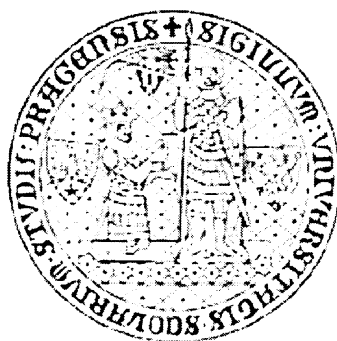


UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta
Katedra filosofie a dějin přírodních věd



Molekulární, neurokomputační a mentální kognice organismů

Diplomová práce

Lukáš Děd

Školitel: Doc. RNDr. Anton Markoš, CSc.

Praha 2007

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval na Katedře filosofie a dějin přírodních věd Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze samostatně pod odborným vedením doc. RNDr. Antona Markoše, CSc. a s použitím citované literatury.

V Praze dne10. 4. 2007.....

.....*Xubert Dea*.....

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli, docentu Antonu Markošovi za pomoc a cenné rady, které mi v průběhu psaní diplomové práce poskytl. Můj dík patří i všem ostatním členům Katedry filosofie a dějin přírodních věd. V neposlední řadě chci poděkovat i své rodině, za její podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

1. Cíle a metody práce.....	1
2. Úvod.....	3
2.1. Co je život?.....	3
2.2. Co je poznání?.....	4
2.3. Život jako poznávací proces.....	5
2.4. Tři poznávací domény v živých systémech.....	6
2.5. Molekulární kognice.....	7
2.6. Neurokomputační kognice.....	15
2.7. Mentální kognice.....	27
3. Paměť.....	33
3.1. Molekulární paměť.....	34
3.2. Neurokomputační paměť.....	35
3.3. Mentální paměť.....	37
3.4. Kvantifikace organických pamětí.....	37
4. Representace.....	44
4.1. Molekulární representace.....	45
4.2. Neurokomputační representace.....	48
4.3. Mentální representace.....	50
4.4. Časová dynamika organických representací.....	52
5. Percepce.....	59
5.1. Molekulární percepce.....	59
5.2. Neurokomputační percepce.....	63
5.3. Mentální percepce.....	66
5.4. Autoorganizace organické percepce.....	69
6. Diskuze	76
7. Závěr.....	80
8. Seznam literatury.....	82

1. Cíle a metody práce

Cílem této práce je teoretický rozbor kognitivních procesů probíhajících v živých systémech. Jak život, tak kognice lze jen velmi obtížně obecně definovat. V případě života je často uváděn výčet jeho jednotlivých atributů, které, pokud jsou současně přítomny v rámci jednoho komplexního systému, definují tento systém jako živý. Těmito vlastnostmi jsou především *specifické molekulární složení, metabolismus, reprodukce, autoorganizace, dědičnost, dráždivost a vývoj* (Campbell et al., 2004). Podobné problémy, které charakterizují snahy o definici života provázejí i snahy o obecnou definici kognice. I v tomto případě lze uvést příklad definice výčtem, kdy uváděnými vlastnostmi komplexního kognitivního systému mají být schopnost generovat procesy *paměti, učení, adaptace, percepce, reprezentace, komunikace* atd. (Albright, Neville, 1999).

Protože je rozmanitost životních forem obývajících planetu Zemi nesmírná, i kognitivní procesy, které pozemské živé systémy generují jsou ve svém souhrnu velmi různorodé. To samozřejmě činí obtíže při snahách o jejich teoretické uchopení. Tato práce se snaží překlenout metodologické problémy při studiu organické kognice tím, že teoreticky definuje tři její kategorie (domény): *molekulární, neurokomputační a mentální*.

Ustanovení těchto tří kognitivních kategorií (domén) v rámci organického světa má pak několik premis. V případě molekulární kognice je to fakt, že touto kognitivní doménou disponují všechny pozemské živé systémy a to bez výjimky, tj. systém který nedisponuje kognicí na molekulární úrovni může být kognitivní na úrovni strukturálně vyšší (např. neurokomputační), ale je diskvalifikován při zařazení do organického světa. Živé systémy se na Zemi objevily cca před 3,8 miliardami let (Mojžis, Arrhenius, McKeegan et al., 1996) a od této doby lze datovat kontinuitu organických molekulárních kognitivních procesů. V kontrastu s molekulární doménou, neurokomputační doménou organické kognice disponují pouze živočichové vybavení nervovou soustavou (NS). Vznik fenoménu organické neurokomputační kognice lze tak datovat někam do období tzv. kambrické exploze před 545 miliony let (Gore, 1993). Konečně tato práce vychází z předpokladu, že mentálním typem kognice disponují všichni živočichové s vyvinutým koncovým mozkem. Vznik vědomí a tudíž i mentální kognitivní domény lze potom datovat někam do období před cca 470 miliony let, které je spjato se vznikem prvních obratlovců (Allman, 2000).

Obecným cílem práce je pak snaha o popis kognitivních a životních procesů probíhající v rámci jednotlivých, výše popsanych organických kognitivních domén (*molekulární, neurokomputační a mentální*).

Úvod (kapitola č.2) má za cíl čtenáře seznámit se základními definicemi života a kognice a popsat jejich vzájemný vztah. Následující části úvodu se pak již věnují historickým, metodologickým a teoretickým východiskům umožňujícím uchopení jednotlivých kognitivních domén.

Kapitola č.3 – Paměť je snahou o uchopení této kognitivní vlastnosti živých systémů na molekulární, neurokomputační a mentální úrovni organizace. Na příkladu paměti je také popsán problém kvantifikace poznávacích vlastností živých systémů.

Kapitola č.4 – Representace má za cíl popsat aspekty této kognitivní vlastnosti na zmiňovaných úrovních a jako byla v případě paměti popisována problematika kvantifikace organických kognitivních procesů, representace je podkladem pro rozbor problematiky časové dynamiky biologických poznávacích procesů.

Kapitola č.5 – Percepce je koncipována podobně jako dvě kapitoly předcházející a problematika organické percepce je navíc podkladem pro teoretické uchopení fenoménu autoorganizace v živých systémech.

Diskuze (kapitola č. 6) je snahou o syntézu předešlých kapitol a o nastínění obecného modelu organické kognice.

Závěr (kapitola č.7) je pak krátkým shrnutím výsledků celé práce.

2. Úvod

2.1. Co je život?

Co je život? Otázka, kterou se lidstvo snaží uchopit již po tisíce let. Teoretické chápání fenoménu života se vždy opíralo o soubor poznatků dané doby. Velký vědeckotechnologický rozmach v průběhu 20. století umožnil nashromáždit nesmírné množství dat o podstatě tohoto fenoménu.

Důležitými vlastnostmi živých systémů, které ho odlišují od neživého světa jsou jeho vlastnosti molekulární a byl to právě rozvoj „molekulových“ věd, který zásadně ovlivnil biologii v posledních dekádách. Odhalení struktury DNA, rozluštění genetického kódu, přečtení genomu, popis proteinových signálních drah, to jsou jedny z mnohých úspěchů molekulární biologie.

Stranou zájmu biologů však nezůstal ani vznik a rozmach počítačů a informatika jako taková zásadně ovlivnila vědy o životě ve dvou směrech. Prvním je zkoumání organismů a procesů v nich probíhajících pomocí počítače. Řadu biologických disciplín si bez užití digitálních technologií nelze vůbec představit¹. Druhým je uchopení organismů jakožto počítačů. Tento způsob zkoumání přináší od dob svého vzniku řadu plodných výsledků a oboustranně obohacuje zúčastněné disciplíny.

Konečně rozvoj technologií přispěl k lepšímu pochopení vztahu neurokomputačních a mentálních procesů probíhajících v lidském mozku.

Ačkoli, jak bylo zmíněno, množství informací o živých organismech rychle narůstá, sama teoretická podstata života je stále předmětem diskuze a jeho uchopení jakožto fenoménu nedoznává, jak ilustrují následující definice 20. století, tak dramatických změn jako jednotlivá odvětví, která ho popisují.

Život se jeví jako uspořádaný a zákonitý projev hmoty, který se nezakládá pouze na její tendenci směřovat od pořádku k chaosu, ale také na existujícím pořádku, který je udržován.

E. Schrödinger (1944)

¹ Např. bioinformatika, genomika atd. jsou disciplíny vzniklé v přímém kontextu s rozvojem počítačů.

Živé systémy jsou jednotky interakcí, které existují v prostředí. Z čistě biologického hlediska nemohou být pochopeny nezávisle od části prostředí, se kterou interagují – od niky. Podobně niku nemůžeme definovat nezávisle na živém systému, který ji specifikuje.

U. Maturana (1970)

Fyzikální systém lze popsat jako živý, je-li schopen transformovat energii/hmotu do interního procesu sebeúdržby a sebe reprodukce. Toto obecné povědomí, makroskopická definice, nachází svou obdobu na buněčné úrovni v představě autopoiesise. To vše můžeme zobecnit na popis všeobecné soustavy minimálního života včetně života umělého. V reálném životě je autopoietická síť reakcí regulována nukleovými kyselinami a s nimi spřaženými proteiny.

F. Varela (1996)

Z uvedených definic je patrné, že obrovská rozmanitost vlastností živých organismů neumožňuje jejich jednoduché teoretické uchopení. Naše formální modely vždy reflektují jen některé jejich aspekty, což je ostatně jejich účelem. Hledání jednotlících principů v obrovském množství poznatků, které generují jednotlivé vědecké disciplíny zabývající se životem je jedinečný úkol teoretické biologie.

2.2. Co je poznání?²

Co je poznání? Otázka do značné míry podobná té, ve které se ptáme po životě. Navzdory tomu, že je problematika kognitivních procesů objektem zájmu mnoha vědeckých disciplin, je obecná definice kognitivity stejně obtížná jako definice života. Následující konstatace jsou výběrem ze širokého okruhu možných uchopení problematiky poznání.

Kognitivní systém je systém, jehož organizace definuje doménu vztahů, ve které je schopen konat s ohledem na udržování sebe sama a kognitivní proces je aktuální (induktivní) konání či chování v této doméně.³

U. Maturana (1970)

² V této práci odpovídá termín poznání (poznávací) termínu kognice (kognitivní) a oba dva jsou ekvivalentní k anglickému „cognition“.

³ *A cognitive system is a system whose organization defines a domain of interactions in which it can act with relevance to the maintenance of itself, and the process of cognition is the actual (inductive) acting or behaving in this domain.*

Kognici lze charakterizovat spíše jako kontinuální komplexní proces, než jako ahistorickou způsobilost k logickým úkonům.⁴

A.Riegler (2001)

Velmi zjednodušeně lze shrnout, že pod pojmem kognitivní proces rozumíme takový proces, během něhož systém získává informace, tyto informace zpracovává a na jejich základě účelně modifikuje své další chování. Podstata procesů, které toto systémové chování podmiňují, může být velice rozmanitá. Rozdílná komplexita poznávacích procesů probíhajících v různých kognitivních systémech navíc umožňuje pod termín poznání zahrnout velmi širokou množinu jevů. Hledání jednotných principů, které jsou schopny uchopit poznávací procesy v tak rozdílných systémech, jako je třeba živá buňka a digitální počítač, je hlavní náplní kognitivní vědy.

2.3. Život jako poznávací proces

Jaký je vztah života a poznání? Jak život, tak poznání jsou obecné pojmy vztahující se k velmi široké škále jevů, které probíhají v tomto světě. Živé a kognitivní systémy mohou logicky být v několika teoreticky definovatelných vztazích. Jeden teoreticky plausibilní vztah je, že pokud je systém živý, nemusí být kognitivní. Živé organismy jsou však ve své podstatě schopny generovat širokou škálu procesů, které jsou aspekty systémů kognitivních. Otázka proto stojí spíše tak, jestli všechny, i ty nejjednodušší organismy jsou plnohodnotné poznávací systémy. Tato práce se drží následující teze:

Živé systémy jsou kognitivní systémy a životní proces je procesem poznávání. Toto tvrzení platí pro všechny organismy, s nervovým systémem i bez něho.

U. Maturana (1970)

Jsou-li však všechny živé systémy schopny poznání, neznamená to, že jejich kognitivní doména a komplexita kognitivních procesů je shodná. Kognitivní doména bakterie je jistě dramaticky odlišná od kognitivní domény člověka a jejich vzájemný vztah, je-li nějaký je nutno podrobit hlubšímu teoretickému rozboru.

⁴ *Cognition is characterized as a continuous complex process rather than ahistorical logical capability.*

Pokud je systém kognitivní, musí být zároveň i živý. Tato teze vylučuje z okruhu poznávacích systémů veškeré lidské technologické artefakty, zejména pak počítače, včetně systémů využívajících biologické systémy jako vzory svého chování, např. umělé neuronové sítě, či neuropočítače. Mnohé teorie poznávacích procesů však jdou ruku v ruce s rozvojem moderních technologií a ty pak stojí jako modely našim kognitivním teoriím. Tato práce se proto drží následující teze:

Systém může být kognitivní i pokud není živý, resp. pokud negeneruje všechny nezbytné aspekty životního procesu.

Pokud se však liší kognitivní procesy i uvnitř rodiny živých organismů, o kolik víc se mohou lišit poznávací procesy např. bakterie a počítače? Přesto tyto dva kognitivní systémy musí, alespoň na určité úrovni organizace, generovat procesy mající podobné aspekty, které je umožňují zařadit mezi kognitivní systémy.

2.4. Tři poznávací domény v živých systémech

Jelikož rozmanitost životních forem obývajících tuto planetu je nesmírná, i jejich kognitivní vztah k sobě a k okolnímu prostředí je velice rozmanitý. Pokud konstatujeme, že nějaký živý systém generuje kognitivní proces, jde o konstataci velice obecnou, která může zahrnovat libovolný organismus, který v daném okamžiku uskutečňuje svůj životní proces, bez ohledu na jeho strukturální a funkční komplexitu. Je jasné, že pro lepší teoretické uchopení poznávacích procesů probíhajících v organismech je nutné pojem kognice diverzifikovat a menší, více specifické domény. Tento postup samozřejmě se sebou přináší mnohá úskalí.

Prvním, nejpodstatnějším úskalím je zvolit kritérium, podle kterého budeme organickou kognici členit. To je úkol nesnadný, konečně, jedná o nejproblematictější krok většiny snah o systémové rozdělení určitého fenoménu. Častým řešením bývá zvolit kritérií hned několik, to však vede k větší složitosti vytvořeného teoretického modelu, který se stává obtížněji uchopitelný pro jeho interpretu.

V živých systémech se nabízí možnost třídit jejich kognitivní vlastnosti na základně jejich strukturální komplexnosti, v relaci čím komplexnější organismu – tím komplexnější kognitivní vlastnosti. Jelikož však neexistuje objektivní kritérium komplexity, zbývá třídit

živé systémy z tohoto hlediska spíše intuitivně. Při tomto způsobu třídění je možné se opřít o rozsáhlé množství vědeckých publikací a snažit se v nich vysledovat tendence, které umožňují rozdělit jednotlivé poznávací procesy v nich presentované do několika podskupin, které by v konečném důsledku byly sto obsáhnout celou organickou kognici, bez toho, aby splynuly v jeden nerozlišitelný celek.

Tato práce prezentuje tři úrovně (domény) kognice, které jsou vysledovatelné u živých systémů obávajících tuto planetu – molekulární, neurokomputační a mentální. Důvody pro výběr právě těchto tří úrovní jsou především jejich poměrně dobrá definovatelnost a odlišitelnost a pak především jejich dobrá zakotvenost ve vědecké literatuře, která umožňuje srovnání jejich jednotlivých stránek, které představuje přínos pro tvorbu a analýzu obecných koncepcí teoretické biologie a kognitivní vědy.

2.5. Molekulární kognice

Na problematiku poznání na molekulární úrovni lze nahlížet z několika úhlů pohledu. Tyto pohledy lze rozdělit do několika základních skupin, které se vzájemně liší jak přístupem k dané problematice, tak mírou vědeckosti, která je jim vlastní. Následující kapitola je pokusem o rozbor alespoň několika teoretických koncepcí, které jsou na poli molekulární kognice vysledovatelné.

1. Vitalismus

Vitalismus je myšlenkový směr, který jako takový zahrnuje dva názorově částečně odlišné proudy. Obou proudům je vlastní snaha o větší, či menší vymanění principů, na nichž je založeno fungování živých systémů z obecných fyzikálně-chemických zákonitostí, popř. hledání takových principů, které jsou specifické pro oblast života a neuplatňují se v anorganickém světě. Předpokladem prvního proudu je existence síly života (élan vital), která je kvalitativně odlišná od obecných fyzikálních sil a umožňuje živému organismu vymanit se v jistém smyslu z jejich působení. Tento proud je někdy nazýván metafyzický vitalismus a jeho nejvýznamnějším představitelem byl ve 20. století francouzský filosof Henri Bergson (1859-1941). Druhý proud je co se týče vymanění života z působení fyzikálních sil méně radikální a spíše relativizuje míru fyzikální determinace živých organismů, tj. vyzdvihuje míru svobody a volnosti, které se živým systémům dostává v mezích fyzikálních

zákonitostí. Tato forma vitalismu se někdy označuje jako vitalismus vědecký. Jeho hlavním představitelem byl Hans Driesch (1867 - 1941), který organismům přisuzoval další přírodní sílu, tzv. entelechii⁵, která je organickým dodatkem obecných sil fyzikálních. Ačkoli entelechie nebyla obecně přijata, je v dnešní době při popisu vlastností živých systémů, které jsou odlišné od neživé hmoty v podstatě zastoupena jinými podobnými koncepty, jako je komplexita a či schopnost strukturální a funkční samoorganizace.⁶

Pokud jde o předmět metafyzického vitalismu do modelu molekulární kognice, současnému vědeckému paradigmatu jsou zřejmě nejvzdálenější ty koncepce, které přisuzují *exkluzivní* kognitivní schopnosti jednotlivým molekulám a to právě těm, které jsou přítomné v živých systémech, přičemž *stejně* molekuly stojící mimo živý systém těmito schopnostmi nedisponují. Důležitým tvrzením předcházející věty je, že se jedná o vlastnost exkluzivní, tj. nezávislou na způsobu interakce dané molekuly s okolním molekulárním prostředím. Do této koncepce někteří, především neopozitivisticky smýšlející badatelé zařazují některé, z jistého pohledu kontroverzní disciplíny jako je homeopatie či aromaterapie. Na rozdíl od metafyzického vitalismu se vitalismus vědecký, oproštěný od koncepcí typu entelechie v současné biologii částečně etabloval, přičemž jeho hlavním přínosem při studiu molekulárních kognitivních procesů je důraz na molekulární komplexitu živých systémů, která jim umožňuje v rámci obecných fyzikálních principů generovat komplexní a často překvapivé formy chování, které organismy kvalitativně odlišují od anorganického světa.

2. Molekulární neurobiologie

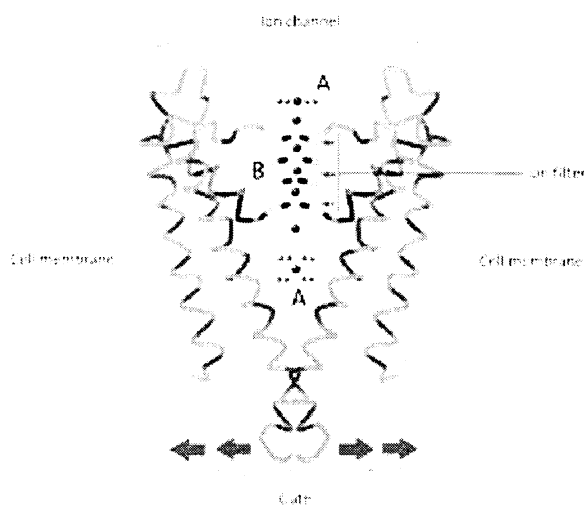
Skutečným opakem vitalismu⁷, co se týče etablovanosti ve vědecké komunitě je molekulární neurobiologie. Jedná se o obor poměrně mladý a jeho počátky lze datovat zhruba do první poloviny 20. století. Ve 30. letech 20. století vycházejí první práce zabývající se sloučeninami, které byly později nazvány neurotransmitery a které hrají klíčovou úlohu při přenosu informace mezi jednotlivými buňkami nervového systému. Tvorba chemických analogů neurotransmiterů pak v průběhu 20. století jednak umožnila velký pokrok při léčbě nejruznějších psychických onemocnění a navíc užití různých chemických látek s funkcí neurotransmiterů a neuromodulátorů znamenalo průlom při studiu molekulárních procesů podmiňujících kognitivní procesy v NS. Další důležitým počinem molekulární neurobiologie

⁵ Volně přeloženo „to co má smysl samo o sobě“.

⁶ Podobně jako u entelechie je problémem komplexity a podobných veličin jejich obtížná kvantifikace, umožňující zpravidla jen jejich ordinární měření s nejistou biologickou plausibilitou.

⁷ Především pak metafyzického.

bylo objevení iontových kanálů (obrázek č.1), tj. membránových proteinů, které fungují jako specifické iontové výměníky a v NS umožňují vznik a propagaci akčního potenciálu, který je nositelem neurokomputační informace v NS. Existenci iontových kanálů předpověděli ve své průlomové práci roku 1952 již Hodkin a Huxley , jejich existenci však prokázali až Erwin Neher a Bert Sakmann za pomoci metody terčíkového zámku. Konečně rozvoj molekulárně – genetických metod především v posledních dekádách 20. století umožnil studium molekulárně – genetického podmínění nejrůznějších procesů majících vliv na kognitivní funkce člověka a ostatních živočichů.



Obrázek č.1 - Schéma molekuly iontového kanálu, zobrazující jeho dvě proteinové podjednotky zanořené do cytoplasmatické membrány. Principles of neural science, 2000.

Skutečnost, že neurobiologické chápání konceptu molekulární kognice je nejčastější⁸ však přináší některé problémy. Nejvýznamnějším je fakt, že ačkoli je v názvu použito sousloví molekulárně – kognitivní, není zcela zřejmé, že jsou to právě molekuly, které jsou v daném případě nositelky kognitivních funkcí. Poznávací procesy odehrávající se v nervovém systému živočichů můžeme lze teoreticky rozdělit na molekulární, neurokomputační a mentální. Zde se však molekulární kognice nechápe jako svébytný typ poznání obecně, ale spíše (či zcela) jako molekulární substrát neurokomputačních a mentálních poznávacích procesů. To znamená, že články pojednávající o molekulární kognici tak, jak je chápána neurobiologicky, pojednávají o funkci jednotlivých molekul a skupin

⁸ Při zadání klíčového slovního spojení „molecular cognition“ v internetovém vyhledávači se na prvních místech objeví právě odkazy na neurobiologické uchopení molekulární kognice.

molekul (zejména neurotransmiterů, neuromodulátorů, iontových kanálů) při kognitivních procesech probíhajících na vyšších (zejména neurokomputačních) strukturálních úrovních.

3. Kognitivní biologie

Z hlediska vědecké etablovanosti a především míry pozornosti, které se těší ve vědecké komunitě stojí přístup kognitivní biologie k molekulární kognici někde mezi vitalismem a molekulární neurobiologií. Stručné shrnutí její koncepce nabízí následující citace:

Kognitivní biologie sleduje syntézu poznatků z vícero vědeckých disciplín v rámci jednotného chápání života jako epistémického rozvinutí vesmíru (epistémický princip).

L. Kováč (2007)

Pokud by měl být formulován její vztah k již zmíněným teoretickým konceptům, pak je jasné, že kognitivní biologii není vlastní jak metafyzický koncept vitalismu, který do biologie vnáší vědecky těžko uchopitelné formulace, tak koncepce molekulární neurobiologie, která sice molekulární kognici molekul uchopuje vědecky, ale redukuje ji na pouhý prostředek podmiňující kognici neurokomputační a mentální.

Autopoiese a molekulární kognice

Koncepce autopoiese (obrázek č.2) a kognice formulovaná chilskými autory U.Maturanou a F. Varelou je významným milníkem v historii kognitivní biologie a někteří autoři ji považují přímo za první, zakládající koncepci oboru.

Pro zrod koncepce autopoiese pak bylo důležitých několik okamžiků. Celý koncept je v podstatě založen na existenci cirkulární organizace, které je vlastní všem živým systémům. Tuto hypotézu vyslovil U. Maturana r. 1970 na konferenci v Chicagu:

Nervový systém pracuje jako uzavřená síť vzájemných interakcí, v níž každá změna vzájemných vztahů mezi určitými složkami vyústí ve změnu interaktivních vztahů téže nebo jiné složky.

Maturana, (1970)

Tato teze se ještě týkala pouze popisu procesů probíhajících v živočišné nervové soustavě. Po roce 1970 začíná Maturana spolupracovat se svým bývalým studentem F. Varelou a společně, aby sjednotili své dosavadní koncepce, vytvářejí r. 1973 nový pojem – autopoiesis, který později definují následujícím způsobem:

Autopoietický stroj je stroj organizovaný (definovaný jako jednotka) jako síťový proces produkce (transformace a destrukce) komponentů, které: (i) skrze své interakce a transformace kontinuálně regenerují a realizují síť procesů (vztahů), které je produkují; a (ii) ustanovuje ho (stroj) o konkrétní jednotku v prostoru, ve které (její komponenty) existují pomocí ustanovení topografické domény její realizace jako takové sítě.⁹

U. Maturana (1970), Maturana, Varela (1980)



Obrázek č.2 – Umělecká metafora procesu autopoiese. M. Escher: Kreslící ruce, 1948.

Je možné si povšimnout, že autoři v definici požívají pojem stroj (machine), což by spíše naznačovalo, že se jedná o jednu z mechanistických koncepcí světa. Důvodem užití tohoto slova byla ale spíše snaha odlišit se od existujících konceptů metafyzického vitalismu. Pokud by totiž uvedená koncepce byla vnímána v tomto úhlu pohledu, dostalo by se jí zajisté jen vlažného přijetí ve vědecké komunitě.¹⁰ Autoři však v tomto smyslu jistě mechanisté nejsou jejich přístup lze označit spíše za systémový.

⁹ *An autopoietic machine is a machine organized (defined as a unity) as a network of processes of production (transformation and destruction) of components which: (i) through their interactions and transformations continuously regenerate and realize the network of processes (relations) that produced them; and (ii) constitute it (the machine) as a concrete unity in space in which they (the components) exist by specifying the topological domain of its realization as such a network.*

¹⁰ Podobný způsob „obraný“ své teorie pravděpodobně zvolil i J. Monod ve své knize Náhoda a nutnost. (1971).

Velký přínos pro ustanovení kognitivní biologie jako etablované vědecké disciplíny má pak práce, ve které se uvedení autoři věnovali teorii poznání v živých systémech. Jednou ze základních tezí je věta, původně publikovaná již v Maturanově díle z roku 1970:

Živé systémy jsou kognitivní systémy a životní proces je procesem poznání. Toto tvrzení platí pro všechny organismy, s nervovým systémem i bez něho.

U. Maturana (1970), Maturana, Varela(1980)

Toto tvrzení má pro kognitivní biologii velký význam, neboť se jím autoři distancují od chápání poznání jako čistě mentálního fenoménu, popř. fenoménu, který je vázán na živočišný nervový systém. Představa, že poznání je výlučnou schopností člověka (tzv. kognitivní antropocentrismus) nebo alespoň pouze živočichů s nervovou soustavou (tzv. kognitivní zoocentrismus) tak ztrácí, alespoň v rámci kognitivní biologie na významu a autoři tak otevírají nové pole výzkumu svébytných kognitivních procesů na molekulární a buněčné úrovni.

Koncepce gratuity J. Monoda

Jedním z významných představitelů moderní biologie, který svými myšlenkami zásadně přispěl ke koncepci molekulární kognice byl francouzský biolog a filosof J. Monod (1910 – 1976). Jeho nejvýznamnějším dílem je v tomto směru kniha Náhoda a nutnost (1971). V tomto díle, podobně jako Maturana s Varelou, zavádí nový, pojem, gratuity, který definuje takto:

Gratuita, tj. nezávislost, myšleno chemicky, mezi funkcí jako takovou a povahou řídicích chemických signálů, se uplatňuje u alosterických enzymů. V našem případě jedna a tatáž molekula proteinu má dvojí funkci: jako specifický katalyzátor a jako přenašeč chemických signálů. Jak jsme už ale poznali, alosterické interakce jsou nepřímé, protože se zakládají na rozpoznávacích vlastnostech mezi dvěma (či více) stavy, které jsou mu přístupné. Mezi substrátem alosterického enzymu a ligandy, kteří jeho aktivitu podněcují nebo zastavují, neexistuje žádný chemicky nutný vztah struktury nebo reaktivity. Zkrátka, specifičnost interakcí nemá se strukturou ligandů nic společného, nýbrž je funkcí struktury, kterou je protein schopen zaujmout, na struktuře, která je zase svobodně a libovolně diktována

strukturou genu. Z toho plyne, a tím se dostáváme k hlavnímu bodu, že u regulace alosterickou interakcí je možné všechno. Alosterický protein bychom neměli chápat jako specializovaný produkt molekulárního „inženýrství“, umožňující, aby se mezi látkami bez chemické afinity odehrála pozitivní či negativní interakce, čímž se nakonec nějaká reakce podřizuje zprostředkování látek, jež jsou si chemicky cizí a k této reakci netečné. Způsob, jakým alosterické interakce fungují, dovoluje tedy při „volbě“ regulací naprostou volnost. Tyto regulace, nepodrobené chemickým nárokům, budou o to citlivější k fyziologickým požadavkům, podle toho budou selektovány v té míře, do které buňce nebo organismu propůjčují vyšší provázanost a výkonnost. Slovem, sama gratuita těchto systémů, jež molekulární evoluci uděluje neomezené pole k průzkumu a experimentu, umožnila propracovat tu ohromnou síť kybernetických propojení, která každý organismus činí autonomní funkční jednotkou, a jejichž výkony se zdají přesahovat chemické zákony, ne-li úplně se jim vyhnout.

J. Monod, (1971)

Uvedená koncepce gratuity má několik zásadních průmětů do kognitivní biologie. Důležitým tvrzením v koncepci je, že *regulace alosterickou interakcí umožňuje vše*. Dalším, podobným tvrzením uvedeným v koncepci gratuity je :

Způsob, jakým alosterické interakce fungují, dovoluje tedy při „volbě“ regulací naprostou volnost.

Tato tvrzení mají klíčovou spojitost s teorií Santiago¹¹ U. Maturany a F. Varely, které má svůj původ ve studiu nervového systému, ale od svého počátku byla spojována i s koncepcí autopoiese. V teorii Santiago je přítomno následující tvrzení:

Živý systém je autonomní. Prostředí pouze spouští strukturální změny; nespecifikuje je ani neřídí. Naproti tomu organismus nejen specifikuje tyto strukturální změna, ale také určuje, které podněty z prostředí je spouští.

¹¹ Společné označení pro kognitivní koncepce obou autorů pojmenované podle hlavního města Chile.

Koncepce gratuity tak nabízí příležitost aplikovat teorii Santiago na molekulární úroveň organizace živých systémů. Dává totiž živému systému možnost na základě alosterických interakcí jeho proteinů libovolně regulovat, jakou reakci, resp. strukturální změnu přicházející podnět (molekula) v organismu vyvolá. A jelikož, opět dle teorie Santiago jsou *strukturální změny v systému v reakci na specifické podněty prostředí aktem poznání*, stává se Monodova gratuita jedním ze základních východisek kognitivní teorie na molekulární úrovni. Monodův popis gratuity obsahuje ještě jednu stěžejní myšlenku a to sice:

Výkon sítě kybernetických propojení organismu se zdá přesahovat chemické zákony nebo se jim úplně vyhýbá.

Tuto větu lze interpretovat dvěma způsoby. Prvním je, že se Monod stal v průběhu psaní své knihy vitalistou, který živým systémům přisuzuje vlastnosti, které jim umožňují vymanit se z působení chemických zákonů. Pravděpodobnější interpretací však je, že nahlédl obrovské množství specifických molekulárních procesů, které může živý systém v rámci daných přírodních zákonů generovat, přičemž to obrovské množství různorodých molekulárních stavů, kterými organismus prochází nevedou k jeho strukturální dezintegraci, jako je tomu mimo oblast života, tj. v anorganickém světě, ale naopak mu umožňují růst a zvyšovat svoji vnitřní uspořádanost na úkor okolního prostředí. V teorii Santiago jsou to právě kognitivní procesy, které toto „vzdorování chaosu“ a zvyšování komplexity umožňují.

Na druhou stranu je třeba uvést, že v Monodově díle se objevují i tvrzení, která by ho zařadila mezi nejtvrďší mechanisty:

Celý systém je tedy naprosto a hluboce konzervativní, uzamčený sám v sobě a zcela odolný jakýmkoliv „narážkám“ z vnějšího světa. Svými vlastnostmi, mikroskopickou strojově přesnou funkcí, jež mezi DNA a proteinem, stejně jako mezi organismem a médiem, vytváří zcela jednosměrný vztah, tento systém očividně vzdoruje jakémukoliv „dialektickému“ popisu. Vůbec není hegelovský, ale dokonale karteziánský: buňka je opravdu strojem.

Ačkoli se tento popis v Monodově knize vztahuje zřejmě specificky k procesu translace a ne k živému systému, jako takovému je jasné, že je jeho text je překvapující po přečtení předchozího textu zabývajícího se gratuitou a je v příkrém rozporu s myšlenkami, které zastává kognitivní biologie. Možným, ne však jistým vysvětlením jeho přítomnosti je,

podobně jako v případě teorie autopoiese snaha o to, aby daná koncepce nebyla pokládána za vitalistickou, a tedy odmítnuta vědeckou komunitou.

2.6. Neurokomputační kognice

Historie výzkumu nervové soustavy (NS)

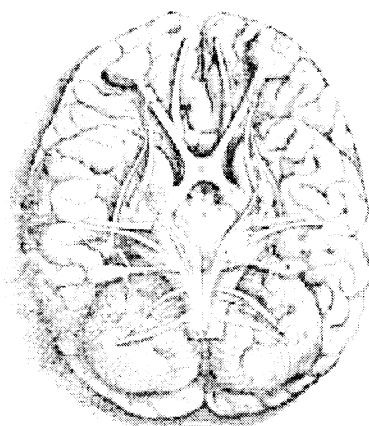
Neurokomputačními kognitivními procesy jsou na rozdíl od molekulárních schopni disponovat pouze živočichové s nervovým systémem. Lidský mozek a nervový systém obecně byly předmětem zájmu již starých Sumerů, Egyptanů a Řeků (Finger, 1994). Basreliéf starých Sumerů vyobrazuje lva s šípem v zádech postiženého paraplegií. Egyptský papyrus popisuje fyziologické příznaky, které u člověka vyvolá přetnutí míchy na úrovni krční páteře. Starořecký lékař Hippokrates, jeden ze zakladatelů medicíny popsal klinické příznaky epilepsie a byl přesvědčen, že její příčina je organická, nikoli sakrální. Aristoteles a jeho lékaři současníci provedli detailnější pitvy mozků zemřelých, přičemž anatomicky oddělili velký mozek od mozečku. Jeden z prvních slovně dochovaných klasických neurofyziologických pokusů provedl starořecký lékař Galén (Galēnos, 129-200 n.l.) když přetínal laryngální nervy pokusných zvířat a výsledek pokusu komentoval slovy:

Pokud přetneme tyto nervy, hlas zvířete je poškozen a jeho resonance je ztracena.

Galén, kolem roku 170 n.l.

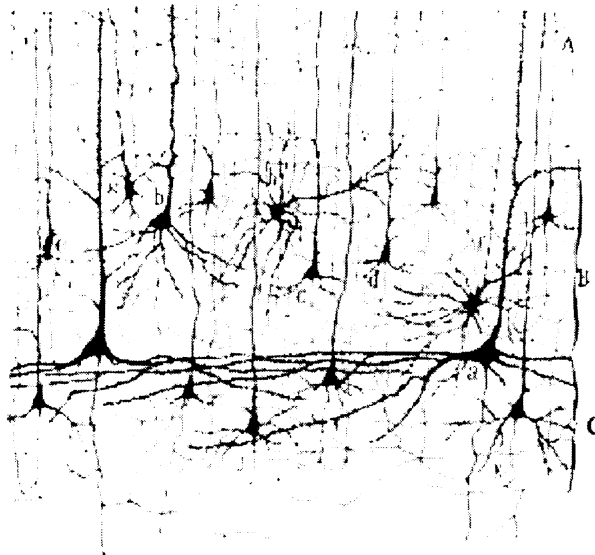
Během středověku dochází k dalšímu rozvoji poznatků o funkci nervového systému. V 16. století slavný anatom a jeden ze zakladatelů moderní medicíny Andreas Vesalius (1514 – 1564) popsal detailně anatomii mozku i periferních nervů (obrázek č.3). Thomas Willis (1621 – 1675) byl anglickým lékařem, který opět zpřesnil dosavadní znalosti o struktuře nervové soustavy a ve své knize *Patologie mozku*¹², vydané posmrtně popsal patofyziologii epilepsie, apoplexie a paralýzy. Byl také autorem ještě poněkud nepřesné neurobiologické teorie reflexů, přičemž autorem jejich popisu fenomenologického byl již Descartes.

¹² Cerebral Patology, 1676.



Obrázek č.3 - Vesalius, Mozková báze (1543). Origins of Neuroscience, 1994.

Z hlediska rozvoje teorie neurokomputační kognice byla důležitým okamžikem formulace buněčné teorie (Theodor Schwann, Matthias Jakob Schleiden, 1839). První pozorování a popis nervové buňky provedl J.E. Purkyně roku 1837. Pro další výzkum v buněčné neurobiologii bylo podstatné určit, jaký typ vztahu existuje mezi jednotlivými nervovými buňkami (=neurony). V tomto směru byly podstatné především výzkumy Itala Camilla Golgiho a Španěla Santiago Ramón Cajala. Oba výzkumníci za pomoci mikroskopu popsali výběžky jednotlivých neuronů (dendrity a axony) a vzájemná spojení těchto buněk prostřednictvím uvedených výběžků (obrázek č.4). Neshodli se však již na vlastnostech těchto spojení. Zatímco Golgi byl zastáncem tzv. syncytiální teorie, tedy že celá nervová síť je pomocí výběžků cytoplasmaticky propojena, Cajal zastával opačný názor, tj. teorii synaptickou, které předpokládala, že jednotlivé neurony tvoří diskrétní jednotky bez cytoplasmatického spojení s okolními buněčnými elementy. „Vítězem“ sporu se nakonec stal Cajal, který, paradoxně za pomoci Golgiho metody barvení dokázal vyvrátit syncytiální teorii. Oba výzkumníci pak společně roku 1906 obdrželi Nobelovu cenu za lékařství a fyziologii.

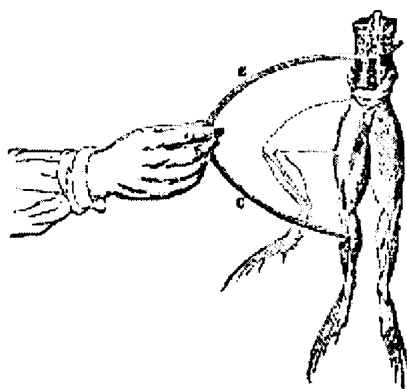


Obrázek č.4 - Santiago Ramón Cajal, Nervové buňky mozkové kůry (1905). *Origins of Neuroscience*, 1994.

Neuroelektrofysiologie

Zřejmě nejvýznamnějšími vlastnostmi NS, které mají vztah k jeho schopnosti generovat kognitivní procesy jsou vlastnosti elektrofysiologické. Důvodem je fakt, že informace se v nervovém systému v nejvyšší míře přenáší elektrickými vzruchy, které mají svůj podklad ve fyziologických procesech probíhajících na membráně nervových buněk.

Jedny z prvních pokusů studujících elektrické vlastnosti živých organismů provedl Italský vědec Luigi Galvani (1737 – 1798). Ten se roku 1773 začal zabývat studiem žab. 26. 1. 1781 všiml, že žabí stehýnka položená na plechové podložce, na které stál také elektrický přístroj, sebou při dotyku kovového nože na nerv samovolně škubají, pokud je přístroj v chodu. V roce 1791 Galvani zjistil, že se žabí noha stahuje při dotyku bimetalového vodiče z mědi a zinku (obrázek č. 5). Svůj výzkum později shrnul díle *Traktát o elektrických silách při pohybu svalů* (*De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*, 1791), kde vyjadřuje později vyvrácenou hypotézu, že v žabím těle je ukryta „živočišná elektrina“, přičemž její kladný pól se nachází v nervech a záporný ve svalech.

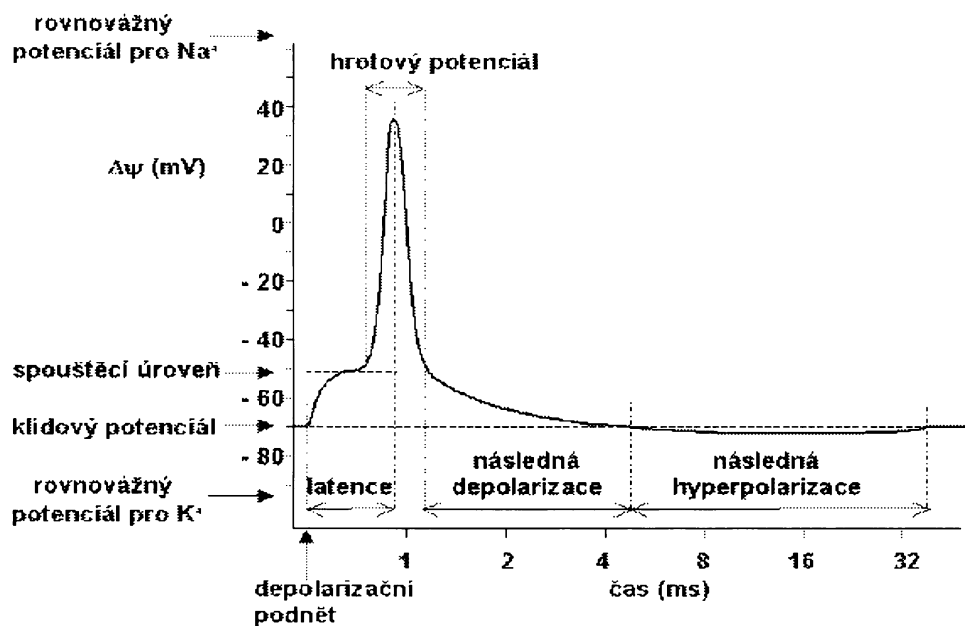


Obrázek č.5 - Galvaniho pokus s bimetalovou svorkou a pohybem žabí nohy (1791). A History of the Electrical Activity of the Brain, 1961.

Zřejmě nejvýznamnějším vědeckým počinem v oblasti neuroelektrofysiologie bylo objevení akčního potenciálu (obrázek č.6) výzkumníky Alanem Lloydem Hodgkinem (1914-1998) a Andrewem Huxleyem (*1917) (Hodgkin, Huxley, 1952). Jejich model je založen na vzniku a propagaci akčního potenciálu na nervovém vláknu (axonu), jehož podkladem jsou změny koncentrace iontů vně a uvnitř axonální lipidové membrány. V jednoduchém provedení lze tento jev popsat následující rovnicí:

$$\dot{V}_m = -\frac{1}{C_m}(\sum_i I_i), \quad (1)$$

kde \dot{V}_m je časová derivace transmembránového potenciálu, C_m je kapacitance membrány a I_i označuje jednotlivé iontové proudy zahrnuté do modelu.



Obrázek č.6 - Grafová reprezentace akčního potenciálu (AP). Po působení depolarizačního podnětu se cytoplasmatická membrána po určité době latence začne depolarizovat vlivem vtoku sodíkových iontů do buňky, tato fáze je po dosažení hrotového potenciálu následována repolarizací způsobenou výtokem draslíkových iontů z buňky. Celý AP trvá několik milisekund. Reprodukováno, Hodgkin, Huxley, 1952.

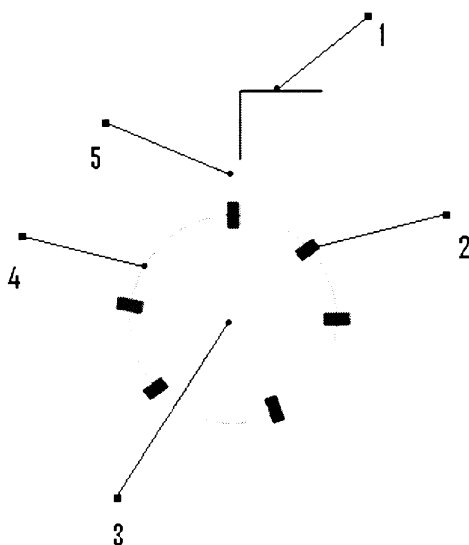
Autoři své pokusy prováděli na obřích axonech mořské olihně v roce 1952 a roku 1963 za ně společně získaly Nobelovu cenu za lékařství a fyziologii. Jejich model, dnes označovaný jako Hodgkin – Huxleyův se pak stal nejužívanějším modelem v neurofyziologii. V době nalezení modelu však ještě nebyl znám molekulární podklad přechodu jednotlivých iontů skrze lipidovou membránu, tj. iontové kanály. Jejich objev musel počkat na rozvoj dalších, především molekulárně – biologických výzkumných metod.

Metody v neurovědách

Současné neurovědy disponují velmi širokou škálou výzkumných metod, které jim umožňují studium nervového systému od jeho globálních parametrů až do nejmenších detailů na úrovni jednotlivých molekul. Toto kapitola se zaměřuje především na ty, které mají význam při studiu kognitivních procesů v probíhajících v NS.

Metodou, která umožňuje efektivní studium nervového systému na úrovni jednotlivých iontových kanálů přítomných v membráně neuronu je metoda tzv. terčíkového

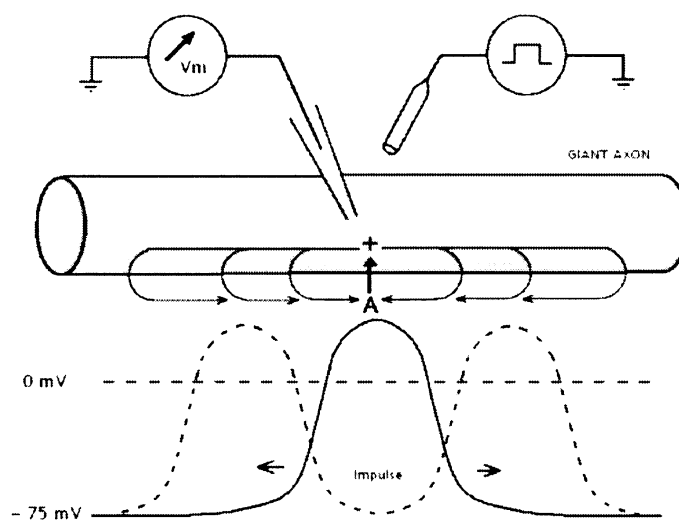
zámku (obr č.7). O její objev a zdokonalení se kolem roku 1980 zasloužily Erwin Neher a Bert Sakmann (Sakmann, Neher, 1984), přičemž roku 1991 za ni společně získali Nobelovu cenu. Její princip je založen na skleněné mikropipetě, jejíž hrot má průměr jen cca 1 μm a umožňuje její adhezenci na oblast membrány neuronu, která je obsazena pouhým jedním iontovým kanálem. Vnitřek mikropipety je vyplněn roztokem se specifickou iontovou koncentrací, která je určena cíleně definována experimentátorem za různým výzkumným účelem. Do roztoku v pipetě je zanořena kovová elektroda, která je schopna měřit změny elektrických potenciálů na základě změny koncentrace a pozice iontů vně a uvnitř lipidové membrány, které jsou dány změnami v propustnosti zkoumaného iontového kanálu. Z hlediska studia kognitivních procesů metoda terčíkového zámku umožňuje studium molekulárního podkladu neurokomputačních procesů, resp. to, jaký vliv mají příslušné elektrochemické parametry specifického iontového kanálu vliv na neurokomputační vlastnosti neuronu, který je exprimuje. Srovnání vlastností různých iontových kanálů, které se exprimují v NS různých druhů pak otevírá možnosti komparačních a evolučních studií molekulárních vlastností NS jednotlivých živočišných druhů.



Obrázek č.7 - Schéma metody terčíkového zámku. 1. Měřicí elektroda, 2. Iontový kanál, 3. Cytoplasma buňky (axonu), 4. Cytoplasmatická (axonální) membrána, 5. Roztok uvnitř mikropipety. Reprodukováno, Principles of neural science, 2000.

Podobnou, ale historicky starší metodou je tzv. metoda napětového zámku (obrázek č. 8), umožňující studium elektrofysiologických vlastností jednotlivých neuronů, resp. jejich

axonů. Byla to právě metoda napětového zámku, kterou použili Hodgkin a Huxley během svých průlomových experimentů (Hodgkin, Huxley, 1952). Studium kognitivních procesů např. pomocí implantace elektrod do mozkové kůry a sledování elektrických změn při různých podnětech, kterým je pokusný subjekt vystaven přináší mnohé zajímavé výsledky, ale problémem je, že současné metody neumožňují použití většího počtu elektrod, než jsou desítky, maximálně stovky, což neumožňuje tvorbu komplexnějších modelů neurokomputačních procesů probíhajících v mozku a celém nervovém systému na základě získaných dat. Jistou nadějí jsou v tomto směru moderní nanotechnologie, které snad časem umožní tvorbu neuro-počítačových rozhraní¹³ s řádově tisíci až statisíci spojeními. Vznik takovéto technologie by pak znamenal skutečný průlom při studiu dynamiky neurokomputačních kognitivních procesů, protože by umožňovala najednou sledovat velmi specifickou aktivitu obrovského množství jednotlivých funkčních jednotek.¹⁴



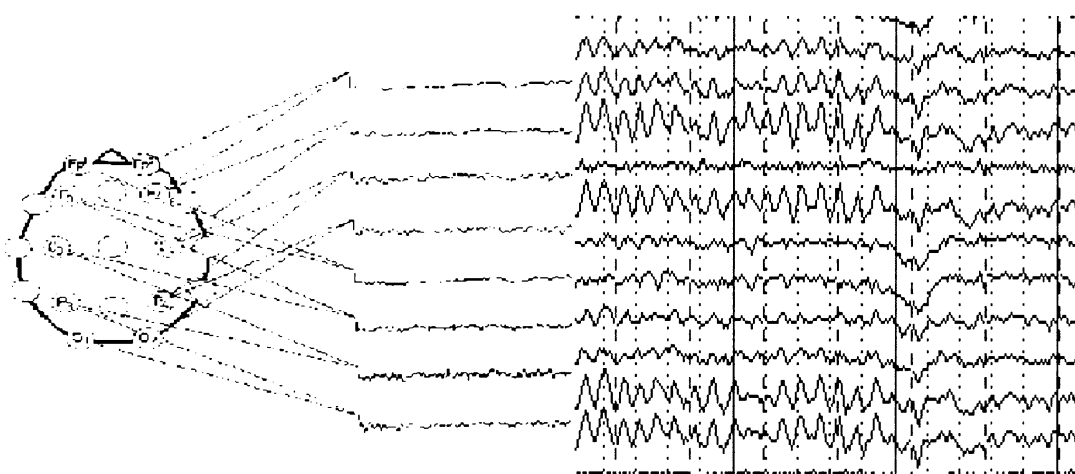
Obrázek č.8 - Metoda měření akčního potenciálu (AP) pomocí dvou elektrod na obřím axonu olihně. Měřicí elektroda je umístěna intraaxonálně, referenční extraaxonálně. Postupující AP vyvolává postupnou depolarizaci axonální membrány, které je zobrazena impulsovými vlnami. Modifikováno, Hodgkin, Huxley, 1952.

EEG (elektroencefalografie) je metodou, při níž nejsou elektrody zanořeny do vnitřních struktur mozku, ale naopak jsou lokalizovány na povrchu hlavy a jsou v elektricky vodivém kontaktu s její pokožkou. Datový výstup z EEG přístroje (obrázek č.9) tvoří křivky (tzv. mozkové vlny), které jsou výslednou sumací postsynaptických potenciálů velkého

¹³ Anglicky „brain – computer interface“.

¹⁴ Byla by tak jakousi neurovědní funkční obdobou genových čipů užívaných v molekulární biologii.

množství především korových neuronů. O objevení a rozvoj metody se zasloužilo několik výzkumníků (Swarz, Goldenshon, 1998), především pak Richard Caton, Vladimír Neminsky a Hans Berger. V současné klinické praxi se metoda EEG používá především k odhalení ložisek epilepsie v mozcích lidí postižených touto chorobou. Z hlediska studia kognitivních procesů je EEG použitelné především pro stanovení kvantitativních stavů vědomí. Lze pomocí něho určit, zda je zkoumaný subjekt somnolentní, či zda se nachází ve stavu spánku a to i jakého typu.¹⁵ Pomocí EEG lze detekovat i stavy hypnózy a konečně nulové hodnoty z jeho výstupu jsou dokladem mozkové smrti jedince při jejím lékařském stanovení.

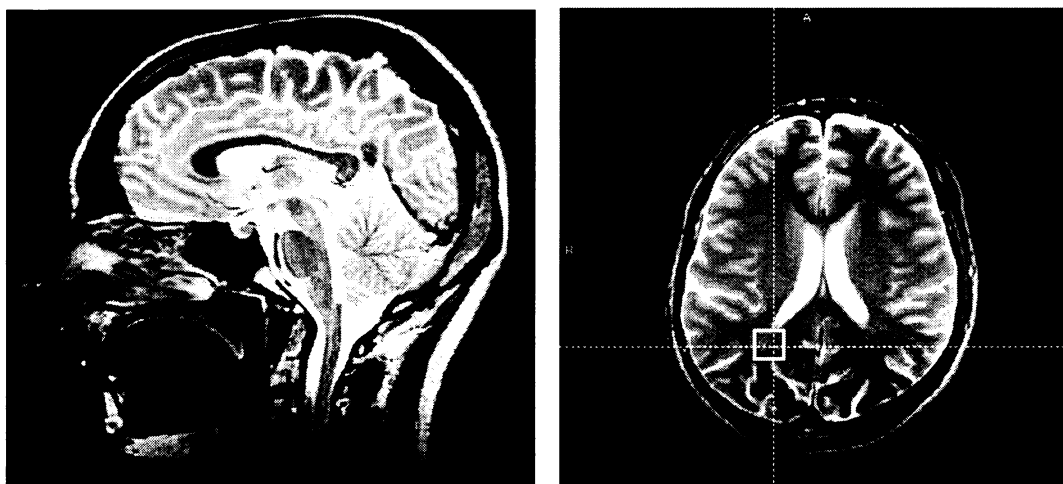


Obrázek č.9 - Schéma reprezentující rozmístění EEG elektrod na hlavě pacienta a výsledný záznam mozkových vln tvořící výstup měření. Principles of neural science, 2000.

Zbýlé dvě metody, které jsou v této práci popisovány, tedy nukleární magnetická resonance (NMR) a pozitronová emisní tomografie umožňují reálné zobrazení vnitřních struktur nervové soustavy bez toho, aby byl proveden chirurgický zákrok a představují tedy velké vylepšení postupů při analýze vnitřního anatomického a funkčního uspořádání nervové soustavy. O rozvinutí medicínské aplikace NMR se zasloužili především Paul Lauterbur (Lauterbur, 1973) a Peter Mansfield, kteří za svou práci na tomto tématu získali v roce 2003 Nobelovu cenu. Princip NMR je založen na vybuzení a následné relaxaci atomů za použití energetického pulsu v silném magnetickém poli. Vybuzená jádra se po krátkém okamžiku vrací na svou základní energetickou hladinu a během tohoto procesu emitují energii, kterou je přístroj schopen zachytit. Během budící fáze přejdou na vyšší energetickou hladinu jádra s lichým počtem protonů, která v organických tkáních představuje především vodík. Proto se výsledný signál rovná především signálu, který emitují vodíková jádra. Následné analýzy

¹⁵ REM, či non-REM, (REM- Rapid Eye Movement).

obrazu za pomoci počítačové tomografie (obrázek č.10) tak v podstatě representuje nerovnoměrné rozložení vodíkových atomů uvnitř zobrazovaného objektu, např. lidského mozku. Z hlediska studia kognitivních vlastností NS NMR sama nemá až tak významné postavení, protože zobrazuje jen její morfologii, nikoli funkci. Velký význam proto má až v kombinaci z jinými, funkčními metodami (EEG, elektrodová měření), kde umožňuje velmi přesně lokalizovat struktury, které zodpovídají za danou funkci či jev, který je zjištěn pomocí některé z funkčních metod.¹⁶



Obrázek č.10 - Tomografické řezy lidským mozkiem za použití NMR zobrazovací techniky. Vlevo mediánní, vpravo transverzální řez. FNKV 2003.

Poslední diskutovanou metodou je pozitronová emisní tomografie (PET), která byla poprvé vyvinuta americkým vědcem Michael E. Phelps (Phelps et al., 1975) a jeho spolupracovníky roku 1975. Jedná se o metodu, při níž je do krve zkoumaného individua vstříknuta radioaktivní látka, nejčastěji fluorodeoxyglukosa (FDG) se specifickým poločasem rozpadu. Pokusné individuum je umístěno v detektoru, které je schopno zachytit pozitrony, které emituje rozpadající se radioaktivní látka a na základě místa a času, kde byly pozitrony na detektoru zachyceny určit, v jakém místě těla zkoumaného individua došlo k radioaktivnímu rozpadu. Místa, kde dochází k zesílené činnosti tkání organismu se vyznačují vyšším lokálním krevním průtokem a tedy i vyšší časově integrovanou koncentrací radiofarmaka. Proto se taková místa ve výsledném zobrazení vyznačují vyšší intenzitou signálu (obrázek č.11). PET má velké uplatnění při lokalizaci nádorové tkáně, která se standardně vyznačuje zvýšenou metabolickou aktivitou. Z hlediska studia neuro-kognitivních

¹⁶ V současnosti existuje již obdoba klasické NMR, která umožňuje i funkční zobrazení na základě měření množství deoxygenovaného hemoglobinu v mozkových cévách, tzv. funkční NMR (fNMR).

funkcí je pak PET neocenitelný pomocníkem, protože umožňuje přímé zobrazení specifického mentálního procesu s jeho morfologickým (neuronálním) substrátem. Stačí, aby výzkumník dotyčné osobě nařídil provést nějaký mentální úkon (mluvit, počítat, vzpomínat atd.) a výsledek tohoto mentálního úkonu se projeví zvýšením prokrvení příslušné mozkové oblasti, která za něj zodpovídá. Tím se zvýší i časová integrace koncentrace radiofarmka, což se projeví zvýšením signálu v příslušné oblasti na výstupním zobrazení. PET se tak stala jednou z nejefektivnějších metod vědeckého studia mentálních procesů probíhajících v mozku člověka a ostatních živočichů. Samozřejmě má i ona své omezení, která spočívají především v tom, že ne každý mentální proces má svou specifickou lokalizaci v příslušné části mozku, popř. jeho energetická náročnost je tak nízká, že výsledný signál z PET je neodlišitelný od šumu pozadí.



Obrázek č.11 - Transverzální řez mozku za použití zobrazovací metody PET. Signál z mozku zdravého jedince, kde různé stupně šedi representují různou metabolickou aktivitu mozkové tkáně (světlejší oblasti jsou aktivnější). FNKV 2003.

Neurobiologie a informatika

Pro studium kognitivních procesů probíhajících na neurokomputační úrovni v NS živočichů mělo v mnoha ohledech zásadní význam vzájemné ovlivňování dvou vědeckých disciplín – biologie a informatiky. Toto ovlivňování je rozdělitelné na tři základní principy:

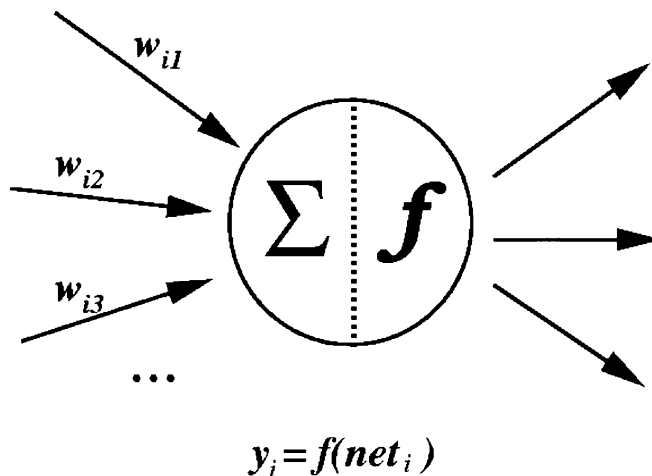
- 1) Studium organického NS pomocí výpočetní techniky
- 2) Studium organického NS jako speciálního typu počítače
- 3) Použití principů zpracování informací organickým NS pro vývoj nových metod ve výpočetní technice.

Pokud jde o studium neurokomputačních procesů probíhajících v organickém nervovém systému pomocí elektronického digitálního počítače, lze první experimenty datovat do 50. let 20. století. Toto období je spojeno s objevením akčního potenciálu (Hodgkin, Huxley, 1952). Jelikož jak mozek, tak počítač jsou systémy, jejichž hlavní funkcí je zpracování informací a navíc informační procesy, které v nich probíhají jsou založeny na podobných (elektrických) fyzikálních principech, tvoří jejich spojení velmi efektivní prostředek pro jejich studium. Jelikož je pak počítač lidský artefakt, jehož funkce je do značné míry lépe prostudovaná¹⁷, lze na základě dat, která při studiu NS naměří dobře usuzovat na funkci tohoto NS. Pro první pokusy o analýzu neurokomputačních vlastností NS nebyly ještě počítače nezbytné, neboť získaná data šlo poměrně jednoduše interpretovat za pomoci jednoduchých matematických metod. Tyto pokusy zahrnovaly především měření akčních potenciálů v jednotlivých nervových vláknech pomocí kovových elektrod. Ani analýza EEG nevyžaduje přítomnost počítačové techniky, stačí papír jako záznamové médium a trpělivý experimentátor, který analyzuje jeho několikametrový výstup a zhodnotí průběh jednotlivých mozkových vln. Pro detailnější a přesnější analýzu výstupu EEG, kdy se hodnotí časová integrace jednotlivých křivek je však již absence výpočetní techniky jako prostředku analýzy velkým problémem. Moderní digitální technologie jsou pak zcela nezbytné pro aplikaci metod jako je NMR, fNMR, PET nebo multielektrodové snímání. Data, která uvedené přístroje produkují již pro své zpracování vyžadují takový stupeň výpočetní mohutnosti, který vyžaduje použití moderních digitálních počítačů. Počítačová technika se tak v průběhu posledních dekád 20. století stala nezbytnou součástí širokého spektra metod používaných při studiu kognitivních procesů probíhajících v NS člověka a ostatních živočichů.

Dalším typem vztahu mezi NS (mozkem) a elektronickým počítačem je modelování neurokomputačních procesů v mozku, jako by se jednalo o procesy probíhající v elektronickém počítači. To úzce souvisí třetím typem vztahu a to sice s použitím principů neurokomputačního zpracování informací v organickém NS při vývoji analogických výpočetních principů v elektronických počítačích. Oba principy jsou historicky úzce propojeny a často není jasné, zda to byl organický nervový systém, který byl použit jako vzor pro počítač, či naopak.

¹⁷ To platilo především pro první prototypy počítačů.

Významným počinem v této oblasti byla formulace teorie umělého (=formálního) neuronu (obrázek č.12), který je někdy nazýván podle svých vynálezců McCulloch-Pittsův neuron (McCulloch, Pitts, 1943).



Obrázek č.12 - Grafická representace umělého neuronu, zobrazující jeho jednotlivé vážené vstupy ($w_{i1,2,3}$), jejich sumaci v neuronu (Σ) a výstup na základě přenosové funkce (f). Reprodukováno, McCulloch, Pitts, 1943.

Princip fungování umělého neuronu lze vyjádřit následujícím vzorcem:

$$y_k = \varphi \left(\sum_{j=0}^m w_{kj} x_j \right), \quad (2)$$

kde y_k je aktivitní stav daného neuronu (k), který je ekvivalentní hodnotě výstupu daného neuronu (k), w_{kj} je tzv. váha synapse, tj. míra účinnosti, se kterou je aktivující neuron (j) schopen aktivovat aktivovaný neuron (k), x_j reprezentuje vstupy neuronu, jejichž jednotlivé váhy jsou reprezentovány w_{kj} a jejichž počet je roven m , φ je tzv. přenosová funkce neuronu. Prostou vektorovou sumu jednotlivých vstupů neuronu a jejich odpovídajících vah lze vyjádřit následovně:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (3)$$

kde u je součet všech n vážených vstupů, n je celkový počet vstupů, w_i je synaptická váha i -tého vstupu, a x_i je reprezentace i -tého vstupu. Pokud je přenosová funkce takového umělého neuronu skoková (prahová), může být jeho výstupová charakteristika vyjádřena následovně:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } u \geq \theta \\ 0 & \text{if } u < \theta \end{cases}, \quad (4)$$

kde y je výstup daného neuronu, který je roven jedné, pokud součin všech jeho vážených vstupů u je větší nebo roven arbitrárně stanovené prahové hodnotě θ nebo je roven, pokud u je menší než hodnota θ . Z uvedeného modelu vyplývá, že uvažuje neuron jako analogo-digitální převodník, což je velmi hrubá aproximace jeho neurokomputačních vlastností v organickém NS. Přesto jsou však v současnosti výpočetní sítě, jejichž základní jednotky jsou koncipovány na základě McCulloch-Pittsových neuronů, tzv. umělé neuronové sítě (ANNs) s úspěchem používány v mnoha programových aplikacích a jsou úspěšné při řešení mnoha výpočetních problémů, ve kterých klasické programovací techniky selhávají nebo nejsou přinejmenším tak efektivní. Koncepce umělého neuronu se tak stala dobrým příkladem implementace biologického principu v počítačové vědě. Na druhou stranu je třeba dodat, že současné počítačové aplikace založené na bázi ANNs se dnes s velkou efektivitou používají při analýze neurokomputačních dat z organických nervových systémů, čímž se pomyslný výzkumný kruh uzavírá.

2.7. Mentální kognice

Problematika poznání na mentální úrovni byla odpradáвна předmětem zájmu filosofů a vědců. Jelikož se touto problematikou v průběhu historie zabývalo ohromné množství jednotlivých myslitelů i filosofických škol a vědeckých skupin, existuje velmi široké spektrum názorových proudů, které problematiku poznání na mentální úrovni specificky uchopují. Tato kapitola se snaží o stručný popis alespoň některých teoretických koncepcí poznání na mentální úrovni a to tím způsobem, že nejprve popíše její základní atributy a pak její koncepce s pohledem současných neurověd.

Dualistické koncepce

Dualismus je myšlenkový směr, který ve svých tezích předpokládá větší či menší míru oddělení fyzické a mentální existence. Ona míra oddělení je podmíněna konkrétním typem dualistické koncepce. Základ koncepce položili již Platón a Aristoteles, obecně známá je pak dualistická koncepce René Descarta (1596 – 1650), který ve své *Meditaci o první filosofii* (1641) rozděluje substanci ve světě na „věc myslící“ (res cogitans) a zbylou za „věc rozprostraněnosti“ (res extensa). Zřejmě největší míru oddělení existence mentální od existence fyzické hlásá paralelismus. Za jeho významného představitele je často považován Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 – 1716). Tvrzením představitelů psycho-fyzického paralelismu je v nejextrémnější podobě absolutní odloučení procesů mentálních od procesů fyzických, tj. že mentální a fyzické procesy mezi sebou nemají žádný kvalitativně ani kvantitativně uchopitelný funkční vztah. Práce významných představitelů paralelismu (Leibniz, Malebranche) však v často obsahují tvrzení, která tuto doktrínu implicitně zpochybňují, či dokonce explicitně narušují. I moderní neurověda se ke koncepci psycho-fyzického paralelismu staví spíše odmítavě, vzájemné ovlivňování fyzických a mentálních procesů¹⁸ považuje za jakýsi axiom, jehož pravdivost není účelné zpochybňovat a zajímá se spíše o kvalitativní a kvantitativní analýzu principů vzájemného ovlivňování fyzických (fysiologických) a mentálních procesů. Touto problematikou se z filosofického hlediska zabývají i různé druhy neparalelistických koncepcí dualismu. Epifenomenalismus ve své filosofické i vědecké formě předpokládá, že procesy ve fyzickém světě ovlivňují ty v mentálním, ale ne naopak. Důležitým aspektem tohoto tvrzení je, že se jedná o vztah pouhého ovlivnění, nikoli vztah deterministický (neurální determinismus). K prvním diskuzím o epifenomenalismu významně přispěl Darwinův současník a zastánce Thomas Henry Huxley (1825-1895), když mentální fenomény přirovnal k hvízdání parní lokomotivy. Ostatně i samotné Darwinově teorie evoluce se dostalo v případě studia vztahu mysli a těla epifenomenalistické interpretace, jejímž předpokladem je, že mentální procesy jsou pouhým vedlejším produktem (epifenomémem) evoluce nervové soustavy živočichů. Z hlediska moderní neurovědy je epifenomenalismus nejčastěji vnímán jako koncepce spíše okrajová, neboť vylučuje nebo alespoň extrémně redukuje funkci mentálních procesů při řízení fysiologických funkcí. Tato okrajovost je však narušována koncepty, jejichž společným znakem je použití tzv. *modelu zombie*, tedy živočišného, nejčastěji pak lidského těla zbaveného jeho vědomé mentální aktivity. Významné práce v tomto směru publikuje David Chalmers (Chalmers, 1995). Celá „zombie koncepce“ je založena na presentaci velkého

¹⁸ Pokud mezi nimi rozlišuje.

množství komplexních forem chování, které je schopen generovat člověk zbavený vědomé mentální aktivity. Tato komplexita behaviorálních forem je pak použita jako argument pro presentaci mentálních aktů jako procesů, které nejsou zapotřebí k řízení běžných forem chování a tvoří tak jakési vědomé behaviorální epifenomény. Poslední formou dualismu, diskutovanou v této kapitole je dualismus interakcionalistický. Jeho východiskem je, jako u všech ostatních dualistických koncepcí existence dvou typů procesů, mentálních a fyzických, přičemž v tomto případě existuje mezi oběma procesy vztah cirkulární kauzality, tedy že procesy z mentální domény ovlivňují ty z domény fyzikální a naopak. Hlavními představiteli tohoto směru byli v průběhu 20. století Karl Popper (1902 – 1994) a John Carew Eccles (1903 -1997). Interakcionalistický dualismus se velmi blíží dualismu paralelistickému v míře autonomie, které dává jednotlivým doménám, tj. mentální a fyzické¹⁹, je však jeho skutečným opakem co se týče kvantity a kvality jejich vzájemného ovlivňování. Jeho hlavním výzkumným tématem se tak stává metodologické a vědecké uchopení vzájemného vztahu obou domén. To logicky vyžaduje hledání jejich spojnic, což v moderní vědě znamená snahu o nalezení rozhraní mezi mozkiem a myslí.²⁰ Neexistence či nemožnost nalezení takového rozhraní by pak koncepci interakcionalistického dualismu zpochybnila nebo by ho zařadila mezi koncepcie monistické (viz dále). O nalezení místa, na němž se střetávají dva světy, svět mentální a fyzický se pokoušel již Descartes, přičemž ho, z dnešního neurovědního pohledu nesprávně lokalizoval v lidské šišince (obrázek č.13).



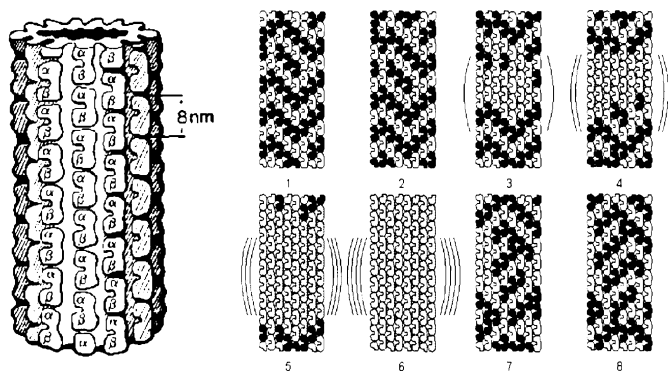
Obrázek č.13 - René Descartes, Ilustrace dualismu, 1641. *Origins of Neuroscience*, 1994.

Ani současná neurověda nedisponuje při popisu rozhraní mezi fyzickým a mentálním světem dostatečně silným modelem. Popper a Eccles společně celou problematiku velice široce

¹⁹ Tím se odlišuje od epifenomenalismu.

²⁰ Anglicky „brain – mind interface“.

problematizovali v rámci svých interakcionalistických koncepcí (Popper, Eccles, 1984). Ze současných autorů je třeba zmínit především Christofa Kocha, který společně s Francisem Crickem (1916–2004) rozpracoval neurobiologickou koncepci vědomí (Crick, Koch, 2003) a tzv. neuronálních korelátů vědomí (NCC). Zajímavým pohledem, pokud jde o hledání rozhraní mezi mentálními procesy a molekulárními vlastnostmi NS je pak hypotéza kvantové dekoherence mikrotubulů²¹ (obrázek č.14), ke které dochází během mentálních aktů. Autory této inspirativní a zároveň kontroverzní hypotézy, která má ambici spojit dvě zajímavé oblasti lidského bádání, totiž neurobiologii vědomí a kvantovou fyziku jsou Roger Penrose a Stuart Hameroff (Hameroff, Penrose, 1996).



Obrázek č.14 - Schéma mikrotubulu a jeho kvantové dekoherence. Vlevo krystalografické zobrazení mikrotubulu složeného z jednotlivých monomerů α a β tubulinu. Vpravo molekula mikrotubulu chovající se jako kvantový celulární automat. (Hameroff, Penrose, 1996).

Monistické koncepce

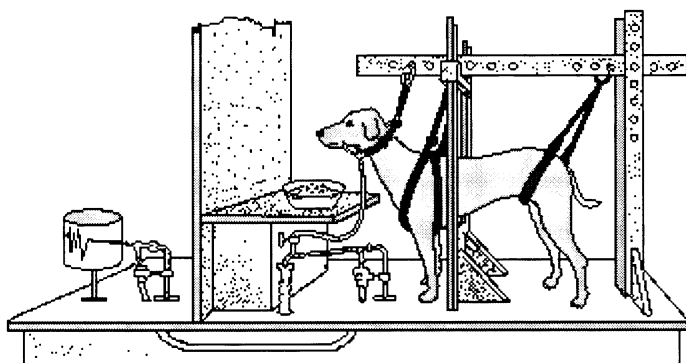
Monismus jako filosofický směr, v kontrastu s dualismem neproklamuje fundamentální koncepční rozdíly mezi světem mentálním a fyzickým. Zatímco se však dualistické koncepce realizují především na tématu vztahu mentálního a fyzického, koncepce monistické obvykle zahrnují širší spektrum rovnocenných problémů, přičemž řešení problému vztahu mezi myslí a tělem, resp. jejich jednoty je jen jednou z nich. Do monistických pohledů na svět jsou tak v jistém smyslu zařaditelné myšlenkové směry, jako např. panpsychismus, idealismus, fenomenalismus a též myšlenkové směry vlastní různým, především tzv. „východním“ náboženstvím a náboženským koncepcím, tj. buddhismu, transcendentalismu a

²¹ Fibrilární proteiny přítomné ve velkém množství uvnitř axony nervových buněk.

mysticismu. Následující výčet monistických filosofických a vědeckých koncepcí tak zahrnuje především ty, jejichž hlavním tématem je právě vztah mezi mentálním a fyzickým, resp. jejich relativní jednota, přičemž obecné monistické stanovisko v nich může s větší, či menší měrou ustupovat do pozadí. Tento okruh názorových proudů je také někdy označován jako fyzikalistický monismus.

Prvním z výše popsaných směrů je eliminativní (reduktivní) materialismus. Jeho stanovisko je nejčastěji presentováno tak, že všechny prováděné mentální akty jsou pouhým zdáním. Jejich skutečnou podstatou jsou pak buďto prosté neurokomputační procesy nebo, v jeho současné podobě převládající názor, že podstatou všech, v tomto případě fiktivních mentálních stavů je každodenní lidská zkušenost označovaná jako „lidová psychologie“²². Současnými představiteli reduktivního materialismu jsou, s jistými výhradami např. Patricia a Paul Churchlandovi (Churchland, 1995). Dalším příkladem konceptů fyzikalistického monismu je behaviorismus. Ten se stal hlavní koncepcí teorie mysli především v první polovině 20. století. Podkladem jeho vzniku byly tzv. introspekcionistické metody zkoumání lidské mysli, které do vědy, resp. především do psychologie zavedli osobnosti jako Sigmund Freud, či Carl Gustav Jung. Behaviorismus je do jisté míry popřením introspekcionismu, neboť rezignuje na poznání mentálního podkladu různých forem chování a soustřeďuje se pouze na studium vztahu mezi různými vzorci chování a stimuly či okolnostmi, které toto chování vyvolaly. Behaviorismus tedy explicitně nepopírá existenci mentálních procesů, zcela je avšak vyřazuje ze svých metodologických modelů. Jeho nejvýznamnějšími představiteli jsou I.P.Pavlov se svou průlomovou koncepcí podmíněných a nepodmíněných reflexů (obrázek č.15), dále pak Konrád Lorenz a v psychologii např. B.F. Skinner(Holland, Skinner, 1961).

²² Anglicky „folk psychology“.



Obrázek č.15 - Schéma pokusného systému pro studium podmíněného reflexu. Sliny produkované slinnými žlázami psa v reakci na podnět (v tomto případě potravu) jsou zachytávány a měření jejich dynamického průtoku v reakci na změny podnětu je použito pro kvantifikaci intenzity reakce na změny příslušného podnětu. Reprodukováno. I. Pavlov,1927.

Behavioristická metodologie je patrně nejrozšířenějším způsobem výzkumu chování člověka a ostatních živočichů v současných neurovědách. Jelikož však z velké části, či zcela pomíjí analýzu mentálních procesů, které dané chování podmiňují²³, nemají behavioristické studie příliš velký dopad na tvorbu neurobiologických mentálních modelů.

²³ Samozřejmě pokud jsou přítomny.

3. Paměť

Paměť lze v obecné rovině definovat jako schopnost ukládat, uchovávat a vyvolávat informace (Baddeley, 1999). Schopnosti, které se pod pojem paměť zahrnují jsou významné a často nepostradatelné součásti všech kognitivních procesů. Systém, který nedisponuje pamětí nemůže být v pravém smyslu kognitivní, jelikož není schopen zachytit své předešlé způsoby konání a za pomoci této informace účelně modifikovat své konání současné a budoucí.

Jelikož je pojem paměti velice široký a lze pod něj zahrnout velké množství jednotlivých fenoménů, je vhodné ho dále rozdělit na podle specifických kritérií. Jedním z biologického i informační hlediska velmi plausibilních způsobů je rozdělení na statickou a dynamickou složku paměti. První, statická složka se vztahuje především ke schopnosti informace uchovávat. Úspěšné uchování informace živým systémem znamená, že uchovávaná informace je konzistentní a pokud mění svůj obsah, pak je tato změna cíleně regulována organismem a nikoli náhodná. Tím se otevírá problematika paměťového média, které je nositelem uložené informace. Toto médium musí splňovat dva často protichůdné požadavky. Na jednu stranu musí být dostatečně fyzikálně stabilní, aby v něm nedocházelo k náhodným změnám, na druhou stranu musí být dostatečně plastické, aby v něm mohlo docházet k procesům, které jsou součástí dynamické složky paměti. Ta se, na rozdíl od složky statické vztahuje především k procesům ukládání a vyvolávání informací. Je jasné, že obě složky paměti, jak statická, tak dynamická mají smysl pouze pokud jsou ve vzájemné kooperaci. Statická paměť sama o sobě nenese významnou biologickou informaci, neboť není přítomna dynamická složka, které by byla schopna s touto informací pracovat. Stejně tak dynamická složka paměti je sama o sobě bezpředmětná, protože neexistuje statické informační médium, na kterém by mohla operovat.

Z hlediska časové dynamiky lze paměťové procesy rozčlenit na krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobá paměť zajišťuje ukládání, uchování a vybavování informací, které se vztahují k aktuálnímu stavu systému. Umožňuje pružné reakce na měnící se podmínky prostředí bez toho, aby tyto, často náhodné a nekonzistentní změny dlouhodobě ovlivnily celou kognitivní architekturu systému, který by se pak mnohem problematičtěji dostával do lokálních optim kognitivních vztahů k prostředí. Dlouhodobá paměť naopak pracuje s jevy, které na organismus působí opakovaně, popř. kontinuálně. Tyto časově konzistentní jevy pak prostřednictvím dlouhodobé paměti organismu umožňují přibližovat se ke globálnímu kognitivnímu optimu.

3.1. Molekulární paměť

Molekulární paměť je fenomén, kterým disponují všechny živé systémy obývající tuto planetu. Všechny organismy jsou tedy schopny ukládání, uchovávání a vyvolávání informací a to na molekulární úrovni organizace.

První jednobuněčné organismy se na Zemi objevily asi před 3,8 – 3,9 miliardami let (Mojzisz, Arrhenius, McKeegan et al., 1996) a již tyto primitivní živé systémy musely mít vyvinutý plnohodnotný paměťový systém, který jim umožňoval ukládat informace o vztahu k prostředí a na základě vybavení uchované informace adaptivně reagovat na měnící se podmínky. Jelikož vznik života byl pravděpodobně unikátní jev, informace o vztazích k prostředí uložené prvotními organismy se zachovaly do dnešních dnů a jsou součástí molekulárních kognitivních systémů recentních organismů.

Zřejmě nejpodstatnější událostí, která předurčila formování molekulární paměti, a která se odehrála při vzniku prvních jednobuněčných organismů bylo ustanovení vztahu mezi DNA a proteiny. Lineární sekvence nukleotidů v DNA se během tohoto procesu stala základem statické molekulární paměti, zatímco interakce mezi DNA a proteiny, popř. mezi proteiny navzájem převzaly úlohu nositelů její dynamické složky. Hlavní paměťovou funkcí molekuly DNA v organismu je uchovávání konzervovaného sledu nukleotidů a tak umožnit přepis své sekvence do sekvence molekuly RNA a následně pak do trojrozměrné struktury proteinu. Je to právě linearita sekvence, která umožňuje genetickou informaci uloženou v sekvenci DNA snadno kopírovat a převádět jak na sekvenci RNA, tak i DNA replikovat a následně se shodnou sekvencí převádět do dceřiných buněk. Tato jedinečná vlastnost předurčuje DNA do role konsistentního paměťového média.

Příkladem vysoce dynamické molekulární paměti je refrakterní perioda proteinových buněčných receptorů. Refrakterní perioda je doba od aktivace receptoru, po kterou je receptor neaktivovatelný i při nadbytku příslušného ligandu. Má zásadní význam pro funkci receptorových a signálních systémů buňky. Její atributy jsou podmiňovány biofyzikálními vlastnostmi daného proteinu.

Příkladem středně dynamické molekulární paměti je desenzitivace buněčné signální dráhy po přechodu signálu, což je doba refrakterní fáze proteinu na úrovni signální sítě. Po aktivaci dané signální dráhy se ta stává na určitou dobu necitlivou vůči další aktivaci. Častým fyzickým podkladem tohoto jevu je vyvážení jednotlivých prvků signální dráhy popř. jejich

přenesení do jiného buněčného kompartmentu. Podkladem resenzitivace dráhy je zpětné vyvázání jejích prvků a jejich opětovné funkční začlenění do kaskády. Během cyklů desenzitivace a resenzitivace dráhy může docházet k časové integraci signálu, což je důležitý aspekt molekulární paměti.

Dynamická molekulární paměť na velkých časových škálách již často vyžaduje spolupráci genomu a proteomu na úrovni regulace genové exprese. Příkladem je ustanovení daného expresního profilu během diferenciaci buněčné linie. Během tohoto procesu buňka často využívá instrumentu pozitivní zpětné vazby. Pokud je promotor daného genu během diferenciaci aktivován, produkt tohoto genu působí jako aktivátor vlastní exprese a dává tak vzniknout svým vlastním kopiím. Tato regulační smyčka v buňce přerývá i po celou existenci organismu, což může představovat desítky let.

3.2. Neurokomputační paměť (NP)

Na rozdíl od paměti molekulární, neurokomputační paměti disponují pouze organismy (živočichové), které jsou vybaveny nervovou soustavou. Podstatnou podmínkou pro genezi nervové soustavy byl vznik prvních mnohobuněčných organismů cca před 1,8 miliardami let. První neuron se v průběhu evoluce objevil cca před 600 miliony let (Villegas, Castillo, Villegas, 2000). Kambrická vývojová exploze před 545 miliony let pak znamenala zásadní zvýšení kognitivní kapacity nervových systémů nově vznikajících druhů živočichů. Ačkoli již dřívější živočichové disponovaly neurokomputační kognicí, teprve v průběhu kambria tato kognice dosáhla dostatečné komplexity tak, jak je chápána ve většině následujícího textu.

Neurokomputační paměť je v NS přítomna v několika různých formách. Vývojově, a to z ontogenetického i evolučního hlediska nejstarší forma neurokomputační paměti je zřejmě ta, kterou tvoří specifické rozmístění spojů mezi jednotlivými neurony, tj. synaptická topologie. Ta se zřejmě v průběhu evoluce objevuje během kambria, v průběhu ontogeneze živočicha pak vzniká na podkladě morfogenetických regulací, které se ustálily v průběhu fylogeneze. Ze všech druhů neurokomputačních pamětí je synaptická topologie ta nejstatičtější a evolučně nejvíce konzervovaná. V dospělém organismu již v ní nedochází k významným změnám a pokud ano, jedná se často o patologické procesy vedoucí k desintegraci NS. Synaptická topologie zásadně ovlivňuje funkce nervového systému jako celku a u živočichů s jednoduchou difúzní NS prakticky jednoznačně formuje neurokomputační procesy. U složitějších živočichů se synaptická topologie nejzásadněji podílí na formování ustálených

forem chování, jako jsou reflexy a instinkty. Jednoduchý reflexní (např. patelární) okruh tvoří senzor, aferentní dráha, motorický neuron, eferentní dráha a efektor. Funkce reflexního oblouku je závislá na vzájemném zapojení jeho jednotlivých strukturálních složek, přičemž vztahy mezi nimi mají charakter jednoduché aktivace. Vzájemné zapojení je pak vytvářeno v průběhu morfogeneze a regulováno morfogenetickými faktory. Neurokomputační paměť ve formě synaptické topologie tvoří díky své stabilitě organizační jádro NS daného živočicha, tato stabilita (statičnost) však způsobuje, že živočich vybavený pouze touto formou neurokomputační paměti nedokáže v průběhu svého života generovat významné neurokomputační adaptace, jelikož struktura jeho NS je již takřka zcela předem dána na začátku jeho vývoje. Významnou tvorbu adaptivních neurokomputačních procesů v průběhu života živočišného individua umožňují až dynamické formy NP. Jejich hlavními fyziologickými podklady jsou v případě jednotlivých nervových buněk změny jejich přenosových funkcí, v případě nervových sítí pak změna ve funkčních vlastnostech synapse, tj. synaptická plasticita. Na rozdíl od statické NP k významným změnám dynamické NP v průběhu celého života jedince, přičemž tyto změny jsou mnohem více závislé na prostředí, ve kterém se organismus aktuálně vyskytuje. Příkladem vysoce dynamické NP je refrakterní fáze neuronu. Jedná se o časovou periodu po vzniku akčního potenciálu, během níž je nervová buňka neschopná generovat další akční potenciál a to i při nadprahové stimulaci. V tomto případě se, podobně jako v případě refrakterní fáze proteinu jedná o biofyzikální vlastnost daného prvku, který v případě neuronu určuje, s jakou maximální frekvencí může daná nervová buňka vytvářet vzruchy. Příkladem středně dynamické NP je posttetanická potenciace (PTP), což je zvýšení excitability neuronu po jeho předešlé excitaci. Jedná se tedy o fenomén pozitivní zpětné vazby, kdy vznik impulsu vede k procesu, který má za následek zvýšení pravděpodobnosti vzniku dalších impulsů. V klasickém případě dojde ke vzniku PTP po několika minutách resp. hodinách kontinuální excitace. V nervovém systému často dochází k jevu cirkulárního vzniku PTP, což je stav, kdy jeden neuron aktivuje další a ten, přes určitý počet interneuronů opět aktivuje ten původní. Podkladem vzniku PTP v neuronálním okruhu je tedy cirkulární synaptická topologie a tedy statická NP. PTP je podkladem krátkodobé mentální paměti. Jev k němu opačný se nazývá posttetanická inhibice (PTI). Příkladem NP, která se ustanovuje na dlouhých časových škálách je dlouhodobá potenciace (LTP). Na rozdíl od PTP se k jejímu vzniku dochází spíše v horizontu dnů a její vznik je též vázán na opakovanou aktivaci více jak jedné synapse, často z několika různých nervových drah. Prvními neurony, u kterých byla LTP pozorována byly z hippocampu a LTP je neuronálním podkladem dlouhodobé paměti. Opačný jev se nazývá dlouhodobá inhibice (LTI).

3.3. Mentální paměť

Ze třech typů pamětí diskutovaných v této práci je evoluční datování vzniku mentální paměti nejvíce problematické. Jelikož se jedná o paměť vědomou, tj. deklarativní, je její vznik logicky spjat se vznikem vědomí. Existence vědomí u zvířat je pak předmětem sporů nejen mezi vědou a ostatními koncepty světa, ale i uvnitř samotné vědecké komunity. V této práci je zastáván názor, že vědomím a tedy i deklarativní paměti disponují všichni živočišové s komplexnější nervovou soustavou, konkrétněji pak ti, kteří disponují koncovým mozkiem (=telencephalem). Vznik deklarativní paměti lze tím pádem datovat do období cca před 470 miliony let, které je spjato s vývojem prvních obratlovců. Telencephalon byl původně určen ke zpracování čichové senzorké informace a k uložení čichových paměťových stop, což byla velmi významná adaptace pro obranu proti predátorům. Dodnes mají vzpomínky na daný čichový vjem velký vědomý emoční náboj, což zřejmě podporuje hypotézu o spojení koncového mozku se vznikem vědomí. Podobně jako datování evolučního vzniku je i problematické určit období, kdy dochází ke vzniku deklarativní paměti v průběhu ontogeneze živočicha. Pokud je tento vznik brán v přímé korelaci k objevení se EEG křivky charakteristické pro vědomí stav, je možno vznik deklarativní paměti datovat již do prvního trimestru nitroděložního vývoje (Meyer-Lindenberg, 1996). V průběhu nitroděložního vývoje však dochází především k tvorbě senzomotorických paměťových stop, závislých na přicházející taktilní a propriocepční informaci na straně senzorké a na stádiu vývoje motorického aparátu na straně efektorové. Ostatní senzorké systémy začnou přijímat odpovídající informace až po narození jedince.

3.4. Kvantifikace organických pamětí

Ačkoli se všechny tři paměťové domény živých systémů kvalitativně i kvantitativně liší, existuje poměrně široká jejich společných vlastností, které usnadňují jejich vzájemné srovnání. Ze třech hlavních funkcí paměti, tedy ukládání, uchovávání a vyvolávání informací je to právě uchovávání, které je nejsnáze přístupné teoretickému rozboru. Důvodem této skutečnosti je to, že na existuje několik teoretických koncepcí, které umožňují měření informace uložené v příslušném typu paměti.

Z metodologického hlediska poměrně jednoduchým je měření ordinální, kdy se z měřených dat sestavuje pořadí dle kvantity příslušného parametru. Již na tomto jednoduchém stupni měření se však při kvantifikaci množství informace uložené v jednotlivých typech biologické paměti objevuje mnoho problematických míst.

Pro aplikaci ordinálního měření na molekulární paměťovou doménu se jako nejsnazší způsob nabízí měření počtu bází v molekule DNA a následné seřazení organismů podle velikosti jejich genomů. Vznikne tak řada, která začíná nejmenším známým genomem buněčného organismu, tj. *Mycoplasma genitalium* o délce cca 580 kb a končí genomem největším, tj. *Amoeba dubia*, cca 6.7×10^8 kb (Islas, Becarra, Luisi, Lazcano, 2004). Toto naměřené pořadí má jistě svou relevanci, její míra však není tak vysoká, jak se před sekvenováním předpokládalo. Pregenomické éře obecně převládal názor, čím složitější organismus, tím větší genom. Tato premisa však byla v postgenomické éře vyvrácena, neboť i poměrně jednoduché, jednobuněčné organismy mají genom až 1000x rozsáhlejší co do počtu bp nežli člověk, který měl podle tehdejších představ stát někde kolem pomyslného vrcholu. Hlavním problémem při interpretaci vztahu velikosti genomu a velikosti biologicky relevantní informace, kterou uchovává je jeho multifunkčnost, degenerace a redundance (Totoni, Sporns, Edelman, 1999). Multifunkčností se v tomto kontextu míní schopnost živého systému použít jednu konkrétní sekvenci k více účelům a tím zvýšit množství biologické informace, které nese. Naopak degenerace je fenomén, při kterém části genomu o různé sekvenci kódují stejnou biologickou funkci a redundance je fenomén, při kterém je jedna konkrétní biologická funkce kódována více shodnými sekvencemi, které existují paralelně, popř. kdy daná sekvence nemá relevantní biologickou funkci. Na základě měření celkové délky multifunkčních, degenerovaných a redundantních sekvencí můžeme určit tzv. funkční délku genomu:

$$D_f = (\sum D_{\text{nor.}} + \sum D_{\text{mul.}}) - (\sum D_0 + D_d + \sum D_r), \quad (5)$$

kde D_f je funkční délky genomu, $D_{\text{nor.}}$ je délka sekvence bez redundance či degenerace, $D_{\text{mul.}}$ je délka multifunkční sekvence, D_d je délka degenerované sekvence, D_0 je délka sekvence bez relevantní biologické funkce a D_r je délka redundantní sekvence.

Uvedený vzorec ještě nekvantifikuje míru degenerace či redundance jednotlivých sekvencí. Ta je zahrnuta do následujícího vzorce pro výpočet funkční délky genomu:

$$D_f = (\sum D_{\text{nor.}} + f_{\text{mul.}} \sum D_{\text{mul.}}) - (\sum D_0 + f_d D_d + f_r \sum D_r), \quad (6)$$

kde f_{mul} . Vyjadřuje průměrnou míru multifunkčnosti multifunkčních sekvencí, tj. kolik biologicky relevantních funkcí daná sekvence průměrně zastává, f_d vyjadřuje průměrnou míru degenerace degenerovaných sekvencí, tj. kolik degenerovaných sekvencí průměrně zastává stejnou funkci, f_r pak vyjadřuje průměrnou míru redundance redundantních sekvencí, tj. kolik kopií sekvence průměrně zastává stejnou biologickou funkci.

Z uvedených vzorců je patrné, že největší problém při jejich sestavování je dobrá definice „biologicky relevantní informace“. V praxi lze tento problém obejít tím, že se za sekvenci s biologickou funkcí považuje pouze ta, která se transkribuje a následně translatuje do primární struktury proteinu. To sice do značné míry snižuje validitu modelu, neboť zvyšuje podíl nefunkčních sekvencí tím, že do nich zahrnuje i ty s regulačními vlastnosti, které se netranskribují, přesto však má tato redukce v některých aplikacích své opodstatnění.²⁴

Je jasné, že velké problémy existují již při aplikaci ordinálního měření pro kvantifikaci molekulárních paměťových systémů organismu, ještě větší komplikace vyvstávají při pokusech o aplikaci intervalového a především poměrného měření. Jedny z nejstarších pokusů vycházely z kvantifikace informace, kterou nese příslušný úsek DNA pomocí Shannonova vzorce (Shannon, 1948):

$$S_{(Q/X)} = -K \sum p_i \ln p_i, \quad (7)$$

kde S je entropie Q je otázka, X je předběžná znalost, p_i je pravděpodobnost i -té události, K je konstanta úměrnosti. Pokud tento vzorec má být použit pro výpočet informace, pak se konstanta K definičně rovná $1/\ln 2$, tedy:

$$I_{(Q/X)} = -(1/\ln 2) \sum p_i \ln p_i, \quad (8)$$

výsledek výpočtu vyjde v bitech. Nejjednodušší aplikace tohoto vzorce při aplikaci na sekvenci DNA vychází z předpokladu, že ani během replikace, ani během translace příslušné enzymové komplexy nemají žádnou předběžnou znalost, jaký druh nukleotidu bude v dalším kroku inkorporován do nově vznikajícího řetězce DNA či RNA, tedy:

$$I_{(Q)} = -(1/\ln 2) \sum \ln p_i, \quad (9)$$

²⁴ Je to především při komparačních genomických studiích.

molekuly DNA a RNA obsahují čtyři typy nukleotidů, pravděpodobnost zařazení příslušného nukleotidu je tedy 25%:

$$I_{(Q)} = -(1/\ln 2) \sum \ln 0,25 = 2 \text{ bity.} \quad (10)$$

Uvedený koncept je však relevantně použitelný jen na procesy, při kterých je DNA používána jako templát pro replikaci či transkripci a to ještě s určitými výhradami. Koncept by byl zcela relevantní, pokud by DNA byla použita jako paměťové médium v binárním počítači.

V takovém případě by skutečně každý jednotlivý nukleotid representoval 2 bity, popř. 1 při použití pouze dvou typů nukleotidů (pyrimidinů či purinů). Jelikož však buňka binárním počítačem není, uvedený způsob kvantifikace spíše zajímavým srovnáním informačních procesů v buňce a v počítači, který má jistou biologickou plauzibilitu jen v případě uvedených procesů replikace a transkripce, kdy buňka generuje informační činnosti, které se velmi blíží činnostem, které provádí binární počítač během kopírování a kódování dat.

Podobně jako v případě paměti molekulární je obtížné kvantifikovat i paměti neurokomputační a mentální. V případě neurokomputační paměti se jako první, podobně jako v případě paměti molekulární nabízí ordinální měření, v tomto případě na základě počtu nervových buněk v konkrétním nervovém systému. Organismy s nejjednodušší NS disponují pouhými desítkami až stovkami neuronů, např. nervový systém *Caenorhabditis elegans* tvoří 302 neuronů (White, Southgate, Thomson, Brenner, 1986), lidský mozek váží cca 1300g a obsahuje asi 10^{11} neuronů (Blinkov, Glezer, 1968). Největším mozkiem pak disponuje vorvaň tuponosý, cca 8000g. Pro analýzu informační kapacity neurokomputační paměti však není podstatný jen počet neuronů, ale zejména počet spojení, které tvoří s dalšími nervovými buňkami, tj. synaptická konektivita. Ta se u jednotlivých neuronů může pohybovat v poměrně širokém rozmezí od několika jednotek až po statisíce, např. u Purkyňových buněk mozečku. Celkový počet synapsí v NS lze vyjádřit následujícím vzorcem:

$$N_s = N_n \times C_p, \quad (11)$$

kde N_s je celkový počet synapsí v NS, N_n je celkový počet neuronů a C_p je průměrná konektivita neuronu, tj. průměrný počet synapsí, který neuron vytváří s ostatními nervovými buňkami. Jelikož na průměrný neuron připadá cca 1000 synapsí (Purves et al., 2001), je celkový počet synaptických spojů např. v lidském mozku cca 10^{14} . Jelikož se míra synaptické

konektivity u jednotlivých druhů významně neliší²⁵ a ani míra degenerace a redundance v odlišných NS není diametrálně rozdílná, ordinární měření kapacity neurokomputační paměti na základě počtu neuronů v NS jednotlivých druhů organismů má vyšší biologickou relevanci, nežli odpovídající měření kapacity genetické paměti na základě velikosti genomu.

Větší obtíže samozřejmě nastávají při pokusech o poměrné měření kapacity neurokomputační paměti na základě Shannonova konceptu informace. Nejjednodušší a z hlediska biologické relevance patrně nejproblematictější jsou modely založené na ztotožnění jednoho neuronu jako jednoho bitu informace. Lidský mozek obsahuje cca 10^{11} neuronů a je tedy dle těchto modelů schopen uložit cca 0,1 terrabitu informace. Této hodnoty dnes již dosahují některá klasická počítačová paměťová média a tak je, především v infromatické komunitě občas vyjadřován názor, že moderní výpočetní technika již dosáhla stejné paměťové kapacity, jako lidský mozek. Model, který pracuje s konceptem 1 neuron = 1 bit by však měl plné opodstatnění pouze v případě, že by organická neurokomputační paměť pracovala na principu, při kterém by reprezentovala každý neuron jako binární prvek a pracovala v diskrétních časových intervalech. Principy fungování organického NS jsou však založeny na nelinearitě a časové spojitosti, tudíž uvedená koncepce se velice vzdaluje od biologické reality. Koncepčně podobným, ale kvantitativně velmi vzdáleným je model kvantifikace neurokomputační paměti založený na koncepci OAR²⁶. Tato koncepce kvantifikuje množství informace složitelné do neurokomputační paměti na základě kombinatorického modelu založeného na počtu neuronů a průměrného množství synapsí, který nervová buňka v dané NS vytváří, dle následujícího vzorce (Wang, Liu, Wang, 2003):

$$I_{(i)} = N_p! / C_p! (N_p! - C_p!), \quad (12)$$

kde $I_{(i)}$ je množství informace N_n je celkový počet neuronů a C_p je průměrná konektivita neuronu, tj. průměrný počet synapsí, který neuron vytváří s ostatními nervovými buňkami.

V případě lidského mozku pak výpočet vypadá takto:

$$I_{(i)} = 10^{11}! / 10^3! (10^{11}! - 10^3!) \quad (13)$$

²⁵ Tato skutečnost platí zejména v rámci vyšších obratlovců.

²⁶ Object – Attribute – Relation (OAR).

Výpočet tohoto vzorce prakticky nelze provést na binárním počítači a je třeba využít metody aproximantní kombinatoriky, tedy:

$$I_{(i)} = 10^{11}! / 10^3! (10^{11}! - 10^3!) \sim (10^{11})^{10^3} = 10^{11000}. \quad (14)$$

Kapacita neurokomputační paměti je tedy dle tohoto modelu 10^{11000} bitů, což je jen těžko představitelné číslo, které zdaleka překračuje paměťovou kapacitu všech počítačů na Zemi. Jak je vidět, kvantifikace dle koncepce OAR se diametrálně liší od modelu, uvažujícího jeden neuron jako jeden bit. Problémem OAR modelu je ta skutečnost, že do vzorce zahrnuje všechny teoreticky myslitelné kombinace neuronů a jejich synaptických spojení. To však v praxi samozřejmě není možné, a organická nervová soustava vytváří jen nepatrný zlomek kombinací z množiny teoreticky myslitelných. I v případě provedení redukce podle neurobiologických dat však výsledná informační kapacita jen diskutabilně koreluje s biologickou realitou, neboť organismus nedisponuje mechanismem, které by byl schopen reprezentovat binární stav všech synapsí v daném nervovém systému.

Pokud jde o kvantifikaci paměti mentální je nejvíce relevantní použití nejrůznějších psychotestů. Metodika sestavování jednotlivých testů je nejčastěji zaměřena na jednotlivé paměti s různou časovou dynamikou. Nejběžnějším testem pro hodnocení krátkodobé paměti je zřejmě test slovní, kdy si testované individuuum musí v krátké době zapamatovat několik slov a po určitém časovém intervalu nepřesahujícím několik minut tyto slova znovu reprodukovat. Počet správně reprodukovanych slov pak kvantifikuje relativní kapacitu krátkodobé mentální paměti:

$$K = P_s / P_c, \quad (15)$$

kde K je kapacita krátkodobé paměti, P_s je počet správně reprodukovanych slov a P_c je celkový počet slov v testovaném slovním souboru. Střednědobá paměť se většinou testuje otázkami na události, které osoba prožila např. v průběhu minulého týdne. Pokud jde o relativní kvantifikaci, je možné použít test, kdy se otázky cíleně zaměřují na jednotlivé dny. Výslednou kapacitu pak tvoří poměr mezi počtem dní, na které si osoba dokázala rozvzpomenout a celkovým počtem testovaných dní. Dlouhodobá paměť se pak testuje např. za pomoc speciálních testů, které přiřazují indexy důležitosti jednotlivým informacím uloženým v dlouhodobé paměti. Na základě vyhodnocení množství vzpomenuých informací

násobených průměrným indexem jejich důležitosti pak kvantifikují kapacitu dlouhodobé mentální paměti.

Problémem při měření kapacity mentální paměti je ta skutečnost, že většina testů je založena na její verbalizovatelné složce. To tyto testy jednak předurčuje pro kvantifikaci výlučně lidské mentální paměti a i v tomto případě dochází k problémům, z důvodu interference poruch v oblasti paměťové a např. poruch řeči nebo pozornosti.

Celkově lze shrnout, že kvantifikace velikosti biologických pamětí je obtížná disciplína, zejména z důvodu těžké definice toho, co je biologicky relevantní informace. Také aplikace informatických modelů založených na Shannonově konceptu informace na živé systémy je často z biologického hlediska sporná, často nesmyslná. Přesto však některé modely snažící se o kvantitativní popis organických pamětí svou opodstatněnost a to především při komparačních studiích jednotlivých biologických druhů.

4. Representace

Representací se rozumí schopnost systému vytvářet a uchovávat ve své struktuře vnitřní model vztahů vnějšího, popř. vnitřního prostředí (Palmer, 1978). Důležitým aspektem tohoto fenoménu je skutečnost, že fyzikální podstata representačního média může být zcela odlišná od fyzikální podstaty representovaného systému, přesto se však struktura vztahů v representačním médiu musí nějakým specifickým způsobem vztahovat ke struktuře vztahů v representovaném systému. Jako příklad může posloužit obraz vytvářený na zrcadle. Ten má zcela jinou fyzickou podstatu než mají objekty, které zobrazuje. Přesto však má s těmito objekty některé společné vlastnosti a je jejich representací. Z uvedeného příkladu je patrné, že representace nikdy nemůže reflektovat celou komplexitu representovaného systému. Pokud však representační systém dokáže vybrat vhodné parametry zobrazovaného systému, může ne jejich základě vytvořit kognitivní model, pomocí něhož je schopen odhadovat chování representovaného systému a předikovat jeho změny.

Uvedené vlastnosti se týkají především tzv. komplexní formy representace, kdy se representační systém snaží postihnout co možná nejširší škálu aspektů zobrazovaného systému. Jde tedy o tvorbu rozsáhlého modelu. Ten vyžaduje zúčastnění velké množství jednotlivých representačních prvků, velké množství informací ze sensorických systémů a velkou kapacitu příslušného paměťového média. Naproti tomu stojí proces tzv. reduktivní representace. Jde o děj, při němž kognitivní systém přisoudí určité jednoduché, sensoricky detekovatelné vlastnosti prostředí status ukazatele (markeru) mnohem komplexnější vlastnosti, jejíž komplexní representaci má již často uloženou ve svých paměťových systémech. Vznik reduktivní representace tedy umožňuje velmi efektivně a především rychle organismu reagovat na jednoduché stimuly v prostředí, které však prezentují jeho mnohem komplexnější vlastnosti, jejichž detailní analýzy by živému systému zabrala neúměrně mnoho času. Samo ustanovení dané vlastnosti jako representačního markeru je však proces poměrně pomalý, neboť vyžaduje pečlivý výběr. Representační marker musí splňovat některá důležitá kritéria. Předně musí být jednoduše detekovatelný senzory organismu. Dále se musí dostatečně konzistentně vztahovat k dané komplexní vlastnosti prostředí. Pokud jeho přítomnost koreluje s příliš velkým počtem jevů, je pro reduktivní representaci nepoužitelný, neboť organismus není schopen rozhodnout, ke jaké vlastnosti prostředí se aktuálně vztahuje. Na druhou stranu je-li až příliš specifický, hrozí, že ho organismus bude využívat s příliš

nízkou frekvencí na to, aby se mohl evolučně či ontogeneticky ustálit. Pokud marker splní uvedené podmínky, stává se podstatným kognitivním aspektem organismu s velkým dopadem na jeho životaschopnost, neboť mu umožňuje reagovat na měnící se podmínky prostředí nesrovnatelně rychleji a s velkou energetickou úsporou, než pokud by příslušným markerem nedisponoval.

4.1. Molekulární representace

Molekulární representace se vztahuje ke schopnosti živého systému uchovávat ve své struktuře vnitřní model molekulárních vlastností prostředí. Zřejmě nejefektivnější způsob, jak studovat molekulární representaci je podívat se na ni z evoluční perspektivy. První jednobuněčné organismy se na Zemi objevily cca před 3,8 - 3,9 miliardami let (Mojzsis, Arrhenius, McKeegan et al., 1996). O jejich molekulárních vlastnostech s jistotou nemůžeme tvrdit prakticky nic, je však pravděpodobné, že jejich molekulární procesy byly již založeny na interakci nukleových kyselin a proteinů a že měly hydrofobní membránu. Důležitou vlastností jakéhokoli živého systému je schopnost specificky rozpoznávat molekuly vyskytující se v okolním prostředí a na toto specifické rozpoznání odpovídajícím způsobem reagovat. Oba tyto děje ve své komplexitě vyžadují přítomnost vnitřního buněčného modelu okolního molekulárního světa, tj. komplexní molekulární representaci. Je otázkou, v nakolik komplexním molekulárním prostředí se pohybovaly organismy na počátcích existence živé hmoty. Lze však předpokládat, že alespoň v některých lokalitách byly různorodost a množství molekul dostatečně velké na to, aby se vyrovnalo některým recentním lokalitám výskytu organismů. Tento předpoklad je dán především samotnou podmínkou vzniku života, který vyžadoval poměrně vysoký stupeň molekulární komplexity. Prvotní organismy zřejmě byly z molekulární hlediska jednoduché, což znamená, že je obtížně representovaly celkovou molekulární komplexitu prostředí. Znamená to, že nebyly schopny účelně využít všechny molekulární složky prostředí, tedy inkorporovat molekuly prostředí do svých metabolických procesů a využít je k vlastnímu prospěchu během procesu autopoiesy. Důvodem této neschopnosti byla nízká representační mohutnost jejich molekulární aparátu. Ta se dá vyjádřit následujícím vzorcem:

$$Q_r = P_r / P_c, \quad (16)$$

kde Q_r je molekulární representační mohutnost, P_r je počet druhů molekul, které daný organismus v daném prostředí specificky reprezentuje a P_c je celkový počet druhů molekul v daném prostředí. Prapůvodní živé systémy zřejmě reprezentovaly jen velmi malý zlomek z celkového počtu druhů molekul v daném prostředí. Tato skutečnost se však nemusí týkat jen prvotních živých systémů. I recentní organismy, pokud obsazují nové prostředí se setkávají s novými druhy molekul, na které nejsou adaptovány a nejsou je tedy schopny specificky reprezentovat. Na rozdíl od prvotních organismů se však již většinou dostávají do prostředí, kde žijí jiné organismy a molekulární komplexita prostředí je z velké části utvářena právě jimi. Pravděpodobnost, že v daném prostředí budou dosahovat poměrně vysoké Q_r je tedy vyšší, neboť všechny recentní organismy pravděpodobně vzešly ze společného předka a jsou tudíž vystaveny na podobných biochemických principech. Tím pádem se zvyšuje pravděpodobnost, že si ve své genetické paměti nesou reprezentace molekul nového prostředí. Obecně, jak pro prvotní živé systémy tak pro recentní organismy osidlující nová prostředí, platí, že jejich Q_r s časem roste ($Q_r \uparrow$) a že tedy P_r se limitně blíží k P_c ($P_r \lim \rightarrow P_c$). Umělý systém, který je schopen specifické molekulární reprezentace je možné nazvat molekulární assembler (Drexler, 1986). Hypotetický systém, který by byl schopen specificky reprezentovat všechny molekuly vyskytující se v prostředí ($P_r = P_c$) lze nazvat univerzální molekulární assembler.

Při popisu molekulární representační mohutnosti zřejmě největší problémy způsobuje definice specifické molekulární reprezentace (R_s). V praxi se tento problém dá obejít tím, že za R_s budeme považovat pouze ten stav, kdy má daná molekula specifický adaptorový protein. To však snižuje okruh molekul, které jsou zahrnuty do P_r , neboť ne všechny molekuly které by dle biologické relevance měli do P_r nemají adaptorový protein. Je tedy možné vytvořit nový model, ve kterém je za R_s považován stav, kdy má daná molekula specifický adaptorový protein (R_{sp}):

$$Q_{rp} = P_{rp} / P_c, \quad (17)$$

kde Q_{rp} je proteinová molekulární representační mohutnost, P_{rp} je počet druhů molekul v prostředí se specifickým adaptorovým proteinem a P_c je celkový počet druhů molekul v daném prostředí. Uvedený vzorec může být ještě nadále modifikován na základě měření multifunkčnosti, degenerace a redundance v proteinové síti. Je třeba zdůraznit, že (R_{sp}) se vztahuje pouze k molekulární kognitivní doméně proteomu a tedy že hodnota Q_r je vždy vyšší než hodnota Q_{rp} ($Q_r > Q_{rp}$).

Uvedené principy se týkaly především komplexní molekulární reprezentace. Živé systémy na molekulární úrovni však disponují ještě i její reduktivní formou. Ta představuje schopnost organismu přisoudit určitému druhu molekuly statut markeru komplexního procesu. Živý systém se často dostává do situací, kdy je vhodné generovat komplexní molekulární chování, např. zaktivovat celou metabolickou dráhu, protože v prostředí jsou přítomny příslušné substráty. Kontinuální aktivace daného chování však neúměrně zatěžkává zdroje organismu. Tento problém je právě reduktivní molekulární reprezentace schopna řešit. Během tohoto procesu se jediné molekule přisoudí statut markeru, který reduktivně reprezentuje komplexnější vlastnosti prostředí. Prvotní organismy zřejmě ještě neměly k dispozici žádnou molekuly, které by měly vlastnosti klasických markerů, protože na jejich ustanovení je potřebné poměrně dlouhé období, resp. velké zkušenosti organismu s daným prostředím. Poměrně dlouhá doba, která je potřebná pro ustanovení molekulárního markeru je jednak dána jeho složitým výběrem a také časově náročným laděním regulačních vazeb, které zachycení daného markeru v prostředí způsobí. Proto platí, že čím více je živý systém adaptován na dané prostředí, tím větším počtem molekul se statutem markeru disponuje. Míru adaptace organismu na dané prostředí na základě počtu molekulárních markerů lze pak testovat dle následujícího vzorce.

$$A_m = P_m / P_c, \quad (18)$$

kde A_m je míra markerové adaptace, P_m je celkový počet molekul se statutem markeru v daném prostředí a P_c je celkový počet druhů molekul v daném prostředí. Problémem při sestavování tohoto vzorce samozřejmě je, jaká kritéria zvolíme pro definici molekuly jako markeru. Každá molekula prostředí je do jisté míry nositelkou biologicky relevantní informace, a tak je její zahrnutí do množiny markerů krokem spíše arbitrárním. Hodnocení A_m tak má spíše význam při komparaci míry markerové adaptace na dané prostředí mezi jednotlivými organismy, kdy jsou pro zahrnutí molekuly do množiny markerů použita stejná kritéria.

4.2. Neurokomputační representace

Neurokomputační representace se vztahuje ke schopnosti živočišného nervového systému uchovávat ve své neuronové struktuře strukturu vztahů, které existují mezi ním a objekty prostředí, uvnitř jeho vlastního těla a mezi objekty vnějšího prostředí navzájem. Ono uchování struktury vztahů má na neurokomputační úrovni několik forem. Evolučně nejvíce konzervovaným typem neurokomputační representace je nepodmíněný reflex. Jedná se o proces, během něhož příslušný stimulus prostředí vyvolá specifickou behaviorální odezvu organismu. Podstatným aspektem tohoto procesu je, že je vrozený a živočich nejen že se mu v průběhu života nemusí učit, ale často ho není ani schopen potlačit, pokud se ukáže, že je ve konkrétním prostředí, ve kterém se živočich momentálně vyskytuje neadaptivní. Evoluční konservovanost neurokomputačního nepodmíněného reflexu pak vyžaduje uložení jeho specifické representace v molekulárních paměťových systémech terminálních buněk, resp. vzniklé zygoty.

Na rozdíl od nepodmíněného reflexu, podmíněný reflex (Pavlov, 1927) se ustanovuje až během ontogeneze příslušného živočicha a v podstatě se jedná o účelné adaptace chování, které živočich v průběhu svého života vytváří jako reakce na specifické podněty z prostředí. Podmíněný reflex je tedy mnohem plastičtější, než nepodmíněný a živý systém má možnost jeho působení v průběhu své ontogeneze stupňovat či zeslabovat.

Při popisu nepodmíněných a podmíněných reflexů je zajímavé analyzovat jejich neuronální substráty. Pokud jde o paměť, nepodmíněné reflexy jsou nejčastěji podmíněny specifickým zapojením jednotlivých neuronů, tj. synaptickou topologií²⁷, zatímco podklad nepodmíněných reflexů tvoří dynamické formy NP. Tyto skutečnosti jsou již z velké části zohledněny v kapitole o NP. V případě podmíněných reflexů je ale podstatné si uvědomit, že i ony jsou do značné míry závislé na neuronálních substrátech, jejichž struktura je vývojově podmíněna podobně jako u reflexů nepodmíněných. Evolučně podmíněná struktura neuronální sítě ale v případě podmíněných reflexů určuje, jakým behaviorální reakcím na daný podnět se živočich bude schopen naučit, resp. jakým se učit má. Existence podmíněných reflexů tak nejen že živočichu umožňuje vyšší míru adaptace na specifické prostředí prostřednictvím učení, ale zároveň snižuje nároky na přesnou specifikaci synaptické topologie, které je podkladem statické NP, což opět klade menší nároky na molekulární paměťové systémy, které statickou NP z velké části specificky utvářejí.

²⁷ Která tvoří podklad statické neurokomputační paměti.

Podobně jako v případě molekulární reprezentace lze i pomocí neurokomputační reprezentace založené na nepodmíněných a podmíněných reflexech hodnotit míru adaptace, v tomto případě živočišného organismu na dané prostředí. V tomto kontextu je míra evoluční adaptace určitého druhu na dané prostředí vyjádřitelná jako:

$$A_e = P_n / P_{pn}, \quad (19)$$

kde A_e je míra evoluční adaptace daného druhu, je P_n počet nepodmíněných reflexů na dané stimuly prostředí generovaný daným druhem a je P_{pn} průměrný počet nepodmíněných reflexů generovaný příslušníky druhů příbuznými druhu, který je testován. Největším problémem při požití tohoto způsobu měření evoluční adaptace daného druhu není ani tak kvantifikace množství nepodmíněných reflexů daného druhu²⁸, jako spíše vybrat dostatečně dobrou skupinu příbuzných organismů. NS živočichů z tohoto výběru by se totiž měla vyznačovat podobnou strukturální a funkční komplexitou a zároveň by měl být výběr dostatečně široký, aby byl test dostatečně validní. S menšími metodologickými problémy, co se týče výběru skupiny živočichů se proto potýká analýza ontogenetické adaptace určitého organismu na základě hodnocení počtu podmíněných reflexů, které generuje v odpovědi na specifické stimuly z prostředí. Ta se dá vyjádřit jako:

$$A_o = P_d / P_{pp}, \quad (20)$$

kde A_o je míra ontogenetické adaptace určitého organismu na základě hodnocení počtu podmíněných reflexů, P_d je počet podmíněných reflexů na dané stimuly prostředí generovaný daným organismem a P_{pp} je průměrný počet podmíněných reflexů generovaný příslušníky daného biologického druhu v konkrétním prostředí. V případě výpočtu A_o je však na rozdíl od výpočtu A_e větším problémem určení počtu specifických podmíněných reflexů (P_d , P_{pp}), které konkrétní živočich či živočišný druh generují.

Komplexní neurokomputační reprezentaci lze pak definovat jako soubor všech nepodmíněných a podmíněných reflexů daného organismu, tj. jinak řečeno množinu všech komplexních sensorických vstupů, mezi nimiž je organismus schopen rozlišovat a které mohou potencionálně vyvolat jeden či více behaviorálních vzorců z množiny všech, které je živý systém schopen vygenerovat. Z uvedené definice je patrné, kvantifikace komplexní

²⁸ Ačkoli ta má samozřejmě také svá úskalí.

neurokomputační representace je myslitelná jen u živočichů s jednoduchou NS nebo u živočichů s komplexnější NS, kteří jsou vystaveni prostředí s velmi redukovanou, sensoricky redukovanou komplexitou. Toho se využívá při nejrůznějších neurobehaviorálních studiích, kdy se pokusné organismy vystaveny jen redukovanému počtu procesů, které jsou sensoricky detekovatelné, takže příslušní živočichové generují jen omezený počet podmíněných reflexů, přičemž je v krajním případě nengenerují prakticky vůbec. U živočichů s vyvinutým koncovým mozkiem se pak metodologickým problémem stává odlišení čistě neurokomputačních representací od representací, kde je přítomna i mentální složka.

4.3. Mentální representace

Teorie mentální representace²⁹ je jednou z nejpodstatnějších součástí současného pojetí teorie mysli (Thagard, 1995). Autorem, který je často uváděn jako zakladatel moderní koncepce mentální representace byl Kenneth Craik (1914-1945), skotský filosof a psycholog, který ve své knize *The Nature of Explanation* (1943) vyslovil tezi, že mysl vytváří mentální modely reálné skutečnosti a na jejich základě vytváří predikce budoucích situací. K. Craik je díky této koncepci považován za jednoho ze zakladatelů kognitivní vědy. Samotný termín kognitivní věda pak poprvé použil Christopher Longuet-Higgins roku 1973. V současnosti snad neexistuje žádný vědec či filosof zabývající se kognitivní vědou, který by ve své práci nereflekoval teorii mentální representace. Následující krátký text je tak pouze stručnou ilustrací jejího koncepčního rozdělení na komplexní a reduktivní formu.

Reduktivní formu representace lze v jistém smyslu popsat jako schopnost přiřazení dané sensorické mentální modalitě danému neurokomputačnímu sensorickému vstupu. Tato forma reduktivní mentální representace je však velmi omezená, neboť člověk i ostatní živočichové disponují jen velmi omezeným počtem sensorických modalit.³⁰ Příležitostně, ale explanačně problematičtější je popis reduktivní mentální representace s použitím pojmu qualia.³¹ Prvním, kdo použil pojem qualia v moderním smyslu byl americký filosof C. I. Lewis v knize *Mind and the World Order* (1929), kde ji popisuje jako „*zcela intuitivní, danou a neschopnou být subjektem možné chyby, neb je sama čistě subjektivní*“. Qualia je

²⁹ Někdy též označovaná jako mentální model.

³⁰ Jinak, ne zcela přesně řečeno smyslů.

³¹ Z latinského singuláru „*quale*“, česky přeložitelné jako „jaký druh“ nebo „jaký typ“.

předmětem studia nejen filosofie, ale též moderní neurobiologie. Ze současných autorů, zabývajících se její problematikou lze uvést např. Christofa Kocha:

Qualia je filosofický pojem pro introspekčně přístupné fenomenologické aspekty našich životů, elementární pocity a počítky, které jsou základními kameny našeho vědomého prožívání.

Ch. Koch (2004)

Na otázku, proč by se měl biolog, resp. neurobiolog zabývat touto problematikou autor odpovídá, že „*jediná cesta, že jedinou cestou, díky níž víme o světě, zahrnujícím i naše tělo je prožívání našich smyslů a myšlení*“.

Z hlediska teorie representace je to právě qualia, jejíž přítomnost v odpovědi na daný stimulus může být použita jako kritérium úspěšné mentální representace. Do množiny jevů a procesů, které qualia nějakým způsobem postihuje pak mohou být zahrnuty nejen jednotlivé senzorické representace daných smyslových vstupů, tj. např. „červenost“ světla o příslušné vlnové délce, ale i míra specifických emocí nebo myšlenkových procesů, které příslušný senzorický vstup vyvolá.

Pokud se na tuto problematiku nahlíží, podobně jako v případě podmíněných a nepodmíněných z evoluční a ontogenetické perspektivy, pak lze konstatovat, že např. emoční reakce na daný podnět (marker) z prostředí³², která je evolučně konzervovaná a jedinec daného druhu se jí tudíž nemusí v průběhu svého života učit, lze označit za nepodmíněnou reduktivní mentální representaci, odpovídající nepodmíněnému reflexu na neurokomputační úrovni kognitivní organizace živého systému. Naopak, emoční reakce na příslušný stimulus, která se ustanoví průběhu života konkrétního organismu a není tedy automaticky přítomna u všech jedinců příslušného druhu, lze označit za podmíněnou reduktivní mentální representaci, odpovídající na neurokomputační úrovni podmíněnému reflexu. Soubor všech podmíněných i nepodmíněných mentálních representací lze pak označit za komplexní mentální representaci prostředí daným organismem.

Podstatným bodem těchto úvah je, že organismus může na základě podmíněných mentálních representací s velkou měrou volnosti funkčně spojovat danou representaci (např. pocit radosti) s konkrétní situací. V této volnosti je však relativně omezen prostřednictvím nepodmíněných mentálních representací (např. pocit bolesti při poranění), ačkoli i toto

³² Např. pocit strachu při uvědomění si přítomnosti predátora.

omezení volné kombinovatelnosti je organismem překonatelné.³³ Živý systém je však v průběhu své ontogeneze³⁴ v podstatě neschopen vygenerovat zcela novou kvalii, tj. není schopen generovat např. zcela nový vjem barevnosti jako reprezentaci určité vlnové délky, či dokonce vytvořit zcela novou senzorickou modalitu. Tyto schopnosti jsou v případě senzorické modality dány především její evoluční časovou kontinuitou a v případě specifické kvalie především kombinací její časové kontinuity evoluční a ontogenetické.

4.4. Časová dynamika a organických representací

Podobně jako byly jednotlivé typy organické paměti podkladem pro rozbor problematiky měření kognitivních vlastností živých systémů, organické representace jsou v následující kapitole podkladem pro uchopení problematiky časové dynamiky a vývoje procesů podmiňujících kognitivní vlastnosti živých systémů.

Z hlediska časové dynamiky má dlouhodobý vývoj živých systémů dvě nejdůležitější kategorie. První z nich je ontogeneze, kterou lze definovat jako individuální vývoj organismu od jeho vzniku až po jeho zánik. Veškeré, především pak kognitivní stavy a procesy, které organismus během svého života prodělá, představují ontogenetickou historii, resp. zkušenost příslušného organismu. Druhou kategorií je pak evoluce. Ta na rozdíl od ontogeneze neprobíhá v rámci jednoho organismu, ale jedná se o vývoj skupin živých systémů. Živý systém si ve svých vnitřních kognitivních systémech uchovává některé informace o stavech a procesech, které prodělaly jeho evoluční předchůdci a strukturu těchto informací lze označit za evoluční historii, resp. zkušenost daného živého systému.

Genetická a epigenetická molekulární representace ve vztahu k časové dynamice živých systémů.

Problematika vztahu genetiky a epigenetiky se zejména v posledních desetiletích stala jednou z intenzivně studovaných oblastí moderní biologie (Turner, 2007). Po většinu 20. století v biologii více či méně převládal tzv. genetický determinismus, tj. zkráceně řečeno představa, že geny „řídí vše“. Tato představa měla a má svůj podklad nejen ve velkých úspěších molekulární genetiky, ale také v technických vědách a v jejich pojetí fungování živého systému jako stroje. Koncem 20. století se však koncepce genetického determinismu

³³ U člověka např. v hypnotických stavech nebo prostřednictvím autosugesce.

³⁴ V určitých případech se toto tvrzení netýká raných fází vývoje organismu.

ukázala jako neúspěšná v řešení moderních biologických výzkumných témat, především v oblasti morfogeneze. Toto období je také obdobím nárůstu zájmu o epigenetiku. Autorem ,který zavedl pojem epigenetika byl C. H. Waddington (1905 - 1975), britský vývojový biolog a filosof, který se v mnoha ohledech zasloužil o vznik a vývoj moderní systémové a teoretické biologie.

Epigenetika se pak jako disciplína vyhraňuje proti genetickému determinismu a snaží se studovat z biologického hlediska podstatné procesy v živých systémech, kde genetické podmínění daného procesu hraje jen vedlejší roli.

Jak bylo zmíněno, v rámci specifické molekulární representace (R_s) lze vydělit podskupinu (R_{sp}), která se vztahuje jen ke schopnosti specificky reprezentovat molekulární prostředí pomocí kódovaných adaptorových proteinů. Jelikož je terciární struktura a tedy i representační specifita kódovaných proteinů dána z největší části kódující sekvencí DNA, která určuje aminokyselinovou sekvenci příslušného proteinu, je možné v tomto případě mluvit o silném genetickém determinismu R_{sp} . Tento typ determinismu je velmi potřebný, neboť umožňuje efektivní předávání R_{sp} mezi jednotlivými generacemi příslušného druhu organismu a zajišťuje tak dostatečnou representační kontinuitu jeho molekulárního aparátu a v případě přirovnání k neurokomputační úrovni lze mluvit o „molekulárních nepodmíněných reflexech“. Je dobré podotknout, že deterministický typ molekulární representace se uplatňuje, podobně jako v případě nepodmíněných reflexů na neurokomputační úrovni především při zpracovávání časově konsistentních procesů prostředí, přičemž časová změna vlastností těchto procesů prostředí dalece překračuje trvání existence konkrétního jedince daného druhu a jedná se tedy o procesy na evoluční časové škále. V případě molekulárních procesů probíhajících v živých systémech se tento fakt týká především proteinů, které jsou zapojené v metabolických drahách, např. v glykolýze, citrátovém cyklu atd. Prostá přítomnost geneticky determinovaných molekulárních representací je však pro živý systém nedostatečná, neboť ten musí reagovat i na aktuální změny v prostředí, které probíhají v rámci let, dnů hodin i sekund. Na vznik dynamických molekulárních representací těchto procesů, které organismu umožňují se na tyto dynamické změny adaptovat je evoluční proces příliš pomalý a organismus musí vytvořit odpovídající molekulární representace v průběhu své ontogeneze. Tyto molekulární representace lze pak označit za epigenetické.

Někde na pomezí mezi genetickou a epigenetickou molekulární representací stojí fenomén, na kterém je snad problematika molekulární representace nejlépe oddiskutovatelná, tj. fenomén imunity. Molekulární imunita živých systémů je jednak podmíněna geneticky a to tak, že jednotlivé subgeny různých molekulárních receptorů (proteinových adaptorů) jsou

předávány z generace na generaci formou, která je obvyklá pro statický typ molekulární paměti, epigenetickou stránku fenoménu pak tvoří jednak volná kombinovatelnost příslušných subgenů³⁵ mezi sebou a pak především testování funkčnosti nově vzniklého imunoreceptoru, tj. v případě imunoglobulinů testování jejich dostatečně silné vazby na specifický epitop a kontrola, zda se daný epitop nevyskytuje v příslušném organismu.³⁶ Kombinací jednotlivých subgenů pro těžké a lehké řetězce v případě molekuly imunoglobulinu lze teoreticky celkově získat cca $2,6 \times 10^6$ různých molekul, přičemž tento výpočet navíc nereflektuje obtížně měřitelné množství bodových mutací, které se v příslušných subgenech s vysokou frekvencí vyskytují.³⁷ Tento zpola epigenetický proces³⁸ má pro molekulární reprezentaci organismu zásadní význam, neboť tím vysoce narůstá její representační mohutnost (Q_r) a počet druhů molekul reprezentovatelných imunitním systémem (P_n) se takřka rovná celkovému počtu druhů molekul v daném prostředí (P_c), tj. ($P_n \sim P_c$).³⁹ To má pro živý systém obrovský význam, neboť mu to umožňuje během jeho ontogeneze velkou měrou zvýšit svou molekulární representační mohutnost (Q_r), která, pokud by měla být evolučně konservovaná a tedy spíše genetická (geneticky determinovaná) než epigenetická by extrémně zvýšila nároky na kapacitu DNA jako statického paměťového média organismu.

Epigenetická molekulární reprezentace hraje důležitou úlohu nejen v imunitním procesu, ale též v ontogeneticky regulovaných procesech jako je morfogeneze, chromatinová regulace exprese, buněčná diferenciace atd.

Lze tedy shrnout, že geneticky determinovaná molekulární reprezentace umožňuje organismu ustáleně reagovat na z časového hlediska konzistentní molekulární vlastnosti prostředí, přičemž tyto vlastnosti reprezentuje prostřednictvím DNA jako statického paměťového média. Během života organického individua však v prostředí dochází k molekulárním změnám, na které z genetického hlediska dostatečně adaptován. Epigenetické formy molekulární reprezentace tak umožňují tak v kooperaci s genetickými faktory umožňují reprezentovat a tedy se úspěšně adaptovat na procesy, jejichž časová dynamika je mnohem rychlejší, než časová dynamika evolučních procesů.

³⁵ Samozřejmě v rámci příslušných pravidel, která jsou spoluvytvářena geneticky i epigeneticky.

³⁶ Poruchy tohoto procesu jsou podkladem různých autoimunitních chorob.

³⁷ Výsledné číslo y pak zřejmě bylo ještě mnohonásobně vyšší.

³⁸ Každý epigenetický proces má samozřejmě i jistý genetický podklad a naopak, je tedy je o míru jejich působení.

³⁹ Neúplnost specifické molekulární reprezentace imunitního systému je dána především tím, že ne všechny molekuly v prostředí jsou tzv. imunogenní.

Schopnost mentální representace daného neurokomputačního senzorického vstupu může být považována za kritérium jeho přirozenosti.

Jak bylo zmíněno v úvodu, s prvními elektrickými pokusy na organických živých systémech začal již Luigi Galvani (Brazier, 1961,1988). Jeho současník a názorový odpůrce Alessandro Volta (1745 – 1827) si kolem roku 1790 povšiml, že elektrická stimulace sluchového systému může vést ke vzniku sluchového vjemu, když si sám zavedl kovové válečky do vlastních uší a připojil je k elektrickému obvodu. Hodgkin a Huxley roku 1952 pak provedli za pomoci mikroelektrody první měření akčního potenciálu (Hodgkin, Huxley, 1952). Od specifického měření elektrofysiologické aktivity jediné nervové buňky je již jen krůček k jejímu specifickému ovlivňování. Principem je prosté prohození rolí mezi mikroelektrodou a nervovou buňkou, kdy se elektroda stává generátorem potenciálu a neuron naopak jeho „snímačem“. To samozřejmě otevírá možnosti specifického ovlivnění neurokomputační aktivity organického nervového systému prostřednictvím umělých elektronických prvků.

V současné době již existují početné bionické implantáty, které umožňují lidem postiženým úrazem nebo degenerací NS částečně nahradit její ztracené funkce prostřednictvím funkčního spojení těchto implantátů s organickým NS a ostatními tkáněmi. Co se týče poruch neurosenzorických funkcí, největšího úspěchu je dosahováno právě při náhradách funkce sluchu tzv. kochleárním implantátem (obrázek č. 16). Historicky vzato teoretické základy jeho koncepce položil již zmíněný Alessandro Volta. V jeho případě se však ještě nejednalo o přímé elektrické dráždění nervu, ale jen vnějšího zvukovodu. První přímé dráždění sluchového nervu v průběhu operace provedli v 50. letech 20.století francouzští chirurgové André Djourno a Charles Eyriès (Eisen, 2003). Během 60. let americký lékař William F. House s pomocí technika Jacka Urbana vytvořili první, tzv. jednakanálový kochleární implantát (House, Urban, 1973), který pacientům umožňoval zlepšení porozumění řeči, přičemž hlavní funkci stále měla analýza pohybu rtů mluvího. Během 80. let australský vědec Graeme Clark sestrojil implantát, který dráždil nervová zakončení sluchového nervu ve sluchové hlemýždi (kochlea) na více místech, tzv. multikanálový kochleární implantát. Ten umožňuje pacientům významnou náhradu sluchových funkcí⁴⁰ a jeho modifikace jsou používány dodnes.

⁴⁰ Často umožňuje dobré porozumění mluvené řeči.



Obrázek č.16 - Schéma kochleárního implantátu: 1. Mikrofon, 2. Dekodér – generátor pulsů, 3. Cívka, 4. Elektrodotová zakončení v hlemýždi, 5. Sluchový nerv.

Z klinického hlediska je podstatné, že pokud má být zvuková reprezentace pomocí kochleárního implantátu alespoň částečně nahrazena, musí k jeho implantaci dojít v prvních letech věku dítěte.⁴¹ Pokud se jeho implantace opozdí, jedinec již nikdy v průběhu života nedokáže mentálně reprezentovat zvukové prostředí prostřednictvím sluchové modaloty, popř. bude tato reprezentace silně redukována. Tento fenomén má dvě poněkud odlišné interpretace. První z nich lze označit za neurokomputační a jejím podkladem je nepřítomnost specifické synaptické konektivity ve sluchové dráze a sluchové oblasti mozkové kůry. Nepřítomnost specifické konektivity pak znemožňuje neurokomputační dekódování receptorového signálu přicházejícího ze sluchového nervu. Neschopnost dekódovat vstup, tj. reprezentovat ho na neurokomputační úrovni pak neumožňuje vznik specifické neurokomputační aktivity, která podmiňuje mentální reprezentaci sluchové modaloty. Existuje ale i další interpretace, tj. že po zapojení kochleárního implantátu po kritické periodě přece jen dojde ke generaci odpovídající neurokomputační reprezentace, ta však již nevede k emergenci reprezentace mentální. Důvod tohoto fenoménu lze popsat jako ontogenetickou diskontinuitu neurokomputačního vstupu, který se stává nepřírodným pro v té době již autoorganizované a v jistém smyslu funkčně uzavřené mentální procesy. Tato interpretace má dva významné podklady. Prvním z nich je, že někteří pacienti s pozdě implantovaným kochleárním implantátem generují podvědomé sluchové reflexy, které jsou přítomny u zdravých lidí, ale neobjevují se u osob neslyšících.

⁴¹ Často je uváděn věk od jednoho roku do tří let.

Předpokladem vzniku těchto reflexů je specifická konektivita neuronů ve sluchové dráze a tedy i neurokomputační reprezentace. Druhým podkladem je existence psychického onemocnění, které se nazývá mentální hluchota. Jde o stav, kde má postižený plně zachované organické (neurokomputační) funkce sluchového aparátu, přesto však není schopen sluchovou modalitu mentálně reprezentovat. Tento stav je léčitelný a to specifickou psychiatrickou intervencí. Existence tohoto onemocnění jasně poukazuje na možnost disociace mentální reprezentace od jejího neurokomputačního substrátu. Schopnost mentálně reprezentovat senzorickou modalitu, která je přirozená pro daný druh organismu se tak může ustanovit jako kritérium její ontogenetické kontinuity, tj. ontogenetické přirozenosti.⁴²

Kochleární implantát a senzorické neuroprotézy obecně však mohou posloužit i pro ilustraci evoluční kontinuity dané mentální reprezentace. V současné době je možné pomocí různých neuroprotéz částečně nahradit senzorické funkce NS. Od nahrazení funkce je pak již jen krok k jejímu „vylepšení“. Již v době vynalezení kochleárního implantátu se začaly objevovat kontroverzní úvahy o jeho spojení s echolokátorem, který by pacientům (či živočichům obecně) v nesouladu s organickou přirozeností, tj. evoluční kontinuitou jejich druhu umožňoval prostorovou orientaci na základě echolokace. Celá problematika tohoto procesu je samozřejmě velmi rozsáhlá, ale je možno se na ni podívat, jako v předchozí úvaze z hlediska její neurokomputační a mentální stránky. Z neurokomputačního hlediska by zřejmě největším problémem bylo kódování daného umělého neurokomputačního, v tomto případě echolokačního vstupu. Tento problém je však jen relativní, neboť i běžné kochleární implantáty kódují neurokomputační signál odlišně od organického nervového senzoru. Tento fakt pak podporuje hypotézu, že by příslušný organismus byl schopen za určitých podmínek neurokomputačně, tj. podvědomě reprezentovat daný, z evolučního hlediska nepřirozený senzorický signál a to např. prostřednictvím podmíněných reflexů. Problematickou stránkou tohoto fenoménu je míra jeho efektivity, tj. jakou měrou by zvýšil neurokomputační representační mohutnost daného organismu. Z hlediska mentální reprezentace je však celý proces implantace umělého neurosenzoru, který nenahrazuje senzorickou modalitu přirozenou pro daný biologický druh, ale ta je pro něj naopak nová mnohem problematičtější. Jak bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, organismus má relativní volnost při funkčním spojování daného neurokomputačního senzorického vstupu s danou mentální kvalitou. Není však schopen vygenerovat kvalitu zcela novou. V případě nového senzorického vstupu lze ale argumentovat tím, že je to právě tento vstup, který umožní zformování nové kvality. Zde se však jedná o

⁴² Ve filosofii se přirozenost nejčastěji uchopuje jako „spojenost se zrozením“.

spíše reduktivní typ mentální representace a to i v případě, že by vznikla nová qualie. Hlavním problémem mentální representace nového sensorického vstupu je neschopnost organismu vytvořit v něj průběhu ontogeneze novou mentální modalitu. Vznik nové modality totiž vyžaduje kooperaci molekulárních, neurokomputačních a mentálních autoorganizačních systémů organismu. Molekulární složka je tu zastoupena především ve formě morfogenetické regulace. Příslušná změna morfogenetických regulačních systémů organické NS tak, aby mohly být podkladem pro úspěšnou mentální representaci daného sensorického vstupu ve formě mentální modality však vyžaduje časovou kontinuitu na evoluční časové škále.⁴³ Schopnost tvorby specifické mentální modality tedy vyžaduje dlouhou evoluční kontinuitu daného sensorického vstupu a neschopnost umělého neuroimplantátu tuto modalitu vytvořit je dána jeho evoluční diskontinuitou, tj. organickou nepřirozeností.

Závěrem lze shrnout, že živé systémy jsou systémy historické a tato skutečnost má velký dopad na kognitivní procesy, které utvářejí. Historie, resp. časová kontinuita jejich kognitivních procesů je pak často problémem jak při snahách o jejich reduktivní popis (genetický determinismus, behaviorismus) tak při snahách o jejich účelové využití (genové inženýrství, neurokybernetika).

⁴³ Tj. alespoň tisíce, spíše statisíce let.

5. Percepce

Percepce je proces získávání, interpretace, selekce a organizace sensorických informací (Blake, Sekuler, 2005). Senzor je speciální struktura určená k získávání informací pomocí specifické reakce na určitou fyzikální či chemickou kvalitu, popř. míru této kvality. První fází procesu percepce je získání informace v receptoru. To vyžaduje speciální strukturaci receptoru, který definovatelným způsobem reaguje na příslušný specifický podnět. Již na úrovni receptoru může docházet s selekcí a interpretací. Receptor může sám o sobě, či na základě zpětného informačního toku z kognitivního systému rozhodnout, jaká informace je v aktuální situaci pro systém podstatná a jaká nikoli. Takový typ receptoru se nazývá autoselektivní a jeho správná funkce usnadňuje další zpracování podnětu.

Další fází je přenos informace strukturované v receptoru po signální dráze. Tento přenos musí zajistit neměnnost přenášené informace, popř. její regulovanou a kognitivním systémem očekávanou změnu. Pokud během přenosu dojde k náhodným, neregulovaným změnám přenášené informace, nazývá se tento fenomén šumem.

Poslední fází je vyhodnocení receptorového signálu v percepčních centrech. Zde dochází k analýze přicházejících informací. Významným faktorem této analýzy je integrace signálů z různých receptorů. Kognitivní systém se o vlastnostech okolního i vnitřního prostředí dozvídá právě prostřednictvím percepce. Signál z jediného receptoru který sleduje pouze jednu kvalitu, popř. míru této kvality přináší z kognitivního hlediska jen velmi omezenou informaci, která je často zatížena přílišným množstvím šumu. Právě integrace signálů z receptorů pro danou kvalitu umožňuje odfiltrovat rušivé signály vzniklé náhodnými procesy v průběhu vzniku a přenosu sensorické informace. Metaintegrace informačního toku z receptorů pro různé kvality pak systému umožňuje vytvořit si plnohodnotný obraz o prostředí. Jednotlivé kvality prostředí se sebou totiž často souvisí a to i velmi specificky. Schopnost strukturace vzájemných funkčních vztahů kvalit snímaných senzory a jejich účelné využití je podstatnou vlastností komplexních kognitivních systémů.

5.1. Molekulární percepce

Senzitivita a specifita molekulárních receptorů

Molekulárními receptory (=čidla) jsou biomolekuly, které specificky reagují na určitý chemický či fyzikální podnět a jsou schopny tuto svou reakci dále přenášet na ostatní struktury v buňce. Z hlediska zpracování informací má molekulární receptor dva základní parametry – senzitivitu a specifitu.

Senzitivita je parametr, který určuje, na jakou velikost, resp. kvantitu podnětu bude příslušný receptor reagovat. Molekulární receptory jsou ze své podstaty schopné reagovat jak na jednotlivé molekuly, tak na jednotlivá kvanta záření, což z nich činí jedny z nejsenzitivnějších známých receptorů. Senzitivita, v širším slova smyslu je však podmíněna nejen vlastnostmi samotného receptoru, ale také jeho schopností předat získanou informaci dalším komponentům signální kaskády. Tato vlastnost je potlačena, pokud je senzor sám o sobě i efektem reakce na daný podnět. Důležitou stránkou citlivosti daného receptoru je jeho funkce při přeměře expozice podněty z okolí. V takovém případě je receptor neustále saturován a není schopen nadále reagovat na další změny kvantity podnětu, tedy nepřináší živému systému žádnou biologicky podstatnou informaci. Interval hodnot, při kterých receptor nejlépe reaguje na změny charakteru prostředí se nazývá recepční optimum. Míru senzitivity receptoru k příslušnému ligandu lze redukovat vyjádřit jako míru pravděpodobnosti vzniku komplexu receptor – ligand a tedy formalizovat dle modifikace Guldberg – Waageova zákona:

$$K_p = (RL)^2 / ((R) \cdot (L)), \quad (21)$$

kde K_p je rovnovážná⁴⁴ konstanta, (RL) je množství komplexů ligandu a receptoru, (R) je množství neobsazených receptorů, (L) je množství volných ligandů. Čím vyšší je hodnota K_p , tím vyšší je senzitivita receptoru k příslušnému ligandu. Hodnota K_p však vyjadřuje je tzv. vazebnou senzitivitu, která neodráží schopnost receptoru na navázání ligandu odpovídajícím způsobem reagovat a předat informaci o přítomnosti ligandu dalším článkům příslušné signální dráhy, resp. zafungovat zároveň jako efektor.

Specifita je parametr, který určuje, s jakou mírou přesnosti reaguje receptor na daný podnět. Na molekulární úrovni je podmíněna schopností receptoru reagovat na ligand, pro který je určen a nereagovat na ligandy, které jsou strukturálně podobné. Čím lépe receptor rozlišuje mezi vlastními a cizími ligandy, tím vyšší je jeho specifita. Tu lze formálně vyjádřit

⁴⁴ V tomto případě asociační.

jako poměr mezi množstvím komplexů receptor – ligand a množstvím komplexů ligand – falešný ligand:

$$ST = \sum(RL_0) / (\sum(RL_0) + \sum(RL_j)), \quad (22)$$

kde ST je specifita vazby mezi receptorem a ligandem, $\sum(RL_0)$ je množství komplexů receptor a $\sum(RL_j)$ je množství komplexů receptor – falešný ligand. L_j je taková molekula, která se s určitou intenzitou váže na příslušný receptor, přičemž živý systém není na tuto vazbu z ontogenetického a fylogenetického hlediska adaptován, a vznik komplexu (RL_j) lze tedy označit za formu informačního molekulárního šumu.

Specifita receptoru je dána jeho molekulární strukturou. Ta je v případě nejčastěji se vyskytujících proteinových receptorů značně ovlivněná sekvencí genu, který ji kóduje.

Senzitivitu a specifitu proteinového receptoru může živý systém modifikovat několika způsoby. Prvním, nejčastějším, je posttranslační modifikace. Ta formou fosforylace, glykosylace, acetylace a dalších chemických modifikací mění strukturu proteinu, který pak vykazuje odlišnou reakci na podnět. Posttranslační modifikace je charakteristická zejména pro změny senzitivity, k výrazným změnám specifity dochází jen zřídka. Další způsobem je modifikace posttranskripční. Ta, na rozdíl od předchozí mění primární strukturu proteinu a proto může vést nejen k modifikaci receptoru stávajícího, ale i k tvorbě receptoru nového, který však obsahuje některé společné molekulární domény. Posledním způsobem tvorby nového typu receptoru je modifikace úseku DNA, který ho kóduje. Dochází k němu během evoluce. Jde o necílený proces, během něhož dochází k mutacím v genu pro receptorový protein, které se projeví změnou je ho senzitivity a specifity. Pokud je tato změna ku prospěchu organismu, zafixuje se a přenesení na další generace. V mnohobuněčných organismech dochází k cílené mutagenézi, resp. rekombinaci při tvorbě receptorů imunokompetentních buněk, zejména pak B-lymfocytů. Cíleností se však rozumí schopnost rekombinace dědičné informace ve specifických oblastech genomu, které kódují imunitní receptory a nikoli schopnost mnohobuněčného organismu specificky měnit sekvenci DNA tak, aby došlo k expresi proteinového receptoru o určité struktuře. Výhodnost dané struktury se projeví až ve chvíli, kdy je imunocyt testován živým organismem. V tomto smyslu jde vlastně o určitý typ evolučního procesu probíhajícího v rámci jednoho mnohobuněčného biologického systému.

Po aktivaci receptoru musí dojít ke přenesení signálu na další molekulární komponenty buňky, které zajistí, že receptorová informace bude mít adekvátní odezvu

v modifikaci životních procesů. Nutnost tohoto přenosu odpadá pouze v případě, že receptor je zároveň efektoem, např. v případě některých iontových kanálů. Charakteristickým představitelem systému přenášejícího signál jsou buněčné signální kaskády. Podstatou molekulárního přenosu signálu je specifická návaznost strukturálním změn jednotlivých účastníků signální dráhy. Ta je podmíněna jejich vzájemnou strukturální komplementaritou, popř. schopnosti vytvářet ligandy, které cíleně ovlivňují další články kaskády.

Poslední fází molekulární percepce je zpracování a integrace signálů. Buňka během svého života neustále sbírá velké množství informací o prostředí, v němž se nachází a na jejich základě modifikuje procesy, které v ní probíhají. Častým místem vyhodnocení a integrace signálů je v případě eukaryotů buněčné jádro. Je tomu tak proto, že obsahuje dědičnou informaci ve formě DNA, prostřednictvím níž vznikají nejdůležitější efektorové molekuly buňky – proteiny. Na regulaci genové exprese má proto vliv drtivá většina informačních přenosů v buňce.

Jako každý systém získávající a zpracovávající informace má i buňka problém s přítomností šumu, tedy náhodných, neočekávaných změn vlastností signálu, které nejsou regulovány kognitivním systémem. Buňka se neregulovaným a neočekávaným změnám ve svých informačních procesech může bránit několika způsoby.

Prvním je vysoká representační mohutnost receptorového aparátu (Q_r). Dalším je vysoká specifita receptorů. Ta je podmíněna dobrou strukturací vazebného místa, které má vysokou afinitu pro ligand a nízkou afinitu pro jemu blízké molekuly vyskytující se v prostředí. Takový typ receptoru klade poměrně malé nároky na další zpracování signálu, jeho vznik v průběhu evoluce je však málo pravděpodobný, neboť se jedná o ustanovování globálního, nikoli lokálního optima. Organismu má možnost tento problém obejít tvorbou receptorů s nižší specifitou, jejichž signály se na určité úrovni zpracování sčítají. Příkladem může být tvorba tzv. druhých posílů (cAMP, cGMP) na jejichž vznik má aktivační i inhibiční vliv řada buněčných receptorů. Tvorba druhých posílů je ostatně příkladem obecnějšího principu regulace molekulární percepce, tj. interakce jednotlivých signálních kaskád. Ta je v mnoha aspektech klíčovým aspektem zpracování biologické informace, protože umožňuje integraci signálů z různých receptorů a tedy tvorby komplexního modelu prostředí, na druhou stranu se však neregulované mezikaskádové interakce mohou stát výrazným producentem šumu. Jemné nastavení interakcí jednotlivých signálních kaskád je zřejmě významným aspektem molekulárních kognitivních procesů, jejichž studium je za pomoci současných technologií jen velice obtížné.

5.2. Neurokomputační percepce

Na rozdíl o molekulární úrovni organizace je nervová soustava prostřednictvím percepce schopna získávat informace z prostředí prostřednictvím svých receptorů na makroskopické škále. Na neuronální úrovni mohou receptory tvořit jak samostatné buňky, tak organizované komplexy mnoha milionů buněk. Existence různých typů receptorů je dána tím, že jsou strukturálně a funkčně specializované na odpověď na určitou formu energie. Typ této energie spolu se specifickým zapojením (konektivitou) receptoru v NS organismu pak spoluurčují, na jakou neurokomputační smyslovou modalitu bude tento receptor generovat. Všeobecně je známo pět základních lidských smyslových modalit, tj. zrak, sluch, čich, chuť a hmat. Člověk ale disponuje mnohem širší škálou těchto smyslových modalit, jako jsou schopnost neurokomputačními senzory vnímat teplo, chlad, bolest, polohu kloubů a pohyb, napětí svalů, arteriální tlak kyslíku, osmotický tlak plasmy atd. Celá živočišná říše pak samozřejmě disponuje ještě větší škálou různorodých smyslů jako jsou echolokace (netopýři, delfini), prostorová termorecepce (hadi), prostorová barorecepce (ryby) atd.

Prvním předpokladem schopnosti vnímat daný typ energie pocházející z vnějšího či vnitřního prostředí je vznik generátorového potenciálu (GP) v příslušném receptoru. Daný neurokomputační receptor v průběhu evoluce a ontogeneze získává, podobně jako receptory molekulární, svou konkrétní senzitivitu a specifitu. Tyto dva parametry pak určují, na jaký typ energie bude daný receptor reagovat (specifita) a jak velké množství této energie je zapotřebí pro vyprodukování generátorového potenciálu (senzitivita).

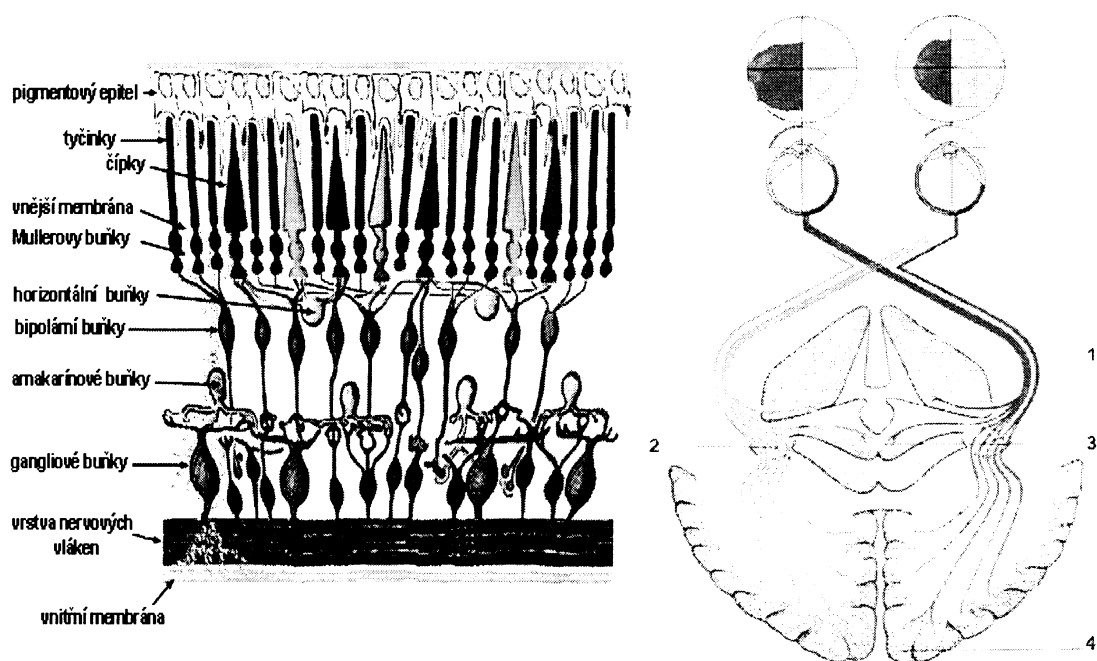
Jednotlivé typy energie (tlaková, teplo) jsou od sebe někdy neurosenzory těžko odlišitelné a tak jako v případě molekulárních receptorů i u receptorů neurokomputačních dochází ke vzniku nespecifických generátorových potenciálů, které jsou tvořeny na podkladě aktivace typem energie, která není pro daný receptor specifická. Specifita neurokomputačního receptoru je pak vyjádřitelná jako:

$$ST = \sum_{(\Delta t)} (GP)_s / (\sum_{(\Delta t)} (GP)_s + \sum_{(\Delta t)} (GP)_n), \quad (23)$$

kde ST je specifita neurokomputačního receptoru pro daný typ energie, $\sum_{(\Delta t)} (GP)_s$ je počet generátorových potenciálů vygenerovaných příslušným receptorem v reakci na správný typ podnětu (energie) za jednotku času a $\sum_{(\Delta t)} (GP)_n$ je počet generátorových potenciálů

vygenerovaných příslušným receptorem v reakci na nesprávný typ podnětu (energie) za jednotku času. I v případě neurokomputačních receptorů je chybovost daného receptoru, tj. tvorba (GP) na podnět, na který organismus není z ontogenetického a fylogenetického hlediska adaptován a jde tedy o receptorový neurokomputační šum, kompensována velkou redundancí neurokomputačního sensorického aparátu, kdy je pravděpodobnost, že všechny příslušné receptory budou v daný okamžik reagovat na daný podnět chybně poměrně malá.

Specifické rozpoznání podnětu z prostředí prostřednictvím neuroreceptoru je však jen prvním krokem. Informace ve formě generátorového potenciálu (GP) musí být efektivně přenesena do analyzačních center NS. Tento přenos zajišťují sensorické nervové dráhy, přičemž specifita jejich zapojení do ostatních struktur NS daná morfogenetickými procesy v průběhu ontogeneze dále zajišťuje specifický charakter přenášeného signálu, který se tak po určité době latence (Δt), která je dána rychlostí vedení vzruch daného nervového vlákna dostane do vyhodnocovacích center NS.



Obrázek č.17 – Vlevo: Histologického řezu sítnicí zobrazující jednotlivé typy buněk a jejich vzájemné zapojení. Vpravo: Schéma zrakové sensorické dráhy. 1. Thalamus, 2. Corpus geniculatum laterale, 3. Colliculus superior, 4. Lobus occipitalis cerebri. Modifikováno, Principles of neural science, 2000.

Druhým parametrem charakterizujícím funkci neurokomputačního receptoru je jeho senzitivita. Tu lze metodologicky uchopit z její biofyzikální a statistické stránky.

Z biofyzikálního hlediska je důležité kvantum (množství) energie (ΔE), které je zapotřebí pro

vznik generátorového potenciálu (GP) v daném neurosenzoru. Např. receptorové buňky sítnice jsou schopny zareagovat na jediný světelný foton. Energie fotonu je definována následujícím vztahem:

$$E_f = hv, \quad (24)$$

kde E_f je energie fotonu, h je tzv. Planckova konstanta a v je frekvence fotonu. Planckova konstanta má hodnotu $h = 6,62607 \times 10^{-34}$ J·s. Člověk je schopen vnímat zrakem elektromagnetické záření ve frekvenčním rozsahu mezi cca $3,8 \times 10^{14}$ Hz až $7,5 \times 10^{14}$ Hz. Foton, jehož dopad na neuroreceptory sítnice je schopen vyvolat generátorový potenciál musí tedy nést minimální energii vyjádřitelnou jako:

$$E_f = hv = (6,62607 \times 10^{-34}) \times (3,8 \times 10^{14}) \approx 2,5 \times 10^{-19} \text{ J}. \quad (25)$$

Hodnota $2,5 \times 10^{-19}$ J vyjadřuje minimální množství energie nutné pro vznik generátorového potenciálu v příslušném neuroreceptoru sítnice, tj. vyjadřuje jeho biofyzikální senzitivitu k dané formě energie.

Ze statistického hlediska lze pak lze pak senzitivitu, např. uvedeného neuroreceptoru sítnice⁴⁵ k danému kvantu specifické formy energie, tj. v případě neuroreceptorů sítnice k fotonu o příslušné frekvenci vyjádřit takto:

$$SN = \sum_{(\Delta t)} (D_G) / (\sum_{(\Delta t)} (D_G) + \sum_{(\Delta t)} (D_0)), \quad (26)$$

kde SN je senzitivita receptoru, $\sum_{(\Delta t)} (D_G)$ je počet dopadů fotonu o příslušné frekvenci (f) za jednotku času, které vyvolaly vznik generátorového potenciálu (GP) a $\sum_{(\Delta t)} (D_0)$ je počet dopadů fotonu o shodné frekvenci (f) za jednotku času, které nevedly k produkci generátorového potenciálu příslušným neurosenzorem.

⁴⁵ Tj. tyčinek a čípků.

5.3. Mentální percepce

Mentální percepce je, podobně jako mentální representace jednou ze podstatných součástí současné teorie mysli. V průběhu historie se koncepcí mentální percepce zabývalo bezpočet filosofů a vědců. Filosofickým směrem, pro který je mentální percepce ústředním bodem je empirismus. Ten ve své radikální verzi tvrdí, že skutečnost lze poznat pouze prostřednictvím smyslové zkušenosti a je tak protipólem racionalismu, který, opět ve své radikální formě hlásá, že skutečné, resp. pravdivé poznání je možné jen rozumem a analýzou. Oba směry mají své evropské kořeny již ve starověkém Řecku. Filosofem, který je pokládán za novověkého zakladatele empirismu je John Locke (1632 – 1704), který se postavil proti Descartově koncepci *vrozených idejí* tím, že lidský rozum na počátku vývoje jedince označil jako „*tabula rasa*“. Tento pojem použil již Platón a přirovnal k němu lidskou duši. Locke tvrdí, že „*nic není v rozumu, co předtím nebylo ve smyslech*“ a rozum na počátku existence jedince je podle něj onen nepopsaný list, který se v průběhu života „popisuje“ dvěma základními způsoby. Prvním je vlastní smyslové vnímání vyvolané působením vnějších objektů (*sensation*) a druhým je vnímání vlastních vnitřních procesů (*reflexion*). Proti Lockeho empirické koncepci se postavil další významný novověký filosof, Immanuel Kant (1724 – 1804). Ten ve své *Kritice čistého rozumu* (1781) zaujímá stanovisko, že aby jedinec mohl provést nějaký typ smyslové zkušenosti, musí již předem disponovat nějakými formami, které Kant nazývá *apriorní*. U Kanta jsou tyto *apriorní formy* dvě: prostor a čas. Kant však, jak napovídá název jeho stěžejní knihy⁴⁶ nebyl čistým racionalistou, ale zakladatelem filosofického směru nazývaného transcendentální idealismus. Kant se ve své epistemologii snaží překlenout rozpory mezi racionalisty a empiristy tím, že předpokládá současný průběh jak empirického tak racionálního poznání během života jedince. Tuto souběžnost a vzájemnou podmíněnost rozumu a vnímání pak komentuje následující úvahou:

Ačkoli všechno naše poznání začíná zkušeností, neznamená to, že všechno povstává ze zkušenosti.

I.Kant (1781)

Podobně, jako existuje velké množství filosofických koncepcí zabývajících se teorií vnímání a jejím vztahem k ostatním kognitivním procesům , existuje i velké množství

⁴⁶ *Kritik der reinen Vernunft*(1781).

konceptí vědeckých a to především v oborech jako jsou neurofysiologie, fyziologie smyslů psychologie či psychiatrie. Následující dvě koncepce mají tu vlastnost, že v nich je explicitně vyjádřen vztah mezi mentální percepcí a jejím neurálním (neurokomputačním) podkladem a zároveň nebyly zmíněny v kapitole o mentální reprezentaci. První z nich se zabývá kvalitativní stránkou mentálního vnímání neurosenzorického vstupu, druhá pak jeho stránkou kvantitativní. Sami o sobě samozřejmě nereflektují obrovskou šíři vědeckých koncepcí, které na poli mentální percepce existují.

První koncepcí je doktrína tzv. specifických nervových energií. Jejím autorem je německý fyziolog Johannes Peter Müller (1801 – 1858). Müller svou koncepcí popisuje následujícím způsobem:

Ta samá příčina, jako je elektřina, může současně ovlivnit všechny senzorní orgány, poněvadž všechny jsou k ní senzitivní; avšak, každý senzorní nerv na ni reaguje rozdílně; jeden nerv ji vnímá jako světlo, jiný ji slyší jako zvuk, jinému voní, jiný elektřinu chutná a další ji vnímá jako bolest a šok... Všechny nervy jsou citlivé k té samé příčině (elektřině), ale v každém jednotlivém případě na ni reagují rozdílným způsobem... Vnímání není vedení kvality nebo stavu vnějších těles do vědomí, ale vedení kvality nebo stavu našich nervů do vědomí, vybuzečné vnější příčinou.

J.Müller (1826)

Müllerova doktrína vlastně říká, že nezáleží, na jakém místě senzorní dráhy vznikne odpovídající akční potenciál, důležité je, pro jakou modalitu je dané senzorní vlákno určeno a jakým způsobem je zapojeno v nervové dráze a jakým způsobem se následně projikuje do mozkové kůry, kde potenciálně dojde k jeho uvědomění. Např. je-li senzorní vlákno jdoucí z Paciniho tělíska na ruce drážděno tlakem v oblasti lokte nebo prorůstajícím nádorem v oblasti pažní pleteně, pocit který si jedinec uvědomí je tlak. Stejného účinku je dosahováno při neurochirurgických operacích, kdy během dráždění za pomoci mikroelektrody např. zadních kořenů míšních nebo ascendentních senzorních míšních drah, dochází k uvědomování si pocitu tlaku, pokud je zasaženo právě vlákno jdoucí z Paciniho tělíska. Pociť tlak je vyvolán dokonce i při přímém dráždění příslušné somatosenzorní oblasti mozkové kůry. Doktrína specifických nervových energií byla v průběhu času často zpochybňována, ale takřka beze změny přetrvala do současnosti a je jedním ze základních kamenů fyziologie smyslů.

S Müllerovou doktrínou úzce souvisí další princip, nazývaný zákon projekce. Ten se týká tzv. somatotopické lokalizace sensorického vstupu. Zatímco Müllerova doktrína definovala nezávislost kvality sensorického vstupu na místě jeho vzniku v příslušné nervové dráze, zákon projekce definuje nezávislost jeho vědomé lokalizace a místa jeho vzniku v příslušné etáži sensorické dráhy. To je dobře ilustrovatelné na pacientech, kterým je v průběhu neurochirurgických operací drážděna příslušná oblast mozkové kůry. Např. je-li drážděna somatosenzorická oblast pro levou končetinu, pacient vypovídá o pocitech v levé končetině a nikoli v hlavě. Dramaticky se tento efekt projevuje po amputacích v existenci tzv. fantómových bolestí, kdy pacient vypovídá o často velmi intenzivních bolestech v již neexistující končetině. Tyto pocity jsou dány vznikem příslušných nervových impulsů v reakci na postoperační patofysiologické procesy v pahýlu amputované končetiny.

Uvedené koncepce se týkaly vědomé kvality sensorického vstupu. Pro organickou percepci je však důležitá i kvantitativní stránka mentálního vnímání příslušného neurosensorického vstupu, tj. jak silnou mentální odezvu má příslušný neurosensorický vstup. Ne neurokomputační úrovni existují dva základní způsoby, jak může být informace o intenzitě podnětu předána do mozkové kůry, tj. místa uvědomování si sensorických informací a to prostřednictvím změn frekvence akčních potenciálů (AP) generovaných daným senzorem nebo změnou počtu aktivovaných senzorů. Vztah mezi velikostí podnětu, tj. intenzitou neurokomputačního sensorického vstupu a velikostí počítku, tj. míry mentální odezvy, kterou daný podnět vyvolá je dána tzv. Weber–Fechnerovým zákonem, který byl formulován německým experimentálním psychologem Gustavem Theodorem Fechnerem (1801–1887), na základě předešlých prací Ernsta Heinricha Webera (1795–1878), taktéž německého experimentálního psychology. Weber–Fechnerův zákon lze vyjádřit následujícím způsobem:

$$dp = k \frac{dS}{S}, \quad (27)$$

kde dp je velikost změny počítku, dS je změna velikosti podnětu, S je velikost momentálního stimulu a k je konstanta úměrnost stanovovaná experimentálně. Po integraci a úpravě je Weber–Fechnerův zákon vyjádřitelný následovně:

$$p = k \ln \frac{S}{S_0}. \quad (28)$$

V uvedeném vzorci p reprezentuje intenzitu počítku, k je konstanta úměrnosti, S je aktuální intenzita stimulu a S_0 je prahová intenzita stimulu, jejíž velikost určuje minimální velikost intenzity podnětu, které je ještě schopna vyvolat počitek (p). Logaritmická úměrnost mezi intenzitou podnětu a velikostí (intenzitou) počítku vyjádřená Weber–Fechnerovým zákonem byla základním kamenem experimentální psychologie a fyziologie smyslů po velmi dlouhou dobu. V současnosti se však zdá, že kvadratická funkce popisuje tento vztah přesněji, tedy:

$$p = kS^A, \quad (29)$$

kde p je velikost počítku, S je intenzita podnětu a k a A jsou konstanty pro danou smyslovou modalitu. Ačkoli se tedy původní koncepce Weber–Fechnerova zákona nezachovala bez podstatných změn do současnosti jako Müllerova doktrína specifických nervových energií, přesto zůstává důležitou koncepcí v řadě snah o kvantifikaci vztahu mezi fyzikální, resp. neurokomputační velikostí sensorického vstupu a její odezvou v podobě mentální percepce.

5.4. Autoorganizace⁴⁷ organické percepce

Podobně, jako byly organická paměť a reprezentace podkladem pro rozbor kvantifikace, resp. časové dynamiky vlastností kognitivních systémů, organická percepce je v následující kapitole podkladem uchopení problematiky kognitivní autoorganizace v živých systémech.

Autoorganizace je proces, při kterém organizovanost systému spontánně vzrůstá bez toho, aby byl tento nárůst organizovanosti řízen prostředím, popř. jiným, externím systémem. Prostředí jako takové se samozřejmě podílí i na strukturaci autoorganizovaného systému, je však nutno zdůraznit, že je to právě autoorganizující se systém, který řídí vztah mezi podmínkami v prostředí a podmínkami vnitřními.

Koncepce sebeutváření existovaly již ve starověkém Řecku (atomisté) a často byly spojovány s organizací živého (Aristoteles). Biologicky motivované byly i některé novověké koncepce autoorganizace, které však často vycházely z Lamarkismu a byly po většinu 20. století odmítány. O jejich relativní přijetí a popularizaci se v průběhu 20. století zasloužil britský přírodovědec D'Arcy Wentworth Thompson (1860 - 1948) a to především svou knihou

⁴⁷ V této práci odpovídá termín autoorganizace terminu sebeorganizace a anglickému „self-organization“.

O růstu a formě (1917).⁴⁸ Termín autoorganizace⁴⁹ v moderním slova smyslu pak zřejmě použil anglický psychiatr William Ross Ashby (1903 - 1972) (Ashby, 1947). Ashbyho koncepce autoorganizace pak byla převzata výzkumníky jako Heinz von Foerster, Norbert Wiener či Ludwig von Bertalanffy, kterým byla v 60. letech 20.století zařazena do jeho koncepce *obecné teorie systémů*⁵⁰ (Bertalanffy, 1968). Bertalanffyho teorie se však nestala všeobecně uznávanou až do 70. a 80. letech 20.století, kdy některé principy v ní zahrnuté převzali fyzikové a výzkumníci na poli *teorie komplexních systémů*.⁵¹

Autoorganizaci v živých systémech lze teoreticky rozdělit na dvě odlišné formy. První z nich je *strukturální autoorganizace*, která se vztahuje ke schopnosti živého systému vytvářet sám o sobě své vlastní vnitřní struktury. Tyto vnitřní struktury jsou pak nositelkami životních procesů organismu. Druhý typ, tj. *procesní autoorganizace* se vztahuje právě ke schopnosti samovolně utvářet procesy, které probíhají na odpovídajících strukturách. Většina procesů probíhajících v organismech totiž nemá deterministický charakter, tj. nejsou zcela definovatelné a predikovatelné na základě vlastností struktur, které je podmiňují. Proto strukturální autoorganizace sama o sobě často není dostatečná pro samoorganizaci biologických kognitivních procesů. Autoorganizace procesů pak úzce souvisí s pojmem *autoregulace*. Ne všechny procesy v organismech však mají charakter regulace a autoregulace tak tvoří podmnožinu autoorganizačních procesů.

Z hlediska působení v rámci organických kognitivních domén lze pak autoorganizaci rozdělit na *autonomní*, kde autoorganizační procesy působí v rámci konkrétní kognitivní domény a *mezidoménovou*, kdy procesy v rámci jedné domény podmiňují autoorganizaci domény jiné, popř. se tyto domény autoorganizují navzájem.

Molekulární, neurokomputační a mentální autoorganizace vizuální percepce

Zrak je jeden z nejdůležitějších smyslů, kterým člověk disponuje. Oko, jako smyslový orgán zraku má zřejmě z evolučního hlediska monofyletický původ a první světločivné skvrny, které se pokládají za základ evoluce oka jako smyslového orgánu, se objevují u živočichů již před 540 miliony let (Halder, Callaerts, Gehring, 1995). Z ontogenetického hlediska se základy očí v průběhu embryogeneze objevují na začátku čtvrtého embryonálního týdne v podobě očních žlábků v kraniální části neurálních valů.

⁴⁸ *On Growth and Form* (1917).

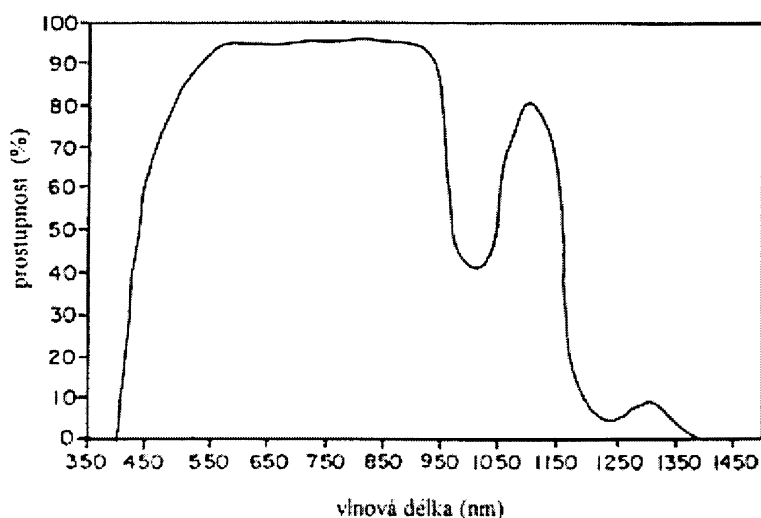
⁴⁹ Self-organization.

⁵⁰ *General systems theory*.

⁵¹ *Complex systems theory*.

Z hlediska molekulární autoorganizace lidské zrakové percepcie je podstatná tvorba a specifické biofyzikální vlastnosti fotosenzitivních sloučenin v lidském oku. Ty se u člověka i většiny savců sestávají z bílkoviny opsinu a z retinenu, což je aldehyd vitamínu A₁. Jelikož je opsin protein, jeho strukturální autoorganizace je z velké části podmíněna sekvencí genu, který ho kóduje. Expresí genu se pak řídí genetickým kódem, který je evolučně konservován a v průběhu evoluce v něm dochází jen k poměrně malým změnám. Naproti tomu retinen je aldehyd a jeho chemická struktura je v organismu určována chemickými procesy metabolické dráhy, která ho produkuje a které se účastní enzymy, jejichž primární struktura je určována podobně, jako u opsinů.

Podstatným faktorem, který podmiňuje funkci lidského zraku je nastavení specifity (ST) příslušného fotosenzitivního receptoru. V případě tyčinek lidské sítnice tento receptor představuje tzv. rhodopsin, přičemž ten s největší citlivostí reaguje na světelné fotony o vlnové délce 505nm. Příslušná specifická absorbance světločivného elementu se v průběhu evoluce ustanovila z toho důvodu, že atmosféra Země tuto vlnovou délku zachycuje jen v malé míře a rovněž struktury oka, kterými foton prochází před dopadem na sítnici absorbují tuto vlnovou délku jen minimálně (obrázek č. 18).



Obrázek č. 18 – Graf zobrazující prostupnost struktur oka, které se nacházejí před sítnicí pro jednotlivé vlnové délky elektromagnetického záření.

Po dopadu fotonu o příslušné vlnové délce zahajuje řadu strukturálních a funkčních změn v molekule rhodopsinu, jejichž hlavním dopadem je aktivace molekuly transducinu. Ten pak aktivuje fosfodiesterázu, která rozkládá molekuly cGMP. cGMP působí přímo na sodíkové kanály v membráně tyčinky a udržuje je otevřené. Snížení koncentrace cGMP má

tedy za následek uzavření sodíkových kanálů a následnou hyperpolarizaci membrány, která vede k přenosu nerokomputačního signálu na další buňky sítnice.

Molekulární procesy však mají významnou funkci nejen při detekci světla, ale také jako regulátory ontogenetických procesů, které podmiňují autoorganizaci oka jako orgánu, zrakové dráhy a mozkové kůry jako analyzátoru zrakové modalit. Příkladem autoorganizovaného ontogenetického procesu souvisejícího se zrakovou percepcí, který je regulován na podkladě molekulárních signálů je určení specifického průběhu axonů gangliových buněk sítnice v oblasti křížení zrakových nervů a strukturace topologie synaptických spojení, které tyto axony vytvářejí s buňkami v oblasti metathalamu (obrázek č.17). Axon gangliové buňky sítnice se během svého růstu v rámci nově se formující zrakové dráhy dostane do oblasti , kde dochází k částečnému křížení zrakových drah jdoucích z levého či pravého oka a příslušný axon se musí „rozhodnout“, zda jeho další průběh ve zrakové dráze bude kontralaterální nebo ipsilaterální. Studium této problematiky za použití molekulárně-biologických metod prokázalo velký význam transkripčního faktoru *Zic2* při formování průběhu axonů gangliových buněk v oblasti optického chiasmatu (Herrera et al., 2003). Za normálních okolností transkripční faktor *Zic2* exprimuje specifická populace gangliových buněk v temporální části myší sítnice. Axony těchto buněk se pak v oblasti optického chiasmatu nekříží a probíhají ipsilaterálně. Pokud je myš heterozygotní, tj. má funkční pouze jednu alelu pro transkripční faktor *Zic2*, počet vláken, které probíhají ipsilaterálně se sníží cca o 50%. Konečně pokud je myš pro *Zic2* recesivně homozygotní dochází v průběhu morfogeneze její zrakové dráhy k úplnému křížení axonů gangliových buněk z obou sítnic. Další výzkumy pak prokázaly evoluční konservovanost tohoto regulačního mechanismu od obojživelníků až po člověka (Rasband, 2003) a identifikovaly axonální receptor *EphB1* jako molekulu , která řídí průběh axonu v oblasti optického chiasmatu a jejíž exprese je řízena právě transkripčním faktorem *Zic2*.

Ačkoli se uvedený text týkal pouze strukturace průběhu nervových spojení v oblasti křížení zrakové dráhy, na podobných molekulárních regulačních obvodech je vystavěna celá strukturace NS v průběhu ranné fáze ontogeneze příslušného živočicha a molekulární ontogenetická regulace je nejpodstatnějším faktorem při vzniku synaptické topologie v nově se tvořícím NS.

Po vytvoření dostatečně husté sítě synaptických spojení se začíná NS autorganizovat na další úrovni strukturální organizace, tj. neurokomputační. Je to právě geneze synaptické topologie podmíněná genetickými a epigenetickými vlivy během časných stádií ontogeneze organismu, která umožňuje vznik neurokomputačních procesů, neboť pokud nejsou vytvořeny

synapse jako specifické funkční spojky mezi jednotlivými neurony, nemohou si tyto neurony předávat informace prostřednictvím tvorby a přenosu akčních potenciálů. Naopak po vytvoření husté sítě synaptických spojů se neurokomputační procesy stávají hlavním mediátorem autoorganizace NS. Hlavním prostředkem, jakým mohou neurokomputační procesy strukturovat funkci NS je jejich vliv na synaptickou plasticitu. Nejstarším a nejpoužívanějším příkladem autoorganizace NS na synaptické úrovni je tzv. Hebbovo pravidlo (Hebb, 1949). Ve své základní podobě Hebbovo pravidlo říká, že síla (=váha) spojení (=synapse) mezi dvěma neurony se zvyšuje v případě, že oba neurony jsou aktivovány ve stejnou chvíli, přičemž Hebb toto pravidlo vyjádřil formálně takto:

$$\Delta w_{ij} = k y_i x_j , \quad (30)$$

kde Δw_{ij} je změna síly vazby (váhy) mezi presynaptickým neuronem (j) a postsynaptickým neuronem (i), x_j je frekvence aktivace presynaptického neuronu a y_i je frekvence aktivace postsynaptického neuronu, k je specifická konstanta stanovená arbitrárně pro daný synaptický spoj. Z biologického hlediska lze uvedený formální vztah interpretovat tak, že pokud dojde ke vzniku postsynaptického akčního potenciálu (AP) v reakci na výlev neurotransmiteru (v případě chemické synapse), který je spuštěn presynaptickým AP, dojde k zesílení synaptické vazby mezi oběma neurony, které danou synapsi vytvářejí. Pokud dojde k zesílení vazby mezi dvěma neurony znamená to, že každý další presynaptický AP má větší šanci vygenerovat postsynaptický AP. Pomocí tohoto principu tak dochází k tvorbě asociačních neuronových modulů, jejichž vlastností je velká síla jednotlivých synapsí mezi jeho jednotlivými členy. Problémem původního Hebbova modelu je, že síla synaptické vazby (w) mezi jednotlivými neurony roste v průběhu vývoje sice rozdílně, ale také nepřetržitě, což by v biologické realitě po čase (Δt) znamenalo dosažení nejvyšší možné (hraniční) síly synapse u všech synaptických spojů, což by vedlo k funkční dezintegraci organického NS. V praxi tedy musí existovat mechanismus, který umožňuje snížení síly synapse v průběhu ontogeneze NS. Toto pravidlo formuloval C. Malsburg (Malsburg, 1973). Jeho úpravu lze slovně popsat tak, že síla vazby (w) mezi dvěma neurony se zvyšuje na základě Hebbova pravidla, zároveň však dochází ke snížení síly vazby (w), pokud dojde v postsynaptickém neuronu ke vzniku AP, jehož vznik však byl vyvolán jiným synaptickým vstupem. Malsburg tento vztah formálně vyjadřuje takto:

$$\Delta w_{ij} = (w_{ij} + \Delta w_{ij}) / \sum (w_{kj} + \Delta w_{kj}), \quad (31)$$

kde původní Hebbův přírůstek (Δw_{ij}) zůstává nezměněn, ale je dělen celkovým přírůstkem synaptické síly všech synaptických vstupů neuronu ($\sum (w_{kj} + \Delta w_{kj})$).

Na tomto místě je nutné podotknout, že neurokomputační autoorganizace synaptické plasticity má nesmírný význam pro funkci NS, zároveň je však již silně závislá na původní synaptické topologii, která je výsledkem molekulárně regulovaných genetických a epigenetických vývojových procesů. Neurokomputační procesy pak dotvářejí organický NS v pozdějších stádiích ontogeneze a zároveň umožňují efektivní adaptaci organického NS na podmínky v prostředí. Regulace synaptických vah popsána Hebbovým či Malsburgovým pravidlem je také podkladem dynamických typů neurokomputačních pamětí (kap. 3.2.) a neurokomputačního učení a adaptace.

Jak molekulární, tak neurokomputační autoorganizace NS jsou pak podkladem vzniku a autoorganizace mentální zrakové percepce. Jelikož ta vzniká v průběhu ontogeneze jako poslední (Meyer-Lindenberg, 1996), je zajímavé si položit otázku, jak velký vliv na ní mají dvě výše zmíněné úrovně autoorganizace NS, tj. molekulární a neurokomputační. Tato otázka úzce souvisí s problematikou izopotenciality a modularity mozkové kůry.

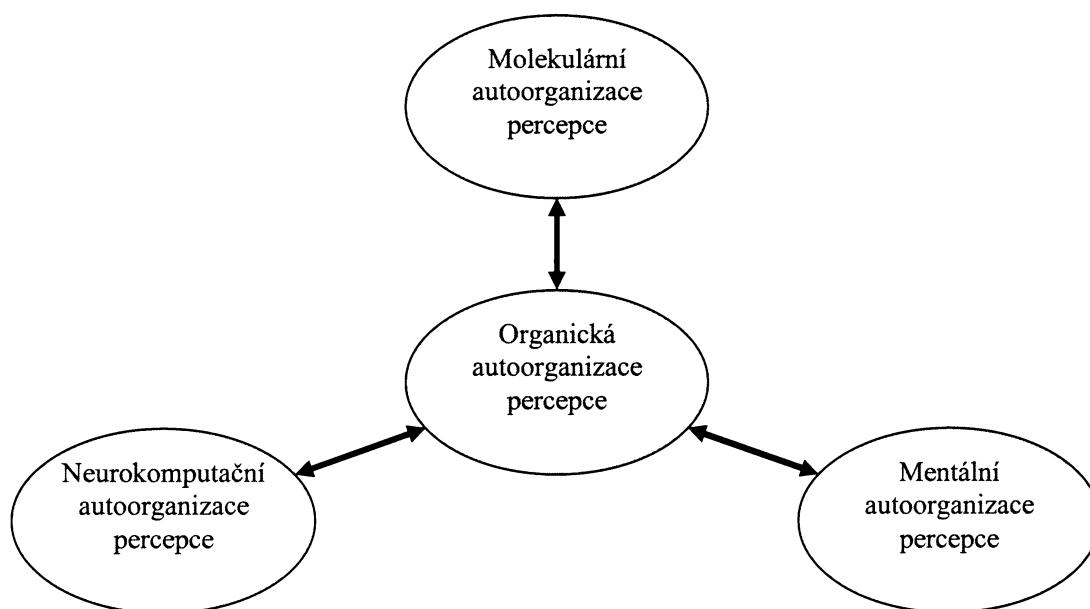
Základem teorie izopotenciality mozkové kůry je předpoklad, že daná kortikální oblast může přijmout jakoukoli senzickou dráhu a úspěšně se adaptovat na neurokomputační signál, který daná dráha přenáší tím, že je schopna informace přicházející prostřednictvím dané dráhy vnímat na mentální úrovni, tj. je schopna jejich vědomé percepce. Podkladem teorie izopotenciality je několik provedených experimentů, které prokázaly úspěšnou histologickou a neurokomputační adaptaci okrsku mozkové kůry, který byl transplantován z části mozkové kůry z vývojového hlediska určené pro zpracování vizuální informace do oblasti neocortexu, která je při normálním vývoji organismu určena pro zpracování informací přicházejících prostřednictvím sluchové dráhy (O'Leary, Schlaggar, Stanfield, 1992). Teorie izopotenciality na základě uvedených výsledků klade důraz na neurokomputační procesy, které podle její koncepce tvoří hlavní podklad autoorganizace mentální percepce.

V kontrastu s ní teorie modularity vychází z předpokladu, že daný okrsek mozkové kůry, který v pozdějších stádiích ontogeneze přijme vstupy konkrétní senzické nervové dráhy je již před přijetím daného vstupu ontogeneticky prestrukturován tak, aby byl schopen úspěšné percepce prostřednictvím dané senzické mentální modality. Teorie modularity mozkové kůry tak v kontrastu s teorií izopotencialní klade důraz na molekulární regulace ontogenetických procesů v neocortexu, které jsou podkladem autoorganizace mentální percepce. Také ona má svá teoretická východiska, a to v experimentech, které prokázaly

odlišnou histochemickou strukturaci jednotlivých okrsků primárních sensorických oblastí neokortexu ještě před přijetím odpovídajícího sensorického vstupu (Cohen-Tannoudji, Babinet, Wassef 1994).

Obě teorie lze samozřejmě skloubit v jednu, která přisuzuje mozkové kůře určitou míru jak modularity, tak izopotenciality a poté pouze diskutovat, jaká z obou vlastností má při autoorganizaci konkrétního fenoménu mentální percepce větší váhu. V tomto směru se zdá, že molekulární ontogenetické procesy, které jsou podkladem modulární teorie mají významný vliv na autoorganizaci kvalitativní mentální percepce tak, jak je specifikována v Müllerově doktríně specifických nervových energií (kap. 5.3.), zatímco struktura příslušné primární sensorické oblasti prostřednictvím neurokomputační informace přicházející z odpovídající sensorické nervové dráhy, která je podkladem teorie izopotencionální, má významný vliv na autoorganizaci kvantitativní stránky mentální percepce tak, jak je popsána ve Weber-Fechnerově zákoně či jeho pozdějších modifikacích (kap. 5.3.).

Sama mentální percepce však zřejmě není pouhým výsledkem sensorických neurokomputačních procesů (reduktivní materialismus), ale spíše se po svém vzniku v průběhu ontogeneze živého systému sama podílí na strukturaci neurokomputační sensorické informace (neuronální koreláty vědomí, NCC) a tím pádem i na strukturaci molekulárních procesů, které jsou podkladem synaptické plasticity NS (obrázek č.19).

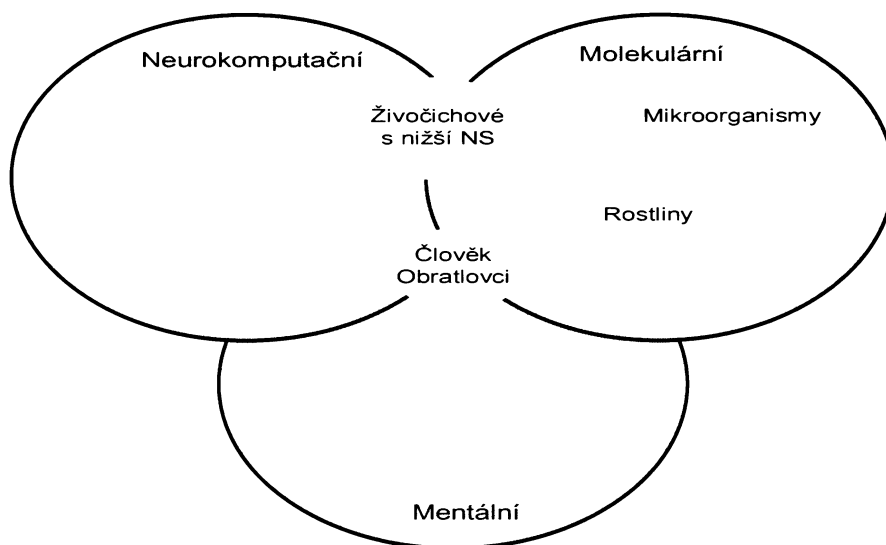


Obrázek č.19 – Vzájemná autoorganizační podmíněnost jednotlivých domén organické percepce.

6. Diskuze

Základním východiskem této práce je koncepce, že všechny živé systémy obývající Zemi jsou zároveň i systémy schopné poznání, tj. kognice (Maturana, 1970). Tato premisa má významné dopady v oblasti teoretické biologie, neboť vyžaduje, aby organismy generovaly některé obecné atributy kognitivních systémů, jako jsou paměť, učení, percepce, reprezentace, komunikace atd.

Rozmanitost forem života obývajících tuto planetu je nesmírná a nesmírné je i množství různorodých kognitivních procesů, které tyto životní formy produkují. Tato různorodost pak způsobuje problémy při vědeckém uchopení jak života, tak organické kognice. V této práci je tento problém zčásti řešen ustanovením třech úrovní (domén) organické kognice: molekulární, neurokomputační a mentální. Molekulární kognitivní doménou disponují všechny pozemské živé systémy, neurokomputační pak jenom ty s NS a mentální pak pouze ty, jejichž NS dosahuje určitého stupně komplexity, tj. ty, které mají vyvinutý koncový mozek. Ustanovení uvedených kognitivních domén pak rozděluje pozemské živé systémy na ty, které disponují pouze molekulární kognicí a na ty, které disponují i neurokomputační, popř. všemi uvedenými kognitivními doménami (obrázek č. 20).

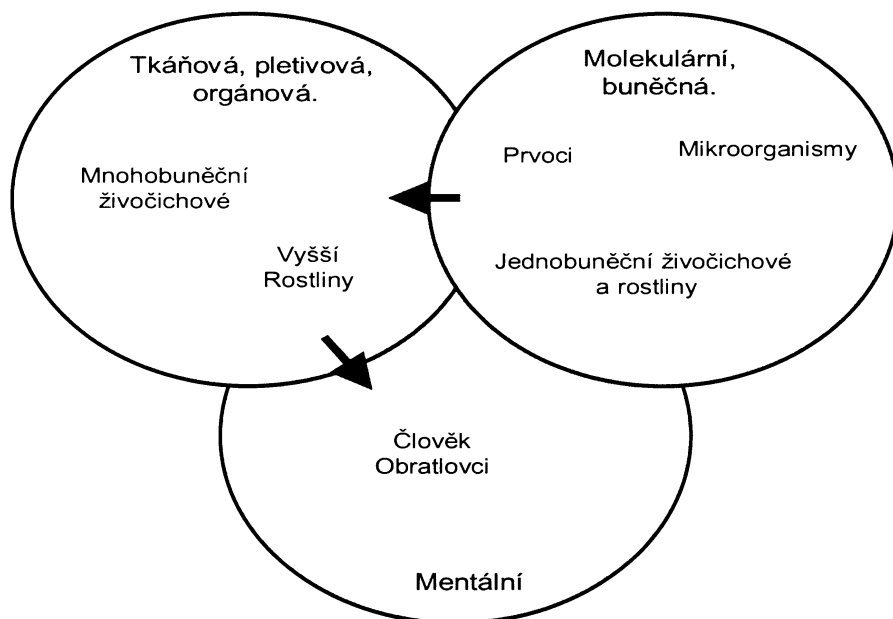


Obrázek č.20 – Schéma rozdělení pozemských organismů dle schopnosti disponovat danou kognitivní doménou.

Uvedené schéma dobře ilustruje jeden z problémů rozdělení poznávacích procesů probíhajících v živých systémech tak, jak je prezentováno v této práci: jeho neúplnost. Zatímco molekulární kognitivní doménou disponují všechny organismy bez výjimky, neurokomputační již pouze živočichové s NS a mentální již pouze živočichové s koncovým mozkem. V tomto ohledu je tedy uvedené rozdělení, co se týče dvou „vyšších“ úrovní organizace poznávacích procesů v živých systémech značně zoocentrické. Na tomto místě je důležité poznamenat, že tato práce nepopírá existenci kognitivních procesů na vyšších úrovních strukturální organizace např. u vyšších rostlin, pouze ji nezohledňuje ve svých metodologických východiscích. Neurokomputační kognici lze označit za specifický typ kognitivního procesu probíhajícího v rámci NS živočichů. Také rostliny disponují podobnou kognitivní doménou, jejímž podkladem jsou změny membránových potenciálů buněk rostlinných pletiv, které se přenášejí daným pletivem na velké vzdálenosti, podobně jako tomu dochází v NS živočichů v případě synaptického přenosu (Baluska, Volkmann, Menzel, 2005). Na podkladě podobných objevů se na počátku 21. století začal rodit nový obor, tzv. rostlinná neurobiologie (Stokes, 2005). Těžko říci, zda je zvolený název oboru, tj. „rostlinná neurobiologie“ vhodný. V současné době lze tento název chápat jako snahu o zrovnoprávnění kognitivních procesů probíhajících na úrovni tkání živočichů a pletiv rostlin, neboť rostliny jsou v tomto směru často přehlíženy a studiu informačních procesů, které na úrovni jejich pletiv probíhají je v kontrastu s intenzivně studovaným NS živočichů věnována jen malá pozornost.⁵² V budoucnu, až dojde k větší kumulaci poznatků o informačních procesech probíhajících v rostlinných pletivech a orgánech se zřejmě obor rostlinná neurobiologie etabluje pod novým názvem, který nebude obsahovat živočišnou metaforu.

Dělení organické kognice na její molekulární, neurokomputační a mentální doménu také nezohledňuje další strukturální úrovně organické kognice, které by si zasloužily vlastní analýzu a to především úroveň buněčnou a orgánovou. Schéma, které přisuzuje živým systémům jednotlivé kognitivní domény na základě komplexnějšího rozdělení organické kognice, než jaké je použito v této práci je prezentováno jako obrázek č.21.

⁵² Důkazem této skutečnosti je koneckonců i obsah této práce.



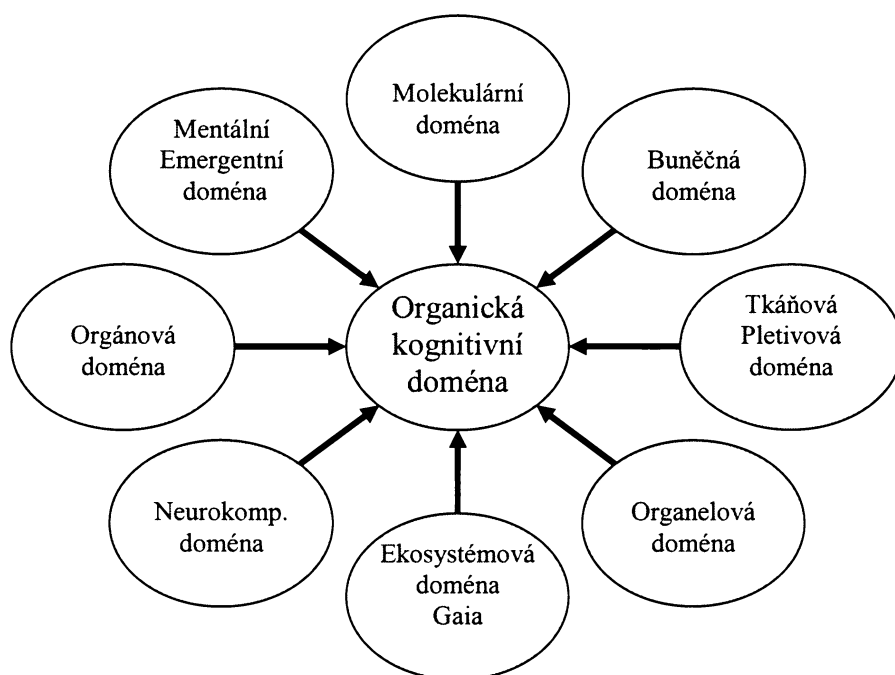
Obrázek č.21 – Rozdělení pozemských organismů na základě schopnosti disponovat danou kognitivní doménou. Organismus, který disponuje strukturálně „vyšší“ (mentální, orgánová atd.) doménou automaticky disponuje i doménou strukturálně „nižší“ (buněčnou, molekulární) což je vyobrazeno pomocí černých šipek.

Ani jednobuněčné živé systémy, jako např. bakterie však nejsou odkázané pouze na molekulární, popř. buněčnou doménu poznání. Prostřednictvím tvorby vyšších strukturálních celků, jako jsou např. bakteriální kolonie jsou jednobuněčné organismy schopné generovat nové, strukturálně vyšší kognitivní domény, přičemž podkladem jejich tvorby je symbiotické soužití jednotlivých bakteriálních buněk v rámci kolonie (Jacob, Becker, Shapira, Levine, 2004). Podkladem tohoto symbiotického soužití jsou pak komunikační, percepční, representační a paměťové procesy v rámci molekulární (resp. buněčné) kognitivní domény, tak jak jsou zmíněny v jednotlivých kapitolách této práce.

Poslední zoocentrickou kognitivní doménou tak, jak je patrné z obrázku č.21 zůstává doména mentální. Tento fakt je však také pouze relativní. Pomocí vědecké metodologie totiž lze jen velmi obtížně studovat vlastnosti mentálních procesů u zvířat a dokonce i u ostatních lidí (Chalmers, 1995. Kuhn, 1962). Z tohoto důvodu nemůžeme vyloučit přítomnost mentálních procesů a tedy i mentální kognitivní domény např. u rostlin, ale i ostatních neživočišných živých systémů. Tato skutečnost má pak svůj odraz v různých panpsychismických či panmentalistických filosofických a náboženských koncepcích (Skrbina, 2005). Tyto koncepce z pohledu této práce přisuzují mentální kognitivní doménu všem živým systémům, resp. všem věcem ve světě obecně. Organický panmentalismus lze

v jistém smyslu přirovnat k již zmíněné rostlinné neurobiologii a to proto, že obě koncepce mají společnou snahu o přenos teoretického modelu kognice v rámci dané úrovně organizace z jednoho typu organismů na jiný. I v případě organického panmentalismu by však zřejmě byla účelnější snaha o teoretické uchopení svébytné kognitivní domény příslušného živého systému na úrovni, která je svými vlastnostmi blízká živočišné mentální doméně. Tuto úroveň lze snad obecně nazvat „emergentní“. V kontrastu s rostlinnou neurobiologií je však tato snaha v případě organického panmentalismu limitována již zmíněnými omezeními studia mentálních procesů za použití vědecké metodologie.

Nastává tak situace popsaná již v úvodu (kap. 2.4.), kdy celá organické poznávání splývá v jednu velkou organickou kognitivní doménu (obrázek č.22) a uvedenou diskuzi lze považovat za jakousi syntézu, která následuje analýzu provedenou v předešlých kapitolách za pomoci rozdělení organické kognitivní domény na tři její teoreticky definovatelné poddomény, tj. molekulární, neurokomputační a mentální.



Obrázek č.22 – Schéma prezentující jednotu organické kognitivní domény.

7. Závěr

Živý systém lze definovat na základě jeho jednotlivých vlastností, kterými jsou především *specifické molekulární složení, metabolismus, reprodukce, autoorganizace, dědičnost, dráždivost a vývoj atd.* (Campbell et al., 2004).

Také kognitivní systém lze, do jisté míry definovat takovýmto způsobem. Jednotlivými atributy poznávacího systému jsou pak schopnost generovat procesy *paměti, učení, adaptace, percepce, reprezentace, komunikace* atd. (Albright, Neville, 1999).

Tato práce vychází z teze, že všechny živé systémy obývající Zemi jsou zároveň i systémy kognitivní (Maturana, 1970), tj. pokud systém není kognitivní, nemůže být ani živý. Zároveň však neproklamuje biocentrickou koncepci poznání, tj. zastává názor, že kognitivní systém nemusí být nutně živý. V rámci kognitivní domény pozemských organismů jsou pak v této práci definovány tři její úrovně (domény): *molekulární, neurokomputační a mentální.*

Historická, metodologická a teoretická východiska umožňující uchopení jednotlivých kognitivních domén jsou popsána v úvodu práce (kap. 2).

Kapitola č. 3 – Paměť uchopuje tuto kognitivní vlastnost z hlediska jejích vlastností a funkcí v živých systémech a to na molekulární, neurokomputační i mentální úrovni organizace. Hlavní tezí v úvodu této kapitoly je skutečnost, že každý kognitivní systém musí disponovat nějakou formou paměti, neboť jinak by nebyl schopen na základě zachycení předešlých způsobů svého konání modifikovat své konání současné a budoucí.

Organické paměti jsou pak podkladem pro rozbor problematiky kvantifikace kognitivních vlastností živých systémů (kap. 3.4.). Hlavním výsledkem této kapitoly je teoretický popis problémů, které nastávají při snahách o reduktivní kvantifikaci organických kognitivních vlastností, např. na základě Shannonova vzorce pro výpočet informace.

Kapitola č. 4 – Reprezentace prezentuje teoretické modely této poznávací funkce v rámci jednotlivých domén organické kognice. Reprezentace je v této práci chápána jako schopnost systému vytvářet a uchovávat ve své struktuře vnitřní model vztahů vnějšího, popř. vnitřního prostředí.

Organické reprezentace jsou pak podkladem pro rozbor problematiky časové dynamiky kognitivních procesů živých systémů (kap. 4.4.). Hlavním závěrem této kapitoly je skutečnost, že živé systémy jsou systémy historické, přičemž evoluční a ontogenetická kontinuita jejich existence má významné dopady na jejich kognitivní funkce.

Kapitola č. 5 – Percepce podobně jako obě předcházející kapitoly uchopuje tuto kognitivní vlastnost v živých systémech v rámci molekulární, neurokomputační a mentální kognitivní domény živých systémů. Kapitola klade důraz na parametry senzitivity a specifity organické percepce, které jsou dobrým výchozím bodem pro její teoretickou analýzu.

Organická percepce je pak podkladem pro rozbor fenoménu autoorganizace v živých systémech (kap. 5.4.). Hlavním výstupem této kapitoly je koncepce, která přisuzuje autoorganizační schopnosti všem třem zmíněným úrovním kognitivních procesů, které probíhají v živých v živých systémech, přičemž autoorganizace v rámci jedné kognitivní domény pak podmiňuje autoorganizaci domén ostatních. Zároveň je odmítnuta lineární posloupnost autoorganizace od domény molekulární po doménu mentální, ale je naopak proklamována vzájemná strukturace všech kognitivních domén v rámci daného živého systému.

Kapitola č.6 – Diskuze pak poukazuje na relativní výhody a nevýhody, které přináší arbitrární dělení komplexní organické kognice tak, jak je provedeno v této práci.

8. Seznam literatury

Albright, T.D., Neville, H.J.: *Neurosciences*. In: The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences. The MIT Press, 1999.

Allman, J.M.: *Evolving Brains*. W. H. Freeman, New York, 2000.

Ashby, W.: *Principles of the Self-Organizing Dynamic System*. Journal of General Psychology (37), 1947.

Baddeley, A.: *Memory*. In: The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences. The MIT Press, 1999.

Baluska, F., Volkmann, D., Menzel, D.: *Plant synapses: actin-based domains for cell-to-cell communication*. Trends Plant Sci 10 (3), 2005.

Bertalanffy, L.: *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller. Revised edition, 1976.

Blake, R., Sekuler, R.: *Perception 5th edition*. McGraw-Hill, 2005.

Blinkov, S., Glezer, I.: *The Human Brain in Figures and tables. A Quantitative Hand book*. Plenum Press, New York, 1968.

Brazier, M.: *A History of the Electrical Activity of the Brain*. Pitman, London, 1961.

Brazier, M.: *A History of Neurophysiology in the 19th Century*. Raven Press, New York, 1988.

Campbell, N.A., et al.: *Biology 7th edition*. Benjamin Cummings, 2004.

Chalmers, D.: *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. Oxford University Press, 1996.

Churchland, P.: *The Engine of Reason, The Seat of the Soul: A Philosophical Journey into the Brain*. MIT Press, 1995.

Cohen-Tannoudji, M., Babinet, C., Wassef, M.: *Early determination of a mouse somatosensory cortex marker*. Nature (368), 1994.

Craik, K.: *The Nature of Explanation*. Cambridge University Press, Cambridge, 1943.

Crick, F., Koch, C.: *A framework for consciousness*. Nature Neuroscience (6), 2003.

Descartes, R.: *Meditace o první filosofii*. Oikúmené, Praha, 2002.

Drexler, K.: *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. Anchor Press, 1986.

- Eisen, M.: *Djourno, Eyries, and the first implanted electrical neural stimulator to restore hearing*. *Otology and Neurotology* 24 (3), 2003.
- Finger, S.: *Origins of Neuroscience*. Oxford University Press, New York, 1994.
- Gore, R.: *Explosion of life: The Cambrian Period*. *National Geographic* (9), 1993.
- Halder, G., Callaerts, P., Gehring, W.: *New perspectives on eye evolution*. *Curr. Opin. Genet.* (5), 1995.
- Hameroff, S., Penrose, R.: *Orchestrated Reduction Of Quantum Coherence In Brain Microtubules: A Model For Consciousness?* In: *Toward a Science of Consciousness*. The MIT Press, 1996.
- Hebb, D.: *The organization of behavior*. Wiley, New York, 1949.
- Herrera, E. et al.: *Zic2 patterns binocular vision by specifying the uncrossed retinal projection*. *Cell* 114, 2003.
- Hodgkin, A.L., Huxley, A.F.: *Currents carried by sodium and potassium ions through the membrane of the giant axon of Loligo*. *J Physiol.* (4), 1952.
- Hodgkin, A.L., Huxley, A.F.: *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*. *J Physiol.* (4), 1952.
- Holland, J.G., Skinner, B.F.: *Analysis of behavior*. McGraw-Hill, 1961.
- House, W.F., Urban, J.: *Long term results of electrode implantation and electronic stimulation of the cochlea in man*. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 82 (4), 1973.
- Islas, S., Becarra, A., Luisi, P., Lazcano, A.: *Comparative genomics and the gene complement of a minimal cell*. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* (34), 2004.
- Jacob, E., Becker, I., Shapira, Y., Levine, H.: *Bacterial linguistic communication and social intelligence*. *Trends in Microbiology* 12 (8), 2004.
- Kandel E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M.: *Principles of Neural Science, 4th edition*. McGraw-Hill, New York. 2000
- Kant, I.: *Kritika čistého rozumu*. Oikúmené, Praha, 2001.
- Koch C.: *Quick Guide: Qualia*. *Current Biology* (14), 2004.
- Kováč, L.: *Fundamentálne princípy kognitívnej biológie*. In: *Mysel', inteligencia a život*. STU, Bratislava, 2007.
- Kuhn, T.: *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 1962.

- Lauterbur, P.: *Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance*. Nature (242), 1973.
- Malsburg, C.: *Self-organization of orientation-sensitive cells in the striate cortex*. Kybernetik (14), 1973.
- Maturana, U.: *Biology of cognition*. Biological Computer Laboratory Research Report, Urbana, 1970
- Maturana, U., Varela, F.: *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. D. Reidel, Boston, 1980.
- McCulloch, W., Pitts, W.: *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics (7), 1943.
- Meyer-Lindenberg, A.: *The evolution of complexity in human brain development: an EEG study*. Electroencephalography and clinical Neurophysiology (99), 1996.
- Mojzsis S.J., Arrhenius G., McKeegan K.D., Harrison T.M., Nutman A.P., Friend C.R.: *Evidence for life on earth before 3,800 million years ago*. Nature (384), 1996.
- Monod, J.: *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. New York, Alfred A. Knopf, 1971.
- Palmer, S.: *Fundamental aspects of cognitive representation*. In: Cognition and Categorization. Erlbaum, New York, 1978.
- Pavlov, I. P.: *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Oxford University Press, London, 1927.
- Phelps, M.E., Hoffman E.J., Mullani N.A., Ter-Pogossian M.M.: *Application of annihilation coincidence detection to transaxial reconstruction tomography*. J Nucl Med. 16 (3), 1975.
- Popper, K., Eccles, J.C.: *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*. Routledge, 1984.
- Purves, D., et al.: *Neuroscience 2nd edition*. Sinauer Associates, 2001.
- Rasband, K., et al.: *Formation of the Optic Chiasm*. Neuron 39(6), 2003.
- Sakmann, B., Neher, E.: *Patch clamp techniques for studying ionic channels in excitable membranes*. Annu Rev Physiol (46), 1984.
- Schrödinger, E.: *Co je život?* Vutium, Brno, 2005.
- Shannon, C.: *A Mathematical Theory of Communication*, Bell System Technical Journal 27, 1948.
- Skrbina, D.: *Panpsychism in the West*. The MIT Press, 2005.

- Stokes, T.: *Plant Neurobiology Sprouts Anew*. The Scientist 19 (14), 2005.
- Swartz, B., Goldenshon, E.: *Timeline of the history of EEG and associated fields*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. (106), 1998.
- Riegler, A.: *When is a cognitive system embodied?* Cognitive Systems Research (3), 2001.
- Thagard, P.: *Mind: Introduction to Cognitive Science*. MIT Press, Cambridge MA, 1995.
- Thomson, D.: *On Growth and Form*. Dover Publications. Revised edition, 1992.
- Totoni, G., Sporns, O., Edelman, G.: *Measures of degeneracy and redundancy in biological networks*. Neurobiology (96), 1999.
- Turner, B.: *Defining an epigenetic code*. Nat Cell Biol (9), 2007.
- Varela, F.: *Autopoiesis and Biology of Intentionality*. CNRS Ecole Polytechnique, Paris, 1996.
- Villegas R., Castillo C., Villegas G.: *The origin of the neuron: The first neuron in the phylogenetic tree of life*. In: Astrobiology: Origins from the Big-Bang to Civilization. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Wang, Y., Liu, D., Wang, Y.: *Discovering the Capacity of Human Memory*. Brain and Mind (4). 2003.
- White, J., Southgate, E., Thomson, J., Brenner, S.: *The structure of the nervous system of the nematode C. elegans*. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. (314), 1986.