

FRANTIŠEK KOUKOLÍK

SOCIÁLNÍ MOZEK

KAROLINUM



Sociální mozek

František Koukolík

Vydala Univerzita Karlova v Praze
Nakladatelství Karolinum
Redakce Lenka Ščerbaničová
Grafická úprava Jan Šerých
Sazba DTP Nakladatelství Karolinum
Vydání druhé, přepracované

© Univerzita Karlova v Praze, 2016
© František Koukolík, 2016

ISBN 978-80-246-2850-9
ISBN 978-80-246-2867-7 (online : pdf)



Univerzita Karlova v Praze
Nakladatelství Karolinum 2016

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

7	PŘEDMLUVA
9	1 / ÚVOD
31	2 / EVOLUCE SOCIÁLNÍHO MOZKU
57	3 / SÍŤ
83	4 / EMPATIE
101	5 / MENTALIZACE
129	6 / TVÁŘE
153	7 / JAZYK
195	8 / ROZHODOVÁNÍ
221	9 / SKUPINY
245	10 / PATOLOGIE

Od chvíle, kdy jsem předal první vydání Sociálního mozku do tisku (Karolinum 2006), ubíhá desátý rok. Počet vědeckých prací zabývajících se sociální neurovědou a uveřejněných v průběhu této doby jen v těch časopisech, které lze považovat za nejkvalitnější, mimořádně vzrostl. Řada poznatků starých jen několik let je zejména díky novým technologiím a velkému počtu vyšetřovaných lidí nepřesná nebo překonaná. Rozsáhlé soubory studií na stejné téma umožňují vytvářet databáze a výsledky metaanalyzovat (např. www.brainmap.org; www.neurosynth.org). Poznatky jsou spolehlivější, nicméně v trvalém vývoji.

Současné vydání je tedy přepracované a doplněné.

Podobně jako vydání předchozí se zabývá evolucí sociálního mozku, empatií, mentalizací, poznáváním tváří, jazykem a rozhodováním. Cíleněji se soustřeďuje na lidské skupiny a patologii sociálního mozku na příkladech onemocnění a poruch z okruhu autismu, demencí, deprese, psychopatie a schizofrenie. Nová kapitola je věnována neuronálním sítím velkého rozsahu – konektomům sociálního mozku. Každá kapitola je uzavřena stručným souhrnem. Užité literatury není zdaleka vyčerpávající – objem knihy by byl v opačném případě neúnosný. Rozsah vydání neumožnil věnovat se morálnímu, náboženskému a estetickému rozhodování. Bude jim věnována stejnojmenná knížka.

Kniha je náročná. Je určena všem zájemcům o neurovědecké aspekty sociálního poznávání, prožívání a chování: lékařům, psychologům, právníkům, sociálním pracovníkům, případně i filosofům.

František Koukolík
Praha, 1. 10. 2015

1.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Leslie Brothersová, v roce 1990 vědecká pracovnice a psychiatrička z Kalifornské univerzity v Los Angeles, měla pořádný kus odvahy. Svou vědeckou pověst riskovala článkem, který pojednal o sociálním mozku (Brothers, 1990 A, B).

V souvislostech její studie to byl nový pojem.

Brothersová mezi prvními na světě dokazovala, že mozek primátů a lidí je nositelem systému specializovaného pro řešení sociálních problémů. Doslovný překlad názvu její průkopnické práce zní *Sociální mozek: projekt sloučení neurofysiologie a chování primátů v nové doméně*. Novou doménou měla na mysli zpracovávání sociálních informací. Ty se na rozdíl od non-sociálních informací týkají jiných členů vlastní skupiny a jiných skupin (Giddens, 2005).

Svým způsobem Brothersová parafrázovala proslulou několikastránkovou studii Sigmunda Freuda *Entwurf einer Psychologie* (Náčrt psychologie). Napsal ji v r. 1895, to ještě nebyl psychoanalytikem. Vyšla pak kupodivu až po jeho smrti. Lze ji považovat za geniální vizi neurobiologických základů budoucí psychologie (Koukolík, 2012). Na rozdíl od Freuda však Brothersová neuveřejnila teoretický pohled do vzdálené budoucnosti, ale věcnou, empiricky podloženou, současnou představu.

Čtvrt století, které od té doby uplynulo, je ve vědě dlouhá doba. S výjimkou pozitronové emisní tomografie, která za sebou měla v 90. letech pouze první krůčky, nebyly funkční zobrazovací metody, o něž se opírá současný výzkum, známy, nebo se rodily. Afektivní neurověda zkoumající

citové procesy lidského mozku v 90. letech minulého století teprve vznikala, stejně jako behaviorální ekonomie vyšetřující ekonomická rozhodnutí lidí i zvířat. Bezpočetná empirická data, která za poslední čtvrtstoletí přinesly primatologie, kulturní a sociální antropologie, evoluční psychologie, neuroekonomie a neuropolitika, čekala na objevení.

Pojem *sociální mozek* se ujal (Adolphs, 2009). Je to obrazný pojem, podobně jako citový nebo ekonomický mozek. Počet vědeckých prací zabývajících se sociální neurovědou rychle rostl (Berkman et al., 2014).

SOCIÁLNÍ, KOGNITIVNÍ A AFEKTIVNÍ NEUROVĚDA

Stavba a funkce mozku jsou líc a rub téže mince, nikoli však hardware a software. Máme-li na mysli molekulární úroveň analýzy, pak platí: Cokoli se mění ve funkci, mění se velmi rychle i ve stavbě, a naopak. V průběhu nějaké doby mohou být tyto proměny rozlišitelné i makroskopicky, například magnetickou resonancí nebo jejími funkčními podobami.

Vždy je nutné mít na zřeteli: Živé systémy jsou vysoce dynamické systémy. Pro mozek platí tento výrok v míře nejvyšší.

Kromě toho není lidský mozek osamělým ostrovem. Je součástí vývojového řetězu. Nese v sobě 3,5–3,8 miliardy let vývoje života, velmi rozsáhlou evoluční genetickou informaci. Stejně v sobě nese přibližně 60 milionů let vývoje primátů, 5–7 milionů let vývoje našich předků od chvíle, kdy se větev směřující k dnešnímu člověku odštěpila od větve směřující k dnešním šimpanzům. Je součástí vývojových dějin našeho druhu za posledních 400–200 tisíc let, včetně interakce genů a kultury za minulých dejme tomu 100–50 tisíc let. Málokdo si uvědomuje, jak rychlým vývojem prochází v posledních 10 000 letech, počínaje „vynálezem“ zemědělství. A nakonec je součástí sítě svých bezprostředních předků, potomků a všech dalších bližních, tedy současné sociální sítě. Odpovídá na její proměny někdy s neobyčejnou rychlostí.

Představte si, že máte životní úspory v bance, která zkrachuje díky událostem, na něž nemáte nejmenší vliv a jež proběhnou během několika hodin na opačné polokouli. Uplyne přibližně půl sekundy od okamžiku, kdy jste se o události dozvěděli, a jak geny, tak neuronální systémy vašeho mozku se začnou chovat zcela odlišným způsobem, než se chovaly doposud.

Stavbu a činnost sociálního mozku popisuje a vysvětluje *sociální, kognitivní a afektivní neurověda*. To je interdisciplinární směr výzkumu, který se snaží vysvětlovat sociální jevy na úrovni

- chování a prožívání
- na všech úrovních studovaných neurovědou, od genů přes neurony po konektomy – totiž neuronální síť velkého rozsahu.

Dále se přesvědčíme, jak je tato klasifikace pouze učebnicová.

Konektomy nejsou kognitivní, afektivní nebo sociální. Konektomy téměř za všech okolností navzájem spolupracují a jejich činnost se různým způsobem a v různé míře překrývá.

Ve zcela obecném slova smyslu je konektom ucelený popis všech neuronálních sítí tvořících lidský mozek. Lze ho chápat jako vícerozměrnou mapu. Užší pojetí říká, že jde o množinu všech vzájemně propojených prvků zkoumané neuronální sítě (Sporns et al., 2005; Strogatz, 2001). Konektom je „natvrdo zadrátovaná síť“ (hardwired) jen do jisté míry. V rozlišení daném soudobými skenery mohou být anatomicky stejné síť využívány u různých lidí v různé míře a s různou efektivitou při zpracovávání stejných informací, a naopak: různé typy informací mohou u různých lidí v různé míře a s různou efektivitou zpracovávat stejné informace (Gong, 2009). Příčinou rozdílů může být například pohlaví (Tian, 2011).

V užším slova smyslu se pojem konektom užívá pro jednotlivé síť.

Takže: oddělování sociálních informací od informací

- a) kognitivních, to jsou informace týkající se vnímání a poznávání,
- b) afektivních, které se týkají emocí a pocitů,
- c) plynoucích z dané kultury a historie

je možné jen didakticky, případně v čase úzce vymezeného experimentu (Koukolík, 2012A, B). Ve skutečnosti jsou všechny tyto informace proměnné veličiny jednoho celku, vzájemně jedna druhou ovlivňující.

Evoluční psychologové jsou naproti tomu přesvědčeni, že lidský mozek je souborem „orgánů“, „nástrojů“, „modulů“ určených k řešení opakovaných adaptivních problémů – tj. těch, na jejichž řešení závisí přežití a rozmnožování –, s nimiž se setkávali už naši paleolitictí předkové. Mozek přirovnávali evoluční psychologové k švýcarskému armádnímu noži. Ten je vybaven různými čepelemi, vrtákem, šroubováčkem a podobně. Každý z těchto nástrojů je určen k řešení odlišného problému. Moduly mají být vzájemně oddělené.

Adaptivních problémů byl a je velký počet, přičemž úspěšné řešení jednoho nemusí znamenat úspěšné řešení jiného. Typickými adaptivními problémy byly například

- vyhledávání a složení potravy,
- výběr pohlavních partnerů,

- volba habitatů neboli místa obsahujícího zdroje a možnost úkrytu,
- rodičovské investování do potomků,
- příbuzenské vztahy (čím vyšší míra genetického příbuzenství, tím vyšší míra „investic“),
- vztahy ke členům vlastní skupiny a kooperace (detekce „podrazáků“ a detekce „černých pasažérů“),
- výběrová agrese (spouštěcí mechanismy násilných konfrontací),
- vnitroskupinová hierarchie (eliminace rivalů, zvládnání vztahu nadřazenosti a podřízenosti).

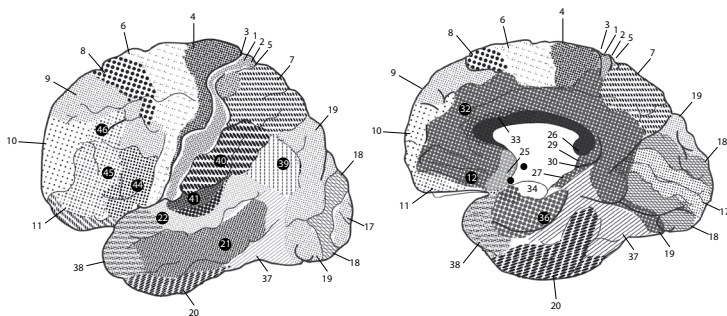
Diskuse o spíše síťové nebo spíše modulární funkční architektuře mozku se vede téměř 200 let.

Myšlenková větev prokazující, že je mozek tvořen „moduly“, specializovanými orgány, vede od frenologů přes Brocu, Chomského, Fodora k rané vyhraněné evoluční psychologii (přehled Koukolík, 2014; 1.1).

Odlišná myšlenková tradice charakterizovaná jmény Flourens, Lashley, McClelland a Rummelhart dokládá, že funkční architekturu mozku tvoří paralelně distribuované sítě velkého rozsahu – konektomy (obr. 1.2).

Tato druhá myšlenková tradice nabývá vrchu, přestože se v mozku dají prokázat korové oblasti specializované nejen na základní senzorické a motorické procesy, ale i na poznávání tváří, míst, těl, zrakově prezentovaných slov a dokonce i vysoce abstraktních kognitivních funkcí, jejichž příkladem je uvažování o myšlenkách druhého člověka (přehled Kahnwisher, 2010).

Stručný přehled současných představ o struktuře a funkci sociálního mozku poskytuje obr. 1.3A–C, 1.4).



Obr. 1.1A Korbinian Brodman (1868–1908), německý neurolog a anatom, rozdělil kůru lidského mozku (a také mozku některých druhů zvířat) na základě mikroskopického obrazu do několika desítek polí. Jeho mapa je užitečná fikce užívaná dodnes. Pole jsou ostře vymezená jen v primárních smyslových oblastech. Jejich objem kolísá na levé i pravé straně. Lidský mozek je stejně individuální jako otisky prstů.

V současnosti se k přesnému zacílení mozkové struktury užívá trojrozměrný Talairachův prostor, který polohu zkoumané oblasti určí v osách x , y , z .

Osa x vede z pravé strany doleva,

osa y zpředu dozadu,

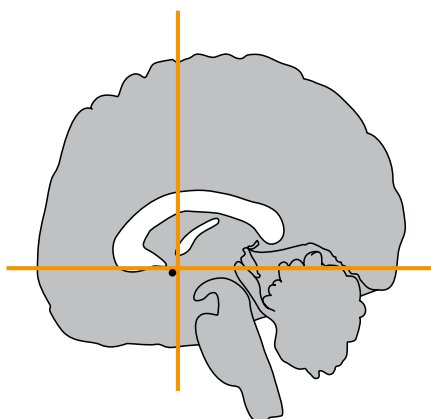
osa z shora dolů.

Osy se protínají v dohodnutém bodu 0 (commissura anterior) ve střední čáře mozku.

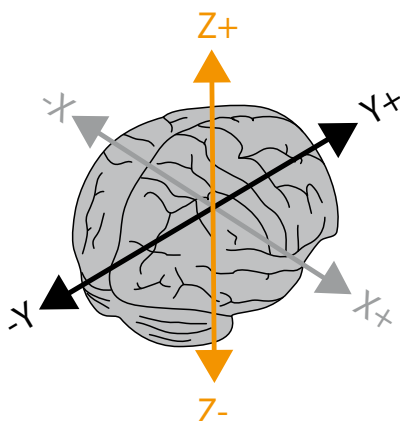
Poloha zkoumaného bodu na ose se udává v milimetrech, a to kladnou nebo zápornou hodnotou, podle vzdálenosti hledaného bodu od bodu 0.

Vzdálenosti na ose x od bodu 0 doprava, na ose y bodu 0 dopředu a na ose z od bodu 0 nahoru mají kladnou hodnotu (atlas z r. 1988).

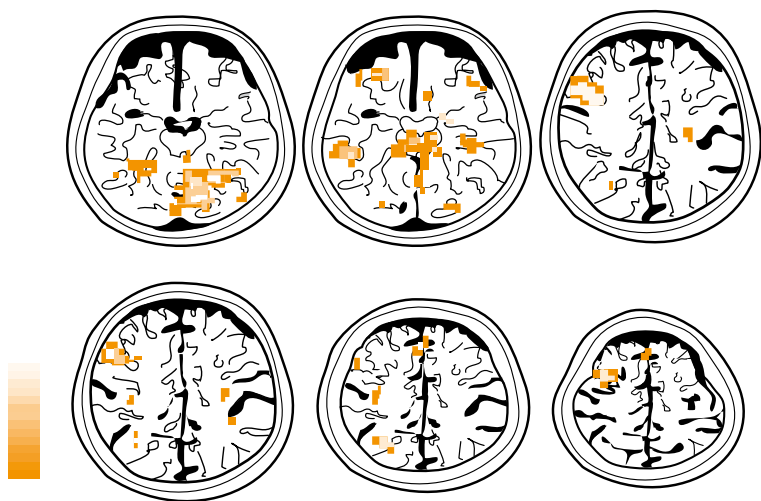
Vzdálenosti na dalších částech os mají hodnotu zápornou.



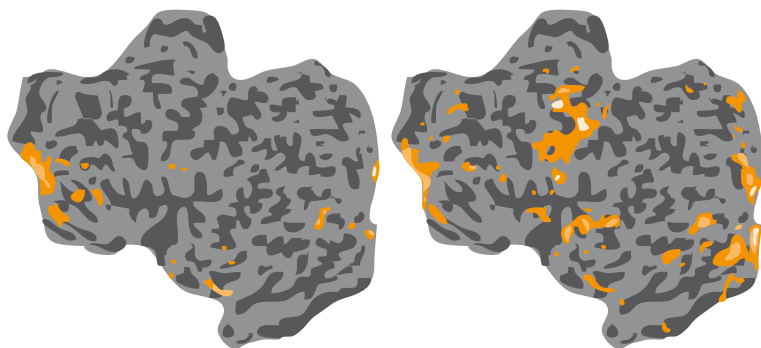
Commissura anterior



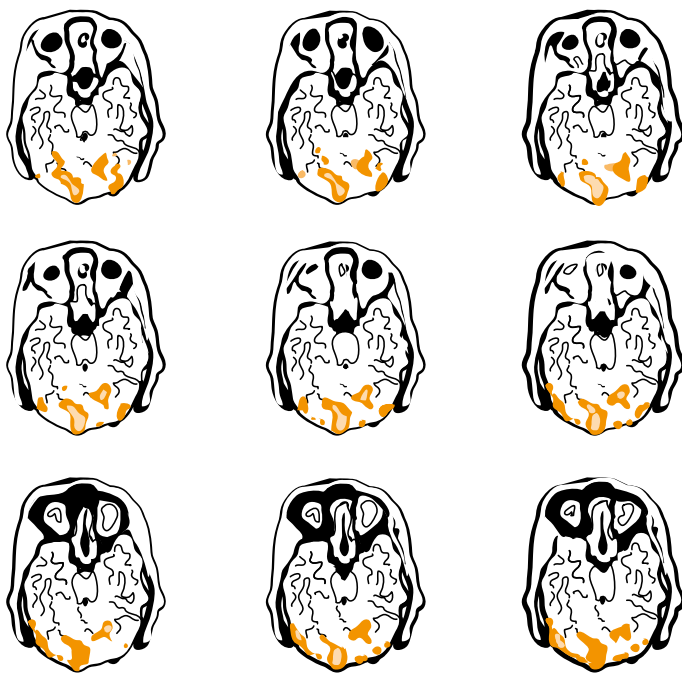
Souřadnice Talairachova prostoru (1988)



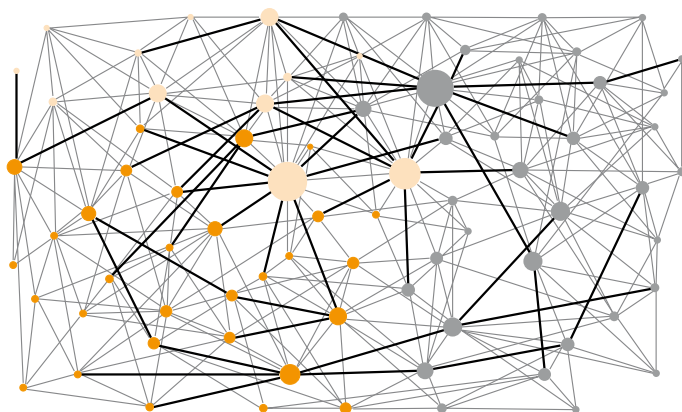
Obr. 1.1B Příklad umístění aktivovaných oblastí na ose z od -20 do $+68$



Obr. 1.1C Aktivované oblasti na modelu mozkové kůry rozepjatém do plochy

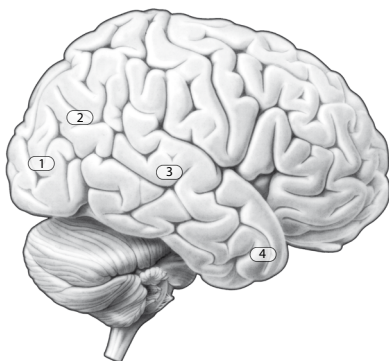


A

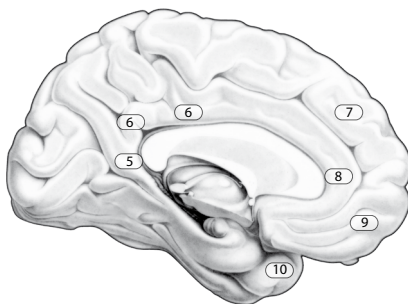


B

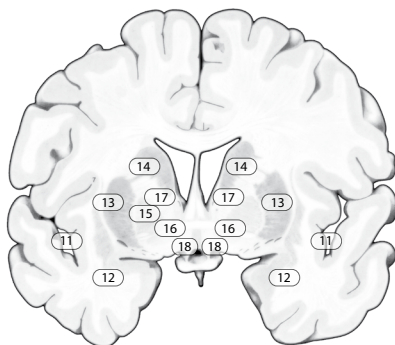
Obr. 1.2 Aktivita mozku zaznamenaná funkční magnetickou resonancí (A), schéma konektomu (B)



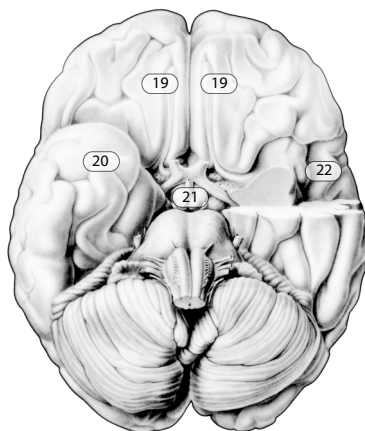
A



B



C



D

Obr. 1.3A Uzly neboli vrcholy konektomů sociálního mozku

A zevní neboli laterální plocha pravé mozkové hemisféry

- 1 extrastriatová oblast pro tělo: aktivována pohledem na trup a končetiny, pohled na hlavu ji neaktivuje, součást zrakové kůry
- 2 temporoparietální junkce: kůra na hranicích spánkového a temenního laloku
- 3 gyrus temporalis superior, pod ním sulcus temporalis superior; horní spánkový závit, rýha mezi ním a středním spánkovým závitem
- 4 pól spánkového laloku

B Vnitřní neboli mediální plocha levé hemisféry

- 5 retrosplenická kůra
- 6 zadní cingulární kůra
- 7 gyrus frontalis superior, horní čelní závit
- 8 přední cingulární kůra
- 9 ventromediální prefrontální kůra
- 10 pól spánkového laloku

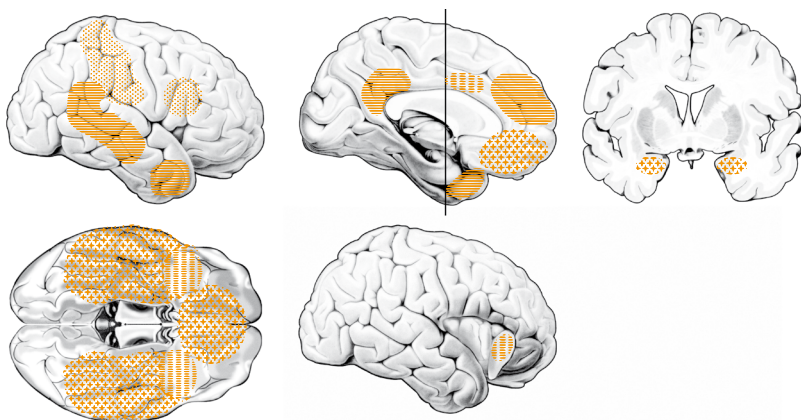
C Řez mozkem v čelní rovině v úrovni předního hypotalamu

- 11 insula: rozsáhlá korová oblast skrytá v Sylviově rýze mezi čelním a spánkovým lalokem
- 12 amygdala
- 13 putamen
- 14 nucleus caudatus, průřez jeho tělem
- 15, 16 zevní a vnitřní část palida
- 17 přední část talamu
- 18 přední část hypotalamu

nucleus caudatus + putamen = striatum, přesněji neostriatum palidum
(globus palidus) = paleostriatum

D *Spodina mozku, přední část levého spánkového laloku je oddělena*

- 19 očníková kůra
- 20 pól spánkového laloku
- 21 hypotalamus levý i pravý se stopkou hypofýzy = podvěsku mozkového
- 22 kůra insuly (jejího „stropu“)



Obr 1.3B Konektomy sociálního mozku

Křížky: zapojení amygdaly

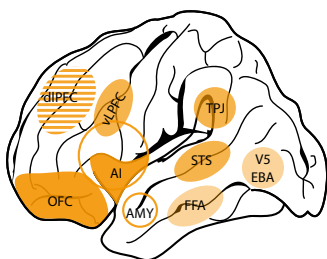
Čáry: mentalizační síť (má společné uzly s defaultní sítí). Mentalizace umožňuje lidem rozlišit, že druhý člověk, obecně „agent“ (cokoli, co se chová na základě niterných stavů), není věc

Prerušované čáry: některé uzly sítě empatie

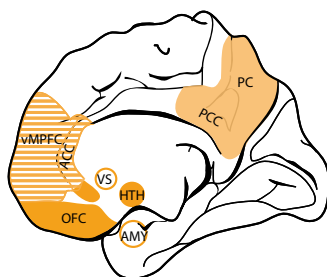
uzly sítě zrcadlových neuronů, simulační síť, síť percepce – akce

Jde o schematické obrázky zjednodušené do krajnosti. Všechny tyto sítě mají „podsítě“ a v různých experimentálních situacích mohou aktivovat společně nebo naopak – jestliže jedna aktivuje, jiná aktivitu tlumí.

Dle Kennedy a Adolphs, 2012



Sociální percepce
Adaptivní chování

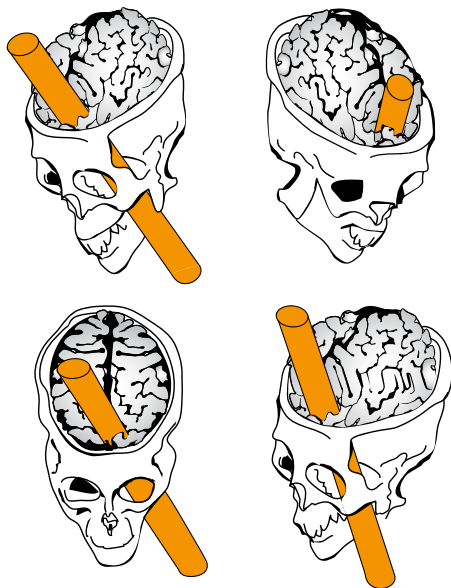


Emoce a motivace
Mentalizace

Obr. 1.3C Uzly konektomů sociálního mozku

dLPFC	dorzální prefrontální kůra
vMPFC	ventrální premotorická kůra
vLPFC	ventrolaterální prefrontální kůra
OFC	očnicová kůra
AI	přední insula
AMY	projekce amygdaly na povrch mozku
TPJ	temporoparietální junkce
STS	sulcus temporalis superior

FFA	fusiform face area, oblast gyrus fusiformis rozlišující tváře
V5	oblast aktivovaná zrakovým rozlišováním pohybu
EBA	extrastriatová oblast rozlišující těla
ACC	přední cingulární kůra
VS	ventrální striatum
HTH	hypotalamus
PCC	zadní cingulární kůra PC
PC	precuneus



Obr. 1.4 Phineas Gage

Po explozi mu tyč prolétla hlavou. Rekonstrukce poranění jeho lebky a mozku (Damasio et al., 1994). Gageova lebka i tyč jsou uchovány v Bostonském lékařském muzeu.

1.2 STRUČNÝ PŘEHLED VÝVOJE POZNÁNÍ

Některé historické milníky ve vývoji sociální kognitivní a afektivní neurovědy poskytuje následující stručný a nutně výběrový přehled. Se všemi pojmy z tohoto přehledu se potkáme v dalších kapitolách knihy.

Jednou z prvních studií zabývajících se sociální kognitivní a afektivní neurovědou může být Harlowův popis změny chování, resp. osobnosti pacienta Phinease Gage z poloviny 19. století. Změna nastala v důsledku úrazového poškození prefrontálních oblastí mozku. Gageovi prolétla čelistí, okem a převážně levou přední částí lebky železná tyč sloužící k utěšňování nálože užívané při budování železniční trati. Nálož explodovala. Gage kupodivu přežil, jeho chování se však zcela změnilo.

Jeho fyzické zdraví je dobré, řekl bych, že se zotavil. Ekvilibrium neboli rovnováha mezi jeho intelektovými a animálními vlastnostmi se však zdá zničená. Je vrtkavý, neuctivý, někdy si libuje v nejhorsích sprostotách, což dříve jeho zvykem nebylo ... je bez jakýchkoli ohledů ke svým bližním, nesnáší korekci nebo radu, jestliže jsou v konfliktu s jeho tužbami. Někdy je tvrdší a zatvrzelý, přesto rozmarný a nerozhodný, vytváří mnoho plánů budoucí činnosti, které stejně rychle, jako je vytvořil, opět opouští ve prospěch plánů dalších, jež se mu zdají vhodnější. Ve své intelektové kapacitě je dětinský, a přitom má animální vášně silného muže. Před svým poraněním, i když neměl školy, byl vyváženě myslí a lidé, kteří ho znali, ho považovali za chytrého a obratného obchodníka, velmi vytrvalého při výkonu všech činností, které si naplánoval. V tomto smyslu se jeho mysl zásadně změnila, takže všichni jeho přátelé a známí říkají zcela jednoznačně, že tento muž již není Gage (Koukolík, 2012 C).

V Allportově *Sociální psychologii* (1924), první učebnici svého druhu, je obsažena kapitola o vztahu mozku a sociálně psychologických jevů. Allport píše:

Hlavní příspěvek mozkové kůry k sociálnímu chování lze shrnout následujícím způsobem: je podkladem řešení všech lidských problémů, které jsou rovněž problémy sociálními. Umožňuje jejich uchování v jazyce, zvycích, institucích a vynálezech. Každé nové generaci umožňuje čerpat ze zkušeností dalších tím, že se naučí této přenášené civilizační tradici. Tvoří zvyklé odpovědi jedince jak na individuální, tak na sociální podněty. Proměňuje primitivní egocentrické reflexy do činností, které jedince přizpůsobují jak sociálnímu, tak non-sociálnímu prostředí. Socializované chování je tedy vrcholným výkonem mozkové kůry (cit. Ochsner, 2007).

A první experiment svého druhu:

Klüver a Bucy (1939) dokázali, že poškození spodní části spánkových laloků u opic těžce poškozuje sociální, mateřské i sexuální chování, jakož

i příjem potravy. Následný výzkum však doložil, že desinhibice chování, nebo naopak strach ve vztahu k příslušníkům vlastního druhu závisí zejména na povaze a rozsahu poškození amygdaly (Bauman et al., 2004A, B), tj. mandlového jádra, asi 16 neuronálních skupin pod kůrou přední části spánkového laloku. Mají objem kolem 3–5 krychlových centimetrů, podle velikosti mozku. Opice bývají nápadně krotké, mohou se začít chovat homosexuálně, pojídají objekty, které nejsou potravou. Vzácně se objeví podobný stav u lidí s těžkým poškozením stejné části mozku, například úrazovým.

Experimenty *Harlowovy skupiny* s deprivací makaků (Harlow a Harlow, 1962) byly experimentálním dokladem *teorie vazby* (attachment theory, Bowlby, 1973, 1982; Bretherton, 1992), popisující a vysvětlující jeden z nejfundamentálnějších sociálních vztahů (Koukolík, 2015).

Až do 80. let minulého století výzkum vztahu lidského sociálního chování a emotivity k mozku stagnoval. *Příčinami stagnace* byly:

1. radikální behaviorismus, který chápal mozek jako černou skříňku, sociální a emoční aspekty chování byly mimo jeho zorné pole,
2. sociální a emoční chování bylo, patrně díky západní filosofické tradici, považováno za „nižší“, „animálnější“, než byly lidské „vyšší“ poznávací funkce, například morální rozhodování nebo abstraktní myšlení,
3. behaviorální a kognitivní neurověda hledala obecné principy kontroly lidské chování. Sociální a emoční proměnné jsou naproti tomu individuální a závisí na kontextu,
4. neexistovaly dobré výzkumné nástroje: zobrazovací metody se rozšířily později. Kazuistiky se omezovaly na důsledky ložiskových změn mozku podmněných nejčastěji cévní mozkovou příhodou nebo úrazem.

Přesto v 80. letech vznikly podnětné studie zabývající se vztahem jazyka, humoru a metafor v pravé mozkové hemisféře, poruchami rozlišování tváří (prosopagnózie), amnéziemi i poruchami rozhodování a sociálního chování po poškození očníkové kůry (Koukolík, 2012).

V polovině 80. let však nastupuje pozitronová emisní tomografie, v 90. letech se objevuje funkční magnetická resonance, která se prudce vyvíjí, takže má i své modifikace. Jedna z nich, zobrazování tenzorů difuze (DTI diffuse tensor imaging), umožňuje vyšetřování svazků nervových vláken – tím zdokonalila mapování mozku. Rozšiřují se nové druhy statistické analýzy výsledků těchto experimentů. Rozvíjí se magnetoencefalografie, zdokonaluje se elektrofyziologické vyšetřování a čtené další doplňující metody.

Pojem *Sociální mozek* (The Social Brain) coby název knihy užil v r. 1985 Gazzaniga. V práci se však soustředil na laterální, funkční rozdíly mezi

stavbou a činností levé a pravé mozkové hemisféry, včetně leváctví a praváctví. Spolu s *Millerem* je *Gazzaniga* tvůrcem pojmu *kognitivní neurověda* (cognitive neuroscience) – ten prvně užili již v polovině 70. let minulého století.

Perret et al. (1989) objevil v rýze mezi horním a středním spánkovým závitem neurony odpovídající na biologické pohyby, například na pohyby očí. Uveřejnil fascinující studie dokazující, jak ovce či opice rozlišují členy své skupiny podle tváří a jak podle tváří rozlišují také příslušníky jiných druhů, například psy nebo prasata.

Brothersová et al. (1990A) našla v amygdale primátů neurony citlivé na sociální podněty. Z důsledků poškození amygdaly, očníkové kůry a dalších částí mozku včetně jejich spojů odvážně vyvodila hypotézu sociálního mozku coby neuronální sítě (*Brothers*, 1990B).

Dunbar (1992) formuloval *hypotézu sociálního mozku* vysvětlující velikost mozku primátů a lidí počtem a kvalitou sociálních interakcí. *Dunbar* a jeho spolupracovníci dokazují, že velikost mozku lidí včetně primátů odpovídá velikosti jejich sociálních skupin a složitosti vztahů mezi členy skupiny.

Cacioppo a Bernston (1992) použili pojem *sociální neurověda* k prvním pokusům o vysvětlování sociálních jevů v neuronální terminologii.

Klein et al. (1996) předjímal rozsáhlý výzkum jáství a jeho význam pro sociální, kognitivní a afektivní neurovědu popisem sebe-poznávání v kazuistickém případě amnézie. Jako jeden z prvních se dotkl neuronálních podkladů toho, čemu lidé říkají „to jsem já“, případně „to je moje duše“ v době, kdy s tímto tématem nechtěl mít nikdo z neurovědců nic společného (*Koukolík*, 2012E).

Mentalizaci (theory of mind) u lidí popsal *Fletcher et al.* (1995). Mentalizace je v plně vyvinuté podobě zřejmě čistě lidská schopnost. Umožňuje rozlišovat, že druhý člověk, obecněji „agent“, není věc, ale má niterné stavy, na základě nichž se chová.

Zrcadlové neurony (mirror neurons) se objevují r. 1996 v práci *Rizzolatiho et al.* (*Rizzolati*, 1996). Přišlo se na ně náhodou při výzkumu hybné kůry opičky makaka. Popisuje se, že makak seděl v laboratoři a měl v této korové oblasti zavedenou mikroelektrodu sledující její činnost. Do laboratoře vstoupil badatel se zmrzlinou v ruce, rukou pohyboval. V tu chvíli mikroelektroda mozku ohlásila také činnost makakovy ruky, přestože byla jeho ruka napohled v klidu. Opice a lidé, jak dokázal další výzkum, mají v mozku systém, jehož neurony „zrcadlí“ činnost mozkových neuronů pozorovaného člověka nebo „agenta“. Předpokládá se, že činnost těchto neuronů mohla být podkladem vývoje jazyka a empatie.

Panksepp (1998) a *Le Doux* (2000) jsou vůdčí představitelé současné *afektivní neurovědy*, která navázala na déle než stoletý teoretický, experimentální i klinický výzkum (tab. 1.1). Prokázali, jak neuvěřitelně se podobá činnost „citového mozku“ zvířat a lidí, jak mnoho existuje v tomto ohledu společných jmenovatelů.

Tab. 1.1 Výzkum vztahu emocí a sociálního života k mozku 1868–2004
(dle Dahlgleish, 2004)

1868	Harlow popsal důsledky poškození mozku pacienta Phinease Gagea
1872	Darwin: The expression of emotions in man and animals
1884	James: viscerální teorie emocí
1885	Lange: viscerální teorie emocí
1912	Mills: emoce jsou vázány na pravou mozkovou hemisféru
1931	Cannonova-Bardova talamická teorie
1937	Papezův model: těžištěm funkčního systému emotivity je cingulární kůra integrující informace smyslových a asociačních korových oblastí s informacemi podkoří prostřednictvím Papezova obvodu
1937	Klüver a Bucy popsal důsledky temporální lobektomie u opic
1943	Hess a Brugger: záznamy činnosti jednotlivých neuronů hypotalamu
1949	MacLeanův model: těžištěm funkčního systému emotivity je hipokampus integrující informace ze zevního prostředí s informacemi z prostředí vnitřního
1956	Weiskrantz popisuje důsledky ablace amygdaly u opic Schneirlův model emocí jako přiblížení a stažení se
1970	Pribram a Nauta předkládají ranou podobu hypotézy somatických markerů
1975	Mandler uveřejňuje knihu <i>Man and his emotions</i>
1980	Zajonc argumentuje ve prospěch emocí bez kognice
1980	Gray uveřejňuje <i>The Neuropsychology of anxiety</i> Lazarus argumentuje ve prospěch emocí jako podoby kognice
1981	Ekman et al.: autonomní odlišování základních emocí
1986	<i>Le Doux</i> : vztah amygdaly a podmiňování strachu
1991	Damasio et al.: hypotéza somatických markerů

1992	Panksepp: pojem afektivní neurověda
1994	Adolphs et al.: narušené poznávání emocí ve výrazu tváří v důsledku oboustranného poškození amygdal
1996	Cahill et al.: význam amygdaly pro konsolidaci emoční paměti
1996	Phillips et al.: insula je neuronální substrát vnímání výrazu hnusu v lidské tváři
2000	Damasio et al.: podkladem různých emocí je činnost různých částí mozku Phelpsová: implicitní postoje. Neuvědomujeme si je, přitom mohou značně ovlivnit naše chování. Příkladem jsou rasové a politické předsudky
2001	Haidt et al.: odpověď amygdaly na emoční podněty je funkce variací genu pro serotoninový transportér Greene et al. uveřejnil studii zabývající se morálním rozhodováním. Byl to fascinující objev řešící problematiku, která byla doménou morálních filosofů Lambie a Marcel: teorie vědomé emoční zkušenosti
2002	Ochsner se zaměřil na regulaci emocí
2003	Eisenbergová v neuronálních pojmech popsala důsledky sociálního odmítnutí Sanfey uveřejnil studii popisující neuronální podklady spravedlivého rozhodování
2004	Singerová ukázala, co se děje v mozku při empatické interakci

Phelpsová popsala r. 2000 *implicitní postoje*. To jsou takové postoje, které si neuvědomujeme, a které přitom mohou rozsáhle ovlivnit naše chování. Příkladem jsou třeba implicitní rasové předsudky.

Ochsner a Lieberman (2001) zavedli pojem *sociálně kognitivní neurověda*.

Greene et al. (2001) uveřejnil studii zabývající se *morálním rozhodováním*. Byl to fascinující objev řešící problematiku, která byla do té doby doménou morálních filosofů. Při výzkumu užil morální dilemata.

Ochsner et al. (2002) se zaměřil na *regulaci emocí*.

Kelley et al. (2002) se zabýval jástvím, navázal na Kleinovu (1996) práci.

Eisenbergová et al. (2003) popsala v neuronálních pojmech důsledky *sociálního odmítnutí*. Nevědli byste, jakou bouří dokáže sociální odmítnutí v lidském mozku vyvolat. V důsledku může vést až k depresi i sebevraždě.

Sanfey et al. (2003) uveřejnil základní studii zabývající se neuronálními podklady *spravedlivého rozhodování* (fairness). Z behaviorální ekonomie začala vznikat neuroekonomie: ukazuje, co se děje v mozku lidí a zvířat při ekonomických rozhodnutích. Rozsáhle využívá teorii her.

Činnost mozku v průběhu *empatické interakce* byla publikována r. 2004 *Singerovou et al.* Další oblast zkoumaná psychologii začala dostávat neuronální podklady.

Prudký vývoj poznání *neuronálních podkladů morálního, ekonomického, politického i náboženského rozhodování a chování*, který lze zaznamenat od prvních let našeho tisíciletí, se zrychluje. *Současná sociální, kognitivní a afektivní neurověda* se snaží vysvětlit chování na třech úrovních analýzy (Ochsner, 2007):

1. Sociální úroveň popisuje prožívání (experience) a chování jedince v daném kontextu, zabývá se například otázkou, jak daný člověk vnímá sociální cíl, jak vypadá jeho interakce s takovým cílem.
2. Kognitivní úroveň popisuje psychologické procesy, které jsou podkladem zkoumaného prožívání a chování v pojmech zpracovávání informace. Slovo *kognitivní* je v této souvislosti jen označením: mechanismy, z nichž vznikají sociální jevy, jsou nazývány kognitivními, afektivními nebo motivačními podle toho, o jaké sociální jevy se jedná.
3. Neuronální úroveň popisuje stavbu a činnost neuronálních systémů, které jsou podkladem psychologických procesů, z nichž se rodí sociální jevy (Cunningham et al., 2004).

1.3 VÝZKUMNÉ METODY A VÝKLAD VÝSLEDKŮ

Výzkumné metody kognitivní, sociální a afektivní neurovědy jsou vědecky i technicky náročné. V různém rozsahu a s různými současnými limity odpovídají na tři okruhy otázek:

1. Jaké neuronální systémy jsou podkladem zpracovávání osobnosti a sociálních procesů v lidském mozku?
2. Překrývají se tyto systémy strukturálně a/nebo funkčně se systémy, které osobnost a sociální procesy nezpracovávají natolik, že je rozlišení obtížné?
3. Existují neuronální systémy, které se zpracovávání osobnosti a sociálních informací v lidském mozku věnují výlučně, tedy systémy této činnosti *dedikované*?

Současné studie užívající *funkční magnetickou resonanci* (fMRI) v sociální neurovědě postupují ve třech stupních:

- a) čištění dat, a to ve čtyřech krocích
- b) předběžné zpracování dat v sedmi krocích
- c) analýza dat ve třech krocích.

Základní výhodou fMRI je přesné určení topografie změn, nevýhodou je horší určování jejich průběhu v čase. Určení průběhu změn činnosti mozku v čase vylepšují současné *elektroencefalografické metody včetně metod pracujících s kognitivními (event-related) potenciály* (přehled Berkman a Falk, 2013). Méně je využívána *magnetoencefalografie* (MEG). Ta časově rozlišuje v milisekundách. Změny magnetického pole odpovídají postsynaptické aktivitě neuronů. Prostorové rozlišování je horší.

Při výkladu výsledků je prospěšné mít na mysli následující okruhy problémů:

1. Usuzování z psychologické proměnné na neuronální proměnnou by mělo být co nejstrážlivější. Jestliže se rozeběhne psychologický proces A a přitom se v mozku aktivuje oblast X, lze soudit na souvislost. Ta však nemusí být kauzální. Snadno a někdy mylně lze usuzovat v opačném směru: jestliže se aktivuje v mozku X, odpovídá tomu psychologický proces A.
Proces A totiž nemusí být jediný proces, který aktivuje X.
Mozek je soubor konektomů, které mají řadu společných uzlů, takže platí, že velký počet psychologických procesů aktivuje velký počet neuronálních oblastí a opačně. Příkladem je aktivace insulární kůry, která odpovídá řadě odlišných psychologických procesů. Výhodnější než pracovat s jedinou oblastí může být pracovat s konektomem. Například ventromediální prefrontální kůru podobně jako insulární aktivuje řada odlišných úloh. Jestliže se její aktivita sleduje společně s aktivitou striata a ventrální tegmentální oblasti, půjde o aktivitu spjatou s odměnou.
2. Nedávná kritika zobrazovacích metod užívaných sociální neurovědou mluvila o příliš vysokých korelacích, považovala je za falešné (spurious; Vul et al., 2009). Kritiku však lze považovat za vyvrácenou (Berkman et al., 2014).
3. Je nutné hledat rovnováhu mezi experimentální a ekologickou, v přirozeném prostředí zjišťovanou validitou zjištěných skutečností (Brewer a Crano, 2014).
4. Důležitá je replikace výsledků: spolehlivost výsledků metodou test-retest je vysoká jak pro jednotlivé skenery, tak mezi různými skenery. Na druhé straně existuje dosti značná variabilita poměru signál/šum, v procentech proměny signálu, a prostorové normalizace jak mezi skenery, tak mezi vyšetřovanými jedinci. Je tedy obtížné určit, zda je daný voxel jednoho subjektu v přesně stejné oblasti mozku jiného subjektu. (Pojem voxel označuje částici objemu představující hodnotu v pravidelné mřížce třídimenzionálního prostoru.)

I v případě topografické totožnosti mohou různí lidé aktivovat danou oblast v různé míře. Je nutné mít stále na mysli, že se mozky jednotlivých lidí od sebe odlišují analogicky jako jejich otisky prstů. Většina sociálních neurovědců se však spíše než o replikaci topografie voxelů zajímá o konektomy.

5. Významná je znalost příčin vysoké variability dat: výsledky řady úloh v sociální neurovědě mají vysokou variabilitu jak při novém testování jedince, tak mezi jedinci, tedy intrasubjektivní i intersubjektivní. Jednou z příčin je manipulace s abstraktními pojmy, které mají osobní náplň. Příkladem mohou být emoční reakce na chování druhých lidí. Strategie řešení těchto problémů je u různých lidí různá. Řešení sociálních problémů zahrnuje řadu procesů, které lze současnými metodami na neuronální úrovni odlišovat jen obtížně. I při nejpocitivějším popisu subjektivních stavů platí, že řada jejich neuronálních podkladů běží mimo dosah vědomé pozornosti.
6. Vizualizované výsledky zobrazovacích metod jsou přitažlivé pro vědce, studenty, novináře i veřejnost. Studenti považovali práce doprovázené obrázky z těchto metod za vědecktější než ty, které byly doprovázeny totožnými výsledky jen v topografické mapě. Mluví se o „svůdném lákání“.
7. Korelace a předpověď v tradičních studiích plynuly ze vztahu dat zjištěných vyšetřením činnosti mozku chápaných jako kritérium, prediktorem byly podmínky úlohy. V současnosti se vědci snaží o předpovědi v reálném světě. Tradiční uspořádání experimentů a způsoby analýzy na tuto úlohu nestačí. Aktivace konektomů začíná být chápána jako nezávislá proměnná předpovídající chování a prožívání mimo skener. Tomuto přístupu se říká *mozek jako prediktor* (Berkman a Falk, 2013). Experimenty nejprve určí druh aktivace, poté z něj vyvodí pravděpodobné chování v reálné situaci. Tímto způsobem byl kupříkladu zjištěn vztah mezi mírou aktivace nevelké korové oblasti přední vnitřní plochy mozku v průběhu experimentálního sociálního vyloučení a růstem rizika deprese u adolescentů (Masten et al., 2011).
8. Představa, že zobrazovací metody budou „číst“ myšlenky, resp. bezpečně rozlišit lhaní, je v současnosti nerealná (Koukolík, 2012).

SOUHRN

Mezi prvními na světě dokazovala u primátů a lidí existenci metaforického sociálního mozku coby systému specializovaného pro řešení sociálních problémů Leslie Brothersová (1990). Stavbu a činnost sociálního mozku popisuje sociální, kognitivní a afektivní neurověda. Je to interdisciplinární směr výzkumu, který se snaží vysvětlovat sociální jevy v poloze chování a prožívání, a to na všech úrovních studovaných neurovědou, od genů přes neurony po konektomy – neuronální síť velkého rozsahu. Je dobré mít na paměti, že přísné oddělování sociálních informací od informací kognitivních, afektivních informací plynoucích z dané kultury a historie, je možné jen didakticky, případně v průběhu úzce vymezeného experimentu. Ve skutečnosti jsou všechny tyto informace proměnné veličiny jednoho celku a vzájemně se ovlivňují.

Evoluční psychologové jsou naproti tomu přesvědčeni, že lidský mozek je souborem „orgánů“, „nástrojů“, „modulů“ určených k řešení opakovaných adaptivních problémů – těch, na jejichž řešení závisí přežití a rozmnožování a s nimiž se setkávali už naši paleolitičtí předkové.

„Modulus“ je abstraktní pojem: má být víceméně oddělen od ostatních modulů. To je základní rozdíl vůči konekcionistickému chápání funkční architektury mozku. Adaptivních problémů byl a je velký počet, přičemž úspěšné řešení jednoho problému nemusí znamenat úspěšné řešení jiného.

Typickými adaptivními problémy byly například vyhledávání a složení potravy, výběr pohlavních partnerů, volba habitatu neboli místa obsahujícího potravní zdroje a možnost úkrytu, rodičovské investování do potomků, příbuzenské vztahy (čím vyšší míra genetického příbuzenství, tím vyšší míra „investic“), vztahy ke členům vlastní skupiny a kooperace (detekce tzv. podrazáků a černých pasažérů), výběrová agrese (spouštěcí mechanismy násilných konfrontací), vnitroskupinová hierarchie (eliminace rivalů, zvládání vztahu nadřazenosti a podřízenosti).

Diskuse o spíše síťové nebo spíše modulární funkční architektuře mozku se vede již téměř 200 let.

U zrodu sociální, kognitivní a afektivní neurovědy stojí popis pacienta Phinease Gagea z poloviny 19. století. Následuje Alportova Sociální psychologie (1924), Klüver-Bucyho syndrom, experimenty Harlowovy skupiny a vznik teorie vazby. V 80. letech minulého století výzkum z několika důvodů stagnoval, přesto se objevovaly vynikající klinicko-anatomické kazuistiky. Zlomem se stalo využití zobrazovacích metod. Současná sociální, kognitivní a afektivní neurověda se snaží vysvětlit chování na

třech úrovních analýzy: 1. sociální úroveň popisuje prožívání (experience) a chování jedince v daném kontextu. Zabývá se například otázkou, jak daný člověk vnímá sociální cíl, jak vypadá jeho interakce s takovým cílem. 2. Kognitivní úroveň popisuje psychologické procesy, které jsou podkladem zkoumaného prožívání a chování v pojmech zpracovávání informace. Slovo kognitivní je v této souvislosti jen označením: mechanismy, z nichž vznikají sociální jevy, jsou nazývány kognitivními, afektivními nebo motivačními podle toho, o jaké sociální jevy se jedná. 3. Neuronální úroveň popisuje stavbu a činnost neuronálních systémů, které jsou podkladem psychologických procesů, z nichž se rodí sociální jevy.

Výzkumné metody kognitivní, sociální a afektivní neurovědy jsou vědecky i technicky velmi náročné. V různém rozsahu a v různých ohledech limitovány odpovídají na tři okruhy otázek:

1. Jaké neuronální systémy jsou podkladem zpracovávání osobnosti a sociálních procesů v lidském mozku?
2. Překrývají se tyto systémy strukturálně a/nebo funkčně se systémy, které osobnost a sociální procesy nezpracovávají natolik, že je rozlišení obtížné?
3. Existují neuronální systémy, které se zpracovávání osobnosti a sociálních informací v lidském mozku věnují výlučně, tedy systémy této činnosti dedikované?

LITERATURA

- Adolphs, R.: The social brain: neural basis of social knowledge. *Annu Rev Psychol* 2009; 60, s. 693–716.
- Allport, F. H.: *Social Psychology*. New York, Houghton Mifflin 1924.
- Berkman, E. T. – Falk, E. B.: Beyond brain mapping: Using neural measures to predict real-world outcomes. *Current Directions in Psychological Science*, 2013; 22, s. 45–50.
- Berkman, E. – Cunningham, W. A. – Lieberman, M. D.: Research Methods in Social and Affective Neuroscience. In: *Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology: Second Edition*. Eds. Reis, H. R. – Judd, Ch. M., Cambridge University Press 2014, s. 123–158.
- Bowlby, J.: *Attachment and loss*. Vol I. (2nd ed.) New York, Basic Books 1982, 1999.
- Bowlby, J.: *Separation: anger and anxiety*. *Attachment and loss*. Vol. 2. London, Hoggarth 1973.
- Bretherton, I.: The origins of attachment theory: John Bowlby and Mary Ainsworth. *Developmental Psychology* 1992; 28, s. 759–775.
- Brewer, M. B. – Crano, W. D.: Research design and issues of validity. In: *Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology: Second Edition*. Eds. Reis, H. R. – Judd, Ch. M., Cambridge University Press 2014, s. 11–27.

- Brothers, L. – Ring, B. – Kling, A.: Response of neurons in the macaque amygdala to complex social stimuli. *Behav. Brain Res.* 1990 A; 41, s. 199–213.
- Brothers, L.: The social brain: a project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain. *Concepts Neurosci* 1990 B; 1, s. 27–51.
- Cacioppo, J. T. – Bernston, G. G.: Social psychological contributions to the decade of the brain. *Doctrine of multilevel analysis. Am. Psychol.* 1992; 47, s. 1019–1028.
- Cunningham, W. A. – Raye, C. L. – Johnson, M. K.: Implicit and explicit evaluation: fMRI correlates of valence, emotional intensity, and control in the processing of attitudes. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004; 16, s. 1717–1729.
- Dahlgreish, T.: The emotional brain. *Nature Review Neuroscience* 2004; 5, s. 582–589.
- Damasio, H. – Grabowski, T. – Frank, R., et al.: The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science* 1994; 264, s. 1102–1105.
- Dunbar, R. M.: Neocortex size as a constraint on group size in primates. *J. Hum. Evol.* 1992; 20, s. 469–493.
- Eisenberger, N. I. – Lieberman, M. D. – Williams, K. D.: Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science* 2003; 302, s. 290–292.
- Fletcher, P. C. – Happé, F. – Frith, U., et al.: Other minds in the brain: a functional imaging study of „theory of mind“ in story comprehension. *Cognition* 1995; 57, s. 109–128.
- Gazzaniga, M. S.: *The Social Brain*. New York, Basic Books 1985.
- Giddens, A.: *Sociologie*. Praha, Argo 2005, přel. Jan Jařab, 1999.
- Gong, G. – He, Y. – Concha, L., et al.: Mapping anatomical connectivity patterns of human cerebral cortex using in vivo diffusion tensor imaging tractography. *Cerebral Cortex* 2009; 19, s. 524–536.
- Gotts, S. J. – Kyle Simmons, W. – Milbury, L. A., et al.: Fractionation of social brain circuits in autism spectrum disorders. *Brain* 2012; 135, s. 2711–2725.
- Greene, J. D. – Sommerville, R. B. – Nystrom, L. E., et al.: An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science* 2001; 293, s. 2105–2108.
- Harlow, H. F. – Harlow, M.: Social deprivation in monkeys. *Sci Am* 1962, 207, s. 136–146.
- Kelley, W. C. – Macrae, C. N. – Wyland, C. L., et al.: Finding the self? An event-related fMRI study. *J. Cogn. Neurosci.* 2002; 14, s. 785–794.
- Kennedy, D. P. – Adolphs, R.: The social brain in psychiatric and neurological disorders. *Trends in Cognitive Sciences* 2012; 16, s. 559–572.
- Klein, S. B. – Loftus, J. – Kihlstrom, J. F.: Self-knowledge of an amnesic patient: toward a neuropsychology of personality and social psychology. *J Exp Psychol* 1996; 125, s. 250–260.
- Klüver, H. – Bucy, P.: Preliminary analysis of functions of the temporal lobes in monkeys. *Archives of Neurology and Psychiatry* 1939; 42, s. 979–1000.
- Koukolík, F.: *Základy kognitivní, afektivní a sociální neurovědy XXII*. Freud 2012. *Prakt Léč* 2012; 92, s. 431–436.
- Koukolík, F.: Zrakové poznávání. Sluchové poznávání. Taktilní poznávání. In: *Lidský mozek. Funkční systémy. Norma a poruchy*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Praha, Galén 2012 A, s. 29–116.
- Koukolík, F.: Emoce. In: *Lidský mozek. Funkční systémy. Norma a poruchy*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Praha, Galén 2012 B, s. 257–316.
- Koukolík, F.: Pacient Phineas Gage. In: *Lidský mozek. Funkční systémy. Norma a poruchy*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Praha, Galén 2012 C, s. 353.

- Koukolík, F.: Případ pana Weinsteina. In: Nejspanilejší ze všech bohů. Praha, Karolinum 2012 D, s. 41–87.
- Koukolík, F.: Já. O mozku, vědomí a sebevědomování. Praha, Karolinum 2012 E.
- Koukolík, F.: Rodiče a děti. In: Češi. Proč jsme, kdo jsme – a jak dál? Praha, Galén 2014.
- Le Doux, J. E.: Emotion circuits in the brain, *Annu Rev Neurosci* 2000; 23, s. 155–184.
- Masten, C. L. – Eisenberger, N. I. – Borofsky, L. A., et al.: Subgenual anterior cingulate responses to peer rejection: A marker of adolescents' risk for depression. *Development and Psychopathology* 2011; 23, s. 283–292.
- Ochsner, K. N. – Lieberman, M. D.: The emergence of social cognitive neuroscience. *Am. Psychol.* 2001; 56, s. 717–734.
- Ochsner, K. N. – Bunge, S. A. – Gross, J. J., et al.: Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *J Cogn Neurosci* 2002; 14, s. 1215–1229.
- Ochsner, K. R.: Social cognitive neuroscience: historical development, core principles, and future promise. In: Kruglanski, A. – Higgins, E. T. (eds.), *Social Psychology: A Handbook of Basic Principles*. 2nd ed. Guilford Press 2007, s. 39–68.
- Panksepp, J.: *Affective neuroscience. The foundations of human and animal emotions*. New York, Oxford University Press 1998.
- Perrett, D. I. – Harries, M. H. – Bevan, R., et al.: Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and action. *J Exp Biol.* 1989; 146, s. 87–113.
- Phelps, E. A. – O'Connor, K. J. – Cunningham, W. A., et al.: Performance on indirect measures of race evaluation predicts amygdala activation. *J Cognitive Neuroscience* 2000; 12, s. 729–738.
- Rizzolatti, G. – Fadiga, L. – Fogassi, L., et al.: Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn. Brain Res.* 1996; 3, s. 131–141.
- Sanfey, A. G. – Rilling, J. K. – Aronson, J. A., et al.: The neural basis of decision-making in the ultimatum game. *Science* 2003; 300, s. 1755–1758.
- Singer, T. – Seymour, B. – O'Doherty, J., et al.: Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science* 2004; 303, s. 1157–1162.
- Sporns, O. – Tononi, G. – Kotter, R.: The human connectome: a structural description of the human brain. *PLoS Comput Biol* 1: e42, 2005.
- Strogatz, S. H.: Exploring complex networks. *Nature* 2001; 410, s. 268–276.
- Tian, L. – Wang, J. – Yan, C. – He, Y.: Hemisphere- and gender-related differences in small-world brain networks: A resting-state functional MRI study. *Neuroimage* 2011; 54(1), s. 191–202.
- Vul, E. – Harris, C. – Winkelman, P., et al.: Puzzlingly high correlations in fMRI studies of emotion, personality, and social cognition. *Perspectives on Psychological Science* 2009; 4, s. 274–290.

Wikipedie (konektom)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Connectome>

Wikipedie (informace)

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Informace>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Information>

V této a většině dalších kapitol se budeme potkávat s pojmem evoluce a pojmy odvozenými. Pokusím se připomenout několik základních skutečností.

Gravitace je vědecký fakt.

Stejným vědeckým faktem je biologická evoluce.

Jestliže výkladem gravitace je obecná teorie relativity a možná jím bude M teorie (Greene, 2006), výkladem biologické evoluce je evoluční teorie. Bylo by možná přesnější mluvit o evolučních teoriích. Jím mám na mysli půlstoletý vývoj, který následoval po r. 1959, kdy se uzavřela neodarwinovská syntéza.

Každá vědecká teorie je totiž ve vývoji. Právě těmito proměnami a vývojem se věda liší od dogmatického kánonu. Věda připomíná dům v trvalé přestavbě. Střety vědeckých teorií jsou plodná norma; střety vědeckých teorií s pseudovědeckými jsou nutná ztráta času. Překonání vědecké teorie představuje vývojový krok k lepšímu pochopení skutečnosti.

Příkladem je překonání newtonovské fyziky teorií relativity. Příkladem překonání neodarwinovské syntézy je vstup genomiky a epigenetiky do evoluční teorie. Genomika studuje genomy neboli celé genetické informace organismů. Epigenetika zkoumá, které signály ovlivňují genovou expresi.