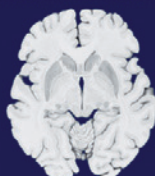
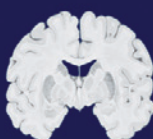
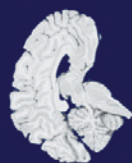


FRANTIŠEK KOUKOLÍK

LIDSKÝ MOZEK

TŘETÍ, PŘEPRACOVANÉ
A DOPLNĚNÉ VYDÁNÍ



**Funkční systémy
Norma a poruchy**

GALÉN

Upozornění

Všechna práva vyhrazena.

Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele.

Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Galén

Na Bělidle 34, 150 00 Praha 5

www.galen.cz

© Galén, 2012

FRANTIŠEK KOUKOLÍK

LIDSKÝ MOZEK

**TŘETÍ, PŘEPRACOVANÉ
A DOPLNĚNÉ VYDÁNÍ**

GALÉN

František Koukolík

LIDSKÝ MOZEK

Třetí, přepracované a doplněné vydání (první elektronické)

Vydalo nakladatelství Galén, Na Bělidle 34, 150 00 Praha 5

Editor nakladatelství PhDr. Lubomír Houdek

Šéfredaktorka PhDr. Soňa Dernerová

Odpovědná redaktorka MUDr. Dina Válková

Dokumentace z archivu autora a nakladatelství Galén

Sazba Petra Veverková, Galén

G 301036

www.galen.cz

Všechna práva vyhrazena.

Tato publikace ani žádná její část nesmí být reprodukovány, uchovávány v rešeršním systému nebo přenášeny jakýmkoli způsobem (včetně mechanického, elektronického, fotografického či jiného záznamu) bez písemného souhlasu nakladatelství.

© Galén, 2012

ISBN 978-80-7262-861-2 (PDF)

ISBN 978-80-7262-862-9 (PDF pro čtečky)

Obsah

PŘEDMLUVA	11
1. FUNKČNÍ SYSTÉMY LIDSKÉHO MOZKU	13
1.1. Makroskopická architektura mozku	13
»Konektom« - příklad současného studia neuronálních sítí lidského mozku	14
1.2. Mikroskopická architektura mozku	14
1.3. Funkční architektura lidského mozku	17
1.3.1. Úvod	17
Mesulamův model	18
Neurokognitivní sítě velkého rozsahu jsou charakteristickou obětí neurodegenerativních onemocnění	20
1.4. Mozek je zkoumán na řadě úrovní mnoha metodami	21
První úroveň - geny	21
Druhá úroveň - molekuly	24
Třetí úroveň - buněčné orgány	24
Čtvrtá úroveň - mikroobvody	24
Pátá úroveň - jednotlivé části neuronů	24
Šestá úroveň - nervové buňky	26
Sedmá úroveň - jednotlivé oblasti mozku	26
Osmá úroveň - funkční systémy	26
Devátá úroveň - chování	26
2. ZRAKOVÉ POZNÁVÁNÍ	29
2.1. Anatomická a funkční organizace zrakového systému	29
2.1.1. Sítnice a corpus geniculatum laterale	29
2.1.2. Zrakové korové oblasti	32
Posteromediální mapy: V1, V2 a V3	36
Dorzální mapy: V3A, V3B, V6 a IPS-X	37
Laterální mapy: LO-1, LO-2 a hMT (V5)	37
Ventrální mapy: hV4, VO-1, VO-2	38
Integrace s dalšími korovými funkcemi	39
Organizace map zrakového pole	39
Frontální oční pole	42

2.2. Poznávání objektů	42
Doménová specifita	42
Prediktivní ovlivnění zrakové kůry »shora dolů«	44
Transmodální aktivace oblastí FFA a PPA	45
Určení trojrozměrné struktury objektu	45
2.3. Vizuální agnozie předmětů	46
Vizuální aperceptivní agnozie	46
Obtíže s odlišováním aperceptivní a asociativní vizuální agnozie	48
2.4. Navigace	50
Lidská navigační síť	51
Rychlá a přesná interpretace složité zrakové scény	53
Navigace, hipokampus a neuronální plasticita	54
2.5. Topografická dezorientace	55
2.6. Poznávání barev	56
Sítnice	57
Sítnice a corpus geniculatum laterale	57
Primární zraková kůra	58
Zraková korová oblast V2	58
Zraková korová oblast V4	59
Shrnutí	60
2.7. Cerebrální achromatopsie	60
Příznaky cerebrální achromatopsie	61
2.8. Poznávání pohybu	62
Lidská V5	63
2.9. Porucha zrakového rozlišování pohybu (akinetopsie)	64
2.10. Poznávání tváří	66
2.11. Prosopagnozie	69
2.12. Zrakové představy	71
3. SLUCHOVÉ POZNÁVÁNÍ	77
3.1. Funkční anatomie lidského sluchového korového systému	77
Primární sluchová kůra A1, sousedící oblasti a projekce	78
Lokalizace zdroje zvuku a jeho pohybu	81
Mapování proměn frekvence zvukových vln	82
Sluchový systém KDE?, CO? a KDY?	83
Identita zvuku	84
Pohlavní rozdíly	85
Součinnost dalších neuronálních sítí	85
3.2. Centrální sluchové poruchy	86
3.3. Hudba, mozek, hudebníci	86
Hudba jako evoluční adaptace	87
Vztah hudby a jazyka	88
3.3.1. Stavba a funkce mozku hudebníků	91
3.3.2. Amúzie	94
Co se v mozku děje v průběhu představ známých melodií?	96
Citová stránka hudby	97
Rytmus	97

4. TAKTILNÍ POZNÁVÁNÍ	101
4.1. Základní stavba a činnost somatosenzorického systému	101
Primární sensorická kůra S1, asociační sensorická kůra S2	101
Jemný dotyk	104
Taktilní systémy KDE? a CO?	105
Viscerální somatosenzorické informace	105
4.2. Taktilní agnozie	106
4.3. Reorganizace a plasticita somatosenzorické kůry	107
Fantomové pocity	108
Pocit vlastnictví těla	110
4.4. Synestezie	111
Získaná a vývojová synestezie	112
Výklad kongenitální synestezie	113
Výsledky funkčních zobrazovacích metod	113
5. PAMĚŤ	117
5.1. Pracovní paměť	117
Uvedený popis pracovní paměti je zjednodušení	121
Pracovní paměť funkčně vyžívá	122
Činnost pracovní paměti má klíčový význam pro modulování selektivní zrakové pozornosti	123
Model zrakové pracovní paměti	123
5.2. Deklarativní paměť	124
5.2.1. Epizodická paměť	124
Rüdiger Gamm	126
5.2.2. Sémantická paměť	127
Epizodická a sémantická paměť jsou do jisté míry vzájemně nezávislé	127
Sémantická demence	130
Organizace sémantického systému	131
Vybavování dat ze sémantické paměti závisí na jejich stáří	132
5.3. Autobiografická paměť	133
5.4. Amnézie	134
5.4.1. Hipokampální amnézie	134
Porucha epizodické paměti u pacientů s jednostrannou temporální epilepsií	138
Atrofii hipokampu může způsobit dlouhodobě vysoká hladina glukokortikoidů	139
Poruchy paměti při vývoji Alzheimerovy nemoci a hipokampus	140
5.4.2. Diencefalická amnézie	141
5.4.3. Amnézie jako důsledek poškození bazálního telencefala	143
5.4.4. Amnézie při ložiskovém poškození bílé hmoty	144
5.4.5. Tranzitorní globální amnézie	145
5.5. Priming	146
Priming ve výsledcích funkčních zobrazovacích metod	147
5.6. Pavlovovské podmiňování	147
5.7. Psychogenní amnézie a syndrom falešné paměti	149
Otázka existence disociativní (psychogenní) amnézie	150
Činnost mozkové kůry při vybavování iluzorních vzpomínek	153

6. JAZYK	159
6.1. Definice	159
6.2. Fylogeneze	160
Arbibova-Rizzolattiho hypotéza	163
Klinické důkazy vrozeného základu jazyka: gen FOXP2,	
Williamsův syndrom a nikaragujský znakový jazyk	169
Christiansenova-Chaterova hypotéza	171
6.3. Mapa jazyka a řeči v dospělém mozku	172
Jazyková neuronální síť levé hemisféry	173
Fonologické sítě	174
Audiomotorická řečová koordinační síť	175
Obvod fonologické pracovní paměti	176
Architektura sémantického systému	176
Zpracovávání vět	177
Prozódie	181
6.4. Afázie	184
Klasické afázie	184
Neklasické afázie	189
Zkřížená afázie	190
6.5. Čtení a psaní	190
Čtení	190
Psaní	193
Alexie a agrafie	195
Vývojová dyslexie	196
Neuroanatomické změny	196
Součástí vývojové dyslexie je porucha rozlišování	
a manipulace s fonémy	197
Magnocelulární teorie vývojové dyslexie	198
Je vývojová dyslexie »dyschronií«?	199
6.6. Jak zvládneme dva nebo větší počet jazyků?	200
6.7. Jazyk neslyšících	201
6.8. Číselný smysl a dyskalkulie	203
7. HYBNOST A PRAXIE	211
Motorická mapa v primární motorické kůře M1	211
Doplňková a presuplementární motorická oblast	213
Ukázání, úchop a dosahování	213
Čas a pořadí motorické akce	215
Implicitní a explicitní motorické učení	217
7.1. Syndrom odcizené ruky a syndrom nadbytečné končetiny	218
7.2. Bazální ganglia	220
Funkční architektura	220
7.3. Mozeček	224
Mozeček a kognitivní funkce	227
7.4. Praxe a apraxie	229
Klasifikace apraxií	229
Funkční anatomie praxe a apraxií	231
Záměrná a automatická imitace	232
Apraxie při poškození podkorových struktur	233

Znalost užívání předmětů a nástrojů	234
Zkřížená apraxie	236
8. LATERALITA	239
8.1. Evoluce a a genetika mozkové asymetrie	243
Praváci a leváci	244
Genetické vlivy	246
8.2. Funkční specializace hemisfér a syndrom rozštěpeného mozku	247
Základní neurologické mechanismy u diskonektovaných jedinců	249
8.3. Souhrnný pohled	253
9. EMOCE	257
9.1. Homeostatické emoce: emoční pozadí a interocepce	262
Primární aferentní vlákna A- δ a C a Rexedova lamina I šedé hmoty spinální míchy	264
9.2. Stres	268
9.3. Bolest	271
9.3.1. První a druhá bolest. Korové kódování bolesti	274
9.3.2. Bolest a placebo efekt	277
9.4. Základní emoce. Valence a intenzita emocí	278
Disociace intenzity a valence emocí	279
Pozorování výrazu hnusu ve tváři a pocíťování hnusu mají společný neuronální základ	281
Poznávání emocí z výrazu ve tváři a dalších signálů	282
Amygdala se aktivuje jak při negativních, tak při pozitivních emocích	283
Funkční neuroanatomie strachu a úzkosti	285
Individuální rozdíly ve zpracovávání emocí	286
9.5. Emoce a kognitivní funkce	288
Na tvorbě emoční paměti se podílí aktivita amygdaly	288
Zadní cingulární a retrosplenická kůra	291
Pohlavní rozdíly neuronálních základů emočních vzpomínek	296
9.5.1. Hypotéza somatických markerů	298
Iowský herní test	300
9.5.2. Neuronální podklady emoční a sociální inteligence	302
9.5.3. Smích, pláč, humor	303
9.6. Systém odměny a hédonický mozek	306
10. VĚDOMÍ A POZORNOST	317
10.1. Neuronální korelát vědomí	317
10.2. Perzistující a permanentní vegetativní stav	321
Diferenciální diagnostika perzistujícího vegetativního stavu	323
Stav minimálního vědomí	324
10.3. Spánek a některé jeho poruchy	326
Fylogeneze a funkce spánku	329
Narkolepsie	331
10.4. Funkční architektura systému pozornosti	333
Modely zrakové pozornosti	333
Systém pozornosti není jednotný	335

Přední část gyrus cinguli.....	338
Allocentrická pozornost.....	342
Emoce a pozornost.....	343
10.5. Opomíjení neboli neglect	344
Poškození vedoucí k opomíjení	344
Tři složky syndromu opomíjení.....	346
Opomíjení a prostorové souřadnice.....	347
Pravostranná opomíjení.....	347
Pravostranná zadní parietální kůra a udržování zrakové pozornosti v čase.....	348
Extinkce	348
Peripersonální prostor.....	349
11. ŘÍDÍCÍ FUNKCE ČELNÍCH LALOKŮ	353
Pacient Phineas Gage	353
11.1. Čtyři prefrontální funkční systémy	354
Dorzolaterální prefrontální obvod	355
Orbitofrontální a ventromediální subkortikální obvod.....	356
Poškození čelních laloků v dětství.....	359
Mediální prefrontální-subkortikální obvod.....	360
Centrální část mediální frontální kůry monitoruje akce	361
Frontopolární obvod.....	362
Závislost na prostředí	362
11.2. Modely prefrontálních korových funkcí	362
Model kontroly mechanismu pozornosti (Norman a Shallice, 1986).....	366
Konekcionistický model (Burnod et al., 1991)	366
Model časové organizace (Fuster, 1997).....	366
Teorie somatických markerů (Bechara et al., 1997; Damasio 1998)	367
Model založený na činnosti pracovní paměti (Goldman-Rakic, 1998).....	367
Model adaptivního kódování (Duncan, 2001)	367
Teorie řízené aktivace (Miller a Cohen, 2001)	368
Strukturované komplexy událostí (Grafman, 2002)	368
Současné poznání stavby a funkce řídicích systémů.....	369
Rostrokaudální osa čelního laloku.....	376
11.3. Intelligence.....	379
Seznam zkratk.....	387
Rejstřík.....	390

Předmluva

Knížka, kterou otevíráte, je určena zejména lékařům, psychologům a filozofům zajišťujícím se o vývoj kognitivní a afektivní neurovědy. Vznikla z autorových přednášek o vztahu mozku a chování, které běží patnáct let ve stejnojmenném pregraduálním kursu na 3. lékařské fakultě UK v Praze, stejně jako v kursech postgraduálních.

Jejím předchůdcem byla publikace *Lidský mozek* (Funkční systémy. Norma a poruchy), která vyšla v nakladatelství Portál ve dvou vydáních v roce 2000 a 2002. Vědecký vývoj její obsah z valné části překonal.

Knihy popisuje funkční systémy lidského mozku obecně, dále zrakové, sluchové a taktilní poznávání, paměť, jazyk, praxi, lateralitu, emoce, vědomí a pozornost, poslední kapitolou jsou řídící funkce. S ohledem na počet, šíři i hloubku pramenů, z nichž vycházejí jednotlivé kapitoly, byla jejich volba obtížná a při nejlepší vůli je zatížená subjektivně. Snažil jsem se užívat zejména přehledné články ze špičkových světových časopisů, jejichž příkladem jsou *Nature Neuroscience Review*, *Brain*, *Neuron*.

Knihy je náročná, text hutný, četba namáhavá. Věřím však, že se vyplatí pochoopením jedné úrovně stavby a činnosti nejsložitějšího jevu ve známém vesmíru, jímž je náš vlastní mozek – a tím i jedné úrovně nás samotných.

Rozsah knihy neumožnil zabývat se evolučními aspekty ani problematikou tzv. sociálního mozku. Jim se věnovaly autorovy publikace *Lidství* (Galén 2010) a *Sociální mozek* (Karolinum 2006).

František Koukolík

1. Funkční systémy lidského mozku

1.1. Makroskopická architektura mozku

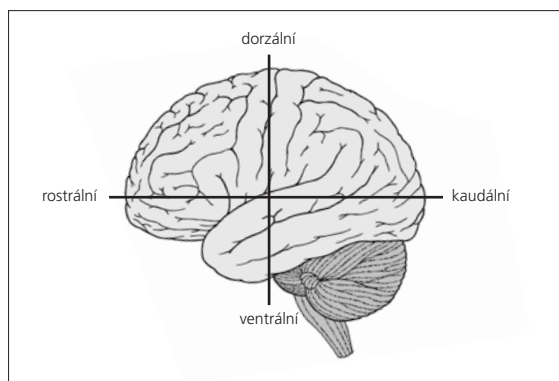
Chceme-li pochopit, co jsou funkční systémy lidského mozku a jejich poruchy, je nutné položit si jednoduchou otázku: co tvoří lidský mozek?

Makroskopická neuroanatomická nomenklatura se totiž, počítáme-li od nejstaršího známého staroegyptského ekvivalentu pojmu mozek, vyvíjí několik tisíciletí. Výsledkem je názvoslovný zmatek, který je pro každého, kdo neprošel pracným studiem neuroanatomie, nezládnutelný; pro toho, kdo jím prošel, je zvládnutelný s obtížemi.

V této knize se proto užívá nejjednodušší možné obecně přijaté pojmosloví makroskopického členění mozku. Základní směrová orientace v jeho třech rozměrech je na obr. 1.1.

V milimetrovém rozmezí poskytuje **trojrozměrnou** orientaci v mozku atlas Talairachův a Tournouxův (1988) užívaný jak při stereotaktickém zaměřování mozkových struktur, tak při vyhodnocování výsledků zobrazovacích metod.

Nejde o jednotlivé dílo. Montrealský neurologický institut vytvořil sérii obrázků podobných vyobrazením Talairachovu atlasu založenou na průměru velkého



Obr. 1.1. Určení základních směrů v mozku a míše. Synonymum pro rostrální je anterior, synonymum pro kaudální je posterior. Směr ze zevní strany ke střední ploše je mediální, směr zevnitř navenek je laterální. Při určování polohy se směry často kombinují: například anteromedální (rostromediální) směr je směr »dopředu a ke střední čáře mozku«

počtu skenů magnetické rezonance. Obrázky může užívat automatizovaný program prostorové normalizace. Mají být reflexí průměrného neuroanatomického nálezu. Mezinárodní konsorcium mapování mozku (The International Consortium of Brain Mapping) je chápe jako mezinárodní standard (Brett et al., 2002).

Zásadní problém však je, že stejné názvy často odpovídají více nebo méně odlišným oblastem mozku a naopak – stejné oblasti mozku jsou nositelkami různých názvů.

Bohland et al. (2009) proto opustili pojmenování jednotlivých oblastí a porovnali jejich prostorové definice v různých atlasech užívaných odborníky ve zobrazovacích metodách. Dokázali, že mezi osmi porovnávanými atlasy existují velké rozdíly. Problém nazvali **problémem konkordance atlasů mozku**. Podrobné výsledky této závažné studie lze najít na interaktivní webové adrese (Bohland et al., 2009). Při četbě všech studií užívajících zobrazovací metody je tudíž nutné sledovat, z jakého templátu jejich autoři vycházejí.

»Konektom« – příklad současného studia neuronálních sítí lidského mozku

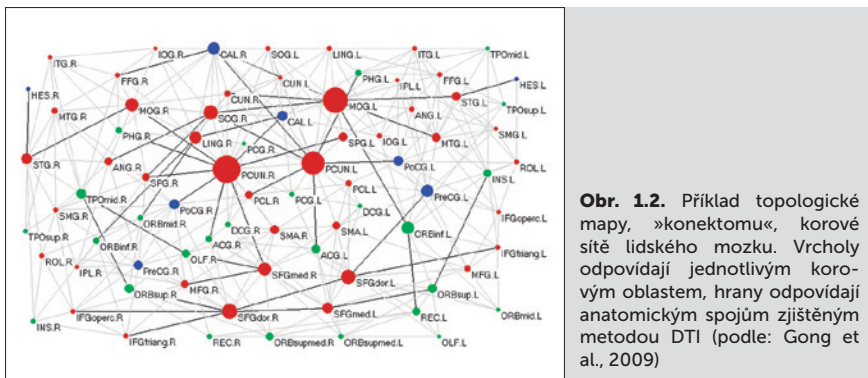
Pro ucelený anatomický popis neuronálních sítí tvořících lidský mozek navrhl Sporns et al. (2005) pojem **konektom**. Gong et al. (2009) k popisu konektomu užíli AAL templát, to je jeden z osmi výše citovaných atlasů (Bohland et al., 2009) a DTI (diffusion tensor imaging), metodu zobrazující jednak integritu mozkové tkáně, jednak mozkové dráhy. Posledně jmenovaná metoda se jmenuje DTI traktografie.

Mozkovou kůru 80 zdravých dobrovolníků rozdělil Gong et al. (2009) do 78 oblastí. Každá z nich představuje vrchol sítě. Dva vrcholy byly považovány za propojené, jestliže pravděpodobnost jejich vzájemných spojení (hran) překračovala určenou statistickou mez. Konektom charakterizují velké vrcholy v asociačních korových oblastech propojené dlouhými asociačními vlákny (obr. 1.2.).

Korová síť mozku se podobá »sítím malého světa« (*small world networks*), což je obecný název pro komplexní sítě biologické, ekonomické i sociální (Strogatz, 2001), které jsou předmětem rozsáhlého a plodného výzkumu.

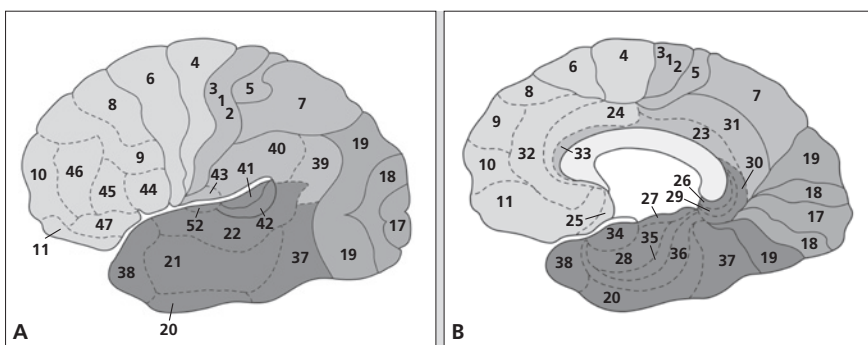
1.2. Mikroskopická architektura mozku

Základní orientaci v mozkové kůře poskytuje cytoarchitektonická mapa německého anatoma Korbiniana Brodmanna z roku 1909 (obr. 1.3A.), přestože je do značné míry fiktivní. Brodmann ji založil na rozdílech mikroskopické architektury a na rozdílech typů nervových buněk v histologických řezech vedených kolmo na korový povrch.

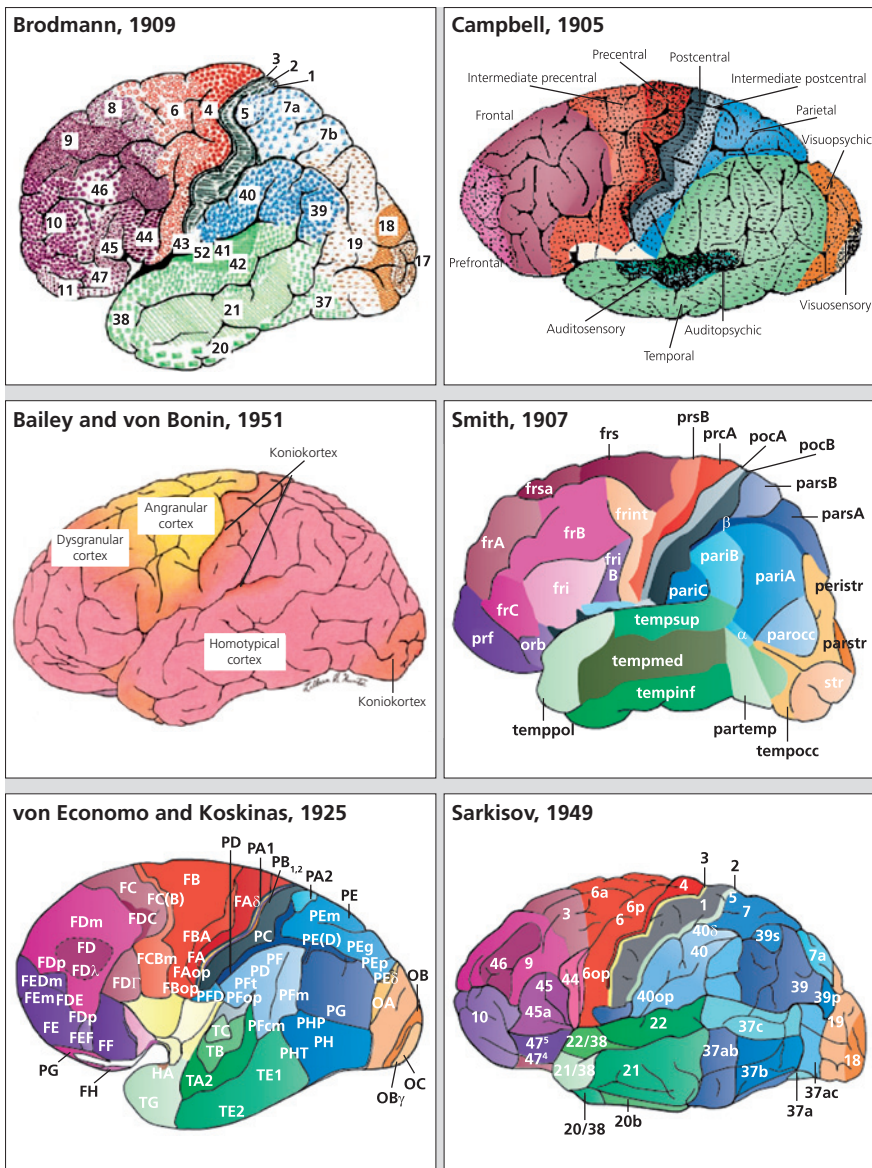


Hranice korových polí jsou však, s výjimkou primárních smyslových korových oblastí, ve skutečnosti daleko méně určité, než Brodmann zakreslil. Rozsah korových polí je u každého jedince v pravé a levé hemisféře odlišný. Kromě toho je odlišný u různých jedinců. Rozdíly, měřeno například délkovým rozsahem pole, mohou činit i desítky procent. Kůra lidského mozku je po této stránce stejně individuální, jako jsou lidské otisky prstů. Z Brodmannovy mapy nadto neplyne rozsah korové plochy skrytý v rýhách mezi závitů. Přesto se mapa užívá dosud a bude orientačním vodítkem téměř ve všech kapitolách této knihy.

Existují další cytoarchitektonické mapy mozku, odlišně značené a podrobnější, než je Brodmannova. Neužaly se pravděpodobně právě z toho důvodu. Některé studie z USA užívají Economovu-Koskinasovu mapu rozlišující 107 korových polí (Economu a Koskinas, 2009; obr. 1.3B.).



Obr. 1.3A. Brodmannova cytoarchitektonická mapa zevní plochy levé hemisféry (A) a vnitřní plochy pravé hemisféry lidského mozku (B). Na rozdíl od originálu z roku 1909 nejsou v této mapě hranice jednotlivých polí zakreslené, což je s ohledem na individualitu lidských mozků a jejich korových polí podstatně blíže skutečnosti, než je mapa s přesně zakreslenými poli



Obr. 1.3B. Cytoarchitektonické mapy kůry lidského mozku jednotlivých autorů. Rozdíly jsou patrné na první pohled. Barevné podobnosti odpovídají podobnostem strukturálním (podle: Zilles a Amunts, 2010)

Mikroskopické architektury subkortikálních oblastí, například amygdaly, thalamu, bazálních ganglií, se v nutném rozsahu dotknou v kapitolách pojednávajících o jednotlivých funkčních systémech mozku.

1.3. Funkční architektura lidského mozku

1.3.1. Úvod

Pojem »systémy« se v této knize užívá v didaktickém smyslu pro funkční systémy lidského mozku (Stuss a Benson, 1986). V kognitivní a afektivní neurovědě se užívá pojem neurokognitivní síť velkého rozsahu (*large-scale neurocognitive network*, Mesulam, 1990, 1998, 2009).

Pojem funkční systém lidského mozku je chápán široce. Příklady funkčních systémů jsou smyslové vnímání, poznávání, paměť, řeč a jazyk. Není známo, kolik funkčních systémů lidský mozek má. Jejich označení plyne jak z neurologické, psychologické a psychiatrické tradice, tak z modulární teorie funkční architektury mozku. Klasifikaci, kterou užíváme, současnost překonává. Za její základní výhodu lze považovat jednoduchost a didaktickou přehlednost. Uvádí se pět základních vlastností funkčních systémů lidského mozku:

Organizace – vnitřní uspořádání systému a vzájemné vztahy jeho jednotlivých součástí.

Hierarchizace – vertikální uspořádání stavby a činnosti systému. Nadřazené části zpětnovazebně řídí části podřazené. V této souvislosti se mluví o cestě informace a řízení činnosti systému »odspodu-vzhůru«, v případě zrakového systému tedy od sítnice do zrakové části thalamu (*corpus geniculatum laterale*, CGL), z CGL do primární zrakové kůry V1, z V1 do V2 atd. (*down-top*) a naopak (*top-down*), případně po informačním proudu (*upstream*) a proti němu (*downstream*). Podrobnější popis je v kapitole 2.

Integrace – vzájemné slučování činnosti jednotlivých částí jednoho systému i různých systémů.

Anatomická vazba – projevy činnosti systému jsou zejména v dospělosti vázány spíše na některé části mozku než na části jiné. Poškození »zúženého profilu informačního chodu« systému se projevuje poškozením funkce.

Příklad: oboustranné poškození hipokampu se projevuje poškozením recentní epizodické paměti, přičemž funkční systém deklarativní paměti – epizodická paměť je její složkou – je podstatně rozsáhlejší.

Pojem »centrum« současné vědy o mozku opouštějí.

K těmto základním vlastnostem je nutné připojit nově popsanou další pátou vlastnost: každá oblast a její spojení se v současnosti z hlediska kognitivní vědy, případně výpočetní neurovědy (*computational neuroscience*), chápou jako části systému **paralelně distribuovaného zpracování informace** (Rummelhart a McClelland, 1986). Co to znamená?

Sériově činné systémy, jejichž příkladem jsou číslicové počítače von Neumannova typu, zpracovávají velkou rychlostí informace sériově, »jednu za druhou«.

Paralelně distribuované systémy, například masivní paralelní výpočetní systémy, zpracovávají různé informace o též objektu souběžně, paralelně, »vedle sebe«. Informace jsou v těchto systémech rozložené, zpracovávají se v jednotlivých uzlech sítě. Výsledkem je velká pružnost a rychlost zpracovávání informací, při dostatečné toleranci vůči chybám.

Příkladem paralelně distribuovaného zpracovávání informací je činnost zrakového systému mozku. Dejme tomu, že zrakově sledujeme, jak z jabloně padá na zem žluté jablko. Zrakový systém souběžně, paralelně, zpracovává informace o tvaru, barvě, prostorové hloubce, rychlosti i směru pohybu předmětu, zároveň aktivuje pracovní paměť a funkční systém orientované pozornosti.

Vzápětí zrakový systém porovná neuronální reprezentace tvaru, barvy a prostorové hloubky s neuronálními reprezentacemi uloženými v dlouhodobé slovní a neslovní paměti.

Od určité úrovně zpracování se celý informační komplex dostává do funkčního systému zrakového vědomí – uvědomíme si, že vidíme padající žluté jablko. Sériové zpracování těchto informací by přes veškerou rychlost, s jakou pracují digitální systémy, vyžadovalo delší dobu než jejich zpracování paralelní.

Vše, co budete číst dál, se na úrovni funkčních systémů (funkční systém znamená arbitrární prostor o rozměrech přibližně 1–100 mm, časově desítky milisekund a více) zabývá otázkou, jak lidský mozek rozliší, přijme a zpracuje smyslové informace druhu »padající žluté jablko«, jak jim věnuje pozornost, jak si je zapamatuje, jak je dokáže sdělit, zapsat nebo spočítat, co v něm mohou probudit citově, jak dokáže prostřednictvím systému hybnosti žluté jablko sebrat, utrhnout nebo hodit, jak si uvědomí, co je žluté jablko, jak přestane žluté jablko rozlišovat, jak zapomene a přestane chápat, co žluté jablko je, včetně otázky, co vedlo ke vzniku lidského mozku a právě těch funkčních systémů, které má.

Mesulamův model

Podle Mesulama (Mesulam, 1990, 1998, 2009) lze v mozku rozlišit pět anatomicky různých neurokognitivních sítí velkého rozsahu:

1. systém prostorového vědomí (*awareness*), jehož epicentry jsou zadní temenní kůra a frontální oční korová pole (*frontal eye fields*, FEF);

2. levostranný systém jazyka a řeči, jehož epicentry jsou Wernickeova a Brocova oblast;
3. systém explicitní paměti a explicitní emotivity, jehož epicentry jsou komplex entorhinální kůra/hipokampus a amygdala;
4. systém rozlišující tváře, epicentra má ve střední a polární spánkové kůře;
5. systém řídicích neboli exekutivních funkcí a pracovní paměti, jehož epicentra jsou v zevní prefrontální a snad i zadní temenní kůře.

Mozek podle tohoto pojetí zpracovává smyslové informace jako soubory sériových a paralelních informačních proudů vycházejících z příslušných modálně specifických smyslových korových oblastí do transmodálních uzlů.

Modálně specifické, jednomu smyslovému systému sloužící korové oblasti tvořené »řetězem« prvních čtyř synaptických úrovní, kódují co možná věrné reprezentace smyslových zkušeností. Některé rozsáhlé synaptické skupiny mají pro relevantní výstup klíčový význam, jiné jsou pomocné. Synaptické skupiny spolupracují, nejsou však zaměnitelné. Každá z nich je do jisté míry specializovaná a odpovídá za nějakou složku chování.

Pojem **transmodální** znamená, že v této oblasti slouží kůra víc než jednomu smyslovému systému, víc než jedné korové smyslové modalitě.

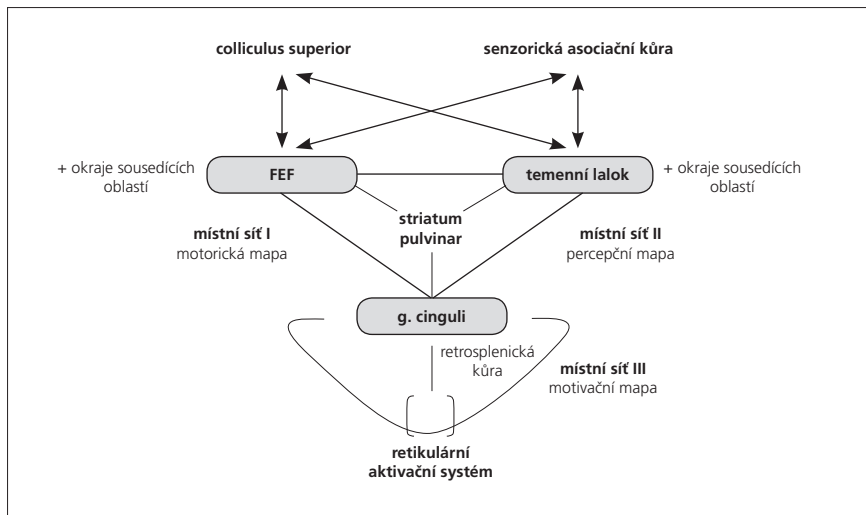
Na synapticky vyšších úrovních je zpracovávání jejich informací modulováno pozorností, motivací a emočními zkušenostmi, pracovní pamětí, vyhledáváním nových zkušeností i představivostí.

Fylogeneticky významným ziskem vyžadujícím mohutný výpočetní potenciál, a tedy mohutný objem izokortexu, jsou podle Mesulama (1998) zejména pracovní paměť, vyhledávání nových zkušeností (*novelty seeking*) a představivost (*mental imagery*). Umožňují pružné proměny chování, které překonávají rigidní vazbu mezi podnětem a odpovědí, jež charakterizuje vývojově nižší živočichy. Jsou společným podkladem symbolických reprezentací charakterizujících jazyk a myšlení.

Příkladem neurokognitivní sítě velkého rozsahu je **frontoparietální síť**, která zpracovává zrakové prostorové informace. Jejím těžišti jsou jednak kůra lobulus parietalis inferior a sulcus intraparietalis, jednak kůra čelních laloků kontrolující pohyby očí (FEF, *frontal eye fields*). První mapuje prostorové souřadnice, druhá se podílí na senzorio-motorické koordinaci nutné k navigaci v daném prostoru. Každá z těchto oblastí je propojena s korovými oblastmi g. cinguli, ty odpovídají za cílenou pozornost (obr. 1.4).

Neuronální sítě jsou dynamické, nikoli statické systémy – k představě statického systému má sklon každý, kdo soustavně prohlíží statické obrazy mozku získané jakoukoli metodou. Statický obraz funkčních systému mozku se podobá fotografii mraků hnaných větrem po nebi. Dynamiku neuronálních sítí připomíná naproti tomu filmový záznam běžících mraků, což prokazuje například aktivita mozku v průběhu kognitivních úloh vyžadujících pozornost:

stoupá aktivita vymezených oblastí frontálních a parietálních, naproti tomu aktivita sítí, jejichž korovými těžišti jsou zadní cingulární, mediální a laterální pari-



Obr. 1.4. Příklad neurokognitivní sítě velkého rozsahu převádějící percepci do akce

etální kůra, jakož i mediální prefrontální kůra, klesá. Stoupají-li nároky na pozornost, prohlubují se rozdíly jejich činnosti: to znamená aktivace prvního a útlum druhého systému.

Funkční architektura mozku tedy odpovídá dynamickým sítím s opačným typem aktivity neboli funkčně antikorelovaným (Fox et al. 2005).

Neurokognitivní sítě velkého rozsahu jsou charakteristickou obětí neurodegenerativních onemocnění

Seeley et al. (2009) v tomto směru vyšetřovali pacienty s Alzheimerovou nemocí, behaviorální variantou frontotemporální demence, sémantickou demencí, progresivní neplynulou afázií a kortikobazálním syndromem strukturální a funkční magnetickou rezonancí.

Zjistili, že každý z těchto neurodegenerativních syndromů je charakterizován specifickou regionální vulnerabilitou:

Při **Alzheimerově nemoci** typické raným postižením epizodické paměti byla zjištěna atrofie mediální temporální kůry, zadní cingulární kůry a precuneu, jakož i zevní temporální a parietální kůry.

Behaviorální varianta frontotemporální demence, doprovázená změnami chování a osobnosti, má poškozenou přední cingulární, frontální polární a frontální insulární kůru a striatum.

Při **sémantické demenci**, klinicky charakterizované ztrátou významu slov, byla zjištěna atrofie kůry levého spánkového pólu a subgenuální cingulární kůry.

Primární neplynulou afázii, diagnostikovanou při neplynulé, namáhavé a agramatické řeči, charakterizovala atrofie levého frontálního operkula, přední dorzální insuly a kůry g. precentralis.

Kortikobazálnímu syndromu s asymetrickými senzoricko-motorickými obtížemi, akinezií, rigiditou, apraxií, korovými senzorickými výpady nebo dalšími korovými kognitivními poruchami odpovídala atrofie dorzálních frontálních a parietálních, primárních motorických a somatosenzorických korových oblastí, včetně dorzální insulární kůry.

Klinickým syndromům tedy odpovídá poškození korových těžišť zdravých neurokognitivních sítí velkého rozsahu.

Zajímavý je přitom vztah genu a fenotypu. Postižení totožné sítě je typické pro všechny tři podoby primární progresivní afázie, agramatickou, sémantickou i logopenickou. Ve vzácných případech je primární progresivní afázie podmíněna bodovou mutací genu kódujícího progranulin (*PGRN*). Téměř identická mutace je však příčinou behaviorální varianty frontotemporální degenerace. Předpokládá se, že odlišné fenotypy identické mutace mohou být důsledkem odlišné vulnerability dvou odlišných sítí. Výsledkem je primární progresivní afázie u některých pacientů, behaviorální varianta frontotemporální demence u pacientů jiných (Mesulam, 2009).

1.4. Mozek je zkoumán na řadě úrovní mnoha metodami

Tradice výzkumu mozku mluví o přístupu:

od relativně jednoduchých systémů, jako jsou molekuly a jejich interakce, k systémům komplexním, jako jsou funkční systémy,

a naopak,

od jevů nekomplexnějších, jako je chování, k jevům jednodušším, jako jsou molekuly nebo geny.

Uvádíme rozčlenění »odspodu vzhůru«, podle velikosti zkoumaných struktur, s vědomím, že je arbitrární.

Řada oborů neurověd i metod, které užívají, se pohybuje ve více než jedné úrovni.

První úroveň – geny

Jimi se zabývá genomika, jejíž operacionální definice říká, že jde o obor simultánně zkoumající stavbu a funkci velkého počtu genů. Řadu odborníků překvapil nízký