

Neurokybernetické analogie.

J. Faber, ČVUT, FD, Ústav řídicí techniky a telematiky. Praha, 2011.

Naše úsilí směřuje k poznání činnosti nervové tkáně, především **mozku a míchy (biologické neuronální sítě, anglicky síť je net, proto BNN)** za pomoci neuroinformačních teorií a technik. Když McCulloch a Pitts (1943) vytvořili jednoduchý, ale zcela funkční a dodnes užívaný **model neuronu (arteficiální neuron = neuroid), umožnili a usnadnili** tím vývoj **arteficiálních neuronových sítí (=ANN)**. ANN si vypůjčovaly vlastnosti BNN a na oplátku poskytovaly výzkumu nervových struktur řadu netušených analogií řešících otázku, jak by také mohly BNN struktury pracovat. Proto by bylo vhodné postupovat více systematicky ke zkoumání stále složitějších struktur mozku (BNN), modelovat je na ANN a výsledky stále komparovat. To je základ budoucí neurologie, chce-li tato expandovat do jednoho z možných odvětví, kupř. do neuropsychologie. Po stránce syndromologické je totiž systém obecné neurologie téměř plně definován.

Naše smysly (retina, cochlea, taktilní a svalové receptory atd.) **jsou rozhraní (= interface)**. Tyto sensorické orgány převádí (transformují) elektromagnetické a akustické vlny či mechanické vibrace a tlaky na **neuronální impulsy**.

Jednotlivé vzruchy (impulsy) a jejich skupiny mají frekvenční modulaci, tj téměř nemění se amplitudu, ale výrazně variabilní frekvenci. Ve své podstatě to jsou elektrochemické signály membrán neuronů a jejich výběžků (dendritů a neuritů). Impulsy jsou nositelé informace v binárním kódu, pracují podle pravidla vše nebo nic: ano - ne.

Smyslové orgány chutě a čichu nejsou tak rozsáhle kortikalizovány jako zrak, sluch a hmat a proto nemohou sloužit k abstraktnímu symbolickému kódování jako je kupř. řeč a písmo. Avšak čich a chuť dobře informují mozek o „prvosignálních“ podnětech, kupř. přinášejí signály o dobrých nebo toxických látkách, o sexuálním partnerovi a pod. (feromony nebo vomeroferiny).

Vzruchy jdou nervovými vlákny od smyslů k neuronům a mezi neurony po membránách dendritů, neuronových těl a neuritů jako informačními kanály. Impulsy jsou generovány v axonové hrbolku (axon hillock) a odtud jdou po neuritu (= axonu) k dalším neuronům. Funkce centrálního nervového systému (CNS), tedy míchy, kmene, thalamu, limbického systému, kortexu atd. se zakládá právě na spojení neuronů ("konverzací" neuronů) pomocí impulsů. Zevní informace ze smyslů došlé do CNS jsou zjistitelné pomocí **evokovaných potenciálů (EVPO)** projevující se v **elektrické aktivitě kortexu (= EEG)** jako NPN komplex o třech vlnách s latencí **kolem 75-100-130 ms**. Psychologicky tyto EVPO odpovídají asi počátkům.

Přesnější obrazy ze smyslů mají již delší latenci a tedy i více času na analýzu a syntézu v thalamo-kortikálním systému (TKS), psychologicky jsou to zřejmě **vjemy, které se projevují jako EVPO typu P300, N400 nebo P600 ms, tedy vlny s uvedenou latencí. Podmíněné reflexy typu „go on“ (provést odpověď) se mohou projevit jako „contingent negative variation“ (CNV, depolarisace neuronů = excitace) nebo typu „go off“ (motorická odpověď nesmí nastat) jako „contingent positive variation“ (CPV, hyperpolarisace neuronů = inhibice), mohou trvat i několik vteřin. (Walter et al. 1964, Howard et al. 1982).**

Dokonce lze pomocí EEG objektivně sledovat i **stavy připravenosti před motorickým výkonem („readiness potentials“ čili „Bereitschaftspotentiale“)** s půl až dvou sekundovým trváním (Kornhuber a Deecke 1965). Klinicky se dají využít i pozdní evokované potenciály, které se objevují po odpovědi po provedeném podmíněném reflexu jako **„postimperative negative potentials“ (PINP)**. Čím jsou PINP prolongovanější, tím je psychické postižení

větší, kupř. u psychóz je délka velká. Jistě tyto procesy (EVPO, CNV, CPV, PINP) nějak souvisejí s procesy učení v modelech ANN.

Pod těmito jevy v EEG si dovedeme představit BNN jako neuronální populaci aktivovanou, depolarisovanou (CNV) nebo inhibovanou, hyperpolarisovanou (CPV) a to bilaterálně, tj. v obou hemisférách. Je dokázáno, že podvědomě vnímáme i sublimitní podněty, ale jen levým parietálním a levým mediálním temporálním gyrem, bez obou frontolaterálních neokortexů, ale s bilaterálním hippokampem. Mimo jiné to popsal Brázdil et al. (1997) pomocí implantovaných elektrod, P300 EVPO u sublimitních stimulů u epileptiků.

U supralimitních podnětů jsou odpovědi EVPO v uvedených krajinách neokortexu oboustranné. Posner a Raichle (1994) našel podobnou situaci pomocí PETu u zdravých osob, kde se při zvýšené pozornosti zvýšil metabolismus glukosy spojené s radioaktivním isotopem fluoru parietálně vpravo. V každém případě jsou **krátké nebo složité nebo zcela nové podněty vnímány nezřetelně (= fuzzy), jde o fuzzyfikovanou kognici.**

Existují fuzzyfikované (nezřetelné) množiny podle matematika Zadecha, "fuzzy sets". Dále se vyvinula i "fuzzy logika". Nám se zdá zcela přirozené použít pojem "fuzzy kognici". Tím spíše, že v pozadí veškeré impulsační aktivity je přítomen již prenatálně šum, který se postnatálně někdy zvyšuje (Gladkovich et al. 1980, Rayevsky 12980, in Ontogenesis of the brain. Ed.: S Trojan, F. Šťastný, Calvet et Calvet 1968).

Jinými slovy v BNN je primárně přítomno stochastické prostředí, do kterého se pravděpodobně "vtiskává" smysluplný signál v podobě níže uvedených "3f" algoritmů. Tento učící a percepční zpřesňující program se zřejmě odehrává ve stavech relaxace a spánku.

Zprávy jdou jako impulsy ze smyslů do všech etází, kde se "přepólují" na jiný neuron a nakonec do centra v CNS také v podobě **impulsů, které mají vlastnosti dané algoritmem „3f“: "firing rate (rychlost), firing pattern (vzorec), space firing (prostor neuronální populace)".** Jinými slovy to lze vyjádřit počtem výbojů za jednotku času (firing rate), tvarem čili vzorcem (firing pattern) výbojů (kupř. intervalovým histogramem) a to pro 1 až N neuronů čili velikostí neuronální populace (space firing).

Délku úsečky, tj. interval vyjádřený číslem mezi neuronálními impulsy lze chápat jako vektor. Zkoumáme množinu prvků či jevů, kupř. neuronální síť, která se projevuje impulsy a ty musíme nějak uspořádat: **statistická jednotka je kupř. jeden neuron x_i , celkově je jich n a každá jednotka čili neuron má jeden i více znaků m . Z mnoha impulsů mnoha neuronů lze vytvořit statistický soubor v podobě „matice vektorů“, jejímž prvkem čili statistickou jednotkou jsou vlastnosti impulsační činnosti jednoho neuronu. Všechny prvky souboru musí spadat do jednoho oboru úvahy čili jejich vlastnosti jsou si podobné, jsou vymezeny, v tomto případě neuronem a jeho impulsy.**

V našem případě můžeme celý statistický soubor vyjádřit jako množinu X vektorů x_i čili matici X všech matic x_i . Schematické vyjádření v matematickém jazyku je toto:

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_1 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_{11} \quad \mathbf{X}_{12} \quad \dots \quad \mathbf{X}_{1j} \dots \mathbf{X}_{1m} \\ \hline \end{array} \quad = \quad (\text{"3f"} : \text{firing rate,} \\
 \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_2 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_{21} \quad \mathbf{X}_{22} \quad \dots \quad \mathbf{X}_{2j} \dots \mathbf{X}_{2m} \\ \hline \end{array} \quad \text{firing pattern nongrouping} \\
 \begin{array}{|c|} \hline \dots \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \hline \end{array} \quad \text{pro } \langle x_i, x_{j-1} \rangle \text{ grouping pro} \\
 \mathbf{X} = \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_i \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_{i1} \quad \mathbf{X}_{i2} \dots \quad \mathbf{X}_{ij} \dots \mathbf{X}_{im} \\ \hline \end{array} \quad \langle x_j - x_m \rangle, \\
 \begin{array}{|c|} \hline \dots \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \hline \end{array} \quad \text{space firing pro } \mathbf{x}_n \\
 \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{X}_n \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline x_{n1} \quad x_{n2} \dots \quad x_{nj} \dots x_{nm} \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Pro neurofysiologii pracující s jednotkovými potenciály (unit potentials čili mikro-EEG) by takové vyjádření bylo vhodné pro možnost utřídění a dalšího zpracování dat pomocí

kovarianční matice, která vyjadřuje míru závislosti mezi jednotlivými statistickými znaky.

Defuzifikaci automaticky provádíme jednak psychickou cestou během konverzace naší verbální žádostí o opakování slov nebo vět (podnětu). Neurofysiologicky se defuzifikace uskutečňuje cyklickou repeticí (iterací) čili reverberací impulsů v thalamo-kortikálním reverberačním systému (TKRS).

Vlastnost všech savců je střídání bdění a spánku během 24 hodin. Spánek je nutným stavem pro kritické hodnocení a ukládání (fixaci, impregnaci) specifických, tj. osobnostním "filtrem" vybraných (zpráv) informací do paměti.

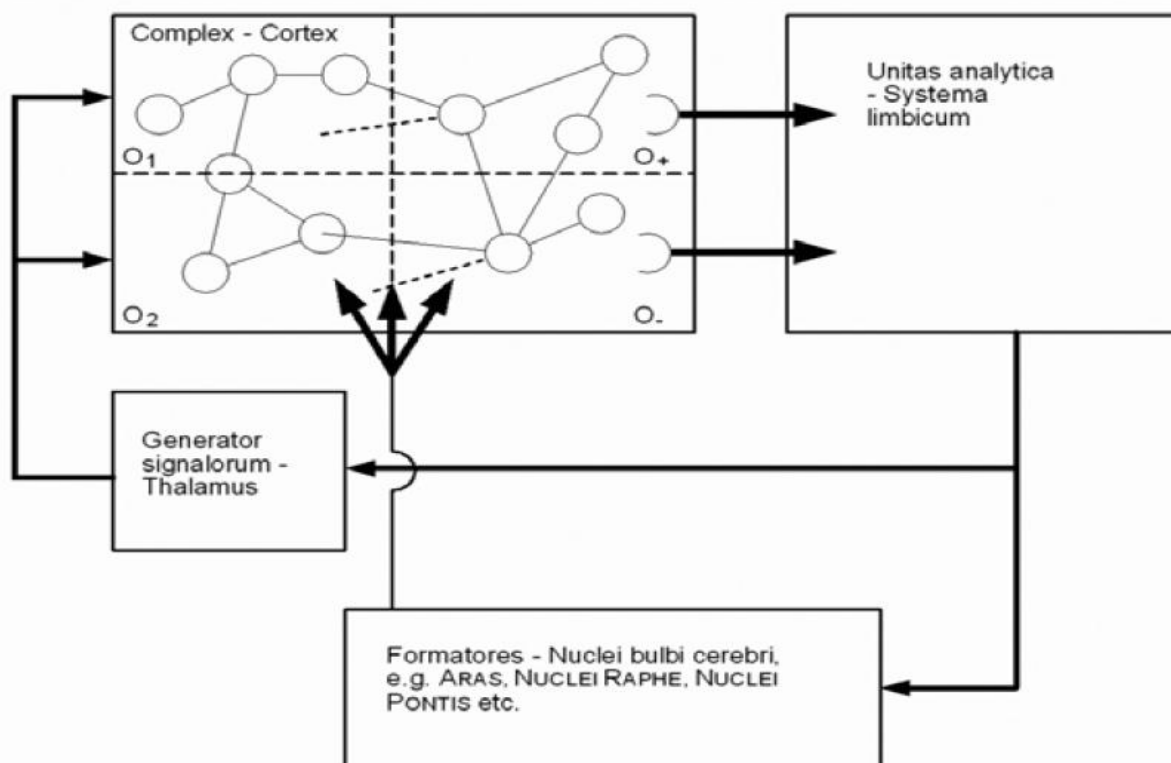
Mozkové uzliny hmyzu obsahují relativně málo neuronů, jsou paukocelulární. Avšak jejich neurony jsou velmi složité. Zřejmě většina chování (behaviorálního repertoáru) hmyzu je **vrozená, tedy daná geneticky čili zráním (= nature).**

Savčí mozky obsahují mnoho, celkem jednoduchých, "nepoučených" neuronů, základních typů je asi deset, avšak mají „talent“ přizpůsobit se jakémukoliv prostředí, kupř. životu v džungli, v knihovně v dílně, na radnici, ve vrcholovém sportu, v politice, na poli, ve vědě, v úřadě atd. Kromě vrozeného talentu (= nature) každého jedince **je nutné učení se společenským návykům v rodině, ve škole, při studiu, v práci a pod. (= nurture).** Naše chování po celý život je dáno interakcí „nature and nurture“.

Matematici Farley a Clark (1954) z Massachusetts (MIT) vytvořili model **autoorganizačního stroje sestávajícího ze 4 dílů: komplex** má 124 náhodně spojených aktivních elementů (neuroidů). Komplex je členěn na 4 části jen virtuálně, tzn. zdánlivě, ale zásadně všechny elementy komplexu jsou spolu náhodně spojeny a mají prahy neuroidů náhodně nastaveny. Tyto části jsou: vstupní O1, O2 a výstupní, O+, O-. Vstupní části O1, O2 jsou střídavě syceny impulsy z **generátoru signálů**, což je další díl tohoto modelu.

Třetím dílem je **analytická čili diskriminační jednotka**, která sleduje, jak se vyvíjí stav učení komplexu čili jeho organizace. Zprávy o těchto „stavových veličinách“ posílá do generátoru signálů, který tomu přizpůsobuje své impulsy. Cíl učení je nutnost aktivace výstupní části O+ jen tehdy, je-li podrážděn vstupní díl O1. A naopak má nastat aktivace výstupní O- jen tehdy, je-li drážděn vstupní O2. Jak jsme již zdůraznili, všechny díly a jejich neuroidy jsou náhodně a fyzikálně vzájemně propojeny. Avšak odehrávají se zde toliko funkční změny, tzn., že se mění kupř. vstupní nebo výstupní prahy neuroidů.

Organizace se podstatně zrychlila, když byl zaveden čtvrtý a poslední díl soustavy a to **formátor čili modifikátor**. Ten upravoval vstupní prahy aktivních elementů komplexu a posílal gaussovský šum tamtéž.



Dovolili jsme si tento model použít jako analogon k mozkovým strukturám. **Komplex se nám zdá podobný kortexu**, především neonatálního mozku, je také předem jen částečně anatomicky organizovaný, ale dále se musí zevními vlivy zdokonalovat. **Generátor signálů se nabízí jako thalamus**, který posílá rytmické a sensorické impulsy do kortexu. **Diskriminační jednotka se podobá limbickému systému**, která sleduje a reguluje hormonální, humorální, neurovegetativní a psychickou rovnováhu podle parametrů, které se v hypothalamu i v neokortexu naměří.

Poslední díl je formátor, který se podobá především nespecifickým (modulačním) strukturám kmene jako je acetylcholinergní ascendentní retikulární aktivační systém (= ARAS) pro udržování bdělosti, pozornosti, svalového napětí apod. Dále serotoninergní nuclei raphe, nucleus tractus solitarii, nucleus suprachiasmaticus a některá peptidergní hypothalamická jádra pro startování a udržování synchronního spánku (= NONREM, NREM). Konečně jsou zde acetylcholinergní jádra rostrálního pontu (nuclei laterodorsalis et pedunculo pontinus) a adrenergní nucleus subceruleus pro startování a udržování paradoxního spánku (= REM).

Uvedená jádra kmene si předávají štafetovitě svůj dominantní vliv na vědomí, tj. svůj principiální vliv na vyšší i nižší struktury CNS. Zároveň je nutné zdůraznit, že **anatomické struktury CNS zůstávají dlouhé měsíce i léta stejné. Avšak "formátory" v CNS mění jen dynamickou satrukturu cílového komplexu: část neuronů "kortexu - kortexu" se aktivuje, část se inhibuje.** Hobson a McCarley (1971) zjišťují u koček, že větší část neuronální populace kortexu během bdění má rychlejší frekvenci impulsů a menší část populace má pomalejší frekvenci. Ve spánku nastane opak.

Eutopické fyziologické formátory se vyvíjejí ve kmene mozku na základě genetickém, tedy zráním (nature). Dva měsíce před narozením se poměrně náhle objeví definovaný stav, tj. REM. Za 14 dní na to se přidávají další dva stavy, tj. NREM a vigilita. Tak prožívá foetus intrauterině dva měsíce před narozením sekvence vigility, NREM a REM spánku. Lze hovořit o "**stavech**", čili **formátorem geneticky daným se navozují programy 1. řádu.**

Postnatálně se vyvíjejí v CNS na základě zevního výchovného vlivu **programy 2. řádu, mluvíme o "druzích" vědomí**. Je nutné uvažovat o "sensorickém" vlivu, protože zevní informační data procházejí sensorickými orgány. Je to kupř. mechanismus "přimknutí" čili "attachmentu" (Faber a Pilařová 2001) trvající od narození do (asi) 3 let věku, kdy se zakládají osobnostní rysy. **V této době je na BNN vykonáván vliv zrání (nature) i výchovy (nurture). Proto můžeme mluvit o "programismu" genetickém i sensorickém.** Patří sem i konkrétní věcné myšlení, složité podmíněné reflexy i dynamické stereotypy, dále i duální charakter vědomí, t.j. racionální a emocionální vývoj mozku a jeho duše.

Konečně **programy 3. řádu zakládají typicky lidské vlastnosti, jako jsou fatické - řečové funkce, gnostické funkce včetně abstraktního myšlení. Mluvíme o "částech" vědomí**. Je zde velký problém, nakolik je vývoj osobnosti od předškolního věku do dospělosti dán zráním nebo učením. Nastane-li chyba vývojová genetická (jako jsou **degenerativní encefalopatie obvykle spojené s demencí a epilepsií**, kupř. Downova choroba, Wilsonova nemoc, Laforova nemoc, Gaucherova nemoc atd.) nebo metabolická či endokrinopatická, (kupř. phenylketonurie či kretenismus), je vliv "nature" dominantní a **můžeme mluvit o encefaloprogramopatii neuronálních struktur. Ale u běžné populace s nevelkými úchylkami se stanovuje podíl genetiky a výchovy na chování jen obtížně.**

Jako **formátory slouží i jiné struktury, proto je můžeme dělit na eutopické, ektopické, fyziologické a patologické. Eutopické normální formátory jsme popsali v předešlém odstavci, jsou ve kmeni mozku a podílí se na vzniku bdění, NREM a REM spánku.**

Dále jsou **ektopické fyziologické formátory v kortexu, jsou to vlastně některé Brodmannovy arey**, které si také střídavě předávají vliv na zbývající kortex, kupř. při mluvení jsou to arey 45, 46, při poslouchání 41, 42, při pohybu 4, při vidění 17, 18 a 19 atd.

Za **patologických okolností se mohou porušit ektopické korové nebo eutopické formátory čili kmenová nespecifická centra**, kupř. lézí pontinního jádra vzniká syndrom „Jouvetovy kočky“ (Jouvet 1969), kupř. pacient je ve stavu REMu, ale pohybuje se nebo mluví, zatímco při fyziologickém REMu má atonii svalovou. U tohoto stavu odpadá motorická, snad presynaptická, inhibice motoneuronů kmene a míchy. Nastává typický disociovaný stav, kdy nejsou zachovány všechny psychické vlastnosti pro udržování plného vědomí. Exitační poruchy Brodmannových areí (ektopických formátorů) vedou k fokálním senzotickým nebo motorickým epileptickým záchvatům (viz dále). Zánikové poruchy těchto korových formátorů vedou k afatickým nebo agnostickým syndromům.

Definice vědomí podle Vondráčka stručně: vědomí je takový stav, kdy vnímám a uvědomuji si, že vnímám, myslím a uvědomuji si, že myslím, jednám a uvědomuji si, že jednám, cítím a uvědomuji si, že cítím a to vše správně vztahuji ke svému já. V definici jsou vyjmenovány jen některé důležité vlastnosti. Avšak jsou zde oblasti 1. signální soustavy (vnímám, myslím ...tedy věcné myšlení) i v oblasti 2. signální soustavy (uvědomuji si, že si uvědomuji...tedy ultrasensibilita a abstraktní myšlení). Při disociovaném stavu některá z uvedených vlastností chybí, může to být porucha programů 1., 2. i 3. řádu.

Patologicky excitované ektopické formátory, kupř. epileptická ložiska (EPL) v neokortexu, v archikortexu (kupř. v hippokampum), produkují temporální čili fokální komplexní nebo simplexní epileptické paroxysmy). Nebo **EPL v paleokortexu, hlavně v amygdale způsobují panické ataky hrůzy (Faber a Vladyka 1984). Prokázali jsme u epileptika antiepileptický vliv rostrálního pontu (kde jsou centra pro REM spánek) a to přímou elektrostimulací (EST), po níž se zcela utlumily téměř kontinuální epileptické výboje v neo- i v archikortexu.**

Provedli jsme stovky EST hlavně v oblasti amygdalohippokampálního komplexu (AHK) u desítek epileptiků během vigily, paroxysmu i spánku a obvykle nastaly poststimulační "afterdischarges" epileptického typu a to subklinické s negativními emocemi nebo klinické s

retrográdní amnesií. Avšak u třech epileptiků, mužů středního věku se spolu s epileptickými výboji objevila hyperforie s pseudohalucinatorními příjemnými prožitky.

Fysiologové nazývají amygdalu jádrem strachu. Některé tyto ataky jsou vlastně amygdalární epilepsií. Ale obtížně se diagnostikují i během právě probíhající paniky se současně registrovaným EEG, protože amygdala je v hloubce skryté jádro, jehož EEG aktivita se téměř nedá bez implantovaných elektrod (stereoEEG = SEEG) zachytit.

Obecně lze říci, že formátor je malá skupina neuronů, která v definovaném období ovládá funkci vzdáleného komplexu. Obvykle je komplexem kortex, jehož stav (bdělost a spánek) je do jisté míry řízen prostřednictvím axonů kmenových jader (formátorů 1. řádu), které končí v 1. a 2. vrstvě kortexu tedy ve stratum moleculare et granulosum externum, kde začínají apikální dendrity mnoha korových neuronů, především velkých pyramidových buněk 3. a 5. vrstvy.

Formátory 2. řádu jsou dílem ve kmeni a dílem v limbickém systému, řídí druhy vědomí, včetně emočních a osobnostních parametrů psychiky (extro.-intro-verse, neuroticismus, sociabilita etc.).

Formátory 3. řádu jsou jednotlivé Brodmannovy arey, které ovládají části vědomí, tj. aktuální činnosti (relaxace, čtení, zábava, mechanickou nebo tvůrčí řeč nebo tomu podobné psaní, konkrétní nebo abstraktní myšlení atd. Arey ovládají okolní kortex pomocí TKRS i subkortikální a komisurální asociační soustavy, jejíž kortikální reprezentace je v nejmohutnější 3. vrstvě kortexu. Zdravý kortex je sám o sobě geniální struktura, ale bez uvedených auxiliárních soustav (kmenové modulační, TKRS a subkortikální systémy) by asi nejevil cílenou aktivitu.

Fysiologické a patologické formátory mají kompetitivní vztah, kupř. během epileptogeneze je často potlačen REM spánek. Během psychogeneze schizofrenního typu téměř mizí hluboký NREM spánek. U endogenní deprese je inverzní organizace REM spánku, tj. v první polovině noci je ho více než k ránu a je snad i relativně více téhož spánku. Tentýž pacient v remisi má podobně jako zdravý člověk první polovinu nočního spánku krátké REM spánky a ve druhé polovině noci má více REMu a jeho epizody jsou delší. Když opakovaně probouzíme melancholika v období REM spánku, zlepšujeme jeho náladu, jeho forii. Stejně tak působí většina klasických antidepresiv.

Naše léčba proti epilepsii byla často účinná, když jsme využili těchto poznatků, kupř. zvyšování REM spánku inhibitory acetylcholinesterázy jsme potlačovali epileptické záchvaty. Nadbytek glutaminu zvyšuje epileptickou susceptibilitu, ale jeho nedostatek spolu s nadbytkem dopaminu vede k psychoze schizofrenního typu. Nedostatek dopaminu v pars compacta nuclei nigri vede k Parkinsonovu syndromu. Avšak vysoká acetylcholinergní aktivita působí epileptogeně. Mírně vyšší hladinu glutaminu zlepšuje psychickou čilost.

Většina moderních antiepileptik posiluje GABAergní inhibiční inervaci anebo řečeno ještě obecněji zvyšuje hyperpolarizaci neuronální membrány.

Samy neuromediátory musí mít svou určitou hladinu, kupř. velmi snížený stav acetylcholinergního systému (ACS) (zvl. v nucleus basalis Meynerti a v rostopontiních jádrech) vede k poklesu REMu, atrofii kortexu, zvláště pak parietotemporálního a k Alzheimerově demenci (hypofunkce ACS). Normální hladina je u inteligentního člověka (eufunkce ACS). Vyšší hladina se objevuje u depresí (hyperfunkce ACS), proto klasická tricyklická antidepresiva snižují v CNS hladinu acetylcholinu a současně zvyšují citlivost neuronálních membránových receptorů na serotonin a noradrenalin. Ještě vyšší hladina acetylcholinu vede k epileptickým záchvatům (hyperhyperfunkce ACS), inhibitory acetylcholinesterázy podané injekčně (kupř. physostigmin iv.) provokují v EEG epileptické výboje.

Vztahy mezi neurotransmitery a neuromodulátory musí být vyrovnané. Elektrošoky silně potlačují REM spánek a působí antidepresivně, stejně jako tricyklická antidepresiva (Tofranil, Amitriptylin etc.), ale obojí zhoršuje paměť. Přemíra REMu zlepšuje paměť, ale může navodit dysforii až depresivní stavy. Podání serotoninu zlepšuje náladu, moderní antidepresiva blokují reabsorbci tohoto neuromodulátoru v synapsi a tím se jeho množství v intersynaptické štěrbině zvyšuje a jeho působení na membránové receptory je intenzivnější (SSRI léky, kupř. citalopram, fluoxetin).

Podobně jako farmaka a drogy má vliv na BNN i elektrická stimulace (EST), která může mít velmi mnoho podob, jde o voltáž, amperáž, frekvenci, ale také délku a tvar impulsu, intervaly mezi impulsy a především místo kde se a s jakými elektrodami (mikro, semimikro.. makro) EST aplikuje.. Tak např. Parkinsonův syndrom je léčen EST v subthalamických strukturách, dyskinetický syndrom v pallidum medium (Jech a spol. 2008). Epileptické výboje lze zastavit stimulací rostopontiních strukturách blízko locus caeruleus (Faber a Vladyka 1984), v cerebellu (Cooper 1965), v caput nuclei caudati (La Gruttra et al. 1971, v tegmentu mesencefala (Pollen et al. 1963) nebo nucleus ruber (Guardiola a Ayala 1971). Jsou to oblasti, které potlačují epileptickou susceptibilitu. **V podstatě jde o manipulaci s formátory.**

Na druhé straně slabá EST, těsně nadprahová, vede ke kindlingu (Goddard 1967), což je dobrý model ložiskové i generalizované epileptogeneze. Pomocí operantního podmiňování lze epilepsii léčit (Serman a Friar 1972). ESYT v hypothalamických jádrech vede k motorickým pseudoafektivním reakcím (Hess 1938). Můžeme si také představit, že pomocí jisté EST partis compactae nuclei nigri bychom mohli zlepšovat zlepšovat příznaky schizofrenie stejně jako to činí alfa blokátory (kupř. plegomazin nebo butyrofenony). Svědčí pro to i experimentální výsledky (Stevens a Livermore 1978), kde chronická EST v mesolimbické oblasti vyvolala u pokusných zvířat "psychotické" chování. Stevensová (1959) vyvolala u pacientů emoční stimulaci (negativní i pozitivní) epileptickou subklinickou aktivitu v EEG. Heath (1975) aktivoval epileptické výboje ze zanořených elektrod (SEEG) do limbického systému hovorem o starých potížích u psychotiků v remisi. Zřejmě nelze pochybovat o vzájemném, vztahu normální a patologické mentace, limbických epilepsiích a psychosách, emocích a jejich ovlivňování farmaky, drogami a EST.

Uvedená fakta jsou etiopatogenetickou simplifikací, ale aplikace formátorů umožňuje trochu se vyznat v „džungli“ transmiterů a v aplikované farmakodynamice. Při léčbě komplikovaných syndromů bychom měli kontrolovat stav nemocného nejen pomocí EEG a neurologického, ale i psychologického, polysomnografického a PET vyšetření při nasazení transmiterů nebo léků označených radionuklidy.

Vraťme se k **arteficiálnímu neuronálnímu síťi (ANN)** a k jejich analogii s biologickými neuronovými populacemi (BNN) v mozku. První a zdařilý pokus o **model čili formální neuron (neuroid)** provedli 1943 McCulloch a Pitts. Jde o funkci "**Processing Element**" (**PE**), což je neuron v BNN a neuroid v ANN.

Uvedení autoři stanovili jistý **sumátor (tělo neuroidu)** sečítající hodnoty **vstupů (x_i)**. (Axodendritické synapse mají menší vliv na váhu elektrického potenciálu membrán neuronů než axosomatické.) Synapse neuroidů mají také různé **váhy** čili důležitosti (**w_i**). **Neuroid** je vybaven i **prahem (Θ)**, který je nutné překročit, aby byl vyslán vzruch čili impuls z neuroidu. (V mozku vysílá impuls z neuronu část zvaná iniciální segment a axon hillock).

Dále je zde tzv. přenosová čili **aktivační funkce**, která představuje způsob přenosu dat od vstupů přes práh po výstup (čili přenos dat do definovaného oboru výstupních hodnot). Tato **funkce je obvykle binární, tj. stejně jako neuron tak i neuroid buď vyšle vzruch (hodnota 1, ano) nebo nevyšle (hodnota 0, ne)**. Signalisaci redukovanou na dvě hodnoty (0,1) dobře vyjadřuje dvojková soustava, kterou popsal již Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716).

Funkce může být přímo úměrná a lineární, nebo sigmoidová (různě strmé "S") nebo skoková, kupř. Heavisideova funkce, která právě nabývá hodnot 0 a 1. O výstižné analogii neuroidu s neuronem zde není pochyb, proto se také stále používá v praktických modelech ANN.

V ANN i BNN je nutné řešit příjem ohromného množství dat. Proto je nutné použít kompresi dat. Zásadně se pro to užívá dvou metod: analýzy hlavních komponent a faktorové analýzy, kterou jsme také kdysi použili s úspěchem pro rozklad EEG křivky (Faber et al. 1973, 1975).

Šnorek (2004) udává, že matematik E. Oja byl první, kdo si všiml podobnosti mezi lineární transformací původních souřadnic na hlavní komponenty a funkcí perceptronu popsaného McCullochem a Pittsem (1943). Tímto směrem se dále ubírali Diamantras a Kung (1996) a navrhli metodu hlavních komponent pro ANN. Je tedy pozoruhodné, jak dva různé směry aplikované matematiky se mohou setkat na nečekaném místě.

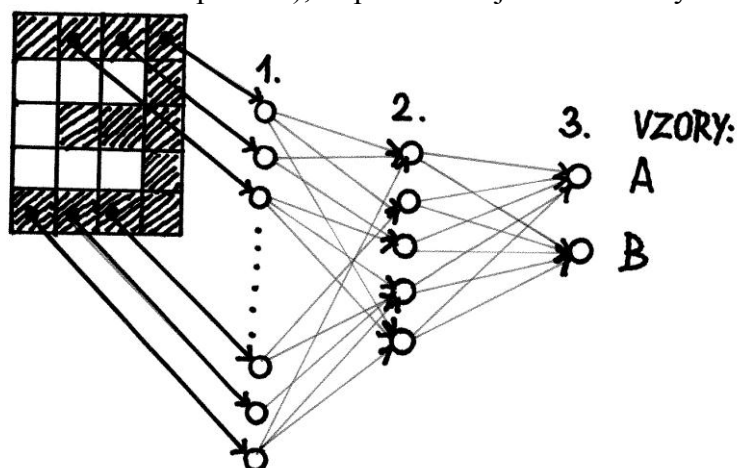
Podobné vztahy jsou mezi **komponentovou a faktorovou funkcí. Obě představují možnosti extrakce a abstrakce dat i jejich komprese**, aniž by se nějaké informace ztrácely, ale obě metody se vyvíjely od začátku jinými cestami. Zatímco faktorová analýza byla výsledkem snažení převážně psychologů, komponentová analýza byla produktem matematiků. Faktorová analýza nabízí mimo jiné i další abstrakce jako je kupř. rotace faktorů, při níž lze nahlížet na problém jakoby z různých úhlů.

Stejně tak se dá nalézt **logický a geometrický vztah mezi Thaletovou a Pythagorovou větou ohledně pravoúhlého trojúhelníka**. Jiný, avšak materiální příklad je z chemického oboru, jde o vývoj poznatků o DDT sloučenině: původně byla použita jako hnojivo, později jako insekticidum a nakonec byla poznána jako nervový toxin.

Logickým pokračování neuroidu podle McCullocha a Pittse je **Rosenblatův perceptron z roku 1958**, který je složen z několika aktivních elementů (PE) a má navíc učící algoritmus. Perceptron měl imitovat funkci sítnice čili rozeznávat různé vzory, kupř. písmena napsaná na ploše. Pro usnadnění čtení těchto vzorů byly tyto vepsány do mřížky, kde každé políčko (pixel) bylo buď černé nebo bílé, mělo hodnotu ano nebo ne, 1 nebo 0. Každé okénko ve mřížce mělo svůj čtecí element čili vstup do ANN. Množina čtecích elementů dohromady tvořila vstupní čili rozvětvací vrstvu elementů (na obraze číslo 1.)

Váhy (w_i) první vrstvy jsou konstantní a její elementy mají náhodné a neúplné spojení s druhou vrstvou elementů tzv. "démonickou" (v názvosloví autora), která představuje detektory příznaku - "démony", zde se váhy již mění (na obraze číslo 2.). (Neúplné spojení znamená, že není komunikace každého elementu s každým dalším elementem.)

Třetí a poslední vrstva jsou tzv. perceptrony čili prvky poznávající vzory (Pattern Recognizers), kupř. písmena (na obraze číslo 3.) Vzory zaznamenané na ploše (2D na mřížce) v binárním kódu (černé nebo bílé políčko), se převádí na jednorozměrný vektor neuroidů.



Je zřejmé, že **Rosenblattův model se opět přiblížil BNN, kupř. v tom, že má učící se algoritmus při měnících se vahách synapsí v ANN. Zlepšení je také ve vícevrstevnatém uspořádání "processing elementů", což napodobuje strukturu kortexu.** (Vícevrstevnou síť navrhoval také **Selfridge podle Beneše (1966).**

Další modely simulovaly zlepšenou zpětnou vazbu (feed back) u neuronů a jejich populací. Byly to modely **ADALINE (= Adaptive Linear Neuron) a později MADALINE (Multiple Adaptive Linear Neuron) navržené matematiky Widrow-em a Hoff-em v roce 1960 a 1962.** Šlo o zdokonalení zpětné vazby klasického perceptronu tak, že vstupem do neuroidu nebyl jen zevní dvouhodnotový vstup neuroidu, ale také tzv. vnitřní potenciál neuronu, který je vyjádřen střední kvadratickou chybou (LMS = Least Mean Squares) dat mezi žádaným a dosaženým stavem sítě, jinými slovy mezi ideálním vzorem a vypočítaným obrazem v síti.

Pokrokem v modelování mozku pomocí "neživých" matematických modelů a počítačů je jednovrstevná síť úplně propojená (každý element je spojen s každým kromě sám se sebou). **Síť neuroidů je složená z klasických "processing elementů" McCullochova a Pittsova perceptronu v jedné vrstvě navržená J. Hopfieldem v roce 1982.** Na vstupu má každý neuroid jeden jediný vstup. Tento vstup čte jeden pixel (černé či bílé políčko s binární hodnotou) v mřížce s obrazem nebo písmenem. Na výstupu neuroidu je jeden výstup "zevní, tj. výkonný, zobrazující" a jeden výstup sloužící ke zpětnému spojení se všemi dalšími neurony s měnitelnými vahami (w_{ij}). Síť může sloužit k optimalizaci, tj. k nalezení nejlepšího řešení nějakého problému, kde je více možností.

John Hopfield mimo jiné popisuje i pojem **energetické funkce (EF)**. Matematickou cestou lze poznat rozdíl mezi předem daným "ideálním" vzorem předloženým síti k napodobení a obrazem získaným výpočtem v ANN síti. K tomu účelu používáme různé způsoby, je to kupř. **Eukleidova nebo Hammingova metrika, také způsob Manhattan či bloková vzdálenost.** Prostě řečeno, jde o změření vzdálenosti pixelů mezi zevním vzorem a vypočítaným obrazem. Tyto metriky jsou vlastně metody pro vyhodnocování podobnosti dvou vektorů. Tímto způsobem můžeme kvantifikovat i kvalifikovat makro i mikro EEG, kupř. "3f" algoritmus, který lze také převést na vektorové vyjádření, (viz výše i níže).

Eukleidova vzdálenost je vlastně výpočet přepony trojúhelníka v N-rozměrném karteziánském souřadném systému v ortogonálním prostoru. Jde o variantu Pythagorovy poučky. **Hammingova vzdálenost je sumou absolutních hodnot rozdílů sobě odpovídajících vektorových souřadnic,** jinými slovy jde o výpočet vyjádřený rozdíl výše uvedených dvou obrazů - ideálního a vypočítaného. **Bloková vzdálenost se podobá Eukleidovské, ale bez umocňování a odmocňování,** je tedy méně přesná, ale stručnější.

Energetická funkce (EF) je spíše projevem adaptace čili poučenosti sítě než její energie, ale je pravda, že během zdokonalování ANN sítě její energie klesá. EF je mírou odchylky čili rozdílu mezi "ideálními" požadovanými hodnotami (kupř. vzorně napsaným písmem) a reálným obrazem vypočítaným sítí a patrným na výstupu sítě. Během **trénování sítě se proces porovnání ideálního a vypočítaného obrazu v síti stále opakuje čili iteruje** a postupně se vypočítávaný obraz v síti více a více podobá onomu ideálnímu. V iteracích se používají uvedené metriky (Eukleidova, bloková atd.).

Cílem učení je, aby numerické hodnoty rozdílů mezi vzorem a skutečností výpočtů v síti byly co nejmenší. Nulových rozdílů se nedosáhne téměř nikdy, postačí však velká podobnost. Iterací je různý počet, u sítě "back propagation" (BP) to jsou tisíce až desítky tisíc. U **jiných sítí s použitím genetických algoritmů postačují stovky iterací, ale proces iterace je složitější (Kolda, Faber et al. 2004).**

Nelze si odpustit poznámku, že řada autorů velmi úspěšných ANN, jako byl Rosenblatt, Hopfield, Grossberg nebo Fukushima znali dobře neurofysiologii a z ní si právě odnášeli inspiraci ke svým modelům matematických analogií.

Proces učení v každé síti je "podobný" procesu v mozku, také se skládá z fáze učení, zapamatování a vybavování a především z posilování čili zvyšování vah některých synapsí. Výhoda Hopfieldovy sítě podle učícího algoritmu je **schopnost naučit se jeden vzor, kupř. písmeno naráz, čili je to jednorázový proces**. Při procesu učení používá síť Hammingovy metriky. Ale na druhé straně nemá tato síť možnost naučit se mnoho vzorů, když to však učiníme, je **schopna "vymýšlet" si nesmyslné vzory. Pak mluvíme o stavu přeučení**. Je třeba, aby se jednotlivé vzory různého "tvaru" od sebe co nejvíce lišily, aby si byly velmi nepodobné. Ale rozdíly mezi vzorem a obrazem na výstupu sítě byly co nejmenší (Šíma a Neruda 1996, Šnorek 2004, Novák et al.1998).

Zde je zřetelná analogie s pedagogickou psychologií: během učení se děti pozvolna blíží ku poznání a písemnému napodobení písmen a slov. Děje se to tak, jak se zmenšuje vzdálenost mezi sensorickým zevním vzorem napsaným paní učitelkou a vzorem v proprioceptivně-motorickém kortexu. Dětský mozek nelze naráz zatížit naučením mnoha vzorů (písmen), pak by stoupala pravděpodobnost zmatení tvarů. I tak si podobné vzory často děti pletou jako jsou kupř. písmena s "bříškem": B,P,D.

Tvary vzorů by měly mít co největší Hammingovu vzdálenost, to znamená co největší tvarovou odlišnost. Vybavování vzorů sítě je složitější než učení. Podobně je tomu u dětí, i když relativně dobře čtou: "ideální" tvary jsou uloženy a dobře zafixovány v sensorických korových centrech - arey 17, 18 a 19, přesto děti stále dělají při psaní chyby, jelikož fixace proprio-motorických vzorů v areách 4, 2, 5 není ještě dokonalá.

Sensorická paměť a motorická grafická exprese jsou dvě odlišná místa a dva odlišné procesy. Motorická artikulační a fatická exprese je zřejmě relativně rychlejší než grafická. Fylogeneze lidstva ukazuje vývoj řeči snad sto tisíc let, ale vývoj písma teprve asi pět tisíc let. Výborný kreslíř má zřejmě schopnost tyto dva procesy (vizuální sensoriku a grafickou motoriku) rychle a dobře asociovat.

Proto **dětskýma očima** viděný tvar a možnost jeho přečtení je rychlejší proces než jeho napodobení písmem. Podobně je tomu s mluvou. Často již jednoleté dítě rozumí mnoha slovům, tj. **sensorická fatická funkce v areách 42, 41, 22 je již částečně naučená, ale fatická expresivní motorická funkce (arey 6,4, basální ganglia a neocerebellum) je opožděná** o jeden až dva roky a dítě tedy mluví až ve 2 až 3 letech. Arey 21 a 22 patří k akustickým i optickým vyšším (sekundárním) kortikálním centřům, zde zřejmě vznikají synestésie.

Při učení v Hopfieldově síti se totiž tvary vzorů zakódují do váhové matice okamžitě. Ale vybavování probíhá iterativně tak dlouho, dokud se **stavy sítě** ($\mu_i(t)$) mění. Iterace se zastaví, až když je rozdíl mezi právě posledním stavem a předcházejícím stavem téměř nulový. Uvedený výraz "mí í té" znamená stav i -tého neuronu v čase t .

Je nutné se pozastavit u **problému Energetická Funkce (EF), kde "energií" myslíme stupeň poučenosti sítě**. Síť je tím poučenější, čím je menší rozdíl čili odchylka mezi "ideálními tj. požadovanými" tvary danými k zapamatování a reálně vytvořenými tj. vypočítanými tvary samotnou sítí. (Tvary jsou definovány matematicky hodnotami, kupř. vektory.) Ve skutečnosti jde o číselný pohyb v dané trénovací množině, který konverguje k co nejmenším hodnotám rozdílů mezi zevním vzorem a jeho vnitřní napodobeninou. Podobně tak se učí děti psát a podobně tak (?) se dospělí "učí" vytvářet asociace mezi konkréty (věcné myšlení o předmětech) i abstrakty (abstraktní myšlení v pojmech). Lákavá představa je, jak vyjadřujeme v budoucnu aktuální nebo dlouhodobou energetickou funkci mozku z EEG.

Hopfieldova síť jako každá jiná má dva hlavní procesy: učení sítě a vybavování dat ze sítě. Chceme-li do paměti sítě vtisknout nějaký vnější vzor, tedy ji něčemu naučit, musíme

dosáhnout v místě paměti co nejmenší hodnotu EF. Avšak ze zevního prostoru přichází další a další vzory a současně se nesmí porušit informace o vzorech starých. (Opět se to stává některým dětem a pak si pletou vzory podobné, nejen ty "bříškem", ale i kupř. J a L nebo M a N.) A to je mechanismus synaptických spojů a jejich vah, aby si při různých vzorech vzájemně nepřekážely.

Musíme vyjádřit přehled všech vah a proto vytvoříme matici vah pro všechny předložené a zapamatované vzory. Šnorek (2004) uvádí následující rovnici pro EF, kde θ_i je práh v i -tém neuronu, w_{ij} je hodnota váhy mezi neuronem i a j , x_i nebo x_j je i -tý nebo j -tý aktivní element s -tého vstupního vzoru s hodnotami +1 nebo -1:

$$E = - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} x_i x_j + \sum_i x_i \theta_i,$$

Výsledek rovnice musí být co nejmenší čili co nejzápornější. Tj. oba výrazy na pravé straně jsou záporné. Ale různé přijaté vzory by mohly mít různá znaménka, proto by bylo třeba měnit pro některé vzory i prahy. A tak pro jednoduchost jsou všechny prahy nulové. Abychom odlišili nové vzory od všech "starých", rozdělíme matici vah na **dva díly: jeden bude představovat vliv všech vzorů na váhy**

(" w^* ") a druhý díl bude představovat vliv nového s -tého vzoru. Lze pak říci, že pozadí tvořené všemi vzory je jakýsi "šum" a "signál" je dán oním novým s -tým vzorem:

$$E = - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w^s_{ij} x^s_i x^s_j - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w^*_{ij} x_i x_j =$$

$$= E_s + E_{\text{omne sine } s}$$

(vše kromě s)

Pro názornost se někdy přirovnává EF ke zvlněné krajině. Odborně se mluví o nadrovině (hyperplane), kde **pohoří tvoří naivní, nepoučené části sítí s maximem energie a údolí jsou poučenou částí s definovanými naučenými vzory, kde je minimum EF**. Hledání výsledku výpočtem může být znázorněn koulí, která se podle výpočetní situace valí uvedenou krajinou. Je-li nepoučenost velká, koule se pohybuje v horách na vysoké energetické hladině. Když se poučenost zlepšuje, koule klesá do údolí. Tam kde je síť již dobře poučená a má **dobré "kognitivní" výsledky (kupř. na 99 %) je EF nejmenší a koule se nachází v hlubokém údolí čili v tzv. globálním minimu**.

Když je síť poučená jen částečně a v praxi by dělala ještě nějaké chyby, tam je **koule někde na stráni, EF není nejmenší, a koule (výpočet) se může nacházet v tzv. lokálním minimu**. To však není dobrá situace, proto je třeba se z lokálního minima dostat. Lze začít výpočet od začátku anebo použít tzv. simulované žihání (simulated annealing), mluví se také o Boltzmannově metodě. Jde o stochastický proces, při kterém použijeme šum a to právě tak velký, abychom dosáhli "znáhodněním" výpočtu zlepšení výsledků. Analogicky s koulí můžeme říci, že ji "trochu" postrčíme, aby se dostala z lokálního minima směrem ke globálnímu minimu. Použijeme-li velký šum, může se koule pohnout směrem k horám k ještě horšímu lokálnímu minimu. Nepatrný šum s koulí nepohne.

Z chaodynamického hlediska můžeme přirovnat kolísání výpočtu kolem **lokálního minima k průběhu fraktálu** (fractal separatrix) a výpočet dosahující **globálního minima připomíná trajektorii atraktoru v podobě postupných iterací (attractor mirabilis)** (Nicolis 1987, Faber 2006, 2009). **Psychologicky se objevuje analogie s výše uvedenými mechanismy v podobě jakési zaujatosti až posedlosti nějakým tématem**. Ať už jde o fyziologický proces (nadšení pro tvorbu uměleckou nebo vědeckou, jejímž psychologickým základem je Uchtomského dominant) nebo patologický proces jako je nevyvratitelná pevnost

bludů při jinak nepoškozeném intelektu nebo anankasticko-kompulsivní syndromy. Opět je tu podobnost s formátorem a jeho vlivem na komplex (kortex).

Důležitou a často používanou ANN je tzv. **vícevrstevný perceptron čili "Back-propagation síť" (BP) popsaná Parker-em a Le Cun-em (1985)** skládající se, jak už název říká z procesních elementů - perceptronů - McCullochova a Pittsova typu. Síť může mít kupř. pět vrstev, vstupní, tři skryté a jednu výstupní, avšak vstupní a výstupní se nepočítá (tam se obvykle nemění váhy synapsí), takže mluvíme o třívrstevné síti. Spojení mezi vstupní (rozdělovací vrstva s distribučními elementy-neuroidy) a 1. skrytou vrstvou i (s aktivními neuroidy) dalšími vrstvami je úplné, tzn. že každý element je spojen s každým elementem následující vrstvy.

Učení probíhá "s učitelem", tedy podle zadaných vzorů. Váhy synapsí se vypočítávají postupně, tedy s mnohonásobným opakováním, tj. iterační cestou. Neuronová síť se má naučit jistý vzor, kupř. písmeno nebo siluetu postavy, které jsou nakreslené ve výše uvedené mřížce, nazývané **"bitová mapa"** s kupř. 6 x 10 okének čili pixelů.

Lidská sítnice má asi 130 milionů tyčinek a čípků, tedy 130 Mp, které však v samotném oku konvergují do jednoho milionu vláken jdoucích do corpora geniculata lateralia thalamu a po přepolování na další neurony do okcipitálního kortexu, area 17. To znamená, že se již v retině provádí "hardwerově" analýza a komprese dat. V síti neuroidů, stejně jako v síti neuronů v mozku se odehrává učící proces, jehož podrobnosti neznáme, můžeme proto mluvit o černé skřínce, **"black box"**.

V síti kde učení probíhá bez učitele, si síť sama nalézá v množině zadaných dat významně rozdílné kategorie a nová data zařazuje podle vlastností, které si sama určila.

Kupř. chceme, aby se BP síť naučila rozeznávat písmena. K tomu **musíme použít vhodné změny vah synapsí a prahů neuroidů**. Jde tedy o jakousi zobrazovací čili učící funkci. BP síť neumí napodobit své vzory naráz jako Hopfieldova, ale za to se může naučit mnoha vzorům. Síť tedy potřebuje aproximovat, iterovat (opakování jednoho algoritmu s různými daty) mnohokrát jeden vzor, počet iterací tvoří **"trénovací množinu"**.

Iterace je aproximací čili konvergencí informací vzoru s vypočítaným obrazem. Stejně tak se děti ve škole nenaučí naráz za jeden den celou abecedu, ale za několik měsíců. Učení dětí probíhá soustavným opakováním dat (signálů, informací) čili iterací tak dlouho, dokud TKRS "nepochopí, nenaučí se" vzory umět vidět, slyšet, napsat. Učení (napodobení) není většinou absolutně perfektní děj neboť to co víme, je pseudoidentita se skutečností.

V BP síti použijeme pro zobrazení vzoru tuto funkci:

$Y = f(X, W, \Theta)$, kde velká písmena znamenají vektory: Y je výstupní vektor (tedy zobrazení vzoru síti), X je vstupní vektor ("ideální vzor sám o sobě"), W je vektor všech vah v síti a Θ (theta) je vektor všech prahů v síti. Požadované zobrazení je dáno učícím algoritmem:

$\varphi : X \rightarrow Y$ (X a Y jsou opět uvedené vektory).

To znamená, že výstupní vektor Y byl maximálně aproximován ke vstupnímu vektoru X, což nastalo nalezením nejvhodnějších hodnot pro vektory W (váhy synapsí) a Θ (prahy neuroidů).

Konkrétně řečeno BP síť dobře zobrazila kupř. písmeno A podle předloženého vzoru téhož písmene. Zobrazení (podobnost vektorů X a Y) nebude dokonale identické, ($X \neq Y$), ale bude natolik dobré, že jeho poznání pomocí sítě neuroidů a odlišení od ostatních vzorů bude dostatečné. Kdybychom chtěli mít zobrazení absolutně shodné, museli bychom mít trénovací množinu vzorů rovnou 2^{60} , (naše bitová mapa měla 6 x 10 pixelů), což ani nelze realizovat. BP síť ani nemusí postupovat přísně sekvenčně, často provádí náhodné pořadí výběru vzorů.

Stejně tak i náš **mozek při abstrakci jen aproximuje, absolutní zobrazení není nutné, důležité je dobré odlišení vzorů.** Možná, že naproste zobrazení není ani možné. Každé dítě i dospělí píšou jinak. U malby dokonce všechny -ismy až na realismus vyžadovaly jistou dávku "individuálního přístupu", jinak řečeno nepřesnosti, která by měla vyjadřovat umělcovo vidění světa a citové rozpoložení.

Další vlastnosti sítě se dají vyjádřit **koeficienty η (éta) a α (alfa).** **Eta koeficient definuje rychlost učení**, tj. zda síť postupuje po malých či velkých procesních krocích, ty však musí být přiměřené. Postupuje-li se po malých krocích, výpočet trvá dlouho. Postupujeme-li po dlouhých krocích, síť jakoby přeskakovala ve výpočtech velké vzdálenosti a mine vhodná řešení, nemluvě o globálním minimu. Navíc hrozí **oscilace v síti, které znamenají neproduktivní proces postrádající smysl informačního procesu a podobající se epileptickému výboji v EEG i jeho klinickému obrazu.**

Alfa koeficient představuje setrvačnost (momentum), čili znamená, jak dlouho bude výpočet postupovat dosavadním směrem. Směr se změní po zásahu "zevního kritéria", kdy je nutné změnit učicí algoritmus. Nízká hodnota učicího koeficientu a blízkost lokálního minima znamenají nebezpečí, že se síť nepodaří dostat se z této nevhodné fáze učení ven. Síť je pak jen **nedokonale naučená a je schopna poznávat tvary jen kupř. na 70% a ne na 95% a více procent jako je tomu při globálním minimu. Psychologická analogie se netýká jen nedokonalého učení dětí, ale i dospělých, kteří si ze zeměpisu, dějepisu, matematiky, fyziky nebo cizích jazyků nepamatují mnoho dat "přesně". Důvodů je mnoho, kupř. nevhodný "pedagogický učicí algoritmus", nevhodné váhy a prahy, obojí dané špatnou motivací, malá trénovací množina atd.**

Hodnoty koeficientů éta a alfa se stanovují v uzavřeném intervalu parametrů $\langle 0,1 \rangle$. Učicí koeficient je souhrn učicí fáze: a) časový interval, kdy se mění parametry podle určitého učicího algoritmu a b) učicího kroku daným reálným číslem mezi 0 a 1, které říká, jakou silou se každý učicí krok projeví změnou vah. Dále mají vliv i koeficienty éta a alfa.

Učení sítě se dá vyjádřit graficky tzv. křivkou globální chyby. V ní je někdy patrné dlouhé období neklesající úrovně této chyby po dobu stovek i tisíců iterací a přesto nejde o uvíznutí učení v lokálním minimu. Po jisté době nastane okamžik náhlého poklesu ke globálnímu minimu se zdárně zakončeným učením. **Analogie k psychice se nabízí v situaci, kdy dlouho nemůžeme porozumět nějakému problému a třeba po měsících v okamžitém náhlém osvětlení (serendipitě) s emergentním výsledkem se nám rozjasní.**

Rovnice globální chyby je představována střední kvadratickou odchylkou, (Root Mean Squared, RMS), která je vypočítaná pro všechny vzory trénovací množiny:

$$E_{RMS} = \sqrt{\sum_m \sum_n (y_{mn} - d_{mn})^2},$$

Kde m je četnost trénovací množiny, n je množství neuroidů výstupní vrstvy a d je požadovaný výstup.

Ještě bychom mohli pokračovat v analogiích mozku s ANN, ale pro stručnost si všimneme jen krátce **neokognitronu matematika Fukushima (1978)**, který navrhl složitou síť s osmivrstevnou strukturou dvouvrstev, která je dokonce schopna číst i dosti deformované písmo. Struktura sítě rozlišuje ve 4 úrovních tzv. příznaky, jejichž funkce odpovídá "poznání" úsečky (rys), úhlu (tvar) a šestiúhelníku (vzor), Neurofysiologickou předlohou jim byly zřejmě práce nositelů Nobelovy ceny fyziologové **Hubel a Wiesel (1962)**, Tito autoři našli ve 4. vrstvě kolumnární struktury optického kortexu koček (area 17, vrstva 4 c) simplexní neurony detekující různě rotované úsečky (detektory rysů), komplexní neurony (area 17, vrstva 4 b, c) detekující diagonálně se pohybující úsečky a hyperkomplexní neurony (area 18) detekující dvě úsečky svírající různé úhly pohybující se jedním směrem (detektory tvarů).

V roce 1982 publikuje finský matematik T. Kohonen **jednovrstevnou síť modelující nejen neurony, ale i strukturu kortexu**. Síť je schopna realizovat přeměnu vícerozměrných vstupů na nižší dimenze, tedy i dvourozměrné, proto se také mluví o **metodě SOM (Self Organizing Map)**. **Pomocí této metody se dá visualisovat učení ve dvourozměrné mapě.**

Náš paradoxní spánek je také něco jako mentální visualisace právě probíhajícího inormačního procesu. (Psychologicky je REM visualisované symbolisované atavistické infantilní divadlo související asi s kreativní selekcí dat.) SOM umožní zobrazení vstupního vektoru jen v malé oblasti vnitřní struktury sítě, ale **vektory v okolí se tomuto stavu také částečně přizpůsobí. Lze mluvit o jakési resonanci**. Domníváme se, že podobný resonanční proces může nastat i v "3f" algoritmu, především u kolaterální neuronů, tedy ne v samotném analyticko-syntetickém centru. Kohonenova síť posloužila realizaci fonetického psacího stroje.

Matematikové S. Grossberg v Bostonu a G. Carpenter popisují tzv. ART vícevrstevnou ANN (Adaptive Resonance Theory), která je oproti ostatním sítím odolná proti smazání dat při příjmu nových vzorů. V Grossbergově síti se děje učení bez učitele, struktura si sama provádí kategorisaci dat. Síť je schopna rychle přepínat činnost učení a činnost vybavování, což je také výjimečné a ještě více podobné než jiné sítě sémantické mozkové struktury.

Vstupní vektor jsou reálná a nejen binární data. ANN se používá ke zpracování černobílých obrazů včetně odstínů šedi a k rozpoznávání řeči.

Lze uvést ještě řadu sítí i jejich variant, kupř. Grossbergova a Carpenterova ANN má tři varianty: ART 1 až ART 3. Pro stručnost však uvedeme již jen jednu síť, která je stejně jako McCullochův - Pittsův perceptron nebo Farleyho - Clarkův model velmi inspirativní. Jde o síť patřící do skupiny "Group Method of Data Handling" (GMDH), konkrétně její verzi **"Multilayered Iterative Algorithm" (MIA), která byla navržena a publikována ukrajinským matematikem A.G. Ivachněnkem (1968)**.

MIA je výjimečná tím, že její struktura není deduktivní, tj. předem hotová síť vybraná z mnoha možných sítí, ale je **induktivně vytvořená během procesu učení, kdy si sama podle potřeby vytváří nové neuroidy a z nich celé nové vrstvy**. Toto se děje v první fázi učení. V další fázi síť redukuje svou strukturu a nepotřebné neuroidy eliminuje, provádí tedy selekci aktivních elementů.

Celý proces nápadně připomíná mozkovou aktivitu, která na počátku učení také angažuje velké populace neuronů, ale při "doladování učení", tedy při opakování předložených vzorů (školsky řečeno opakování látky) se populace zmenšuje, což nazýváme optimalizace a minimalizace dat.

Švédský autor Seitz (1990) se spolupracovníky tento proces dokumentoval u člověka pomocí PETu, kde bylo patrné, že se během učení snižuje kortikální metabolismus. Tento jev zjistil i Raichle (2010) a považuje ho za podivuhodný, nazval jej podle místa výskytu "Mystic Medial Parietal Area". Později se tato situace objevila i v jiných areách kortexu.

My jsme publikovali (**Faber et al. 1973**)

na základě literárních i vlastních informací, pozorováním psychického stavu a makro-mikro-EEG pseudoabsencí, rovnici vyjadřující zmenšování počtu aktivních elementů neuronální populace se zvyšováním komplexity sítě ve smyslu zvyšování její organizace a tedy snižování její entropie To zřejmě souvisí s minimalizací aktuálně angažovaných neuronů a optimalizací jejich dynamické struktury během procesu učení:

$$-\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \cdot \sum_{i=1}^n N_n = k,$$

kde na levé straně záporný výraz představuje entropii čili stupeň organizace neuronální sítě s prvky nabývajícími dvou hodnot (ano, ne), další kladný výraz je suma aktuálně pracujících

neuronů, "k" vpravo je konstanta. Celý výraz je paradoxní. Znamená, že **součin entropie a aktuálně pracujících neuronů je konstantní**. Jinými slovy čím je více a rychleji pracujících neuronů, tím je jejich informační výkon menší a naopak.

Kupř. během stavu excitace (paradoxního spánku, rozčilení, pohybu v rušném prostředí, obecně při sensorické zátěži) je neuronální aktivita velká, ale složitost zpracování dat (komplexita) je nízká. A naopak během klidného soustředění a snad i synchronního spánku je komplexita vysoká, entropie je nízká, množství aktuálně pracujících neuronů je nižší.

Ivachněnkova síť má také **vstupní vrstvu** složenou z několika neuroidů, jejichž výstupy se větví, ale na první **skrytou vrstvu s tzv. aktivními neuroidy** není úplné spojení. GMDH síť má nejméně 4 vstupní elementy, aby se mohla větvit a rozšiřovat se.

Musí zde být tolik vstupních (distribučních neuronů = sensorických orgánů), kolik rozměrů (prvků, "vlastností") má vstupní vektor, což je do jisté míry dáno velikostí a kvalitou (černobílá? barevná?) binární matice (podobně jako velikost a výkonnost retiny).

Následuje obvykle několik skrytých vrstev, předem nevíme, kolik jich bude, vytvářejí se až během výpočtů. Na výstupu je obvykle jen jeden neuroid. **Každý aktivní element má dva vstupy (i, j) a jeden výstup (y)**, který se však stejně jako axon neuronu může vícenásobně větvit. **Vlastní model sítě je představován tzv. Ivachněnkovým polynomem**, který je specifický pro každý aktivní člen (neuroid) sítě:

$$y = ai^2 + bij + cj^2 + di + ej + f,$$

kde je šest koeficientů (a,b,c,d,e,f), které jsou speciálně vypočítané pro každý neuroid a jejich hodnota se nastavuje během učící fáze a zůstává posléze konstantní, tj. během dalších výpočtů se již nemění. **Jedná se tedy o multipolynomiální síť**.

Pro každý vypočítaný výstup sítě se vytvoří nové neurony a pro každý neuron se vypočítají nové přenosové polynomy, které jsou nadále fixní, neměnné. Trénovací množina se rozdělí na dvě části, jedna slouží ke stanovení parametrů neuroidů, druhá k poznání naučenosti čili chybovosti sítě. **Profesor Laufberger** ve své Vzruchové teorii napsané během 2. světové války a vydané r.1947, mluví o **sensorické reafertaci**, která koriguje kupř. vznikající motorické (verbální nebo grafické) stereotypy a zlepšuje je. Kromě toho popsal principy zpětné vazby, cirkulující impulsy v neuronální síti a navrhl modelu "proudu vědomí".

Síť se učí podle zevního vzoru, tedy "s učitelem" a externí kritérium ohodnocuje kvalitu výstupu a srovnává model vytvořený sítí s oním žádoucím vzorem. Když se přiblíží oba vektory (vstupní vzorový a výstupní naučený), dosahuje síť globálního minima. Zajímavé u této sítě je, že "nadbytečné vytváření dalších vrstev vede ke zhoršené energetické funkci, zhoršené "kognici sítě", síť je přeučena, chyba sítě se zvětšuje. Proto musí přijít druhá fáze učení, kdy se selektují, eliminují "zbytečné" neuroidy.

Aplikace sítě se realizovala v ekonomice (analýza trhů a finančních hodnot), ekologii (predikce živočišných populací) a medicíně (detekce a diferenciální diagnosa chorob, zvláště maligních).

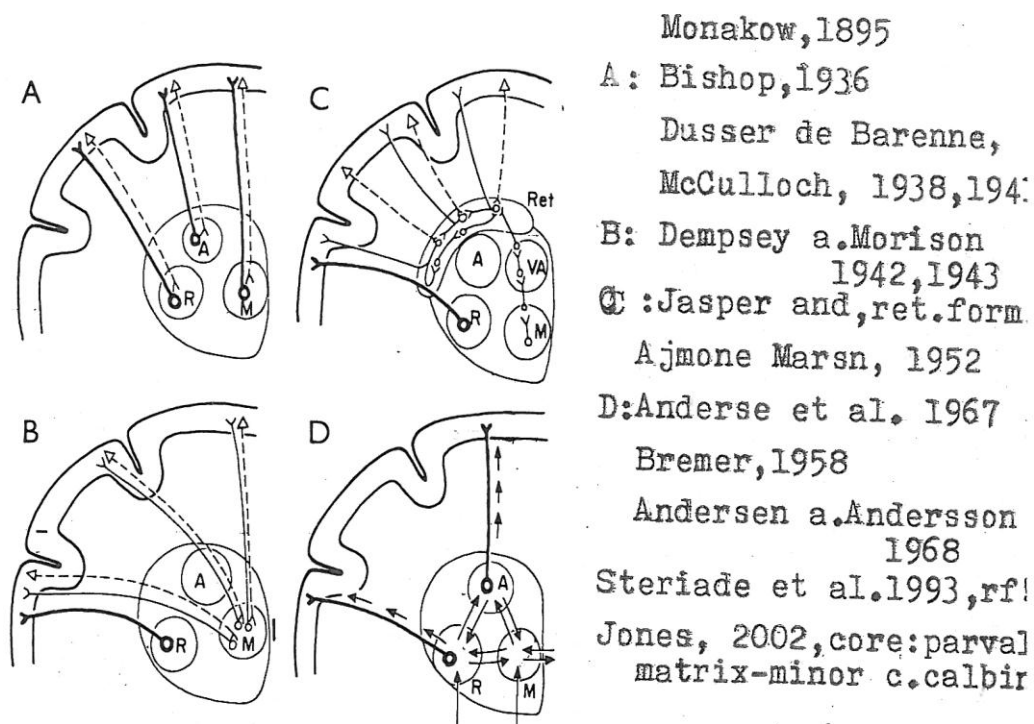
Síť se nám zalíbila, protože **napodobuje a tím také interpretuje funkci některých EEG grafoelementů, především těch nezákladnějších jako je kupř. vřeteno alfa (alfa fusus, AF) a to lépe než předešlé ANN.**

Hlavním "mechanismem" vnímání, reaktivity, rozpoznávání a iniciálního zapamatování (immediate memory) savců je thalamokortikální reverberační systém (TKRS), který je u člověka také strukturou pro fatické a gnostické funkce, tedy funkce 2. signální soustavy a abstraktního konvergentního (logického) i divergentního (kreativního)

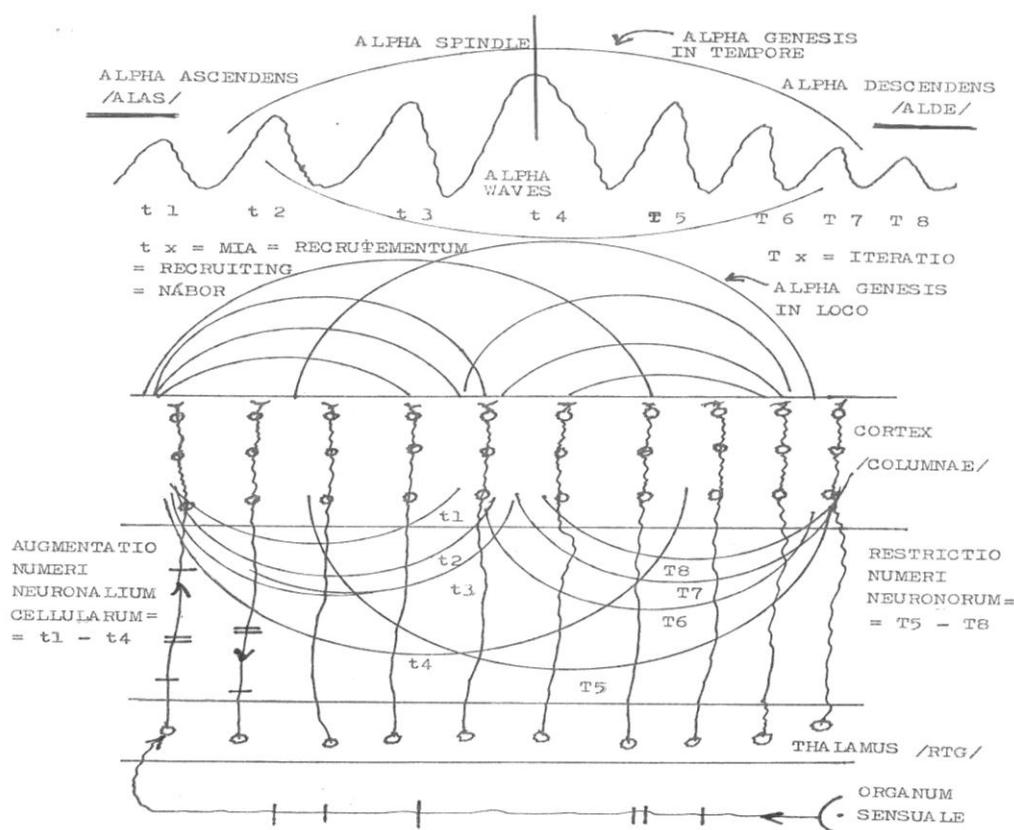
myšlení. Následující obraz ukazuje (vlevo) schéma thalamokortikálního spojení a vývoj našich neurofysiologických představ a jejich hlavních autorů (vpravo) od Monakowa po Jonese (2002).

Monakow morfologicky popsal již r. 1895 thalamokortikální spoje vyplňující velkou část centrum semiovale. Jedni z prvních byli Bishop a Dusser de Barenne a McCulloch, kteří prokázali funkci cirkulující impulsace v thalamokortikálním spojení. Mnoho klinických pozorování potvrdilo principiální významnost TKRS pro vigilitu (bdělost) a sensorium (vědomí).

V thalamických nespecifických i specifických jádrech lze dále rozlišit (více funkčně než histologicky) malé neuronální populace, kde se odehrává nejen **přepólování impulsů** z předešlých neuronů na následující kortikopetální neurony, ale ve spolupráci s retikulární formací thalamu **generuje rytmy** ve frekvenci kolem 6- 16 Hz. V klidu a relaxaci obvykle nastane pozitivní interference s dominantní frekvencí kolem 10 Hz (alfa aktivita). Tyto malé skupiny neuronů - **rytmické thalamické generátory (RTG)** - mají bezprostřední monosynaptické spojení s **kortikálními kolumnami (KOK)**. Impulsy neuronů cirkulují mezi RTG a KOK v určitém režimu, který jsme výše popsali jako "3f" algoritmus. Tento fakt byl opakovaně potvrzen pomocí intra- i extra-celulárních mikroelektrod (mikroEEG) (Verzeano 1975) a neurologové jsou toho denodenními svědky při popisu makro-EEG křivky pacientů i zdravých probandů.



Následující obraz ukazuje schéma (nahore) banální alfa aktivitu fusiformního tvaru (fusis = vřeteno), jak ji vidíme rozkreslenou v čase na obrazovce nebo vytisknutou.



V dolní části obrazu je uvedena schematicky kůra K

Kortex na tomto obraze má znázorněno jen 10 kolumen a tři vrstvy (nikoliv šest jako ve skutečnosti) a pod ním jsou spoje od thalamických RTG, do nichž jdou impulsy ze sensorických orgánů (oko, ucho, kůže atd.). **Stále se zvětšující oblouky nad kortexem vlevo ukazují vznik alfa vln v prostoru neuronální populace, která se s každou alfa vlnou zvětšuje, vzniká tzv. nábor čili recruiting.** To je první polovina alfa vřetene s narůstající amplitudou a mírně klesající frekvencí.

Stále menší oblouky nad kortexem ukazují na zmenšující se velikost aktuálně angažované neuronální populace. To odpovídá klesající amplitudě a mírnému nárůstu frekvence ve druhé polovině alfa vřetene. Samozřejmě obě části alfa vřetene patří k fenoménu náboru (recruiting).

Podobné oblouky pod kortexem označené t1 až t4 (vlevo) znamenají synchronisaci elektricky nabitých synaptodendritických a neuronálních membrán a stoupající množství neuronů. Proto se díky pozitivní interferenci zvyšuje s každou alfa vlnou **amplituda**. To se odehrává během ascendentní části alfa vřetene (ALAS). Zmenšující se oblouky pod kortexem vpravo označené T5 až T8 odpovídají zmenšující se synchronisaci elektricky nabitých membrán, zmenšujícímu se množství aktuálně pracujících neuronů a zřejmě i zhoršující se vlnové interferenci. Tato fáze se odehrává během descendentní části alfa vřetene (ALDE), (Faber a Novák 2011).

V anglosaském písemnictví se uvádí recruiting jako grafoelement s "waxing and waning" amplitudou, který vzniká spontánně nebo při elektrické stimulaci retikulární formace thalamu v rytmu theta a pomalé alfa.

V naší uvedené studii (Faber a Novák, 2011) jsme vyšetřili více než 20 a později dalších 20 zdravých probandů, povětšinou mladých vysokoškolsky erudovaných žen a převážně mužů. Sledovali jsme kvalitu alfa vřeten v klidu a při mentaci (sečítání sekvence dvouciferných čísel na diktát při zavřených očích) z bilaterální parietookcipitální oblasti. Pro analýzu jsme použili Gáborovu filtraci (GA), lokální koherenční funkci (KF) a Poincarého analýzu (PA).

Většina vřeten vypadala podle naší optické analýzy symetricky, tj. ALAS a ALDE části vřeten byly až na opačnou změnu amplitudy k nerozeznání. Dbali jsme na to, aby ALAS a ALDE měly stejný počet alfa vln. Stejně tak se zdánlivě neměnila vřetená během počítání, jen jejich amplituda bývala někdy nižší díky zvýšené pozornosti při mentaci.

Uvedené analýzy (GA, KF a PA) ukázaly významné rozdíly mezi ALAS a ALDE v klidu a stejně tak i při počítání. Během ALAS byla často alfa (GA) výraznější než během ALDE. KF ukázala často zvýšenou koherenci na opačné straně při počtech než bylo maximum v klidu. PA ukázala cyklický průběh hodnot při ALAS a nepravidelný v ALDE. Také se lišila alfa vřetená v obou částech při relaxaci od obou částí vřetená při počítání.

Zde stručně uvedené závěry z neurofysiologie a psychofysiologie ukazují na zcela odlišné procesy recruitingu v 1. části vřetená (ALAS) proti 2. části vřetená (ALDE) a opět jiné procesy v klidu a při počítání. Domníváme se, že některé grafoelementy (GE) v EEG se dají interpretovat z hlediska arteficiálních neuronových sítí (ANN).

TKRS zpracovává informace spontánně i sensoricky vybavované různým způsobem, hlavně však ve formě alfa fusiformní konfigurace. Tento proces je v naprosté většině času neuvědomovaný a automatický. 60 let života obsahuje asi 2 miliardy vteřin. Asi polovinu mozek prožije v režimu alfa rytmu. Má tedy k dispozici asi 10 miliard alfa vln.

Počet alfa vln je stejný jako počet thalamokortikálních reverberací čili iterací, tj. elementárních mentačních cyklů realizovaných v obrovském prostoru desítek miliard neuronů. (Jen kočka má asi 25 tisíc rytmických thalamických generátorů /RTG/, u člověka jich může být 1 až 10 milionů.) Navíc musíme uvažovat o Ecclesově složitém zpracování dat v podobě "intracortical selfsustained loop", proto jsme tuto zvláštní iteraci nazvali "stereo-interací".

Během stoupající amplitudy alfa vln ve vřetená (ALAS) se zvyšuje množství i aktivita neuronální populace, impulsy výrazně v populaci divergují, jako by hledaly nové informace a algoritmy k řešení starších nevyřešených dat. Je to "data processing". Z hlediska "3f" algoritmu to znamená, že se "firing rate, firing patterns" a především "space firing" zvětší. Je to období hledání nových synaptických vah a nových "koeficientů". **Ale během několika alfa vln se musí narůstající amplituda alfa vln a impulsační divergence (synchronizace, souhra impulsů v neuronální síti) zastavit a nastat descendance uvedených aktivit a tím i pokles alfa amplitudy (ALDE).**

Jestliže nedojde k ALDE, hrozí oscilace systému, patologická hypersynchronizace (abnormální recruiting), podobně jako je tomu při fotogeni nebo posthyperpnoické epilepsii. (Z hlediska sítí mohou být oscilace vyvolány vysokým koeficientem éta čili "dlouhým" labilním "risikovým" výpočtovým krokem nebo malým koeficientem alfa čili malou setrvačností výpočtu, který lehce přeskakuje do nevhodného algoritmu. To znamená, že nevhodné cykly v síti a epileptický výboj v mozku nemusí být ani tak "hardwareovou" jako spíše "softwareovou" chybou.

Běžně se ve fyziologických mezích střídá ALAS a ALDE, tj. divergence impulsů, pozitivní interference a nárůst amplitudy alfa vln na vrcholu ALAS se zastaví ("space firing"

se začne zúžovat). Stane se tak, ať už TKRS nalezne vhodná data a algoritmy a dojde k žádanému výsledku nebo ne. Po divergenci impulsů v neuronální síti nastane konvergence tohoto procesu (ALDE), při níž reverberace opouští některé "neužitečné, nadbytečné" části neuronální sítě a nastupuje minimalizace počtu neuronů. Dále se "3f" algoritmus změní, "firing rate" se zmenší a "firing" patterns" se stanou specifitějšími, jedinečnými, konvergencí dojde k impulsační optimalizaci a to je selektivní fáze učení v mozku.

Jako příklad možné klinické aplikace uvedených úvah připomínáme EEG dětí trpících ADHD syndromem. Jejich EEG je z 90% abnormální, především alfa aktivita není fusiformně organizovaná. V náboru alfa je přítomna fáze ALAS, která však nepřejde do fáze ALDE. Ale nábor se náhle zastaví, nejvyšší alfa vlna na konci ALAS se stává ostrou a následuje velmi vysoká, většinou nepravidelná delta vlna. Tento grafoelement nazýváme pseudokomplexem, protože (jen formálně) připomíná epileptický komplex hrot-vlna. U těchto dětí asi nejde jen o poruchu pozornosti, ale i o nějakou specifickou poruchu mentace v oblasti učícího procesu, která se projevuje touto "pararytmií". Proto se zde nabízí vhodná terapeutická aktivace (fono?, foto?, elektro?, mechano? -stimulace o malé intenzitě a frekvenci alfa ? Zatím jsou tyto děti léčeny psychiatry methylphenidatem a námi nootropiky a EEG-bio-feedbackem.

Literatura u autora.