

## Originální práce

### Thalamo-kortikální reverberace produkuje alfa rytmus jako iterativní kognitivní proces ve stochastickém prostředí. J. Faber, M. Novák

J. Faber, M. Novák

Ústav řídicí techniky a telematiky, ČVUT, Praha 1, Konviktská 20

#### Abstrakt.

Thalamická sensorická jádra spojující smyslové orgány s kortexem, obsahují asociační neurony, které zároveň představují rytmické generátory (RTG). Mezi RTG a kortexem krouží nervové impulsy trvale, tj. ve vigilitě i ve spánku a po celý život, jen vzorec čili uspořádání výbojů se mění při různých stavech vědomí (klidná nebo motoricky či psychicky aktivní vigilita, spánek NONREM nebo REM). Mluvíme o thalamokortikálním reverberačním systému (TKRS). V EEG se tato cyklická aktivita projeví frekvencemi 1 - 30 Hz. Alfa frekvence (8 - 13 Hz) je typická pro vigilitu a má většinou tvar netlumených oscilací, které se po několika alfa vlnách mění na oscilace tlumené. Proto nabývá alfa rytmus vřetenového, tj. fusiformního tvaru. Jedna alfa vlna trvá kolem desetiny vteřiny a odpovídá jednomu cyklu v TKRS, kterého se zúčastňují desítky miliard neuronů a stovky miliard jejich impulsů. Již z tohoto kvantitativního hlediska je možné, že nebudou všechny impulsy podřízeny determinované organizaci s mnoha složitými rytmy. Proto předpokládáme a v minulých pracích jsme dokazovali, že kromě periodických jsou přítomny pravděpodobnostní i stochastické procesy.

Jedno vřeteno alfa (AL) trvá zhruba jednu vteřinu a odpovídá opakované výměně impulsů čili informací v TKRS. Toto opakování podobného procesu nám připomíná iteraci s konvergencí k cílovému řešení úkolu nebo problému. Iniciální část alfa vřetene s narůstající amplitudou („alfa ascendens“ = ALAS) zřejmě odpovídá narůstajícímu náboru čili počtu neuronů s každou alfa vlnou. Z hlediska modelování pomocí arteficiálních neuronových sítí odpovídá tato situace dobře mechanismu „multilayered iterative algorithm“, (MIA), který matematicky popsal A.G. Ivachněnko. MIA je induktivní arteficiální vícevrstevná neuronová síť, která během učení "s učitelem" přibírá nové neurony i neuronové vrstvy podle jistého kritéria. Tento proces se podobá hledání optimálního algoritmu. Následnou selekcí opět s pomocí iterace se "zbytečné" neurony vylučují a neuronální populace aproximuje již standardním způsobem k řešení úkolu (problému). Řešení lze také nazývat z matematického hlediska globálním minimem nebo atraktorem a z psychologického hlediska dokončenou kognicí a na vyšších úrovních abstrakce vytvořením pojmu (epistémé, semém). Tato druhá iterace odpovídá následující části alfa vřetene s klesající amplitudou („alfa descendens“ = ALDE).

Pomocí Gáborovy frekvenční filtrace (GF), lokální koherenční funkce (LCF) a Poincarého analýzy (PA) jsme chtěli ověřit naši hypotézu o dvojím druhu iterace, tj. otázce: je zásadní rozdíl mezi ALAS s mechanismy MIA a ALDE podobající se běžné iteraci? Bylo vyšetřeno 24 osob během záznamu EEG a současných psychotestů. Pro naše účely jsme použili úseky v relaxaci a při sečítání dvouciferných čísel, obojí při zavřených očích. Výsledky byly interindividuelně dosti rozdílné. Převládaly však vyšší hodnoty energie alfa v GF a nižší hodnoty koherence (LCF) v ALAS nad těmito hodnotami v ALDE. Navíc se ukázal velký rozdíl mezi alfa vřetenem v klidu a opticky nerozeznatelným vřetenem při počtech. PA ukázala výraznou cykličnost EEG signálu v klidovém stavu v ALAS i

ALDE a zcela odlišný a nepravidelný průběh signálu ve vřetenu alfa při počtech. Toto svědčí pro asymetrii alfa vřetene, tj. pro větší a složitější nábor alfa v ALAS. Dále se ukazuje výrazná difference v organizaci vřetene v klidu a při mentaci. Uvedená metoda může být užitečná jako doplněk testů na pozornost nebo na osobnost.

**Klíčová slova:** Elektroencefalografie, analýza alfa aktivity, psychotesty, iterace,

MIA (Multilayered Iterative Algorithmus)

### **Abstract.**

The thalamus, a large subcortical nucleus constitutes rhythmic thalamic generators (RTG),

where end nerve fibres from sensory organs (eye, ear, skin, muscles, smell, taste). The RTG nerve cells (neurons) send out fibres to the brain cortex. Nerve impulses reverberate between the RTG and the cortex unceasingly, i.e. in vigilance (waking) and in sleep, all through our life, in what is known as the thalamocortical reverberation system (TCRS). In the brain's electric activity recorded from the cranial surface (EEG) this cyclic activity takes the form of frequencies of 1 - 30 Hz. The alpha frequency (8 - 13 Hz), typical of vigilance, mostly appears in the form of undamped oscillations which immediately change into damped oscillations. That is what gives the alpha rhythm its spindle-like (fusiform) shape. One alpha wave lasts about one tenth of a second, consistent with one cycle in the TCRS, in which tens of billions of neurons and hundreds of billions of their impulses are involved. That is why we presume - as shown in our previous works - the presence of not only periodic but also stochastic processes.

One alpha spindle (AL) lasts roughly one second, corresponding to reiterated exchange of impulses (information) in the TCRS. This is rather like iteration with convergence to the target solution of a task (problem) in the descending portion of the alpha spindle (ALDE). The ascending portion of the alpha spindle (ALAS) might correspond to the mechanisms of MIA (multilayered iterative algorithm) as described by A.G.Ivakhnenko. In the course of learning with a "teacher", MIA, an inductive artificial neuronal network, takes on new neurons and neuronal layers in keeping with a particular criterion. "Redundant" neurons are excluded in subsequent selection for the neuronal population to approach the task solution, i.e. from the mathematical point of view the convergence to global minimum (or attractor) and from psychological point of view to problem solution or to abstraction, creation of notio, epistémé, sémém.

It appears that - using Gabor's frequency filtration (GF), local coherence function (LCF) and Poincaré's analysis (PA) - we have come closer to our hypothesis of a dual type of iteration: MIA in ALAS and "common" iteration in ALDE.

24 persons were examined during EEG recording and simultaneous psychotesting. For our purposes we made use of sections in relaxation and during the addition of two-digit numbers, both with the eyes closed. The results showed quite an amount of interindividual differences. However, there was a preponderance of higher values of alpha energy in GF and lower values of coherence (LCF) in ALAS over those values in ALDE. PA demonstrate cyclic feature of alpha spindle during ALAS and ALDE during relaxation and contrary noncyclic one during psychic activity. This shows the alpha spindle asymmetry, i.e., greater and more complex

recruitment of alpha in ALAS. The method may well prove useful as a supplement of tests for attention or for personality.

Key words: electroencephalography, alpha activity analysis, psychotests, iteration, MIA (Multilyered Iterative Algorithmus)

## 1. Úvod.

Thalamus se člení na řadu sensorických, asociačních, motorických a modulačních (nespecifických, mediálních, intralaminárních) jader. Asociační neurony slouží jako relé mezi sensorickými orgány a 4. a 6. vrstvou kortexu, kam projikují své axony a zároveň pracují jako rytmické thalamické generátory (RTG) mozku. Neuronální impulsy krouží, reverberují, mezi RTG a kortexem, kde probíhá jejich informační analyticko-syntetický proces. Impulsy představují **hrotové potenciály (spiking potentials)**. Avšak v elektrogeneraci našeho známého EEG mají převahu **stálé potenciály (standing potentials)**. Oba druhy potenciály však spolu těsně souvisejí. Navíc jsou tyto synaptodendritické a somatické stálé neuronální potenciály synchronizovány v miliardových populacích a proto je lze po patřičném zesílení snímat pomocí elektronických zesilovačů, tj. EEG přístrojů. **Během uvolněného bdění čili relaxované vigily převládají alfa vlny (8 -13 Hz) a beta vlny (14 - 30 Hz), během mentace k tomu přistupuje ještě delta aktivita.** Generátorem alfa aktivity je thalamus a jejich modulátorem je kortex. Cyklická aktivity neuronů v RTG může odpovídat hodinovým pulsům v počítačích. Obojí zaručuje časovou organizaci a pracovní řád celého systému. Mozkový kmen reguluje mohutnost alfa rytmu a tím i psychicky pozornost, jak to popsali Moruzzi a Magoun [1] a potvrdila řada autorů jako Kandel a Schwartz [2] a další.

Makroskopická organizace mozku je prenatálně dána geneticky, ale po narození se mikroskopická struktura mozku dále zdokonaluje pod vlivem informací (vzruchů, impulsů), které přicházejí ze sensorických orgánů. Neuron v mozku je analogický „neuroidům“ v artefiliálních neuronových sítích, také má vstupy a výstupy impulsů a mění se vzruchový práh určující hladinu, kterou je nutné překročit, aby byl vzruch vyslán. Pro zajímavost uvádíme, že fenomén prahu popsal J.E.Purkyně ve 40. letech 19. století.

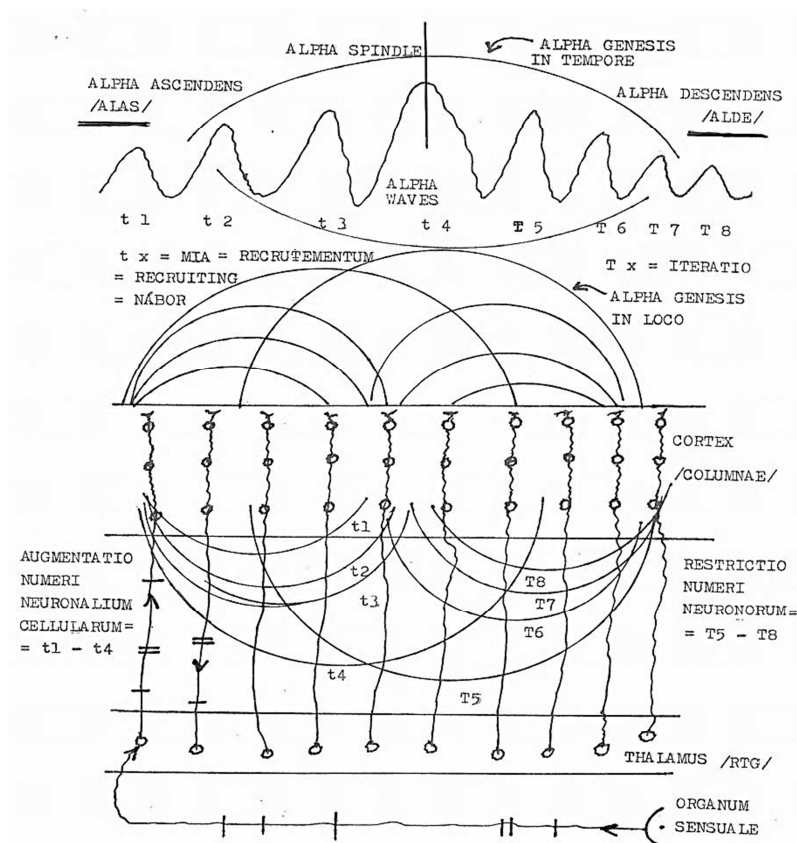
Různé oblasti (arey) kůry mozku se specializují pro různé funkce jako je kupř. analýza a tvorba řeči, cílená hybnost, čtení, psaní, počítání, abstraktní myšlení atd. Již Brodmann [3] zjistil mikroskopicky histologickou analýzou 52 různých oblastí (areí) v každé hemisféře. Dnes těmto areám přiřčujeme speciální funkce podle psychologických testů prováděných současně s isotopovou metodou PET (Positronová Emisní Tomografie), [4], [5]. Tyto arey se také mohou stávat formátory, tj. regulačními centry podobně jako kmenové nespecifické struktury projikující do kortexu a kontrolující bdění i spánek [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Experimentálně jsme se přesvědčili, že je rozdíl mezi klidným stavem mysli se zavřenými očima a úplnou relaxací, kdy mimo jiné amplituda alfa stoupá a frekvence klesá [9]. Psychofysiologicky stále není rozhodnuto, zda časový index nonalfa (desynchronizace) při habituaci po otevření očí souvisí přímo úměrně s inteligencí [12] nebo s pozorností [13]. Zdá se, že klidová alfa není přesně sinusoidní, ale ascendentní část této vlny je strmější než descendentní a při psychické aktivitě se stává více symetrickou [9].

**Kortex je členěn horizontálně do 6ti vrstev a vertikálně do sloupečků o velkém počtu.** Výstupy z jednotlivých RTG mají většinou cíl v mikrostrukturách kortexu, tj. ve sloupečkách (kolumnách, ešalonech), kterých je u koček asi 25 tisíc, u člověka asi jeden až deset milionů. Každý sloupeček obsahuje asi 10 tisíc neuronů a přijímá specifické informace (SI) ze sensorických orgánů ve 4. vrstvě a částečně v 6. vrstvě [14] kortexu a nespecifické informace (NI) v 1. a 2. vrstvě kortexu, kam jdou kortikopetálně z nespecifických struktur

kmene mozku a určují, zda mozek bude mít na programu bdělost, relaxaci, soustředění nebo spánek. Tyto kmenové struktury můžeme nazývat formátory, protože modulují kortikální činnost.

**Thalamická jádra mají tedy dvě hlavní funkce** (a třicet dalších, [9], [11], je to přenos vzruchů ze senzorických orgánů do speciálních oblastí (areí) kůry a generování a posílání cyklických a synchronizovaných vzruchů do rozsáhlých nespecifických, asociačních oblastí kůry. Speciální arey kůry jsou pro optickou analýzu arey 17, 18, „akustické arey 41, 42, „taktilní“ arey 1, 2, 3, pro motorickou kontrolu arey 4, 8, pro řeč arey 44, 45, 46. Rozsáhlé tzv. asociační arey jsou pro optickou syntézu 19, „akustické“ arey 21, 22, 39, 40, „taktilní“ arey 5, 7, pro motoriku arey 6, 10 až 14, pro řeč 47. Hlavní psychické (poznávací - gnostické, řečové - fatické) děje se odehrávají zřejmě díky **cyklické aktivitě neuronálních impulsů mezi thalameem a kortexem a v jejich analyticko-syntetickém zpracování uvnitř těchto struktur (TKRS).**



**Obrázek 1**

**Obr. 1:** V horní části obrazu je schéma typického fusiformního tvaru alfa aktivity, t 1 až t 4 označují vývoj jednotlivých alfa vln s narůstající amplitudou v čase t 1 až t 4 (alfa ascendentní = ALAS, narůstající množství angažovaných neuronů v iteraci MIA). T5 až T8 jsou alfa vlny v čase T 5 až T 8 s klesající amplitudou (alfa descendentní = ALDE, klesající množství neuronů pracujících v selektivním iteračním programu). Alfa aktivita je rozepsaná v čase. Dolní část obrazu je schéma TKRS. Malé kroužky jsou neurony, šipky udávají směr impulsů, které jsou znázorněny jako krátké čárky napříč axonů. Neurity čili axony jsou vlákna spojující thalamické a kortikální neurony. Velké i malé polokruhové křivky znázorňují narůstající (tx) a klesající (Tx) amplitudu



elektrických potenciálů alfa vln v prostoru (křivky nad kortexem) a množství kortikální neuronální populace narůstající a klesající v synchronizovaném náboru (křivky pod kortexem).

Existenci TKRS nikdo nezpochybňuje. Jeho funkce je uznávána od dob objevitelů [15], [16], [17], [18] až po naše časy [19]. Sensorické orgány dodávají v jednom okamžiku do thalamu ne zcela přesné informace o obrazech, zvucích a dotecích. Tyto zprávy ze zevního světa mají poněkud nepřesné obrysy, jsou nezřetelné, tedy "fuzzy". Můžeme se snadno mýlit, když vjem trvá krátce nebo vnímaný obraz, zvuk, dotyk je příliš složitý. Chceme-li nepřesnost odstranit, musíme se zahledět nebo zaposlouchat opakovaně. Proto vstupuje do hry **TKRS, který má mimo jiné za úkol svou reverberační aktivitou "fuzzyfikovaný" sensorický obraz "defuzzyfikovat"**. Konkrétní vjem je zřejmě primární činností TKRS v rozsahu od thalamu do primární kortikální arey v trvání asi 300 ms. Z hlediska neuronálních impulsů jde o perceptogram. Abstraktní pojem (notion, symbol, epistém, semém) je projevem repetitivní sekundární aktivity mezi thalamem a dalšími méně specifickými areami (TKRS) v trvání asi 500 ms až několik sekund. Z pohledu mikroEEG můžeme mluvit o ideogramu [11].

Experimentálně jsme se přesvědčili, že sečítání jednociferných čísel, především u dětí do 15 let, obvykle způsobuje zrychlení alfa o 0,5 až 1 Hz. Protože **alfa aktivita je produktem TKRS, domníváme se, že tento systém slouží "jednoduššímu" myšlení**. Sečítání dvouciferných čísel způsobuje v alfa pásmu podobnou změnu a navíc narůstá delta aktivita [14]. Protože **delta aktivita je produkována kortexem a jeho auxiliárními systémy (DACAS)**, čili krátkými i dlouhými asociačními vlákny a komisurálními spoji, **představuje "složitější" myšlení. TKRS a DACAS se v činnosti pravidelně střídají** [8]. Walter et al. [20], Timsit et al. [21] a Howard et al. [22] přinášejí řadu důkazů, že delta a subdelta aktivita je vždy v pozadí složité mentace kupř. v podobě "contingent negative variation", vlny „P300“ kognitivních evokovaných potenciálů nebo "readiness" potenciálů.

V rychlém sledu za sebou dojde kromě poznání vnímaného obrazu (zvuku, dotyku), tj. k realizaci konkrétní kognice i k uvědomování vnímaného. To znamená, že nastane přechod od konkrétního vjemu k zobecněnému pojmu čili **přiřazení konkrétního i když "fuzzyfikovaného perceptogramu" k abstraktnímu vzoru (pojmu) v TKRS, tedy k "defuzzyfikovanému ideogramu"**. Tak nastává abstraktní gnosie. Příklad: vidím zakulacený předmět, konkrétně poznávám červené jablko, které jsem včera koupil a následně si uvědomuji, že je to jistý druh jablka, tedy malvice, plod stromu atd. Dítě se učí s pomocí rodičů a učitelů procesu abstrakce. V dospělosti si již nemusím abstrakci vědomě verbalizovat, opakováním se stala automaticky známou. Malé dítě nebo slabomyslný jedinec zůstává v kognici na úrovni konkrétního poznání a proto nemusí rozeznávat jablka různých tvarů, ani rozeznávat jiné plody nebo nepoznávat rozdíl mezi jablkem a hruškou a pod.

**Dříve uváděli anatomové asi 15 miliard nervových buněk (neuronů) mozku, dnes asi 100 miliard, z toho většina je přítomna v kortexu.** Zdá se, že pro samotnou reaktivitu, tj. pro myšlenkový proces věcný (podmíněné reflexy, dynamické stereotypy) i abstraktní (mentaci, noesis), poznávání (kognici) a vytváření motorických odpovědí včetně fatických funkcí, není potřeba tak velkého počtu neuronů. **Snad většina neuronů slouží k zapamatování čili archivování. Je to však archiv dynamický, tj. s daty zde uloženými mozek stále nebo často a zcela automaticky a podvědomě pracuje.** Především asi zpracovává informace pomocí asociačních operací, hledání analogií a abstraktních vzorů. Tím se rozšiřuje pole našeho poznání a zkušenosti.

**Je pravděpodobné, že mozek, lépe řečeno TKRS, by v jednom informačním a mentálním procesu nezvládl simultánně a racionálně angažovat všech 100 miliard neuronů.** Uvažíme-li, že každý neuron je zřejmě spojen se stovkami až tisíci jiných neuronů a vydává 5 až 50 impulsů za vteřinu, pak celý mozek pracuje



se stovkami miliard impulsů za vteřinu. Navíc impulsy se pohybují v nesmírně složitých sítích a okruzích. Interneuronální impulsy jsou binárně kódovány, ale obvykle jsou organizovány do určitých skupin, jejichž kód není znám. Stanovujeme pak alespoň interimpulsový intervalový histogram nebo lépe „leading cell and mass activity correlograms“ podle Reinise [23]. Stručně mluvíme o "3f" algoritmu: rychlost impulsů neuronů (firing rate), vzorec impulsů, tj. uspořádání v čase (firing pattern) a uspořádání vzorců impulsů v prostoru neuronální populace (space firing) [11]. Lze říci, že celý náš **psychický život se skládá jen z těchto vzruchů**. I když se nám zdá tento fakt vulgárně materialistický, přijímáme ho, protože neznáme zatím jiné mechanismy zpracování informací v mozku.

Ovšem kombinatorické procesy v tomto množství neuronů, synapsí a impulsů, jsou již nepředstavitelné. Můžeme proto spatřovat ve smysluplné organizaci mozku v našem vědomí a myšlení božskou jiskru. Již dříve jsme popsali tento paradox: **čím méně neuronů se zúčastní aktuálního psychického procesu, tím je informační výkon větší. Tento fakt jsme sledovali v literatuře a nověji jsme si to ověřili pomocí infračervené analýzy oxydace mozku „near infrared spectrography“, NIRS) i spektrální EEG analýzy** [24],[25] Raichle [26] je tak nadšen tímto objevem, že popisuje takové místo poklesu energie při PETu a fNMR během mentace jako „mystická mediální parietální area“, ale takové oblasti se ukázaly i frontolaterálně a temporolaterálně. Tímto výkonem nemyslíme jen proces v jednoduché logické, kombinatorické či sekvenční struktuře, ale i v komplikované mentaci jako je abstrakce, dedukce nebo syntéza informací.

Snad velká část těchto složitých psychických operací se odehrává ve chvílích koncentrace nebo relaxace či ve spánku a pak se dlouho hledané řešení nebo ucelená myšlenka náhle objeví v okamžiku serendipity. Zřejmě existuje jisté adekvátní množství neuronů, jejich spojení, synapsí a impulsů, které je v analyticko-syntetickém procesu optimální. V uvedeném množství neuronálních spojů dochází k chybám a mozek musí mít **samoopravné mechanismy** [14]. Některé neuronální procesy mohou připomínat matematické postupy, neurokybenetika je založena na vzájemné inspiraci matematiky a neurofysiologie [27], [28], [11].

Obrovské množství neuronů a složitost neuronálních sítí ukazuje na potřebu uvažovat o **stochastických procesech, o pravděpodobnosti, o multivariačních analýzách** jako je kupř. stanovení faktorů nebo vektorů a jejich rotací. Lion a Winter [29] a Saunders [30] uvažovali a experimentálně dokazovali vhodnou filtrací generovaného šumu získat "alpha-like" aktivitu. My jsme pomocí Wilksova periodogramu zjistili významné množství náhodných proměnných v EEG křivce během vigility, menší během epileptického výboje a nejmenší množství během NONREM spánku [10]. Situace je však tak složitá, že oficiální odborný názor není jednotný. Tak kupř. Reinis [23] konstatuje: "To our knowledge, there are no proven neuronal systems with a documented fractal or chaotic time series." Avšak Freeman [31] matematickými modely dokazuje chaodynamický charakter impulsace v neuronálních populacích. Naše domněnka vychází z faktu, že neurony mají již prenatalně náhodnou impulsační aktivitu a postnatálně nastává imprinting čili imprese nových neuronálních "3f" algoritmů do původního stochastického "pořádku". Psychologicky to představuje imprinting, který nastává u ptáků jen několik hodin po vylíhnutí, ale u savců zřejmě trvá dlouho a je složitější. U lidských mláďat trvá "imprinting" v podobě "attachmentu" asi 3 roky po narození. Avšak podobné mechanismy jsou nám k dispozici během učení po celý život.

Uvažujeme o analogii s iterací jako takovou nebo o procesech MIA (Multilayered Iterative Analysis), jak to popsal Ivachněnko [27], [28]. Domníváme se, že právě **reverberace v TKRS představuje iteraci reprezentovanou v EEG křivce fusiformní alfa aktivitou s ascendentní (ALAS) i descendentní (ALDE) částí**. Neuronální síť v ALAS se chová podle algoritmu MIA, ALDE představuje spíše standardní iteraci, tj. víceméně stereotypní proces konvergující k žádanému výsledku.



MIA (multilayered iterative algorithm) popsal již v roce 1958 ukrajinský matematik A.G. Ivachněnko. Jde o matematický postup, podle kterého se buduje arteficiální síť neuroidů induktivní metodou a "s učitelem". To znamená, že ani počet neuronů ve skrytých vrstvách a dokonce ani počet vrstev není předem dán, ale zvětšuje a vytváří se během učení sítě podle potřeby, tj. síť se buduje tak dlouho, dokud nesplní jistá požadovaná zevní kritéria. Pak nastane naopak restrinkce neuronů selekcí. Přibývá-li neuroidů dále, učení se zhoršuje, síť je tzv. přeučena. Tím se arteficiální síť ještě více přiblížila skutečnému vývoji biologických tj. především kortikálních struktur. Genetické programy používané v arteficiálních neuronálních sítích si také berou vzor z biologické evoluce [32].

Cíl řešení je pro různě složité problémy různě vzdálený, proto jsou alfa vřetena různě dlouhá, obvykle půl až jednu či dvě vteřiny. Při dosažení optima **hledání "vhodného programu"** nastane jedna až dvě alfa vlny nejvyšší amplitudy a dále pak výška vln klesá. **ALDE fáze je snižování amplitudy alfa ve druhé polovině alfa vřetene. Je dána poklesem neuronální populace. Přirovnáváme to k procesu selekce neuroidů v arteficiální neuronální síti (ANN) podle Ivachněnka. V ALDE probíhá také vlastní řešení úkolu podle zásad běžného iteračního procesu, tj. konvergence výpočtu k žádanému výsledku čili k maximální kognitivní aproximaci a kognitivnímu úspěchu.** Iterace zde nabývá zvláště složitých tvarů, jde o stereoiteraci v prostředí stochasticky pracujících neuronů, proto mluvíme někdy o "interaci" [11].

Zdá se, že ve fázi ALAS je hledán systémem TKRS algoritmus k řešení problému a ve fázi ALDE řeší problém podle nalezeného algoritmu. Zda je tomu tak, snažíme se řešit našimi výpočty. Je evidentní, že většina alfa vřeten nekonverguje ke smysluplnému vyřešení úkolu, ale naopak těchto "alfa pokusů" k úspěšné kognici je potřeba mnoho.

Již pouhým okem jsou někdy patrný rozdíly mezi alfa aktivitou v klidu nebo při hyperventilaci či přemýšlení u jednoho a téhož člověka. Proto jsme chtěli použít některých matematických metod pro analýzu alfa rytmu za různých podmínek a tak definovat jeho charakter. Domníváme se, že v EEG křivce je skryto ještě mnoho důležitých informací. Je nutné dodat, že vliv na psychický racionální výkon má i emoce a afektivita. Víme, že **naše vědomí má duální charakter, je racionální a emocionální.** Zde pro jednoduchost uvažujeme především o vědomí a mentaci racionální. Zatím nelze experimentálně ani matematickou cestou provést syntézu uvedených dvou aspektů vědomí.

## 2. Metoda a klinická data.

Klinický soubor se skládá ze 22 zdravých osob, 17 mužů (věk 22 až 37, 1 muž 70ti letý a jeden muž 80ti letý) a 7 žen (věk 25 až 36, 2 ženy 60ti leté). 22 osob mělo normální EEG křivku se základním rytmem alfa. 70ti letý muž měl v EEG subklinické epizody typických epileptických grafoelementů typu hrot-vlna, netrpěl však záchvaty již 35 let. 80ti letý muž měl pseudoneurasthenický syndrom, ale měl dobrý logický úsudek i paměť, v EEG byla pomalá alfa (8 Hz, ojediněle i nízkovoltážní theta, tj. 4- 7 Hz), zatímco všechny ostatní osoby až na jednu výjimku, měly rychlost alfa 9 Hz a rychlejší.

Všechny osoby byly vyšetřeny v EEG laboratoři standardním způsobem, tj. EEG bylo snímáno z 19 elektrod uložených na hlavě Jasperovým antropometrickým způsobem 10-20%, amplifikace byla 100 mikrovolt na centimetr amplitudové výchylky kalibrovací křivky, horní filtr byl 40 Hz, dolní 1 sec., time sampling byl 128 Hz.

Během půlhodinového denního EEG záznamu byly použity různé situace (stavy) jako je zavření (EC) a otevření očí (EO), hyperventilace nosem (HVN) a ústy (HVO), zkrácený Ravenův test (RA) a sečítání jedno a dvouciferných čísel (CA) při zavřených očích. V této práci jsme použili sečítání jen dvouciferných čísel. V EEG



jsou tedy zásadně dva stavy, klidový, tzv. nativní a aktivní při testech. Pro tuto psychickou činnost také používáme termín mentace. Pro naše potřeby jsme analyzovali vřetena alfa aktivity ve dvou situacích (v počtu 8 až 18 alfa vln při „sampling rate“ 128 Hz), jednak během klidu se zavřenýma očima, jednak během sečítání dvouciferných čísel také se zavřenýma očima. Analýzu jsme prováděli zvlášť pro první polovinu, tj. ascendentní část alfa vřetene (ALAS) a zvlášť pro druhou, descendentní polovinu alfa vřetene (ALDE). Součty deseti dvouciferných čísel trvaly 30 vteřin a byly u třech mladých mužů, dvou seniorů a dvou senierek chybné.

Pro analýzu každé poloviny alfa vřetene jsme použili spektrální výpočet podle Gáborovy filtrace (GF) a lokální koherenční funkci (LCF). Máme připraveny i další sofistikované matematické analýzy jako redukce dimensionalit a pod.[28], [33], [34]. Jen u některých probandů jsme počítali i interhemisféralní koherenční funkci (ICF), amplitudovou analýzu (AA - izovoltážní mapy) a Poincarého analýzu časové posloupnosti dat (PA). Tyto výpočty jsme prováděli tam, kde GF a LCF nedávali přesvědčivé výsledky. Pak AA, PA a ICF ukázaly očekávané difference mezi ascendentní a descendentní částí alfa vřetene i mezi stavem klidu a počítání (mentace). Pro nedostatek místa uvedeme tyto výsledky v jiném studiu.

### 3. Výsledky.

Pro přehlednost a stručnost uvádíme výsledky v tabulkách 1 až 3.

**Tbl. 1.** Římskými číslicemi jsou označeni probandi a jejich pseudomonogramy, v závorkách jsou uvedeny frekvence alfa aktivity v období klidu (NA) a v období mentace při sečítání dvouciferných čísel (CA). Dále jsou uvedeny mimořádné údaje, jako je kupř. EEG analýza provedená během spánku (somnus), jízdy na autosimulátoru (cursus), během meditace a pod.

**Tabulka 1**

I.	TER (11- 11 Hz)
II.	SIN (10 -11 Hz)
III.	PSN (9.5 - 10 Hz)
IV.	KRT (10 -10.5 Hz)
V.	HLO (10.5 - 11 Hz)
VI.	STA (10 - 11 Hz, senior)
VII.	HAL (11 - 11 Hz, senior)
VIII.	SDA (10.5 -11.5 Hz)
IX.	TIC (10.5 -11 Hz)
X.	RDN (9.5 -10.5 Hz, somnus)
XI.	LPK (10 - 11 Hz, cursus)
XII.	HEK (8 -9 Hz, cursus)
XIII.	SAF (8.5 - 9.5 Hz)
XIV.	VEL (12 -13 Hz)
XV.	SLN (11 -11.5 Hz, somnus)
XVI.	MOD (9- 10 Hz, cursus)
XVII.	BRN (10 - 10.5 Hz, somnus)
XVIII.	SJK (10.5 -10.5 Hz)
IXX.	BRD (10 -10 Hz)
XX.	VBR (9 -10 Hz, meditatio 8 Hz)
XXI.	BAK (10.5 -11 Hz)
XXII.	SAF (9 -10 Hz, neurotický syndrom)
XXIII.	FRN (10 -10.5 Hz, senior, 70)
XXIV.	KTO ( 8 - 8.5 Hz, senior, 80)

V následující tabulce 2 uvádíme všechny výsledky výpočtů u všech probandů. Pro úsporu místa používáme zkratky pro stavy ve sloupcích a konkrétní výsledky v řádcích.



1. sloupec představuje množství alfa ve výkonovém spektru (GF) v ascendentní části alfa vřetene v nativním - klidovém stavu (NA),
2. totéž v delta pásmu, NA,
3. množství alfa v descendentní části alfa vřetene, NA,
4. totéž v delta pásmu, NA,
5. výsledky GF v ascendentní části alfa vřetene pro alfa při počtech, CA,
6. totéž pro delta pásmo, CA,
7. výsledky GF v descendentní části alfa vřetene pro alfa, CA,
8. totéž pro delta pásmo, CA,
9. výsledky LCF v ascendentní části alfa vřetene pro alfa, NA,
10. totéž pro delta, NA,
11. výsledky LCF v descendentní části alfa vřetene pro alfa, NA,
12. totéž pro delta, NA,
13. výsledky LCF v ascendentní části alfa vřetene pro alfa, CA,
14. totéž pro delta, CA,
15. výsledky LCF pro descendentní část alfa vřetene pro alfa, CA,
16. totéž pro delta, CA.

Údaje s vykřičníkem znamenají, že množství energie se v tom určitém frekvenčním pásmu sice zásadně nezměnilo, ale distribuce na povrchu lbi byla zcela jiná.

Data nebyla normována, a proto jsou uváděny intraindividuální výsledky v relativních hodnotách. Údaje tedy znamenají klesající nebo stoupající hodnoty pro každé individuum zvlášť. Výsledky z nativní EEG alfa aktivity představují střední kvantitativní hladinu alfa nebo delta frekvenčního pásma. Nízkou hladinu značíme +, střední ++, vysokou +++. Pokles nízké hladiny na ještě nižší značíme -, pokles střední hladiny značíme +, pokles vysoké hladiny značíme ++. Stoupnutí hladiny alfa nebo delta pásem značíme dalším křížkem, tedy přechod z nízké na vyšší ++, ze střední na vyšší +++ a z vysoké na ještě vyšší ++++.

**Tbl. 2.** Výsledky GF (sloupec 1.- 8.) a LCF (sloupec 9.- 16.) výpočtů u XXIV. probandů. Probandi I. až VII. jsou ženy, poslední dvě jsou seniorky. Probandi VIII. až XXIV jsou muži, poslední dva jsou senioři. Vykřičník u některých výsledků znamená, že hodnoty ve frekvenčním pásmu alfa nebo delta zůstaly stejné, ale změnily zásadně lokalizaci, došlo tedy k dyslokaci, kupř.v ALAS bylo maximum alfa okcipitálně, v ALDE temporálně a pod.

**Tabulka 2**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
I.	++	+	+	+	++	++	+	+	++	+++	+++	+++	++	+++	+	++
II.	++	+	++	-	++	+	+	-	++	+	++	+++	++	+	++	+
III.	+++	+	+++	+	++	+	++	+	+++	+	+++	+	++	+	+++	+
IV.	++	+	++	++	+	+	++	++	+	++	+++	++	-	++	+	-
V.	++	++	+++	++	+	++	++	+	++	++	+	+++	++	++	+	++!
VI.	+++	+	+	+	+++	++	+++	+++	++++	+	++	+++	+++	++	+++	++
VII.	+++	+	+++!	+	+++	+	+++!	-	+++	+	+++	++	++	-	++!	+
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
VIII.	+++	+	++++	++	+++	+	+++!	++	+	+++	++	+	+++	++	+++	++
IX.	++	+	+	++	+	+	+	++	+++	+	+	+	++	+	++	-
X.	++	+	+++	+	+	+	+++	-	+	+++	+++	++	+++	++	++	+++!
XI.	+++	+	+++!	+	+++	+	+	+++	++	+	+++	++	+++	+	++	++
XII.	+++	+	++	++	+++	+	++	+	+++	+	+++	+	+++	++	+++	+



XIII.	++	++	+	+	+++	+	++	++	+++	++	+++!	++!	++	+	+	++
XIV.	+++	+++	++	+++	++	+++	+++	++++	++	+++	+++!	+++	++	+++	+++	+++
XV.	++	++	+	+	+	+	++	++	+++	++	+++	+	++	++	+	+++
XVI.	++	+++	+++	++++	+++	+++	+++!	++	+++	+++	+++!	+++!	++	+++	++	++
XVII.	+++	++	+++	+++	++	++	++	++	++	++	+	++	++	+	++	+++
XVIII.	+++	++	++	+	++	++	++	+++	+++	++	+	+++!	+++	++	+++!	+++
IXX.	+++	++	+++!	+	+++	+	+++!	+	+++	++	+++	+	+++	++	++	+
XX.	+	++	++	++	++	++	+	+++!	++	++	+++	+	++	++	+++!	+++!
XXI.	+	+	++	++	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+++	++	++
XXII.	++	++	+++!	+++	+	+++	+++	+	+	+++!	++	+++!	+	+	+++	++
XXIII.	++	+	+	+	+++	+	++	+	++	+	+++!	++	++	+	+	+++!
XXIV.	+++	++	+++!	+	+	+	+++!	+++!	++	+	++	-	+	++	-	+

V tabulce 2 je uvedeno 24 probandů a 16 sloupců, z toho 8 pro výsledky GA, 8 pro výsledky LCF. To znamená, že osm vztahů je počítáno dvojím způsobem. Čili jde o 8 vztahů ( $x : y$ ) uvedených v osmi sloupcích u 24 probandů, což je 192 vztahů. Probereme však jen ty nejzajímavější, tj. takové, kde je převaha v jedné proměnné výrazná. Kupř. 120 krát je alfa aktivita asymetrická ( $x < y$  nebo  $x > y$ ) vzhledem k ascendentní (ALAS) ku descendentní (ALDE) části alfa vřetene, 68 krát je symetrická ( $x=y$ ), 4 krát změnila dislokaci čili topickou převahu na povrchu lbi.

**Tbl. 3.** Číselně vyjádřené vztahy z tbl. 2 (a,b) mezi aktivitou v ALAS a ALDE v nativu (NA), při počtech (CA) a mezi NA a CA částí EEG křivky v alfa a delta pásmu. Podkladem jsou výsledky ve sloupcích 1. až 8. z **GF** v horní části tabulky a sloupce 9. až 16. z **LCF** v dolní části tabulky.

Tabulka 3

<b>GF:</b>	$\alpha$ NA			$\alpha$ CA			$\delta$ NA			$\delta$ CA			$\alpha$ NA- CA			$\alpha$ NA- CA			$\delta$ NA- CA			$\delta$ NA- CA		
<b>columns:</b>	1 : 3			5 : 7			2 : 4			6 : 8			1 : 5			3 : 7			2 : 6			4 : 8		
	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ
$x > y$	2	7	<b>9</b>	2	6	<b>8</b>	1	6	<b>7</b>	4	4	<b>8</b>	3	8	<b>11</b>	3	6	<b>9</b>	0	4	<b>4</b>	2	5	<b>7</b>
$x < y$	1	5	<b>6</b>	2	4	<b>6</b>	1	7	<b>8</b>	2	7	<b>9</b>	0	5	<b>5</b>	1	6	<b>7</b>	2	2	<b>4</b>	1	6	<b>7</b>
$x = y$	3	1	<b>4</b>	2	3	<b>5</b>	5	4	<b>9</b>	1	4	<b>5</b>	4	4	<b>8</b>	3	5	<b>8</b>	5	11	<b>16</b>	4	6	<b>10</b>
disl.	1	4	<b>5</b>	1	4	<b>5</b>	0	0	<b>0</b>	0	2	<b>2</b>	0	0	<b>0</b>	1	4	<b>5</b>	0	0	<b>0</b>	0	2	<b>2</b>

<b>LCF:</b>	9 : 11			13 : 15			10 : 12			14 : 16			9 : 13			11 : 15			10 : 14			12 : 16		
<b>columns:</b>	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ	♀	♂	Σ
$x > y$	2	2	<b>4</b>	2	7	<b>9</b>	0	6	<b>6</b>	2	6	<b>8</b>	4	6	<b>10</b>	3	11	<b>14</b>	1	4	<b>5</b>	6	4	<b>0</b>
$x < y$	2	6	<b>8</b>	3	2	<b>5</b>	4	4	<b>8</b>	1	7	<b>8</b>	0	3	<b>3</b>	1	4	<b>5</b>	1	4	<b>5</b>	0	7	<b>7</b>
$x = y$	3	9	<b>12</b>	2	8	<b>10</b>	3	7	<b>10</b>	4	4	<b>8</b>	3	8	<b>11</b>	3	2	<b>5</b>	5	9	<b>14</b>	1	6	<b>7</b>
disl.	0	4	<b>4</b>	1	2	<b>3</b>	0	4	<b>4</b>	1	3	<b>4</b>	0	0	<b>0</b>	1	5	<b>6</b>	0	1	<b>1</b>	1	5	<b>6</b>

Z tabulek 2 a 3 je patrna ve **frekvenčním spektru (GF)** velká interindividuelní variabilita. Ale je zřetelná difference mezi ALAS a ALDE v nativní i mentální EEG křivce. Alfa je **9krát** větší v nativní ALAS (sloupec 1:3) a **8krát** větší v mentální ALAS (sloupec 5:7). Toto svědčí pro asymetrii vřeten, tj. více alfa v ALAS, i když se zdá tento útvar pouhým okem vzorně symetrický.

Delta aktivita je spíše symetrická, v nativu (ve sloupci 2:4) jsou hodnoty v ALAS a ALDE téměř vyrovnané, **7** případů ku **8**. Při mentaci (sloupec 6:8) je tomu podobně, **8** případů ku **9**. Stejně tak jsou v alfa pásmu patrné i velké difference mezi nativní a mentální (psychická aktivita při sečítání) křivkou.

V delta pásmu jsou srovnání mezi nativem a mentací v ALAS tato: (sloupec 2:6) po **4** případech a po **7** případech (sloupec 4:8) mezi nativem a mentací v ALDE.

Tedy situace jsou velmi vyrovnané a delta se jakoby neliší v ascendentní a descendentní části alfa vřetene. A skutečně je delta **16krát** identická v ALAS (sloupec 2:6) a **10krát** stejná v ALDE ve srovnání nativu s mentací.



Zřejmě je alfa je rozdílná, tj. vyšší v ALAS proti ALDE, její různě mohutné neuronální populace při náboru by svědčily pro MIA iteraci. Zatímco nepatrně se lišící delta znamená stejné množství delta v ALAS jako v ALDE. To svědčí pro stále stejnou delta energii v ALAS jako v ALDE, tj. nezávisle na relaxaci nebo mentaci TKRS iteruje v ALDE neustále v delta rytmu. Delta by tedy odpovídala běžné a stále přítomné iteraci nebo selekci neuronů. Fysiologicky to odpovídá trvale vysoké aktivitě subkortikálních asociačních a komisurálních systémů.

Velké difference mezi ALAS a ALDE vidíme při porovnání EEG v nativu s mentací v alfa pásmu. V ALAS (sloupec 1:5) je **11krát** je více alfa v nativu oproti **5** při počtech, v ALDE (sloupec 2:6) je poměr již jen **9** případů ku **7**. Nábor alfa je tedy v klidu mohutnější než při mentaci v poměru ALAS ku ALDE.

Mezi muži a ženami se nezdají principiální rozdíly, ale žen je v souboru pouhých 7.

Jinými slovy: jednotlivé mezisoučty ukazují převahu alfa aktivity v nativu při ALAS (**9**) nad ALDE (**6**) (poměr 1. ku 3. sloupci). V ALAS je zřejmě vyšší tendence k synchronizaci, což není patrné pouhým okem. Podobná situace je ve srovnání ALAS a ALDE při počtech (poměr 5. ku 7. sloupci). V obou poměrech je však po 5ti dislokacích alfa aktivity, což je více než v jiných vztazích. Převaha alfa aktivity v ALAS svědčí pro zvýšený nábor neuronů a jejich impulsů a tedy pravděpodobně větší neuronální populaci v ALAS.

Delta pásmo (sloupce 2.4 a 6:8) mají celkem vyrovnané množství této aktivity mezi ALAS a ALDE. Je zde však nepatrné množství dyslokací. Delta aktivita obecně převažuje frontálně nebo frontotemporálně. Občas je bohužel kontaminována okohybnými artefakty.

Výrazné změny jsou v těch částech EEG, kde převažují vyšší hodnoty alfa v nativu nad mentací v ALAS (**11**) (sloupec 1:5). Lze to vysvětlit vyšší pozorností při mentaci, kdy se obvykle alfa snižuje. Zvyšuje se počet stejných hodnot v ALAS a ALDE (**8**), vřetena se stávají při mentaci více symetrickými. Není zde dyslokace alfa.

V ALDE se počtem vyrovnávají asymetrická a symetrická vřetena v nativu s mentacími (**9 a 8**),(3:7). Je zde 5 dislokací alfa, což znamená, že se výrazně liší distribuce alfa v ALAS od ALDE ve srovnání nativu a mentace.

Delta aktivita ukazuje své velmi vyrovnané množství v ALAS mezi nativem a mentací (**16**) (sloupec 2:6). Dislokace delta není žádná.

Delta aktivita v ALDE je opět velmi vyrovnaná ve srovnání nativu a mentace (**10**) (sloupec 4:8). Přítomny jsou dvě dislokace.

Dolní část tbl. 3. ukazuje výsledky LCF. GF a LCF výpočty nejsou totožné, ale doplňují se. Zatímco GA ukazují mohutnost energie v té které části spektra, LCF ukazuje vzájemnou podobnost (koherenci) spekter mezi lokálními "sousedními" spektry.

Z tabulek 2 (a,b) a 3. také vyplývá, že **lokální koherenční funkce (LCF)** se v nativu (NA) chová opačně v alfa pásmu než energie alfa vypočítaná podle GF: v ALAS je to **4** ku **8** případů, v ALDE je to **5** ku **8** případů, tj. koherence je nižší v těch případech, kdy alfa aktivita byla vyšší. To by mohlo znamenat, že vyšší koherence doprovázená nižší energií alfa představuje vyšší mentální výkon s vyšší pozorností. Ale rovnocennost počtu případů ( $x=y$ , tj. stejné množství alfa v ALAS ku ALDE) je téměř vždy vyšší než opak ( $x \neq y$ ), (platí to i pro delta), tj. nemění se příliš v ALAS ku ALDE.

Zato při počtech (CA) mají alfa i delta v podstatně vyšší koherenci v ALAS než v ALDE. Tzn., že při mentální činnosti se v první polovině alfa vřetene zvyšuje podobnost spekter a ve druhé polovině podobnost spekter velmi klesá. A to svědčí pro velkou rozdílnost ascendentní a descendentní poloviny alfa vřetene.

Velmi zajímavá je vysoká koherence u delta při mentaci v ALAS (**14** případů) proti ALDE (**0** případů). Ukazuje se, že delta hraje velikou roli v psychické aktivitě a to dokonce v první polovině náboru tj. ascendentní části alfa vřetene. Je patrné, že "neviditelné" změny EEG křivky se dají dobře vypočítat a že sledovat tyto změny je smysluplné.

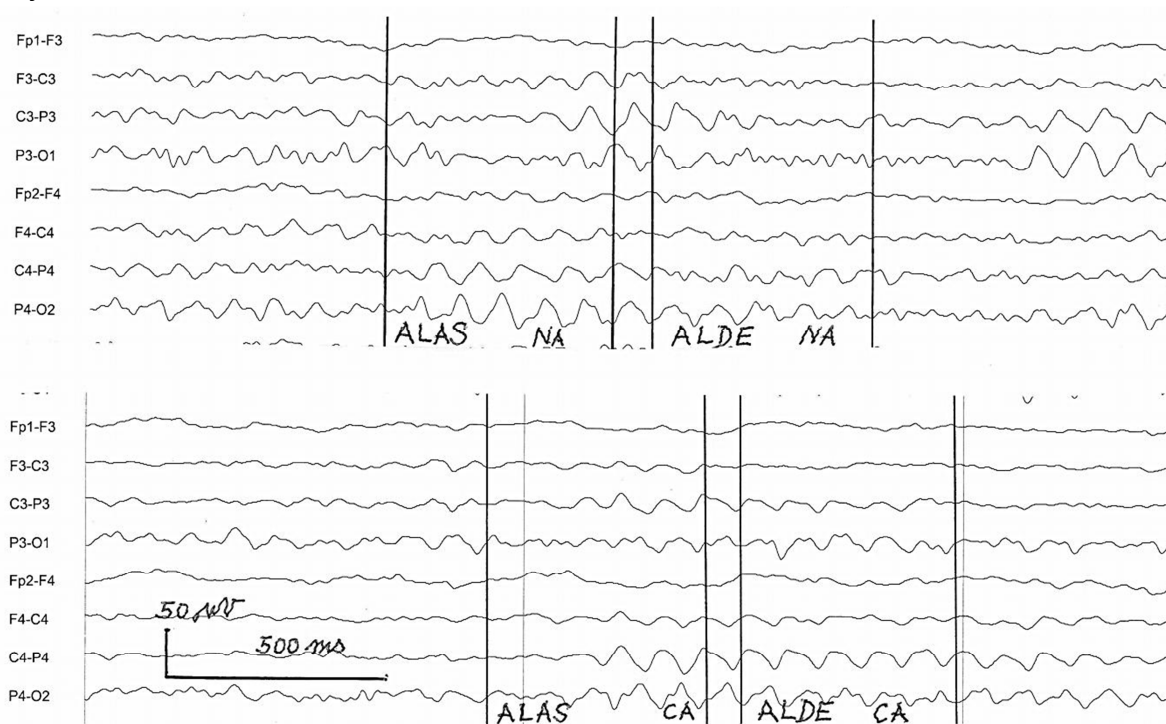
Dislokací se vyznačuje především alfa a delta při mentaci, po **6** případech.

Tři osoby usínaly a při této příležitosti jsme pozorovali, že alfa vřeteno po spánku mělo více alfa energie podle GF a větší koherenci v LCF než v klidu a relaxaci na začátku experimentu. Současně ubývalo delta aktivity bifrontálně. Zřejmě klesalo při usínání množství okohybných artefaktů, které jsou během vigility téměř vždy přítomny. Bylo to málo osob, ale potvrdí-li se takové zjištění, můžeme ho využít pro predikci nadcházejícího přechodu z relaxace do spánku.

Průměrná frekvence alfa byla v klidu 9.5 Hz, při mentaci 10 Hz. V 19 případech se alfa zrychlila při mentaci o 0.5 až 1 Hz.

Proband (XX.) kromě klidového stavu a psychotestů ještě meditoval podle Mahareši Mahés Yogy. Optický popis ukázal, že jeho alfa byla relativně vyšší amplitudy než byla v klidu a šířila se i do frontální oblasti. Alfa frekvence klesla z 9 na 8 Hz, zatímco během mentace měla 10 Hz. GF a LKF alfa stouply, analogické výsledky v delta klesly. Podobnou situaci bez frekvenční analýzy popsali již Anand et al. [35] u indických yoginů.

U třech probandů byla počítána Poincarého analýza (PA) a byla nalezena výrazná cyklická aktivita v klidu v ALAS i v ALDE, ale tato byla značně změněna při mentaci (CA). Tyto výjimečné situace obsahují málo probandů a tak je brzy na to učinit závěr.



**Obrázek 2**

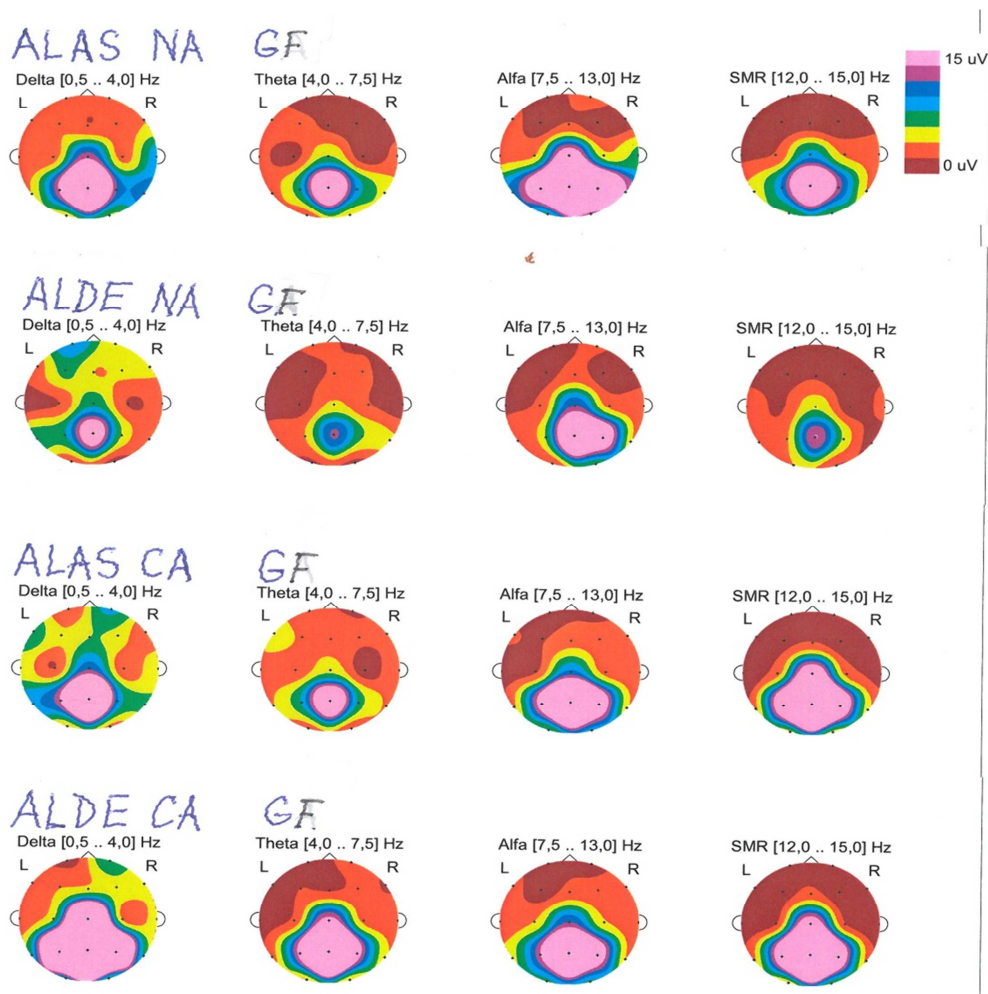
**Obr. 2.** Text: Obrázek ukazuje dvakrát osm EEG křivek z mediálních svodů probanda XVIII. Graf je expandovaný v amplitudě i v čase a znázorňuje vždy jedno vřeteno alfa rozdělené na první polovinu se zvyšující se amplitudou (ALAS) a druhou polovinu se snižující se amplitudou (ALDE). Horní a dolní část grafů se opticky příliš neliší, i když horních 8 křivek je ze stavu klidu (nativní, NA), dolních 8 křivek je z doby testu, sečítání dvouciferných čísel (CA). Každá část (ALAS a ALDE) je zvlášť analyzovaná pomocí GF a LCF a pak jsou tyto části vzájemně nebo z různých stavů porovnávány.

V předešlých pracích jsme našli rozdíl v EEG spektru v klidu a během psychické aktivity [10]. Bylo to zrychlení alfa při sečítání jedno- i dvouciferných čísel. Obecně byla snížena energie alfa aktivity během zvýšené pozornosti nezávisle na otevření či zavření očí. Během mentace (Ravenův test, sečítání čísel, čtení u malých

děti) se zvyšovala energie delta pásma, opět nezávisle na otevření či zavření očí. Někdy, ale ne vždy, jsou i v této práci vidět podobné změny. Avšak délka dříve analyzovaných úseků bývala poměrně dlouhá, 10 až 30 vteřin, zatímco v současná měření mají délku pro analýzu alfa vřetene jen půl až jednu vteřinu. Různé dlouhé intervaly EEG křivky hrají významnou roli v detekci jednotlivých frekvenčních pásem.

Výsledky této práce ukazují rozdíly mezi ascendentní částí (ALAS) a descendetní částí (ALDE) alfa vřetene a to především v alfa pásmu. V nativu je 15 krát difference v alfa pásmu, tj. 9 krát je vyšší v ALAS, 6 krát v ALDE. Při testu sečítání je alfa asymetrická 14 krát a to 8 krát v ALAS a 6 x v ALDE. Srovnáme-li nativní a mentační alfa vřeteno je asymetrie přítomna 32 krát, symetrie 16 krát. Již méně se liší v delta pásmu. Současné výsledky se celkem shodují s minulými, kupř. nižší alfa při počtech než v nativní klidové části

nebo stoupání delta při mentaci (sloupce 2:6 a 4:8). Během relaxace a blížícího se spánku se dále zvyšuje množství alfa a rovněž stoupá její koherence.

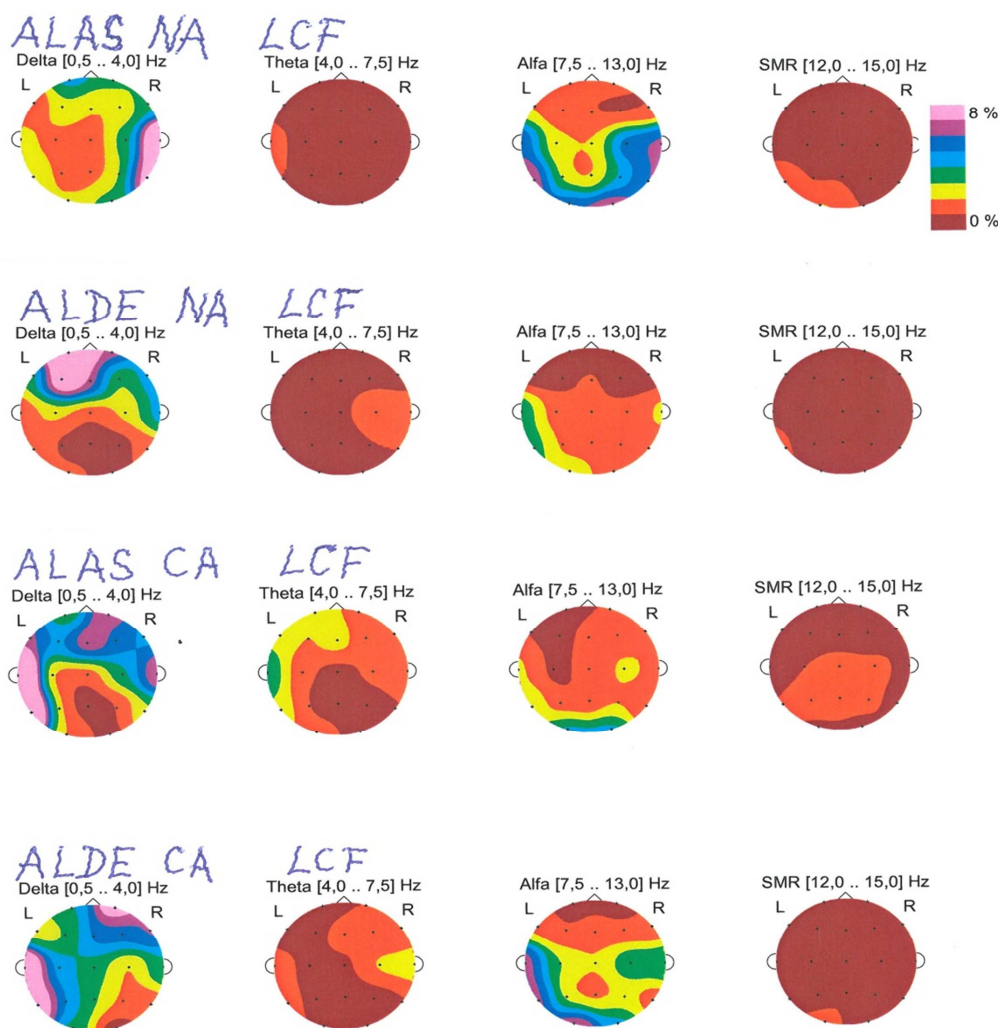


Obrázek 3

Obr. 3. Text: Na obraze jsou znázorněny 4 řady "brain mapping" (BM) schémat probanda XVIII. ze spektrálních výpočtů GF ve čtyřech frekvenčních pásmech (delta, theta, alfa a "SMR" čili pomalá beta aktivita), zcela vpravo je škála pro orientaci od 0 do 15 uV energie v pseudobarvách nebo v různých stupních šedi. První řada jsou výpočty EEG křivky ze stavu klidu (NA) v ascendentní části vřetene (ALAS), druhá řada jsou výpočty v



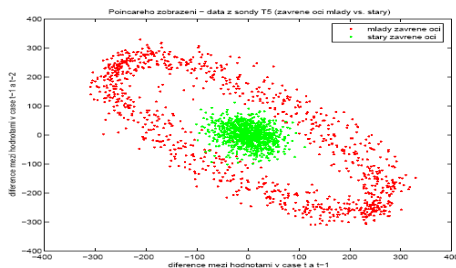
descendentná část (ALDE), je patrné snížení hodnot v alfa a v delta v ALDE, (také i v theta a "SMR", ale tato pásma nebyla u jiných probandů tak významná a proto jsme je systematicky nesledovali). Třetí řada jsou GA výpočty z EEG křivky ve stavu při počítání (CA) v ALAS a čtvrtá řada v ALDE. Zde se alfa ani "SMR" neliší, ale při počítání významně přibýlo delta (a theta) aktivity. Porovnání ukazuje úbytek alfa v ALAS v CA, protože se zvýšila pozornost a dále je patrný nárůst delta (a theta) v ALDE v CA, protože se zvýšil iterační výkon v TKRS i v DACAS.



**Obrázek 4**

**Obr. 4.** Text: Na obraze jsou opět znázorněny 4 řady BM probanda XVIII. sestavené z lokálních koherencí (LCF) ve čtyřech frekvenčních pásmech. Zcela vpravo je škála pro hodnocení intensity od 0% do 8% koherence. První řada BM znázorňuje ascendentní amplitudu alfa včetně (ALAS) v klidném stavu (NA) probanda s jistou fokální až multifokální koherencí delta vpravo temporálně a koherencí podobné intensity v alfa oboustranně temporooccipitálně. Během ALDE je vysoká koherence frontálně vlevo a téměř mizí koherence v alfa. To samo představuje zásadní rozdíl mezi ALAS a ALDE i v klidu mysli. Třetí a čtvrtá řada ilustruje koherence během počítání. V ALAS je výrazná koherence delta především vlevo temporálně, tedy na druhé straně než byla v klidu

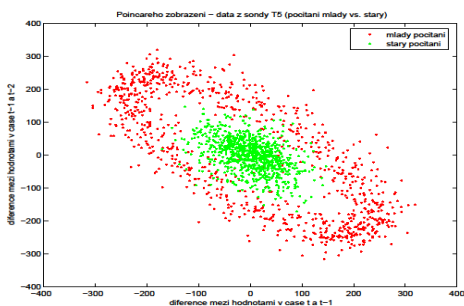
a mizí koherence alfa. V ALDE je delta koherována podobně jako v ALAS a navíc se lehce zvýšila koherence alfa temporookcipitálně vlevo. Jsou tedy přítomny velké rozdíly mezi alfa vřetenem v klidu a při mentaci. GF a LCF se dobře doplňují. Je patrna mizivá koherence v theta a "SMR" pásnu, což odůvodňuje naši preferenci alfa a delta aktivity. Během mentace bývá zvýšená multifokální LCF, zatímco při spánku je LCF rovnoměrně a difusně lokalizovaná.



Obrázek 5

Obr.5. Výsledky výpočtů podle Poincarého rovnic v podobě tzv. Poincarého řezů. Zelené tečky ukazují stav EEG křivky při ALAS, červené tečky stav EEG křivky při ALDE a to ve stavu klidu (NA). Je patrné, že podle těchto výpočtů se ALAS a ALDE zásadně liší, i když v obou situacích (ALAS i ALDE) je patrna fusiformní alfa.

Proband XVIII



Obrázek 6

Obr. 6. Opět výsledky podle Poincarého výpočtů se stejnou formální úpravou v době mentální námahy při sečítání dvouciferných čísel (CA). Je patrné, že průběh EEG křivky během vřetene alfa je méně pravidelný a méně cyklický. Je tedy jiný než během klidu (NA).

Proband XVIII.

#### 4. Diskuse

Již v úvodu jsme citovali literaturu fyziologickou i matematickou, pomocí které lze vysvětlit tyto rozdíly v alfa náboru. Alfa aktivita nabízí svou dynamikou různé interpretace. Jednou z nich je iterace a to nejen prostá, ale i Ivachněnkova MIA. Zdá se, že rozdělení alfa vřetene a zjištěné rozdíly mezi první a druhou polovinou alfa náboru svědčí pro tyto hypotézy. Interindividuální a intraindividuální rozdíly ve výpočtech jsou dány vždy přítomnou "náhodou" složkou v EEG křivce. Proto naše nálezy nejsou jednoznačné. Uplatňují se zde i stochastické procesy v "galaktických" počtech kortikálních neuronů a jejich synapsí dosahujících počtu bilionů.

Počítáme-li náš "alfa život" asi na 60 let trvání (zhruba od 10 do 70 let věku) a asi 10 hodin prožívání v alfa aktivitě denně, časový interval jednoho alfa vřetene asi 1 vteřinu, pak je 3600 alfa vřeten za hodinu krát 10 hodin rovno 36000 vřeten za den. Tento počet krát asi 300 dní je rovno 10800000 alfa vřeten za rok a to krát 60 let se rovná 648 milionů alfa vřeten za celý náš dospělý život. To je naše dispozice vyčleněná pro naši výchovu, školní a odborné vědomosti a životní zkušenosti. Ale mentální a paměťová kapacita bude asi větší, počítáme-li s psychickými mechanismy probíhajícími během spánku. Nelze dobře říci, kolik "bytů" obsahuje jedno alfa vřeteno, ale každé nereprezentuje úspěšný pokus, tj. cíleně úspěšnou iteraci.

Energetická hladina našich neuronálních sítí často uvízne v "lokálním minimu" nebo vůbec není schopna najít ani směr řešení problémů. Proto naše mysl je plná nevyřešených otázek jak odborných, tak životních, o citových ani nemluvě. Jen občas se nám podaří dojít se svou iterací ke "globálnímu minimu", kdy jsme problém pochopili, trajektorie energetické funkce dosáhla minima a výsledný atraktor dosáhl v neuronální struktuře minima energie, skončila selekce neuronů i kognitivní automatizace a optimalizované neuronální sítě byly zafixovány do paměťových stop.

Chceme také zdůraznit velké rozdíly mezi první a druhou polovinou alfa vřetene i proto, že tyto rozdíly nelze postřehnout pouhým okem. Další difference jsou i mezi klidovým a "pracovním" vřetenem alfa aktivity, které i v tomto případě jsou velké mezi jednotlivými probandy. Zdá se, že by tyto analýzy mohly sloužit nejen pro detekci relaxace nebo aktivity mozku, ale i pro detekci některých povahových změn. Především by společnost jistě zajímala predikce chování potenciálních agresorů v běžném životě i za volantem. Tím spíše, že analyzovaný úsek je velmi krátký.

EEG křivka je složitá a zřejmě obsahuje spektrální směs regulérních a harmonických i stochastických komponent. Alfa vřeteno obsahuje také obě složky a navíc v jiném poměru v ALAS a v ALDE a opět v jiném poměru v klidu (NA) a při mentaci (CA).

Klinická zkušenost nás učí, že řada chorob má změněnou EEG křivku, ve frekvenci, tvaru, fázi i v jiných parametrech alfa aktivity (36), ale ještě zůstává v mezích normy. Je tedy obtížné definovat, v čem je jiná. Kupř. lehčí formy ADHD syndromu (attention deficit-hyperactivity disease postihující až 10% mladé populace) nebo počínající Alzheimerova demence nemají žádné jasné patognomické změny v EEG křivce. Byla by také možná lepší detekce zhoršené koncentrace a blížícího se spánku, obecně predikce změn pozornosti. Uvedené analýzy by zde mohly být nápomocny. Práce si jistě žádá další matematické programy pro jemnější analýzu EEG křivky i



spolupráci psychologa a vyšetření dalších osob pomocí nové diagnostické techniky, kupř. pozitronové emisní tomografie (PET) nebo transkraniální magnetické stimulace (TMS) a pod.

### Souhrn.

Navrhli jsme hypotézu dvojí iterace při zpracování dat v thalamokortikálním reverberačním systému (TKRS) mozku: MIA (multilayered iterative algorithm) podle A.G. Ivachněnka a "běžnou" iteraci s konvergencí k cílovému řešení ve druhé fázi "data processingu". Elektrická aktivita mozku (EEG) produkuje během vigility především alfa aktivitu (8-13 Hz) s měnící se amplitudou, která tvoří fusiformní tvar těchto alfa vln. Proto mluvíme o alfa vřetenu. Obvykle podle optického popisu EEG křivky se zdá, že ascendentní část alfa vřetene (ALAS) je stejná jako descendentní část alfa vřetene (ALDE). Chtěli jsme se přesvědčit, zda naše hypotéza rozdílnosti ALAS a ALDE je přijatelná. Proto jsme vyšetřili 24 osob pomocí EEG se současně prováděnými krátkými psychotesty. Srovnávali jsme pak ALAS a ALDE v alfa vřetenu u všech osob jednak v klidu, jenak při sečítání dvouciferných čísel. Vždy se zavřenými očima. ALAS a ALDE jsme podrobili analýze frekvenční filtrace podle Gábora (GF) a lokální koherenční funkce (LCF). Zjistili jsme, že se ALAS a ALDE ve většině případů liší jak ve stavu klidu, tak ve stavu psychické aktivity (mentace). Byla nalezena převaha alfa v ALAS, což by mohlo odpovídat hypersynchronnímu náboru alfa a stavu, který probíhá v MIA režimu. Delta se příliš neměnila, zůstávala na podobných hodnotách v ALAS jako v ALDE, což může odpovídat trvale přítomné iteraci. Podle Poincarého výpočtů (PA) byla zřejmý pravidelný a cyklický průběh v ALAS i ALDE v klidu (NA), ale velmi nepravidelný a necyklický průběhem během počítání (CA). Interindividuální rozdíly byly velké, zřejmě zde hrají roli psychologické a stochastické procesy. Domníváme se, že by uvedené metody díky těmto i dalším sofistikovaným analýzám a krátkému intervalu EEG křivky nutnému k analýze by mohly sloužit nejen detekci mentace, relaxace, poruch pozornosti a blížícího se spánku, ale i identifikaci anomálních vlastností jako je kupř. impulsivita až agresivní psychopatie a pod.

### Dodatek.

Neurony jsou velmi aktivní již v prenatálním životě, ale jejich impulsy jsou zřejmě generovány velmi náhodně, což ukazuje mikro - EEG s pomocí intra - nebo extracelulárních mikroelektrod. Tato „stochastická podstata“ EEG křivky trvá zřejmě po celý život. Abychom alespoň částečně eliminovali tento basální šum musíme použít některé matematické metody jako je kupř. zprůměrnování (averaging) během evokovaných potenciálů. Jiný proces je iterace, kde po určitém počtu opakování jistého procesu pozvolna konverguje řešení k přijatelnému výsledku. Tento způsob aproximace je zvláště vhodný ve stochastickém prostředí s mnoha aktivními elementy, což právě představuje mozek se svými sto miliardami neuronů. Iterace je jednoduchý návod, jak postupovat po stále stejných krocích, tj. stejnou metodou k žádanému cíli. Je to tedy algoritmus opakující stejné postupy se stále se měnícími proměnnými. Kupř. máme stanovit druhou odmocninu jakéhokoli, přesněji rovného nebo většího než 4. (Čísla menší než 4 mají hodnoty odmocnin větší než je jejich polovina). Vezmeme polovinu daného čísla a umocníme ji na druhou, čili vynásobíme ho sebou samým. Výsledek porovnáme s výchozí hodnotou. Je-li umocněná polovina větší než výchozí, tedy odmocňované číslo, zmenšíme polovinu výchozího čísla o 1 a opět tuto hodnotu umocňujeme na druhou. Výsledek opět porovnáme s výchozí hodnotou. Je-li i tato hodnota větší než výchozí číslo, opět uvedenou polovinu zmenšíme, tentokrát o 2. Tak zmenšujeme výchozí číslo stále o další 1, až dostaneme umocňované číslo, které bude rovné číslu výchozímu.

Kupř. odmocňujeme číslo 16. Vezmeme polovinu této hodnoty, tj. 8.  $8^2 = 64$ . 64 je však větší číslo než 16. Proto zmenšíme polovinu odmocňovaného čísla o 1, tedy  $8-1=7$ .  $7^2 = 49$ , tedy opět větší než 16, proto pokračujeme ve zmenšování poloviny čísla 16, tj.  $8-2 = 6$ .  $6^2 = 36$ , tedy opět větší než 16, atd. Až dojdeme k číslu

4.  $A^2 = 16$ .  $16 = 16$ . Druhá odmocnina čísla 16 = 4. Jsme tedy u cíle a program výpočtu končí. Tento proces iterace se zdá být zdlouhavý, ale při rychlosti počítačů, je to otázka mikrosekund. Graficky

U proměnných, kde odmocnina není celé číslo, nebo je to číslo iracionální, pokračujeme stejně. Avšak za desetinnou čárkou mohou stále přibývat nová čísla a to periodická nebo neperiodická („náhodná“). Proto si musíme dopředu stanovit, kolik desetinných míst je pro nás přijatelných. Když dosáhneme předem určeného počtu těchto míst, proces iterace končí.

Graficky znázorněný výpočet odmocniny čísla 16 může připomínat trajektorii atraktoru, totéž pak u čísla 3 může připomínat fraktál. Každý atraktor je fraktál, ale ne každý fraktál je atraktor. Některé rovnice můžeme považovat za určitý systém se vstupem (x), výstupem (y) a procesem řešení v systému (S). Postup výpočtu rovnice lze považovat za vývoj systému a jeho trajektorii lze vyjádřit atraktorem či fraktálem.

## Literatura

1. Moruzzi G., Magoun H.W.: *Brain stem reticular formation and activation of the EEG*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1, 1949, 455-473.
2. Kandel E.R., Schwartz J.H.: *Principles of neural science*. Amsterdam, Elsevier, 1985, pp. 981.
3. Brodmann K.: *Feinere Anatomie des Grosshirns*. In: Handbuch der Neurologie. Ed.: M. Lewandowsky, Berlin, Springer, 1910, pp. 1184.
4. Mazziota J.C., Toga A.W., Frackowiak R.S.J.: *Brain Mapping. The Disorders*. Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, 2000, pp.669.
5. Posner M., Raichle M.E.: *Image of mind. Scientific American Library*. New York, 1994, pp.257.
6. Farley B.G., Clark W.A.: *Simulation of self organizing systems by digital computer*. Trans.,1954, IRE, PGIT-4, pp. 76 - 84.
7. Faber J.: *Vigilance, sleep, petit mal and EEG as manifestations of programmed brain regulation*. Acta Univ. Carol. Med., Monogr. LXXXVII, Praha 1978.
8. Faber J.: *Associative Interneuronal Biological Mechanism*. Neural Network World 1991, 1, p. 13-31.
9. Faber J.: *Electroencephalography and psychophysiology*. ISV naklad., Praha, 2001, pp.170, (in Czech).
10. Faber J.: *QEEG (Qualitative and quantitative EEG analysis)*, Galén, Praha, 2005, pp.191.
11. Faber J.: *Neurokybernetic analogies*. Triton, Praha, 2008, pp.113.
12. Fuller P. W.: *Computer estimated alpha attenuation during problem solving in children with learning disabilities*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 42, 1977, 149-156.
13. Grünnewald-Zuberbier E., Grünnewald G., Rasche A., Netz J.: *Contingent negative variation and alpha attenuation responses in children with different abilities to concentrate*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 44, 1978, 37-47.
14. Adams P., Cox K.: *A new interpretation of thalamocortical circuitry*. Philosophical Transactions.2002, vol. 357, No.1428, p.: 1767-1779.
15. Dussier de Barenne, J.G., McCulloch W.S.: *The direct functional interrelation of sensory cortex and optic thalamus*. J. Neurophysiol., 1938, 1,p.: 176-186.
16. Andersen P., Eccles J.C.: *Inhibitory phasing of neuronal discharge*. Nature. 1962,196,p.:645-647.
17. Andersson S.A., Holmgren E., Manson J.R.: *Synchronization and desynchronization in the thalamus of the unanaesthetized decorticated cat*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1971, 31 p.:335-345.
18. Andersen P., Andersson S.A.: *Thalamic Origin of Cortical Rhythmic Activity*. PP 2C-00-118. In Handbook of EEG.clin. Neurophysiol., Ed.: D. Creutzfeldt, vol. 2., Part C, Elsevier, Amsterdam, 1974.





19. Jones E.G.: *Thalamic circuitry and thalamocortical synchrony*. Philosophical Transactions of the Royal Society, vol. 357, 2002, pp. 1650-1674.
20. Walter W.G., Cooper R., Aldridge V.J., et al.: *Contingent negative variation, electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain*. Nature (London), 203, 1964, 380-384.
21. Timsit M., Koninckx N., Dargent J. et al.: *Variations contingentes négative en psychiatrie*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 28, 1970, 41-47.
22. Howard R.C., Fenton G.W., Fenwick P-B-C.: *Event-related brain potentials in personality and psychopathology a pavlovian approach*. Research studies press. John Wiley, Chichester, New York, 1982, pp. 112.
23. Reinis S.: *Some principle for decoding local neuronal systems in the mammalian central nervous system*. Neural Network World, 1997, 7, p. 205-225.
24. Faber J., Tošovský J., Taichmanová Z., Tuháček M., Měšťan J.: *A method of averages and functions applied in differentiating sublinical and clinical petit mal paroxysms*. Čes. Neurol., 1973, 36/69, pp. 108-113. (in Czech).
25. Faber J., Pěkný J., Pieknik R., Tichý T., Faber V., Bouchner P., Novák M.: *Simultaneous recording of electric and metabolic brain activity*. Neural Network World, 2010, 20:539-557.
26. Raichle M.E.: *The Brain's Dark Energy*. Scientific American. March 2010, p.: 28-33.
27. Šnorek M.: *Neuronové sítě a neuropočítače*. (Neuronal Nets and Neurocomputers.) CVUT, Praha, 2004, pp. 156 (in Czech).
28. Novák M. et kol.: *The artificial neuronal networks, theory and praxis*. C.H.Beck, Praha, 1998, pp.382. (in Czech).
29. Lion K.S., Winter D.F.: *A method for discrimination between signal random signal noise of electrobiological potentials*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1953, 5, p. 109-113.
30. Saunders M.G.: *Amplitude probability density studies on alpha and alpha-like patterns*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1963, 15, p.761-768.
31. Freeman W.J.: *Mesosopic neurodynamics: From neuron to brain*. J. Physiol. (Paris), 2002, 94, p.303 -322.
32. Kolda T., Faber J., Svoboda P., Dvořák M.: *A model of artificial neuronal networks designed according the natural neuronal brain structures*. Neural Networks World, 3-4/2004, pp. 233-246.
33. Svátek M.: *Dynamical systems with reduced dimensionality*. Edice monographií NNW, ČVUT, Faculty of Transportation Sciences. Prague, 2006, pp.161.
34. Votruba Z.: *The information power in the mass /Hú, energy /E4/ and organization //J/ unity*. In: The information power. Ed.: J. Vlček et al., ČVUT, 2002, pp.109. (in Czech).
35. Anand B.K., Chandra G.S., Baldev S.: *Some aspects of electroencephalographic studies in Yogis*. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961, 13, p.:452 -456.
36. Faber J., Pěkný J., Pieknik R., Tichý T., Faber V., Bouchner P., Novák M.: *Simultaneous recording of electric and metabolic brain activity*. Neural Network World, 2010, 4/10, pp.539-557.

přijato k recenzi 12.9.2012

přijato do tisku 15.10.2012

[Horní část dokumentu](#)