoricou križovatkou, prechádzajú cez neho informácie zo všetkých zmyslových orgánov). Zo štvrtej vrstvy odchádzajú informácie do vyšších vrstiev (najmä 2 a 3). Vo vrstvách 5 a 6 sú veľké pyramídové neuróny, ktoré odvádzajú informácie do podkôrových oblastí.

Zjednodušene môžeme hovoriť o troch základných vrstvách: supragranulárnej (1 až 3), granulórne (4) a infragranulárnej (5 a 6). Do granulórne a supragranulárnej vrstvy prichádzajú informácie, ktoré sa tam spracovávajú. Infragranulárna vrstva je akosi motorickou podoblasťou kôry, ktorá vykonáva príkazy a odvádzajú informácie, ktoré sú spracované vo vyšších vrstvách.

## **Spracovanie informácií v mozgu**

Mozog je veľmi zložitý systém. Ak ho máme niekedy pochopiť, musíme si jeho fungovanie rozložiť na menšie funkčné jednotky, tie si vžiť a z nich potom poskladať komplexný obraz.

V mozgu prebiehajú dva základné spôsoby spracovania informácií.

*Simultánne*, respektíve priestorové spracovanie je typické napríklad pre analýzu zrkového vnemu, keď naraz príde do mozgu skupina údajov. Ak vidím červenú loptu, v mojej zrakovej kôre sa naraz aktivizuje množstvo neurónov, ktoré spoločne predstavujú tvar a farbu lopty. Vytvorí mapu tohto tvaru, vnútorný model vonkajšieho sveta.

*Sukcesívne* alebo sekvenčné spracovanie je typické napríklad pre spracovanie zvukov alebo plánovanie postupnosti motorických činností. Vtedy do mozgu prichádzajú v čase postupne skupiny údajov. Keď počúvam melódiu, nepríde mi do mozgu naraz celá. Postupne prichádzajú jej časti, a mozog si musí pamätať, čo odznelo doteraz, a čo práve počuje. Iba tak môže napríklad odlíšiť dve rozličné piesne, ktoré majú rovnaký začiatok.

Ako je však pre mozog typické, veľmi často sa oba tieto typy spracovania vyskytujú v spoločnej súhre.

## Pre zaujímavosť

Tweed uvádza príklady neuronálnych mechanizmov, ktoré sa v mozgu vyskytujú, a ktoré môžu slúžiť ako základné stavebné jednotky, z ktorých sú vystavané naše kognitívne procesy.

*Porovnávače* sú skupiny neurónov (neurónové siete), ktoré porovnávajú dve informácie a podľa toho, či sú zhodné alebo nie, inervujú príslušné ďalšie časti nervového systému. Keď vidím nejakého človeka, potrebujem sa rozhodnúť, či je to niekto, koho poznám, alebo či si mám vytvoriť v mozgu reprezentáciu novej osoby.

*Integrátory* sú neurónové siete, ktoré z časových charakteristík podnetov vytvárajú priestorovú reprezentáciu. Ide o typ transformátorov temporálnych (meniacich sa v čase) premenných na statické. Keď vidím, ako zajac v lese uteká, nemusím si pamätať celý jeho pohyb, stačí mi fakt, že beží.

*Filtre* sú skupiny neurónov, ktoré majú za úlohu zjednodušiť množstvo informácií, ktoré sa do nášho mozgu valí. Rýchle filtre (high-pass filters) nereagujú na pomaly sa meniace udalosti (napríklad, ak je na ulici šum premávky), ale iba na náhle zmeny v podnetoch (ak zrazu na ulici niekto vykrikuje). Pomalé filtre (low-pass filters) majú za úlohu ignorovať výrazné odchýlky v stimuloch (ak na mňa zaveje závan studeného vzduchu z chladničky, nemusím sa hneď obliekať) a zaznamenávajú iba priemerné hodnoty.

*Neurónové okruhy* majú v mozgu najrozličnejšie funkcie. Základným predpokladom fungovania mozgu je, že získava od okolia spätnú väzbu na to, čo robí. Neurónový okruh môže po dlhšiu dobu udržiavať v sebe informáciu tým, že dookola aktivizuje neuróny, ktoré ho tvoria. Môže sa používať iteračným spôsobom na vylepšovanie informácie, ktorá v ňom prebieha.

*Oneskorené neuróny* (delay neurons) sú bunky, ktoré sú aktívne dlhší čas po tom, ako boli aktivizované. Tak môžu slúžiť ako forma krátkodobej pamäti.

*Eferentné kópie* slúžia zväčša na to, aby boli ďalšie oblasti mozgu informované o príkazoch, ktoré odchádzajú na motorické výstupy. Ak dá napríklad mozog povel očiam pohnúť sa istým smerom, vyšle kópiu tohto príkazu do porovnávača, ktorý posúdi, či sa skutočný pohyb očí zhodoval s príkazom, ktorý bol vyslaný. Mozog tak môže kontrolovať a upravovať efektívnosť svojej činnosti.

*Mapy* sú skupiny neurónov, ktoré (podobne ako geografické mapy) reprezentujú vybrané vlastnosti predmetov alebo udalostí. V mozgu máme napríklad mapu povrchu nášho tela, kde

jednotlivé neuróny reagujú na dotyky príslušných miest na koži, mapu sietnice, na ktorú sa premietajú podnety, ktoré na sietnicu dopadajú a podobne.

Takýchto mechanizmov je v mozgu určite viac. Zatiaľ však nie je vytvorený súhrnný popis a klasifikácia týchto princípov.

## Literatúra:

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Brodmann, K. (1909) Localization in the cerebral cortex. Smith-Gordon, Londýn

Faw, B. (2003) Pre-frontal executive committee for perception, working memory, attention, long-term memory, motor control, and thinking: A tutorial review. Consciousness and Cognition, 12, s. 83-139

Lurija, A. R. (1975) Ľudský mozog a psychické procesy. SPN, Bratislava.

Swanson, L. W. (2003) Brain architecture. Understanding the basic plan. Oxford University Press, Oxford.

Tweed, D. (2003) Microcosms of the brain. What sensorimotor systems reveal about the mind. Oxford University Press, Oxford.



## Kapitola 2: Stavebné prvky mozgu

### Neuróny

Mozog je postavený z neurónov a viacerých typov podporných buniek. Neurón je bunka, podobná iným. Čo ju robí zvláštnou, je jej schopnosť prijímať informácie od iných neurónov, spracovať ich a poslať ďalším neurónom. Neurónov je v ľudskom mozgu približne sto miliárd, pričom každý z nich je prepojený až s niekoľkými tisícami ostatných. Z týchto spojení sa vytvára obrovská zložitosť nášho mozgu. Informácie sa cez neurón šíria elektricky, na synapsii (prepojení) neurónu so susedom sa spôsob prenosu informácie dočasne mení na chemický.

Štruktúra a fungovanie neurónu je relatívne zložité. Z pohľadu spracovania informácií môžeme fungovanie neurónu zjednodušiť na nasledujúce funkcie:

Vstup (cez dendrity) – neurón prijíma informácie od ostatných neurónov.

Spracovanie vstupnej informácie – z množstva vstupov sa vytvorí výsledná hodnota, ktorá rozhodne, či sa prekročí prah neurónu.

Prah – neurón nie je aktívny (neposiela signál na ostatné neuróny) stále. Na to, aby signál vyslal (aby vygeneroval akčný potenciál) je potrebná istá úroveň vstupného signálu, ktorú musí dosiahnuť – neurónový prah.

Výstup (cez axón) – neurón vysielá informácie k ďalším neurónom, s ktorými je prepojený.

Synapsia – miesto prepojenia dvoch neurónov. Najmä od rozličných charakteristík systému neuroprenášačov v synapsii závisí, ako kvalitný je prenos informácie z neurónu na neurón.

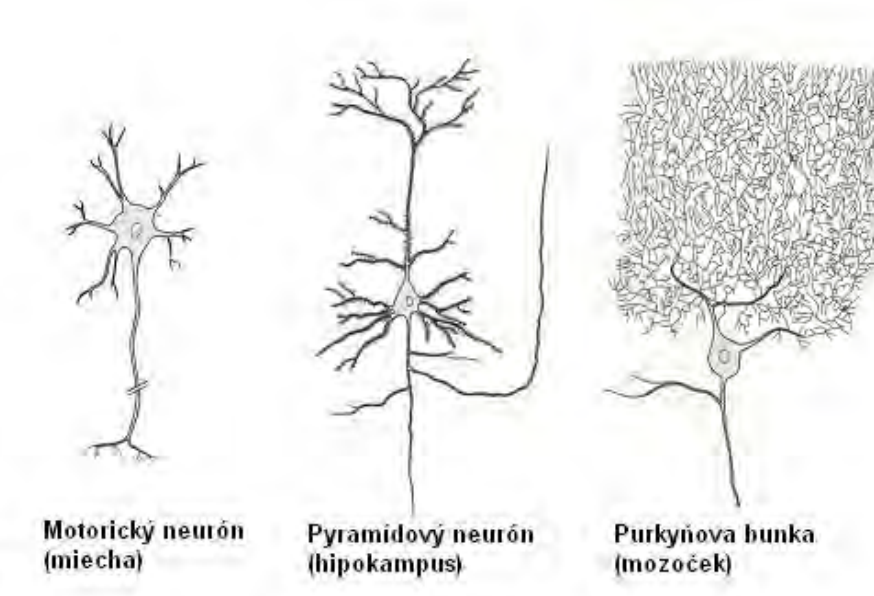
Neurónov je niekoľko stoviek typov, i keď základné vlastnosti majú rovnaké. Neuróny možno deliť podľa viacerých charakteristík:

## *Tvar neurónu, respektíve počet vstupov a výstupov*

Unipolárne neuróny (hlavne u bezstavovcov), kde z tela bunky vedie iba jeden výbežok, ktorý sa môže ďalej vetviť

Bipolárne neuróny (najmä senzorické bunky, napríklad v sietnici), ktoré jedným výbežkom (dendritom) zbierajú informáciu z periférie a druhým (axónom) ju odvádzajú do centrálného nervového systému.

Multipolárne neuróny (ktoré sú u stavovcov najčastejšie), ktorých je znova viac typov. Najvýraznejšie sa líšia počtom dendritov, vstupov od ostatných neurónov, ktorých môže byť až niekoľko desiatok tisíc.

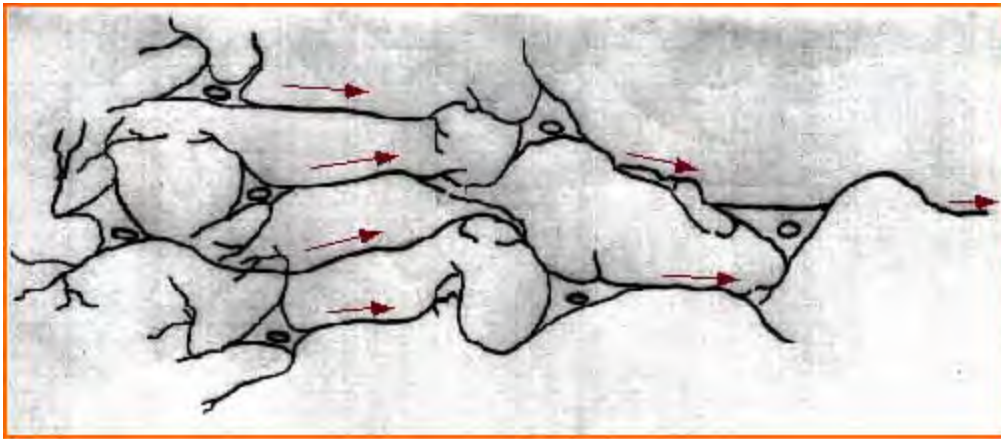


Obrázok 2.1: Rozličné tvary neurónov. Zdroj: Kandel (2000).

Existuje viacero klasifikácií podľa tvaru neurónov. V mozgovej kôre rozlišujeme napríklad pyramídové, granulóne či hviezdicovité bunky. Ďalej neuróny delíme podľa toho, či majú na dendritoch takzvané trne (spines) alebo nie.

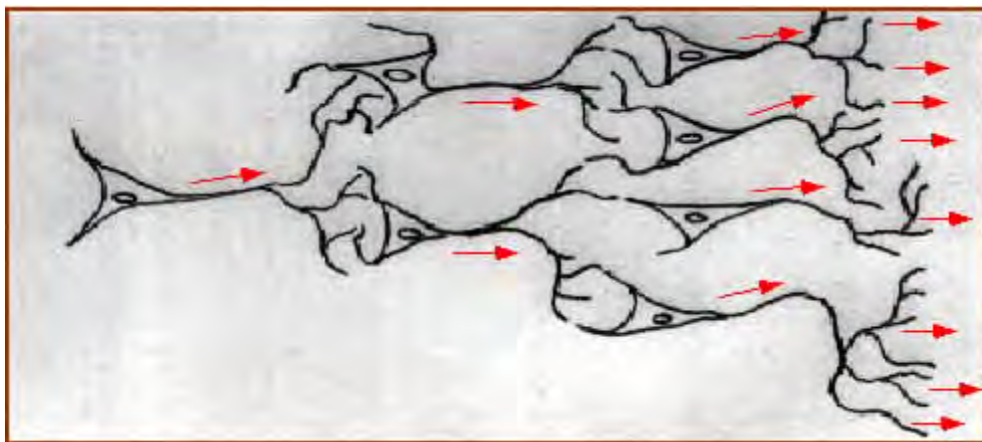
## *Funkcia neurónu*

Senzorické (afarentné) neuróny prinášajú informáciu z tela a prostredia do mozgu. Zväčša sa informácie zhustia (konvergujú), pretože z viacerých neurónov sa prenesú na menšie množstvo buniek.



Obrázok 2.2: Zhust'ovanie (konvergencia) informácie z väčšieho množstva buniek na menšie.  
Zdroj: Instituto de Fisiología Celular, 2005.

Motorické (eferentné) neuróny odvádzajú informáciu z mozgu do efektorov (svalov).  
Z menšieho počtu neurónov sa informácia roznesie na väčšie množstvo buniek.



Obrázok 2.3: Prenos informácie z menšieho počtu buniek na väčšie (divergencia informácie).  
Zdroj: Instituto de Fisiología Celular, 2005.

Interneuróny (ktorých je najviac) vedú informáciu v rámci mozgu. Ďalej ich delíme podľa toho, či ju vedú v rámci jednej mozgovej oblasti – lokálne interneuróny, alebo medzi jednotlivými mozgovými oblasťami – projekčné interneuróny.

### *Vzťah k aktivite iných neurónov*

Excitačné neuróny prispievajú k aktivite ostatných neurónov. Ak sú aktívne, zvyšuje sa pravdepodobnosť toho, že i ich susedia (neuróny, s ktorými majú spojenie) budú aktívni.

Inhibičné neuróny aktivitu svojich susedov brzdia. Ak sú aktívne, znižujú pravdepodobnosť aktivity svojich susedov. Ako stúpame po rebríku evolúcie, pomer inhibičných neurónov k excitačným v mozgu postupne rastie (excitačných je však viac). Ako všetci vieme, niekedy je účinnejšie potlačiť svoje správanie ako nechať mu voľný priebeh.

Excitácia a inhibícia je založená na type neuroprenášača, ktorý zvyšuje či znižuje šancu aktivácie neurónu, na ktorý pôsobí, a na type receptora neuroprenášača.

Stretneme sa aj s pojmom disinhibícia. Tá nastáva vtedy, ak je inhibovaný inhibičný neurón (alebo skupina neurónov). Potom v konečnom dôsledku dochádza k excitácii jeho susedov, keďže susedné neuróny prestanú byť brzdené.

Bez excitácie by nebol možný prenos signálu medzi neurónmi. Ak by neuróny neaktivizovali svojich susedov, informácia by sa prestala šíriť. Inhibícia nám umožňuje jemnejšie doladovať naše správanie. Vedieť sa ovládnuť, ak niečo chceme.

### *Používaný neuroprenášač/neuroprenášače*

Neuróny na synapsiách do synaptickej štrbiny uvoľňujú rozličné chemické látky – neuroprenášače (neurotransmitery) a takisto sú receptormi na stene synapsie citlivé na rozličné neuroprenášače. V zásade možno rozdeliť neuróny do dvoch skupín podľa druhu prenášača, ktorý uvoľňujú. Jednou skupinou sú neuróny s transmitermi na aminokyselinovej báze a druhou neuróny s transmitermi na amínovej báze. Jeden neurón môže obsahovať jeden, no i viac druhov neuroprenášačov.

### *Vzory aktivity*

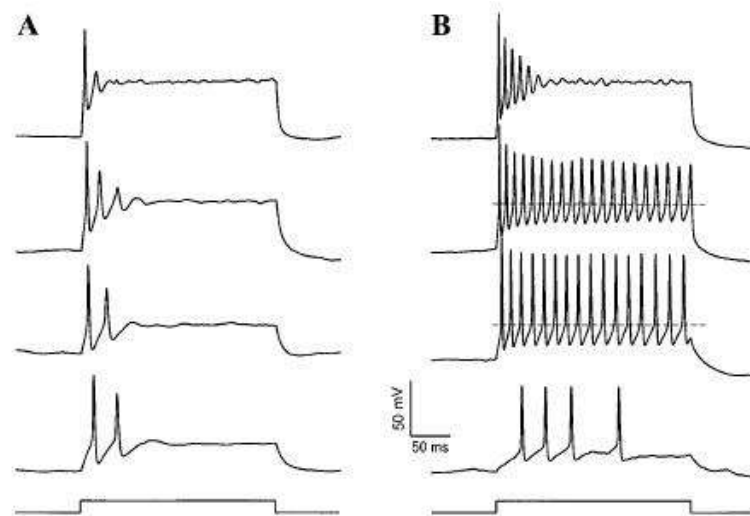
Na neurón prichádza vstupný signál (potenciál), ktorý môže mať rozličnú hodnotu (amplitúdu). Akčný potenciál, ktorý je výstupom neurónu, však buď je alebo nie je – ako v počítači je výsledok buď nula alebo jednotka, nič medzi tým. Tým pádom sa stráca istá časť informácie. Avšak akčný potenciál môže neurón vytvárať s rozličnou frekvenciou. Od nej

závisí i množstvo vylúčeného neuroprenášača, a tak neurón môže susedom odovzdávať mnoho bohatšiu informáciu.

Rozličné neuróny môžu mať rozličné vzory takejto výstupnej aktivity.

Najjednoduchšie rozdelenie je na rýchlo a pomaly sa adaptujúce neuróny podľa toho, ako dlho po excitácii trvá ich aktivita.

Väčšina neurónov potrebuje vstup od iných neurónov na to, aby boli aktívne. Avšak existujú i samoaktivujúce sa neuróny, ktoré takýto vstup nepotrebujú.



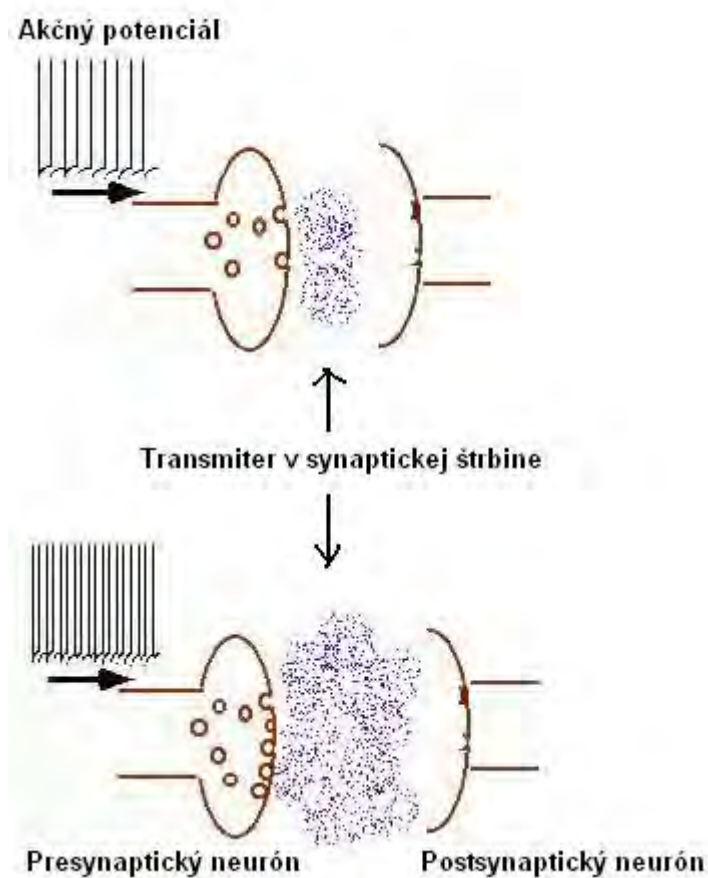
Obrázok 2.4: Rozličné vzory aktivity (firing patterns) neurónov. Snímané z myšacieho mozgu. A – rýchlo sa adaptujúce neuróny, B – pomaly sa adaptujúce neuróny. Spodná časť obrázku zobrazuje časový priebeh podnetu, na ktorý neuróny reagovali. Zdroj: Mo, Davis, 1997.

## Neuroprenášače (neurotransmitery)

Neuroprenášače slúžia na prenos signálu (informácie) medzi neurónmi. Ak je neurón aktívny, uvoľní do synaptickej štrbiny neuroprenášač, a ten vyvolá aktivitu v susednom neuróne. Množstvo prenášača (a teda aj sila signálu) je regulované viacerými faktormi. Hlavný faktor je aktivita presynaptického neurónu (toho, z ktorého odchádza informácia). Čím výraznejšia je jeho aktivita, tým viac transmittera sa vylúči. Na druhej strane synapsie je

dôležitý počet a účinnosť receptorov príslušného prenášača. Nestačí totiž, že ich jeden neurón uvoľní, druhý ich musí zaregistrovať a ich informáciu premeniť znova na elektrický signál, ktorý potom šíri ďalej.

Nedostatok či prebytok neurotransmitterov je základom mnohých psychických porúch či zmenených nálad. Na regulácii množstva transmitterov či účinnosti receptorov sú preto založené mnohé psychofarmaká. Takisto hlavné pôsobenie drog na ľudí je založené na tom, že menia množstvá neurotransmitterov v mozgu.



Obrázok 2.5: Prenos informácie neuroprenášačmi. Pri vyššej frekvencii aktivity presynaptického neurónu sa vylúči viac neuroprenášača.

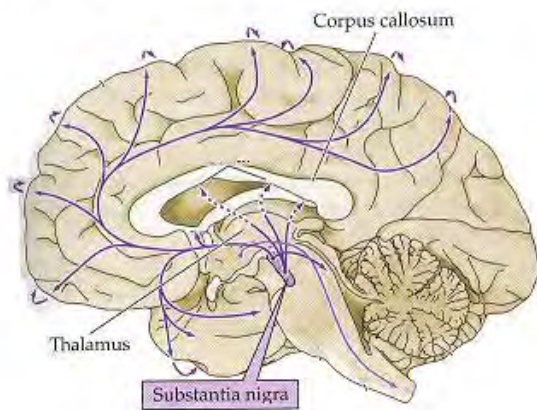
Zatiaľ je známych niekoľko desiatok neuroprenášačov. V tabuľke uvádzame hlavné z nich.

<b>Neuroprenášač:</b>	<b>Účinok:</b>	<b>Hlavná funkcia:</b>
<b>Acetylcholín</b>	zväčša excitačný	ovplyvňovanie pozornosti, učenia a pamäti
<b>Bioaktívne amíny:</b>		ovplyvňovanie hladiny nabudenia efektívnosť spracovania informácií
Dopamín	excitačný a inhibičný	regulácia hladiny motorického nabudenia, odmeňovací systém v mozgu
Adrenalín	excitačný	
Noradrenalín	excitačný	regulácia hladiny senzorického nabudenia
Serotonín	excitačný	vplyv na náladu, anxiету, agresivitu
<b>Aminokyseliny:</b>		
Glutamát	excitačný	upevňovanie spojení medzi neurónmi, základ pre učenie a pamäť
Glycín	zväčša inhibičný	
g-Aminobutirická kyselina (GABA)	inhibičný	kontrola lokálnych neurónových okruhov

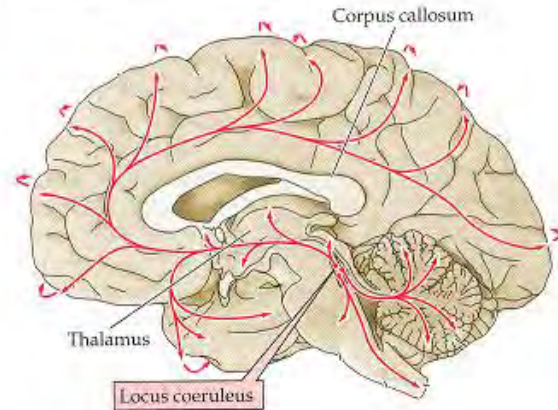
Tabuľka 2.1: Klasifikácia neuroprenášačov. Zdroj: Instituto de Fisiología Celular (2005), State University of Campinas (2005), Panksepp (1998).

Funkciou neuroprenášačov je prenos informácie medzi neurónmi. Teoreticky by však tento prenos mohol prebiehať čisto elektricky. Načo je potom dobrý tento dodatočný mechanizmus prenosu? Jedným dôvodom je neuromodulačný účinok prenášačov. Neurotransmitery sú produkované v špecifických centrách mozgu a distribuované do celého mozgu. Znamená to, že jedným signálom do centra, kde sa produkuje príslušný typ neurotransmitera, sa ovplyvní aktivita veľkej časti mozgu. Ďalším dôvodom je informačná bohatosť neurotransmiterov. Ich rozličnými typmi a rozličnou koncentráciou v synaptických štrbinách je možné kódovať množstvo informácií, ktoré by sa inak nedali preniesť.

## Dopamin

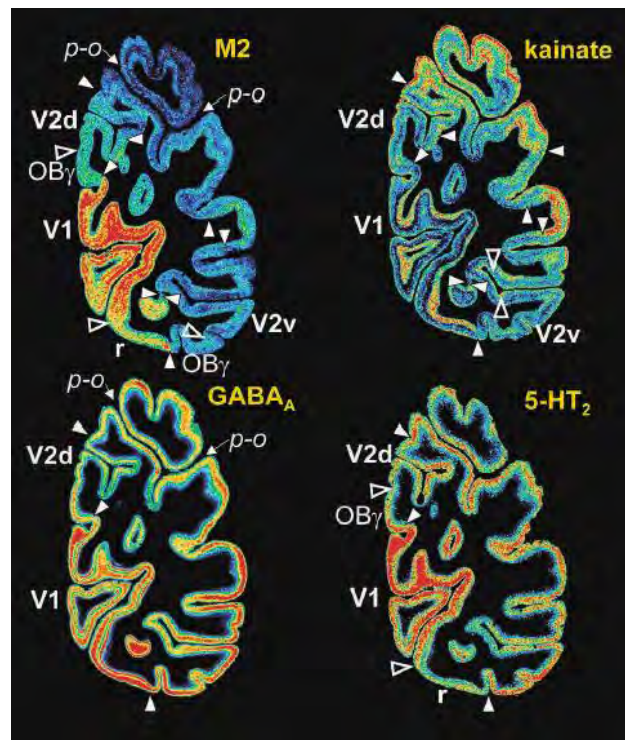


## Noradrenalin



Obrázok 2.6: Príklady zásobovania mozgu neurotransmitterom. Zdroj: Purves a kol. (2004).

Keďže rozličné prenášače sa spravidla spájajú s neurónmi s rozličnou funkciou, na základe používaných neuroprenášačov možno do istej miery oddeliť od seba funkčné oblasti mozgu.



Obrázok 2.7: Príklad diferenciácie oblastí kôry (zrková oblasť V1 a V2) pomocou najviac používaného neuroprenášača. Zdroj: Zilles a kol. (2002).



## Neuromodulátory a hormóny

Tie isté chemické látky môžu mať funkciu neurotransmitterov, neuromodulátorov i hormónov. Rozdiel je v úlohe, v ktorej vystupujú. Neurotransmitery sa priamo podieľajú na synaptickom prenose. Neuromodulátory ovplyvňujú aktivitu väčších skupín neurónov, modifikujú účinkov neurotransmitterov. Na svoje miesto sa dostávajú z rozličných oblastí mozgu. Napríklad dopamín produkovaný v čiernom jadre (substantia nigra) je potom transportovaný do častí kôry, kde má vplyv na celkovú náladu. Hormóny sú dopravované krvným obehom.

## Druhí poslovia

Receptory, ktoré reagujú na transmitery v synaptickej štrbine, môžeme rozdeliť na ionotropické a metabotropické. Iontropické prenášajú signál rýchlo, rádovo v milisekundách a sú zodpovedné za prenos signálu pri motorických funkciách či myslení. Metabotropické sú pomalšie, rádovo v stotínach sekúnd až sekundách, avšak majú dlhšie trvajúce účinky, sekundy až minúty. Metabotropické receptory menia celkové vlastnosti neurónov ako napríklad neurónový prah, vzor aktivity, odpor, dráždivosť, či charakteristiky uvoľňovania prenášačov. Robia tak prostredníctvom chemických látok – druhých poslov (second messengers). Prenášače teda pôsobia na metabotropické receptory a tie prostredníctvom druhých poslov menia celkovú štruktúru neurónov. Tak majú naše skúsenosti, myslenie, prežívanie, ktoré sa odrážajú v informáciách prenášaných transmitermi, vplyv na štruktúru našich neurónov. Mozog je systém, ktorý svojou činnosťou ovplyvňuje sám seba.

Prostredníctvom druhých poslov sa mení i expresia génu neurónu a dosahujú sa tak zmeny na neuróne trvajúce dni a dlhšie. Tento proces má význam najmä pri neuronálnom vývine a dlhodobej pamäti.

Všetky informácie v mozgu sú uložené vo forme toho, ako sú neuróny medzi sebou poprepájané a toho, ako efektívne sú prepojenia medzi nimi. Tieto charakteristiky sa pod vplyvom skúseností ustavične menia, a tak sa náš mozog učí a vyvíja.

## Gliové bunky

Gliových buniek je viacero typov – astrocyty, oligodendrocyty, Schwannove bunky a ďalšie. Majú podpornú funkciu. Pomáhajú pri čistení neurónov, niektoré zrýchľujú prenos signálu medzi neurónmi, pomáhajú neurónom získavať živiny z krvi. Niektorí vedci špekulujú aj o ich funkcii v psychickej aktivite, ale tieto teórie neboli potvrdené.

### Pre zaujímavosť

#### Počítačový model neurónu

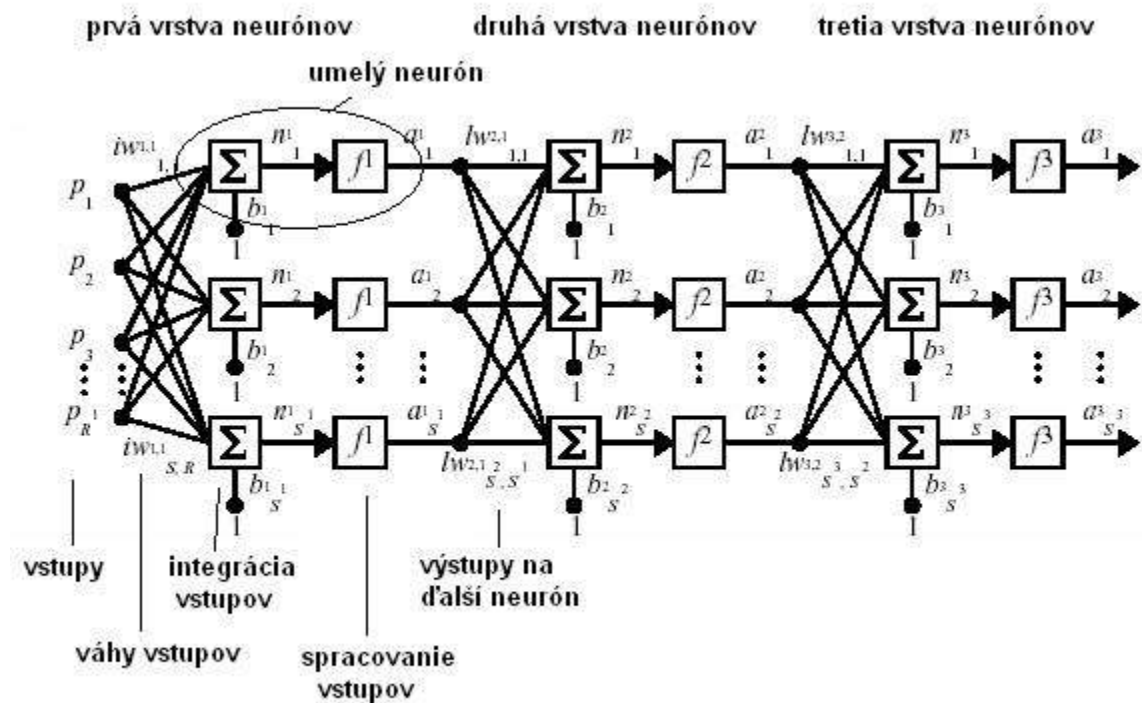
Namodelovať základné funkcie neurónu v počítači je jednoduché. Úloha sa stáva zložitejšou, keď chceme modelovať neurón v celej jeho komplexnosti. Stále sa vedú debaty o tom, nakoľko je možné pomocou relatívne jednoduchých modelov neurónov replikovať zložité fungovanie mozgu v počítači.

Umelé neuróny (a následne celé neurónové siete), ktoré sa dnes asi najčastejšie modelujú, obsahujú tieto charakteristiky:

- Prijímajú informácie z vstupov (zmyslov) alebo od iných neurónov.
- Každému vstupu priradia istú váhu – účinnosť, s akou sa jeho informácia preniesie cez synaptickú štrbinu, respektíve frekvenciu, s akou presynaptický (zdrojový) neurón produkuje impulzy. Táto váha môže byť pozitívna (pri excitačných neurónoch) alebo negatívna (pri inhibičných).
- Spracovávajú tieto vstupy na jednu výslednú hodnotu. Používajú na to buď jednoduché sčítanie vstupov alebo biologicky realistickejšie funkcie. Často používaná je sigmoidálna funkcia, ktorá veľmi vysoké a veľmi nízke hodnoty upraví tak, aby celkový vstup do neurónu bol stále v istých medziach (napríklad aby sila signálu bola stále od 0 do 1).

- Porovnajú vstupnú hodnotu s neurónovým prahom a rozhodnú, či neurón vyšle signál ďalej.
- Vyšlú signál s istou intenzitou alebo frekvenciou na neuróny, s ktorými sú spojené.

Aby mali umelé neuróny nejaký zmysel, musia sa vedieť učiť. Učenie prebieha zväčša tak, že sa menia váhy (synaptické účinnosti) medzi neurónmi. To, ktorá váha sa ako a akým mechanizmom zmení u živých neurónov, je ešte stále oblasťou dohľadov. Umelé neurónové siete na to používajú rozličné učiace algoritmy.



Obrázok 2.8: Model umelej neurónovej siete.

## Literatúra:

Instituto de Fisiología Celular (2005) <http://ifcsun1.ifsiol.unam.mx>

Kandel, E. R. (2000) Nerve cells and behavior. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Mo, Z., Davis, R. L. (1997) Endogenous Firing Patterns of Murine Spiral Ganglion Neurons. *Journal of Neurophysiology* 77, 3, str. 1294-1305.

Panksepp, J. (1998) Affective neuroscience. Oxford University Press, Oxford.

Purves, D. a kol. (2004) Neuroscience. Sinauer Associates, Sunderland.

Siegelbaum, S. A., Schwartz, J. H., Kandel, E. R. (2000) Modulation of synaptic transmission: Second messengers. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

State University of Campinas (2005) <http://www.cerebromente.org.br>

Zilles, K. a kol. (2002) Architectonics of the human cerebral cortex and transmitter receptor fingerprints: reconciling functional neuroanatomy and neurochemistry. *European Neuropsychopharmacology*, 12, s. 587-599.

## Kapitola 3: Metódy výskumu mozgu

Ľudský mozog je najzložitejší známy útvar v prírode. Aj preto o ňom zatiaľ vieme tak málo. Situácia v jeho poznávaní sa však neustále zlepšuje tým, ako sú objavované a rozvíjané metódy na jeho skúmanie.

Okrem toho, že je mozog zložitý, jeho skúmanie je obmedzené etickými pravidlami. Ved' kto z nás by si nechal len tak experimentovať s vlastným mozgom. Aj preto je výskum základných kognitívnych funkcií (najmä fungovanie spracovania informácií zo zmyslov) oveľa ďalej ako výskum vyšších kognitívnych funkcií (myslenie, reč, sebaobraz). Základné kognitívne funkcie sa totiž dajú študovať na zvieratách a potom zovšeobecniť na ľudský mozog.

### Poškodenia mozgu

Jedným zo základných zdrojov informácií o fungovaní ľudského mozgu sú jeho *poškodenia*. Dochádza k nim najmä po úrazoch, mozgovej mŕtvici, mozgových nádoroch alebo chirurgických zákrokoch v mozgu. Hlavné dva *chirurgické zákroky*, ktoré odhaľujú mnoho o fungovaní mozgu sú lobotómia – oddelenie časti niektorého z mozgových lalokov od ostatného mozgu a komisurotómia – preťatie svorového telesa (corpus callosum), štruktúry, ktorá spája dve mozgové hemisféry. Z lobotómií bola najčastejšie aplikovaná frontálna lobotómia. Tieto operácie boli robené, aby zmiernili epileptické záchvaty, frontálna lobotómia i preto, aby znížila agresívne správanie pacienta. Dnes sa už nevykonávajú, ich prednosti zďaleka nevyvažujú poškodenia, ku ktorým vďaka nim dôjde. Namiesto nich sa používajú najmä psychofarmaká (lieky pôsobiace na mozog, najmä na neurotransmitery).

V rámci chirurgických operácií boli mapované funkcie mozgu priamou *elektrickou stimuláciou mozgu*. Elektródami sa stimulovali jednotlivé oblasti mozgu a pacient vypovedal alebo reagoval podľa toho, čo cítil.

Dnes vieme vyvolať aj experimentálne, krátko trvajúce poškodenia mozgu. Buď umŕtvením niektorej časti mozgu anestetikami (WADA test umožňuje dočasne umŕtviť celú hemisféru) alebo vytvorením takzvaných virtuálnych lézií prostredníctvom transkraniálnej magnetickej stimulácie.

*Transkraniálna magnetická stimulácia (TMS)* je založená na tom, že sa na lebku priloží elektromagnetická cievka, ktorá v hĺbke niekoľkých centimetrov indukuje slabé elektrické pole. Tak môžeme stimulovať oblasti mozgovej kôry bez toho, aby sme museli otvárať lebku. Avšak toto pole nepôsobí jednoznačne excitačne alebo inhibične na neuróny, ktoré zasiahne. Skôr rozruší aktivitu oblastí, na ktorú je zamerané. Preto hovoríme o virtuálnych léziách. Ak však zameriame pole na oblasť, ktorá má v zásade excitačné účinky, výsledným efektom je inhibícia danej funkcie. Ak rozrušíme inhibičnú oblasť, výsledkom je skôr excitácia.

TMS má dosah iba pár centimetrov, preto sa môže používať iba na výskum kôry bezprostredne pod lebkou. Takisto nemá veľké priestorové rozlíšenie (nevie stimulovať oblasť menšiu ako približne centimeter kubický). Pri jej nesprávnom používaní vzniká riziko epileptických záchvatov. Ak sa však používa správne, je to veľmi účinný spôsob ako skúmať fungovanie mozgu.

Mnoho informácií o mozgu bolo zistených *umelým poškodením zvieracích mozgov*. Chirurgické odstránenie jednotlivých častí mozgu u zvierat nám dáva informácie o ich dôležitosti. Takéto experimenty sú u ľudí ťažko predstaviteľné.

## **Meranie aktivity mozgu**

Ďalšia veľká skupina metód na získavanie informácií o mozgu je založená na sledovaní a meraní jeho aktivity. Klasickým spôsobom, používaným u zvierat, je *napichanie elektród* do jednotlivých oblastí mozgu a meranie elektrickej aktivity v danej oblasti. Je to

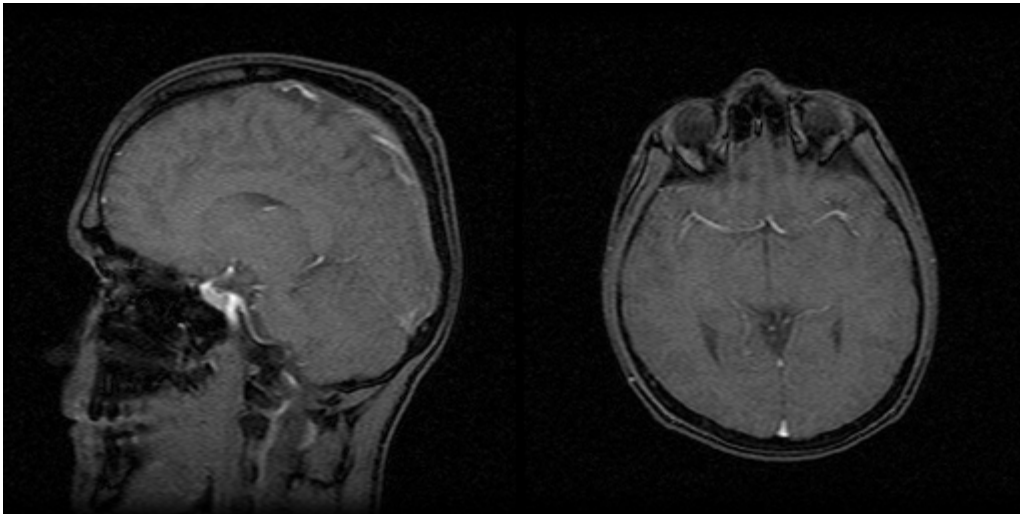
veľmi presná metóda, avšak jej nevýhodou je, že neurónov sú miliardy a elektród zďaleka nie je možné napichať také množstvo. Preto nám nevypovedajú o celkovej aktivite danej oblasti ale iba o aktivite konkrétnych neurónov, respektíve malých skupín neurónov do ktorých sú zapichnuté.

Klasickou metódou je *počítačová tomografia* (CT). Zjednodušene je to röntgenová snímka mozgu.

Informácie, ktoré vieme zistiť röntgenom, môžeme s menším rizikom pre pacienta zistiť *magnetickou rezonanciou* (MR) zameranou na statické snímky mozgu, respektíve *funkčnou magnetickou rezonanciu* (fMR) zameranou na sledovanie činnosti mozgu v čase. fMR je metóda založená na sledovaní metabolizmu mozgu. Vychádza z predpokladu, že oblasti mozgu, ktoré sú viac aktívne, spotrebujú viac kyslíka z krvi. Prístroj sleduje malé zmeny v magnetických vlastnostiach mozgu, ktoré sú zapríčinené zmenami hladiny hemoglobínu v krvi. Výhodou tejto metódy je, že je schopná zachytiť mozog v jeho dynamike. Prístrojom je možné urobiť jeden snímok aktivity približne každú sekundu. Nevýhodou je relatívne slabé priestorové rozlíšenie, približne pol centimetra štvorcového. Časové a priestorové rozlíšenie závisí od sily magnetu, ktorý je použitý.



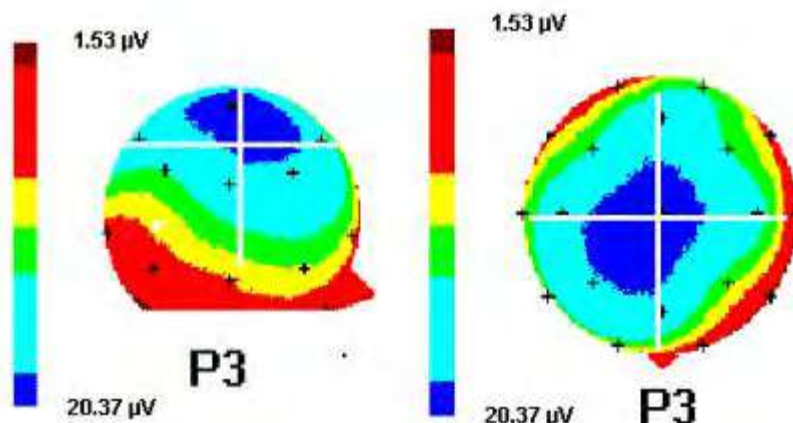
Obrázok 3.1: Prístroj na magnetickú rezonanciu.



Obrázok 3.2: Príklady rezov mozgu získané magnetickou rezonanciou.

Na podobnom princípe je založená *pozitrónová emisná tomografia* (PET). Pacientovi sa do krvi vpichne mierne rádioaktívna látka. Jej obeh v mozgu znova závisí od toho, ktorá časť mozgu je ako prekrvená. Prístroj sleduje zmeny v rádioaktivite mozgových oblastí. Nevýhodou je používanie rádioaktívnej látky. Priestorové a časové rozlíšenie je mierne lepšie ako u MR ale stále zďaleka nedosahuje úroveň jednotlivých neurónov.

Klasickou metódou je *elektroencefalografia* (EEG). Elektródami na lebke meria zmeny mozgových potenciálov. Je to bezriziková metóda, používa sa často na skúmanie detského mozgu. Avšak má veľmi slabé priestorové rozlíšenie.



Obrázok 3.3: Príklad výstupov získaných pomocou EEG. Zdroj: Roscher (2005).



Podobnou zobrazovacou metódou je *magnetoencefalografia* (MEG) sledujúca magneticko-elektrické vlastnosti mozgu. Tak ako predchádzajúce techniky, nemá veľmi dobré priestorové rozlíšenie.

*Optické pozorovanie* mozgu je používané iba u zvierat. Časť lebky zvierat'a sa zbrúsi na tak jemno, aby bola priesvitná. Potom sa do mozgu dopraví farbivo, ktoré označuje aktívne oblasti mozgu. Tak je možné „v priamom prenose“ pozorovať čo sa deje v mozgu v závislosti od vonkajších podnetov.

Nevýhodou týchto techník je to, že sa dajú používať väčšinou iba v laboratóriu. Tam reakcie ľudí a zvierat zďaleka nemusia zodpovedať skutočnému správaniu.

## **Počítačové modelovanie**

Úplne iným prístupom ku skúmaniu mozgu je modelovanie jeho čiastkových funkcií na počítači. Väčšinou sa na modelovanie používajú umelé neurónové siete. Programátori sa ich snažia navrhnuť tak, aby čo najvernejšie kopírovali štruktúru a mechanizmy skutočných neurónov. Správanie sa týchto modelov sa porovnáva s reálne nameranými neurofyziologickými údajmi.

V zásade môžu byť tieto modely veľmi presné ak modelujú veľmi detailnú časť fungovania mozgu (napríklad primárnu zrkovú oblasť). Čím zložitejšie javy v mozgu sa snažia modelovať, tým menej biologicky realistické si môžu dovoliť byť. Jednak kvôli výpočtovej náročnosti, jednak kvôli tomu, že je málo údajov o detailnom fungovaní vyšších mozgových činností.

Tieto metódy môžu pomôcť najmä tam, kde nie je možné sa dostať predtým spomenutými metódami – v simulácii procesov jazyka či myslenia.

## Pre zaujímavosť

Stojí za to spomenúť dva projekty, ktoré môžu významne posunúť dopredu skúmanie fungovania mozgu. Jedným z nich je snaha o vytvorenie kompletného popisu myšacieho mozgu prostredníctvom skúmania expresie génov (procesu akým sa z genetickej informácie vytvorí konkrétna bunka). Ak bude tento projekt úspešný, nič nebude brániť tomu, použiť danú technológiu i na zmapovanie ľudského mozgu. Projekt sa začal v Allen Institute for Brain Science v USA ([www.brainatlas.org](http://www.brainatlas.org)).

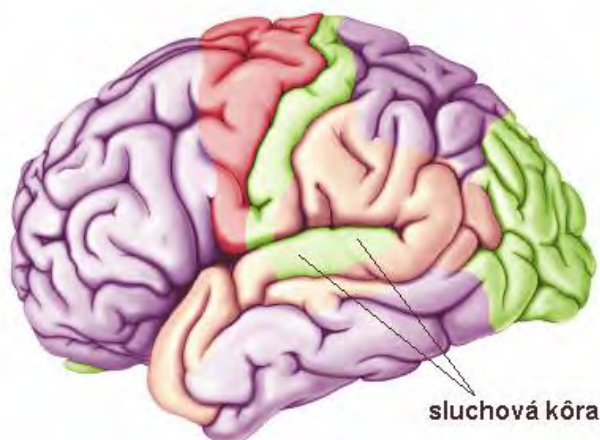
Druhým projektom sú plány na vybudovanie prístroja na magnetickú rezonanciu, ktorý by bol schopný rozpoznať aktivitu mozgu na úrovni jednotlivých neurónov. Nechám na vašu predstavivosť, čo všetko by sa s takýmito poznatkami mohlo dosiahnuť.

## Literatúra:

- Jezzard, P., Matthews, P. M., Smith, S. M. (Eds.) (2004) Functional MRI: an introduction to methods. Oxford University Press, Oxford.
- Roscher, G. (2005) Real-time Recognition of Noisy Signals - from Signal to Knowledge.  
<http://www.icsroscher.de/SoftCom.htm>
- Sinčák, P., Andrejková, G. (1998) Neurónové siete. Inžiniersky prístup (1. diel).  
<http://neuron-ai.tuke.sk/cig/source/publications/books/NS1/html/>
- Walsh, V., Pascual-Leone, A. (2003) Transcranial magnetic stimulation: a neurochronometrics of mind. MIT Press, Londýn.

## Kapitola 4: Sluch

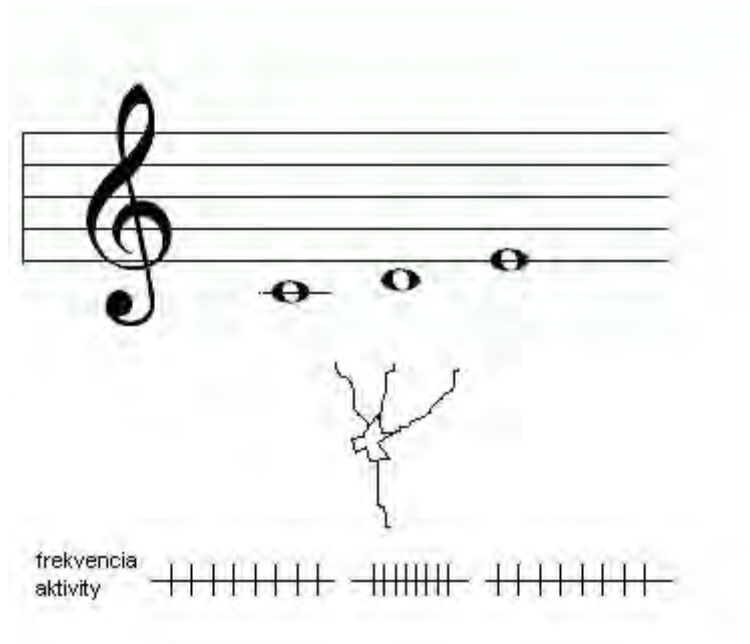
Pre senzorické oblasti mozgu býva typická šesťvrstvová štruktúra kôry a zároveň hierarchické rozdelenie kôry na primárnu, sekundárnu, prípadne vyššie oblasti. Spravidla sa v každej vyššej oblasti uskutočňuje stále zložitejšie spracovanie podnetov. Neuróny vo vyšších oblastiach získavajú informácie z čoraz širšieho receptívneho (sluchového či zrakového) poľa. Pre sluchový aj zrakový systém boli identifikované dva „prúdy“ alebo „cesty“ spracovania informácií. Prúd „kde“, ktorý lokalizuje zvukový (zrakový) podnet v priestore a prúd „čo“, ktorý zistí, aký je to podnet.



Obrázok 4.1: Sluchová kôra. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

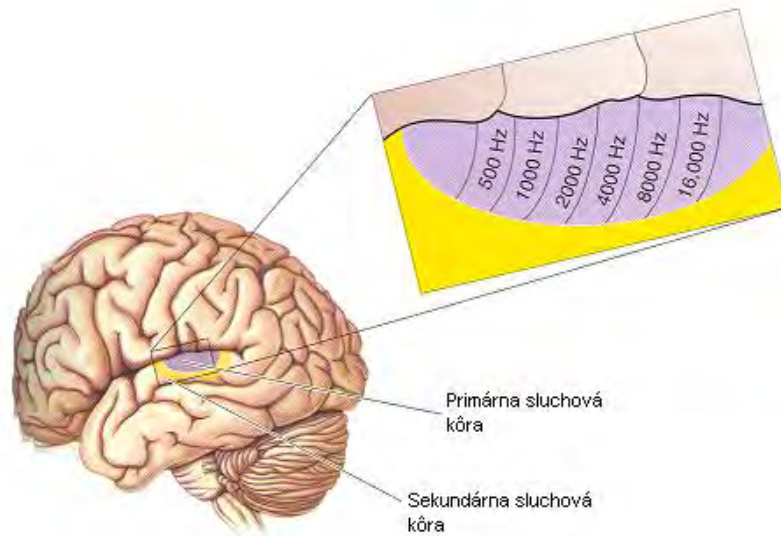
Keď zvuk zvonka vojde do vonkajšieho ucha, transformuje sa v štruktúrach stredného a vnútorného ucha. Vo vnútornom uchu menia vláskové bunky Cortiho orgánu mechanickú energiu na elektrickú. Zvuková informácia sa prekóduje do elektrickej aktivity neurónov, gangliových buniek, pričom jedna vlásková bunka inervuje viacero (priemerne asi desať) neurónov. Signály z gangliových buniek pokračujú v neurónoch v kochleárnom nerve. Tieto

neuróny kódujú frekvenciu, intenzitu zvuku a to, či ide z ľavého alebo pravého ucha. Výsledok kódovania si môžeme predstaviť ako grafický ekvalizér na hi-fi veži. Každý neurón je citlivý na určitú frekvenciu zvuku, do istej miery ho ovplyvňujú aj susediace frekvencie. Intenzitu zvuku kóduje tým, ako často je aktívny za istý čas. Kochleárnym nervom prebieha približne 30 tisíc nervových vlákien, ktoré vstupujú do mozgového kmeňa a ďalej cez medzimizog vedú informáciu o zvuku do primárnej sluchovej kôry.



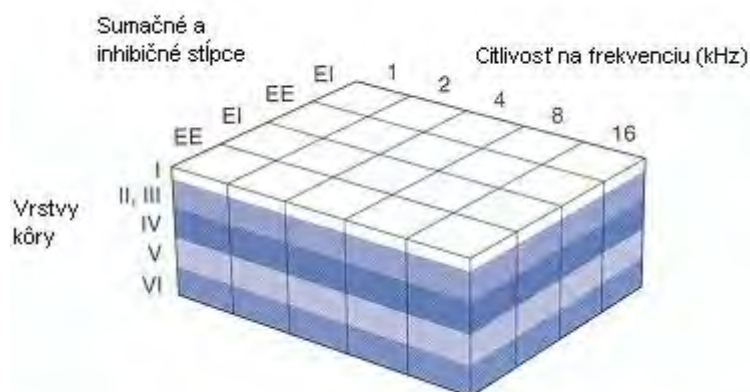
Obrázok 4.2: Citlivosť neurónov na im príslušnú frekvenciu a príbuzné frekvencie. Neurón, ktorý je citlivý na frekvenciu tónu „d“, je zároveň do istej (ale menšej) miery citlivý i na okolité tóny.

Neuróny primárnej sluchovej kôry sú usporiadané tonotopicky. Susedia tak, ako susedia frekvencie (tóny), na ktoré sú citlivé. Frekvencia zvuku však nemusí byť kódovaná iba tým, ktorý neurón je aktívny. Najmä, ak je zvuk príliš hlasný a jednotlivý neurón už nestačí byť aktívny tak často, aby vyjadril charakteristiku zvuku, frekvenciu tónu možno odvodiť z toho, ako často sú aktívne neuróny podobnej frekvencie.



Obrázok 4.3: Tonotopické usporiadanie sluchovej kôry. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Okrem toho, že je primárna sluchová kôra usporiadaná tonotopicky, striedajú sa v nej ešte pravidelne pruhy (stĺpce) neurónov, ktoré sú aktivované signálom z hociktorého z oboch uší – sumačné stĺpce, a pruhy, ktoré sú aktivované signálom z jedného ucha, no inhibované signálom z opačného ucha – stĺpce potlačenia.



Obrázok 4.4: Sumačné stĺpce (EE) a stĺpce potlačenia (EI) v primárnej sluchovej kôre. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Sluchovú kôru v mozgu možno rozdeliť na tri časti (tieto informácie boli získané výskumom na makakoch a predpokladá sa, že u ľudí bude rozdelenie podobné).

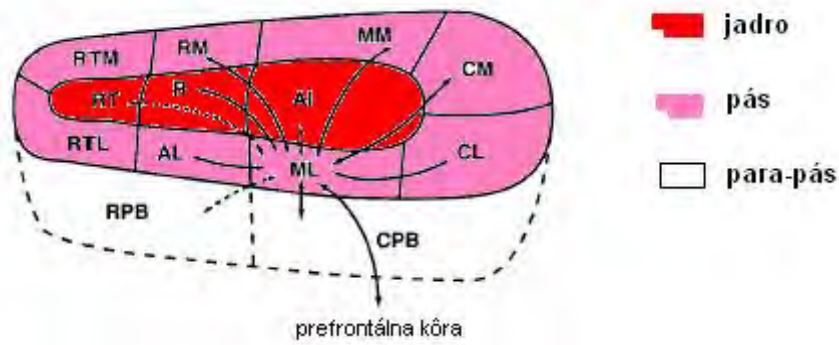
*Jadro* – primárna sluchová kôra, do ktorej prichádzajú informácie z vonkajšieho prostredia tak, ako sme to popísali vyššie. Jadro samotné nie je homogénne, sú v rámci neho identifikované najmenej tri samostatné tonotopické oblasti. Sú medzi nimi isté odlišnosti, niektoré reagujú lepšie na vyššie, iné na nižšie frekvencie, avšak ich konkrétna funkcia ešte nie je jasná.

*Pás* – sekundárna sluchová kôra, obkolesuje primárnu sluchovú kôru a má s ňou početné vzájomné prepojenia. Sekundárnu sluchovú kôru možno približne rozdeliť na 8 podoblastí. Neuróny v týchto oblastiach sú ešte stále do istej miery organizované tonotopicky, respektíve kochleotopicky (tak ako prichádzajú z kochleárneho nervu), avšak už nie tak jednoznačne. Na rozdiel od neurónov v primárnej kôre, neuróny v sekundárnej nereagujú tak dobre na jasné tóny, lepšie reagujú na relatívne úzke frekvenčné rozsahy. Potvrďuje to celkovú pravidelnosť v sensorických oblastiach, že receptívne polia (oblasť, respektíve počet neurónov, z ktorých neurón prijíma vstupy) neurónov vyšších oblastí sú väčšie a reagujú na komplexnejšie stimuly ako neuróny v primárnych oblastiach.

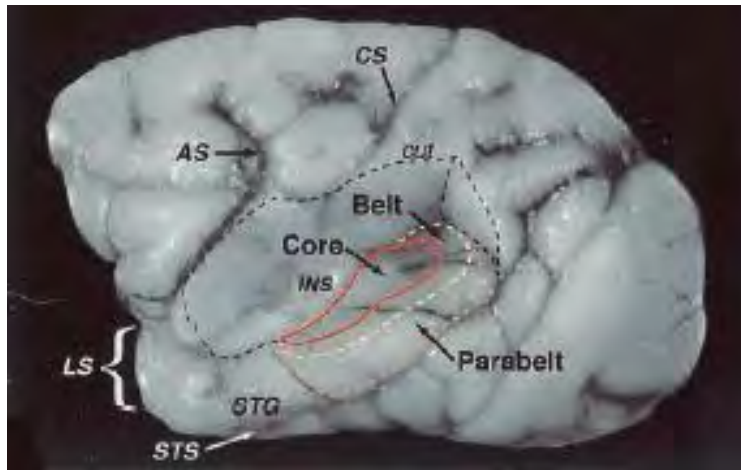
V oblasti pásu leží i Wernickeho oblasť, ktorá je kľúčová pre porozumenie reči.

*Para-pás* – terciálna sluchová kôra, ktorá má prepojenia do ostatných oblastí mozgu. Pravdepodobne má prepojenia do asociačných oblastí, ktoré zabezpečujú napríklad korekciu umiestnenia zdroja zvuku na základe zrakovej informácie, alebo zameranie očí na zdroj zvuku, či multimodálnu reprezentáciu objektov. Názory vedcov na presné rozdelenie úloh medzi primárnou, sekundárnou a terciálnou sluchovou kôrou však ešte nie sú jednotné.

Môžeme sa pýtať, načo je potrebných toľko oblastí, ktoré sú jedna druhej dosť podobné. Treba si uvedomiť, že sluchová (a všeobecne sensorická) kôra slúži nielen na rozpoznanie objektov, ale i na ich zapamätanie (ako inak možno rozpoznať objekt, keď ho nemám v pamäti) a mentálnu prácu s nimi. V sensorickej kôre je zároveň sídlo dlhodobej i pracovnej pamäti pre jednotlivé zmysly (modality).

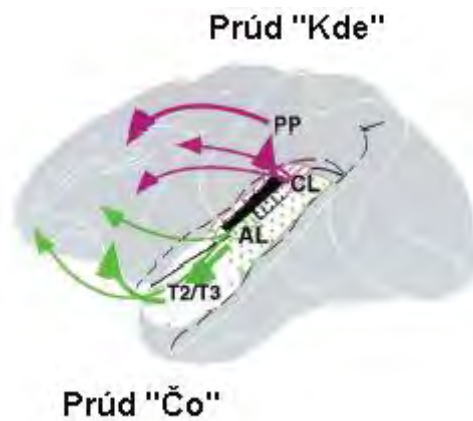


Obrázok 4.5: Schematické rozdelenie sluchovej kôry na jadro, pás a para-pás s predpokladanými podoblasťami. Zdroj: Kaas, Hackett (2000).



Obrázok 4.6: Fotografia sluchovej kôry makaka s naznačením jednotlivých oblastí. (Core – jadro, Belt – pás, Parabelt – para-pás) Zdroj: Kaas, Hackett, (2000).

Sluchová kôra nám pomáha rozpoznávať zvukové podnety a zároveň ich lokalizovať v prostredí. Do týchto procesov sú zapojené nielen oblasti sluchovej kôry, ale i ďalšie oblasti mozgu. Sekvencie týchto oblastí nazývame prúdmi „čo“ a „kde“.



Obrázok 4.7: Prúdy spracovania sluchových informácií „čo“ a „kde“. Zdroj: Rauschecker, Tian, 2000.

## Literatúra:

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Gardner, E. P., Martin, J. H. (2000) Coding of sensory information. In: Kandel, E. R.,

Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Hudspeth, A. (2000) Hearing. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Kaas, J. H., Hackett, T. A. (2000) Subdivisions of auditory cortex and processing

streams in primates. PNAS 97, 22, s. 11793-11799.

Rauschecker, J. P., Tian, B. (2000) Mechanisms and streams for processing of “what”

and “where” in auditory cortex. PNAS, 97, 22, s. 11800-11806.



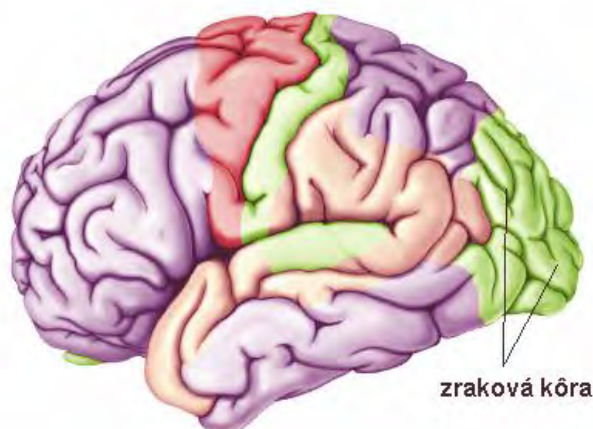
## Kapitola 5: Zrak

Podobne ako pri sluchu, i pre zrakovú kôru je typická šesťvrstvová štruktúra mozgovej kôry a hierarchia primárnej a sekundárnych oblastí. Takisto možno v zrakovom systéme identifikovať prúdy spracovania informácií „čo“ (identifikuje zrakový objekt) a „kde“ (lokalizuje objekt v priestore).

Zrakový systém sa skladá z mnohých podsystémov, ktoré sú špecializované na identifikáciu kontrastu, tvaru, pohybu, hĺbky, farby a ďalších charakteristík predmetov. Zraková informácia v primárnej zrakovej kôre je usporiadaná retinotopicky, to znamená, že obraz, ktorý dopadá na sietnicu, je približne podobne reprezentovaný aj v rozložení jednotlivých neurónov primárnej zrakovej kôry.

Informácie z pravého (a podobne ľavého) zrakového poľa sú vedené do zrakovej kôry ľavej i pravej hemisféry.

Väčšina informácií o zrakovom systéme bola získaná štúdiami na opiciach. Tieto výsledky sú však postupne potvrdzované i výsledkami zobrazovacích techník robených na ľuďoch.



Obrázok 5.1: Zrková kôra. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

## Vedenie informácie do zrakovej kôry

Svetlo dopadajúce na sietnicu sa zmení na elektrický signál, ktorý je vedený gangliovými bunkami (neurónmi) a následne zrakovým nervom ďalej do mozgu. Informácia o zrakovom podnete sa vetví prinajmenšom na tri funkčné časti. Prechádza cez podkôrové štruktúry, ktoré ju využívajú na kontrolu rýchlych pohybov očí (sakád) a na fungovanie pupilárneho reflexu. Cez talamus je vedená najmä do primárnej zrakovej kôry.

Tyčínok na sietnici je približne 20-krát viac ako čapíkov. Tyčinky sú citlivé na zmenu vnemu približne do frekvencie 12 Hz, čapíky približne do 55 Hz. Oproti približne 130 miliónom receptorov v sietnici, optický nerv obsahuje len približne milión vlákien. To znamená, že už v sietnici a na gangliových bunkách dochádza k veľkému predspracovaniu zrakovej informácie.

### Pre zaujímavosť

#### Predspracovanie zrakovej informácie

Príkladom predspracovania zrakovej informácie je proces, ktorý sa deje na gangliových bunkách, neurónoch, ktoré odvádzajú informáciu zo sietnice do optického nervu. Väčšina gangliových buniek má približne kruhové receptívne pole. To znamená, že malý kruh buniek na sietnici vysiela svoje signály do jednej gangliovej bunky. Tento kruh sa ešte delí na vnútorný (centrum) a vonkajší (okolie).

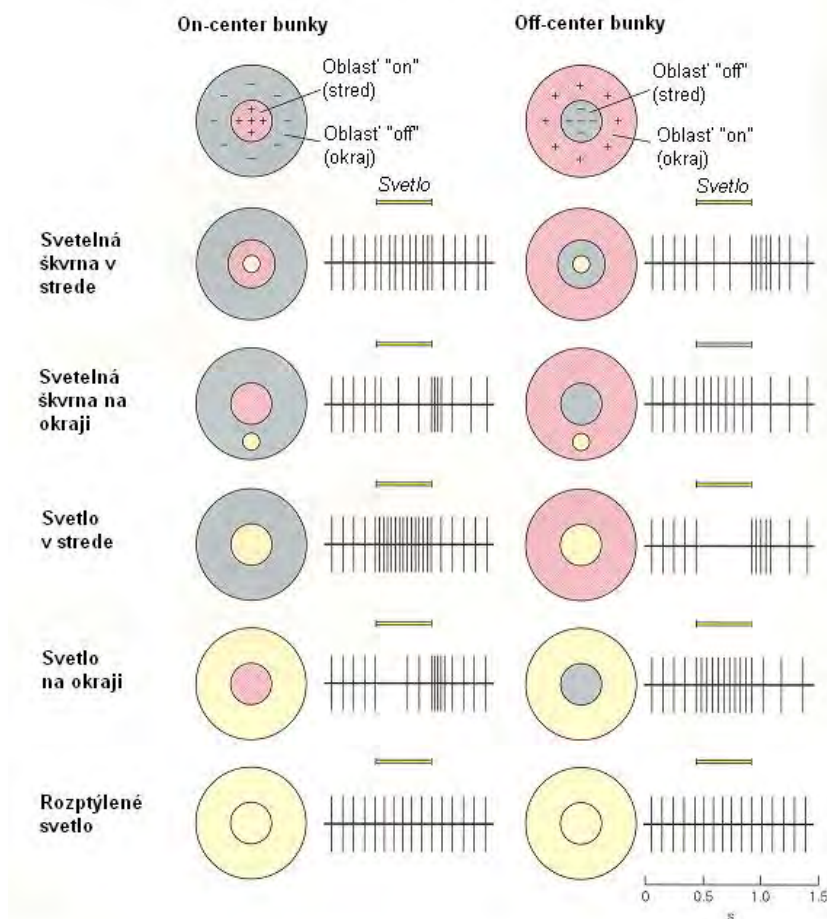
Gangliové bunky vedia rozlíšiť, či svetlo dopadá do centra alebo do okolia a podľa toho reagujú. Keď svetlo dopadá do centra projekčného poľa bunky, jedna skupina gangliových buniek sa aktivizuje – nazývajú sa bunky s aktivizovaným centrom (on-center bunky). Keď svetlo dopadá na plochu ich okolia, sú inhibované.

Bunky s neaktívnym centrom (off-center bunky) sú inhibované, keď svetlo dopadá na ich centrum. Avšak, keď na centrum svetlo prestane dopadať, na chvíľu sa aktivizujú. Aktívne sú, keď svetlo dopadá na ich okolie.

Tento typ spracovania nám umožňuje rozoznávať kontrast a rýchle zmeny v zrakových podnetoch. Zároveň poukazuje na zložitosť kódovania a spracovania zrakových informácií v zrakovom systéme.

Tieto bunky odvádzajú paralelne dva prúdy informácií od tých istých buniek v sietnici. Jestvujú ešte ďalšie delenia gangliových buniek, vďaka ktorým do centrálného nervového systému plynú viaceré paralelné prúdy informácií. Celostná informácia zo sietnice sa tak rozloží na mnoho podskupín, ktoré sa do celkového obrazu spoja až omnoho neskôr v najvyšších mozgových centrách.

Ďalšie základné delenie je na M bunky (magno - veľké) a P bunky (parvo - malé). Veľké bunky sú citlivé na veľké objekty a vedú sledovať rýchle zmeny v podnetoch. Nesú najmä informáciu o hrubých črtách predmetov a pohybe. Malých buniek je viac, majú menšie receptívne polia, nesú najmä informáciu o farbe a detailoch. V oboch skupinách sa vyskytujú ako off-center, tak on-center bunky.



Obrázok 5.2: Reakcie on-center a off-center buniek na rozličné osvetlenie. On-center a off-center bunky. Zdroj: Tessier-Lavigne (2000).

Treba si uvedomiť, že obraz na našej sietnici sa neustále mení, pretože naše oči neustále vykonávajú sáky, malé pohyby, ktorými sa zameriavajú stále na inú časť okolia. Ak by sme sa pozerali bez pohybu očí stále na jedno a to isté miesto, bunky, ktoré sú zodpovedné za prenos zrakovej informácie, by sa unavili, a obraz by sa nám pomaly vytratil, akoby sme oslepli. Tieto bunky potrebujú zmenu, aby boli aktívne. Vyskúšajte si napríklad uprene sa pozerat' na bodku na čistom liste papiera. Ak sa pozeráte skutočne sústredene, po čase vám bodka zmizne.

## Štruktúra primárnej zrakovej kôry

Jednotlivé vrstvy neurónov primárnej zrakovej kôry majú každá odlišné vstupy a výstupy. Predspracované informácie zo sietnice prichádzajú do vrstiev 2 a 3. Informácia z M buniek prichádza do vrstvy 4C alfa, z P buniek do 4C beta. Informácie z vrstiev 2, 3 a 4B odchádzajú do vyšších zrakových oblastí. Informácie z vrstiev 5 a 6 odchádzajú do podkôrových centier. Zároveň majú jednotlivé vrstvy prepojenia i medzi sebou navzájom.

Neuróny v primárnej zrakovej kôre už nie sú tak dobre citlivé na jednoduché stimuly ako napríklad bodka svetla. Reagujú skôr na komplexnejšie tvary, ako sú napríklad krátke úsečky či malé obdĺžniky. Neuróny v tejto oblasti kôry môžeme rozdeliť na jednoduché a komplexné.

*Jednoduché* neuróny sú citlivé na obdĺžniky a zároveň na ich pozíciu (orientáciu). Jedna bunka môže byť citlivá na vodorovne postavený obdĺžnik, iná na obdĺžnik pod uhlom 45 stupňov. Citlivá znamená, že je aktívna, keď sa takýto podnet oku prezentuje. Jednoduché bunky majú podobne „on“ a „off“ rozlíšenie ako gangliové bunky, o ktorých sme hovorili vyššie. Ich receptívne polia sú však o niečo väčšie a nemusia byť rozdelené na centrum a okolie.

*Komplexné* neuróny majú väčšie receptívne polia ako jednoduché a nie sú až tak citlivé na orientáciu stimulu, nakoľko nemajú jasné „on“ a „off“ oblasti. Pravdepodobne prijímajú informáciu z jednoduchých neurónov a môžu dobre spracovávať pohyb.

Pre naše rozpoznávanie objektov v zásade stačí rozpoznať ich hranice. Hlavne na tie sú neuróny primárnej zrakovej oblasti citlivé.

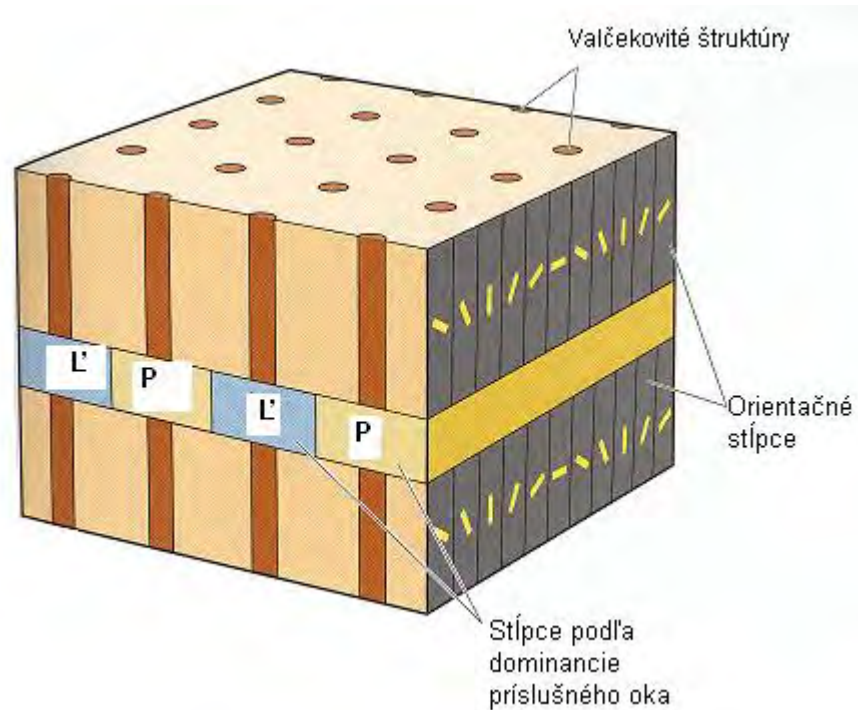
Podobne ako u iných senzoričných oblastí, je i primárna zraková kôra organizovaná do stĺpcov neurónov – orientačných stĺpcov. Jeden stĺpec je niekoľko desiatok mikrometrov široký a asi 2 milimetre hlboký. Nachádzajú sa v ňom jednoduché aj komplexné bunky. Do vrstvy 4C prichádzajú hlavné vstupy, v ostatných vrstvách sú jednoduché bunky s citlivosťou na rovnakú orientáciu podnetu. Komplexné bunky v stĺpci prijímajú vstupy od jednoduchých buniek a tak je stĺpec schopný rozpoznať zložitejší tvar. Susediace stĺpce sú potom kruhovito usporiadané tak, aby boli citlivé na hocakú orientáciu podnetu.



Obrázok 5.3: Organizácia orientačných stĺpcov v primárnej zrakovej kôre. Zdroj: Wurtz, Kandel (2000a).

Stĺpce sú doplnené skupinami neurónov tvoriacimi valčekovité štruktúry (blobs), ktoré sú pravdepodobne zodpovedné za rozpoznávanie farby. Zároveň sa striedajú stĺpce podľa toho, z ktorého oka vstup prichádza. Súbor stĺpcov reagujúcich na všetky možné orientácie z oboch očí nazývame hyperstĺpec.

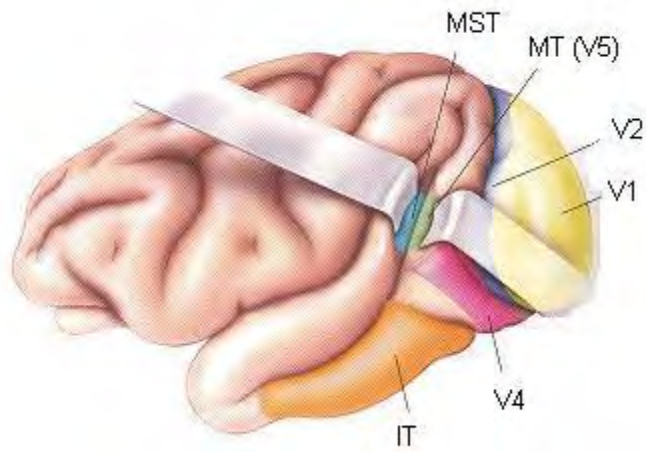
Stĺpce sú poprepájané i medzi sebou navzájom, najmä neurónmi vo vrstve 2. Tvoria tak väčšie celky, ktoré umožňujú vplyv kontextu ostatného zrakového okolia na fungovanie individuálneho stĺpca.



Obrázok 5.4: Štruktúra primárnej zrakovej kôry. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

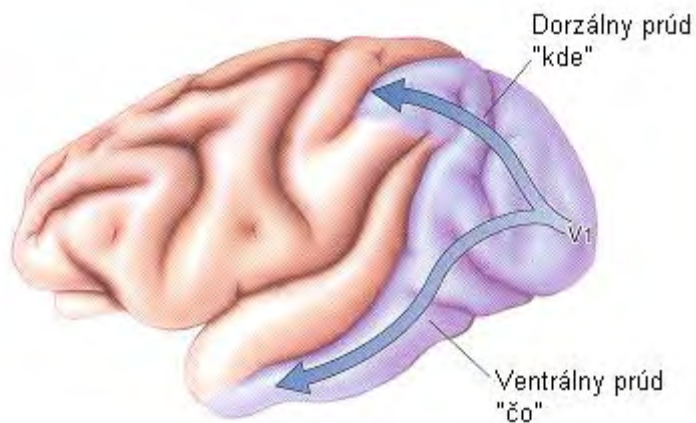
## Oblasti zrakovej kôry

Zraková kôra sa delí na viacero oblastí. Okrem primárnej zrakovej oblasti, označovanej ako V1, rozoznávame ešte ďalšie dôležité oblasti, najmä V2, V4, MT, ktoré prispievajú k ďalšiemu spracovaniu zrakových informácií.



Obrázok 5.5: Oblasti zrakovkej kôry makaka. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Podobne ako u sluchového systému, i u zrakového systému môžeme rozpoznať dva spôsoby spracovania informácie – prúd „kde“, zameraný na identifikáciu pohybu a hĺbky a prúd „čo“ na identifikáciu tvaru a farby.



Obrázok 5.6: Prúdy spracovania zrkových informácií „čo“ a „kde“. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Informáciu o pohybe nesie najmä aktivita M buniek. Prechádza oblasťou V2 do oblasti MT a ďalej do parietálnej kôry. Informáciu o tvare nesie najmä aktivita buniek P. Z oblasti V2 prechádza do oblasti V4 a ďalej do temporálnej kôry.

*Pohyb* sa spracováva najmä v oblasti MT. Podobne ako v primárnej zrakovej kôre, i tam sú neuróny organizované retinotopicky a do stĺpcov citlivých na orientáciu. Ako sa predmet pohybuje zrakovým poľom, aktivizujú sa jednotlivé stĺpce, ktoré sú citlivé na zmenu kontrastu. Tak v MT vzniká stopa pohybujúceho sa objektu.

Na to, aby sa zachytil i pohyb zložitejších objektov, však nestačí len individuálna aktivita jednotlivých neurónov, či stĺpcov neurónov. V rámci MT existuje hierarchia neurónov, keď hierarchicky vyššie postavené neuróny (citlivé na pohyb celého vzoru - pattern direction-sensitive neurons) dostávajú vstupy z jednoduchých neurónov (jednoduché smerovo výberové neuróny - component direction-selective neurons) a reagujú iba na pohyb zložitejších vzorov či objektov.

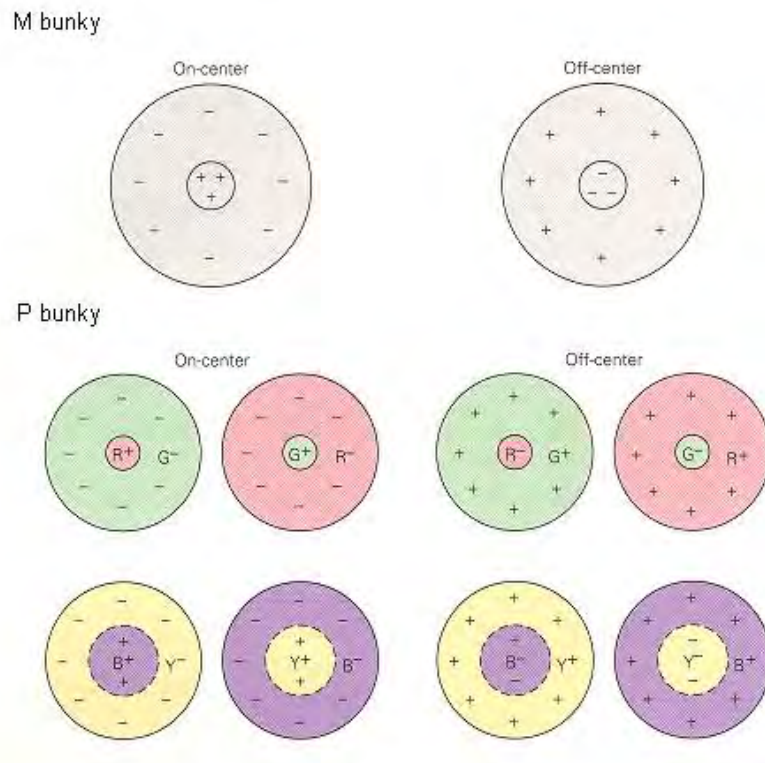
V oblasti V2 pokračuje rozpoznávanie obrysov. Na rozdiel od V1, sú neuróny vo V2 citlivé i na iluzórne kontúry (ako napríklad Kaniszov trojuholník).

V oblasti V4 sa začína rozpoznávanie *tvaru* objektu. Avšak samotná reprezentácia a rozpoznávanie zložitých tvarov sa deje až v inferiórnej temporálnej kôre, ktorá je rozhraním zrakovej sekundárnej a asociačnej oblasti. Neuróny v tejto oblasti majú veľké receptívne polia. Niektoré obsahujú i celé zrakové pole, čo môže hrať úlohu pri priestorovej invariancii objektov – teda, že objekt považujeme za ten istý, i keď sa v priestore nachádza inde. Neuróny tu už nemajú retinotopickú organizáciu. Mnohé neuróny sú citlivé aj na tvar aj na farbu. V tejto oblasti kôry sú skupiny neurónov, ktoré sú citlivé na konkrétne (pravdepodobne evolučne dôležité) typy tvarov. Napríklad na tváre, výrazy tváre, ruky, či prsty. Predmet je tu reprezentovaný skupinou neurónov, ktoré spolu môžu, no nemusia susediť, ale sú navzájom prepojené a aktívne v tom istom čase.

Zo sietnice je informácia o *farbe* (z troch typov čapíkov, z ktorých je každý citlivý na iné vlnové dĺžky; typ S na krátke, M na stredné a L na dlhé) vedená do kôry P bunkami, o ktorých sme hovorili vyššie. Avšak tieto bunky zároveň vedú aj informáciu o jase, respektíve kontraste. Farba sa v P bunkách spracováva podobným princípom, na akom



fungujú „on-center“ a „off-center“ neuróny. Jeden typ P buniek mieša signály z L a M čapíkov, druhý zasa signály z S čapíkov oproti kombinácii signálu z L a M čapíkov.



Obrázok 5.7: Spracovanie farebného kontrastu. R – červená, G – zelená, Y – žltá, B – modrá. Zdroj: Wurtz, Kandel (2000b).

V primárnej zrakovej kôre sú neuróny do istej miery citlivé ako na farbu, tak i na kontrast. Možná vyššia koncentrácia neurónov citlivých na farbu je vo valčekovitých štruktúrach (blobs) primárnej zrakovej kôry. Neuróny jednoznačnejšie citlivé na farbu sa nachádzajú až v oblasti V4.

Otázkou zostáva, ako sa jednotlivé charakteristiky objektu znova zložia do jednotného vnemu, ktorý z objektu máme (takzvaný binding problém). Najpravdepodobnejšie je, že v mozgovej kôre zostanú naraz aktívne najvyššie úrovne reprezentujúce dané črty objektu (ak vidíme letieť červenú loptu, bude to červená farba, tvar lopty, a jej pohyb). Nie je nutné, aby niekde bol jeden neurón alebo skupina neurónov (takzvaný neurón starej mamy), ktoré reprezentujú celý objekt (napríklad starú mamu) so všetkými jeho vlastnosťami. Pre potreby praktického života nám stačí, keď sú naraz aktívne všetky črty daného objektu a možno s nimi

v našom mentálnom priestore ďalej pracovať. Ako mechanizmus tejto súčasnej aktivity je navrhovaná napríklad synchronná oscilácia týchto skupín neurónov. Informácia v mozgu by tak bola kódovaná nielen priestorovým prepojením neurónov ale i vzorom ich aktivity v čase (jeden neurón môže hrať rozličnú úlohu v závislosti od toho, aký vzor aktivity naňho príde a aký vzor aktivity bude mať on).

I keď je zraková oblasť (a všetky senzorické oblasti) organizovaná hierarchicky, neznamená to, že informácie v nej plynú iba jedným smerom. Oblasti sú prepojené medzi sebou navzájom a vyššie oblasti neustále vysielajú spätnú väzbu do nižších. Tak je možné skreslenie našich vnemov našimi očakávaniami, či minulými skúsenosťami. Nedá sa ani povedať, že máme v zrakovej kôre vždy len jeden obraz zrakovej scény. Je to skôr neustály prívál mnohých alternatív toho, čo práve vidíme. Zatiaľ neidentifikovaným systémom sa nám vo vedomí zo všetkých týchto scén vytvorí dojem jednoliateho obrazu.

## **Literatúra:**

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Ramachandran, V. S., Hirstein, W. (1997) Three laws of qualia. *Journal of Consciousness Studies*, 4, 5-6, s. 429-458.

Tessier-Lavigne, M. (2000) Visual processing by the retina. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Wurtz, R. H., Kandel, E. R. (2000a) Central visual pathways. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

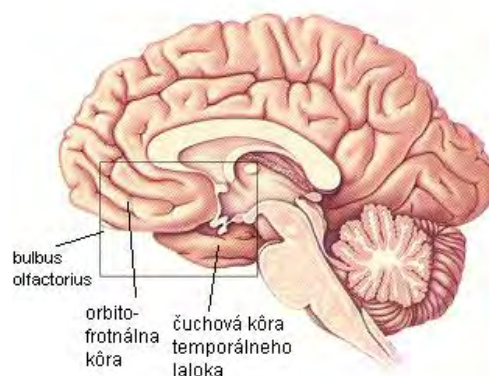
Wurtz, R. H., Kandel, E. R. (2000b) Perception of motion, depth and form. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

## Kapitola 6: Čuch

Senzorické čuchové neuróny v nosovej dutine sú zoskupené do niekoľkých oblastí (u myší sú to štyri). Význam tohto rozdelenia nepoznáme, no je zachované i v olfaktorických bulbusoch (bulbus olfactorius, malých oválnych štruktúrach) nad nosnou dutinou, kam je signál z týchto receptorov chemicko-elektrickou cestou dopravený.

Pri čuchu sa veľká časť spracovania čuchovej informácie deje ešte pred tým, ako je dopravená do čuchovej kôry v mozgu. Máme približne tisíc typov čuchových receptorov. Receptory však nereagujú ani tak na konkrétne vône ako na špecifické molekulárne skupiny. Z nich možno poskladať veľké množstvo čuchových kombinácií. Vyššie koncentrácie molekúl stimulujú vyšší počet neurónov. Preto sa nám tá istá vôňa v rozličných koncentráciách môže zdať iná.

V olfaktorických bulbusoch dochádza k rozsiahlej konvergencii senzorických neurónov tak, že sa počet neurónov, ktoré vedú informáciu ďalej, zníži asi stonásobne.



Obrázok 6.1: Oblasti čuchovej kôry. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Informácia z *bulbus olfactorius* je vedená do viacerých oblastí kôry. Hlavné cesty sú cez talamus do orbitofrontálnej kôry a čuchovej kôry v temporálnom laloku, kde sa uskutočňuje rozpoznávanie vôní a do amygdaly a hypotalamu, kde sú zabezpečené emocionálne a motivačné odpovede na vône.

Feromóny sú chemické látky, ktoré sú špecifické pre každý živočíšny druh. Sú spracovávané podobne ako iné chemické látky, ktoré voniame. Avšak okrem klasickej čuchovej cesty v olfaktorickom bulbuse sú spracovávané (u hlodavcov) v relatívne oddelenej časti tejto štruktúry, z ktorej sú signály vedené iba cez amygdalu do hypotalamu. To súhlasí s faktom, že feromóny vplývajú na reprodukčné správanie, a tiež s tým, že nie sú spracovávané vedome. U ľudí však nie je istá existencia oddelenej štruktúry v olfaktorickom bulbuse, ktorá by bola špecializovaná na spracovanie feromónov.

## **Literatúra:**

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) *Neuroscience: exploring the brain*. Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Bucková, L. B. (2000) *Smell and taste: The chemical senses*. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: *Principles of neural science*. McGraw-Hill, New York.

Tomáška, Ľ. (2000) *Rozum a cit: sme v zajatí chemických signálov?* In: Beňušková, Ľ., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.) *Hľadanie spoločného jazyka v kognitívnych vedách*. Iris, Bratislava.

## Kapitola 7: Chuť

Poznáme štyri základné chute – sladká, slaná, horká a kyslá. Niektorí vedci zvažujú existenciu ďalšej chute – umami (ostrá). Každá chuť reaguje na odlišné chemické skupiny. Následne pre každú chuť existujú trocha odlišné elektrochemické mechanizmy, pomocou ktorých sa prekóduje z receptorov v chuťových pohárikoch jazyka na signál v chuťových sensorických neurónoch. Informácia je potom vedená cez predĺženú miechu a talamus do mozgovej gustatórnej (chuťovej) kôry.



Obrázok 7.1: Chuťová kôra. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Chuťové neuróny, ktoré sú citlivé na jednu chuť, napríklad slaná, sú však do istej miery citlivé i na ostatné chute. Ich odpoveď nie je taká výrazná, avšak existuje. Jeden neurón dostáva informácie z viacerých typov chuťových receptorov. Rozličné chute sú potom kódované ako rozličné vzorce (kombinácie) aktivity chuťových neurónov.

## Literatúra:

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

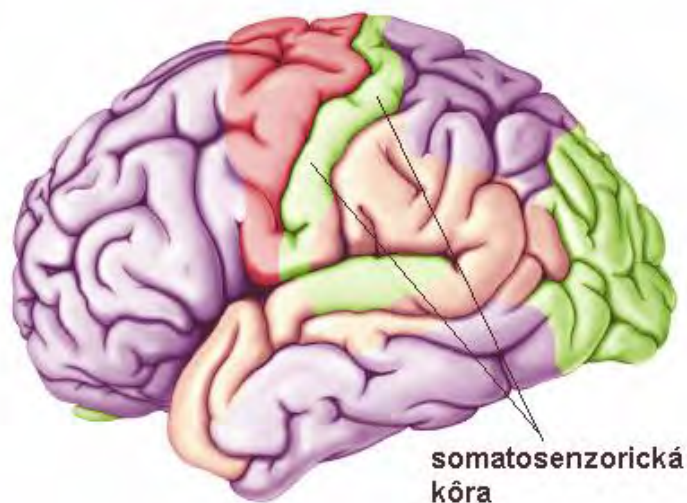
Bucková, L. B. (2000) Smell and taste: The chemical senses. In: Kandel, E. R.,

Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Squire, L. R. a kol. (Eds.) (2003) Fundamental neuroscience. Academic Press, Londýn.

## Kapitola 8: Hmat

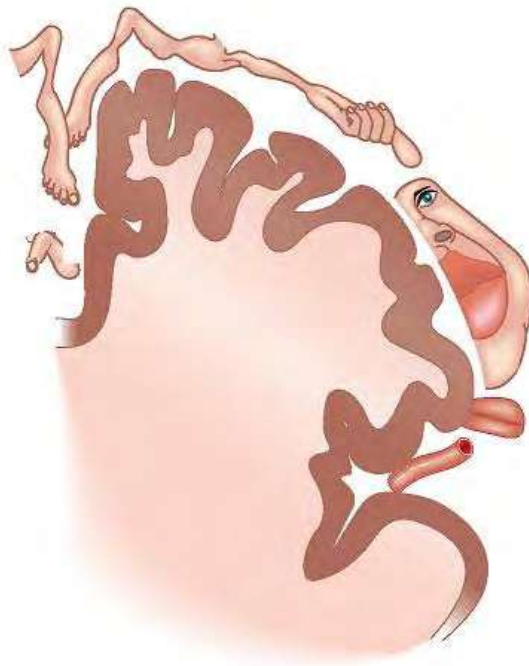
Hmatové informácie dostávame od mechanoreceptorov v koži. Podľa toho, koľko ich v ktorej časti tela je, tak jemne vie daná časť tela rozlišovať dotyky a podľa toho je i proporcionálne reprezentovaná v somatosenzorickej (prijímajúcej podnety z tela) mozgovej kôre. Do tej istej časti mozgovej kôry, ktorá spracováva informácie o hmate, prúdia i informácie o teplote z termoreceptorov, o proprioceptii z receptorov v svaloch, o bolesti z nocioreceptorov.



Obrázok 8.1: Somatosenzorická kôra. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Podobne ako v ostatných sensorických systémoch, receptory nám najprv rozložia vonkajší svet (napríklad ak sa hmatom dotýkame jablka) na množstvo čiastkových informácií, podľa toho, ktoré receptory sú dotykcom aktivizované. Tieto informácie sa vo vyšších oblastiach mozgovej kôry skladajú do celistvého tvaru.

Informácie o dotyku z tela prechádzajú miechou do talamu a z neho do primárnej somatosenzorickej kôry. V nej sa nachádza podrobná mapa všetkých inervovaných oblastí tela. Mapou rozumieme súbor neurónov, z ktorých každý je citlivý (reaguje) na vstupy z inej časti tela.

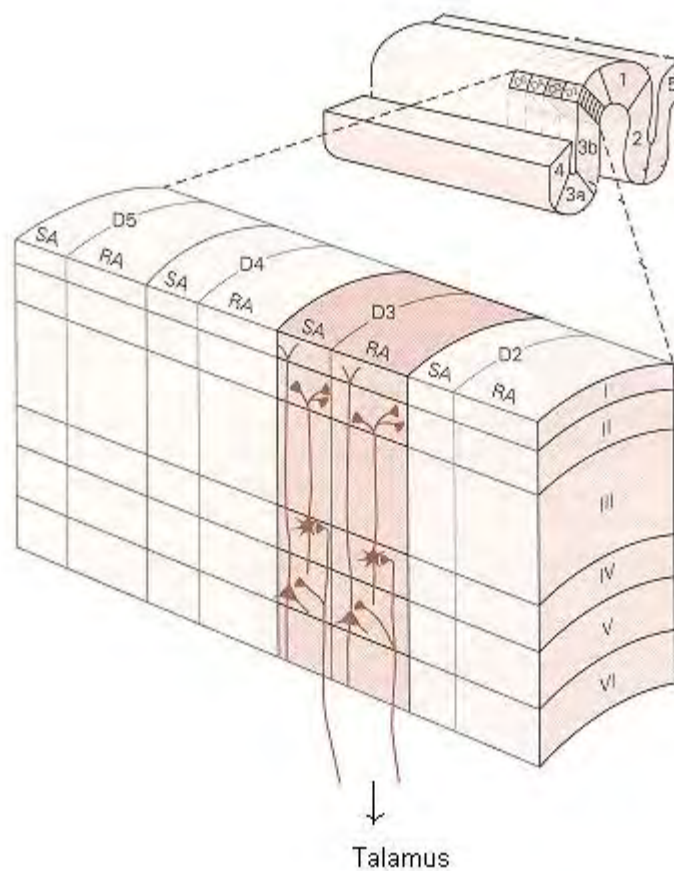


Obrázok 8.2: Rozloženie častí ľudského tela v primárnej somatosenzorickej kôre (somatosenzorický homunkulus).

Primárnu somatickú kôru môžeme rozdeliť na štyri oblasti (Brodmanove oblasti 1,2, 3a, 3b). Oblasti 1 a 3b dostávajú informácie z receptorov v koži, oblasti 2 a 3a dostávajú proprioceptívnu informáciu zo svalov a kĺbov. Oblasti sú i navzájom prepojené.

Primárna somatická kôra je organizovaná v stĺpcoch neurónov. V týchto stĺpcoch sa jednak striedajú informácie zo všetkých častí tela, z kože a proprioceptorov, z rýchlo (Merkelove diskové receptory) a pomaly (Meissnerove korpuskuly) sa adaptujúcich receptorov v koži. Každý typ receptorov reprezentuje trocha odlišné črty objektov, ktorých sa dotýkame.





Obrázok 8.3: Stĺpce neurónov v somatosenzorickej kôre (SA – vstup z pomaly sa adaptujúcich receptorov, RA – vstup z rýchlo sa adaptujúcich receptorov). Zdroj: Gardnerová, Kandel (2000).

Informácie sú ďalej integrované v sekundárnej somatosenzorickej kôre a v asociačnej somatosenzorickej kôre. V asociačnej kôre sa integrujú jednak informácie z oboch hemisfér, hmatové, proprioceptné a tiež vizuálne informácie. Asociačná kôra vysiela informácie do motorických oblastí.

Informácie o našom tele sú dôležitou súčasťou pri vytváraní nášho sebaobrazu, pocitu vlastného ja.

## Literatúra:

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Gardnerová, E. P., Kandel, E. R. (2000) Touch. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H.,

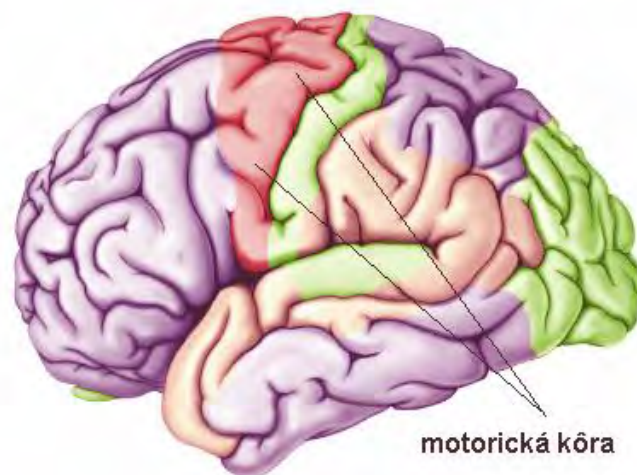
Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

Kandel, E. R. (2000) From nerve cells to cognition. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H.,

Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

## Kapitola 9: Motorický systém

Podobne ako senzorické oblasti, i motorická oblasť sa delí na primárnu a sekundárnu (pred-motorickú) oblasť. Treba si uvedomiť, že tak, ako vstupy zo zmyslov prichádzajú najprv do najjednoduchších primárnych zmyslových oblastí a idú vyššie do sekundárnych, tak informácie z mozgu idú cez komplexnejšiu sekundárnu motorickú oblasť do jednoduchšej primárnej motorickej, z ktorej sa signály cez mozgový kmeň, miechu a ďalšie štruktúry rozkladajú na najjednoduchšie príkazy pre jednotlivé svaly.



Obrázok 9.1: Motorická kôra. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

Nebudeme sa tu zaoberať reflexnými a rytmickými pohybmi, ktoré sú riadené najmä neurónmi v mieche a mozgovom kmeni. Zameriame sa na vôľové pohyby spracovávané najmä primárnou a sekundárnou motorickou kôrou. Na rozdiel od reflexu, vôľové konanie dáva na ten istý stimul rozličnú odpoveď podľa toho, v akom kontexte alebo v rámci akej úlohy sa vyskytne.

Časť motorického spracovania sa však vykonáva v mieche. Interneuróny v mieche dostávajú somatosenzorické vstupy a vedú tak do istej miery reagovať na zmeny. Dôležitou časťou motorického systému sú i bazálne gangliá a mozoček. Tie však vykonávajú skôr adaptačné funkcie nesúvisiace priamo s kogníciou, a preto sa tu nimi nebudeme zaoberať.

## Štruktúra primárnej motorickej kôry

Primárna motorická kôra je organizovaná somatotopicky. To znamená, že jednotlivé oblasti tela sú reprezentované susediacimi neurónmi. Zároveň, časti tela, ktoré vieme ovládať jemnejšie (napríklad prsty, jazyk), majú proporcionálne viac neurónov ako časti, ktoré nie sú až tak jemne inervované. Aktivita príslušných neurónov v primárnej kôre potom aktivizuje príslušné časti tela. To však neznamená, že jeden neurón kontroluje jeden sval. Na dosiahnutie vyššej komplexnosti správania je efektívnejšie, že jeden neurón aktivizuje viac svalov a jeden sval môže byť aktivizovaný viacerými neurónmi. Ovládanie proximálnych a distálnych svalov je spravidla organizované koncentricky. V strede pomysleného kruhu neurónov sú neuróny, ktoré ovládajú distálne a proximálne svaly. Na okrajoch kruhu sú neuróny, ktoré ovládajú iba proximálne svaly.



Obrázok 9.2: Homunkulus motorickej kôry je veľmi podobný ako homunkulus senzomotorickej kôry.

Primárna motorická kôra dostáva somatotopicky organizované vstupy z primárnej somatosenzorickej kôry (ktorá je umiestnená v mozgu hneď vedľa). Niektoré neuróny získavajú proprioceptné vstupy zo svalov, ktoré ovládajú. Ďalšie vstupy do primárnej motorickej kôry prichádzajú z parietálnej multimodálnej asociačnej oblasti, v ktorej je integrovaných viacero modalít (zmyslov). Neuróny v primárnej motorickej kôre takto dostávajú rýchlu spätnú väzbu z proprioceptných a somatických sensorov danej časti tela, ktorú riadia.

### **Štruktúra sekundárnej motorickej kôry**

Sekundárnu motorickú oblasť možno u primátov rozdeliť na štyri podoblasti. Každá z nich obsahuje svoju motorickú somatotopickú mapu. Pri aktivácii neurónov v sekundárnej oblasti dochádza k zložitejším pohybom ako keď sa aktivizuje primárna oblasť. Z týchto podoblastí si zvláštnu pozornosť zasluhuje doplnková motorická oblasť, ktorá je pravdepodobne zodpovedná za bilaterálnu koordináciu pohybov.

Neuróny sekundárnej motorickej kôry majú výstupy ako do primárnej motorickej kôry, tak i do miechy.

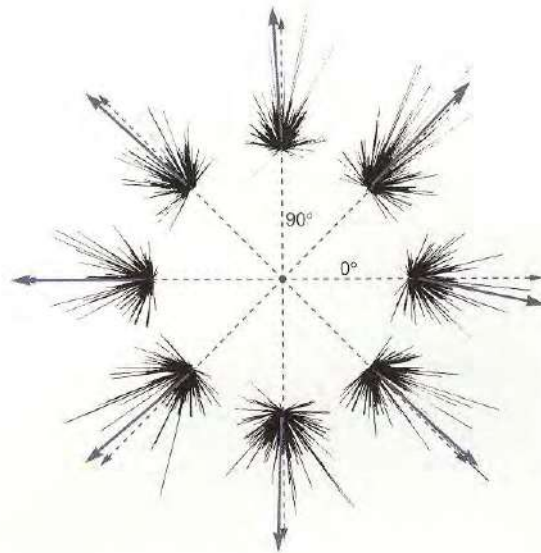
Do sekundárnej motorickej kôry prichádzajú vstupy zo somatickej asociačnej kôry, parietálnej multimodálnej asociačnej kôry, ako aj z časti prefrontálnej kôry špecializovanej na pracovnú pamäť. Táto pamäť krátkodobo pretrváva, kým je motorická úloha splnená. Splnením úlohy sa „vyresetujú“ (prestanú byť synchronne aktívne) neuróny zodpovedné za udržiavanie úlohy v pamäti.

Do primárnej i sekundárnej kôry prichádzajú i vstupy z mozočka a bazálnych ganglií. Do týchto štruktúr motorická kôra takisto vysiela svoje výstupy. Zároveň má motorická kôra prepojenie do podkôrových oblastí, ktoré sú pravdepodobne zodpovedné za motivačné riadenie motorických činností. Mozoček hrá úlohu najmä v adaptácii motorickej činnosti na zmenené vonkajšie podmienky, doladzuje jemnosť a presnosť pohybov na základe senzomotorickej koordinácie.

## Aktivita v primárnej motorickej kôre

Neuróny v primárnej motorickej kôre kódujú dve základné vlastnosti pohybu: silu a smer. Sila je kódovaná relatívne jednoduchým spôsobom. Čím častejšie sú neuróny aktívne, tým väčšiu silu kódujú.

Čo sa týka smeru pohybu, nie je kódovaný jedným neurónom, ale takzvaným populačným vektorom neurónov. Jeden neurón vie reprezentovať viaceré smery pohybu. Avšak výsledný smer pohybu je určovaný vektorovým súčtom smerov pohybu jednotlivých neurónov.



Obrázok 9.3: Populačný vektor neurónov, ktorý určuje smer pohybu. Zdroj: Krakauer, Ghez (2000).

Podobným spôsobom je riadené napríklad i ovládanie jednotlivých prstov. Tak je pohyb jedného prsta riadený sumárnou aktivitou viacerých neurónov. Zároveň sa jeden neurón môže zúčastňovať riadenia rozličných prstov. To, ktorý neurón riadi ktorý prst, závisí i od typu úlohy, o ktorú sa jedná. Iné neuróny sú aktívne, ak majú prsty napríklad chytiť predmet presne a iné, ak ho majú zovrieť silno.

V primárnej motorickej kôre sa nachádzajú i neuróny, ktoré reagujú, iba keď sú potrebné jemné zmeny v sile.

Ak to zhrnieme, v primárnej motorickej kôre sa vyskytujú neuróny s jednoduchou funkciou, regulujúce silu a smer, a neuróny, ktoré koordinujú tieto jednoduchšie neuróny v závislosti od typu úlohy.

## **Aktivita v sekundárnej motorickej kôre**

Ako sme spomínali, sekundárnu motorickú kôru môžeme rozdeliť na viac podoblastí.

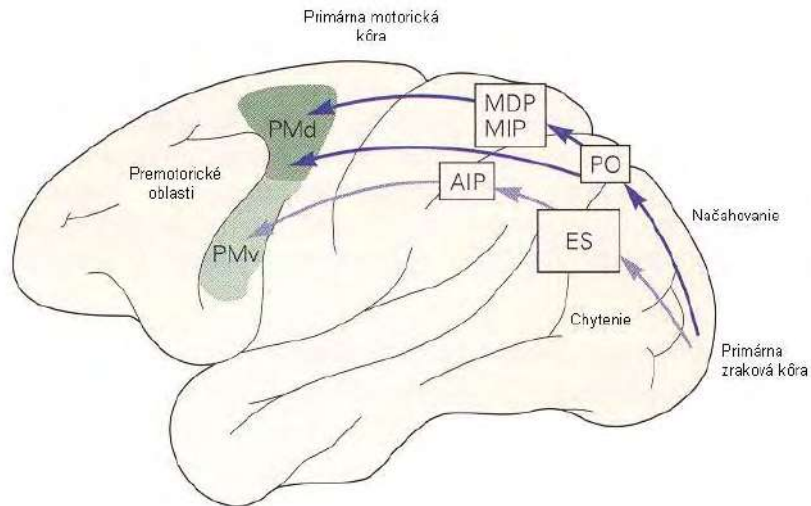
*Doplnková motorická oblasť* je zodpovedná za zložitejšie naučené sekvencie pohybov. Zároveň v nej prebieha príprava sekvencie pohybov z pamäti. Neuróny v nej už nie sú uložené prísne somatotopicky.

*Pred-doplnková motorická oblasť* je zodpovedná za učenie sa týchto sekvencií. Tieto oblasti kôry sa však menia s tým, ako sa človek učí. Nové sekvencie sú najprv reprezentované v pred-doplnkovej kôre. Učením sa transformujú do neurónov doplnkovej motorickej oblasti a automatizáciou (keď už vieme robiť pohyb bez rozmyšľania) sa presúvajú až do primárnej motorickej oblasti.

Pred-doplnková motorická oblasť je aktívna i vtedy, keď si motorické pohyby iba predstavujeme.

*Laterálne pred-motorické oblasti (ventrálne a dorzálne)* sú zodpovedné za to, ako sa použijú senzorické informácie na riadenie pohybu. Pravdepodobne v nich prebieha asociačné učenie medzi senzorickým podnetom a príslušnou pohybovou reakciou.

Dvoma konkrétnymi motorickými činnosťami sú načiahnutie sa a chytenie objektu. Na tomto príklade možno ukázať vzájomné prepojenie senzoriky a motoriky. Pri načiahnutí ide skôr o priestorové umiestnenie objektu, pri chytení o charakteristiky objektu. Pre obe tieto činnosti idú zo zrakovej kôry cez parietálnu asociačnú oblasť do pred-motorickej kôry dva paralelné prúdy informácií. Informácie potrebné pre načiahnutie prechádzajú do dorzálnej (hornej) pred-motorickej kôry, informácie pre chytenie do ventrálnej (spodnej).



Obrázok 9.4: Prúdy spracovania informácií pre načiahnutie sa a chytenie. Zdroj: Krakauer, Ghez (2000).

Špecifickým typom neurónov v laterálnej ventrálnej pred-motorickej oblasti sú zrkadlové neuróny. Sú aktívne, keď chytáme predmet. Sú však aktívne i vtedy, keď vidíme, ako predmet chytá niekto iný. Tieto neuróny môžu hrať úlohu pri imitačnom učení alebo pri transformácii charakteristík objektu v priestore do motorických kódov.

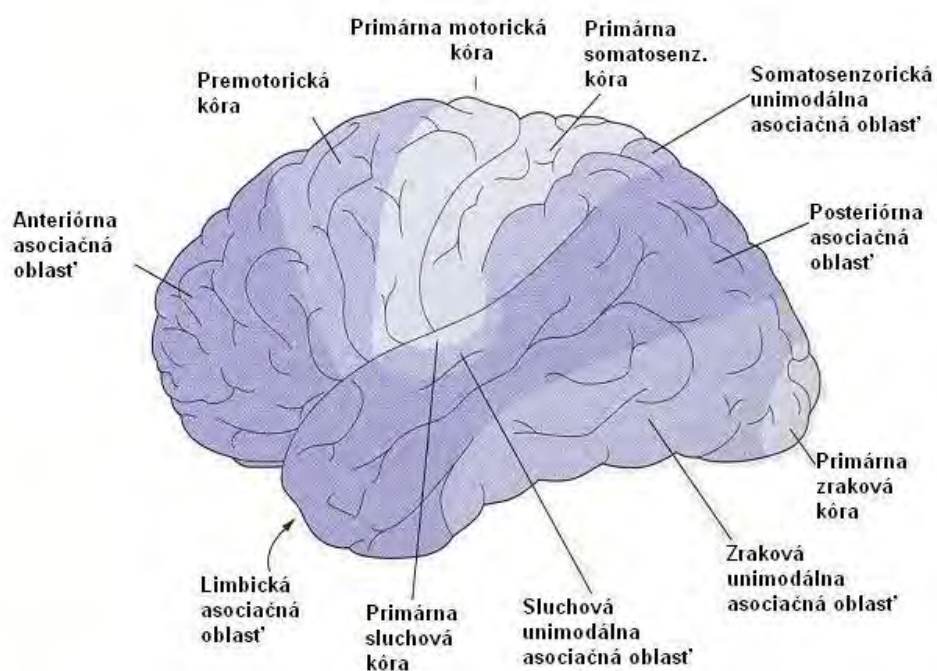
## Literatúra:

- Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain. Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.
- Krakauer, J., Ghez, C. (2000) Voluntary movement. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.
- Squire, L. R. a kol. (Eds.) (2003) Fundamental neuroscience. Academic Press, Londýn.



## Kapitola 10: Asociačné oblasti

Ako sme videli na príklade sensorických i motorických oblastí, spracovanie informácií v mozgu je hierarchicky usporiadané. Táto hierarchia pokračuje i ďalej vo vyšších oblastiach mozgovej kôry. Podobne ako sa informácia o jednotlivých charakteristikách videného predmetu spájala do celistvejšieho obrazu v zrakovaj asociáčnej oblasti, tak sa informácie z viacerých sensorických oblastí spájajú do celistvých obrazov predmetov v multimodálnych asociáčnych oblastiach mozgovej kôry. Zároveň sa v multimodálnej motorickej oblasti prepájajú informácie zo sensorických a motorických oblastí. Práve v multimodálnych asociáčnych oblastiach sa deje hlavná časť našich vyšších kognitívnych procesov. Je to prirodzené, pretože tam sú na jednom mieste prístupné integrované informácie zo všetkých zmyslov, s ktorými potom môžeme manipulovať.



Obrázok 10.1: Rozloženie asociáčnych oblastí v mozgovej kôre. Zdroj: Saper a kol. (2000).

Tri hlavné multimodálne asociačné oblasti majú každá odlišnú hlavnú funkciu. Zjednodušene môžeme povedať, že posteriórna oblasť je zameraná na vzájomné prepájanie a pamätanie informácií zo zmyslov, limbická na prepájanie a pamätanie emocionálnych informácií (ku ktorým sú potrebné i informácie zo zmyslov) a anteriórna, evolučne najmladšia, na prepájanie, pamätanie a koordináciu senzorických, motorických a emocionálnych informácií.

*Posteriórna asociačná oblasť* integruje najmä vstupy zo senzorických oblastí. Pri jej poškodení dochádza napríklad k poškodeniu našej schopnosti vnímať vlastné telo a orientovať sa v priestore, či skladať jednotlivé objekty do celistvej scény.

Príkladom takýchto porúch sú napríklad pocity toho, že mi nepatrí nejaká moja končatina, neschopnosť vnímať časť priestoru (priestorový neglekt), či vlastného tela (osobný neglekt).

*Limbická asociačná oblasť* je trochu odlišná od ostatných asociačných oblastí najmä tým, že jej štruktúry sú evolučne staršie ako posteriórna a anteriórna asociačná oblasť. Je kľúčová pre pamäť a emócie. Okrem cingulárnej kôry do nej niekedy zahŕňame i podkôrové centrá, najmä hipokampus. Do hipokampu prichádzajú informácie z ostatných asociačných oblastí. Hipokampus hrá kľúčovú úlohu v transformácii informácií z krátkodobej pamäti do dlhodobej. To, ktoré spomienky pretrvávajú, je filtrované na základe ich častosti a emocionálneho náboja. Zároveň sa v ňom rozličné modalities spomienok prepájajú do koherentných celkov.

*Anteriórna asociačná oblasť* (prefrontálna kôra) je primárne zameraná na prepájanie informácií z ostatných oblastí mozgu, plánovanie činnosti, koordináciu pohybov, plnenie úlohy. Zvažujú sa v nej dopady budúcej činnosti na život organizmu. Porovnávajú sa v nej emocionálne a kognitívne informácie a upravuje sa podľa nich ďalšie správanie.

Faw rozdelil prefrontálnu kôru na niekoľko funkčných systémov:

*Prijímateľ*, ktorý je rozšírením senzorických systémov a zabezpečuje na vyššej úrovni spracovanie informácií zo zmyslov.

*Verbalizátor*, ktorý je rozšírením rečových systémov.

*Motivátor*, ktorý spracováva informácie z limbického systému a dáva ich do súvislostí z ostatnými systémami.

*Pozornostný systém*, ktorý spracováva informácie najmä z hipokampu a určuje zameranie pozornosti.

*Koordinátor*, ktorý spracováva senzorické informácie, dáva ich do súvislosti s motorickou činnosťou a koordinuje vôľové konanie a krátkodobú pamäť.

Treba mať na pamäti, že i keď je prefrontálna kôra evolučne najmladšou a tým i najzložitejšou časťou mozgu, človek môže existovať i bez nej. Najhmatateľnejším príkladom sú ľudia, ktorí podstúpili z medicínskych dôvodov frontálnu lobotómiu (odstránenie časti frontálneho laloka) a vedeli ďalej existovať, samozrejme so zníženými schopnosťami v oblasti plánovania, vôľového konania a niektorými ďalšími deficitmi.

### Pre zaujímavosť

I multimodálne asociačné oblasti môžeme deliť na menšie funkčné celky. Napríklad prefrontálna kôra hrá dôležitú úlohu v pracovnej pamäti, krátkodobej pamäti spojenej najmä so senzomotorickými úlohami. V prefrontálnej kôre boli identifikované skupiny neurónov reprezentujúce informácie z „čo“ a „kde“ prúdu zrakovej informácie, takisto ako i neuróny integrujúce tieto dva typy informácie. Zároveň tam boli identifikované neuróny, ktoré si pamätali priestorové rozloženie objektov (pamätali tak, že boli aktívne aj istý čas potom, ako bol objekt zakrytý). Iné neuróny sú citlivé na iné oblasti priestoru podobne ako neuróny v zrakovej kôre boli citlivé na rozličné pozície podnetu na sietnici. Pravdepodobne sa teda i v prefrontálnej kôre vyskytuje istý druh mapy zrakového poľa.

Podobne ako pracovná pamäť, vyskytuje sa v prefrontálnej kôre i oblasť zameraná na verbálnu krátkodobú pamäť.

Krátkodobá pamäť však nie je doménou iba prefrontálnej kôry. Každá senzorická oblasť má kapacitu pre krátkodobú pamäť. Pracovná pamäť v prefrontálnej kôre je možná preto, že sú tam prezentované viaceré modality naraz.

## Literatúra:

Faw, B. (2003) Pre-frontal executive committee for perception, working memory, attention, long-term memory, motor control, and thinking: A tutorial review. *Consciousness and Cognition*, 12, s. 83-139

Goldberg, E. (2004) *Jak nás mozek civilizuje*. Karolinum, Praha.

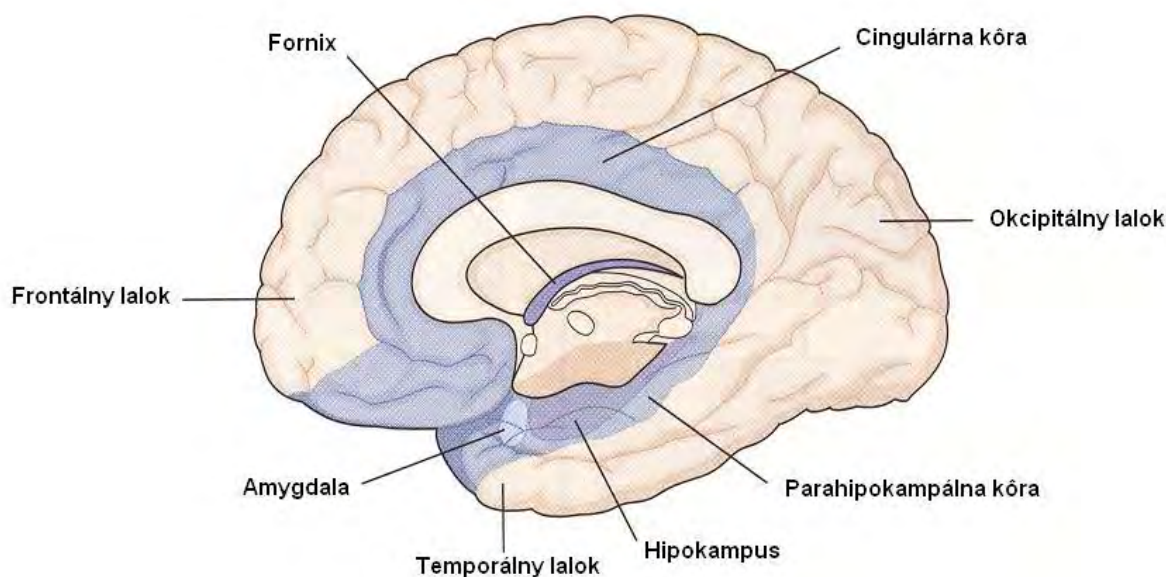
Saper, C. B. a kol. (2000) Integration of sensory and motor function. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: *Principles of neural science*. McGraw-Hill, New York.

## Kapitola 11: Emócie

Emócie dodávajú nášmu životu pestrosť, no kľúčové sú ich motivačné účinky. Majú viacero funkcií, napríklad na základe podnetov z prostredia mobilizujú zdroje, ktoré má telo k dispozícii, pomáhajú vyhýbať sa nebezpečenstvu, komunikovať ostatným to, ako sa cítime.

System zodpovedný za ľudské emócie možno rozdeliť na dve časti. Podkôrové centrá, najmä amygdala, sú zodpovedné za vonkajšie prejavy emócií, ako napríklad búšenie srdca či zrýchlené dýchanie. Podkôrové emocionálne centrá sú evolučne staršie ako kôra a okrem motivačného prvku v sebe obsahujú percepčnú, pamäťovú i rozhodovaciu zložku.

V centrách v kôre (hlavne v cingulárnej, parahipokampálnej a prefrontálnej) prebieha uvedomovanie a prežívanie emócií. Kôrové i podkôrové centrá majú početné vzájomné prepojenia a navzájom sa ovplyvňujú.



Obrázok 11.1: Kôrové a podkôrové centrá emócií. Zdroj: Iversenová a kol. (2000).

## Podkôrové centrá emócií

*Hypotalamus* má úlohu v autonómnom nervovom systéme. Jeho stimuláciou sa dajú vyvolať reakcie ako zvýšenie tepu, frekvencie dýchania, u zvierat zježenie srsti. Hypotalamus nie je vo svojej funkcii homogénny. Pri poškodení jeho laterálnej časti bolo pozorované skôr apatické správanie, pri poškodení mediálnej časti zasa podráždenosť a agresivita.

*Amygdala* sa skladá najmenej z desiatich oddelených jadier. Prichádzajú do nej senzorické informácie rýchlou cestou z talamu a pomalou cestou z kôry. V súlade s tým aj na emocionálne podnety reagujeme rýchlo i pomaly. Ak nás niečo vystraší, najprv sa strhneme, až potom si uvedomíme, že nás niečo vystrašilo. Často tiež môžeme mať podvedome strach bez toho, aby sme o ňom vedome vedeli.

Amygdala je zároveň formou emocionálnej pamäti. Aby vedela informáciu o emócií podať ďalej, musí vedieť emocionálny podnet, ktorý do nej prišiel, porovnať so zapamätanými. Taktiež je schopná naučiť sa rozpoznávať nové emocionálne podnety. Je však možné, že hlavné pamäťové stopy súvisiace s rozpoznávaním emocionálnych stimulov sú uložené až v cingulárnej a parahipokampálnej kôre, s ktorými je amygdala prepojená. Funkciou amygdaly by potom bolo napomáhať adaptácii kôry na nové podnety (podobne ako mozoček napomáha adaptácii motorickej kôry).

## Kôrové centrá emócií

Tri hlavné kôrové centrá sú spájané s prežívaním, reakciou, reguláciou a učením o emóciách.

*Cingulárna kôra* môže byť tým miestom, kde je príslušná emócia vedome pociťovaná a zapamätávaná. Podobne ako zrakový podnet, ktorý máme už v primárnej zrakovej kôre, si uvedomujeme až vo vyšších zrakových centrách, uvedomíme si emóciu, ktorá je už v podkôrových centrách, až v kôre. Cingulárna kôra však znova nie je jednoliata a je možné, že podobne ako senzorická kôra, i ona sa rozdeľuje na viacero oblastí s rozličným stupňom spracovania emocionálnej informácie.

Časť *prefrontálnej kôry* (orbitofrontálna a ventromediálna) má pravdepodobne regulatívny účinok na emócie. Ak je porušená orbitofrontálna kôra, dochádza k nekontrolovaným prejavom emócií, ak ventromediálna, dochádza k ich oslabeniu. Prostredníctvom prefrontálnej kôry vieme vôľovo potlačiť emóciu, ktorá vzniká v podkôrových centrách.

*Parahipokampálna kôra* má úlohu v celkovom nabudení organizmu. Jej prostredníctvom možno vybudieť autonómne odpovede v organizme. Jej poškodenie tlmí prejavy emócií i chronickej bolesti.

Susan Greenfieldová navrhla teóriu prežívania emócií, podľa ktorej je do prežívania emócií zapojená takmer celá kôra. Tvrdí, že emocionálny stav závisí od množstva neurotransmitterov v mozgu. Ak je hladina príslušného transmittera optimálna, človek pociťuje šťastie. Naopak, pri príliš nízkych alebo vysokých hladinách máme stavy depresie či anxiety.

Panksepp vyslovil teóriu, že pocit šťastia sa spája s optimálnou hladinou energie v mozgu. Ak je mozog v homeostáze, človek je šťastný. Homeostáza sa môže porušiť oboma smermi, preto nám niekedy ten istý podnet veľmi chýba (voda, ak sme smädní) alebo v nás vzbudzuje odpor (voda, ak jej musíme naraz vypiť litre).

## **Literatúra:**

Greenfieldová, S. (2000) *The private life of the brain*. John Wiley and Sons, New York.

Iversenová, S. a kol. (2000) *Emotional states and feelings*. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H.,

Jessel, T. M.: *Principles of neural science*. McGraw-Hill, New York.

Panksepp, J. (1998) *Affective neuroscience*. Oxford University Press, Oxford.

## Kapitola 12: Motivácia

Prečo sme motivovaní niečo robiť? Najjednoduchším riešením by bolo iba ležať a nehýbať sa. Ak však organizmus nič nerobí, nezískava energiu potrebnú na prežitie, nezanechá potomkov, neprejde sitom evolučného výberu. (Ľudská motivácia sa samozrejme neobmedzuje iba na základné potreby nevyhnutné pre prežitie, avšak vychádza z nich.)

Naše telo sa skutočne snaží o homeostázu. Najlepšie nám je, keď sme najedení, vyspaní, vtedy nám máločo chýba. Takýto stav však nikdy netrvá veľmi dlho. Základ našej motivácie spočíva v odstraňovaní negatívnych stavov. Ak nám poklesne hladina cukru v krvi, potrebujeme sa najesť. Ak naša teplota príliš stúpne, potrebujeme sa ochladiť. Kľúčovú úlohu v homeostatickej regulácii má hypotalamus.

Hypotalamus dostáva informácie z tela i zo zmyslov. Ich koordinácia umožňuje vyvolať vhodnú odpoveď v mozgovej kôre na pocit nedostatku. Zároveň hypotalamom vedú cesty, ktoré do ďalších štruktúr mozgu dopravujú dopamín. Dopamín hrá dôležitú úlohu pri posilňovaní správania a v odmeňovacom systéme.

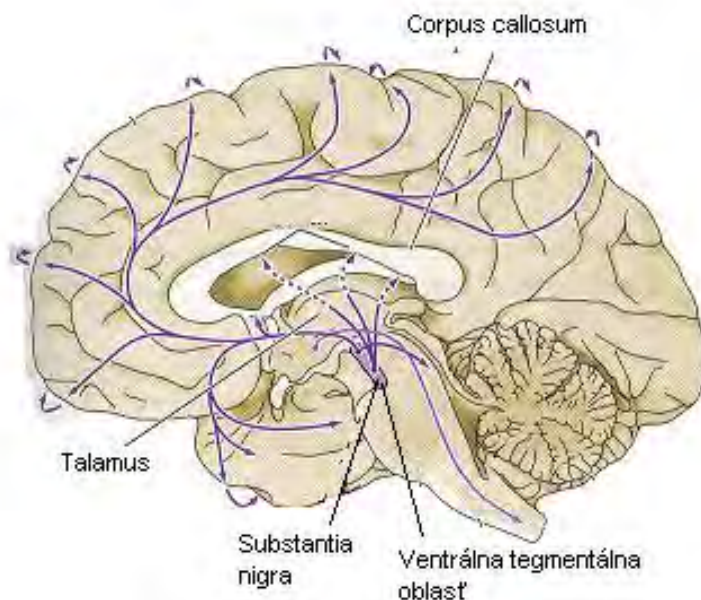
Relatívne jednoduchá štruktúra, akou je hypotalamus, však nestačí na širokú paletu našich motivácií. Tie, podobne ako všetky zložitejšie psychické javy, majú svoj základ v mozgovej kôre. Ich základom však zostávajú jednoduché homeostatické motivácie.

Možno ste už počuli o centrách šťastia. Sú to oblasti v mozgu, ktoré keď sa elektricky stimulujú, spôsobujú človeku (zvierat'u) pocit šťastia. U zvierat bolo stláčanie páčky, ktorá takéto centrum stimulovala, uprednostňované pred jedlom, spánkom či sexuálnym partnerom. Stláčali ju až do úplného vyčerpania.

Takýmto centrom sú v mozgu časti hypotalamu, respektíve iné štruktúry, ktoré podporujú produkciu dopamínu, alebo cez ktoré dopamínergné (produkujúce dopamín) neuróny prechádzajú.



V mozgu sa dopamín produkuje v dvoch centrách. Čiernom teliesku (substantia nigra) a ventrálnej tegmentálnej oblasti. Z oboch centier je dopamín distribuovaný do kôrových i podkôrových centier.



Obrázok 12.1: Mapa produkcie a distribúcie dopamínu v mozgu. Zdroj: Purves a kol. (2004).

Z kôrových centier sa v kontrole motivácie uplatňuje prefrontálna kôra. Je však iba poslednou stanicou, do ktorej sa zbiehajú informácie z celej kôry.

Dopamín hrá základnú úlohu pri posilňovaní správania. Ako môže fungovať takéto posilňovanie? Odpoveď ešte nie je známa. Jedna hypotéza môže byť založená na fakte, že dopamín je neurotransmiter. Ak je ho medzi neurónmi viac, neuróny sú aktívnejšie. Hebbovo pravidlo hovorí, že ak sú dva neuróny aktívne v približne tom istom čase, spojenie medzi nimi sa posilní. Z toho by vyplývalo, že neuróny, ktoré sú zodpovedné za správanie, ktoré viedlo k odmene, sú aktívne vtedy, keď ich aktivita viedla k doručeniu väčšieho množstva dopamínu do neurónov. Tak by sa väzby medzi nimi posilnili a nabudúce by už požadované správanie vykonali ešte ľahšie a s menším vynaložením energie.

Dopamín je potrebný pre celkovú bdelosť mozgu, a tiež pre senzomotorickú koordináciu. Možno preto je náš organizmus nastavený na to, aby ho produkoval. Čím viac dopamínu, tým vyššia šanca, že mozog bude prevádzkyschopný a tým evolučne úspešnejší.

## **Literatúra:**

Kupferman, I., Kandel, E. R., Iversenová, S. (2000) Motivational and addictive states.

In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science.

McGraw-Hill, New York.

Panksepp, J. (1998) Affective neuroscience. Oxford University Press, Oxford.

Purves, D. a kol. (2004) Neuroscience. Sinauer Associates, Sunderland.

## Kapitola 13: Pamäť

Podľa toho, akým spôsobom sa veci učíme a toho, kde sú tieto informácie v mozgu uložené, rozdeľujeme pamäť na explicitnú (deklaratívnu, vedomú) a implicitnú (nedeklaratívnu, nevedomú).

*Explicitná pamäť* zahŕňa fakty, znalosti, či zážitky. Delíme ju na epizodickú (kde si pamätáme naše zážitky, udalosti, tváre a pod.) a sémantickú (kde si pamätáme konkrétne fakty, poznatky).

*Implicitná pamäť* zahŕňa najmä motorické a senzomotorické zručnosti (schopnosť korčuľovať či previesť niť okom ihly).

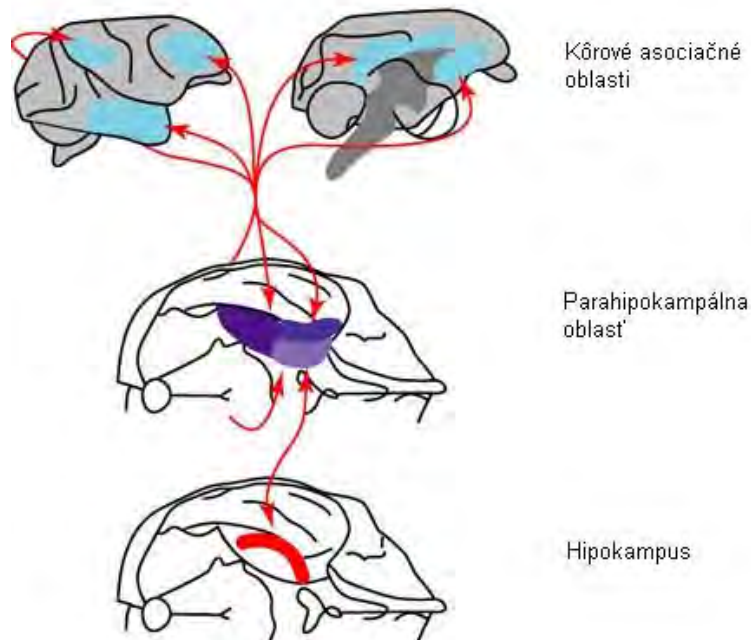
Špeciálne môžeme hovoriť o implicitnej pamäti so zameraním na emocionálne informácie, ktorá je uložená najmä v limbickom systéme.

Podľa toho, ako dlho si poznatky pamätáme, delíme pamäť na *krátkodobú* a *dlhodobú*.

### Explicitná pamäť

Informácie v rámci *explicitnej pamäti* sa zapamätávajú už v primárnych sensorických oblastiach. Komplexnejšie informácie sa vytvárajú a ukladajú v multimodálnych asociačných oblastiach. Keď sa informácia dostane do asociačnej kôry, neznamena to, že sa automaticky i zapamätá. Z multimodálnych asociačných oblastí sa informácia cez parahipokampálnu, perirínálnu a entorínálnu kôru dostáva do hipokampu a príľahlých oblastí, a potom cez tie isté štruktúry späť do multimodálnych asociačných oblastí a unimodálnych sensorických oblastí. V asociačných a sensorických oblastiach sa teda podnety nielen vytvárajú, rozpoznávajú,

kombinujú, ale i ukladajú. (Preto každá zapamätaná informácia trocha mení naše vnímanie ďalších informácií.) Od vytvorenia po uloženie však informácie o podnetoch musia prejsť hore popísaným okruhom.



Obrázok 13.1: Okruh spracovania explicitnej pamäťovej informácie. Zdroj: Squire a kol. (2003).

Načo je dobrý tento zdanlivo zbytočný okruh? Spracovanie v hipokampe slúži najmä ako informačný filter. Každú sekundu nás zaplavuje množstvo vnemov, avšak veľmi málo z nich je hodných zapamätania. Iba tie, ktoré sa opakujú často, prípadne majú emocionálny náboj, sa postupne ukladajú do dlhodobej pamäti. Práve v ukladaní a následnom upevňovaní týchto spomienok hrá kľúčovú úlohu hipokampus. Pravdepodobne zároveň vytvára v spomienkach prepojenia medzi viacerými modalitami. Tak sa nám tvar písťalky, ktorý prichádza zo zrakovej oblasti, môže prepojiť s jej zvukom zo zvukovej oblasti ako jedna spojená spomienka.

Pravý hipokampus je zameraný skôr na priestorové informácie, ľavý na verbálne informácie a informácie o objektoch.

Pri porušení hipokampu alebo ciest, ktoré k nemu vedú z multimodálnej asociačnej kôry, nedochádza k porušeniu dlhodobej pamäti. Avšak človek si potom nevie zapamätať žiadne nové explicitné informácie (anterográdna amnézia).

### Pre zaujímavosť

Ako je explicitná pamäť reprezentovaná v multimodálnej asociačnej kôre? V asociačnej kôre boli identifikované rozličné oblasti, ktoré sú aktivizované pri rôznych typoch objektov. Iná časť asociačnej kôry je aktívna napríklad pri rozpoznávaní živých a iná pri rozpoznávaní neživých predmetov.

Iné rozdelenie pamäti v asociačnej oblasti je podľa modalít. Pri rozličných typoch agnózií (neschopnosti rozpoznať) je napríklad poškodená schopnosť pomenovať objekt, no človek ho vie rozoznať medzi inými.

V iných oblastiach je pravdepodobne kódovaná epizodická a v iných sémantická pamäť. Autobiografické informácie sú pravdepodobne zapamätávané v prefrontálnej a posteriórnej asociačnej oblasti. Na konkrétnych mapách multimodálnej asociačnej kôry sa stále pracuje.

Ako bolo spomenuté skôr, jednotlivé predmety v našom mozgu sú reprezentované ako aktivita rozličných neurónov, z ktorých každý kóduje inú charakteristiku predmetu (zjednodušene: červená lopta je kódovaná ako niečo červené, niečo okrúhle, niečo, s čím sa deti hrajú). Skupiny neurónov, ktoré reprezentujú tieto charakteristiky predmetu, sú medzi sebou prepojené. To znamená, že i predmety, ktoré sú si podobné, majú medzi sebou asociačné spojenia, pretože majú podobné charakteristiky (krík mi ľahko pripomenie strom, pretože je takisto hnedý a zelený, je to rastlina, má listy a podobne).

Nový predmet sa pridá do pamäťového systému pravdepodobne práve tým, že sa vytvoria asociačné spojenia medzi neurónmi, ktoré ho reprezentujú a ostatnými predmetmi.

## Implicitná pamäť

Je viac typov *implicitnej pamäti*. Za každú z nich sú zodpovedné odlišné mozgové štruktúry. Amygdala je spojená s podvedomým zapamätávaním si podnetov spojených s emóciami, najmä strachom. V zapamätávaní procedurálnych informácií (zručností, návykov) hrá dôležitú úlohu striatum (súčasť bazálnych ganglií v podkôrových oblastiach mozgu) a mozoček. Tieto typy implicitnej pamäti sa nazývajú asociatívne, pretože sa vytvárajú asociácie medzi stimulmi, respektíve medzi stimulom a odpoveďou naň. Vidíme, že sú zabezpečované najmä staršími, podkôrovými centrami, v evolúcii sú potrebnéjšie ako explicitné znalosti.

Pri neasociatívnej pamäti nastáva zmena v pamäti, ktorá sa týka iba daného stimulu, bez toho, aby bol daný do vzťahov s inými podnetmi. Takáto pamäťová stopa vzniká najmä pri primingu, habituácii a senzitivácii (podrobnejšie o týchto procesoch hovoríme v kapitole o učení). Ukladá sa pravdepodobne v kôrových štruktúrach (pri primingu), a reflexných dráhach (habituácia, senzitivácia), no vylúčené nie sú ani iné časti nervového systému.

## Dlhodobá a krátkodobá pamäť

Mechanizmy explicitnej a implicitnej pamäti, o ktorých sme teraz hovorili, sú mechanizmami *dlhodobej* pamäti.

Pri *krátkodobej* pamäti poznáme niekoľko mechanizmov, ako sa informácia udrží v mozgu.

V senzorických i asociačných oblastiach boli identifikované oneskorovacie neuróny (delay neurons), ktoré uchovávajú informáciu istý čas tým, že sú opakovane aktívne. Deje sa to buď tak, že jeden impulz v nich vybudí opakovanú odpoveď, alebo ide o okruh viacerých neurónov, ktoré sa do kruhu navzájom aktivizujú.

Iným mechanizmom krátkodobej pamäti sú reverberačné okruhy. Ide o vzájomne poprepájané skupiny neurónov, ktoré tvoria slučku prepájajúcu kôrové a podkôrové oblasti mozgu (napríklad okruh kôra – bazálne gangliá – talamus – kôra). Jednotlivé časti okruhu sa

navzájom aktivizujú, a tak v nich informácia môže obiehať. Tento okruh je potom aktívny až kým nevyhasne, alebo kým nie je inhibovaný inými neurónmi.

#### Pre zaujímavosť

Konkrétne tento okruh začína v kôre odkiaľ sa aktivizuje príslušná časť striata, ktoré potom inhibuje vnútornú časť globus pallidus a časť substantia nigra, ktorá inak tonicky inhibuje časť talamu. Preto, keď je aktivizované striatum, talamus sa aktivizuje a spätne aktivizuje kôru.

Tento okruh možno „vypnúť“ tak, že kôra aktivizuje inú časť striata, ktoré inhibuje *vonkajšiu* časť globus pallidus, ktorý inhibuje subtalamicke jadro, ktoré potom aktivizuje vnútornú časť globus pallidus a tá inhibuje talamus, ktorý potom nemôže aktivizovať kôru.

Typy krátkodobej pamäti, ktoré sme teraz popísali, slúžia najmä pre explicitnú pamäť.

Iným mechanizmom krátkodobej pamäti, slúžiacim najmä pre implicitnú pamäť, sú krátkodobé zmeny v efektívnosti synaptického prenosu. Napríklad pri dlhodobom hluku si naňho zvykneme. Pri opakovanej excitácii neurónov sa do synaptickej štrbiny uvoľňuje menej neurotransmitera, a tým je i vstup na ďalší neurón slabší a pravdepodobnosť jeho aktivácie nižšia. Neurón sa „unaví“. Tieto procesy boli zatiaľ študované najmä u neurónov reflexných senzomotorických dráh.

#### Literatúra:

Faw, B. (2003) Pre-frontal executive committee for perception, working memory, attention, long-term memory, motor control, and thinking: A tutorial review. *Consciousness and Cognition*, 12, s. 83-139

Jedlička, P. a kol. (2002) Molekulové mechanizmy učenia a pamäti. In: Hulín, I. (Ed.) *Patofyziológia*. Slovak Academic Press, Bratislava, s. 1183-1199.

Kandel, E. R., Kupferman, I, Iversenová, S. (2000) Learning and memory. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: *Principles of neural science*. McGraw-Hill, New York.

Squire, L. R. a kol. (Eds.) (2003) *Fundamental neuroscience*. Academic Press, Londýn.

## Kapitola 14: Učenie

Poznáme viacero typov učenia (spôsobov, akými sa informácia uchová v mozgu). Tieto typy učenia nie sú vždy nezávislé, často sa spolu kombinujú.

*Habitúcia* znamená, že si zvykneme na nový podnet. Ak ma šum z ulice na začiatku ruší, časom si naňho zvyknem. Základom habituácie je zníženie účinnosti synaptického prenosu medzi neurónmi. Signál sa už neprenáša tak ľahko, spojenie medzi príslušnými neurónmi sa oslabuje. Deje sa tak pravdepodobne preto, že sa neurotransmitter v synaptickej štrbine neobnovuje dost' rýchlo a spojenie nie je posilňované. Keď nás daný podnet neobťažuje, ani nám nič nedáva, nie je dôvod posilňovať cestu, ktorou prichádza.

Avšak nie každá synapsia je náchylná na tento typ učenia. Pri experimentoch na zvieratách sa ukazuje, že náchylné na habituáciu sú napríklad synapsie, ktoré spájajú senzorické a motorické neuróny, respektíve interneuróny, ktoré prepájajú sensoriku a motoriku.

*Senzitizáciou* nazývame zvýšenú odpoveď na podnet. Najmä pri ohrozujúcich stimuloch sa zvyšuje naša citlivosť na takéto podnety i na také, ktoré sú im podobné. V tomto prípade sa zvyšuje účinnosť synaptického prenosu medzi neurónmi, ktoré vedú informáciu o škodlivom podnete. Zvyšuje sa produkcia transmittera a prostredníctvom druhých poslov sa posilňujú spojenia medzi príslušnými neurónmi. I keď habituácia a senzitizácia môžu používať tie isté neuróny a tie isté cesty, habituácia sa zväčša deje na senzorických neurónoch a senzitizácia na interneurónoch. Zároveň iný stimul môže mať iné temporálne kódovanie a tým môže byť odlišený napriek tomu, že je vedený tou istou priestorovou cestou.

*Hebbovské učenie* (podľa jeho autora Donalda Hebba) je veľmi dôležitý mechanizmus asociačného učenia. Ak je aktívny presynaptický neurón, a v krátkom čase po ňom je aktívny



niektorý jeho sused, spojenie medzi týmito dvoma neurónmi sa posilní. Do nášho neuronálneho systému sa tak môžu ukladať asociácie medzi podnetmi, ktoré vo vonkajšom svete súvisia. Napríklad, ak veľmi malé dieťa vidí strom, pravdepodobne si neuvedomuje, že všetky tie zelené a hnedé čiastočky patria k sebe. V jeho mozgu táto informácia ešte nie je. Iba opakovaným sledovaním toho, že tieto podnety sa vyskytujú spolu, sa vytvoria v mozgu príslušné prepojenia. Potom už stačí, aby bola prítomná časť celku (napríklad časť koruny stromu) a v našom mozgu sa automaticky aktivizuje celok (strom). (Respektíve, na vyššej úrovni, ak uvidím jedličku, môžu mi na myseľ prísť Vianoce.) Naopak, u neurónov, ktoré nie sú aktívne v tom istom čase, sa ich vzájomné prepojenie oslabuje.

Na princípe hebbovského učenia možno vysvetliť i klasické podmieňovanie. Ak neustále pred jedným podnetom (jedlom) prezentujeme iný (napríklad zvonenie), vytvorí sa medzi neurónmi, ktoré tieto podnety reprezentujú, silnejšie prepojenie. Potom už stačí prezentovať jeden podnet (zvonenie), aby sa automaticky v predstave vyvolal druhý podnet (jedlo) a k nemu príslušná reakcia.

*Primingom* (predprípravou) nazývame efekt, keď prezentovanie jedného podnetu zvýši pravdepodobnosť rozpoznania toho istého alebo podobného podnetu. Napríklad, keď si prečítate slovo „doktor“, a potom uvidíte písmená „lek...“, skôr vás napadne slovo „lekár“ ako napríklad „lektor“ či „lekno“. Priming môže byť založený na zmenách, ktoré vznikli hebbovským učením. Medzi slovami „doktor“ a „lekár“ existujú asociačné spojenia. Ak sú aktívne neuróny, ktoré reprezentujú slovo „doktor“, ich aktivita sa šíri medzi všetkých ich susedov, s ktorými majú silné prepojenia. Táto aktivita nemusí hneď vyprovokovať v našej pamäti všetky súvisiace slová, ale zvýši pravdepodobnosť ich aktivácie (potencuje ich) v budúcnosti.

*Učenie posilnením* (reinforcement learning) berie do úvahy výsledok nášho správania. Ak niečo urobím a dostanem za to odmenu (alebo trest), cesta, ktorou som ku svojmu správaniu dospel, sa posilní (alebo inhibuje). Nie je jasné, ako sa posilnia všetky prepojenia medzi neurónmi, ktoré do správania boli zapojené. V tomto type učenia však hrajú úlohu štruktúry, o ktorých sme hovorili pri motivácii – dopamínový komplex, ktorým je vedený transmitter na zvýšenie efektívnosti synaptického prenosu, prefrontálna kôra, kde sa zbierajú a porovnávajú informácie o našom správaní a reakcie okolia naň.

Na to, aby sa krátkodobé zmeny v pamäti premietli do dlhodobých, je potrebné, aby bol podnet dost' silný, alebo aby sa častejšie opakoval. V takom prípade dochádza nielen ku zmene synaptickej efektívnosti, ale i k fyzickému rastu či odumieraniu prepojení medzi neurónmi. Často používané neuróny rastú, zvyšujú množstvo svojich výbežkov. Málo používané neuróny zakrpatievajú.



Obrázok 14.1: Zmeny dlhodobým učením na neurónoch. Zdroj: Kandel (2000).

Stručne povedané, učenie z neuropsychologického pohľadu znamená, že sa na základe nejakého podnetu pozmení neurónová sieť mozgu. Krátkodobé zmeny sa dejú najmä tým, že sa zmení rýchlosť a kvalita prenosu informácie na synapsiách medzi neurónmi. Dlhodobé zmeny sa dejú buď tak, že sa dlhodobo menia vlastnosti synapsie medzi neurónmi, respektíve, že sa menia celkové charakteristiky neurónov – množstvo ich prepojení, cieľ ich prepojení, ich vodivosť, charakteristiky aktivity a iné.

Rozdelenie na krátkodobé a dlhodobé zmeny má svoj význam. Aby bola neurónová sieť účinná a stabilná, musí reagovať na množstvo stimulov, no nemôže sa hneď meniť pod vplyvom každého podnetu, ktorý do nej príde. Podnet musí byť častý alebo silný, aby sa sieť dlhodobejšie zmenila.

## Literatúra:

- Jedlička, P. a kol. (2002) Molekulové mechanizmy učenia a pamäti. In: Hulín, I. (Ed.) Patofyziológia. Slovak Academic Press, Bratislava, s. 1183-1199.
- Kandel, E. R. (2000) Cellular mechanisms of learning and the biological basis of individuality. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.
- Kandel, E. R., Kupferman, I, Iversenová, S. (2000) Learning and memory. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science. McGraw-Hill, New York.

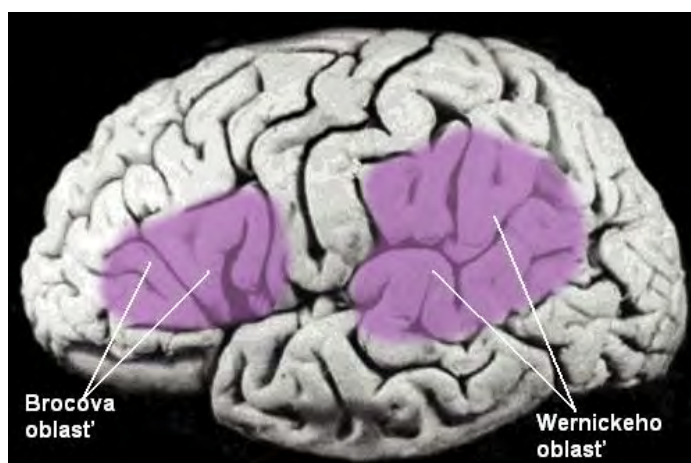
## Kapitola 15: Jazyk a reč

Podobne ako celý mozog funguje na princípe prijímania a vydávania informácií, tak i jazykový a rečový systém informácie prijíma, spracováva a posúva ďalej.

Pod jazykom rozumieme najmä porozumenie reči, prekódovanie zvukových (alebo iných, napríklad posunkových) signálov jazyka do informácií zrozumiteľných pre ostatné časti mozgu (napríklad, keď počujem slovo „mačka“, viem si predstaviť obrázok mačky).

Pod rečou rozumieme opačný proces. To, ako z predstáv a myšlienok v mozgu vieme vytvoriť hovorenú (alebo inú, napríklad posunkovú) reč (keď si predstavím obraz domu a následne poviem „dom“).

U približne 96% ľudí je pre jazyk dominantná (kľúčová) ľavá hemisféra. V mozgu sú oddelene uložené primárne centrá pre spracovanie jazyka (Wernickeho oblasť umiestnená blízko primárnej sluchovej kôry) a produkciu reči (Brocova oblasť umiestnená blízko motorickej kôry). Nemožno však povedať, že jedno je výlučne orientované na produkciu reči a druhé na porozumenie jazyka. Tieto dve centrá spolu vzájomne komunikujú.



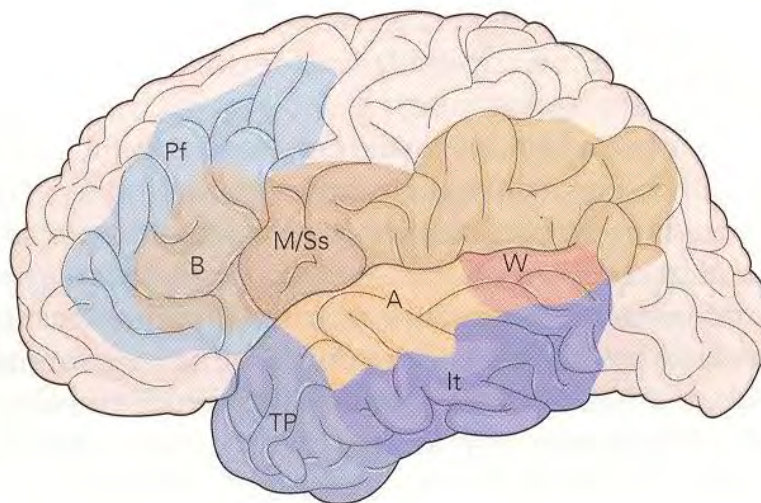
Obrázok 15.1: Wernickeho a Brocova oblasť. Zdroj: Squire a kol. (2003).

Iba tieto centrá však nestačia na tak zložitý proces. Do rozpoznávania jazyka a produkcie reči sa zapájajú širšie senzorické asociačné oblasti spolu s motorickými asociačnými oblasťami. To, čo sa nám zdá ako jednoliata reč, je totiž súbor mnohých čiastkových procesov. V systéme jazyka a reči možno rozlíšiť minimálne tri podsystemy:

*Implementačný systém*, do ktorého patrí Brocova a Wernickeho oblasť, bazálne gangliá a časti insulárnej kôry. Táto časť analyzuje zvukový signál, aktivizuje znalosť konceptov, zabezpečuje tvorbu foném, gramatiku a artikuláciu.

*Konceptuálny systém*, ktorý sa nachádza v multimodálnych asociačných kôrach, zabezpečuje konceptuálne vedomosti. Teda vedomosti, ktoré máme uložené vo forme slov, či viet.

Okolo implementačného systému je *mediačný systém*, ktorý sa takisto nachádza najmä v asociačných oblastiach a zabezpečuje prepojenie implementačného a konceptuálneho systému.



Obrázok 15.2: Systémy jazyka a reči. B – Brocova oblasť, W – Wernickeho oblasť, A – sluchová kôra, M/Ss – motorická a somatosenzorická kôra, Pf – prefrontálna kôra, TP – temporálna kôra, It – inferotemporálna kôra. Oblasti dohnedá reprezentujú implementačný systém, modré oblasti mediačný systém. Zdroj: Dronkersová, Pinker, Damasio (2000).

## Jazyk

Ako je možné dekodovať zo zvuku „mačka“ obraz mačky v našom mozgu?

Prvým krokom, je spojiť konkrétny zvuk s príslušným slovom. Každé slovo môžeme rozdeliť na hlásky. Podobne ako v rozpoznaní melódie piesne, i v rozpoznaní slova hrá úlohu nielen to, ktoré hlásky sa tam vyskytujú, ale i ich poradie. Preto musia na tejto úrovni v mozgu jestvovať minimálne dva mechanizmy: jeden na rozpoznanie hlások (ako odliším napríklad „a“ od „k“) a jeden na rozpoznanie poradia, v akom nasledujú (ako odliším napríklad „ako“ od „oka“).

Oba tieto mechanizmy jestvujú už v zmyslových a motorických systémoch mozgu. Ako inak by sme mohli rozlíšiť napríklad brechot psa od hluku motora, či pohyb ruky sprava doľava od pohybu zľava doprava.

V našom mozgu, pravdepodobne vo Wernickeho oblasti, tak vzniká databáza zvukov súvisiacich s rečou, podobne ako v primárnej a sekundárnej sluchovej kôre vzniká databáza iných zvukov, ktoré poznáme.

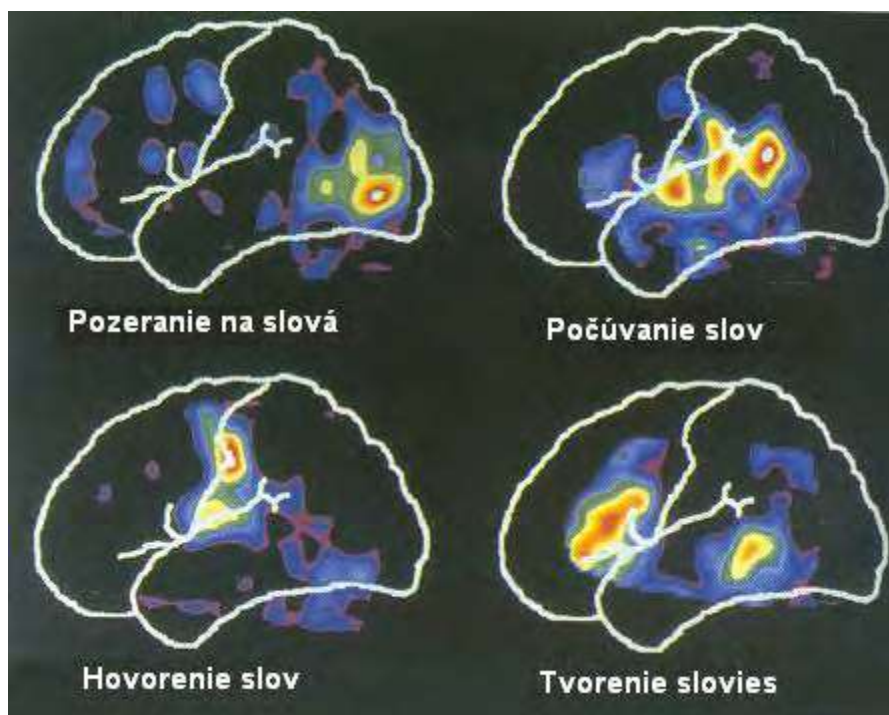
Jednotlivé slová sú poskladané z hlások podobne ako sú v zrakovom systéme predmety poskladané z ich jednoduchších čít. Preto i vo Wernickeho oblasti existuje hierarchia neurónov, ktoré postupne reagujú na jednotlivé hlásky, zhluky hlások a celé slová, možno i vety.

Ako sa potom dekodované slovo premietne do jeho konkrétneho obrazu? Pravdepodobne získavame prepojenie medzi slovom a jeho významom podobným mechanizmom ako sa napríklad učíme súvislosť medzi dvoma súbežne sa vyskytujúcimi objektmi. Hebbovské učenie v mozgu umožňuje vytvárať prepojenia medzi súčasne aktívnymi populáciami neurónov. Ak vidíme, že lopta a futbalová bránka sa vyskytujú súčasne, vytvorí sa medzi týmito dvoma objektmi v mozgu prepojenie. Neskôr už stačí vidieť jedno, aby nám s istou pravdepodobnosťou prišlo na myseľ i druhé. Podobne to môže byť so slovom a jeho významom. Keď dieťa počuje nejaké slovo, zároveň vníma i kontext, v ktorom bolo vyslovené (nemusíme mu nutne ukazovať na predmet, ktorý menujeme). Tak sa postupne vytvára neuronálna väzba medzi slovom a jeho zrakovým (čuchovým, sluchovým, motorickým, či iným) korelátom.

## Reč

Pri produkcii reči je postup opačný. Z myšlienky alebo obrazu, ktorý v mysli máme, potrebujeme vyprodukovať slová a vety. Reč nemusí byť nevyhnutne slovná. Príkladom je posunková reč.

Podobne ako sme schopní robiť rozličné motorické úkony, ktoré vyžadujú kombináciu viacerých čiastkových pohybov, vieme i pomocou hlasiviek produkovať rozličné kombinácie hlások. Každé slovo, ktoré povieme, vyžaduje istý motorický plán – to, v akom poradí a v akej kombinácii budú jednotlivé časti hlasiviek a príslušných štruktúr aktivizované. V príprave týchto motorických plánov hrá úlohu Brocova oblasť a doplnková motorická oblasť.



Obrázok 15.3: PET záznamy aktivity mozgovej kôry pri vnímaní a produkcii slov. Červená farba označuje najvyššiu aktivitu. Zdroj: Bear, Connors, Paradiso (2001).

## Literatúra:

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2001) Neuroscience: exploring the brain.

Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.

Dronkersová, N., Pinker, S., Damasio, A. (2000) Language and the aphasias.

In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M.: Principles of neural science.

McGraw-Hill, New York.

Pulvermuller, F. (2002) The neuroscience of language. Cambridge University Press,

Cambridge.

Rybár, J., Kvasnička, V., Farkaš, I. (Eds.) (2005) Jazyk a kognícia. Kalligram, Bratislava.

Squire, L. R. a kol. (Eds.) (2003) Fundamental neuroscience. Academic Press, Londýn.



## Kapitola 16: Myslenie

Myslenie je veľmi široký pojem. Jednoduchým myslením je napríklad rozpoznanie nejakého predmetu. K asociačnému mysleniu dôjde napríklad, keď mi pri zvuku piesne príde na myseľ situácia, v ktorej som pieseň prvýkrát počul. Iným príkladom myslenia je porovnávanie – ktoré jablko je väčšie? Zložitejším myslením je odhadovanie pravdepodobností – je to šuchnutie len závan vetra, alebo sa blíži nepriateľ? Klasickým príkladom je generalizácia – keď som nevládal vyjsť na Lomnický štít, nebudem asi vedieť vyšliapať ani na Gerlachovský.

Myslenie nie je oddelené od ostatných procesov. Ťažko si je predstaviť myslenie bez vnímania či pamäti – o čom by sme potom rozmýšľali? Myslenie je často vedené motiváciou – chcem niečo dosiahnuť a musím nájsť spôsob ako. Závisí od učenia a od spätnej väzby, ktorú nám prostredie dáva na naše správanie.

I keď ešte nie sme schopní popísať na neuronálnej úrovni zložitejšie formy myslenia, podarilo sa nám už získať vhl'ad do niektorých jednoduchších procesov. Je možné, že na týchto jednoduchých mechanizmoch budú založené i tie komplexnejšie.

### Rozhodovanie

Rozhodovanie môže byť rozlične zložené. Neurovedcom sa podarilo identifikovať mechanizmus jednoduchého rozhodovania na úrovni jednotlivých neurónov. Opice mali sledovať pohyb bodiek na obrazovke. Tým smerom, ktorým sa pohybovala väčšina bodiek, mali uprieť svoj pohľad. Ak to urobili správne, dostali odmenu. Okrem neurónov zrakovej

kôry a motorických neurónov ovládajúcich pohyby očí, boli v tejto úlohe aktívne neuróny v laterálnej intraparietálnej kôre (LIP), ktorá je na pomedzí zrakovej oblasti a oblasti kontrolujúcej pohyby očí. Vybrané neuróny v tejto oblasti boli aktívnejšie, keď bolo rozhodovanie ľahšie, a menej aktívne, keď nebolo také jednoznačné. Podľa aktivity týchto neurónov bolo možné predpovedať, kam opica svoje oči zameria.

Rozhodovanie v tomto prípade znamená porovnať aktivitu neurónov zo zrakových oblastí, ktoré reprezentujú pohyb doprava a pohyb doľava. Podľa toho, ktorý signál je silnejší, tým smerom sa vydá signál na pohyb očí. Takýto mechanizmus nie je zložitý. Otázkou zostáva, ako sa spomínané neuróny prepojili do presne takej siete, ktorá tento proces vykonáva. Čo ak by sme chceli od opice, aby otočila oči opačným smerom ako ide väčšina bodiek? Hypotézou je, že takýchto rozhodovacích neurónov, ktoré integrujú informáciu z jednej časti mozgu a na základe jej výsledku volia zaslanie signálu do inej časti mozgu, je v mozgu veľa. Avšak ich konkrétna funkcia, ich vstupy a výstupy budú asi poprepájané procesom učenia. I spomínaným opiciam trvalo istý čas, kým sa naučili takto rozhodovať.

## **Mentálna predstavivosť**

Pre myslenie je dôležitá mentálna predstavivosť. Loptu môžeme vidieť, no vieme si ju i predstaviť so zatvorenými očami. Pri predstavách sú aktívne podobné (niektoré tie isté, no niektoré odlišné) oblasti mozgu ako pri vnímaní predmetu. Napríklad, ak si predstavujeme to, ako cvičíme, aktivizujú sa príslušné oblasti motorickej kôry a do malej miery dokonca i svaly. Pri vyšších zrakových oblastiach sa s poškodením centier vnímajúcich farbu stráca i schopnosť predstáv vo farbe. Nejde tu však iba o sekundárne, ale i o primárne senzorické oblasti. Napríklad pri predstavovaní si písmen rozličnej veľkosti je aktivizovaná stále iná časť primárnej zrakovej oblasti.

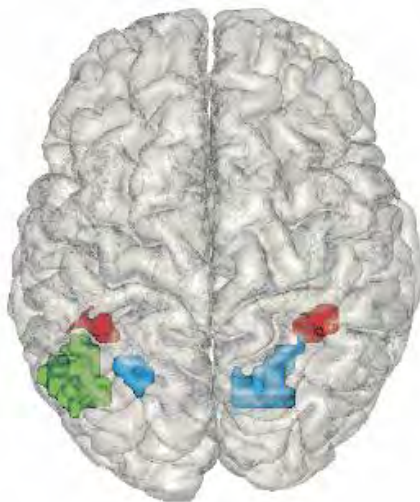
Rozličné štúdie naznačujú, že pri bohatších a živších predstavách sú viac aktivizované i primárne oblasti. Ak máme len nejasnú predstavu, môžu na ňu stačiť iba sekundárne, respektíve asociačné oblasti. Z toho by vyplývalo, že pri predstavách sa aktivácia neurónov šíri z vyšších oblastí do nižších. Zároveň to naznačuje, že informácie v mozgu môžu byť uložené v akýchsi vrstvách. Podobne ako na obraze, každá vrstva môže existovať relatívne samostatne, no spolu dodávajú obrazu skutočnú kvalitu.

Mentálne koncepty (pojmy, predstavy), s ktorými myslenie pracuje, už musia byť v mozgu do určitej miery vytvorené. Stále rozmyšľame o niečom. Bez konceptov by nebolo myslenia. Vo vyšších zrakových oblastiach boli identifikované skupiny neurónov reprezentujúce kategórie objektov. Iné centrum je aktívne, keď si predstavujeme stoličky, iné keď tváre. Ak si predstavíme stoličko-tvár, budú pravdepodobne aktívne obe centrá. Ak si budeme stoličko-tváre predstavovať dostatočne dlho, respektíve sa s nimi z akýchkoľvek záhadných dôvodov budeme stretávať v reálnom živote, vytvorí sa v mozgu pravdepodobne nové centrum reprezentujúce stoličko-tváre.

Myslenie v obrazoch má odlišné umiestnenie v mozgovej kôre ako myslenie v jazyku. Podkladom k tejto hypotéze sú údaje získané pri poškodeniach vizuálnej predstavivosti a verbálneho myslenia. Poškodenie jedného nevyplýva na výkonnosť druhého.

## Základy matematických schopností

V posteriornej multimodálnej asociačnej oblasti boli identifikované neuróny reagujúce na počet vizuálnych objektov. Správajú sa podobne ako neuróny sledujúce vizuálnu orientáciu objektu. Neurón citlivý na počet tri reaguje do istej miery aj na dva a štyri, ešte menej na jedna a päť.



Obrázok 16.1: Oblasti mozgovej kôry, v ktorých boli identifikované neuróny citlivé na počet.  
Zdroj: Piazzaová, Dehaene (2004).

Podobne ako sa z rozličných črt predmetov poskladá v našej myšli celistvý obraz, tak i celistvé činnosti, ako je počítanie, sú poskladané z rozličných čiastkových činností. Jednoduchý príklad, koľko je dva a dva, vyžaduje niekoľko druhov mentálnych aktivít – rozpoznanie čísel, koncept čísla, mentálnu manipuláciu s objektmi, a ďalšie.

## **Literatúra:**

- Farah, M. J. (2003) The neural basis of mental imagery. In: Baars, B. J. a kol. (Eds.) Essential sources in the scientific study of consciousness. MIT Press, Cambridge.
- Ganis, G. a kol. (2004) The Brain's mind's images: The cognitive neuroscience of mental imagery. In: Gazzaniga, M. S. (Ed.) The cognitive neurosciences III. MIT Press, Cambridge.
- Kast, B. (2001) Decisions, decisions .... Nature, 411, s. 126-128.
- Piazzaová, M., Dehaene, S. (2004) From number neurons to mental arithmetics: The cognitive neuroscience of number sense. In: Gazzaniga, M. S. (Ed.) The cognitive neurosciences III. MIT Press, Cambridge.
- Rybár, J., Beňušková, L., Kvasnička, V. (Eds.) (2002) Kognitívne vedy. Kalligram, Bratislava.

## Kapitola 17: Osobnosť

Z psychológie vieme, že osobnosť človeka ako dispozícia správať sa istým spôsobom je do istej miery vrodená a do istej miery ovplyvnená prostredím. Neurofyziologický základ osobnosti je tvorený pravdepodobne kombináciou všeobecných charakteristík ľudského mozgu (akými sú dráždivosť neurónov, pomer inhibičných a excitačných neurónov, pomer aktivity hemisfér) a fungovaním niektorých, najmä asociačných, mozgových oblastí. Presnejšie je však hovoriť o neurofyziologickom základe jednotlivých osobnostných črt, a nie o osobnosti ako celku.

Z Pavlovovej typológie osobnosti vieme, že dráždivosť nervovej sústavy je dôležitým ukazovateľom súvisiacim s osobnostnými črtami jedinca. Dráždivosť v neurofyziologickej terminológii je určovaná najmä hladinami neurotransmitterov a neuromodulátorov v jednotlivých oblastiach mozgu, množstvom neurotransmitterových receptorov na synapsiách, či elektrickými vlastnosťami neurónov.

Nie je ešte vytvorená jednotná neurofyziologická teória osobnosti. Preto spomenieme čiastkové zistenia, ktoré boli v tejto oblasti urobené.

Cloninger (podľa Sugiura a kol.) definoval tri osobnostné črty a dal ich do súvislosti s priemernou hladinou niektorých neurotransmitterov v mozgu.

„Vyhľadávanie novosti“ koreluje s nízkou bazálnou dopamínernou (produkujúcou dopamín) aktivitou.

„Vyhýbanie sa nebezpečenstvu“ koreluje s vysokou serotonínernou aktivitou.

„Závislosť na odmene“ koreluje s nízkou bazálnou noradrenalínernou aktivitou.

Sugiura a kol. sledovali, s aktivitou ktorých oblastí mozgu korelujú jednotlivé osobnostné črty. Zistili, že hlavné rozdiely boli v paralimbických oblastiach a prednej cingulárnej kôre. Zároveň sa u ľudí s rozličnými výsledkami v osobnostných testoch rozlične aktivizovali oblasti frontálnej, temporálnej a čiastočne parietálnej kôry.

V inej štúdií zisťovali rozdiely medzi extrovertmi a introvertmi. Rozdiely boli znova najmä v podkôrových centrách. V týchto oblastiach je vysoká koncentrácia dopamínových terminálov, čo naznačuje súvis prenášača s touto osobnostnou črtou.

Iný pohľad na osobnosť dáva štúdiá Canliho a kol. Zistili, že extrovertnosť koreluje s reaktivitou mozgu na emocionálne pozitívne stimuly. Neuroticizmus koreloval s reaktivitou na emocionálne negatívne stimuly. Tieto rozdiely boli zistené v oblasti frontálnej a temporálnej kôry a v podkôrových centrách ako amygdala, kaudátum a putamen.

Anxieta ako osobnostná črta koreluje s dráždivosťou motorickej kôry a pravdepodobne i kôry celkovo. Dôležitú úlohu tam hrá znížená hladina GABA transmittera. Dôsledkom vyššej dráždivosti môže byť narušená funkcia ovládacích okruhov medzi frontálnou kôrou, bazálnymi gangliami a talamom.

Ďalší spôsob nazerania na osobnosť ponúka štúdium porúch osobnosti. Z tohto pohľadu sa na osobnosť pozeráme skôr ako na schopnosť mozgu koordinovať kogníciu a emócie, plánovať a konať vôľovo.

Štúdiom porúch osobnosti bola identifikovaná dôležitá úloha prefrontálnej kôry v udržiavaní normálnej osobnosti. Pri poruche orbitofrontálnej oblasti frontálneho laloka často dochádza k orbitofrontálnemu syndrómu, ktorý je charakterizovaný znížením emocionálnej kontroly, disinhibiíciou a impulzívnosťou. Pri poruche dorzolaterálnej časti frontálneho laloka, respektíve anteriórnej časti cingulárnej kôry, dochádza naopak k apatii, neschopnosti samostatne iniciovať správanie a neschopnosti plánovania.

Pri poruchách osobnosti spojených s narušenou emocionálnou reguláciou je porušená koordinácia prefrontálnej kôry s anteriórnou cingulárnou kôrou. K porušeniu koordinácie dochádza najmä znížením hladiny serotonínu v synaptickom prenose medzi týmito štruktúrami.

## **Literatúra:**

Canli, T. a kol. (2001) An fMRI Study of Personality Influences on Brain Reactivity to Emotional Stimuli. *Behavioral neuroscience*, 15, 1, s. 33-42.

Fischer, H. a kol. (1997) Extraversion, neuroticism and brain function: A PET study of personality. *Person. individ. diff.* 23, 2, s. 345-352.

Sugiura, M. a kol. (2000) Correlation between human personality and neural activity in cerebral cortex. *Neuroimage*, 11, 5.

Wassermann, E. M. a kol. (2001) Motor cortex excitability correlates with an anxiety-related personality trait. *Biological Psychiatry*, 50, s. 377-382.

## Kapitola 18: Sebaobraz

Sebaobraz je zložitý konštrukt, ktorý zahŕňa všetky naše zmyslové modalities. V mozgu nie je jedno centrum reprezentujúce seba. Podobne ako súčasťou nášho ja sú naše spomienky rozličných modalít, naše pocity a myšlienky, tak je i neuronálny základ sebaobrazu rozptýlený po celom mozgu. Experimentálne bolo potvrdené, že pri izolácii oboch hemisfér existuje v každej z nich vedomie seba.

Niektoré časti mozgu však pri vzniku a udržiavaní obrazu seba hrajú dôležitejšiu úlohu ako iné. Pri vzniku sebaobrazu hrajú úlohu oblasti somatickej percepčnej kôry a ich prepojenie s motorickou kôrou. Pre fungovanie tela v prostredí sú dôležité mentálne modely seba v priestore. Pre udržiavanie koherencie sebaobrazu je dôležitá funkcia prefrontálnej asociačnej kôry.

### Zložky sebaobrazu

Prejavom existencie sebaobrazu môže byť prinajmenšom niekoľko rozličných vecí:

- Pocit vlastníctva činností a potrieb. Robím pohyb z vlastnej vôle. Niečo chcem.
- Pocit identity oddelenej od vonkajšieho sveta. To, že ja som ja.
- Pocit stálosti ja v čase. Mám svoju minulosť, prítomnosť i predstavy o budúcnosti.
- Pocit vlastného tela. Toto telo, to som ja.
- Sebarozpoznanie. Keď vidím svoj obraz, viem, že som to ja, a nie niekto iný (niečo iné).
- Autobiografická pamäť. Spomienky, ktoré som zažil. Fakty, ktoré ma charakterizujú.



Zatiaľ čo prvá charakteristika hovorí o ja ako aktívnom subjekte, u ostatných je ja skôr pasívnym objektom.

Každá z týchto charakteristík má pravdepodobne odlišnú neurofyziologickú reprezentáciu, nie všetky sú zatiaľ preskúmané.

*Pocit vlastného tela* je reprezentovaný hlavne v somatosenzorickej kôre. Tam nielen prichádzajú aktuálne informácie z nášho tela, ale v asociačnej somatosenzorickej kôre sú pravdepodobne uložené i telesné spomienky a vzťah nášho tela k okolitému priestoru.

Dramatickým klinickým prípadom, keď pravdepodobne dochádza k poškodeniu somatosenzorickej kôry, je asomatognózia – neschopnosť rozpoznať svoje telo. Ľudia z touto poruchou (najčastejšie po mozgovej mŕtvici a poškodení pravej hemisféry, najmä parietálneho laloka) vnímajú kontralaterálnu (opačnú k hemisfére) časť svojho tela ako cudziu. Pri poškodení pravej hemisféry napríklad ignorujú svoju ľavú ruku. I keď sú pritlačení k tomu, priznať, že ju vidia, nemajú pocit, že patrí im. Niet divu, nakoľko jej celá reprezentácia v kôre je zničená. Je to, akoby nám niekto pripevnil k telu tretiu ruku a snažil sa nás presvedčiť, že nám patrí. Naopak, ľudia, u ktorých je somatosenzorická kôra nepoškodená, no ruka im kvôli genetickej chybe nenarástla, alebo ruku stratili, si vedia predstaviť, že ruku majú, vedia s ňou vykonávať v mysli pohyby (u niektorých to vedie k opačnému extrému, k pocitu fantómovej končatiny – i po amputácii sú presvedčení, že ruku majú).

### Pre zaujímavosť

Asomatognóziu je možné umelo navodiť WADA testom. Vpichnutím anestetika do príslušnej krčnej tepny sa dočasne zablokuje jedna z hemisfér. Väčšina pokusných osôb po anestézii pravej hemisféry nerozoznávala svoju ľavú ruku ako svoju vlastnú.

Dočasnú poruchu vnímania časti vlastného tela si môžete navodiť aj sami. Sadnite si dvaja vedľa seba. Jeden z dvojice je experimentátor, druhý je pokusná osoba. Experimentátor vezme do svojej ruky ruku pokusného subjektu. Pokusná osoba zavrie oči a vystrie na ruke ukazováč, ruku má uvoľnenú. Experimentátor začne bruškom ukazováka pokusnej osoby relatívne rýchlo klopkáť po svojom nose. Zároveň bruškom ukazováka svojej voľnej ruky presne v tom istom rytme klopká po nose pokusnej osoby. Po niekoľkých minútach bude mať pokusná osoba pocit, akoby jej „odišiel“ nos.

*Autobiografická pamäť* je formou explicitnej pamäti. Vieme, ako sa voláme, ako sme sa učili plávať (tí, ktorí plávať vedieť), čo by sme chceli v živote robiť. Autobiografická pamäť je uložená najmä v asociačnej kôre frontálnych lalokov a v posteriórnej asociačnej oblasti. Konkrétne najmä v póle pravého frontálneho laloka, anteriórnej časti temporálneho laloka a priliehajúcej časti cingulárnej kôry.

Z uvedeného vyplýva, že v mnohých funkciách spojených so sebaobrazom hrá dôležitú úlohu pravá prefrontálna kôra. Tá však určite nie je jediným komponentom sebaobrazu, keďže vedomie seba majú i ľudia po frontálnej lobotómii. Dôvodom, prečo sú frontálne laloky aktívne pri funkciách spojených so sebaobrazom, je i to, že sú aktívne pri veľkom počte mentálnych funkcií. Zbiehajú sa do nich totiž informácie z veľkej časti kôry a podkôrových oblastí.

## **Ja a vonkajší svet**

Základným problémom pri vytvorení si reprezentácie seba je odlíšiť, čo som ja a čo je ostatný svet. Kľúčovým mechanizmom je pravdepodobne spätná väzba, ktorú dostávame prostredníctvom receptorov pohybu svalov, bolesti a dotyku. Iný vnem máme, keď palica dopadne na zem, iný keď dopadne na našu nohu.

Mechanizmus tohto odlíšenia možno vysvetliť nasledovnou hypotézou. Pri každom motorickom príkaze sa vytvorí jeho takzvaná eferentná kópia, pomocou ktorej sa v mozgu vyhodnotí predpokladaný dopad daného pohybu na naše zmysly. Následne sa porovná tento predpoklad so skutočnou informáciou, ktorá do zmyslov príde. Tak možno odlíšiť, či bol daný efekt spôsobený mnou vykonaným pohybom, alebo externým vplyvom.

Možným vodidlom k tomu ako mozog zistí zdroj, z ktorého informácia prichádza, je výskum, ktorý robili Blakemoreová a Frith. Zistili, že ak človeka štekli na dlani, aktivizovala sa príslušná oblasť somatosenzorickej kôry. Ak sa však človek šteklil na dlani sám, príslušná časť somatosenzorickej kôry bola, paradoxne, inhibovaná. V mozgu teda tento rozdiel reprezentovaný je, zatiaľ však nepoznáme mechanizmus ako k tomu dochádza.

## Niektoré poruchy sebaobrazu

Pomôckou k pochopeniu vzniku a fungovaniu sebaobrazu sú jeho poruchy. Pri *poruche viacnásobnej osobnosti* vzniká súbor spomienok, myšlienok, emócií, ktoré sú relatívne striktné oddelené od ostatných. Toto oddelenie vzniká najmä pri traumách, silných emocionálnych zážitkoch. Takéto spomienky sú kódované odlišne ako ostatné, nemajú veľkú tendenciu sa časom rozpadáť. Pri neuromagnetických štúdiách, keď pacienti opätovne v mysli prežívali traumatické udalosti, sa zaznamenala zvýšená aktivita najmä v pravej hemisfére, v oblastiach zapojených do emocionálneho spracovania. Znížená aktivita bola v Brocovej oblasti.

*Depersonalizácia* je porucha, keď má človek pocit, akoby bol odtrhnutý od seba. Nemá žiadne pocity, niektorí postihnutí svoj stav popisujú, akoby boli mŕtvi, no stále schopní jasne myslieť. Jej podstata nie je jasná, možno uvažovať o porušení komunikácie medzi cingulárnou kôrou zodpovednou za prežívanie emócií a prefrontálnou kôrou, v ktorej je integrovaných mnoho informácií o sebaobrazu.

Vedomie seba je poškodené aj pri *schizofrénii* (netreba si ju mýliť s viacnásobnou poruchou osobnosti). Momentálne populárna hypotéza mechanizmu schizofrénie je, že dochádza k desynchronizácii aktivity frontálnej, temporálnej a cingulárnej kôry a podkôrových oblastí. To podporuje hypotézu, že náš sebaobraz je distribuovaný po viacerých oblastiach kôry. Keď komunikácia medzi nimi pokrívá, odrazí sa to i na reprezentácii nášho sebaobrazu.

Zjednodušene možno povedať, že sebaobraz je komplexom vnemov, motorických a myšlienkových stratégií týkajúcich sa našej osoby, ktoré sú vzájomne poprepájané po celom mozgu. Tvoria tak pamäťový komplex relatívne odlišný od ostatných znalostí, ktoré máme o svete.

## Literatúra:

Blakemoreová, S., Frith, Ch. (2003) Self-awareness and action. *Current opinion in neurobiology*, 13, s. 219-224.

Feinberg, T. E. (2001) *Altered egos. How the brain creates the self.* Oxford University Press, Oxford.

Frith, Ch. a kol. (1998) Psychosis and the experience of self. *Brain systems underlying self-monitoring. Annals of the New York Academy of Sciences*, 15, 843, s. 170-8.

Kircher, T., David, A. (2003) *The self in neuroscience and psychiatry.* Cambridge University Press, Cambridge.

## Kapitola 19: Vedomie

Pojem vedomie má v neurofyziológii viacero významov. Vedomím sa označuje bdely stav, pri udržiavaní ktorého je kľúčová retikulárna formácia. Pod vedomím sa tiež rozumejú kontrolné a plánovacie funkcie, za ktoré je zodpovedná hlavne prefrontálna kôra. Vedomie seba súvisí s konceptom sebaobrazu, o ktorom sme hovorili.

V tejto kapitole sa budeme venovať vedomiu ako vedomému zážitku. Zažíva ho každý z nás (keď napríklad vidí slnko, počuje melódiu či ovonia kvet), no jeho neurofyziologická podstata je stále predmetom dohadov. Je rozdiel mať nejakú informáciu podvedome (napríklad že je predou mnou nejaká prekážka a ja sa jej vyhnem) a byť si tejto informácie vedomý (uvedomovať si tvar, farbu prekážky). Z toho vidno, že vedomie v sebe nesie dodatočnú informáciu. Otázkou (a jednou z posledných veľkých záhad, pred ktorými dnes veda stojí) je, akými mechanizmami vedomie vzniká.

### Umiestnenie vedomia v mozgu

Kde v mozgu vedomie sídli? Z experimentov so zrakovým vedomím vyplýva, že primárna zrková kôra sa bezprostredne nepodieľa na vzniku vedomého vnemu. Vedomý vnem vzniká až vo vyšších zrakových oblastiach (V4, V5). Podobná situácia bude pravdepodobne i pri iných modalitách.

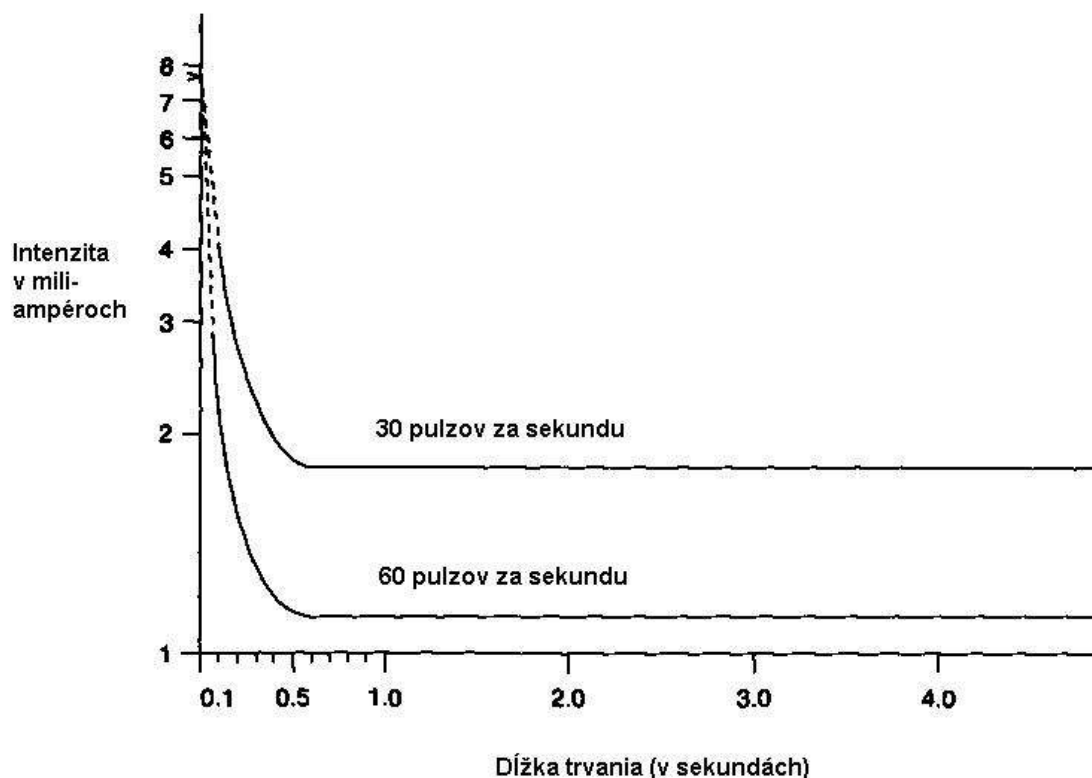
Pri pozorovaní štruktúr, ktoré sú zodpovedné za implicitnú (nevedomú) a explicitnú (vedomú) pamäť, je ďalšou indíciou pre lokalizáciu vedomia to, že vzniká v kôrových a nie v podkôrových štruktúrach.

Pri implicitnej pamäti sa podnet môže zapamätať aj bez toho, aby bol niekedy vo vedomí. Pri explicitnej pamäti si je však ťažko predstaviť, že si pamätáme niečo, čo sme si

predtým neuvedomili. Preto niektorí vedci stotožňujú vedomie s krátkodobou pamäťou respektíve s pozornosťou.

## Teória vzniku vedomia

Vedomie nie je stavom, ktorý buď je alebo nie je, ide skôr o kontinuum. Náš vedomý vnem môže byť slabší alebo silnejší. Z toho vychádza teória Susan Greenfieldovej, ktorá hovorí o tom, že zážitok vedomia vzniká vtedy, keď je súčasne aktívne hraničné množstvo neurónov, ktoré ho reprezentujú. Benjamin Libet robil experimenty, z ktorých vyplýva, že podnet musí mať buď dostatočnú intenzitu alebo dostatočne dlhé trvanie, aby prenikol do vedomia.



Obrázok 19.1: Vzájomný pomer intenzity a trvania stimulu potrebný na to, aby stimul prenikol do vedomia. Zdroj: Libet (1998).

Iným pohľadom na problém je teória, ktorá hovorí, že vedomie vzniká vtedy, keď aktivita neurónov osciluje na úrovni približne 40Hz. Synchronia v čase je i hypotetickým mechanizmom pre binding (viazanie, prepájanie viacerých charakteristík podnetu do jednoliateho celku).

Ďalší názor hovorí, že vedomie koreluje s komplexnosťou výpočtov, ktoré neuróny robia. Čím zložitejšiu informáciu spracovávajú, tým viac sme si jej vedomí. Napríklad, ak sa učím písať, cítim každý sval v ruke, sústreďujem sa na každý pohyb. Neskôr, keď sa tieto pohyby zautomatizujú, písanie prechádza z vedomia do nevedomia (v kapitole o motorickom systéme sme spomenuli, že sa táto zručnosť presúva z vyšších do nižších motorických oblastí, čo je v súlade s faktami o existencii vedomia iba vo vyšších zrakových oblastiach, o ktorých sme hovorili).

Tieto teórie pomáhajú vysvetliť, čo sa v mozgu musí udiť, aby sme si boli niečoho vedomí. Stále však chýba odpoveď na otázku, ako vzniká ten jedinečný vnem niečoho. Veď teoreticky by sme mohli existovať bez vedomého zážitku. Stačila by nám čistá informácia. Napríklad nemusím mať vnem červenej farby na to, aby som vedel, že niečo je červené.

## **Vedomie v rozličných modalitách**

Je úžasné, aké rozličné vedomé zážitky nám prináša každý náš zmysel. Pocit zrakového vnemu je úplne odlišný od chuťového či sluchového. Čím je spôsobené, že sú tieto modalitty tak odlišné? Odpoveď nie je známa, príčina môže byť v odlišnom kódovaní informácií z rozličných zmyslov, či v rozdielnej štruktúre jednotlivých zmyslových kôr. Neurovedci urobili fascinujúci experiment, keď mladým fretkám prerezali sluchový vstup do talamu a namiesto toho tam viedli informáciu zo zrakového nervu. Zistili, že pod vplyvom týchto informácií získala sluchová kôra štruktúru veľmi podobnú zrakovej. Fretky boli schopné vidieť (i keď menej kvalitne) v sluchovej kôre.

Výsledky tohto experimentu teoreticky znamenajú, že ak by sme na vstup do niektorej sensorickej kôry pripojili napríklad snímač magnetického poľa, mohli by sme získať úplne iný zmysel s úplne iným vedomým zážitkom.

## Slobodná vôľa

Neurovedecké skúmanie dovolilo nazrieť podrobnejšie i na fenomén slobodnej vôle. Benjamin Libet vo svojom experimente povedal účastníkom, aby pohlili prstom na ruku vtedy, kedy chcú. Zároveň v mozgu meral takzvaný prípravný potenciál (readiness potential), čo je zvýšenie elektrickej aktivity v časti mozgu, ktoré predchádza motorickému pohybu. Zistil, že tento potenciál vzniká v priemere o 500 milisekúnd *skôr* ako sa osoby rozhodli, že pohyb vykonajú (samotné vykonanie pohybu prišlo prirodzene ešte neskôr). Na univerzite v Berlíne na základe tohto experimentu zostavili prístroj (Berlin brain-computer interface), ktorý „uhádne“ vaše rozhodnutie stlačiť pravú alebo ľavú klávesu ešte *skôr*, ako sa rozhodnete to urobiť.

Libetov experiment naznačuje, že pocit našej slobodnej vôle je len ilúziou. Naše uvedomené vôľové konanie je iba akýmsi pozorovateľom procesov, ktoré sa v našom mozgu dejú. Útechou pre nás môže byť, že je to stále náš mozog, ktorý tieto rozhodnutia vykonáva. Nie sú však prejavom abstraktného konceptu slobodnej vôle, ale výsledkom kognitívnych procesov, ktoré v mozgu prebiehajú.

## Literatúra:

- Gáliková, S. (2001) Úvod do filozofie mysle: Prípady psychofyzického problému. Honner, Martin.
- Greenfieldová, S. A. (1997) How might the brain generate consciousness? *Communication and Cognition*, 30, s. 285-300.
- Libet, B. (1998) Neural processes in the production of conscious experience. In: Velmans, M. (Ed.) *The Science of Consciousness*, Routledge, Londýn.
- Melchner, L., Pallas, S. L., Sur, M. (2000) Visual Behaviour mediated by retinal projections directed to the auditory pathway. *Nature*, 404, s. 871-875.
- Ramachandran, V. S., Hirstein, W. (1997) Three laws of qualia. *Journal of Consciousness Studies*, 4, 5-6, s. 429-458.
- Rees, G., Kreiman, G., Koch, C. (2002) Neural correlates of consciousness in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, s. 261-270.



## Záver

Ľudský mozog je popri samotnej ľudskej spoločnosti najzložitejším systémom, ktorý dnes poznáme. Aby sme sa o ňom dozvedeli viac, je potrebné spojiť metódy a kapacity viacerých odborov. Pred vedcami zaoberajúcimi sa touto problematikou stoja v najbližšom čase mnohé výzvy.

V oblasti zobrazovacích metód sa budú vyvíjať prístroje s vyšším časovým a priestorovým rozlíšením. Aby sme mohli sledovať aktivitu jednotlivých neurónov v priestore a čase, v ktorom prebieha v mozgu, bude sa musieť kapacita zobrazovacích prístrojov niekoľkonásobne zväčšiť. Nie je to nereálne, už dnes sa robia takzvané mikronahrávky zvieracích mozgov, ktoré dosahujú výrazne lepšie rozlíšenie ako prístroje, ktoré je možné používať u ľudí. Zároveň sa zdokonaľujú štatistické metódy spracovania získaných údajov, ktoré ďalej zvyšujú kapacitu používaných prístrojov.

V oblasti mapovania prepojení mozgu sa budú vytvárať stále podrobnejšie mapy jednotlivých mozgových oblastí. Jednak klasickými štúdiami na zvieratách, pri zvyšovaní kapacity neinvazívnych metód i na ľuďoch, jednak mapovaním konkrétnych neurónových okruhov pomocou skúmania expresie génov kódujúcich mozog.

V oblasti počítačových modelov fungovania mozgu bude vývoj závisieť od neurobiologických poznatkov získaných vyššie uvedenými metódami. S rýchlejšim hardvérom a stále realistickejšími modelmi bude postupne možné simulovať zložitejšie aktivity ľudského mozgu.

V oblasti výskumu vedomia je budúcnosť otvorená. Budú potrebné nové neurofyziologické údaje a takisto presnejšia špecifikácia toho, čo vlastne pod vedomím rozumieme.

Na Slovensku je niekoľko ľudí a pracovísk zaoberajúcich sa fungovaním mozgu z rozličných pohľadov. Sú to najmä pracovníci ústavov Slovenskej akadémie vied a členovia

fakúlt slovenských univerzít. Nemožno spomenúť všetkých, uvádzame aspoň niektorých z nich. Množstvo práce v propagácii a rozvoji kognitívnych vied (medziodborové skúmanie procesov ako vnímanie, pamäť, myslenie) robia Vladimír Kvasnička, Jiří Pospíchal (Katedra matematiky Chemickotechnologickej fakulty Slovenskej technickej univerzity), Ľubica Beňušková a Ján Rybár (Katedra aplikovanej informatiky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského). Problematike vedomia sa venuje Silvia Gáliková (Filozofický ústav SAV). Norbert Kopčo a Rudolf Andoga (Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity) sa zaoberajú neurovedou a špeciálne výpočtovou neurovedou. Neuropsychológiou sa zaoberá Katarína Jariabková (Kabinet výskumu sociálnej a biologickej komunikácie SAV) a Marek Dobeš (Spoločenskovedný ústav SAV). Štúdiom vyšších psychofyziologických mechanizmov sa zaoberá Fedor Jagla (Ústav normálnej a patologickej fyziológie SAV). Akreditačná komisia pri Ministerstve školstva vymedzila odbor Neurovedy, ktorého garantom je Michal Novák (Neuroimunologický ústav SAV). Ďalšími pracoviskami sú Lekárska fakulta UPJŠ v Košiciach, Lekárske fakulty Univerzity Komenského v Bratislave a v Martine, Neurobiologický ústav SAV v Košiciach či Ústav informatiky a Ústav experimentálnej psychológie SAV v Bratislave.

Štúdium štruktúry a aktivity mozgu umožnilo pokroky nielen vo vede, ale i v medicínskej praxi. Poznanie neurotransmitterových mechanizmov umožnilo vyvinúť účinné psychofarmaká. Získavame nový vhľad do podstaty psychických porúch a drogových závislostí, čo nám umožňuje lepšiu prevenciu a liečbu. Vyvíjajú sa rehabilitačné procedúry, ktoré kompenzujú deficity u ľudí s mozgovým poškodením. Vedecký výskum v tejto oblasti tak prináša okrem nového poznania i množstvo aplikácií, ktoré vplývajú na kvalitu ľudského života.