

# Fundamente multidisciplinare ale neurofeedback – ului. Aspecte biofizice si matematice

**Conf. Dr. Ana IOANID**

Facultatea de Fizică, Universitatea din București

Student An II, Master Neurobiologie, 2009-2010

***"It will require a substantially different manner of thinking if humankind is to survive." Einstein***

**Cuprins:**

**I. Electrofiziologia-EEG**

**II. QEEG-Neurofeedback**

**III. Interactia EMF-ELF – organisme vii**

**IV. Rezultate comparative EA-EEG**

**Concluzii**

**Referinte**

**Anexa 1**

**Anexa 2**

**I. Electrofiziologia-EEG**

Activitatea electrică a sistemelor biologice reprezintă o manifestare esențială a integrării în mediu a ființelor vii. La nivelul sistemului nervos, aceasta are loc la nivelul membranei neuronale, având rolul esențial în recepția semnalelor din mediu, transmisia și procesarea informației, urmată de declanșarea unui răspuns motor sau secretor.

Inregistrarea diferentelor de potențial la nivelul celulei neuronale se poate face cu electrozi macroscopici (superficiali, neinvazivi) sau cu microelectrozi (profund, invaziv). Electrozii sunt conductori metalici care preiau curentul de ioni din fluidul biologic.

**Electroencefalograma (EEG)** reprezintă înregistrarea grafică a fluctuațiilor spontane (în absența stimulilor) ale potențialului de membrană în neuronii din zona scoartei cerebrale. EEG constituie instrumentul de lucru, atât în neurofiziologia experimentală, cât și în stabilirea diagnosticului clinic. Structura grafică a EEG reprezintă trasee EEG înregistrate ale fluctuațiilor de potențial electric pe trasee EEG, situate între doi electrozi plasați pe craniu (neizolator); înregistrarea este macroscopică și „vede” un număr mare (~1 000 000) de neuroni de pe traseul respectiv, care răspund sincron; forma semnalului EEG este o curbă care descrie variația periodică a amplitudinii potențialului membranar, a căror frecvență și valoare a amplitudinii sunt specifice stării biologice în care se face înregistrarea.

Semnalele EEG sunt codificate în frecvență, amplitudine și formă, și caracterizează stări biologice normale. Abateri în aceste caracteristici, vizibile pe EEG, se datorează unor abateri de la starea normală (acțiune stimulilor externi, patologice). În funcție de valorile frecvenței, în

sensul cresterii acesteia, semnalele EEG sunt codificate ca unde delta, theta, alfa, beta, gamma.

*Exemple de forme ale traseelor EEG si stari ale organismului, asociate acestora:*

1. In starea de *somn profund*, traseele EEG indica predominant unde delta (1-3 Hz) pe traseele frontale (Fig.1);

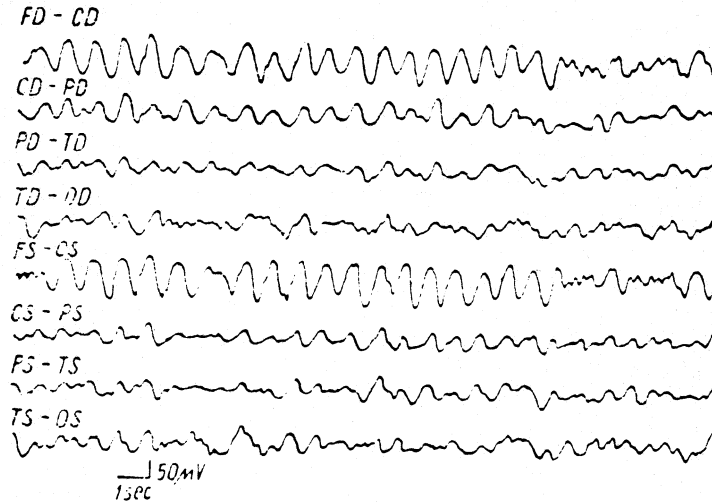


Fig.1.EEG-stare normala (somn profund)

2. In starea de *criza epileptica petit mall*, apar complexele varf-unda, cu amplitudini de ~100  $\mu$ V si frecventa de 3 Hz , pe toate traseele,(Fig.2):

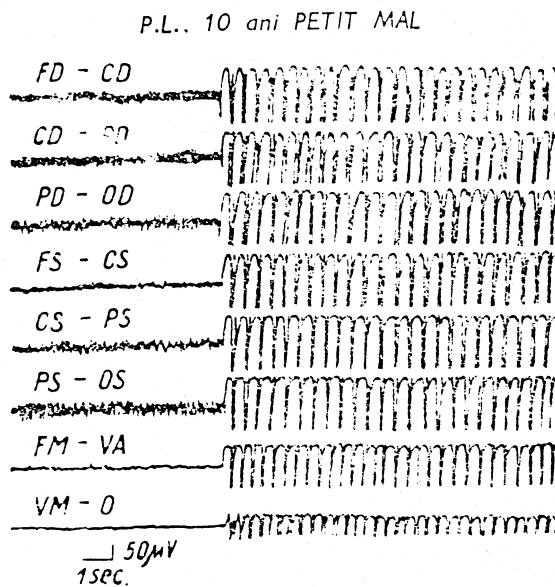


Fig.2 EEG-criza epileptica petit mall

3. In starea de *criza epileptica grand mall*, EEG se caracterizeaza prin **trasee hipersincrone**, adica descarcari electrice ample, de cateva sute de  $\mu\text{V}$ , si rapide (30 Hz) pe toate derivatiile (Fig.3):

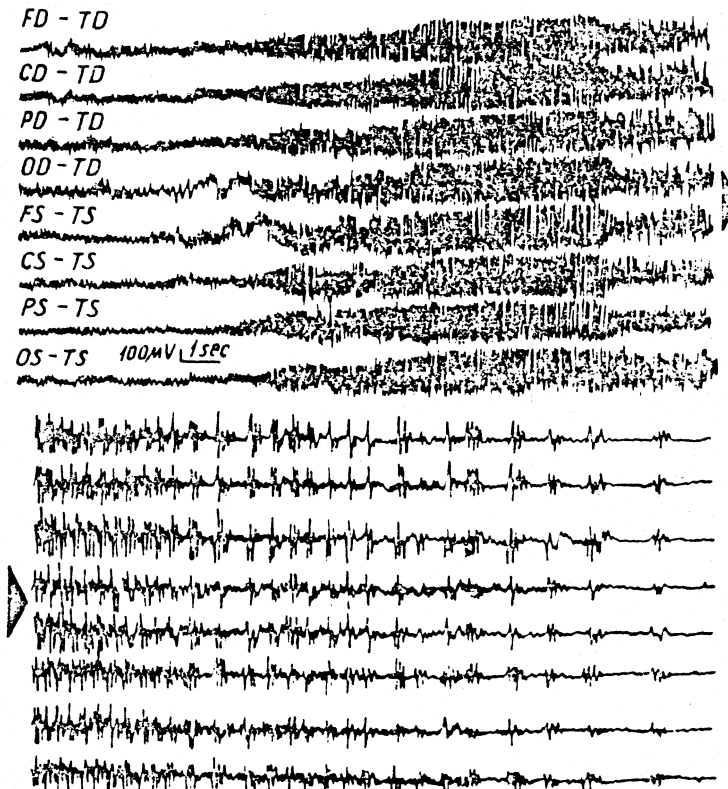


Fig.3 EEG-criza epileptica grand mall

4. Reducerea amplitudinii semnalului indica prezenta unui *hematom* intre craniu si cortex;
5. Reducerea la o isopotentiala de valoare foarte mica (zero), semnifica *incetarea activitatii creierului* (criteriu de moarte).

## II. QEEG-Neurofeedback

EEG primar reprezinta inregistrarea variatiei amplitudinii undelor cerebrale in functie de timp, in diverse stari biologice ale pacientului.

Creierul face parte din categoria sistemelor a caror functionare este controlata prin feedback. Astfel, creierul trebuie sa-si organizeze intreaga activitate la scale de timp relevante din punct de vedere comportamental. Cerintele comportamentale solicita o organizare a creierului care sa asigure un raspuns cat mai rapid posibil si intr-o banda nu mai larga de limita instabilitatii (in sistemele cu

control, instabilitatea se traduce prin hazard). In cazul creierului, este rezonabil a considera ca deficitale functionale sunt asociate cu diferite tipuri de neregularitati in domeniul timp (lipsa de raspuns, raspuns intarziat) sau in domeniul frecventa (neregularitati ale activarii diverselor zone corticale, prin supraactivare/subactivare, inactivare).

La nivelul fiecarui neuron de pe lantul de propagare a semnalului de procesat, au loc doua tipuri de procese:

- de transmitere a informatiei (*textului*) (de conducere a semnalului preluat prin presinapse, catre neuronul urmator, prin postsinapse);
- de management a informatiei (de conservare, de administrare a acesteia prin conversia din semnal electric in neurotransmitatori, pentru a favoriza transmiterea sinaptica la neuronul urmator); la nivelul presinapselor, au loc modulari ale transmisiei, adica procese de regularizare, care stabilesc *contextul* in care semnalul este preluat si se poate propaga spre postsinapse).

Din acest punct de vedere, fiecare neuron se comporta ca un *computer* care coordoneaza corelat cele doua procese, de transfer si de management. In Fig.4 este prezentata o schema bloc a acestei functii neuronale.

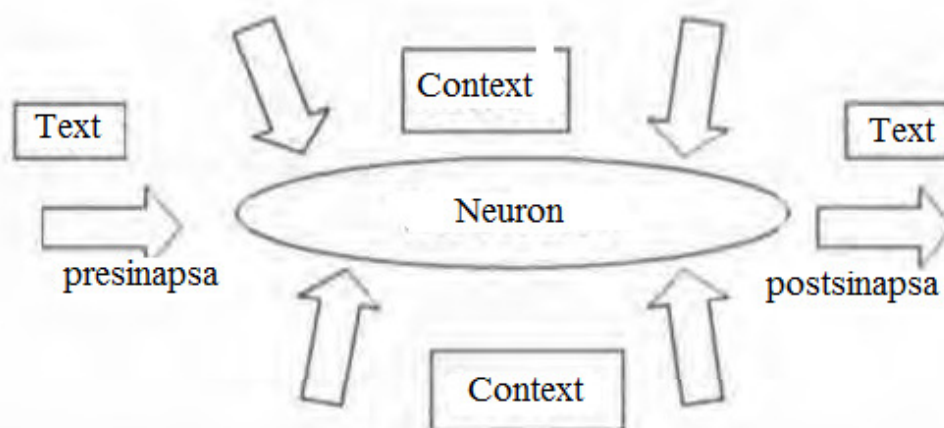


Fig.4. Neuronul-computer coordonator al transferului si managementului semnalului

Ca o regula generala, functiile regulatorii ale transferului informatiei, sunt organizate la frecvente joase, iar cele de manageriat, la frecvente inalte.

*Neurofeedbackul, ca terapie de regularizare a dinamicii transmisiei, este aplicabil predominant in domeniul frecventelor joase.*

**QEEG (Quantitative EEG)** reprezinta inregistrarea cantitativa a activitatii electrice corticale evidentiata prin undele creierului. Aceasta reprezentare se obtine prin procesarea inregistrarilor EEG. Principalul instrument de masura il constituie o platforma de calcul pe care este implementat un program de calcul al caracteristicii cantitative (putere) a semnalului EEG de o anumita frecventa si asocierea acestuia unei pozitii din creier, in functie de traseul de inregistrare.

Bazele descrierii cantitative a activitatii electrofiziologice a creierului, sunt prezentate, intr-o viziune istorica, in cartea **Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback** [1]. Procedura de cuantificare computerizata a EEG evidentiaza raspunsul creierului la fiecare frecventa. Datorita acestei caracteristici, are doua mari avantaje in activitatea de diagnoza si tratament;

- discrimineaza clar intre discontinuitati ale activitatii creierului (de exemplu, spikuri epileptice) si artefacte;
- evalueaza activitatea continua (background) a creierului, astfel incat se pot aprecia detalii datorate unor deviatii subtile de la normalitate; examinarea vizuala subiectiva (pe EEG), adesea nu deceleaza detalii din fond sau le interpreteaza fals.

Instrumentul matematic pentru calculul QEEG este **Transformata Fourier**; aceasta transforma semnalele masurate  $E(t)$ , reprezentand amplitudinea semnalului ca functie de timp, in semnale procesate  $Q(\omega)$ , reprezentand puterea undelor ca functie de frecventa.

Conversia caracteristicilor undelor cerebrale: amplitudine (forma), frecventa, coordonate spatiale in numere si reprezentarea lor ulterioara ca harti statistice topografice ale creierului, se poate face via un software adecvat [2]. Racordarea la normative de diagnostic si tratament, permite utilizarea QEEG ca instrument neurometric.

Rezultatul obtinut prin QEEG il constituie reprezentari statistice topografice, care indica puterea si localizarea diverselor unde pe scoarta cerebrala. Reprezentarile spatiale astfel obtinute se numesc **harti topografice** si constituie instrumente de lucru in stabilirea diagnosticului si urmarirea evolutiei tratamentului.

Diagrama din Fig.5 este o **Diagrama Wigner** [3], adaptata la cazul undelor lungi pentru a sugera semnificatia celor doua reprezentari pentru acelasi experiment: Amplitude-Time (EEG) si Power-Frequency (QEEG).

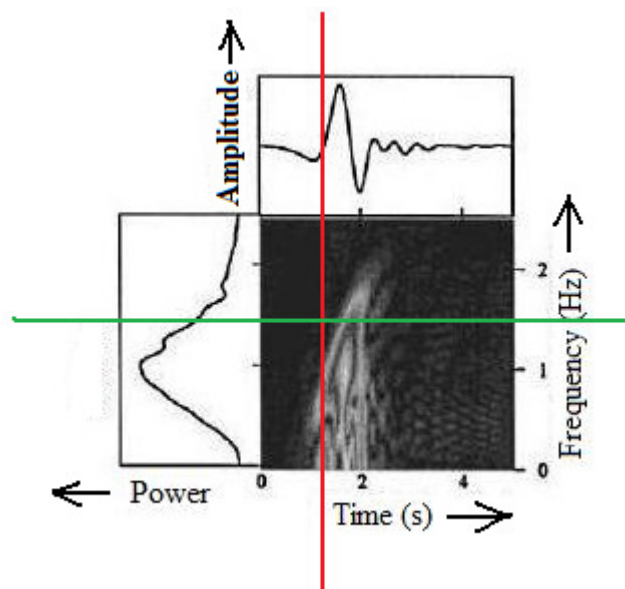


Fig.5 Diagrama Wigner pentru un puls de amplitudine ca functie de timp. (Pentru detalii legate de conceptele amplitudine si putere, vezi **Anexa 2**)

Diagrama trebuie interpretata astfel: la acelasi moment de timp din evolutia amplitudinii, sunt activate succesiv (in lungul **liniei rosii**), cu ponderi diferite, oscilatiile sincrone la diverse frecvente (unde cerebrale); reciproc, o anumita oscilatie sincrona, de o anumita frecventa, este generata, cu ponderi diferite la diferite momente de timp din evolutia pulsului initial (in lungul **liniei verzi**).

**Exemple de EEG inregistrat si QEEG obtinut prin procesare si reprezentat prin harta topografica corespunzatoare; modificarile si comentariul apartin autorului.**

- ❖ Trasee EEG (19 electrozi); pe abscisa este reprezentat timpul (unitatea de masura este secunda), iar pe ordonata este reprezentata amplitudinea undelor (in microvolti), masurata pe traseele marcate prin indicativele electrozilor); persoana de gen feminin, adulta , stare normala (inregistrare cu ochii inchisi); se observa manifestarea undelor alfa , 8-13 Hz, in zona occipitala P3/P4, O1/O2 ( a se numara oscilatiile amplitudinii, pe traseele O1-LE, O2-LE, P2-LE, P3-LE, P4-LE, de exemplu in secunda 00:26-00:27 sau 00:27-00:28)(Fig.6) [4].

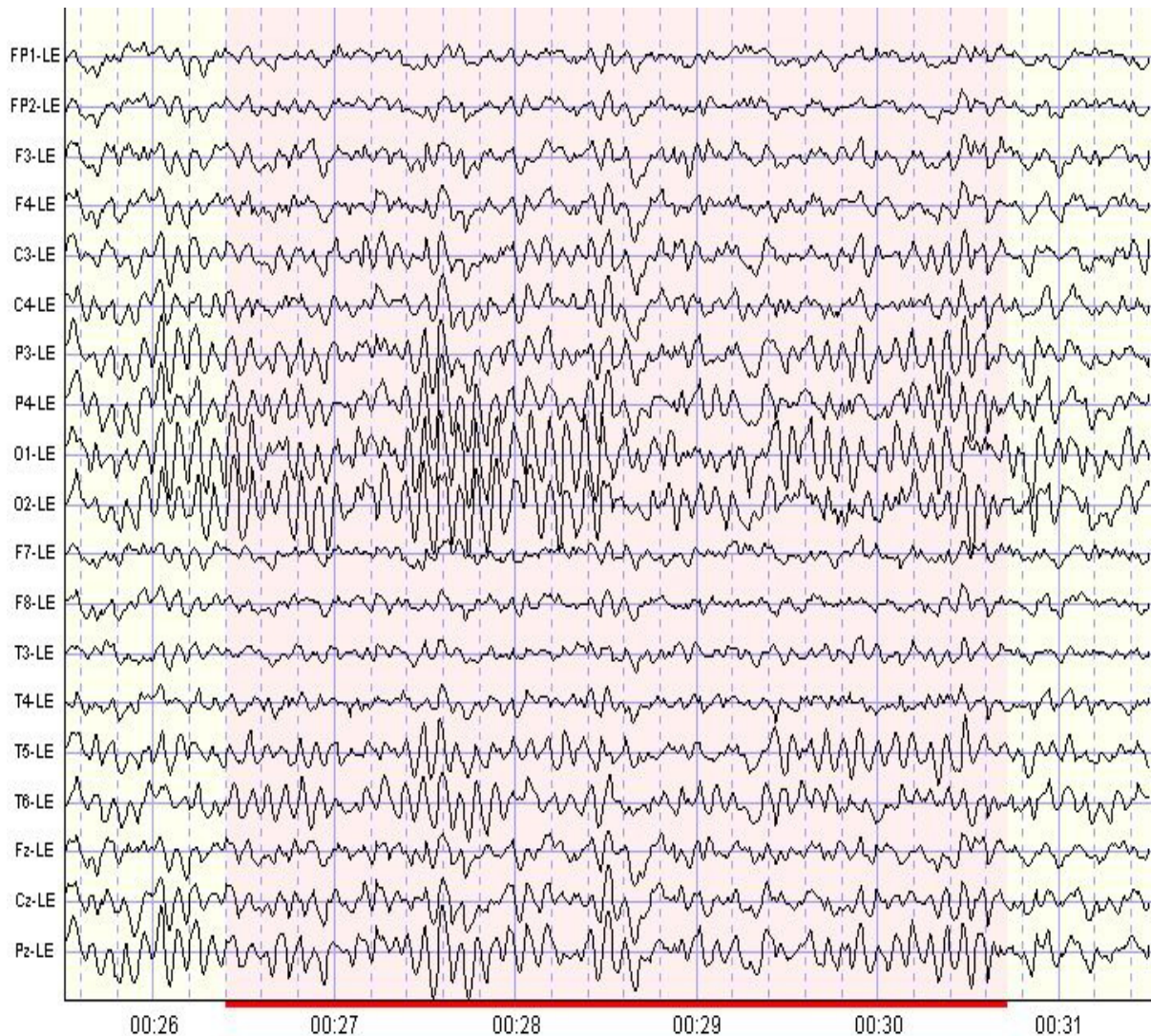


Fig.6. Reprezentare EEG (preluata din [4])

Harta topografica QEEG obtinuta prin procesarea acestei diagraame EEG, este prezentata in Fig.7. La fiecare frecventa, culorile sunt asociate valorilor puterii, exprimata in unitati de deviatie standard (SD).

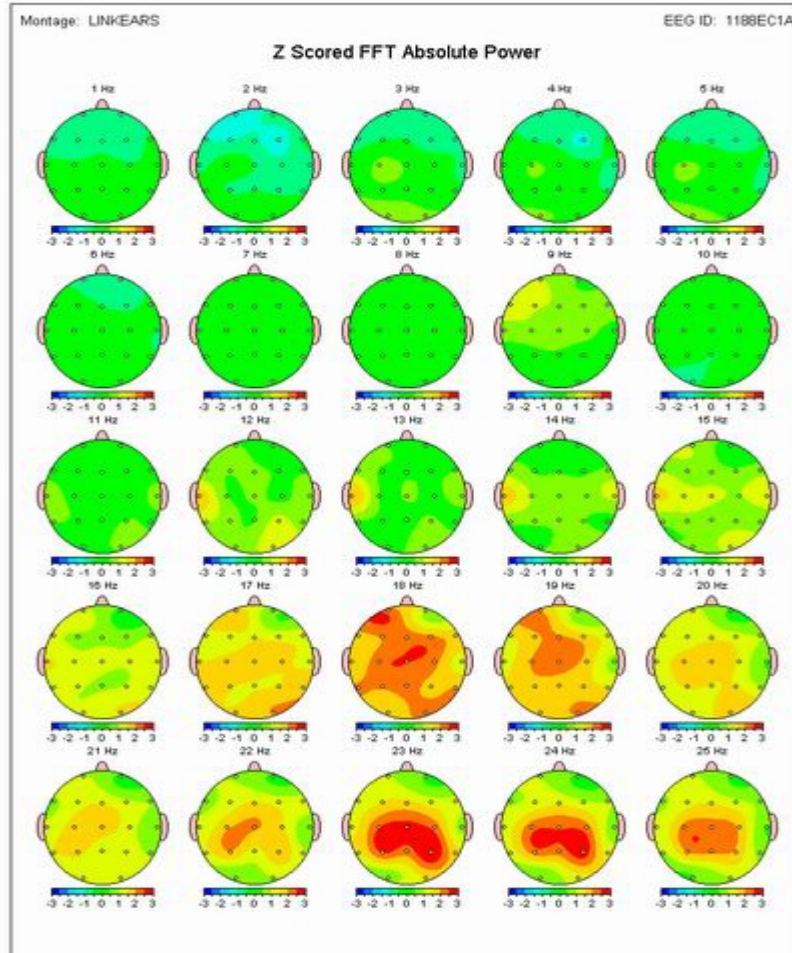


Fig.7 Harta topografica spectrala (preluata din [4])

Pentru claritate, in Fig.8 este prezentat un detaliu al distributiei de putere pe scalp (cerculetele negre marcheaza pozitiile electrozilor) la frecventa de 2 Hz.

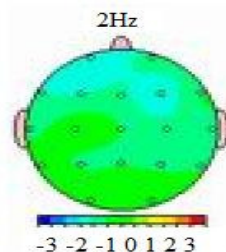


Fig.8 Harta topografica la frecventa de 2 Hz (preluata din [4] cu modificari)

Culoarea verde, codifica valori normale ale puterii dezvoltata de diversele unde, pentru varsta si sexul pacientului;

Culoarea rosie codifica valori cu 3 unitati de deviatie standard mai mari fata de valorile normale; in exemplul dat, se manifesta la frecvente caracteristice undelor beta, asociata zonei sensorimotorie si parietale;

- ❖ Trasee EEG , sex feminin, 16 ani; se observa unde frontale theta , 4-7 Hz (Fig.9); ( a se numara oscilatiile amplitudinii pe traseele F2-LE, F3-LE, F4-Le, FP1-LE, FP2-LE, de exemplu in secunda 02:13-02:14, sau 02:14-02:15) [4].

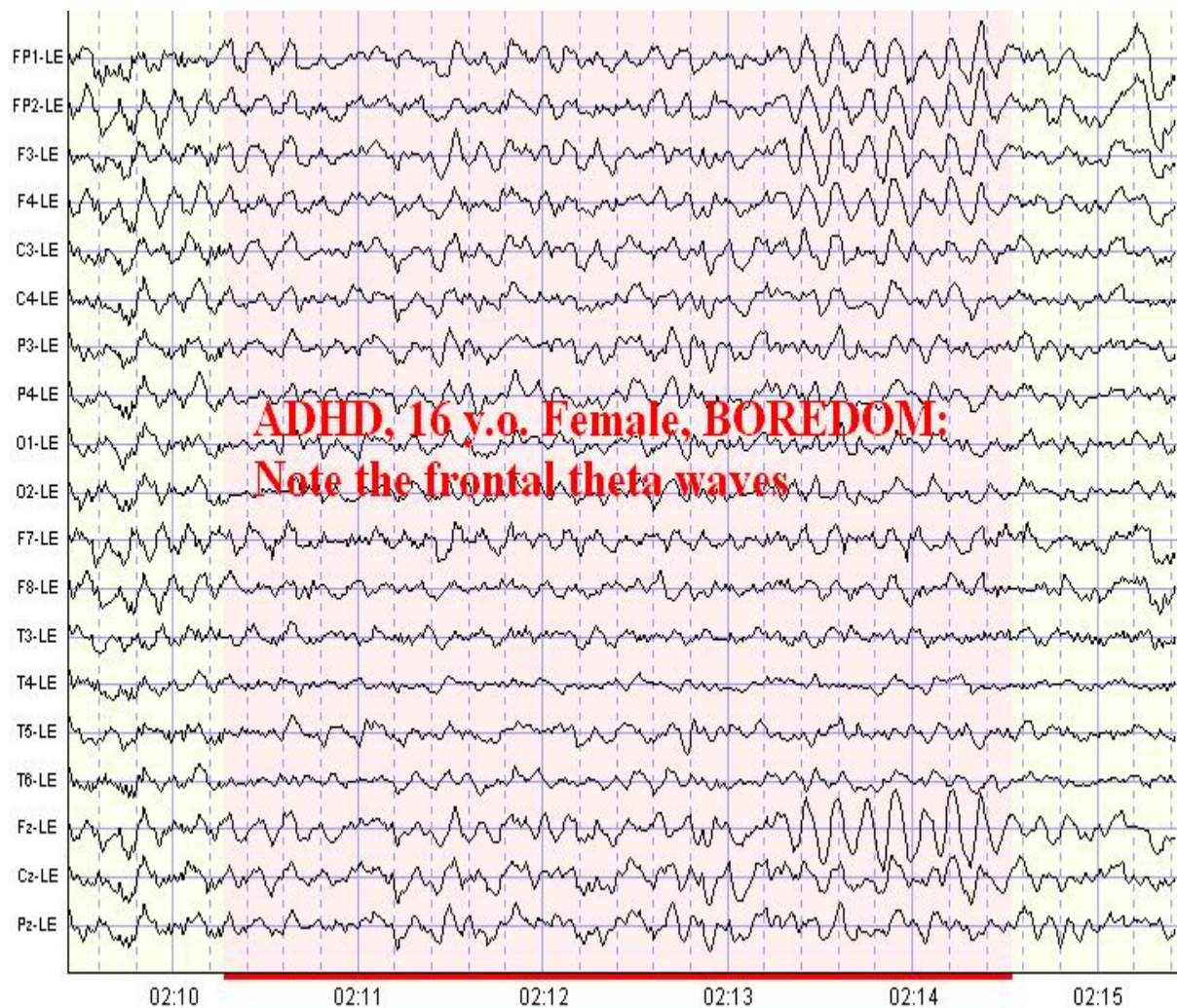


Fig.9. Reprezentare EEG (preluata din [4])

In Fig.10 este prezentata harta topografica QEEG obtinuta prin procesarea diagramei EEG din Fig.9.

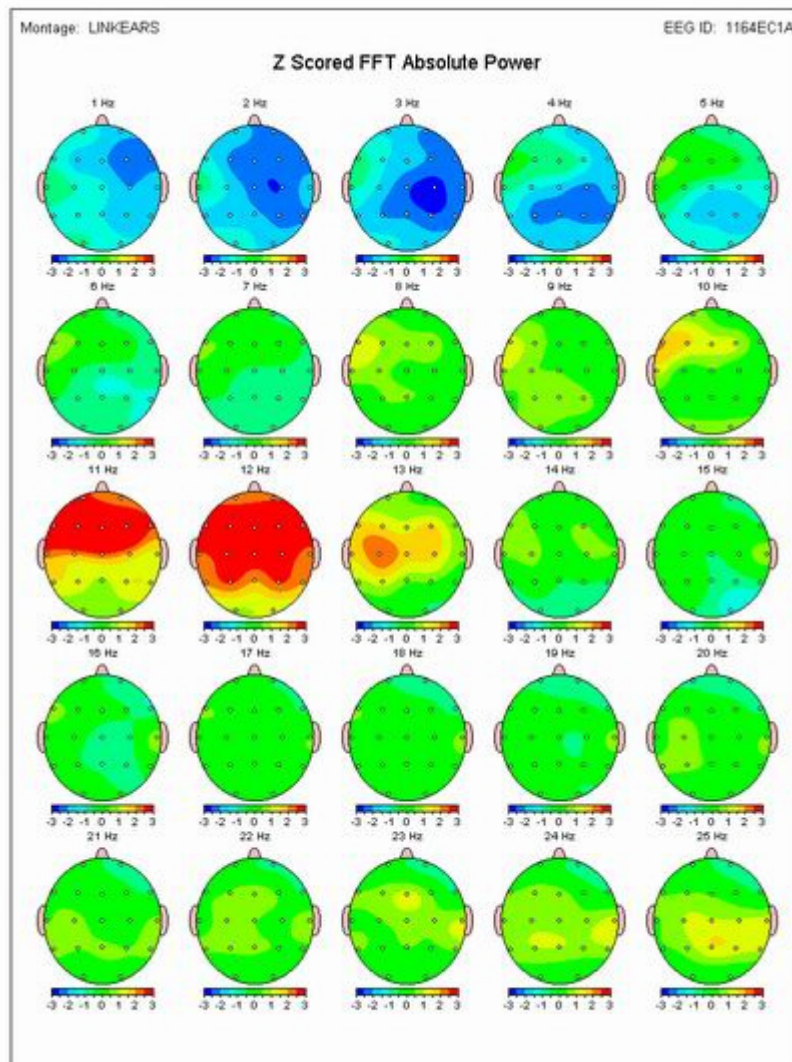


Fig.10. Harta topografica spectrala (preluata din [4])

In acest exemplu, se observa deficit de putere pentru undele theta (albastru, la 1,2,3,4 Hz) si exces de putere pentru undele alfa (rosu, la 11, 12 Hz)

Localizarea in creier a activitatii in exces, stabilirea cauzelor fizice, asocierea cu maladii a zonelor corticale semnalizate, permit utilizarea hartilor spectrale QEEG ca instrument de lucru in corectarea activitatii zonelor semnalate, in practica neuroterapeutica de **antrenament prin neurofeedback (NFT-neurofeedback training)**.

In general, monitorizarea activitatii fiziologice si controlul constient al individului asupra acesteia, in vederea imbunatatirii starii de sanatate sau de crestere a performantei, constituie practica de **biofeedback**. Daca ne referim la activitatea fiziologica a creierului uman, atunci putem defini **practica NFT** ca forma particulara de biofeedback a activitatii creierului, masurata prin evolutia in timp a undelor cerebrale.

NFT se bazeaza pe urmatoarele doua postulate:

- ✓ QEEG ca inregistrare cantitativa a activitatii fiziologice a creierului, reflecta starea acestuia, cu disfunctii si neregularitati;
- ✓ creierul uman are proprietatea de plasticitate; in acest caz, aceasta se traduce prin abilitatea de memorizare a starii dorite si deci de a o recunoaste la o recompensa asociata (mecanismul conditionarii operante).

O descriere a principiului terapiei prin NFT, poate fi urmarita pe schema imaginata de autor si prezentata in Fig.11.

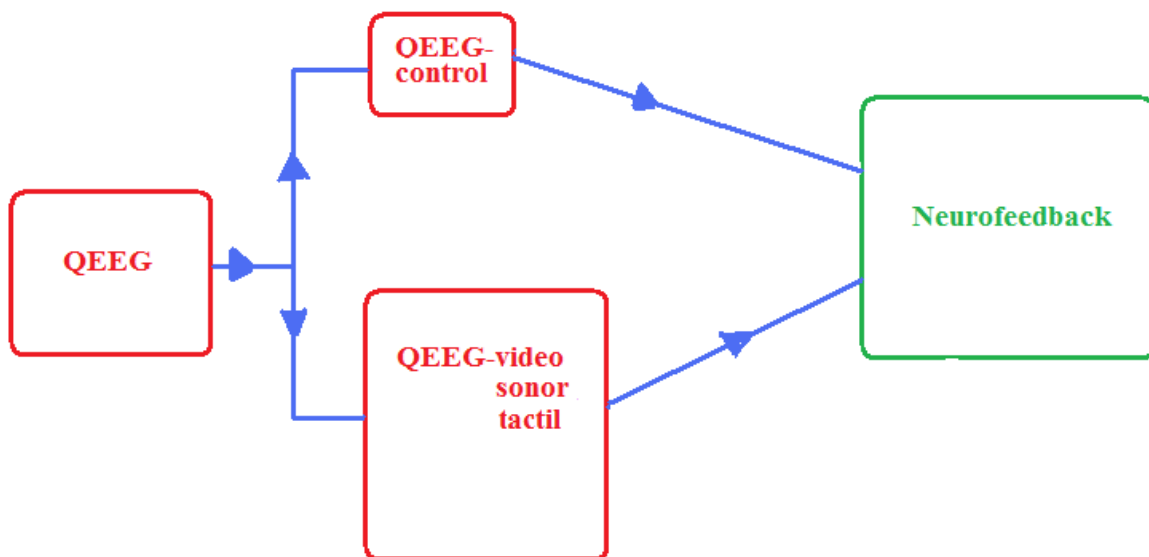


Fig.11. Evolutia terapiei NFT in cadrul unei sesiuni

Se aleg parametri QEEG de interes (de exemplu, puterea la o frecventa, puterea intr-o banda de frecventa, raportul unor puteri spectrale, etc) care se prezinta in timp real pacientului; acesti parametri (sub forma de semnal electric) se splitteaza, intr-o componenta de control, **QEEG control** (utila terapeutului si pacientului capabil sa se autoevalueze la acest nivel) si o componenta care este prezentata acestuia printr-o modalitate vizuala, sonora sau tactila, **QEEG-vizual, sonor, tactil**. Prin intermediul unui **protocol**, pacientul este antrenat intr-o activitate voluntara de modificare a acestor parametri, intr-un sens dorit (care sa conduca la un mod mai eficient de functionare a creierului). Parametrii NFT pot sa controleze structura si ritmul unui joc (in varianta vizuala), tonul si armonia (in varianta sonora) sau intensitatea unui stimul presor (in varianta tactila). Pacientul asociaza starea de "mai bine" cu valori ale parametrului NFT, cu scoruri realizate la tema (jocul) data. Rezultatul obtinut se masoara prin instrumente specifice, precum: **curba de training**, care reprezinta evolutia eficientei invatarii de catre pacient a controlului parametrului NFT, intr-o sesiune de training si **curba de invatare**, care reflecta dinamica indicelui de training (absolut sau relativ) intr-un sir de sesiuni.

Se apreciaza ca o sesiune s-a soldat cu succes, daca valoarea post-training a parametrului NFT este statistic diferita de valoarea la  $p < 0.05$  ( $p = 0.05$  reprezinta pragul de semnificatie statistica), in conditii de repaus (componenta **QEEG control**).

**Aprecieri despre neurofeedback (culese din [1], [5]):**

- ✓ **Ca forma de auto-cunoastere, constituie o provocare pentru controlul evolutiei comportamentale.**
- ✓ **Francis Crick, Laureat al Premiului Nobel, apreciaza auto-cunoasterea ca o provocare stiintifica de importanta critica, la un anumit moment.**
- ✓ **Ca forma de terapie prin auto-cunoastere, reflecta esenta Postulatului Principiului *mind-body* (Green, 1977): antrenarea constiintei, asigura sanatatea si reciproc.**

**Neurofeedback-ul poate fi definit ca fiind un instrument tehnologic pentru corectarea activitatii biologice a creierului.**

**Neurofeedback-ul reprezinta feedback-ul EEG;** in exemplul precedent, EEG semnalizeaza pacientului o stare superactivata a creierului, marcata prin atenuarea amplitudinii undelor delta si theta, si cresterea amplitudinii undelor beta si/sau alfa, in anumite zone din creier.

Terapeutul utilizeaza EEG:

- ✓ pentru constientizarea pacientului; acesta poate contribui la evolutia sa catre starea normala, acceptand o activitate constienta (de citire, ascultare, numarare, rezolvare de probleme) sub actiunea unui stimul adecvat, in cadrul careia realizeaza scoruri;
- ✓ pentru stabilirea **protocolului de terapie**: terapia consta in antrenarea la rezolvarea unei teme, in sesiuni succesive, intr-un numar si o periodicitate particularizate pe caz. Scorurile obtinute de pacient sunt procesate intr-un soft adecvat activarii sale si integrate modificarilor de pe harta topografica.

Scorurile favorabile, care imbunatatesc harta topografica a creierului, sunt remarcate, recompensate de terapeut, astfel incat starea pacientului evolueaza prin **conditionare operanta**.

Mecanismul reflexului de conditionare operanta poate fi descris astfel: se asociaza un comportament cu un eveniment de interes pentru subiect (recompensa); astfel, subiectul invata sa prezica consecintele unui comportament asumat.

In literatura de specialitate, neurofeedbackul este definit ca forma de neuroterapie care consta in feedbackul asistat al EEG, in vederea modificarii comportamentului cognitiv:

**Neurotherapy is EEG feedback-assisted cognitive behavior modification [4]**

In exemplul mentionat, activitatea excesiva beta asociata zonelor senzomotorie si parietala din cortex, reflecta un creier foarte agitat, care lucreaza generand spaima, vedenii, tensiune. Starea caracterizeaza indivizii anxiosi. O terapie adecvata printr-o activitate constienta care sa duca la scaderea amplitudinii undelor beta, cuplata cu cresterea amplitudinii undelor theta, contribuie la instalarea starii de relaxare mentala si fizica.

**Ana IOANID. Fundamente multidisciplinare ale neurofeedback-ului.**  
**Aspecte biofizice si matamaticice**

Terapia prin neurofeedback necesita un echipament a carui utilizare solicita pacientul la o activitate constienta, cu o interfata pentru achizitionarea scorurilor obtinute de acesta si un soft adecvat, flexibil si usor de manevrat, pentru procesarea statistica a inregistrarii.

Industria producatoare de echipamente pentru neurofeedback este in faza expansiva, dar nu toate sunt adecvate, astfel incat sunt necesare inca studii prin activitati de training, pentru validarea competentei lor.

Eficienta activitatii de antrenament comportamental prin neurofeedback, este conditionata de doua categorii de variabile:

**1. variabile nespecifice:**

- ✓ asteptarile clientului (efectul placebo)
- ✓ variabilele clientului: motivarea, energia mentala implicata in normalizarea EEG, atitudinea fata de experiment);
- ✓ variabilele terapeutului: empatie, experienta, etica;
- ✓ interactia (colaborarea) terapeut/client (manifestarea consimtamantului, alegerea recompensei (conditionarii);
- ✓ credinta in Dumnezeu (rugaciuni cu si/sau pentru client);
- ✓ influenta mediului (familie, grup social, etc.)

**2. variabile specifice de tratament:**

- ✓ pregatirea scalpului, plasarea electrozilor;
- ✓ durata tratamentului (nr. de sesiuni, durata sesiune);
- ✓ echipamentul utilizat (adaptat, diferentiat)

Terapia prin neurofeedback se desfasoara dupa un **Protocol de tratament**, iar tratamentul consta in activitatea de antrenament pentru cresterea/descrerea amplitudinii (EEG) sau a puterii (QEEG) intr-o banda de frecventa sau intr-o combinatie de benzi de frecventa. (De exemplu, se inhiba amplitudinea in benzi de frecventa joasa 4-8 Hz (theta) si simultan se activeaza cresterea amplitudinii in benzi de frecventa mare, 12-15 sau 14-18 (beta)).

Daca **Protocolul de training** se bazeaza pe QEEG, atunci se porneste de la un QEEG pre-training, se coreleaza cu baze de date normative precum **Neuroguide Thatcher (2002)**, [2], si se ajusteaza in timpul trainingului in functie de reportarile de "satisfactie" sau de "confort" ale pacientului, in aceeasi sesiune sau intre sesiuni.

Utilizarea QEEG ca unitate neurometrica permite trainingul numai pe o frecventa sau pe o anumita banda de frecvente.

Terapia neurofeedbackului ca feedback al EEG-ului, cupleaza cu toate celelalte metode conventionale de terapie a comportamentului cognitiv. Activarea intensiva a creierului in cadrul sesiunilor de antrenament constient, aduce castig functional vizibil pe imaginea EEG repetata. Corectiile maladaptative efectuate, redirectioneaza metodele terapeutice traditionale (alopate).

O descriere a bazelor teoretice ale utilizarii QEEG in neuroterapia prin feedback, se gaseste in lucrarea *Brain organization in the timing and frequency domains*, by Siegfried, Othmer [5].

Bazandu-ne pe aceasta descriere, rolul terapiei prin neurofeedback poate fi inteles pe urmatoarea schema, imaginata de autor, Fig.12, care plaseaza terapia neurofeedbackului intr-o bucla a evolutiei QEEG (sagetile indica evolutia in sesiuni succesive, iar culorile respecta codul: **atentie**, **pericol!**, **speranta**, **satisfactie**).

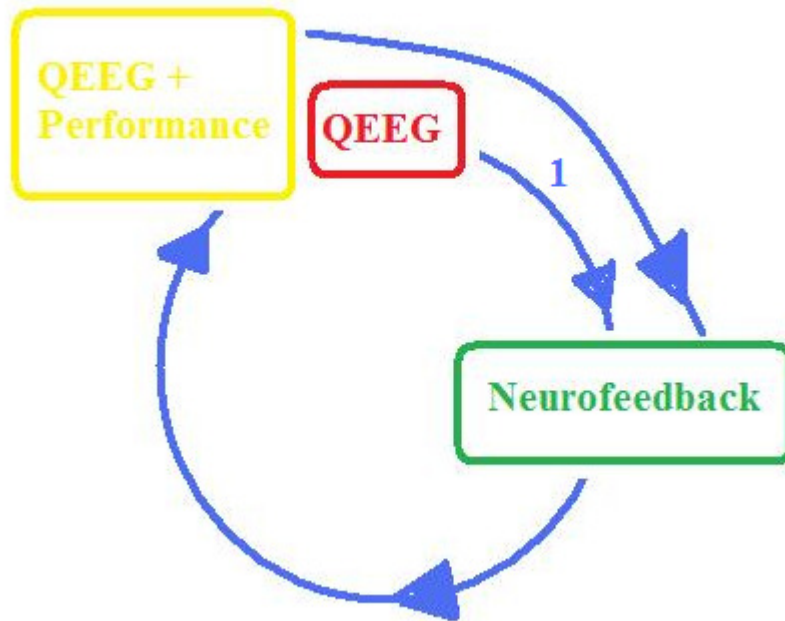


Fig.12. Evolutia terapiei prin NFT pornind de la QEEG pre-training (segmentul 1 este detaliat in Fig.11)

### III. Interactia EMF<sup>1</sup>-ELF<sup>2</sup> – organisme vii

Consideratiile din acest capitol si din cel urmat, au scopul de a sublinia influenta mediului inconjurator, prin campul electromagnetic cu frecvente joase, asupra activitatii organismelor vii. In domeniul frecventelor mari, in domeniul 10<sup>11</sup>-10<sup>15</sup>Hz, se manifesta lumina, in domeniul 10<sup>16</sup>-10<sup>19</sup> Hz, se manifesta radiatia X, s.a.m.d. Cuantificarea acestei influente permite utilizarea campului electromagnetic extern, natural sau generat controlat, in modelarea activitatii fiziologice a organismului.

Campul electromagnetic (EMF) reprezinta forma de manifestare a prezentei radiatiei electromagnetice in spatiul inconjurator. Forma de propagare a radiatiei in spatiu, este unda electromagnetica (Fig.13). Aceasta are doua componente, unda camp electric si unda camp magnetic, care descriu oscilatia

<sup>1</sup> EMF prescurtare standard de la ElectroMagnetic Field (camp electromagnetic)

<sup>2</sup> ELF prescurtare standard de la Extremely Low Frequency (frecvente ultra joase)

vectorilor camp electric E si camp magnetic H, in plane respectiv perpendiculare si perpendiculare pe directia de propagare C.

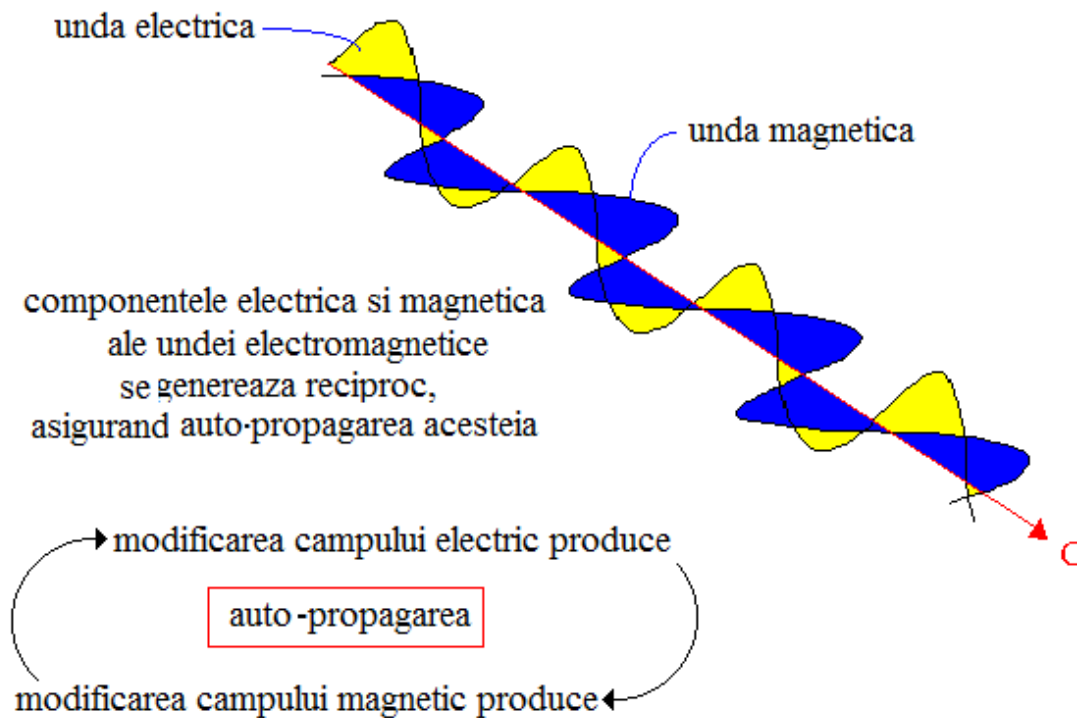


Fig.13 Propagarea unei electromagnetice

Proprietatea esentiala a acestei unde, este aceea de auto-generare (auto-propagare): in orice punct din mediul de propagare, o variatie a campului electric induce un camp magnetic, iar o variatie a campului magnetic, genereaza un camp electric. In Fig.14 este prezentata schema generarii campului electromagnetic in laborator, utilizand bobina circulara Helmholtz:

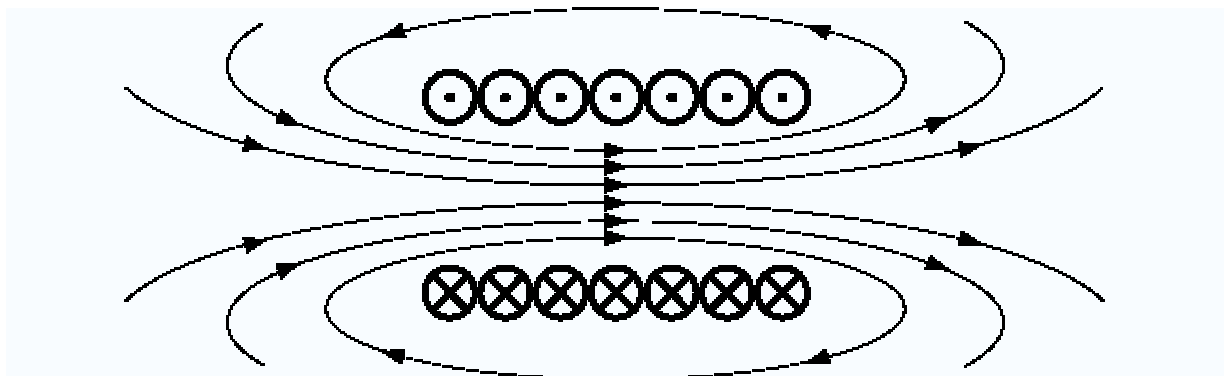


Fig.14 Auto-generarea campului electromagnetic

Generarea mutuala a campurilor electric si magnetic este un proces guvernata de actiunea a doua legi fundamentale ale electromagnetismului:

- **Legea lui Ampère:** Un curent electric liniar (marcat prin ceruculete) genereaza un camp magnetic ale carui linii sunt circulare, intr-un plan perpendicular pe directia curentului (pe orbitele circulare, sagetile indica sensul campului magnetic). Intensitatea campului magnetic depinde de intensitatea curentului electric liniar (pentru detalii legate de relatia intensitate-putere, vezi **Anexa 2**).
- **Legea inductiei electromagnetice:** Intr-un conductor plasat in camp magnetic variabil in timp, se induce o tensiune electrica numeric egala si de semn schimbat, cu viteza de variatie a fluxului campului magnetic.

In mediul natural al organismelor vii, exista insa campuri naturale, datorate structurii si temperaturii planetei Pamant si structurii atmosferei terestre. Prin efectele sale, campul magnetic terestru este cunoscut inca din antichitate.

Campul magnetic terestru este echivalent campului magnetic al unui magnet cu polul nord in vecinatatea polului nord geografic, iar polul sud in vecinatatea polului sud geografic(Fig.15).

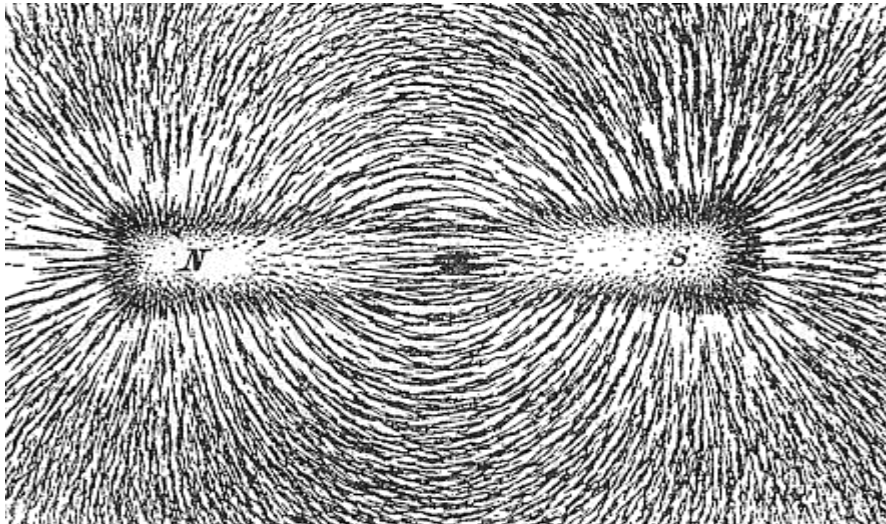


Fig.15 Campul magnetic al unui magnet permanent

La suprafata Pamantului, intensitatea campului magnetic este de  $\sim 30 \mu\text{T}$ .

In spatiul vital de la suprafata Pamantului, au loc variatii periodice, cu frecvente foarte joase, ale amplitudinii acestui camp.

**Rezonantele Schumann (SR)** sunt oscilatii electromagnetice globale de tip **unda stationara**, excitate de descarcarile luminoase (fulgere) in cavitatea formata de suprafata Pamantului si ionosfera. Aceasta cavitate se comporta ca un rezonator la frecvente ultra-joase (ELF) si amplifica semnalele spectrale la aceste frecvente. Prin analogie cu cavitatea ideala, frecventa modului rezonant  $n$ ,  $f_n$ , este data de formula:

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)}$$

unde  $a$  este raza Pamantului, iar  $c$  este viteza luminii.

Rezonantele Schumann au loc la frecvente situate in domeniul spectral ELF, 3-69 Hz si apar ca picuri distincte la frecventele 7.83, 14.3, 20.8, 27.3 si 33.8 Hz [6].

Prezenta acestor oscilatii ale campului magnetic natural in spatiul vital al organismelor vii, le influenteaza comportamentul. Astfel, oscilatiile la frecventa de ~7.8 Hz sunt implicate in structura ciclului biologic al plantelor, animalelor si al organismului uman [7,8].

***De asemenea, trebuie remarcat ca domeniul frecventelor rezonantelor Schumann, se suprapune domeniului frecventelor undelor cerebrale.***

Efectele interactiunii ELM-ELF cu organismele vii, depind de intensitatea campului. Astfel, se pot distinge doua categorii de efecte:

- ✓ **efecte termice:** acestea sunt produse de campuri intense (de exemplu campurile produse la descarcarile electrice din atmosfera prin fulgere, efectul termic al curentilor intensi concretizat prin carbonizare); efectele termice sunt distructive pentru organismul viu;
- ✓ **efecte atermice:** acestea se produc la interactia cu campuri de intensitate mica, concretizata in schimb de energie intre camp si organism; energia inmagazinata de organism se regaseste in bilantul proceselor biologice.

#### **IV. Rezultate comparative EA-EEG**

(comentariul apartine autorului)

***Electro-acupunctura (EA)*** este o metoda terapeutica ce utilizeaza un ELM artificial.

Raportarea la terapia prin EA in acest capitol, are urmatoarea semnificatie:

- ✓ prin EA, organismul este pus sub influenta unui ELM generat din exterior;
- ✓ rezultatele terapeutice ale EA se evidentiaza in modificari ale mecanismelor care controleaza activitatea electrofiziologica a creierului, puse in evidenta pe EEG, constituind astfel un instrument de masura a influentei ELM asupra activitatii creierului. De asemenea, rezultatele EA se coreleaza cu raspunsul fiziologic al creierului, la ELM (componenta magnetica) natural al Pamantului, via rezonantele Schumann.

***Electro-acupunctura (EA)*** este o metoda terapeutica ce utilizeaza un ELM artificial. Aplicarea ELM pe piele se face prin contacte punctiforme (ac sau electrod subtire) in puncte de impedanta minima, situate in lungul unor trasee numite meridiane de acupunctura. Rezistenta electrica DC (in curent continuu sau alternativ de foarte joasa frecventa) a pielii este ~(200k $\Omega$ -2M $\Omega$ ), iar in punctele de acupunctura este <50 k $\Omega$ . De asemenea, diferenta de potential de repaus al stratului epidermei, este de 20 la 90 mV, in timp ce in punctele de acupunctura, aceasta diferenta este cu ~5mV mai mare [9].

In experimentul descris, s-a aplicat un ELM-ELF generat de o bobina circulara Helmholtz, cu componenta camp magnetic de ~20  $\mu$ T, pe un meridian de acupunctura, si s-a urmarit influenta asupra undelor EEG (manifestate prin modificari de forma, frecventa si amplitudine, pe trasee EEG).

In experiment s-au efectuat masurari specifice EA:

- ✓ de functie de transfer (evaluarea puterii absorbite);
- ✓ de identificare a frecventelor de rezonanta (pozitiile picurilor de absorbtie),

iar in acelasi timp, s-au efectuat inregistrari de trasee EEG, cu un sistem de 16 electrozi pe scalp.

### Rezultate EA cu semnificatie terapeutica

EA este o modalitate de receptare a campului EMF artificial (extern). Determinarile cantitative au evidentiat doua rezultate terapeutice remarcabile:

- la frecventa de 2Hz, ELM-ELF absorbit declanseaza eliberarea neurohormonilor enkephaline si endorphine care controleaza calea transiterii interneurale;
- la frecventa de 100Hz, declanseaza eliberarea dynorphine si a altor neurohormoni care, in cuplaj cu proteina G, inhiba curentul de rectificare inward in canalele de potasiu;

Aceste rezultate conduc la urmatoarele concluzii:

- ✓ Rezonantele cu ELM extern pot fi utilizate pentru stimularea sistemului nervos uman;
- ✓ ELM-ELF poate fi utilizat in terapia de normalizare (regularizare) a comportamentului uman.

In Fig.16 sunt prezentate sintetic rezultate cantitative (EEG procesat) inregistrate concomitent cu semnalele de acupunctura.

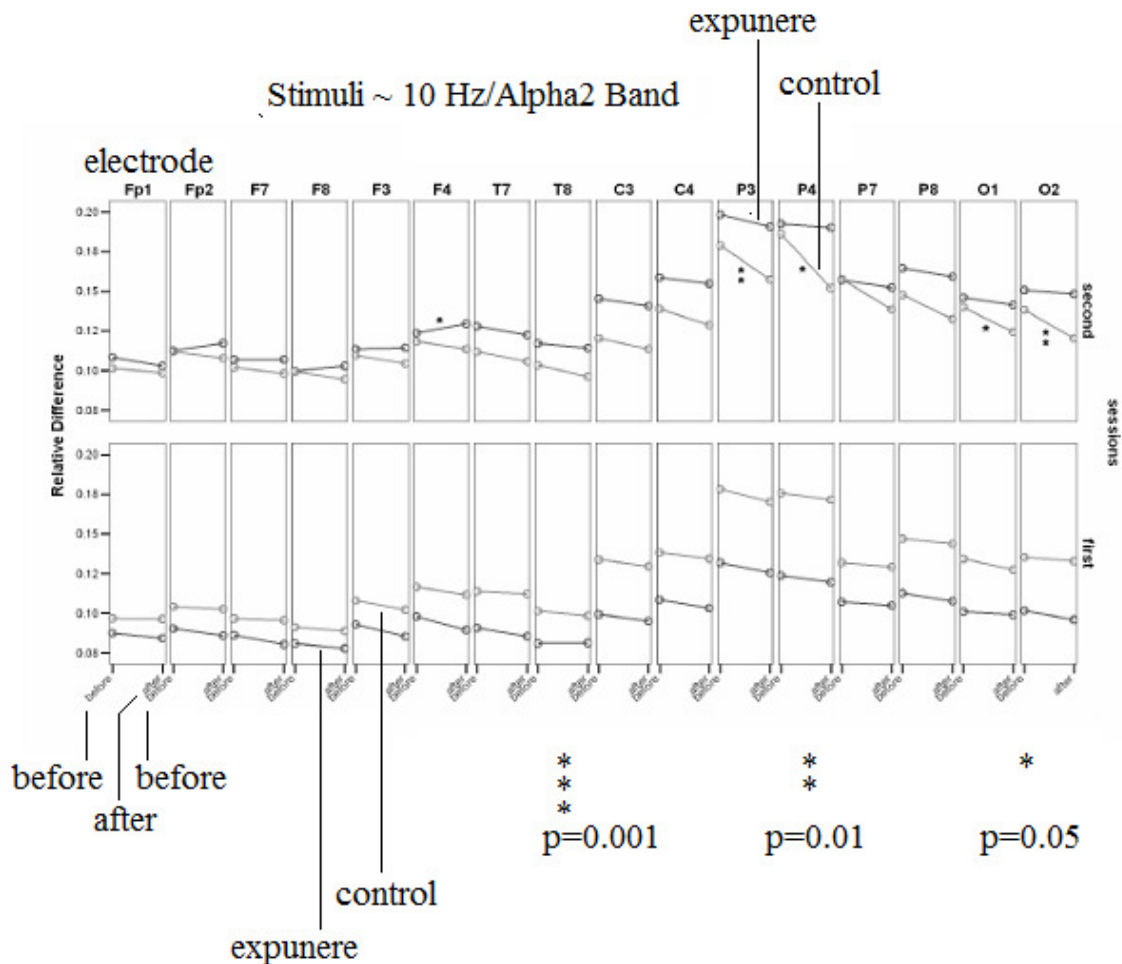


Fig.16.Modificari cantitative EEG induse de ELM (preluata din [9] cu modificari)

**Ana IOANID. Fundamente multidisciplinare ale neurofeedback-ului.  
Aspecte biofizice si matamaticice**

In prima sesiune (sirul de coloane de jos, **first**):

Coloanele verticale reprezinta trasee EEG, culese cu 16 electrozi dispusi dinspre frontal, spre occipital. Latimea coloanei reprezinta timpul masurat de la momentul anterior **expunerii (before)** si pana dupa expunere (**after**). Semnalele contrast (de dedesubt) sunt inregistrate la expunere, iar cele cenusii (de deasupra), fara expunere (**control**).

In a doua sesiune (sirul de coloane de sus, **second**):

In aceleasi coloane, in aceleasi conditii, semnalul contrast este situat deasupra celui de control pentru toate traseele.

Parametrii urmariti in evolutia in timp, pe fiecare traseu EEG, sunt:

- Inainte/dupa expunere (before/after)
- Expunere/control
- Sesiuni succesive (first, second)

***Rezultatele analizei:***

In prima sesiune,

- ✓ semnalul la expunere este sub cel de control, pe toate traseele;
- ✓ ambele semnale scad lent, inainte/dupa expunere, pe toate traseele EEG;

In a doua sesiune,

- ✓ pe toate traseele, semnalul la expunere este superior celui de control;
- ✓ in zona frontala, Fp2,F8,F4, in zona parietala P3,P4,P7,P8 si in zona occipitala O1,O2, semnalul la expunere creste in sensul inainte/dupa expunere, in timp ce semnalul de control scade;
- ✓ modificari marcante apar in zona parietala si occipitala;
- ✓ rezultatele sunt validate statistic, pentru diferite praguri de semnificatie (\*\*\*)  $p=0.001$ ), (\*\*  $p=0.01$ ), (\*  $p=0.05$ ).

In Fig.17 sunt sumarizate rezultatele privind functia de transfer, atat pe trasee EEG, cat si pe meridiane EA; rezultatele provin din surse diferite, asa cum este specificat in legenda. Pentru completitudine, sunt marcate intervalele de frecventa pe care se inregistreaza rezonante Schumann in campul magnetic natural al mediului.

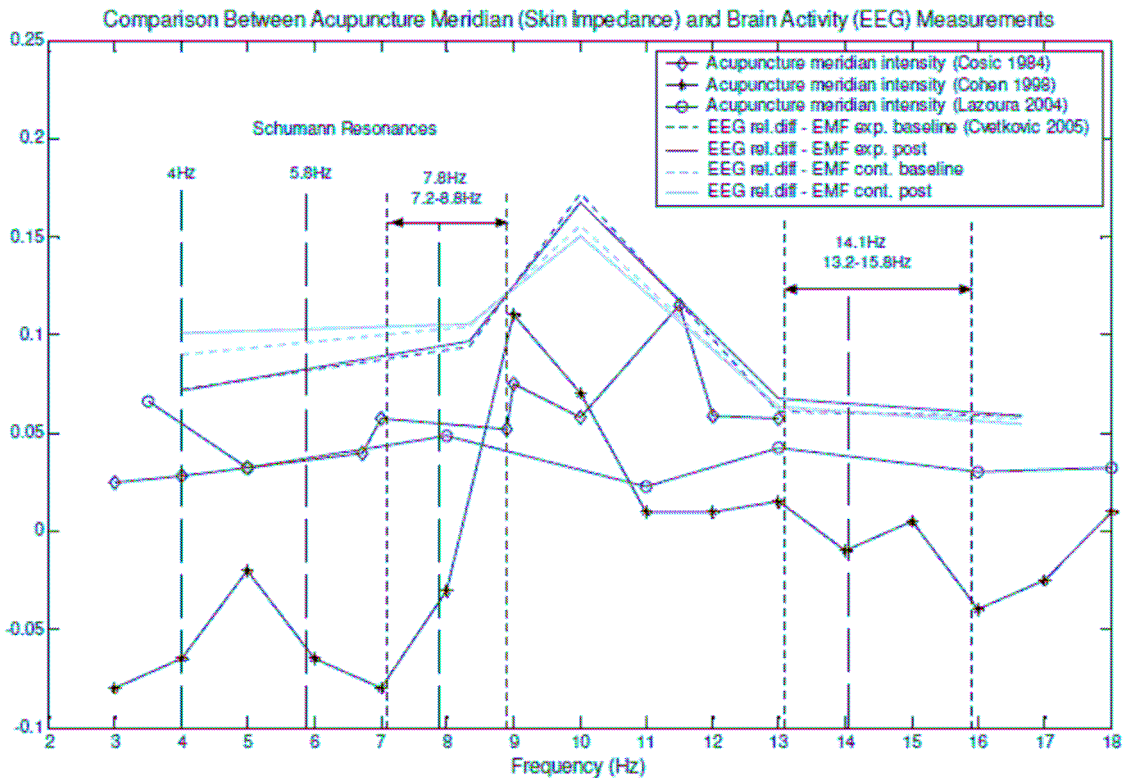


Fig.17. Functia de transfer; comparatie intre tehnicile EA si EEG (preluata din [9])

Din analiza acestor rezultate, se pot stabili cateva concluzii:

- ✓ in ambele inregistrari, EA si EEG, absorbtia rezonanta are loc in acelasi interval spectral, 9-13Hz (unde cerebrale alfa);
- ✓ functia de transfer este mai eficienta (putere absorbita mai mare in inregistrările EEG);
- ✓ domeniile spectrale pe care are loc absorbtie de putere, contin frecventele rezonantelor naturale Schumann;

Concluzia acestui studiu se poate formula astfel:

- **Rezultatele EA si EEG confirma proprietatea corpului uman de a detecta, de a absorbi si de a raspunde (prin transfer de energie) la actiunea ELM-ELF natural si artificial.**

**Pe de alta parte, activitatea fiziologica a creierului concretizata in undele cerebrale si cuantificata prin hartile topografice spectrale, este o sursa de camp electromagnetic de joasa frecventa.**

Pentru practica NFT, aceasta constatare permite largirea gamei dispozitivelor utilizate pentru antrenament, precum si a formelor de feedback.

Ca fizician, pot imagina urmatoarele aplicatii:

- ✓ utilizarea **efectului de inductie mutuala** intre circuitul semnalului cerebral (QEEG) transmis pacientului si cel al unui semnal extern, de frecventa si amplitudine dorite a fi atinse prin training. In fenomenul de inductie mutuala, cele doua circuite isi modifica reciproc parametrii, pana la starea de cuplaj mutual optim. Parametrul NFT urmarit a fi imbunatatit ar

**Ana IOANID. Fundamente multidisciplinare ale neurofeedback-ului.  
Aspecte biofizice si matamaticice**

putea controla coeficientul de cuplaj mutual. "Jocul" de antrenament ar putea consta in alegerea rapida a unor culori sau numere care codifica (intr-o anumita scara) frecventa si amplitudinea semnalului extern, iar "scorul" ar putea fi o imagine sau un calcul, asociate cu conditia de cuplaj optim. Cuplajul mutual este neinvaziv pentru pacient;

- ✓ utilizarea *compunerii celor doua semnale* si utilizarea proprietatilor *figurilor Lissajous* (vezi **Anexa 1**). Tipul de figura Lissajous depinde de raportul frecventelor si amplitudinilor celor doua semnale. In acest caz, parametrul NFT urmarit a fi imbunatatit ar putea controla conditia de obtinere a unui anume tip de figura Lissajou. Antrenamentul ar consta in variatia frecventei si amplitudinii semnalului extern, in acelasi mod ca in propunerea precedenta, iar scorul ar fi obtinerea figurii stabilite prin protocol. Procedeeul este neinvaziv si se preteaza transmiterii QEEG-video.
- ✓ utilizarea actiunii de *adaptare a ritmului* de cuplare/ decuplare electromagnetica a circuitului electric al unui semnal extern la frecventa cerebrala care trebuie corectata. Parametrul NFT de corectat ar fi frecventa unei unde cerebrale, codificata in numar de inchidere/deschidere a unui circuit extern sau in sunete emise pe aceasta frecventa. Antrenamentul ar consta in manevrarea unui buton ON/OFF (eventual prin comutarea intre doua campuri de culoare), de un numar de ori stabilit prin protocol, in timp de o secunda, iar scorul ar putea fi confirmarea prin afisare a rezultatului (cand este acceptabil).

### **Concluzii**

- NFT este o metoda de neuroterapie relativ noua, fundamentata pe un suport stiintific multidisciplinar: biologie, psihologie, medicina, fizica, chimie, matematica, inginerie, informatica.
- Primele trei discipline, aduc contributii prin aplicarea in practica specifica, a acestei terapii, pe un numar crescand de cazuri, ceea ce permite sistematizarea, clasificarea rezultatelor si imbogatirea normativelor de tratament. Stiintele exacte ofera instrumente de evaluare stiintifica cantitativa a activitatii cerebrale, precum si dispozitive de masura, control si autocontrol prin feedback, ale parametrilor semnalului fiziologic cerebral. Ca practica terapeutica, NFT se afla intr-o faza de acumulare de fapte, partial structurate, raportate la normativele existente. O teorie coerenta a metodei va putea fi elaborata cand stiintele, in corpore, vor fundamenta mecanismele de integrare a partenerului lor, CREIERUL, in bucla neurofeedback-ului.
- NFT este o terapie adjuvanta celei clinice medicale, interactiva terapeut-pacient, cu rezultate in corectarea constienta a comportamentului in diverse stari: de sanatate, in vederea cresterii performantei, sau de maladie, pentru vindecare.

### **Referinte**

[1] **Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback**, Edited by James R.Evans and Andrew Abarbanel, Part I, 1: *An Overview of quantitative EEG and its Applications to Neurofeedback*, by David S. Cantor, Edited by James R.Evans and Andrew Abarbanel, Academic Press 1999;

[2] **Neuroguide** , Robert Thacher, Ph.D., (2002) <http://www.appliedneuroscience.com>;

[3] *Measurement of the amplitude and phase of ultrashort light pulses from spectrally resolved autocorrelation*, Paye, J., Ramaswamy, M., Fujimoto, J.G., and Ippen, E.P., IEEE J. Quantum Electron., 1992, 28, 2262-2273;

[4] *Focal epileptiform spikes in conjunction with k-complexes*, Geyer, J.D., Carney, P.R., Gilliam, F., J. Clin Neurophysiol., 2006 Oct; 23(5):437-440;

[5] **Handbook of Neurofeedback. Dynamics and Clinical Applications**, edited by James R. Evans, Section II, pag.38: *Brain organization in the timing and frequency domains*, by Siegfried Othmer, Academic Press 2007;

[6] *Review of Russian Literature on Biological Action of DC and Low-frequency AC Magnetic Field*, Zhadin, M.N., Bioelectromagnetics, Vol.22, pp.27-45, 2001;

[7] *Biological Magnets in the human Brain: Could Magnetite Mediate Health Effects on Electromagnetic Field*, IEEE Power Engineering Reviews, August, vol.13-14, 1992;

[8] *Natural Radiation and its effects on biological system*, Kinotke, S., Naturheilpraxis mit Naturmedizin, Pflaum Verlag, (CD ROM), 2000;

[9] *Human Electrophysiological Signal Responses to ELF Schumann Resonance and Artificial Electromagnetic Fields*, Irena Ćosić, Dean Cvetković, Qiang Fang, Emil Iovanov, Harry Lazoura, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, (2006), 34, 93-103.

## **Anexa 1**

Figurile Lissajous sunt curbe inchise obtinute prin compunerea a doua functii armonice de timp; daca cele doua functii descriu doua semnale electrice (sau mecanice), atunci compunerea se poate realiza si vizualiza cu ajutorul unui osciloscop. Cu notatiile aplicatiei indicate mai jos, aceasta procedura se poate realiza astfel: pe axa X a osciloscopului, se conecteaza semnalul x, cu amplitudinea A si frecventa B, iar pe axa Y, semnalul y cu amplitudinea C si frecventa D. Figura obtinuta se modifica in functie de raportul amplitudinilor (C/A) celor doua semnale si in functie de raportul frecventelor, (B/D).

In Fig.1A. este ilustrata modificarea figurii Lissajous la modificarea amplitudinii semnalului y, iar in Fig.2A., la modificarea frecventei semnalului y.

Undele EEG sunt descrise de asemenea functii, cu amplitudini si frecvente asociate starii fiziologice normale, respectiv starii functionale curente (care poate evidenta o alterare fata de starea normala);

Se poate imagina urmatorul experiment:

-se spliteaza semnalul EEG inregistrat, in EEG-control si EEG-subiect;

-se conecteaza la INPUTUL X al osciloscopului, un semnal EEG-normal, catre care se doreste evolutia prin NFT, iar la INPUTUL Y, semnalul EEG-control din inregistrarea curenta;

-protocolul NFT se poate alege in asa fel incat antrenarea EEG-subiect, (si deci EEG-control) sa duca la modificarea amplitudinii acestuia la frecventa EEG-normal, sau a frecventei acestuia la

amplitudinea EEG-normal; evolutia figurii Lissajous poate fi urmarita direct pe ecranul osciloscopului, sau transpusa in conditionarea operanta.

Pentru exercitiu, se poate manevra aplicatia Java, din Linkul:

<http://www.waldomaths.com/Param1N.jsp>

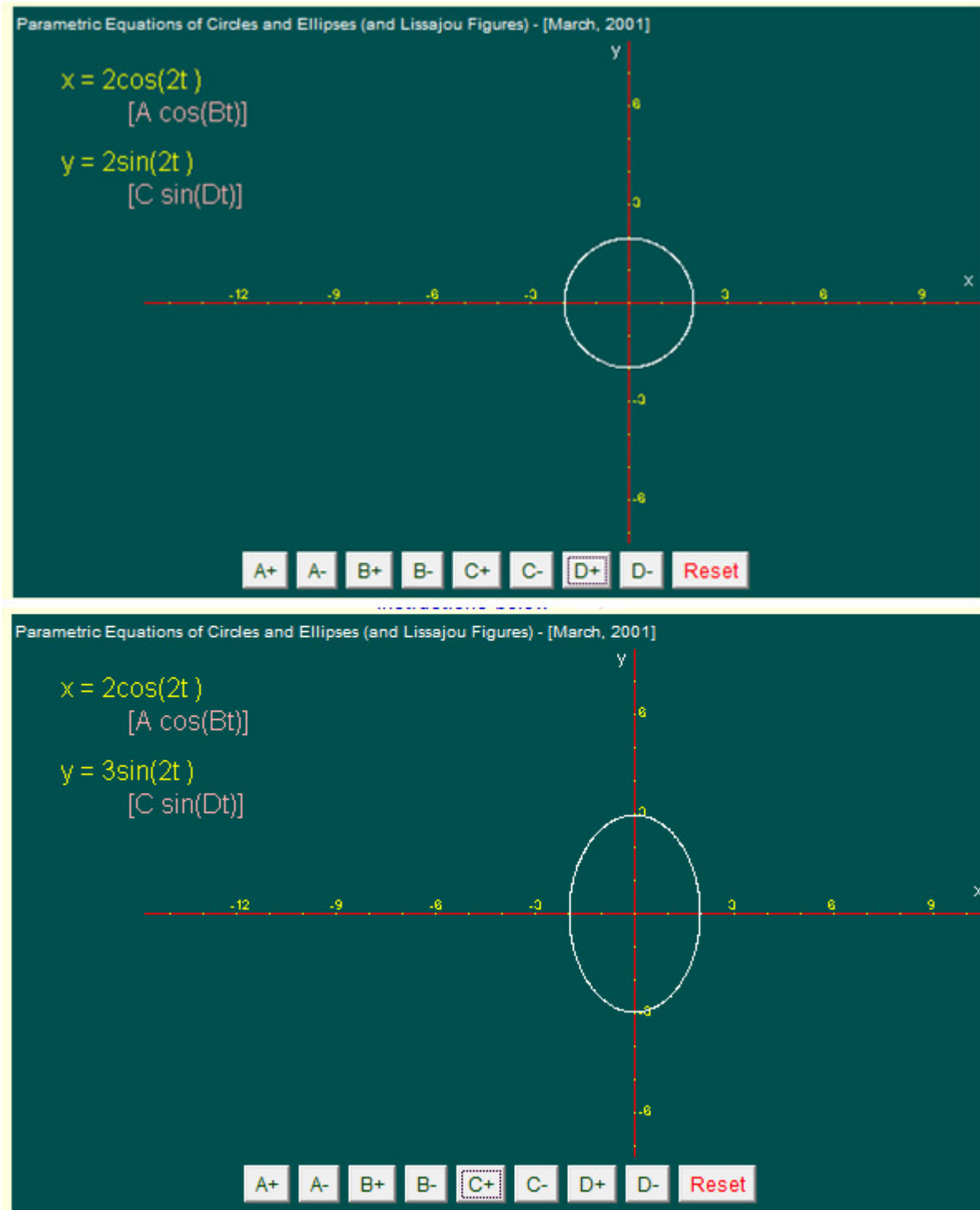


Fig.1A. Modificarea figurii Lissajous de la cerc (sus, raportul amplitudinilor semnalelor  $C/A=2/2=1$ ), la elipsa (jos,  $C/A=3/2$ ).

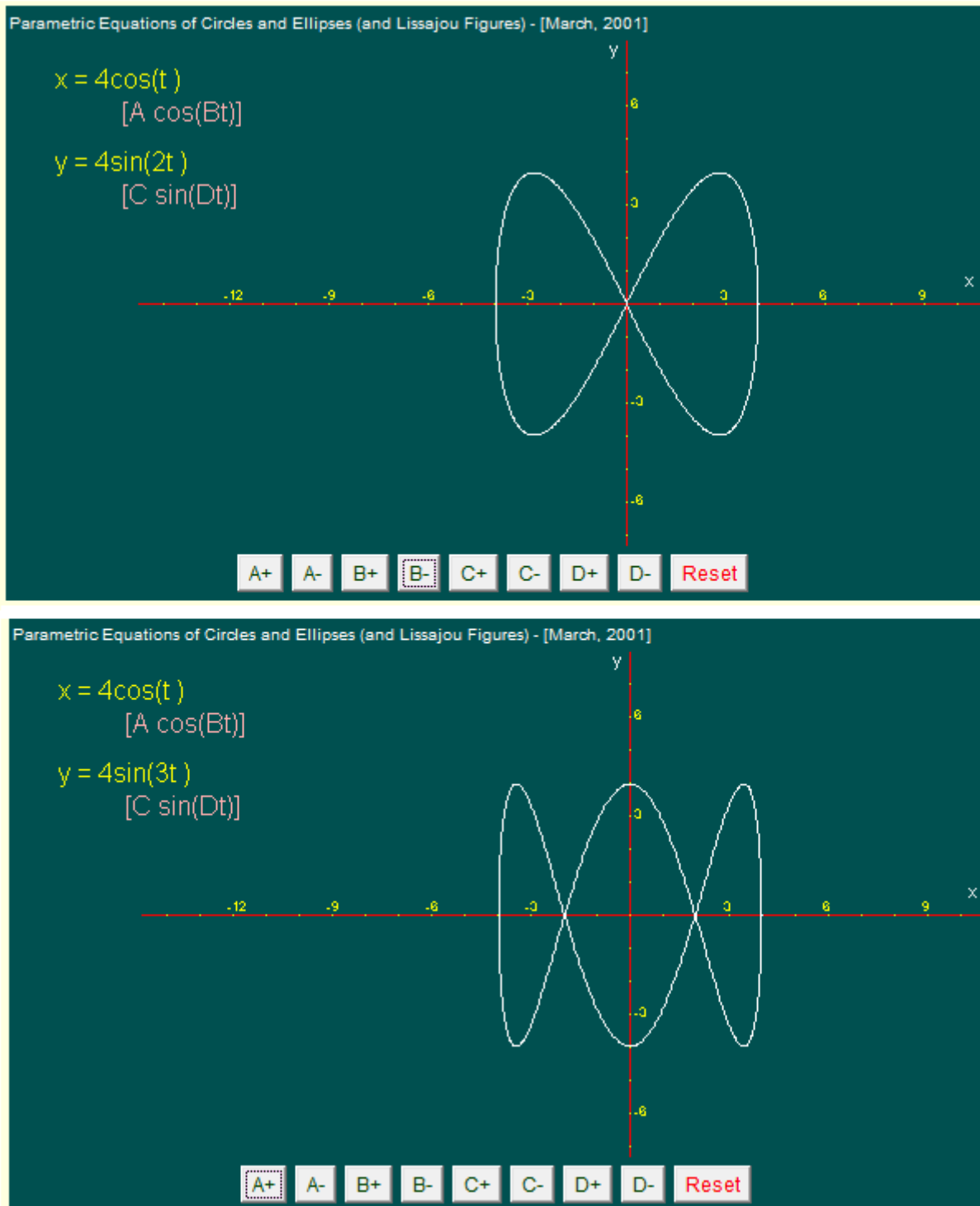


Fig.2A. Modificarea figurii Lissajous la modificarea frecventei semnalului y, de la  $D/B=2/1=2$ , la  $D/B=3/1=3$ .

## Anexa 2

**Intensitatea** este o masura a campul electric generat de o sursa (in Fig.13, unda electrica-galbena si unda magnetica-albastra, reprezinta intensitatea campului electric, respectiv magnetic); desi fenomenologica, intensitatea campului nu este o marime accesibila masuratorii directe; ceea ce se poate masura, este diferenta de potential dintre doua puncte din spatiul in care actioneaza campul.

Activitatea electrofiziologica a creierului reflecta proprietatea acestuia de a genera camp electric (in general, electromagnetic).

In inregistrările EEG, marimea masurata este **amplitudinea** diferentei de potential intre perechi de puncte, marcate de pozitiile electrozilor; aceasta se masoara in unitati de tensiune, volti-V in SI, respectiv milivolti-mV ( $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ ) sau microvolti- $\mu\text{V}$  ( $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ ), pentru semnalele EEG si are o dependenta oscilatorie de timp, descrisa grafic de traseele EEG.

In reprezentările QEEG, se exprima spectrul de putere al acestei oscilatii (energia pe unitatea de timp ca functie de frecventa de oscilatie; **energia** oscilatiei este proportionala cu patratul amplitudinii);

Relatia dintre cele doua reprezentari se exprima prin transformata Fourier a functiilor de interes, intre domeniile timp-frecventa.

Astfel, o functie oscilatorie de timp, intr-o banda de frecventa  $\Delta$ , se poate exprima astfel:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\Delta} Z(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Iar transformata sa Fourier (sau spectru energetic al oscilatiei) intr-un interval de timp caracteristic T, are expresia:

$$Z(\omega) = f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T f(t) e^{-i\omega t} dt$$

In cazul studiului activitatii electrofiziologice a creierului, f(t) exprima semnale EEG, iar Z( $\omega$ ) exprima valori QEEG.