

POTE Élettani Intézet, Department of Psychology,  
University of Illinois of the Chicago Circle

A teljesítményspektrum analízis jelentősége és  
korlátai magatartási kísérletekben végzett EEG  
vizsgálatok értékelésénél

Karmos György, Ernst W. Kent

A központi idegrendszeri mechanizmusok elektrofiziológiai módszerekkel történő kutatásánál egyre inkább követelmény, hogy a megfigyelt elektromos változásokat kvantitatív módon írjuk le. Elengedhetetlen ez ahhoz, hogy a vizsgált biológiai rendszer regulatív sajátosságait objektíven jellemezhesük.

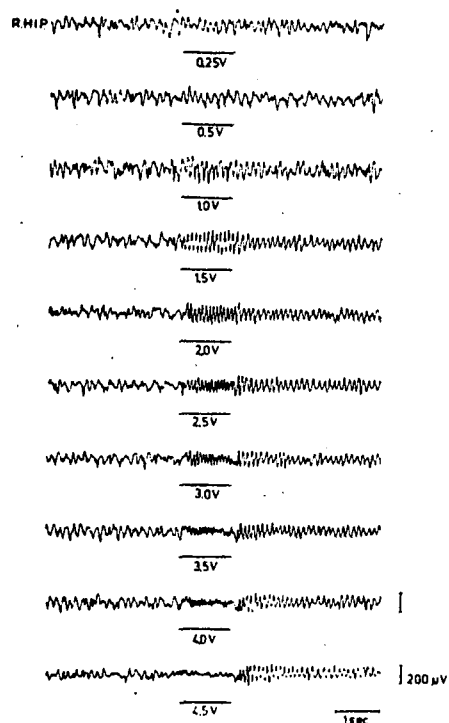
Az EEG tevékenység frekvencia és amplitudó jellemzőinek leírására a klasszikus terminológia a szinkronizáció (nagy amplitudójú lassu hullámok) és deszinkronizáció (szapora kis amplitudójú tevékenység) kifejezéseket használta. Az agyi elektromos tevékenység kvantitatív elemzése csak számítógépes módszerek alkalmazásával lehetséges. Az EEG periódikus komponenseinek vizsgálatára a teljesítményspektrum analízis bizonyult legeredményesebbnek. A spektrum analízis igen hatásos adatredukciót tesz lehetővé, nem kellően megfontolt alkalmazása azonban téves biológiai következtetésekre vezethet. Előadásunkban saját kísérleti adataink kapcsán kívánjuk a rendszer előnyeit demonstrálni, illetve felhívni a figyelmet egy, a spektrum analízisnél széles körben alkalmazott matematikai eljárás, a normalizálás veszélyeire.

Grastyán és munkatársai 1966-ban írták le, hogy krónikus macska kísérletekben a hypothalamus számos pontjának elektromos ingerlésekor a hippocampus EEG tevékenységében jellegzetes változások figyelhetők meg. Azt tapasztaltuk, hogy alacsony intenzitású ingerlések nagy amplitudója lassu hullámokat, magasabb intenzitású ingerlések deszinkronizációt váltottak ki a hippocampusban. Tekintve, hogy a hippocampus elektromos tevékenységének változásai és az állat magatartási reakciói között szoros összefüggést tapasztaltunk, valószínűnek látszik, hogy hypothalamo-hippocampalis rendszerben megfigyelt intenzitás-frekvencia transzformáció alapvető regulációs jelentőséggel bír. Ismertetésre kerülő kísérleteink célja ezen mechanizmus kvantitatív elemzése volt.

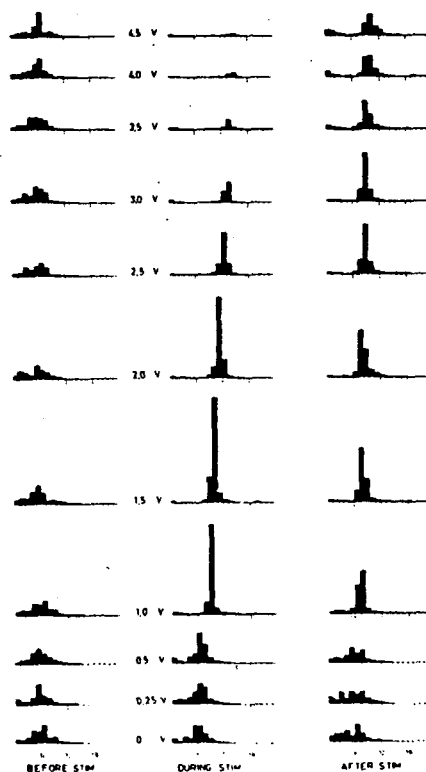
Kísérleteinket az Illinois Egyetem Pszichológiai Intézetének pszichológiai laboratóriumában végeztük. Krónikusan implantált elektródokon keresztül végzett elektromos ingerlésekkel vizsgáltuk meg patkányokon a hypothalamus különböző pontjainak a hippocampus elektromos tevékenységére gyakorolt hatását. A kísérleti program összeállításakor célként tűztük ki, hogy a megfigyelt változásokat statisztikai feldolgozásra alkalmas formában kell megkapni. Ez a követelmény részben korlátozta a kísérleteket, elsősorban magatartási szempontból, előnyös volt azonban az EEG változások értékelése szempontjából. A spektrum analízis alkalmazásánál a biológiai oldalon két gyakorlati probléma adódik. Reprezentatív minta analízise esetén a mintaválasztás problémája, azaz, hogy a választott görbeszakasz stacioner-e és kellően jellemzi-e a vizsgálni kívánt jelenséget. Ezt a problémát többszörös mintavétellel lehet elkerülni, ez viszont a kísérlet és az adatfeldolgozás idejét meglehetősen megnyújtja.

Kísérleteinknél mégis ezt a megoldást választottuk. Az indifferens környezetben végzett ingerléseknél a küszöb-intenzitás meghatározása után általában 10-12 intenzitás-szintet jelöltünk ki, és véletlenszerű elosztásban 10-16 ingerlést végeztünk minden egyes intenzitással. Azért, hogy az ingerlések hatásait pontosan összehasonlíthassuk, minden esetben 1 másodperces elektromos ingerlést alkalmaztunk 100 imp/sec frekvenciával, 0,4 msec impulzusidővel. Az EEG elvezetések Beckman EEG-készülékkel történtek, a hippocampalis elektromos tevékenységet Hewlett-Packard mágneses adattárolón regisztráltuk. A spektrum analízist off-line üzemmódban végeztük a laboratórium PDP-12 típusu számítógépén úgy, hogy a számítógépbe tápláltuk az ingerlést megelőző, az ingerlés alatti és az azt követő másodpercben elvezetett hippocampalis elektromos tevékenységet. A teljesítményspektrum analízisnél a Burden Neurological Institute programját használtuk, amelyet a kísérlet speciális igényeinek megfelelően módosítottunk. Egy kísérletben 300-500 spektrumot nyerünk. A gép az összetartozó spektrumok átlagait képezte, és a digitális plotter ezeket rajzolta ki.

Az 1. ábrán a patkány hippocampus elektromos tevékenységének hypothalamus ingerlés hatására bekövetkező változásait mutatjuk be. Az ingerlések időtartamát a vízszintes vonalak jelzik, és az egymás alatt következő görbéken az egyre nagyobb intenzitású ingerek hatása látható. Amint a 2. ábrán is látható, a hippocampalis elektromos tevékenységében 0,6 voltos ingerlésnél jelentkezett az első változás. Az inger intenzitását fokozva egyre kifejezettebb theta tevékeny-



1. ábra

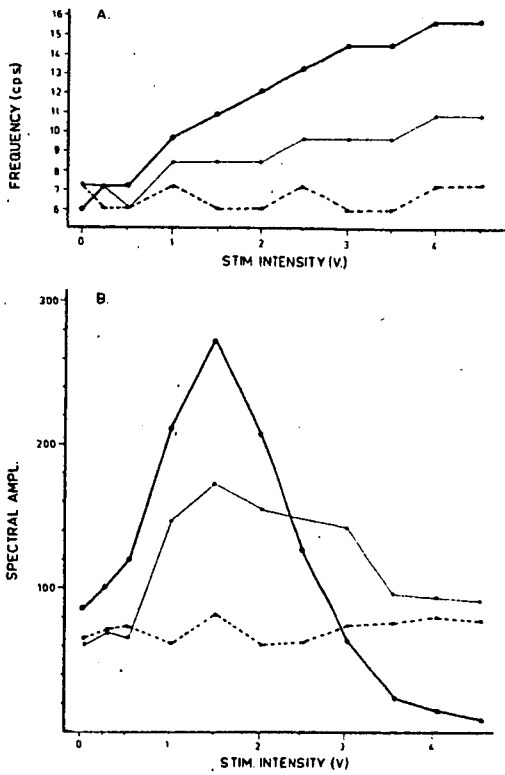


2. ábra

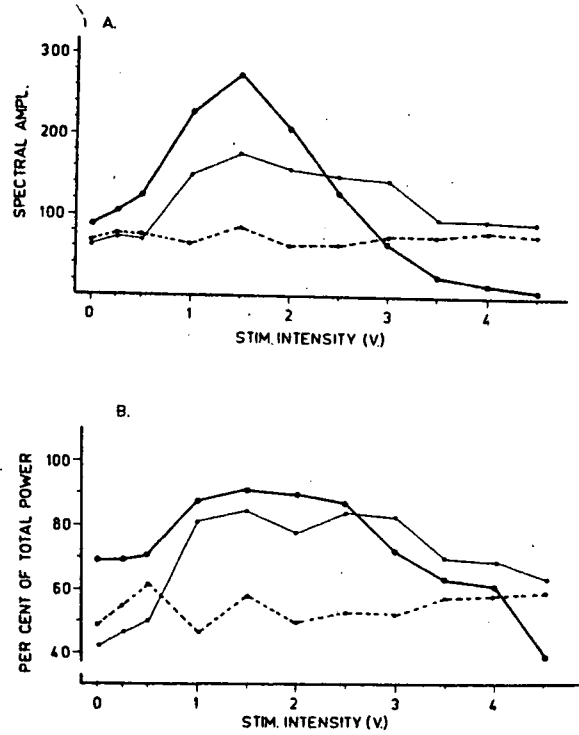
ség figyelhető meg, majd 2 Volt-tól kezdve fokozatos frekvencianövekedést és amplitudócsökkenést tapasztaltunk, tehát a klasszikus terminológiának megfelelően a hippocampus ak-

tivitása deszinkronizálódott.

A 2. ábrán az 1. ábrán látható kísérlet adataiból számított spektrumokat mutatjuk be. Legalul látjuk az ingerlés nélkül /O.V./ felett három, 1 másodperces szakasz spektrumát. A harmónikus ábrázolása 1-20 Hz-ig történt. Jelen esetben a spektrumokat 1,2 Hz. más esetekben 1 Hz. felbontással ábrázoltuk. Láthatjuk, hogy 0,5 voltos ingerlésnél az amplitudó növekedés a 6 cps. tartományban van. Jól megfigyelhető, hogy az ingerlés intenzitásával arányosan a csucskok fokozatosan egyre magasabb frekvenciák felé tolódtak. A maximális amplitudóju csucst 1,5 voltnál találtuk, ezután az amplitudók csökkentek, és amint az 1. ábrán láttuk, igen jelentős deszinkronizáció következett be. Természetesen a hatásokat grafikusán kívántuk ábrázolni, hogy a változások dinamikáját elemezhesük. Az 1 Hz felbontásu spektrumok esetében amplitudóméréseknél nem elegendő csak a maximális amplitudóju harmonikust figyelembe venni, mert esetenként a szomszédos csucskok is jelentős amplitudót képviselnek, ha pl. a domináns aktivitás frekvenciája a két érték közé esik. Ezért programot dolgoztunk ki, amely az egyes ingerintenzitásokhoz tartozó spektrumokból automatikusan kigyűjtötte a legmagasabb amplitudóju harmónikus és a két szomszédos harmónikus amplitudóit, átlagot képzett is a standard deviációt is megadta. A különböző ingerintenzitásokhoz tartozó adatokat a számítógép táblázatba rendezte. Az eljárást "triplet" képzésnek neveztük, és segítségével megbízható frekvencia és amplitudó értéket kaptunk.



3. ábra



4. ábra

A 3. ábrán a 2. ábrán bemutatott spektrumokból számított amplitudó és frekvencia változásokat az ingerintenzitás függvényében ábrázoltuk. A pontozott vonal az inger előtti,

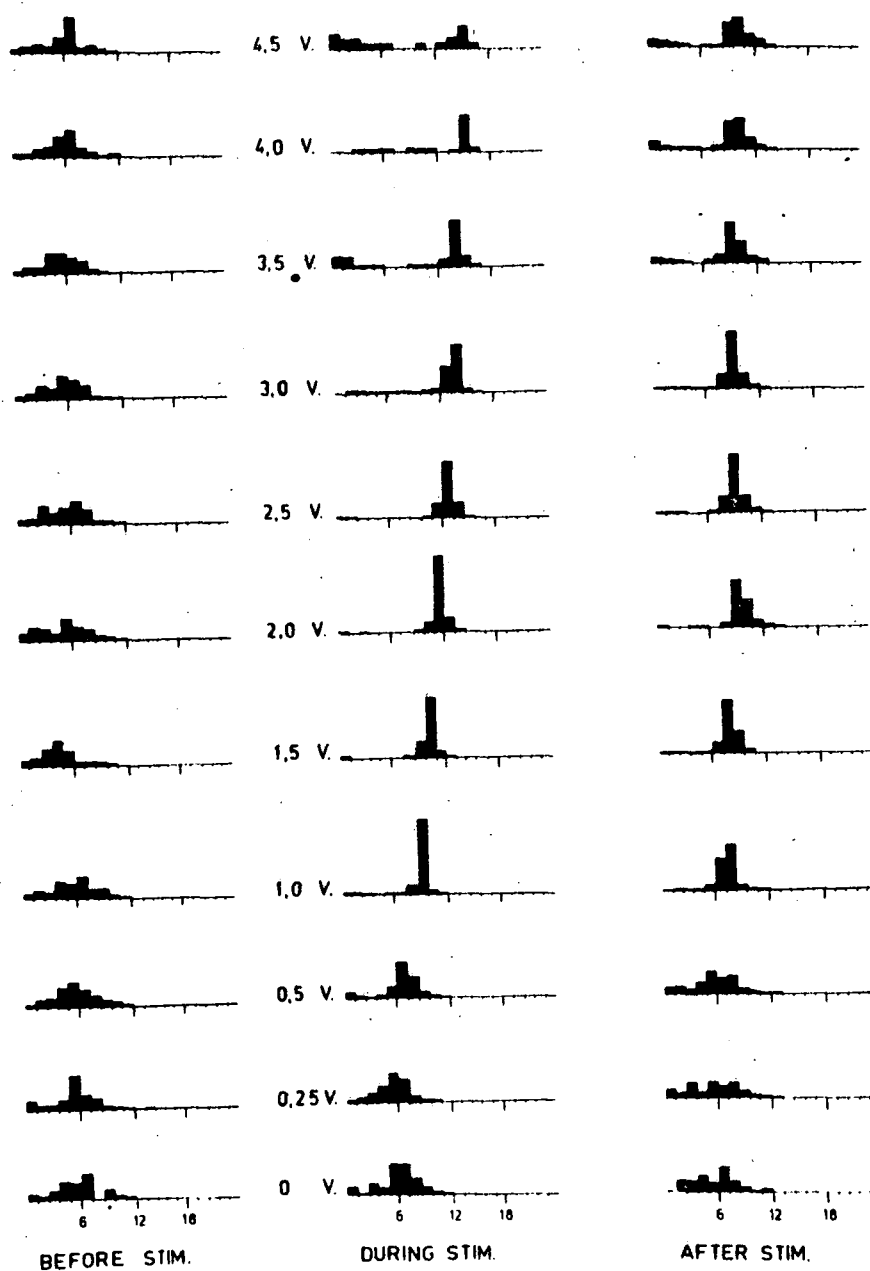
a vastag vonallal kihuzott görbe az ingerlés közben, a vékony vonallal kihuzott görbe pedig az utóhatások alatt bekövetkezett változásokat mutatja. Jól láthatjuk, hogy az amplitudó az inger-intenzitás fokozásakor először nő, majd meredeken csökken /3. ábra B/. Ha a frekvencia változásokat vizsgáljuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy az elektromos tevékenység frekvenciája az ingerlés intenzitásával arányosan növekedett, függetlenül attól, hogy, hogy amplitudó növekedés, majd csökkenés következett be. A kontrol szakaszban nincs értékelhető változás, az utóhatás alatt viszont határozott frekvencia-növekedés tapasztalható magasabb ingerintenzitásoknál.

A spektrális amplitudó változásainak ilyen ábrázolása nem szokásos. Az egyes harmonikusok értékeit általában a spektrumok normalizálása után a teljes teljesítmény százalékában szokták feltüntetni.

Ezt az ábrázolási módot mutatja a 4. ábra, ugyancsak az előző ábrákon bemutatott kísérlet adataiból számítva. Megállapíthatjuk, hogy itt a változások jelentősen torzítottak. A nem normált spektrum görbéken a maximális és minimális amplitudóju csucs közötti dinamika kb. 50-szeres volt. A normálás eredményeképpen a különbségek jelentősen lecsökkentek.

Az eredeti /A./ és normalizált /B./ spektrumok amplitudó változásait hasonlítja össze az 5. ábra. Jól látható, hogy a normalizálás éppen azokat a jellemző amplitudó eltéréseket tompította, amelyek a hippocampalis elektromos tevékenység változásaira jellemzőek, ezért a normalizálást kísérleteinknél nem alkalmazzuk.

A spektrum analízis segítségével meg tudtuk szerkesztani a hippocampalis elektromos tevékenység jellemző frekvencia amplitudó karakterisztikáját.

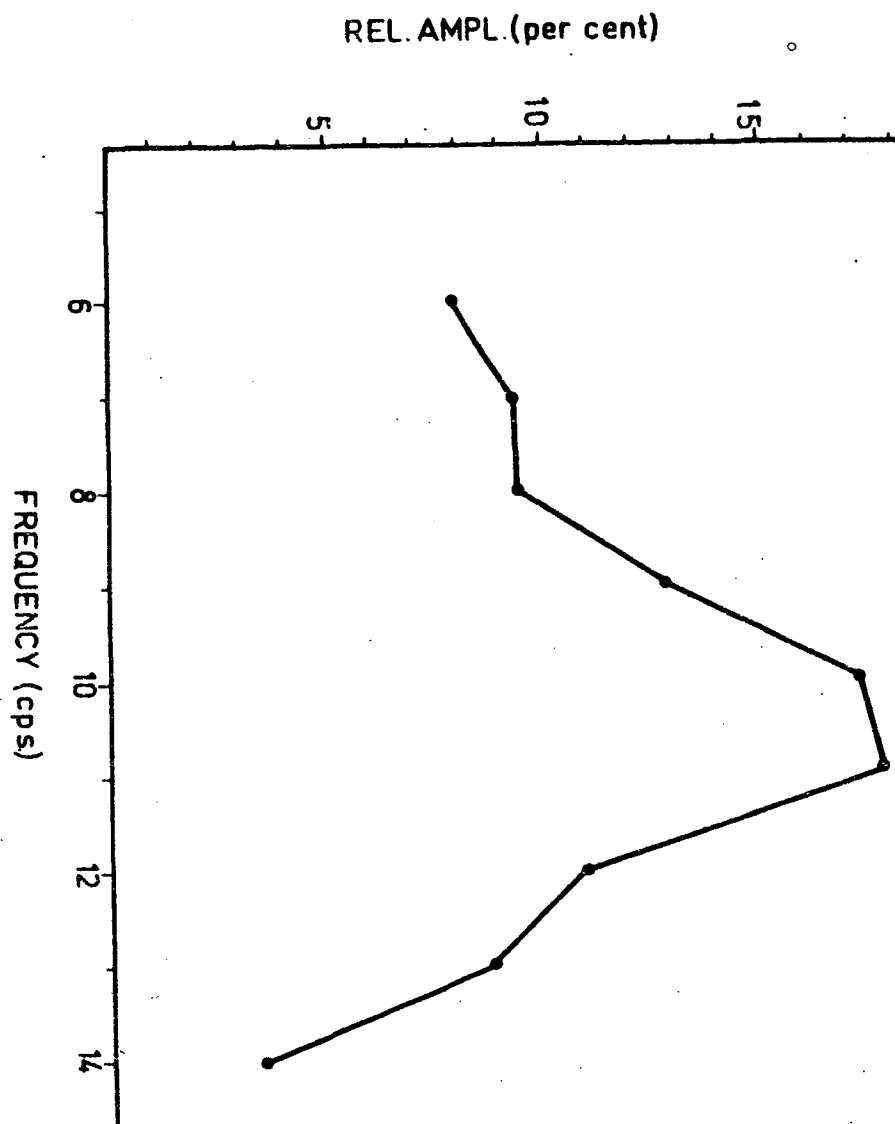


5. ábra

A 6. ábrán nyolc állatról nyert adatokból szerkesztett görbét láthatunk, amelyen azt ábrázoltuk, hogy különböző intenzitású hypothalamus ingerlések alatt regisztrált domináns frekvencia sávokhoz milyen amplitudó értékek tartoztak.



Azt találtuk, hogy 10 cps. értékig a hullámok amplitudója növekedett, ezen érték felett meredeken csökkent.



6. ábra

Adatainkból azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a hypothalamus felől érkező afferens izgalom /input/ elsődlegesen a hippocampalis tevékenység frekvenciáját befolyásolja;

a hullámok amplitudóját pedig a hippocampalis neuronális körök belső tulajdonságai szabják meg. A görbe azt mutatja, hogy patkánynál a hippocampalis generátor rezonancia frekvenciája 10 Hz táján van. Amikor nagy intenzitású hypothalamus ingerlés a hippocampalis tevékenység frekvenciáját ezen érték fölé emeli, akkor a deszinkronizáció a hippocampalis generátor belső tulajdonságaiból adódóan jöhet létre.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a teljesítményspektrum analízis által nyújtott adatok lehetőséget adnak arra, hogy a hypothalamo-hippocampalis rendszer jellemző tulajdonságait jobban megértsük.

Fel kívánjuk hívni a figyelmet a spektrum analízisnél végzett normalizálás veszélyeire, amely eljárás a vizsgált elektromos tevékenység amplitudó viszonyait torzíthatja. Emberen végzett EEG vizsgálatoknál pl. a két agyfélteke aktivitása közötti amplitudó különbség diagnosztikus értékkel bír. Ilyen esetben a spektrumok normalizálása téves következtetésekre vezethet.