

Pannon Egyetem  
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek  
Tanszék  
Műszaki Informatikai Kar

## **DIPLOMADOLGOZAT**

Neuro-esztétikai alkalmazások

Béres Mónika

Témavezető: Dr. Vassányi István  
Külső konzulensek: Dr. Giovanni Vecchiato  
Dr. Fabio Babiloni

2013

Veszprém, 2013. október 09.

## **DIPLOMATÉMA-KIÍRÁS**

Béres Mónika

Mérnökinformatikus MSc szakos hallgató részére

Neuro-esztétikai alkalmazások

Témavezető: Dr. Vassányi István

Külső konzulensek: Dr. Giovanni Vecchiato, Dr. Fabio Babiloni,  
Univ. of Rome La Sapienza

A feladat leírása:

A kognitív folyamatok neurológiai tanulmányozása közelebb vihet a gondolkodási funkciók mélyebb megértéséhez. A feladat a különböző festmények nézése közben mért EEG alapján a különböző kognitív funkciókért felelős agyi régiók feltérképezése és az eredmények vizualizálása.

Feladatkiírás:

Dolgozza fel a neuro-esztétika szakirodalmát, a feladat szempontjából lényeges publikációkat!

Ismerkedjen meg az EEG-feldolgozás és –vizualizálás modern módszereivel!

Tervezzen és valósítson meg egy olyan Matlab alapú keretrendszert, mely alkalmas a festmények nézésére alapozott kísérlet mérési adatainak feldolgozására!

Dolgozza fel a mérési adatokat, és statisztikai módszerekkel tárja fel a vallási témájú képek, portrék és tájképek EEG rekordjai közötti különbségeket!

Értékelje az eredményeket!

## Nyilatkozat

Alulírott Béres Mónika diplomázó hallgató, kijelentem, hogy a diplomadolgozatot a Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszékén készítettem, a mérnök informatikus MSc diploma (MSc in Computer Science and Engineering) megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a diplomadolgozatomban lévő érdemi rész saját munkám eredménye, az érdemi részen kívül csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem, hogy a pályamunkámban foglalt eredményeket a Pannon Egyetem, valamint a feladatot kiíró szervezeti egység saját céljaira szabadon felhasználhatja.

Veszprém, 2013. november 26.

aláírás

Alulírott Dr. Vassányi István témavezető kijelentem, hogy a diplomadolgozatot Béres Mónika a Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek tanszékén készítette, a mérnök informatikus MSc diploma (MSc in Computer Science and Engineering) megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a diplomadolgozat védeésre bocsátását engedélyezem.

Veszprém, 2013. november 26.

aláírás

## **Köszönetnyilvánítás**

A következő sorokban szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik hozzájárultak a diplomamunkám elkészítéséhez:

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Vassányi Istvánnak a Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék egyetemi docensének az elméleti és gyakorlati tanácsokért, valamint Prof. Dr. Kozmann Györgynek és a külső konzulenseknek: Dr. Giovanni Vecchiato és Prof. Dr. Fabio Babiloni- nak, akik lehetővé tették, hogy pályamunkámat a Római La Sapienza Egyetemen végezhettem.

## ABSZTRAKT

A **neuroesztétika** egy viszonylag új tudományterület, mely neurológiai alapon próbálja megmagyarázni és megérteni az egyes művészi alkotások hatására kialakuló esztétikai élményt. A legtöbb ilyen jellegű vizsgálat esetében használható az fMRI (funkcionális mágneses rezonanciás képalkotás), a MEG (magneto-enkefalográfia) és az EEG (elektro-enkefalográfia). Mobilizálhatóság illetve költséghatékonyság szempontjából az EEG alkalmazása a legelőnyösebb. Az EEG egy olyan mérési eljárás, mely a neuronok valós idejű elektromos aktivitásának regisztrálására szolgál. Az ilyen jellegű vizsgálatok az agy kóros folyamatainak diagnosztizálását is segíthetik.

A kutatás célja az volt, hogy 30 egészséges kísérleti személy részvételével 2 festő képeinek neuronális esztétikai hatását keressük az agyban EEG mérések felhasználásával, valamint a különböző tematikájú képek hatásának agykérgi különbségeit felfedjük. Hipotézisünk az volt, hogy a különböző tematikájú képek más neurológiai hatással bírnak az agyi neuronális aktivitás tekintetében. Portré képek esetén az arcfelismerésért felelős területeket aktivitás növekedését vártuk a tájképek illetve a vallási képekkel szemben. Az EEG felvétele a Római Művészeti Galériában történt. A 25-25 egészséges kísérleti személy (átlagéletkor: Tiziano esetében  $33.56 \pm 10.06$ , Vermerr  $34.04 \pm 10.61$ ) J. Vermeer, és Tiziano festményeit nézte meg. A két kísérletben 20 alany volt azonos. A jelfeldolgozás Matlab környezetben történt. Az EEG rekordból PSD (teljesítmény- sűrűség spektrum), és Z- érték számítását követően, Tiziano képei esetében a vallási képek és portrék, Vermeer képei esetében a tájképek illetve portré képek közötti különbségeket elemeztük. Alanyonként az elektródák alatti potenciálváltozás elemzése után átlag, szórás számítása, valamint küszöbérték megállapítása után a küszöbérték alatti illetve feletti alanyok esetében az egyes képek EEG adatait kizártuk és T-teszt számítását követően a PSD és Z-értékekből potenciáltérkép ábrázolás történt az EEG alfa, illetve theta tartományában.

Az eredmények alapján a Vermeer-tájképekkel szemben a portré képek nagyobb aktivitást mutattak elől a frontális lebenyben mindkét oldalon. Tiziano esetében a vallási képekkel szemben a portrék nagyobb aktivitást mutattak

frontálisan és a parietális lebeny egyes területein. A T-teszt szignifikáns eltérést mutatott ( $p < 0.05$ ) Tiziano festményeinél a PSD, és Z- értékek esetében is az Fp1, Fp2, F7, F3, P3, Pz valamint a P4 elektródák alatt. Vermeer festményeinél szignifikáns területek az F7, F3, valamint az F8 elektródák alatti régiókban szintén a PSD és Z- értékekből számított adatok alapján is. Az arcfelismerésért felelős occipito-temporális terület kevésbé volt aktív, viszont az emocionális hatások által aktív frontális agykéreg mindkét festő képeinél fokozott neuronális aktivitást mutatott.

Az eredmények hasonlóak a korábban közölt eredményekhez, mint pl.: Winecoff és munkatársai tanulmányában az emocionális hatások agyi reprezentációját vizsgálva [33] a bal frontális, valamint P.G. Lengger és munkatársai. [23] a bal frontális és a parietális területeket említik, de a bemutatott munkában történt először valós környezetben, azaz laboratóriumon kívüli neuroesztétikai célú EEG monitorozás, és egy vizsgálaton belül több festő képeinek összehasonlítása.

Kulcsszavak: neuroesztétika, EEG, PSD, kép tematika, potenciálváltozás

## ABSTRACT

The neuro-aesthetics is a relatively new area of science, which neurophysiologically tries to explain and understand the emotional and mental effects of certain artworks on a neuronal level.

The most common method used in this kind of investigations are fMRI (functional magnetic resonance imaging), MEG (magneto-encephalography). Due to the fact that EEG is highly mobilizable and `cheaper to run`, it is used more than other methods.

The EEG is a measuring method, which provides a real-time recording of the electrical activity of neurons. These studies can also help to diagnose brain pathological processes.

The aim of the study -where 30 healthy individuals were shown several paintings from two different painters - was to see the neuronal aesthetic effects, by using EEG and also to discover cortical differences in the impact of different themed images. Our hypothesis was that different themed images give different neurological effects of brain neuronal activity. In the case of portraits we expected increased activity in areas, that is responsible for recognizing faces comparing to the time when participants were shown landscapes and religious images. This EEG study was in Scuderie del Quirinale- the arts gallery in Roma.

In this study 25-25 healthy individuals (average age:  $33.56 \pm 10.06$ ) were shown Tiziano, and in the other group the ( $34.04 \pm 10.61$ ) were shown Vermeer paintings. 20 people took part in both experiments. The signal processing was done in Matlab environment. After the EEG records I computed PSD (power spectral density) and Z-value, then we looked up the differences between religious pictures and portraits from Tiziano, and landscapes and portraits from Vermeer

I analysed potential change in all electrodes in all subjects, after I computed mean, standard deviation, and I establish thresholds. In all subjects which electrode activity was above the threshold I analysed the regarding images. I excluded images EEG data above threshold values, then I used T-test- and I did potential maps from PSD and Z values representation of the EEG alpha and theta bands.

The results showed: in Vermeer's case, that portraits showed more activity in front of the frontal lobe on each side than landscapes. Also, Titiano portraits caused greater activity in certain areas of the frontal and parietal lobes than religious paintings. A t-test showed a significant difference ( $p < 0.05$ ) on Titiano's painting of the PSD, and Z values under the Fp1, FP2, F7, F3, P3, Pz and P4 electrodes. In case of Vermeer's paintings the significant areas under F7, F3, and F8 regions are also based on the PSD and Z-values calculated data.

Occipital- temporal region for face recognition was less active, but the emotional effected frontal cortex in both cases (Vermeer and Tiziano paintings) increased neuronal activity.

These results are similar to the previously reported experiment's result: Winecoff et al study that was examining the emotional effects of brain representation (2013) in the left frontal area, and PG Lengger et al. (2007) in the left frontal and parietal areas mentioned, but this was the first time when people were checked and asked to review painter's art works in a non-sterile environment, outside of a laboratory neuro-EEG monitoring for aesthetic purposes.

Keywords: neuro- aesthetics, EEG, PSD, image themes, potential changes

## Tartalom

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Nyilatkozat .....                                                                           | 3  |
| ABSZTRAKT .....                                                                             | 5  |
| ABSTRACT .....                                                                              | 7  |
| A pályamunkában használt rövidítések .....                                                  | 11 |
| BEVEZETÉS.....                                                                              | 12 |
| Mi az EEG? Elektroencefalográfia.....                                                       | 12 |
| Az alfa sáv és az alfa ritmus .....                                                         | 13 |
| A theta sáv és a theta ritmus .....                                                         | 14 |
| Az emberi agy és az EEG.....                                                                | 14 |
| Az EEG elektródák helyzete, elvezetése, regisztrálás.....                                   | 15 |
| A MUNKA ELŐZMÉNYEI .....                                                                    | 17 |
| Irodalmi áttekintés.....                                                                    | 17 |
| A neuro-esztétikában használt jelfeldolgozó módszerek .....                                 | 18 |
| A munka közvetlen előzménye .....                                                           | 21 |
| CÉLKITŰZÉS.....                                                                             | 23 |
| AZ ADATFELDOLGOZÁS LÉPÉSEI .....                                                            | 24 |
| Adatok ellenőrzése .....                                                                    | 26 |
| PSD számítása .....                                                                         | 26 |
| Z-érték számítása.....                                                                      | 26 |
| A képek jellemzőinek log10 alapú átszámítása.....                                           | 27 |
| Képek különbségeinek számítása.....                                                         | 27 |
| Küszöbérték megállapítása, a küszöbértéket meghaladó képek kizárása bar graph alapján ..... | 27 |
| A küszöbértéket meghaladó alanyok kizárása bar graph alapján.....                           | 28 |
| T-teszt-számítása .....                                                                     | 29 |
| Potenciáltérképek készítése .....                                                           | 29 |
| A MEGVALÓSÍTOTT SZOFTVER KERETRENDSZER.....                                                 | 30 |
| EREDMÉNYEK .....                                                                            | 31 |
| Bar-graph ábrázolás az EEG alfa tartományában.....                                          | 31 |
| Bar-graph ábrázolás az EEG theta tartományában.....                                         | 33 |
| A küszöbérték szerinti korrekció az alfa sávban .....                                       | 35 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| A küszöbérték szerinti korrekció a theta sávban ..... | 36 |
| T-teszt eredmények .....                              | 37 |
| Végeredmények.....                                    | 37 |
| Az eredmények értékelése.....                         | 41 |
| ÖSSZEFOGLALÁS .....                                   | 43 |
| Hivatkozások.....                                     | 45 |
| 1.sz. melléklet.....                                  | 49 |
| 2. sz. melléklet.....                                 | 68 |
| 3.sz. melléklet.....                                  | 83 |

## **A pályamunkában használt rövidítések**

ANOVA-. analysis of variance - variancia analízis

A/D konverter– analóg- digitális átalakító

EEG- elektroenkefalográfia

FFA- fusiform face area - fusiform arcérzékeny terület

fMRI- funkcionális mágneses rezonanciás képalkotás

ICA- independent component analysis- független komponens analízis

LORETA- low resolution brain electromagnetic tomography, - az agy kis felbontású elektromágneses tomográfiás vizsgálata

MEG- magneto-enkefalográfia

NaN – not a number

PSD- Power Spectral Density -teljesítmény- sűrűség spektrum

## BEVEZETÉS

A *neuroesztétika* viszonylag új tudományterület, mely az empirikus esztétika szub-diszciplínájaként vált ismerté. Az empirikus esztétika tudományága a neuronális felfogást célozza meg többek között a művészet és a zene hatását tanulmányozva. Elnevezése S. Zeki [35] nevéhez köthető, aki a művészi szépségérzet neuronális hatásait tanulmányozta. Mint “neuroesztétika” a hivatalos elnevezést 2002-ben kapta, egy tudományos vizsgálat során mely a neuronális aktivitást térképezte föl a műalkotás megfigyelése alatt, ezáltal próbálva megmagyarázni és megérteni az esztétikai élményt, mely az egyes művészi alkotások hatására alakul ki az agyban neuronális szinten. [20]. Az agykutatások jelentős részét képezik az agyon belüli funkcionális illetve az agy haemodinamikai változásait megfigyelő vizsgálatok. A vizsgálatok jelentős részében az fMRI-t (funkcionális mágneses rezonanciás képalkotás) használják [9]. Az agyi aktivitások esetében neuroelektromos, illetve neuromagnetikus korreláció figyelhető meg, sok esetben ezért a MEG és az EEG is használatos, mint agyi képalkotó eszköz [19]. A legtöbb ilyen jellegű vizsgálat esetében az fMRI és a MEG a mobilizálhatóság valamint a költséghatékonyság szempontjából alul marad az EEG-vel szemben. Az EEG egy olyan mérési eljárás, mely a neuronok valós idejű elektromos aktivitásának regisztrálására szolgál.

A kutatás célja az volt, hogy 25-25 egészséges személy esetében 2 festő képeinek neuroesztétikai hatását keressük az agyban EEG rekord alapján, valamint a különböző tematikájú képek hatásának kérgi különbségeit felfedjük. Hipotézisem szerint a különböző tematikájú képek szignifikánsan különböző neurológiai hatást eredményeznek.

### Mi az EEG? Elektroencefalográfia

Az EEG monitorozással a pszichés működés élettani hátterét vizsgálhatjuk, pontosabban a neuronok valós idejű elektromos aktivitásának regisztrálására szolgál. Történelmi háttere egészen az 1791-es évre vezethető vissza, Galvani tézisére az idegek belső elektromos energiájáról, majd 1870-es években jelentős Gustav Fritsch és Eduard Hitzig publikációja, mely az agy-stimulációval és agyi lokalizációval kapcsolatos, végül 1875-ben Ferrier kutatása során vált világossá,

hogy az agykéreg elektromos ingerlésével motoros és szenzoros jelenségek válhatnak ki. Nagy lépés Richard Caton munkája, aki szintén 1875-ben az állatkísérletei során írja le, hogy az agyvelőbe helyezett elektródáról áramingadozás vezethető el. 1929-ben Hans Berger osztrák pszichiáter regisztrált először a fejbőről elvezetett elektromos változásokat és ő adta az eljárásnak az „**elektroencefalográfia**” elnevezést. Ha ezeket a spontán jelentkező potenciálingadozásokat a koponyacsonton keresztül vezetik el, elektroencefalogramnak (EEG) nevezik, ha viszont közvetlenül a kéreg felszínéről történik az elvezetés, electro-kortikogram (ECoG) az elnevezés. Az agy felszínén mérhető áramokat a sejtszintű biokémiai változások következtében kialakuló ionáramok hozzák létre [15].

A fiziológias EEG frekvenciatartománya 0.1 Hz-től 30 Hz-ig terjed, amplitúdója mikroVolt nagyságrendű. A frekvencia és az amplitúdó között általában fordított arányosság figyelhető meg, vagyis minél kisebb a frekvencia, annál nagyobb az amplitúdó. Az EEG frekvenciatartományát tapasztalati alapon a következőképpen osztották fel:

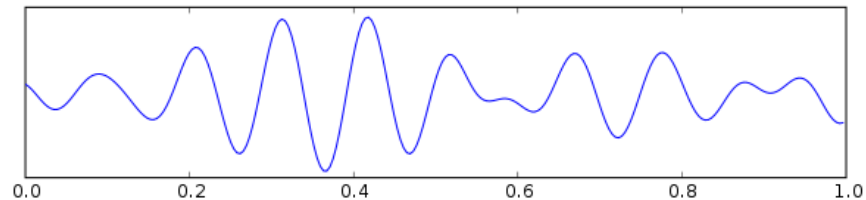
- 4 Hz alatt: delta sáv, amplitúdója: 100-200 mikroV, (mély alvásra jellemző)
- 4–8 Hz: theta sáv, amplitúdója: < 30 mikroV, (az ún. REM, Rapid Eye Movement alvási fázisra jellemző)
- 8–13 Hz: alfa sáv, amplitúdója: 30 - 50 mikroV, (az agyi alapritmus)
- 13–30 Hz: béta sáv, amplitúdója: < 20 mikroV, (szenzoros és emocionális behatások)
- 30–50 Hz: gamma sáv, amplitúdója: < 10 mikroV, (ingerek alapkomponensei).

A későbbi adatelemzés szempontjából esetünkben a legfontosabb az alfa és a theta sáv.

### **Az alfa sáv és az alfa ritmus**

Az alfa sáv 8–13 Hz-es frekvenciasávnak feleltethető meg. Jelölése:  $\alpha$ , alsávjai:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ . Ez a ritmus éber állapotban figyelhető meg, ez az agyi alapritmus. Legnagyobb feszültsége általában a hátsó, nyakszirti lebeny közelében észlelhető.

Legjellemzőbb fizikai relaxáció és mentális inaktivitás állapotában, valamint becsukott szem EEG monitorozása közben. [21]

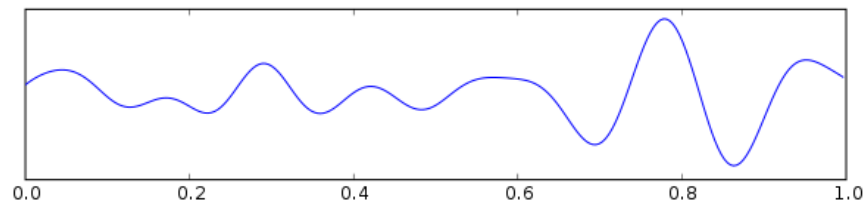


**1. ábra Alfa ritmus**

forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eeg\\_alfa.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eeg_alfa.svg)

### **A theta sáv és a theta ritmus**

A theta hullám  $1/4$ – $1/8$  s periódusidejű hullám, a ritmus 4-8 Hz közötti frekvenciának felel meg, jelölése a görög  $\theta$ . Leginkább az alvás REM időszakában mérhető. [21]



**2. ábra Theta ritmus**

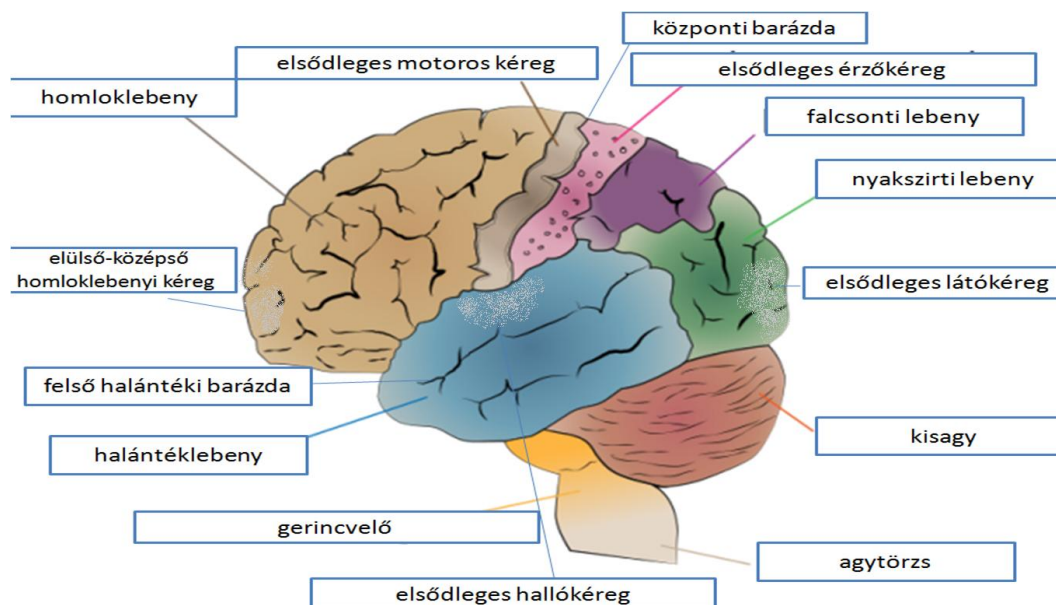
forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eeg\\_theta.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eeg_theta.svg)

### **Az emberi agy és az EEG**

Az emberi agyat szürke-, fehér állományra, valamint az agykamrákat kitöltő agyfolyadékra osztjuk. Kívülről a csontos koponyacsont és a fejbőr (skalp) takarja.

Az agy különböző területekre osztható, s ezen területek különböző funkciókért felelősek. Az elülső rész a homloklebeny- (frontal lobe), melyet a központi barázda, a sulcus centrális választ el a falcsoni (parietal lobe) lebenytől. Jobb és bal oldalt a halántéklebeny (temporal lobe), valamint hátul a nyakszirti

lebeny (occipital lobe) található, ahogy látható a 3. ábrán. Az agykérgi régiókról lásd bővebben: Szentágothai és Réthelyi: Funkcionális Anatómia [29].



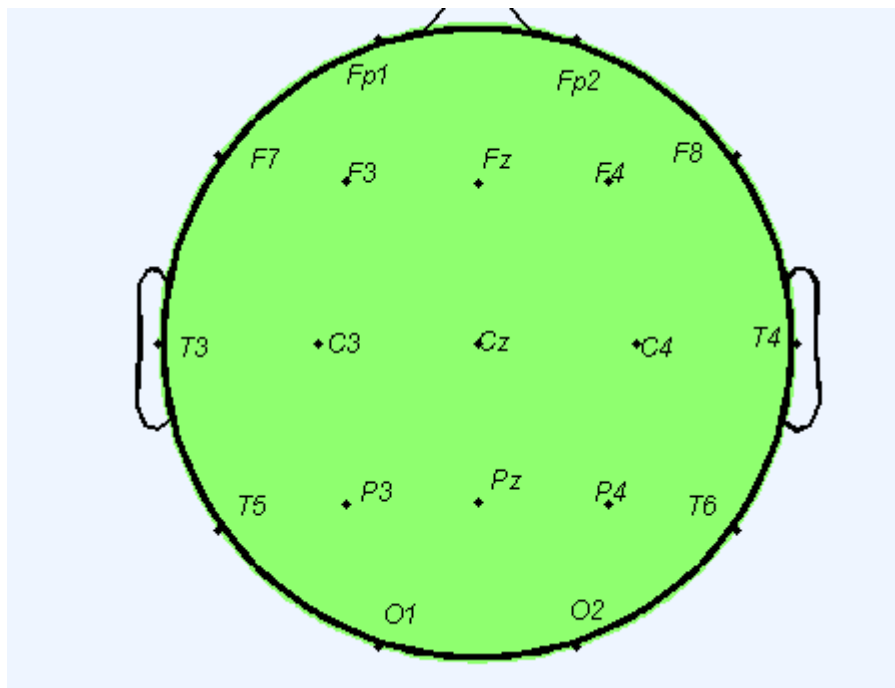
**3. ábra A nagyagy felosztása**

forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cerebrum\\_lobes.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cerebrum_lobes.svg)

### **Az EEG elektródák helyzete, elvezetése, regisztrálás**

Az EEG vizsgálatok alatt a fejbőrre helyezett elektródák közötti potenciálkülönbséget mérnek. A mérések lehetnek bipolárisak, amikor a koponya két különböző pontján regisztrált görbét egymáshoz viszonyítva értékelik, és lehetnek unipolárisak, amikor a potenciálváltozásokat egy indifferens vagy inaktív elektródához viszonyítják. Az EEG regisztrálása során az analóg jeleket digitális jellé alakítják át, ezután matematikai elemzéssel az EEG-görbét különböző frekvenciájú komponensekre bonthatják. A folyamatban meghatározzák az EEG-jel amplitúdóját egy-egy frekvenciatartományban.

Az elvezető elektródákat hagyományos sémák szerint a koponyán külsőleg a frontális-, parietális-, occipitális- és temporális lebenyek fölött szokták elhelyezni. Az EEG és Klinikai Neurophysiológiai Társaságok Nemzetközi Szövetsége által ajánlott a standard rendszer az ún. 10-20-as rendszer (Ten–twenty system), mely esetben a scalpon elhelyezett elektródák közötti távolság 10 illetve 20%-a a megjelölt pontok közötti távolságnak [4] lásd az 5. ábrán



**4. ábra Az EEG elektródák helyzete a 10-20-as rendszerben**

forrás: saját Matlab kép

Az elektróda-pozícióknak az 5. ábrán látható szabványos nevei vannak, az elektródák helyzete alatti régiók az 1. táblázat szerint feleltethetők meg. Jellemző a bal oldali páratlan a jobb oldalt páros számozással való jelölés.

|                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| homloklebeny                          | Fp1, F3, F7, Fz, Fp2, F4, F8 |
| halántéklebeny                        | T3, T5, T4, T6               |
| falcsonti lebeny                      | P3, Pz, P4                   |
| homloklebeny- falcsonti lebeny határa | C3, Cz, C4                   |
| nyakszirti lebeny                     | O1, O2                       |

**1. táblázat Az agyi régiók szerinti elektróda lokalizáció**

Az EEG jel időben folyamatos, folytonos értéktartományú változó feszültségjel, melyet mintavételezéssel és A/D konverter segítségével diszkrétizálnak. Fontos, hogy a mintavételnek a jelben előforduló legnagyobb frekvencia kétszeresével kell történnie. A ritkábban vett mintavételezés a magas frekvenciájú görbék alacsonyabb frekvencia formában jelenhet meg- ami

hibalehetőséget jelent. A hagyományos EEG mintavételezés nem tartalmaz 50 Hz feletti frekvenciakomponenseket. 100 Hz-el történő mintavételezés esetén elegendő a 10 msec- os mintavételi idő. Abban az esetben, ha hosszabb szakaszt akarunk vizsgálni, és, ha e miatt ritkább mintavételezést alkalmaznak, szükségessé válik az EEG görbe előzetes szűrése alul-áteresztő szűrővel, így későbbiekben a hiba is korrigálható. [39] A koponyáról elvezetett jelek esetében állítható határfrekvenciájú felül- és aluláteresztő szűrőkkel történik a szűrés, majd egy szintén állítható belső erősítővel szabályozható a jelszint. A kimeneti erősítő biztosítja a megfelelő terhelhetőséget. Az EEG elvezetése alatt együttesen értjük a jelek mérését, szűrését, erősítését és regisztrálását - mely az elektródák elhelyezését jelenti invazív<sup>1</sup> vagy noninvazív<sup>2</sup> technikát alkalmazva. Az EEG jelfeldolgozást lásd bővebben: Saeid Sanei, J. A.Chambers [26].

## **A MUNKA ELŐZMÉNYEI**

### **Irodalmi áttekintés**

Az agykéreg egyes területei funkcionálisan specializálódtak. A külvilág ingerei, a beszéd, a mozgás, a gondolkodás, az emlékezés, stb. folyamatai az agyban egyes területeket jobban aktiválnak, tehát minden egyes folyamatnak megvan a tipikus agyi reprezentációja.

Több tanulmány bizonyítja, hogy a motoros cselekvéssel kapcsolatos megfigyelések, illetve a test mozgásának megfigyelése a kérgi motoros reprezentáció aktiválásával jár [14, 24] Számos tanulmány viszont arról számol be, hogy a kézzel írott alkotás szintén motoros aktivitást vált ki az agyban. Longcamp és munkatársai [17] magnetoencephalographiával (MEG) figyelték meg a kérgi aktivitásokat egy kézzel írott levél nézése közben, és az elsődleges motoros kéreg aktivitásáról számoltak be. A motoros kéreg szerepe a műalkotások megfigyelésénél már elhanyagolható, de összességében, a vizuális kéreg aktivitásával kapcsolatban jelentős, mivel ez a terület egy multimodális rendszer,

---

<sup>1</sup> invazív- a koponyán keresztül fűrt lyukakon történik az elektródák elhelyezése

<sup>2</sup> noninvazív- a hajás fejbőrön történik az elektródák elhelyezése

amely magában foglalja a motoros, szomato-szenzoros<sup>3</sup> és viszcero-motoros<sup>4</sup> agyterületeket [11].

Winecoff és munkatársai [33] az emocionális hatások agyi reprezentációját vizsgálva a ventromediális perfontális cortexet<sup>5</sup> találták szignifikánsan aktívnek. Solomon H. [28] és munkatársai tanulmányukban az arc felismeréséért a középső gyrus fusiformis ("fusiform face area" - FFA), az occipitalis kéreg egy részét, és a temporális sulcust (halántéki barázda) teszik felelőssé. A kísérlet során fMRI vizsgálatot végeztek az arcfelismerésért felelős agyi terület azonosítása céljából. A felvétel alatt a kísérleti személyek arcképeket, illetve kontrollként olyan mesterséges képeket néztek, melyeken az arc egyes elemeit összekeverték, például szem helyett orr, orr helyett száj stb.

Számos vizsgálat bizonyítja, hogy a művészi alkotások megfigyelése neuronális aktivitással jár. Ilyen eredményről számolnak be Cela-Conde és munkatársai [5], akik festmények illetve tájkép-fotók osztályozásánál a neuronális aktivitást vizsgálták magnetoelektrográfiával, valamint Cupchik és munkatársai [8]; Vartanian és Goel [31]; Yueet és munkatársai [34], akik a vizuális<sup>6</sup>, motoros-szenzoros<sup>7</sup>, valamint a hallási kéreg területeit találták aktívnek az fMRI vizsgálatokban.

A legújabb neuroesztétikai EEG vizsgálatokat Sbriscia-Fioretti B. és munkatársai [27], Babiloni és munkatársai [1], Fischer T és munkatársai [10], M. A Umilta és munkatársai [19], Pang C.Y. és munkatársai [22], Batt R. és munkatársai valamint Bhattacharya J végezték [2, 3].

### **A neuro-esztétikában használt jelfeldolgozó módszerek**

Bhattacharya J (2009)-ben a művészek és nem művészek csoportjában 19 elvezetési EEG elemzést végzett képek nézése alatt. Az EEG jelfeldolgozás céljára wavelet transzformációt és Hilbert analízist használt, valamint empirikus sűrűségfüggvény használatával minden egyes elektróda esetén a transzformált

---

<sup>3</sup> testből származó (szomato-szenzoros) érzések

<sup>4</sup> zsigerekből kiinduló érzések (viszcero-szenzoros)

<sup>5</sup> ventromediális perfontális cortex: elülső lebeny- elülső-belső területe

<sup>6</sup> vizuális kéreg = látókéreg, a nyakszirti lebeny területe

<sup>7</sup> motoros-szenzoros = mozgató-kéreg leginkább az elülső központi tekervényben, érzőkéreg a hátsó központi tekervényre lokalizálható

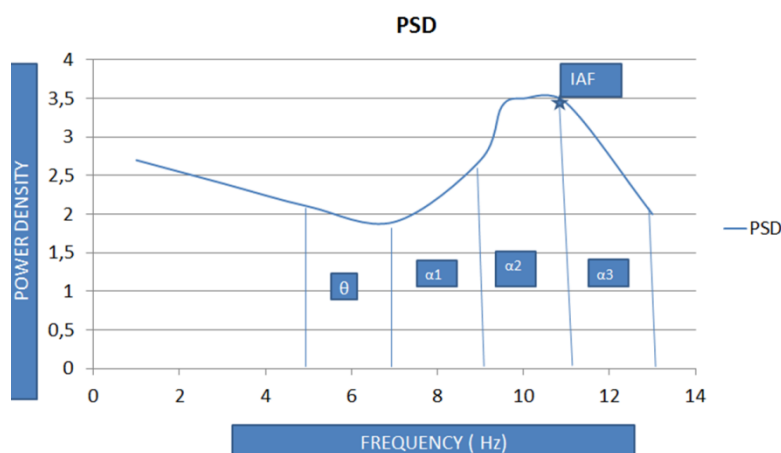
pillanatnyi jelet normalizálta az egységnyi szórás értékeivel, és az így kapott értékeket hasonlította össze a két csoport között. M. A. Umiltà és munkatársai 2012-es tanulmányukban Lucio Fontana alkotásának neurológiai hatását vizsgálták, a megfigyelést követően a művészi alkotások osztályozásra kerültek az alanyok által. Az alapvető jelfeldolgozási lépések után a frekvencia teljesítménysűrűségének logaritmikus arányát számították a háttér (fekete kép), és a valódi képek hatására kialakult stimulus között, majd ANOVA<sup>8</sup> elemzést végeztek. Fischer T. és munkatársai [10] vizsgálatánál az alanyok a 16. és 17. századból származó, összesen 40 festményt néztek, majd az első 20 és utolsó 20 kép figyelésének különbségeit elemezték a figyelem fenmaradásra szempontjából. Az összehasonlítást theta és alfa sávban is elvégezték. Sbriscia -Fioretti és mtsai [27] Franz Kline festményeinek hatását tanulmányozták a digitálisan előállított hasonló benyomású képekkel összehasonlítva. Az előzőleg bemutatott képek stimulusa után EEG felvételt készítettek a képekkel kapcsolatos olyan kérdésekkel kiegészítve, hogy mennyire ismerős, mennyire kedvelt a látott kép stb., majd ERP<sup>9</sup> analízist és T-tesztet végeztek.

Az EEG jelanalízis során sok esetben használják a PSD (teljesítménysűrűség spektrum) kiértékelését. A PSD minden elektródára külön kiszámítható. Ezután a teljesítménysűrűség görbét az agyi alapsávok ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ ) alapján szakaszokra bontják, és az egyes szakaszok átlagos teljesítménysűrűségét tekintik jellemzőnek. A PSD grafikonokon az x tengelyen a frekvencia, Hz egységekben az EEG sávoknak megfelelően, az y tengelyen pedig az elektródán mért teljesítmény,  $\mu V^2/Hz$  egységekben látható (5. ábra).

---

<sup>8</sup> ANOVA- normál eloszlású, ugyanolyan szórású csoport átlagának összehasonlítására alkalmas statisztikai módszer

<sup>9</sup> Eye fixation-related potential (ERP)



**5. ábra PSD grafikon. IAF: az egyénenként egyedi, az alfa hullámra jellemző érték (az ábra illusztráció)**

forrás: saját ábra (excel)

Szintén gyakran használt művelet a Z-érték számítása. A Z-érték (Z-score) egy statisztikai mérőszám, amely megadja, hogy a mintaelem mennyire tér el a minta átlagától, azaz a standard deviáció hányszorosát teszi ki.

A Z-érték használata több EEG analízist folytató tanulmányban is előfordul, mint pl.: Robert W. és munkatársai, Zhang és munkatársai [25, 36]. Ehhez hasonló módon Tomoka Takeuchi és munkatársai EEG vizsgálatukban a PSD számítása után Z-érték normalizálást végeztek, hasonlóan, ahogy a jelen tanulmányban is alkalmaztam [30].

Az értéktartomány csökkentése érdekében a PSD és Z-értékeket gyakran helyettesítik tízes alapú logaritmusukkal. Ezt a megoldást használták például Lockley és munkatársai [16]; Viola és munkatársai,[32].

A különböző körülmények között felvett rekordokból számított értékek összehasonlítására alkalmazható a kétmintás T próba, melyet a Bonferroni-korrekciónal is ki lehet egészíteni. A korrekció alkalmazása esetén nem az összes rekord összehasonlítása történik, hanem csak azoké, amelyek a T-teszt alapján szignifikánsak lettek, tehát ellensúlyozza a többszörös összehasonlítás problémáját (lásd bővebben: Lukács O., [18]).

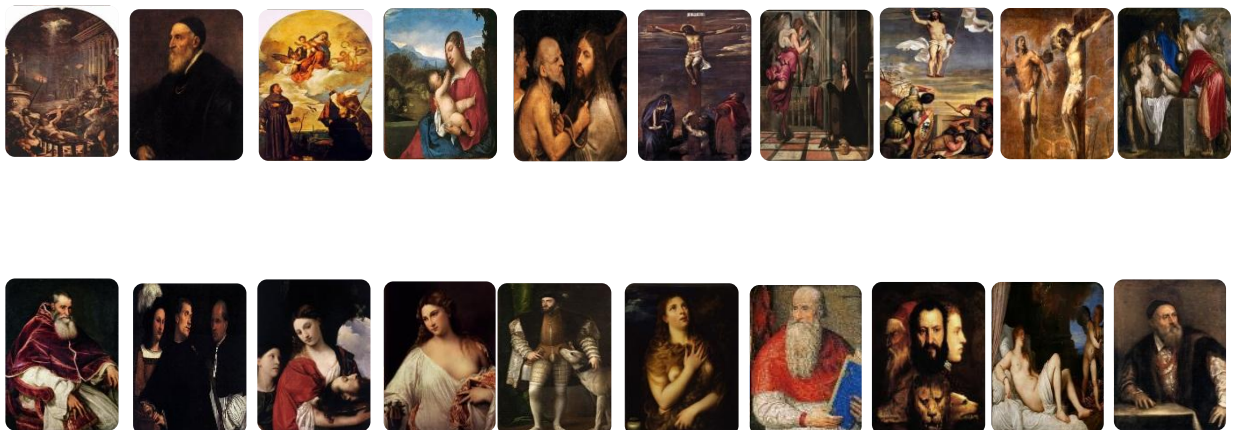
## A munka közvetlen előzménye

Fabio Babiloni és munkatársai a Romai La Sapienza Egyetemen, 2013 tavaszán egy EEG tanulmányt végeztek a Római Művészeti Galériában, melyben összesen 30 egészséges személy J. Vermeer (1632-1675) valamint Tiziano (1510-1576) festményeit nézte végig. A két kísérletben 20 személy volt azonos, ezért 25 személy jutott mind a két festőre. Tiziano esetében az átlagéletkor  $34.46 \pm 9.95$  év, (14 nő), Vermeer esetében az átlagéletkor  $34.04 \pm 10.61$  év (ebből 12 nő) volt.

A két művész esetén a képek sorszámozva lettek, valamint a tematikájuk szerint csoportokba sorolva:

- Tiziano vallási képeinek sorszáma: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – 9 db.
- Tiziano portré képeinek sorszáma: 2, 11, 14, 15, 16, 17, 20 – 7 db.
- Tiziano egyéb tematikájú képeinek sorszáma: 12, 13, 18, 19 – 4 db.

Tiziano képei sorban, sorszámnak megfelelően: összesen 20 festmény.



6. ábra Tiziano festményei

forrás: <http://www.wga.hu/frames-e.html?/html/t/tiziano/index.html>

Vermeer képei:

- Vermeer tájképeinek sorszáma: 1, 2, 3 – 3 db.
- Vermeer portré képeinek sorszáma: 4, 5, 8, 9 – 4 db.
- Vermeer egyéb tematikájú képeinek sorszáma: 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 – 10 db.

Vermeer képei sorban, sorszámnak megfelelően: összesen 17 db.



forrás: <http://www.wga.hu/frames-e.html?/html/t/vermerr/index.html>

### 7. ábra Vermeer festményei

A vizsgálat különlegessége a korábbi hasonló vizsgálatokhoz képest az volt, hogy nem laboratóriumi körülmények között történt, hanem közvetlenül a képtárlátogatás színhelyén, tehát valós helyzetben történt az EEG monitorozás. Kutatásuk célja az volt, hogy a képek figyelése közben kialakult neuroesztétikai hatást, főleg a prefrontális kéregre fókuszálva, az aktiválódott területek agyi aszimmetriáját meghatározzák. Az általam végzett, jelen dolgozatban bemutatott munka kezdetéig csak Vermeer festményeinek elemzését végezték el.

A mérési protokoll lépései minden személy esetén:

1. Vermeer esetén a 17 festmény 1-1 percen keresztül való figyelése alatti EEG monitorozás, két festmény között 1 perces nyugalmi fázis nyitott szemmel, beszéd nélkül.  
Tiziano esetén a 20 festmény 45-45 másodpercen keresztül való figyelése alatti EEG monitorozás, két festmény között 1 perces nyugalmi fázis nyitott szemmel, beszéd nélkül.
2. 1 perces nyugalmi fázis nyitott szemmel,
3. 1 percig a kiállítással kapcsolatos szöveg figyelése (olvasása), személyenként 1x
4. 1-1-perces EEG-felvétel készítése két üres képtári folyosó nézése közben, személyenként 1x-1x
5. 1 percig a római panoráma nézése, személyenként 1x
6. a megtekintett képek szépségének szubjektív értékelése tízfokú skálán, kérdőív kitöltése és szóbeli interjú.

Minden festmény megtekintése után 1 percben az alanyok nyugalomban voltak beszéd nélkül. A képek megfigyelése alatt a résztvevők arra lettek megkérve, hogy minimalizálják az arcmozgást és a gesztikulációt.

A felvételek készítésére egy 19 csatornás hordozható EEG készüléket használtak (típus: BEmicro, gyártó: EBneuro). Az EEG elektródák helyzete a nemzetközileg elfogadott 10-20-as rendszer szerint, az Fpz elektróda volt a referencia. Az elektródák impedancia értéke 5 k $\Omega$ , a mintavételi frekvencia 256 Hz volt. A nyers EEG adatokon 2 Hz alsó, és 30 Hz felső határfrekvenciával sávszűrést végeztek, valamint ICA-át, azaz független komponens analízist alkalmaztak a felesleges zavaró hatások csökkentésére, melynek a lényege, hogy lineáris transzformáció után minimalizálja a statisztikai függőséget az összetevői között.[7].

A jelfeldolgozás során a jobb oldali frontális elektródákon és a bal oldali frontális elektródákon mért értékek különbségét számították. Ennek eredménye egy „aszimmetria index-mutató” lett, amit a verbális válaszok eredményével, az ún. „kellemességi értékkel” korreláltak. A tanulmány végkövetkeztetése az volt, hogy a szubjektív értékelés során adott kellemességi pontszámok pozitív korrelációt mutattak az agy frontális lebeny aszimmetria indexével és inverz korrelációt az aszimmetria index és a képek dimenzionális tulajdonságai között [1].

## CÉLKITŰZÉS

A dolgozatban bemutatott munka célja a fenti mérés-sorozat során felvett EEG rekordok alapján további összefüggések vizsgálata, elsősorban a képek *témájának* és az agyi aktivitás regionális megoszlásának az összevetése. További célkitűzés, hogy nem csak egy festő (Vermeer), hanem mind a két festő képeinek a neurológiai hatását tanulmányozzam a 30 személy esetében.

A kutatás hipotézise az, hogy a különböző tematikájú képek más neurológiai hatással bírnak az agyi neuronális aktivitás tekintetében. Portré képek esetén az arcfelismeréséért felelős területeket aktivitás növekedését vártam. Az egyik festő (Tiziano) festményeinél a vallási illetve portré képek neuronális

hatásának a különbségeit, Vermeer esetében pedig a tájképek, illetve a portrék képek hatásának a különbségeit terveztem megvizsgálni.

Ez a megközelítés hasonló Solomon H. munkájához, melyben az fMRI vizsgálatok elemzésével agyi aktivitási régiókat azonosítottak, azzal az alapvető különbséggel, hogy most EEG alapú elemzést végzek [28].

A nagyszámú EEG felvétel hatékony, automatizált feldolgozásához szükséges egy erre specializált jelfeldolgozó szoftver keretrendszer elkészítése, mely a legegyszerűbben Matlab környezetben valósítható meg. A keretrendszer feladata az EEG jelből származó adatok egységes kezelése, az alanyonkénti adatok változóinak kinyerése, statisztikai elemzések, és az eredmények vizualizációja.

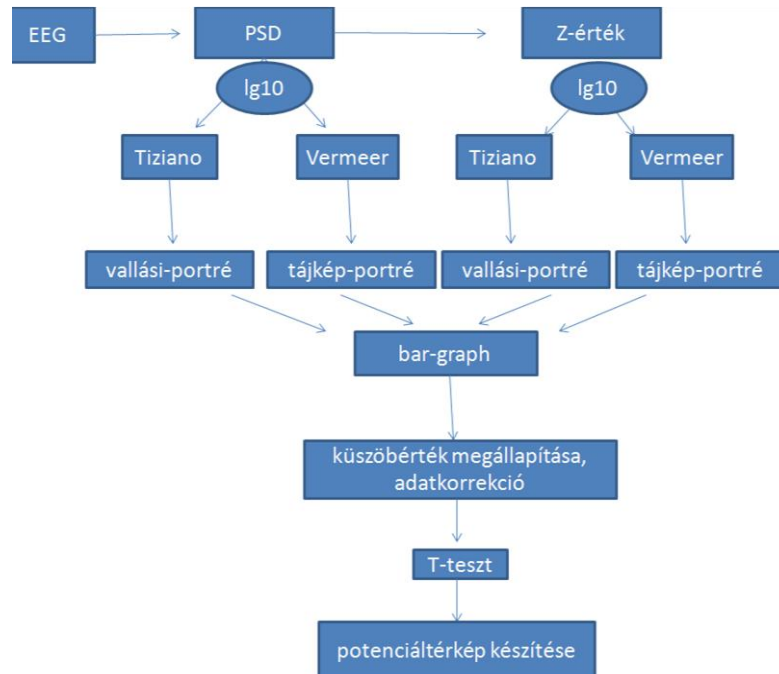
## **AZ ADATFELDOLGOZÁS LÉPÉSEI**

Az adatfeldolgozási folyamatot elsősorban az irodalomban ismertetett, hasonló vizsgálatokban már bevált lépésekből állítottam össze (2. fejezet). A fő adatfeldolgozási lépések sorrendben:

1. Adatok ellenőrzése
2. PSD számítása
3. PSD-ből Z-érték számítása
4. PSD és Z-érték rekordjainak log 10 számítása
5. Képek különbségeinek számítása
6. Küszöbérték megállapítása, a küszöbértéket meghaladó (kiugró) képek kizárása bar graph alapján
7. A küszöbértéket meghaladó (kiugró) alanyok kizárása bar graph alapján
8. T-teszt-számítása a képek tematikája alapján
9. Potenciáltérképek készítése

Az adatok ellenőrzése után bemenetként Tiziano esetében összesen 16 kép, Vermeer esetében 7 képpel dolgoztam. Az egyéb tematikájú képek is elemzésre kerültek, de ezen elemzések és eredményeik nem a jelen dolgozatban kerülnek tárgyalásra.

Az adatelemzés lépéseit 7 frekvenciasávra (teljes  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ ) és két festő különböző témájú képeire külön-külön végeztem az alábbi folyamatára alapján:



## 8. ábra Az adatelemzés folyamata

A 2. fejezetben ismertetett korábbi vizsgálatokhoz képest a jelfeldolgozási folyamat újdonsága, hogy:

- a kép-témák különbségét a tematikus képcsoportba tartozó képekből számított elektróda aktivitások kivonásával mérem (az egyik festő képeinél a táj mínusz portré, a másik festő esetében a vallási mínusz portré témájú képek)
- nem csak egy, hanem két festő képei által kiváltott neuronális hatást próbáltam összehasonlítani,
- háttérnek nem semleges pl: fekete háttér nézést vettem, nem is a rest (nyugalmi) időszakban felvett EEG-t, mint F. Babiloni előző tanulmányában, hanem a folyosón történő EEG monitorozás adatait
- az adatelemzés a PSD és Z értékből számított jellemzők alapján is megtörtént.

Az alábbiakban bemutatom az egyes lépések tartalmát.

### **Adatok ellenőrzése**

Az EEG-adatfeldolgozás első lépéseként az adatok ellenőrzését végeztem el, hogy minden alany minden EEG rekordja megfelelő elnevezéssel, illetve azonos dimenzióval rendelkezzen.

Egyes alanyok esetében 1-1 elektróda alatti potenciálváltozás értékei a nagymértékű zaj zavaró hatása miatt vizuális ellenőrzés után kizárásra kerültek. A zaj oka a hibás felvétel, esetleg rossz elektróda-felhelyezés lehetett. A zaj miatt 3 alany esetében 1 elektróda, 1 alany esetében 2 elektróda rekordját töröltem. Ez technikailag azt jelentette, hogy az értékek helyére NaN értékadás történt az érintett EEG rekordokban.

### **PSD számítása**

Az összes EEG felvétel minden csatornájára külön-külön kiszámítottam a mért jel PSD-jét. A különböző alanyoktól származó, egy képhez tartozó PSD függvényeket csatornánként átlagoltam, így kaptam a képre és csatornára jellemző PSD függvényt, sávonként a függvény átlag értékét számoltam. Ennek a lépésnek az egyéni variabilitások hatásának a csökkentése volt a célja. (2. sz.melléklet 1.script)

### **Z-érték számítása**

Ennek a lépésnek a célja az adatok normalizálása. A PSD számítást követően minden egyes alany esetén kivontam a háttér (folyosón mért EEG-ből számított PSD) átlagát és osztottam a háttér EEG-rekordok szórásával, az alábbi képlet alapján:

$$\text{Zscore} = ( \text{PSD kép} - \mu (\text{PSD})_{\text{háttér}} ) / \sigma (\text{PSD})_{\text{háttér}},$$

ahol a  $\mu$ : átlag,  $\sigma$ : szórás (2. sz. melléklet 2.script)

A háttér Tiziano esetében az I. sz. folyosón mért nyugalmi EEG, Vermeer esetében a II. sz. folyosón mért EEG szolgáltatva.

Minden adat esetén az első 44 másodpercet használtam az elemzéshez mivel Tiziano festményeinél a mintavételezés hossza csak 45 másodperc volt.

### **A képek jellemzőinek log10 alapú átszámítása**

A PSD és Z-értékeknél is a rekordok értékeit helyettesítettem a 10-es alapú logaritmusukból számított sávon belüli átlaggal (2. sz. melléklet, 2. és 3. script).

A további elemzésben ezekkel az adatokkal dolgoztam tovább.

### **Képek különbségeinek számítása**

A különböző tematikájú képek (Tiziano esetében a vallási illetve portré képek, Vermeer esetében a táj, illetve a portré képek) PSD illetve Z értékéből az értékek átlagolását végeztem el minden egyes alany esetében, első esetben az alfa majd a theta hullámsávban is, s a két különböző tematikájú képcsoport különbségét számítottam. Tehát minden egyes alany esetén kiszámítottam a különböző tematikájú képcsoportokra az elektródák alatti aktivitás-változást és ezeknek vettem az átlagát, majd a két különböző téma különbség számítása után megkaptam a 19 elektróda alatti átlag-értékeket a 7 EEG sávban. (2. sz.melléklet 5. script)

### **Küszöbérték megállapítása, a küszöbértéket meghaladó képek kizárása bar graph alapján**

A 19 elektróda aktivitás értékét a theta és alfa sávban minden egyes alany esetén oszlopdiagrammal (bar graph) ábrázoltam. Az x tengelyen a 25 alany, az y tengelyen a 19 elektródán mért aktivitás csoportosítva, a negatív illetve a pozitív elektróda aktivitások külön elemezve, s a két csoportból a pozitív és negatív átlagérték van ábrázolva 1-1 alany esetében. Tehát 1 alany esetén 0 tól felfelé a pozitív elektródák átlagértéke, (az y tengely mentén a bar-graphos ábrázolásnál pirossal jelölve), a 0-tól lefelé a negatív elektródák átlagértéke van ábrázolva.(kézzel ábrázolva).

Az EEG aktivitás az PSD és Z- értékek függvényeiből számított 44 másodperc átlaga, külön elemezve a pozitív és a negatív elektródán mért aktivitást.(lásd az 1. sz. melléklet bar-graphjai).

Kiszámítottam a pozitív és negatív elektródák átlagát és szórását az összes alany esetén, majd megállapítottam az alsó és felső küszöbértékeket, a következők szerint:

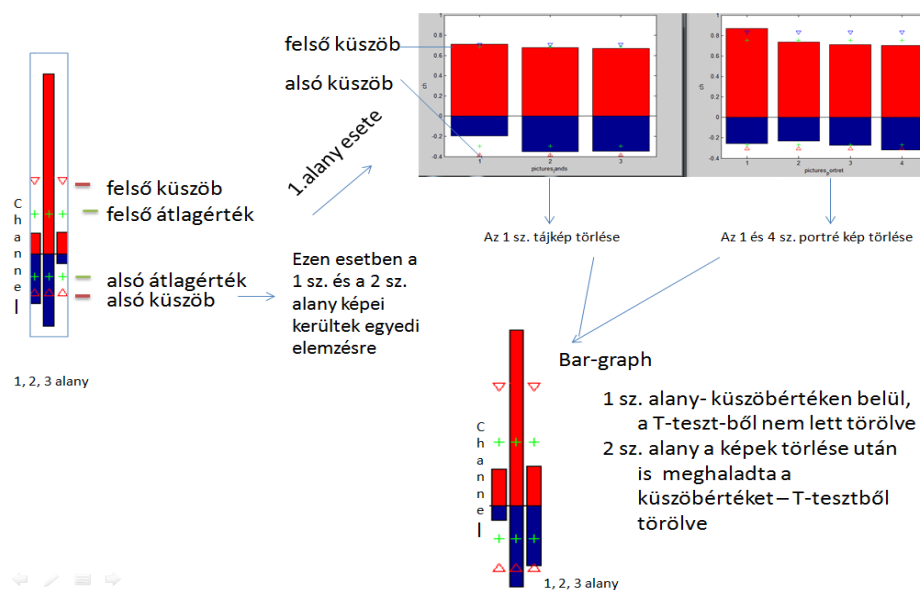
- a felső küszöbérték a bar-graphos elemzésnek megfelelően a 0 feletti, azaz a pozitív értékkel rendelkező elektróda aktivitások szórása és átlaguk összege az összes alanyra nézve,
- az alsó küszöbérték pedig a 0 alatti elektróda aktivitások szórása és átlaguk különbsége.

(2. sz.melléklet 9. script)

### **A küszöbértéket meghaladó alanyok kizárása bar graph alapján**

Azon alanyok esetén ahol a pozitív elektróda aktivitások, illetve negatív elektróda aktivitások a küszöbértéket túllépték, a képek további elemzése történt: a különböző tematikájú képek bar-graphos ábrázolásánál szintén átlag illetve szórás valamint küszöbérték megállapítása történt az előzőkhöz hasonlóan a 19 elektróda aktivitásnak megfelelően és a küszöböt meghaladó képeket kizártam az elemzésből.

Ezek után ismét elkészítettem a két képcsoport által kapott aktivitás különbség bar graphos ábrázolását az eredeti küszöbértékkel. Amint a 8. ábra mutatja, azon alanyok, ahol az elektróda aktivitás még a kizárt képek után is meghaladta a küszöb értéket, kizárásra kerültek a végleges T-teszt, illetve potenciáltérkép ábrázolása előtt.(2. sz. melléklet 10. script).



**8. ábra A küszöbértéket meghaladó alanyok képeinek, majd az alanyok kizárásának folyamata.**

### T-teszt-számítása

A 2 mintás T-próba számítását követően a szignifikáns értékeket a Bonferroni korrekciós függvénnyel is kiértékeltem. (2. sz. melléklet 11, 12, 13 script). A két mintát Tiziano esetében a portré és vallási képek, Vermeer esetében a portré képek és a tájképek által kialakult agyi potenciálváltozás átlagának a rekordjai adták.

### Potenciáltérképek készítése

A T-teszt eredményéből potenciáltérképet készítettem, ahol jelöltem a szignifikáns elektróda területeit (+, illetve ++ jelölés)

## A MEGVALÓSÍTOTT SZOFTVER KERETRENDSZER

A jelfeldolgozó keretrendszert Matlab programozói környezetben valósítottam meg. A Matlab egy speciális programrendszer és programozási nyelv is egyben, amelyet numerikus számítások elvégzésére fejlesztettek ki.[6].

A kutatás során több mint 14 modult készítettem, melyeket a 2. sz. melléklet tartalmaz. Az egyes scriptek feladatai:

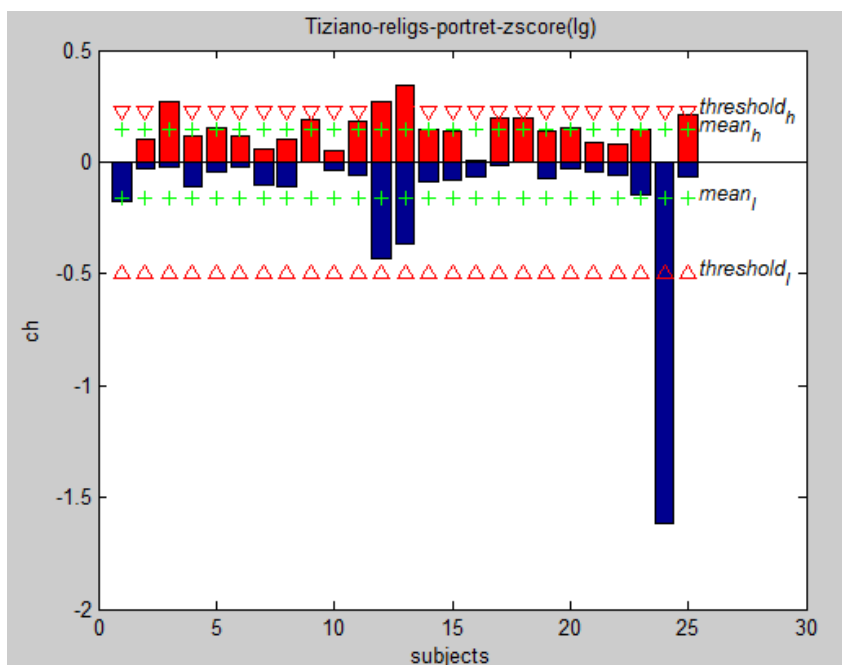
- 1.script: a PSD számítása
- 2.script: PSD adatokból Z érték számítása
- 3.script: az egyéges adathalmaz esetén a változók kinyerésére és átnevezésére
- 4.script: a képek tematika szerinti rendezése 1-1 alany esetén.
- 5.script: a különböző tematikájú képek nézése közbeni rekordok különbségének számítása
- 6.script: a kivont adathalmaz adatainak kinyerése, átnevezése.
- 7.script: Bar-graph-átlag, szórás, küszöbérték számítása
- 8.script: Potenciáltérkép készítése az összes alany esetén
- 9.script: Az egyéni képek adatainak elemzése a küszöbértéknek megfelelően:
- 10.script: Az egyéni képek adatainak kizárása a küszöbértéknek megfelelően
- 11.script: A kizárt alanyok utáni átlagkép számítás
- 12.script: T-teszt számítása
- 13.script: T-teszt korrekciós függvényei
- 14.script: Potenciáltérkép készítése a szignifikáns területek jelölésével

A leghosszabb futásidőt az 1 és a 2 sz. scriptek produkálták, melyek az összes alanyra számolták a PSD és Z-értékeket. (2 perc). A kutatásban az adatfájlok rendezése, a soron következő lépések optimalizálása, a többszintű adatelemzés, illetve a küszöbölés igényelte a legnagyobb időigényt és figyelmet.

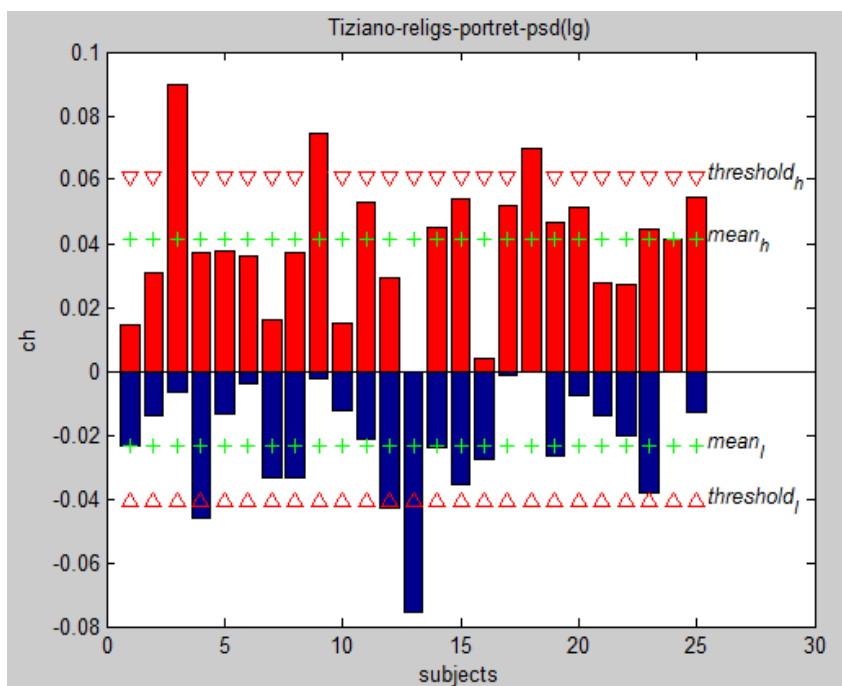
## EREDMÉNYEK

### Bar-graph ábrázolás az EEG alfa tartományában

Tiziano festményeinél a bar-graphos ábrázolás eredménye (alfa sáv):

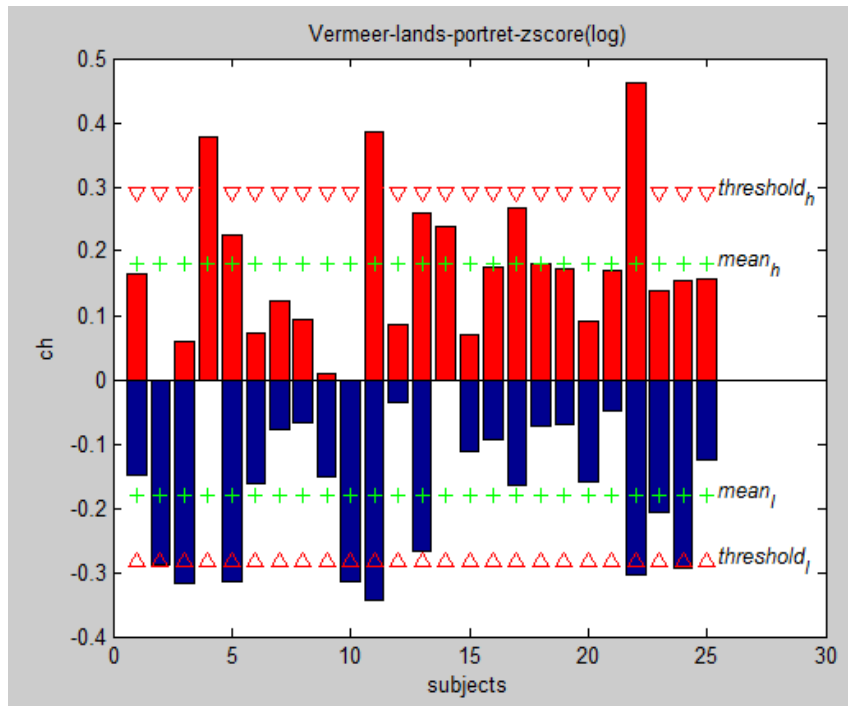


9. ábra Tiziano esetében az alanyok Z -értékeinek ábrázolása [alfa]

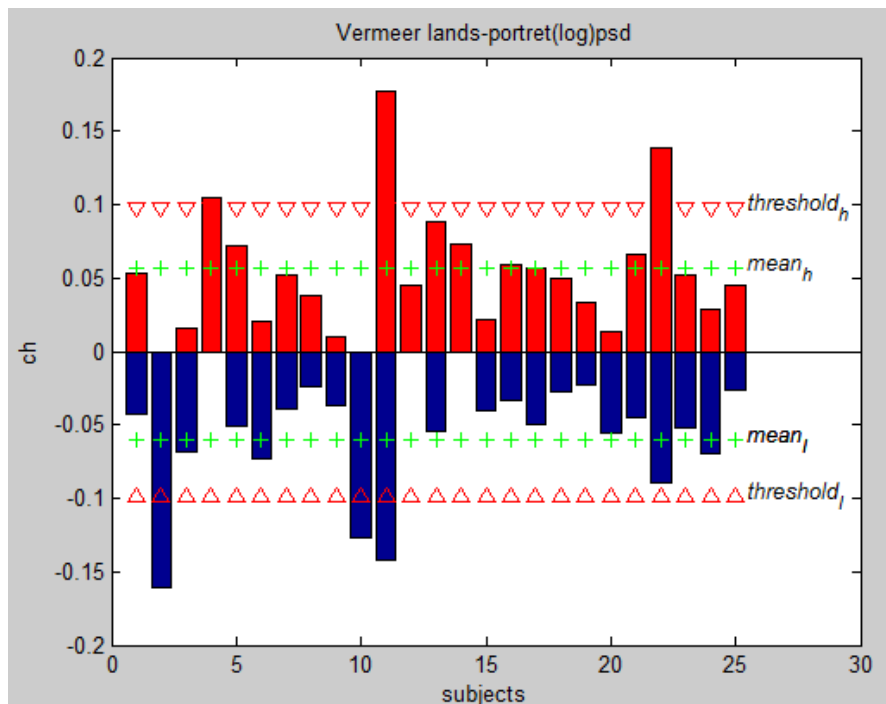


10. ábra Tiziano esetében az alanyok PSD értékeinek ábrázolása [alfa]

Vermeer festményei esetében:



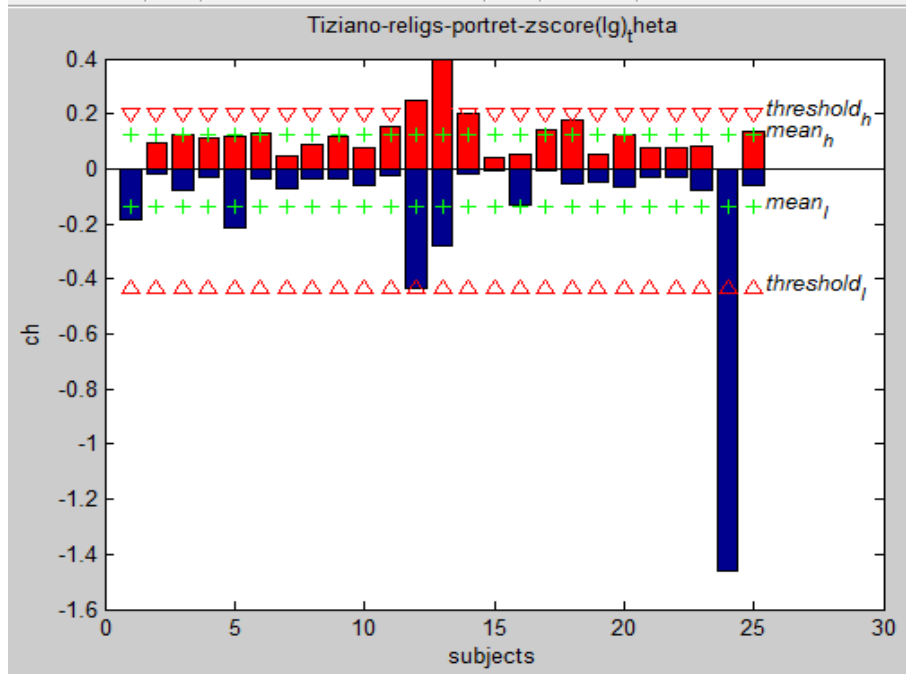
11. ábra Vermeer esetében az alanyok Z-értékeinek ábrázolása [alfa]



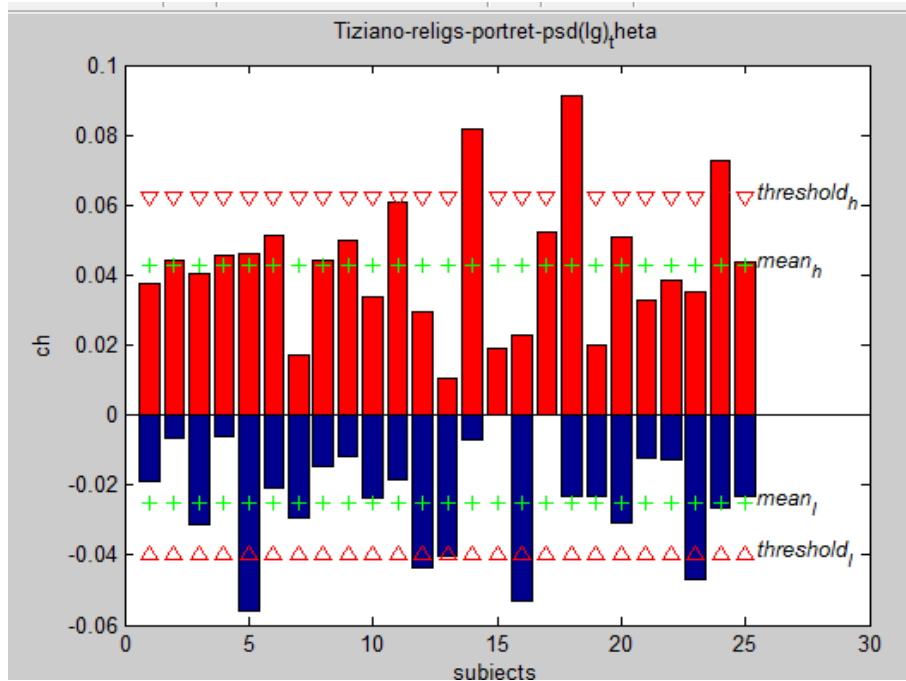
12. ábra Vermeer esetében az alanyok PSD értékeinek ábrázolása [alfa]

### Bar-graph ábrázolás az EEG theta tartományában

Az alfa tartománynak megfelelően az EEG theta sávjában is megtörtént az adatok alanyonkénti bar- graphos elemzése.

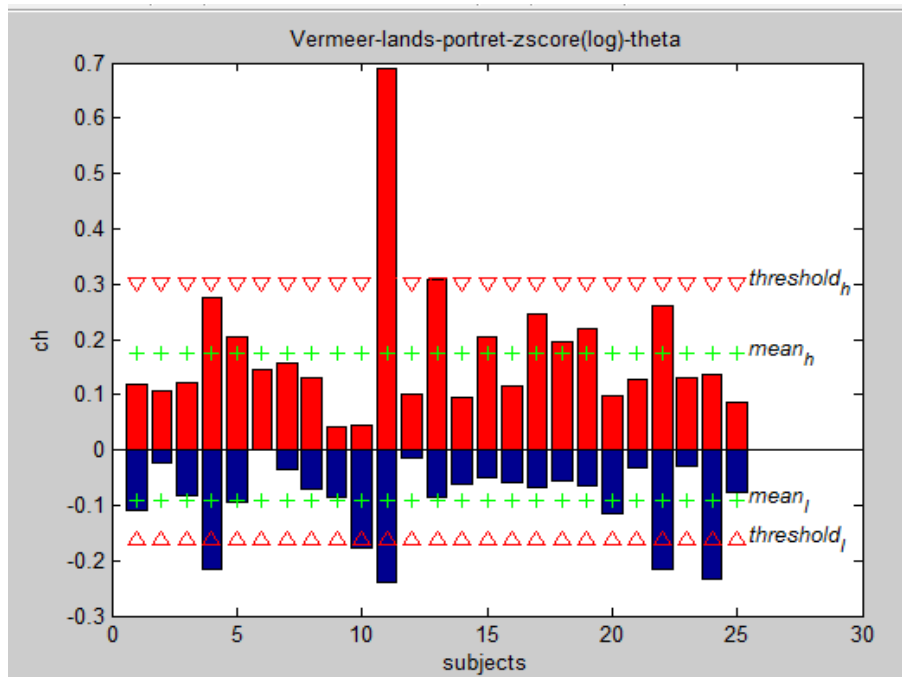


13. ábra Tiziano esetében az alanyok Z-értékeinek ábrázolása [theta]

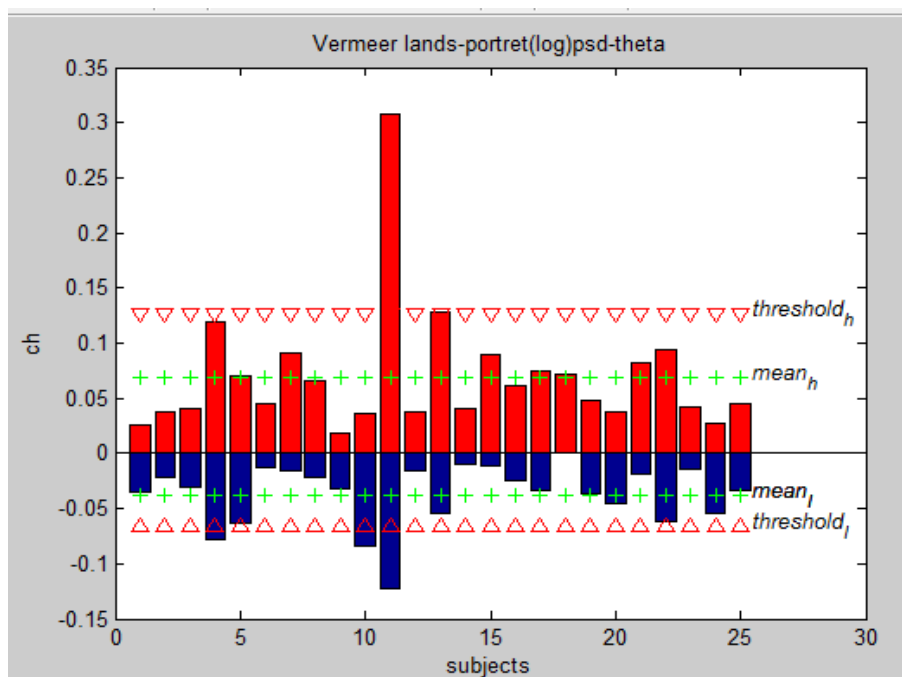


14. ábra Tiziano esetében az alanyok PSD értékeinek ábrázolása [theta]

Vermeer esetében:



15. ábra Vermeer esetében az alanyok Z-értékeinek ábrázolása [theta]



16. ábra. Vermeer esetében PSD értékeinek ábrázolása [theta]

### A küszöbérték szerinti korrekció az alfa sávban

Tiziano festményeinél a következő alanyok képei kerültek további elemzésre: a Z-értékek esetén a gráfos elemzés és a potenciáltérkép eredménye szerint az alfa sávban: 3, 12, 13, 24-es alanyok vallási illetve portré képeit elemeztem továbbiakban. A PSD adatokból a 3, 4, 9, 12, 13, 18 alanyok kerültek további elemzésre.

Vermeer festményeinél a Z-értékeknél a 2, 3, 4, 5, 10, 11, 22, 24 alanyok, a PSD adatoknál a 2, 4, 10, 11, 22 alanyok kerültek további elemzésre a tájképek és portrék esetében.

| Tiziano(log10)<br>z-score $\alpha$ | Tiziano(log10)<br>PSD $\alpha$ | Vermeer(log10)<br>z-score $\alpha$ | Vermeer(log10)<br>PSD $\alpha$ |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| S3 p(2,3)                          | S3 p(5,2)                      | S2 p(1,3)                          | S2 p(1)                        |
| S12 p(1,4,6)                       | S4 p(1,2)                      | S3 p(4)                            | S4 p(1,3)                      |
| S13 p(2,5)                         | S9 p(2,4)                      | S4 p(2)                            | S10 p(1,3)                     |
| S24 p(3,4)                         | S12 p(3,4)                     | S5 p(1,4)                          | S11 p(3)                       |
| S3 r(4,9)                          | S13 p(4,6)                     | S10 p(1,2)                         | S22 p(2,3)                     |
| S12 r(3,8,9)                       | S18(1)                         | S11 p(2)                           | S2 l(2)                        |
| S13 r(1,2,5)                       | S3 r(4,6)                      | S22 p(1)                           | S4 l(3)                        |
| S24 r(2,6,9)                       | S4 r(7,2)                      | S24 p(4)                           | S10 l(2)                       |
|                                    | S9 r(6,7)                      | S2 l(1)                            | S11 l(2,3)                     |
|                                    | S12 r(4,5)                     | S3 l(3)                            | S22--                          |
|                                    | S13 r(6,5)                     | S4 l(1)                            |                                |
|                                    | S18 r(4)                       | S5 l(1)                            |                                |
|                                    |                                | S10 l(3)                           |                                |
|                                    |                                | S11--                              |                                |
|                                    |                                | S22--                              |                                |
|                                    |                                | S24l(1)                            |                                |

**2. táblázat. A küszöbérték szerinti elemzés eredménye az alfa sávban**  
(rövidítések: s- személy sorszáma, p- portré, r- vallásos, l- tájkép)

A 2. táblázat a küszöbérték szerinti elemzés eredményeit mutatja az alfa sáv esetén. (2. sz.melléklet 9, 10 script)

### A küszöbérték szerinti korrekció a theta sávban

Tiziano esetében: a következő alanyok képei kerültek további elemzésre: a Z-értékek esetén a gráfos elemzés és a potenciáltérkép elemzése szerint a theta sávba: 12, 13, 24,-es alanyok vallási illetve portré képeit elemeztük továbbiakban, a PSD adatokból az 5, 12, 13, 14, 16, 18, 23, 24 alany esete, Vermeer festményeinél a Z-értékeknel a 4, 10, 11, 13, 22, 24-es alanyok esete a PSD adatoknál – a 4, 10, 11, 13-as alanyok esete került további elemzésre a tájképek és portrék esetében.

A küszöbérték szerinti elemzés eredményeit a theta sávban a 3. táblázat mutatja.

| Tiziano(log10)<br>z-score $\theta$ | Tiziano(log10)<br>PSD $\theta$ | Vermeer(log)10<br>z-score $\theta$ | Vermeer(log)10<br>PSD $\theta$ |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| S12 p(5,6,7)                       | S5 p(2,5,6)                    | S4 p(2)                            | S4 p(2)                        |
| S13 p(1,6)                         | S12 p(1,6,7)                   | S10 p(1,2)                         | S10 p(1,4)                     |
| S24 p(7)                           | S13 p(4,5)                     | S11 p(2)                           | S11 p(3)                       |
| S12 r(8)                           | S14 p(4,1)                     | S13 p(1,4)                         | S13 p(2)                       |
| S13 r(8)                           | S16 p(3,5)                     | S22 p(4)                           | S4 l--                         |
| S24 r(7)                           | S18 p(6)                       | S24 p(4)                           | S10 l(1)                       |
|                                    | S23 p(3,7)                     | S4 l(1)                            | S11 l(1)                       |
|                                    | S24 p(5)                       | S10 l(2)                           | S13 l(1)                       |
|                                    | S5 r(4,8)                      | S11 l(2)                           |                                |
|                                    | S12 r(6,8)                     | S13 l(1,3)                         |                                |
|                                    | S13 r(1,6,8)                   | S22 l--                            |                                |
|                                    | S14 r(5,7,8)                   | S24 l(1)                           |                                |
|                                    | S16 r(6,9)                     |                                    |                                |
|                                    | S18 r(6,7,8)                   |                                    |                                |
|                                    | S23 r(1,4,6)                   |                                    |                                |
|                                    | S24 r(2,4,5,7)                 |                                    |                                |

**3. táblázat. A küszöbérték szerinti elemzés eredménye a theta sávban**  
(rövidítések: s- személy sorszáma, p- portré, r- vallásos, l- tájkép)

### **T-teszt eredmények**

Az alfa sávban elemzett adatok után a következő alanyok lettek kizárva:

Tiziano Z- értékeinél a 13-as alany,

Tiziano PSD adatainál: 9 és 13

Vermeer Z-értékeinél: 3, 4, 11, 22, 24

Vermeer PSD adatainál: 2, 4, 11, 22.

A részletes eredmények bar-graphos és potenciáltérképes ábrázolásait a 1. sz. melléklet tartalmazza.

A theta sávban elemzett adatok után a következő alanyok lettek kizárva:

Tiziano Z- értékeinél a 11, 12, 24-es alanyok,

Tiziano PSD adatainál: 5, 12, 13,14, 16, 23, 24

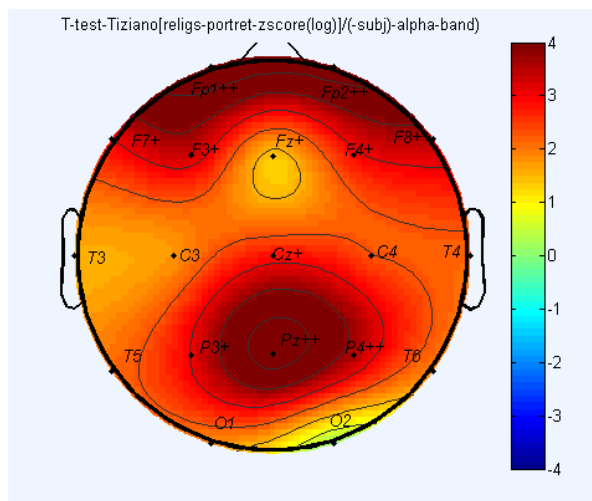
Vermeer Z-értékeinél: 4, 11, 22, 24

Vermeer PSD adatainál: 4, 11, 13.

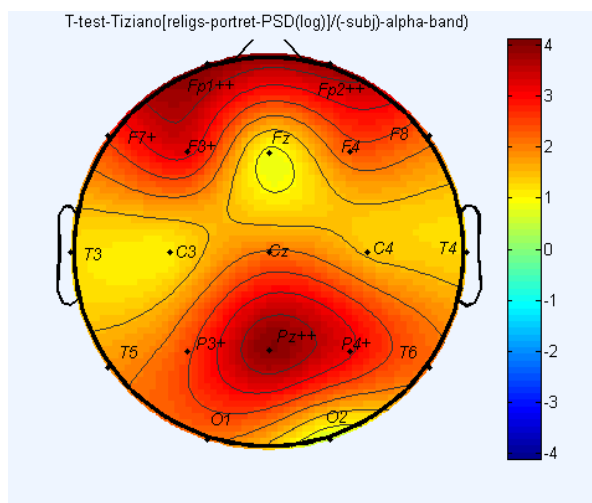
### **Végeredmények**

A T- teszt számítását követően a T-teszt szignifikáns értékeit felhasználva vizuális térképeket készítettem, melyek a koponyán belüli elektróda aktivitások pontosabb megértését segítik. (2. sz. melléklet 14. script)

A képek a 19 elektróda alatti potenciálértéket, illetve potenciálváltozást mutatják, mindkét festő képeinél az EEG alfa ill theta tartományában, egységes színpaletta tartományt választva (-4 és +4 határokkal- interpoláció nélkül). Tiziano esetében a T-teszt eredményének potenciál térképe (Z-érték és PSD-adatokból):



**17. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Tiziano Z-értékei [alfa sáv]**



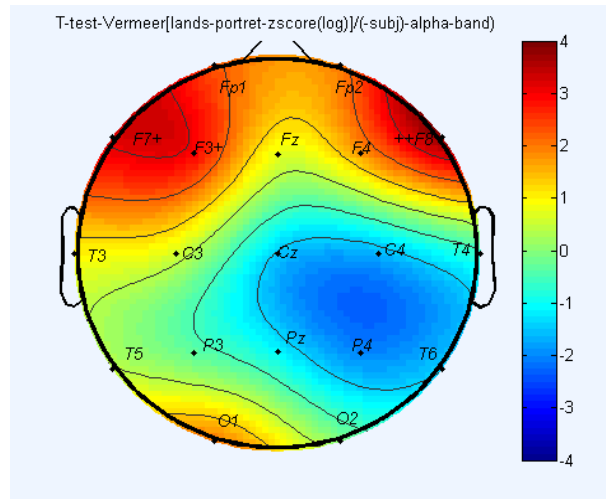
**18. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Tiziano PSD-értékei [alfa sáv]**

A szignifikáns régióknál +, illetve nagyon erős szignifikancia esetén ++ jelölés látható. Mindkét esetben jelentős szignifikancia észlelhető az Fp1, Fp2 és Pz elektródák alatt. Kevésbé szignifikáns területek a Z-értékekből számított potenciáltérképnél az F7, F3, Fz, F4, F8, P3, a PSD-ből számított potenciáltérképnél pedig az F7, F3, P3, P4.

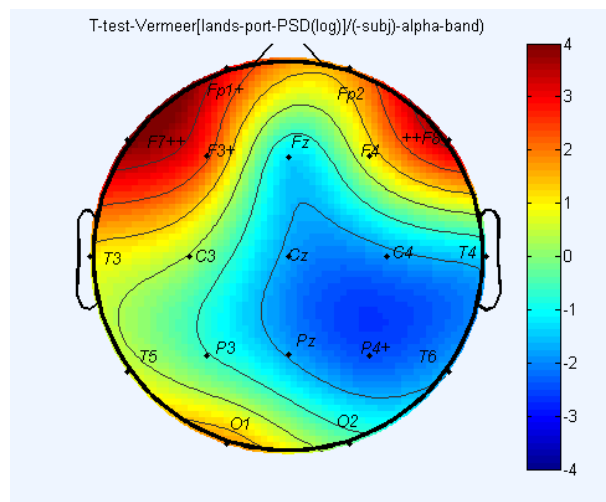
Ezen esetekben a vallási képekkel szemben a portrék nagyobb aktivitást mutattak a frontális (homlok) lebeny kérgi részében, mindkét oldalon, valamint a parietális lebeny (falcsoni kéreg) középvonali részén. A korábbi kutatások alapján a frontális kéregben található az emocionális hatás agyi reprezentációja, míg a parietális kéregállományához köthetők az ún. gnosticus (érzékszervi

felismerési) funkciók, tehát ez a tárgyak és szimbólumaik felismerésének agykérgi szintere.

Vermeer esetében a T-teszt eredményének potenciál térképe (Z-érték és PSD-adatokból-alfa sáv):



**19. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Vermeer Z-értékei [alfa sáv]**

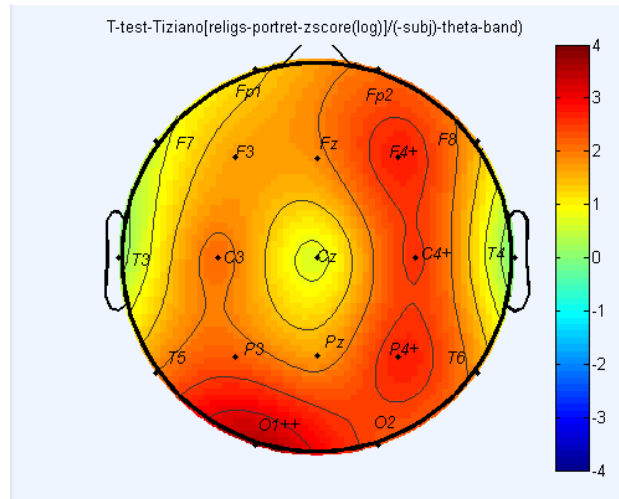


**20. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Vermeer PSD-értékei [alfa sáv]**

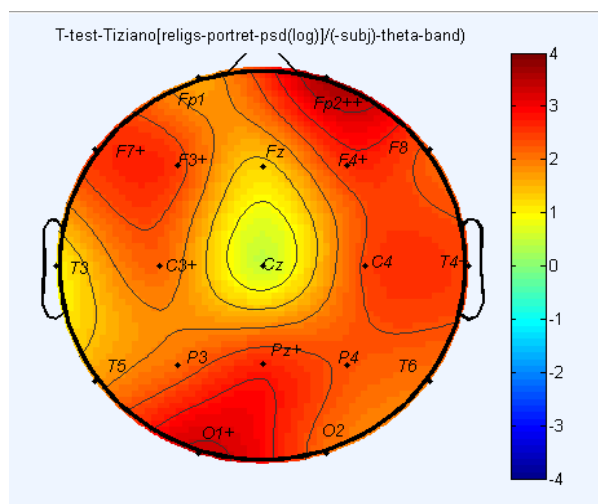
Vermeer Z-érték, és PSD adataiból számított T-teszt eredménye: szignifikáns területek mindkét esetben az F7, F3, valamint az F8 elektróda alatti régiókban. A PSD adatok esetén pedig a P4 szignifikancia is jelentős, ami negatív értéket mutatott. Tehát a portré képek a tájképekkel szemben a legkifejezőbb eltérés szintén a homloklebeny elülső részére lokalizálhatók.

Az EEG theta sáv széleség tartományában a következők az eredmények:

Tiziano esetében a Z- érték és PSD adatok potenciáltérképei:



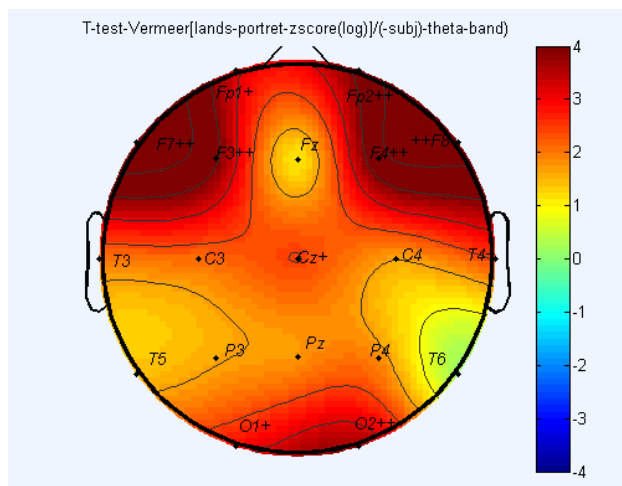
**21. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Tiziano Z-értékei [theta sáv]**



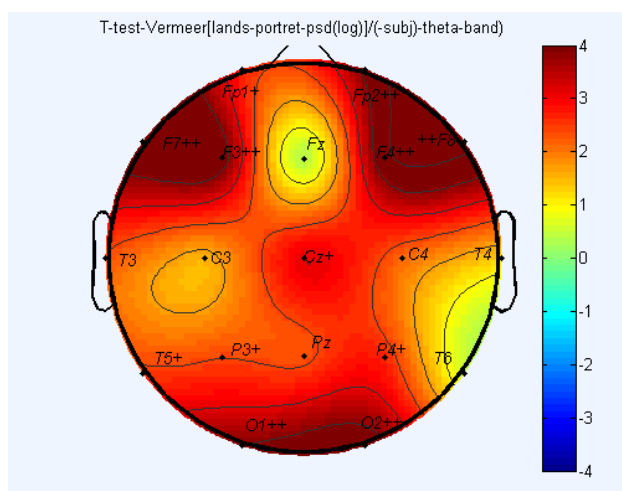
**22. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe-Tiziano PSD-értékei [theta sáv]**

Mindkét esetben a bal occipitális (nyakszirti) kéreg O1 elektróda alatti szignifikancia látható, mely leginkább a látás kérgi reprezentációs területének feleltethető meg.

Vermeer esetében a Z- érték és PSD adatok potenciáltérképei:



23. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe -Vermeer Z-értékei [theta sáv]



24. ábra T-teszt eredményének potenciáltérképe-Vermeer PSD-értékei [theta sáv]

Vermeer esetében a theta sáv szélességében nagyon jelentős szignifikáns területek találhatók a frontális lebeny mindkét oldalán, valamint a nyakszirti lebeny területén.

### Az eredmények értékelése

Összességében megállapíthatjuk, hogy az erősen szignifikáns területek megerősítik az agyi régiók korábbi kutatásokból származó funkcionális felosztását. Az alfa sáv szerinti elemzés esetén mind a két festő képeinél a frontális területek fokozott aktivitása kiemelkedő. Ez összhangban van Winecoff és munkatársai tanulmányával az emocionális hatások agyi reprezentációjáról

[33], valamint P.G. Lengger tanulmányával [23], melyek szintén a bal frontális lebeny neuro-esztétikai jelentőségét emelik ki.

Az EEG theta sávjában Tiziano festményeinél a bal nyakszirti kéreg O1 elektróda alatti területének szignifikanciája, hasonló módon Vermeer esetén a nyakszirti lebeny szignifikanciája látható. Ez a terület elvárásainknak megfelelően a látás kérgi reprezentációs területének feleltethető meg.

A fali lebeny középvonali része inkább Tiziano festményeinél mutat nagyobb szignifikancia értéket. Erre a területre lokalizálható a tárgyak, szimbólumok felismerése. A vallási témájú képek kontra portré képek esetén ez a terület aktívabbnak bizonyult, ami magyarázható a vallási képeken ábrázolt tartalmi összefüggéssel. A vallási képekre személyek, illetve egy-egy vallási tematikájú pillanat megörökítése jellemző. Ugyanakkor Vermeer képeinél a tájképek, kontra portré képek részleteinek gazdagsága hasonló aktivitást jelenthet a képek különbségének elemzésénél, amivel magyarázható, hogy a fali lebeny kevésbé lett szignifikáns ebben az esetben. Vermeer képei esetén a frontális lebeny erőteljesebb aktivitása szembetűnő. Az ok lehet a különböző háttér is (egyik esetben az 1. számú folyosó, a másik festő esetében a 2. számú folyosó). A két festőhöz tartozó különböző, illetve kis mértékben különböző aktivitási területek pontosítása további vizsgálatok tárgya lehet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat bemutatta az EEG alapú agyi aktivitás-elemzést, ezen belül a neuroesztétika alapvető módszereit, és áttekintette az agyi régiók funkcionális felosztására vonatkozó kutatások legújabb eredményeit, illetve az EEG jelek feldolgozására használt alapvető műveleteket. Más technológiák, mint pl.: az fMRI alkalmazásával is lehetséges az agyi aktivitás kutatása, de a mobilizálhatóság, illetve a költséghatékonyság szempontjából az egyes vizsgálatokban és kutatásokban az EEG mégis előnyt élvez.

A saját munka kiindulópontját egy 2013-as római vizsgálat jelentette, melyből rendelkezésemre állt két festő számos festményének nézése közben felvett EEG rekord összesen 30 személytől. Az ezeken az adatokon végzett korábbi elemzésekhez képest az én célkitűzésem abban különbözött, hogy elsősorban a képek tematikus különbségeinek a hatását kerestem az agyi aktivitásban, mind a két festő képeiből származó EEG-felvételek alapján.

A dolgozatban ismertetett legfontosabb saját eredmények: a jelfeldolgozási folyamat lépéseinek megtervezése a szakterületen általánosan elfogadott elvek és módszerek felhasználásával, a jelfeldolgozó szoftver keretrendszer megtervezése és megvalósítása Matlab környezetben, az elemzések lefuttatása, és végül az eredmények értékelése a korábbi hasonló témájú vizsgálatok tükrében.

A jelfeldolgozási lépések metodikai újdonsága a kép-témák különbségének számítási módja, a háttér megválasztása (folyosó-nézés), illetve az, hogy az adatelemzés a PSD és Z értékből számított jellemzők alapján is megtörtént. A jelfeldolgozás egyes lépéseit a fő agyi aktivitási frekvencia-tartományokban külön-külön végeztem el.

A kutatás alaphipotézise az volt, hogy a különböző tematikájú képek szignifikánsan más agyi neuronális aktivitást váltanak ki, konkrétan a portré képek esetén az arcfelismeréséért felelős területek aktivitás-növekedését vártam.

Az elemzés eredményeképpen kapott erősen szignifikáns területek megerősítették az agyi régiók korábbi kutatásokból származó funkcionális felosztását. Az alfa sáv szerinti elemzés esetén mind a két festő képeinél a frontális területek fokozott aktivitása kiemelkedő a korábbi vizsgálati eredményekkel összhangban, viszont a falílebeny középvonali része inkább

Tiziano festményeinél mutat nagyobb szignifikancia értéket. Erre a területre lokalizálható a tárgyak, szimbólumok felismerése. Érdekes, hogy szintén Tiziano képeinél a falcsonti kéreg középvonali részén észlelhető szignifikáns különbség mely az érzékszervi felismerési funkciók agykérgi színtere.

A két festőhöz tartozó különböző, illetve kis mértékben különböző aktivitási területek pontosítása további, valós környezetben végzett vizsgálatok tárgya lehet.

## Hivatkozások

- [1] BABILONI F., CHERUBINO P., GRAZIANI I., TRETTEL A., INFARINATO F., PICCONI D., BORGHINI G., MAGLIONE A. G., MATTIA D. AND VECCHIATO G., (2013). Neuroelectric brain imaging during a real visit of a fine arts gallery: a neuroaesthetic study of XVII century Dutch painters, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 6179 – 6182.
- [2] BATT R, PALMIERO M, NAKATANI C, VAN LEEUWEN C. (2010) Style and spectral power: processing of abstract and representational art in artists and non-artists. *Perception, Pubmed*, 39(12):1659-71.
- [3] BHATTACHARYA J. (2009) Increase of universality in human brain during mental imagery from visual perception. *PLoS One*, 4(1): 4121.
- [4] BINNIE, C. D., DEKKER, E., SMIT, A., & VAN DER LINDEN, G. (1982). Practical considerations in the positioning of EEG electrodes: *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology* Vol 53(4) Apr 1982, 453-458.
- [5] CELA-CONDE CJ, AYALA FJ, MUNAR E, MAESTU F, NADAL M, CAPO MA, DEL RIO D, LOPEZ-IBOR JJ, ORTIZ T, MIRASSO C, MARTY G. (2009). Sex-related similarities and differences in the neural correlates of beauty. *Proc Natl Acad Sci*, 106:3847–3852.
- [6] CLEVE MOLER, a MATLAB készítője (2004): The Origins of MATLAB
- [7]. COMON, PIERRE (1994): "Independent Component Analysis: a new concept?", *Signal Processing*, 36 (3):287–314.
- [8] CUPCHIK G.C., VARTANIAN O., CRAWLEY A., MIKULIS DJ. (2009) Viewing artworks: contributions of cognitive control and perceptual facilitation to aesthetic experience. *Brain Cogn* 70:84–91.
- [9] C. DI DIO, V. GALLESE, (2009). Neuroaesthetics: a review. *Neurobiology*, 19:682–687.

- [10] FISCHER T, GRAUPNER ST, VELICHKOVSKY BM, PANNASCH S. (2013), Attentional dynamics during free picture viewing: Evidence from oculomotor behavior and electrocortical activity. *Front Syst Neurosci*; 7:17.
- [11] GALLESE V., DI DIO C. (2012). Neuroesthetics: the body in esthetic experience, in *The Encyclopedia of Human Behavior*, Elsevier Academic Press, 687–693.
- [12] GÜLLMAR D, HAUEISEN J, REICHENBACH JR. (2010). Influence of anisotropic electrical conductivity in white matter tissue on the EEG/MEG forward and inverse solution. A high-resolution whole head simulation study. *Neuroimage*.51 (1): 145-63.
- [13] JOCHMANN T, GÜLLMAR D, HAUEISEN J, REICHENBACH JR. (2010). Influence of tissue conductivity changes on the EEG signal in the human brain: a simulation study. *ZMedPhys*. 21(2):102-12.
- [14] KEYSERS C, GAZZOLA V. (2009). Review Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Curr Opin Neurobiol*. 19(6):666-71.
- [15] KÉRI SZABOLCS, GULYÁS BALÁZS, (2003). Elektrofiziológiai módszerek a kognitív idegtudományban. *Osiris Kiadó*, Budapest, 5./82.
- [16] LOCKLEY, S. W., SKENE, D. J., & ARENDT, J. (1999). Comparison between subjective and actigraphic measurement of sleep and sleep rhythms. *Journal of Sleep Research*, 50,715-719.
- [17] LONGCAMP M, TANSKANEN T, HARI R, (2006). The imprint of action: motor cortex involvement in visual perception of handwritten letters. *Neuroimage*.33 (2):681-8.
- [18] LUKÁCS O. (2002): Matematikai statisztika. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.
- [19] M A UMILTA et al. (2012) Abstract art and cortical motor activation: an EEG study. *Front. Hum.Neurosci*. 6:311.

- [20] NALBANTIAN, SUZANNE (2008). "Neuroaesthetics: neuroscientific theory and illustration from the arts". *Interdisciplinary Science Reviews* 33 (4): 357–368.
- [21] Nemzetközi Klinikai Neurofiziológiai Szövetség 1999-es útmutató Electroenceph. *Clin. Neurophysiol.* 1999, Suppl. 2. pp 21-40.
- [22] PANG C.Y., NADAL M, MÜLLER-PAUL JS, ROSENBERG R, KLEIN C. (2013) Electrophysiological correlates of looking at paintings and its association with art expertise. *Biol Psychol.* 93(1):246-54.
- [23] P.G. LENGGER et al. (2007) Functional neuroanatomy of the perception of modern art: A DC-EEG study on the influence of stylistic information on aesthetic experience. *Brain Res.* 1158:93-102.
- [24] RIZZOLATTI G, SINIGAGLIA C.(2010). Review The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations *Nat Rev Neurosci.* 11(4):264-74.
- [25] ROBERT W. THATCHER, (2008). Z-Score EEG biofeedback: conceptual foundations, *Neuroconnections Newsletter*, p.9.
- [26] SAEID SANEI, J.A. CHAMBERS, (2007). EEG signal processing, *John Wiley & Sons*, 2007.
- [27] SBRISCIA-FIORETTI B, BERCHIO C, FREEDBERG D, GALLESE V, UMILTÀ MA.(2013), ERP Modulation during observation of abstract paintings by Franz Kline, *PLoS One*, 8(10).
- [28] SOLOMON-HARRIS LM, MULLIN CR, STEEVES JK.(2013). TMS to the "occipital face area" affects recognition but not categorization of faces. *Brain Cogn.* 83(3):245-251.
- [29] SZENTÁGOTHAJ JÁNOS, RÉTHELYI MIKLÓS, (1989). Funkcionális Anatómia, *Medicina Kiadó*
- [30] TOMOKA TAKEUCHIA, ROBERT D. OGILVIEC, TIMOTHY I. MURPHYC, ANTHONY V. FERRELLIE, (2002), EEG activities during elicited sleep onset REM and NREM periods reflect different

mechanisms of dream generation, *Clinical Neurophysiology* 114 (2003) 210–220.

- [31] VARTANIAN O, GOEL V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *NeuroReport* 15:893–897.
- [32] VIOLA, A. U., JAMES, L. M., ARCHER, S. N., & DIJK, D. J. (2008). PER3 polymorphism and cardiac autonomic control: effects of sleep debt and circadian phase. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 295(5), H2156-2163.
- [33] WINECOFF A, CLITHERO JA, CARTER RM, BERGMAN SR, WANG L, HUETTEL SA. (2013). Ventromedial prefrontal cortex encodes emotional value. *J Neurosci*. 33(27):11032-9.
- [34] YUE X., VESSEL E.A., BIEDERMAN I.(2007) The neural basis of scene preferences. *NeuroReport* 18:525–529.
- [35] S. ZEKI, (1999). Art and the brain. *J. Conscious.Stud.* 6, 76–96.
- [36] ZHANG R, XU P, GUO L, ZHANG Y, LI P, YAO D.(2013) Z-score linear discriminant analysis for EEG based brain-computer interfaces. *PLoS One*. 13;8(9):e74433.

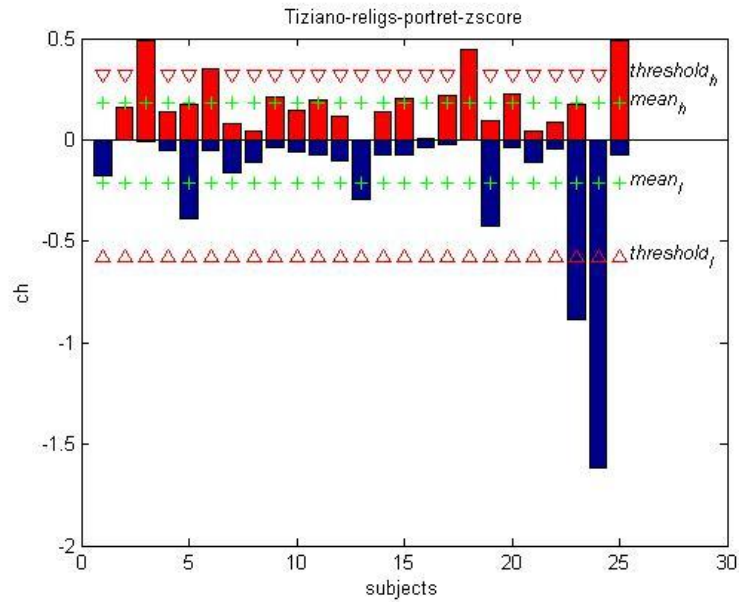
**Webes hivatkozások:**

- [37] [http://en.wikipedia.org/wiki/Bonferroni\\_correction](http://en.wikipedia.org/wiki/Bonferroni_correction) [utolsó ellenőrzés dátuma 2013.11.20]
- [38] <http://hu.wikipedia.org/wiki/EEG> [utolsó ellenőrzés dátuma 2013.11.20]
- [39].<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JSPdq9SnzVMJ:detari.web.elte.hu/seged/EEGelemzes.doc+&cd=1&hl=hu&ct=clnk&gl=hu> [utolsó ellenőrzés dátuma 2013.11.20]

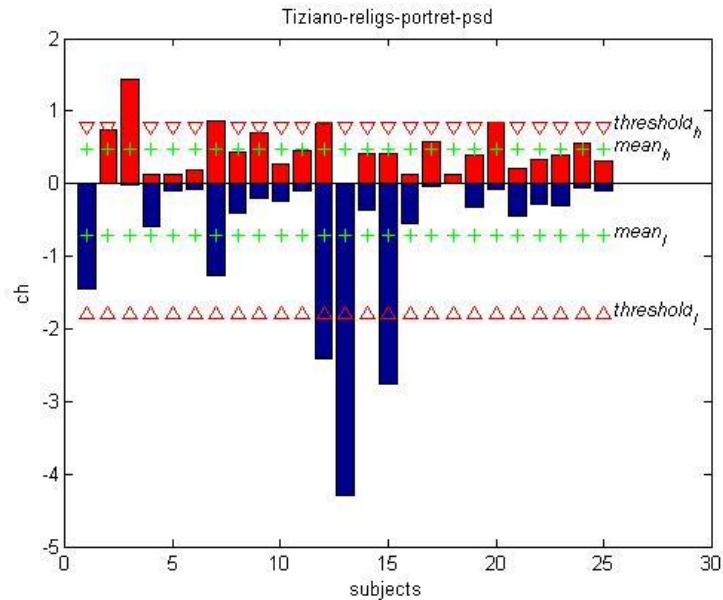
## 1.sz. melléklet

Elsődleges eredmények, az adatok log10 számítása előtt

Tiziano festményeinél (Z-értékek és PSD bar-graphjai)

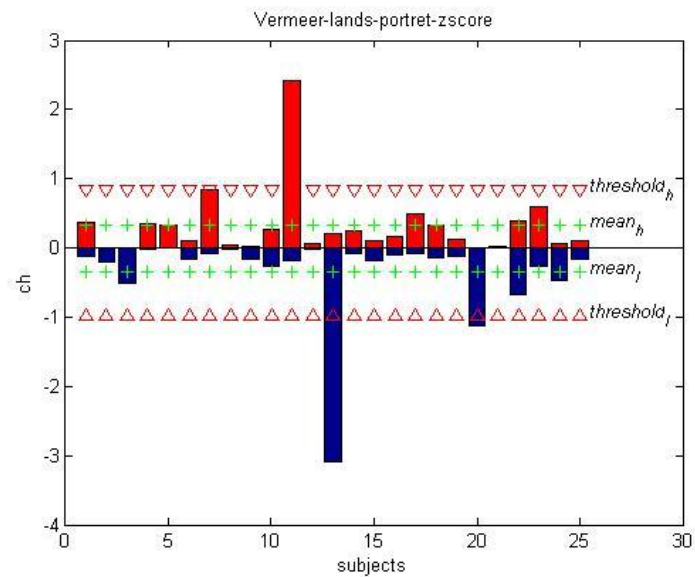


25. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (Z-érték)

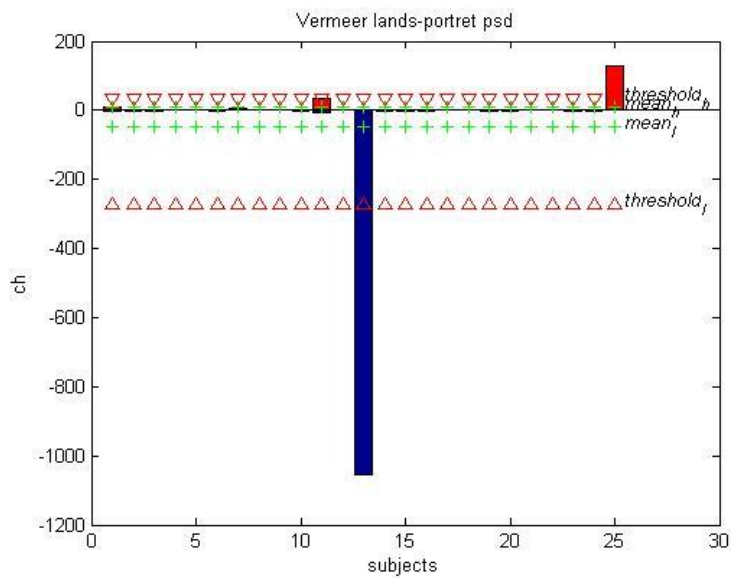


26. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (PSD érték)

Vermeer festményei esetében az első eredmények (Z-érték és PSD bar-graphok):



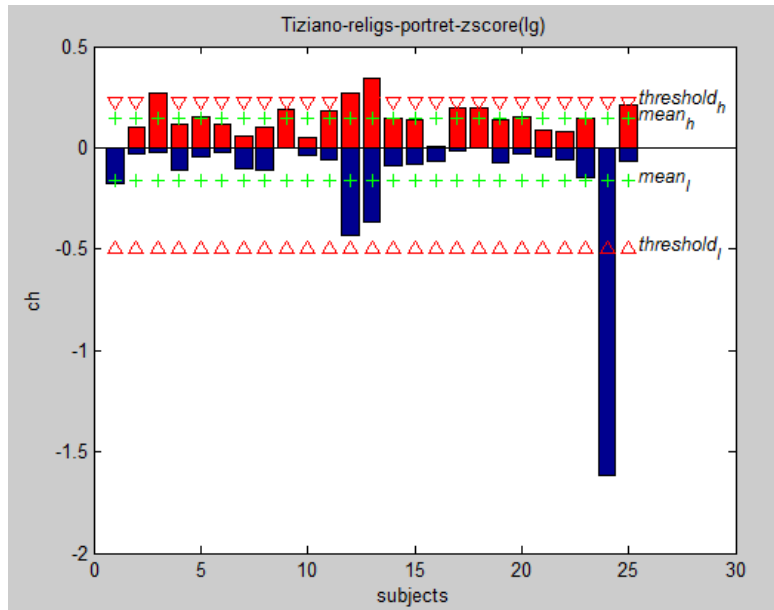
27. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (Z-érték)



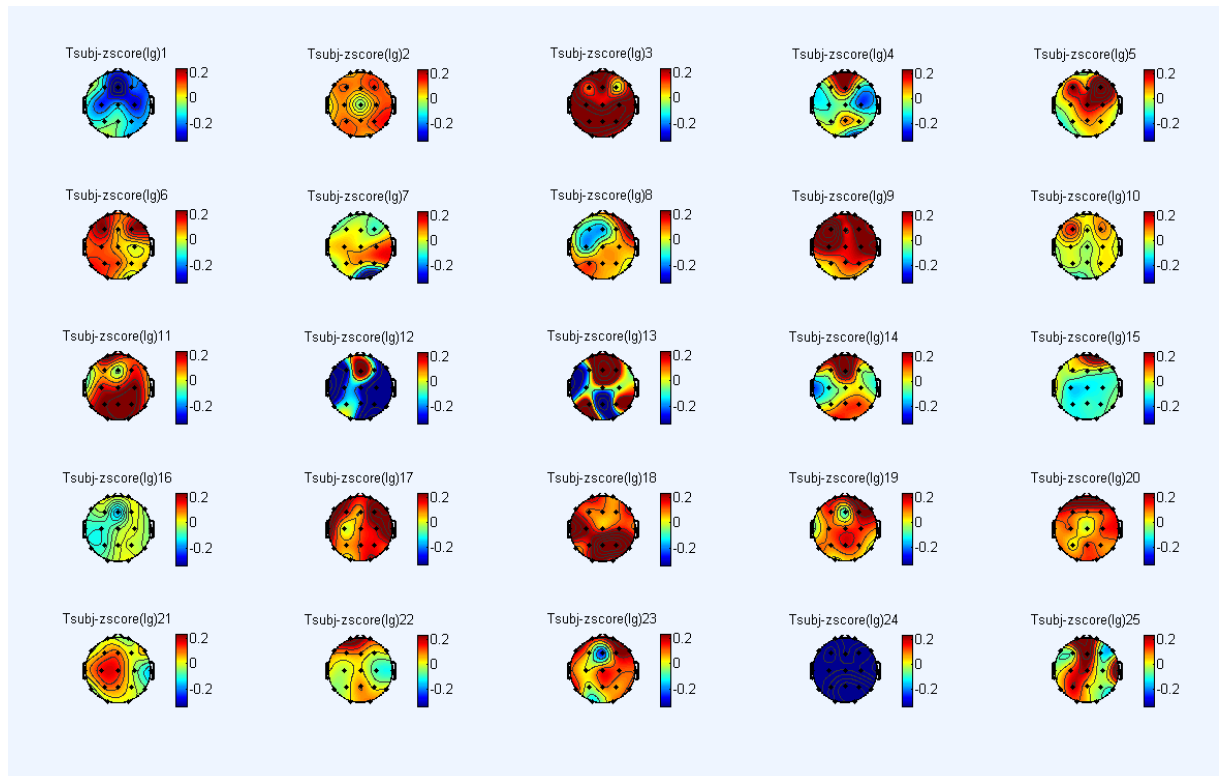
28. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (PSD érték)

A festmények hatásainak eredményei a  $\log(10)$  számítása után:

Tiziano esetében alfa sáv Z-érték bar graph (a), potenciáltérkép (b)



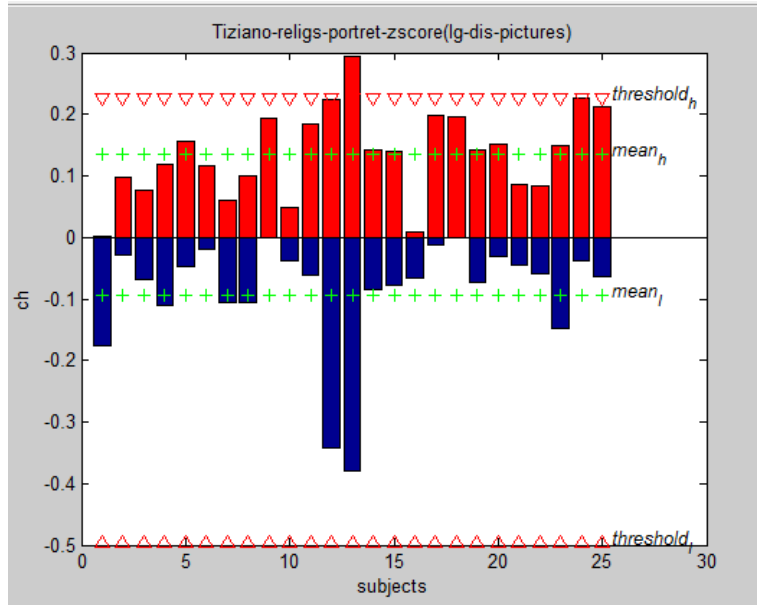
29. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték)alfa



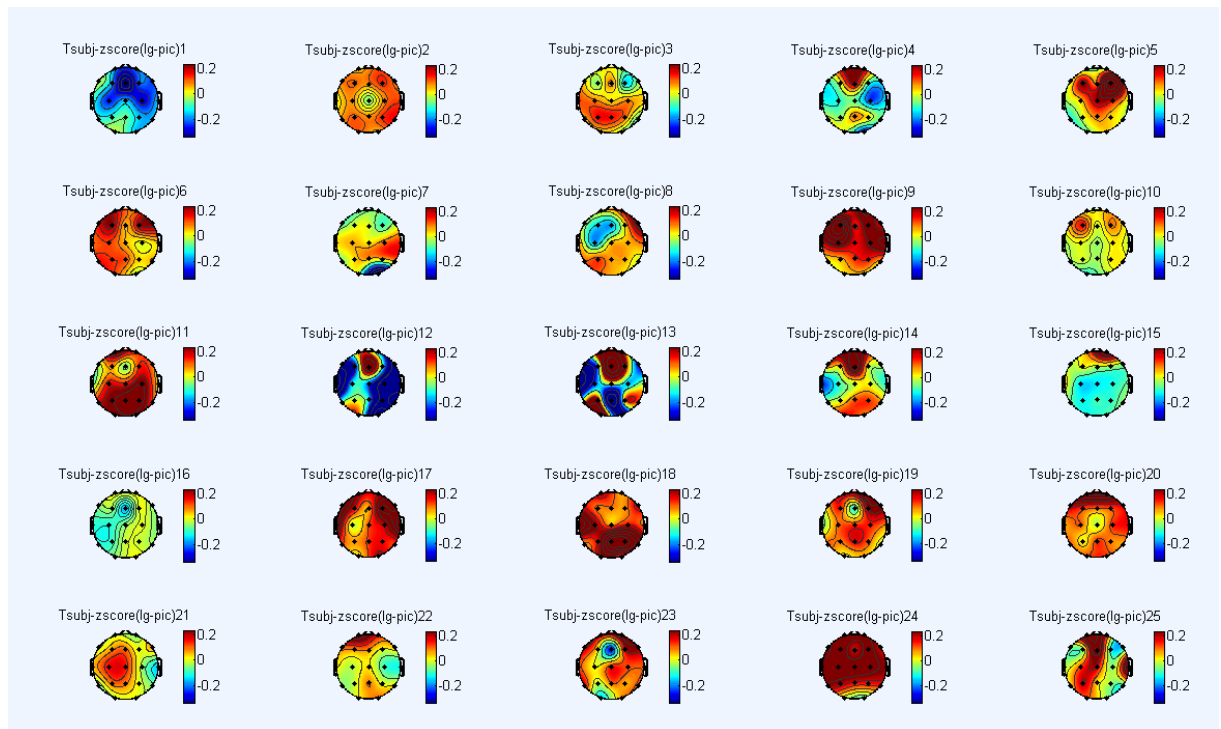
30. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) alfa

A kizárt képek utáni eredmények;

Tiziano esetében Z-érték, alfa sáv bar-graph(a), potenciáltérkép (b):

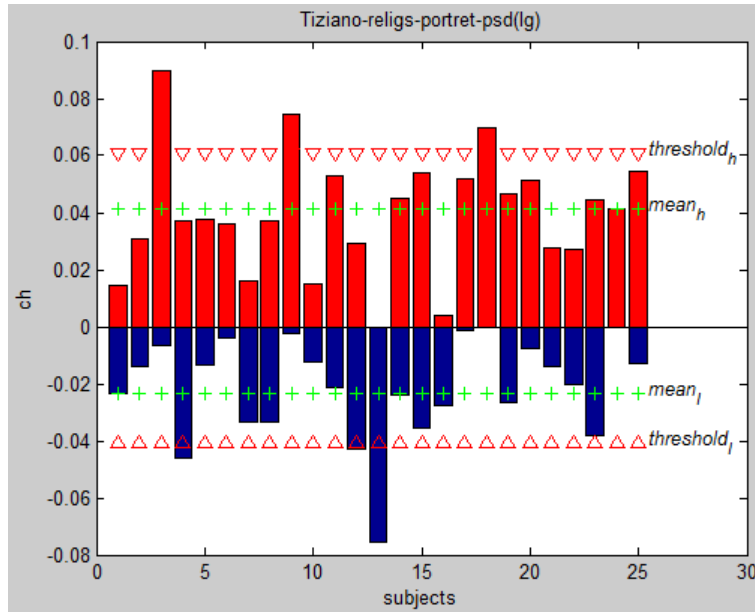


**31. ábra** Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték)-alfa-képek kizárása után

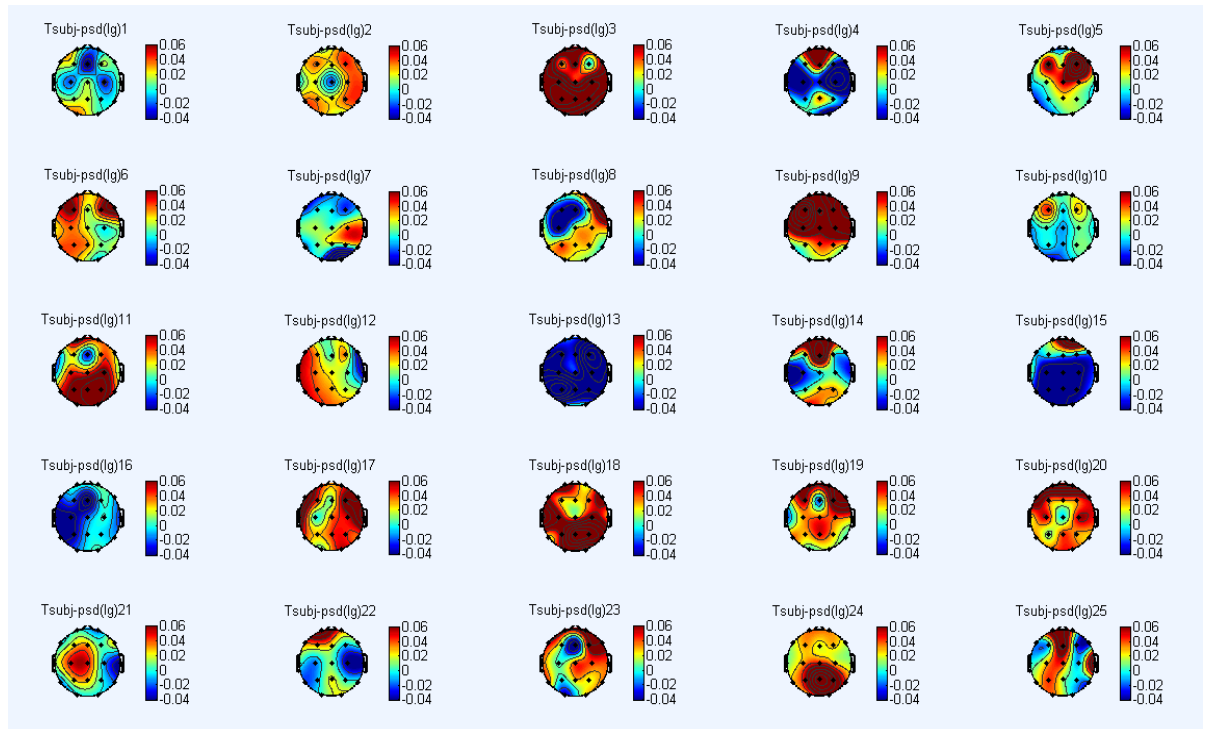


**32. ábra** Tiziáno festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) alfa -képek kizárása után

Tiziano PSD adatainál alfa sáv:



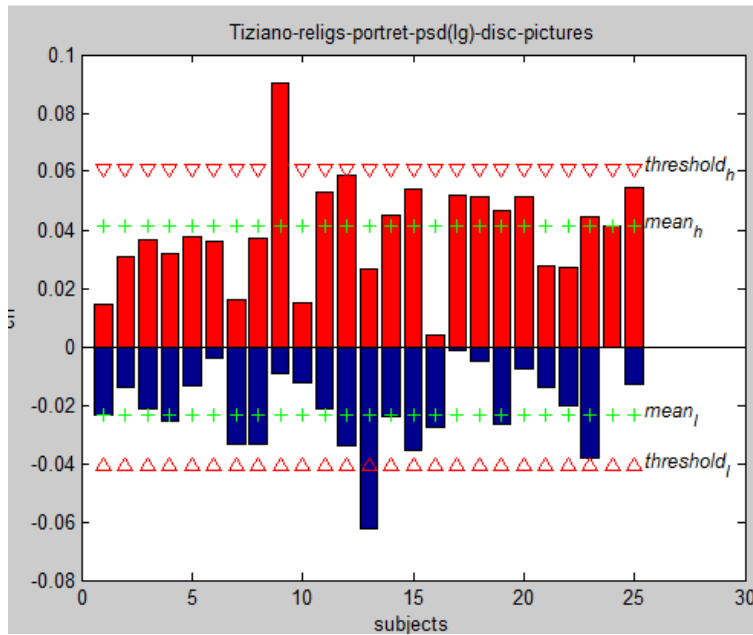
33. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD) alfa



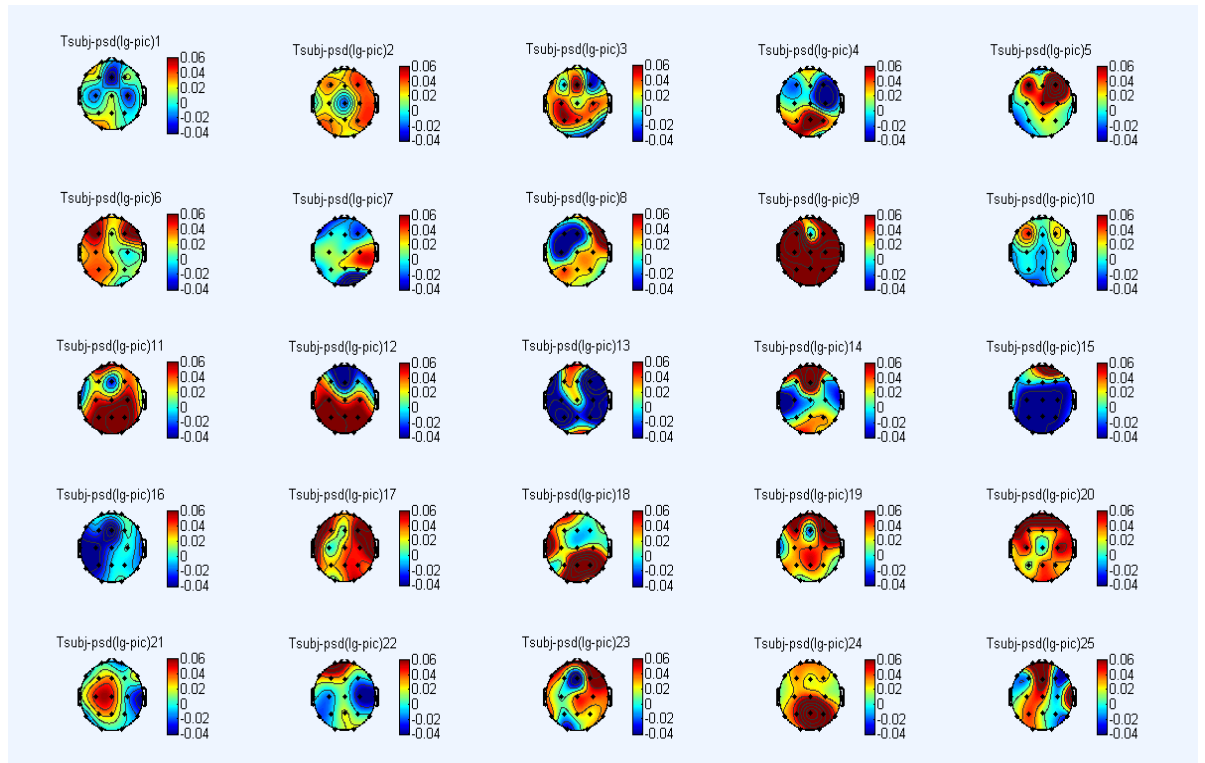
34. ábra Tiziáno festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) alfa

A képek eltávolítása után:

Tiziano esetében PSD, alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

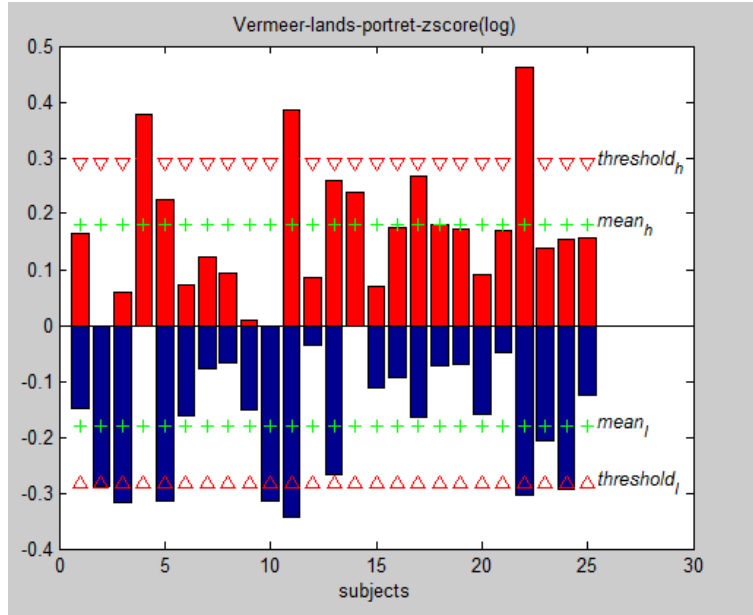


**35. ábra** Tiziáno festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD) –alfa-képek kizárása után

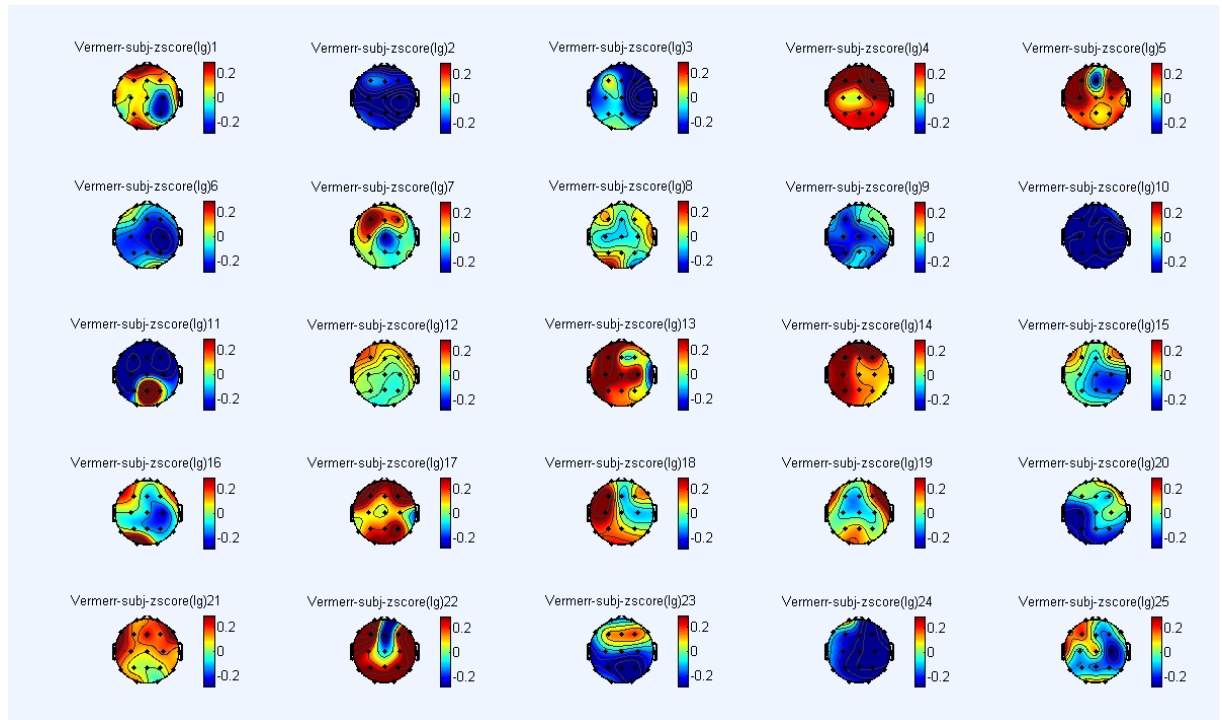


**36. ábra** Tiziáno festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) alfa-képek kizárása után

Vermeer esetében Z-érték esetében alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

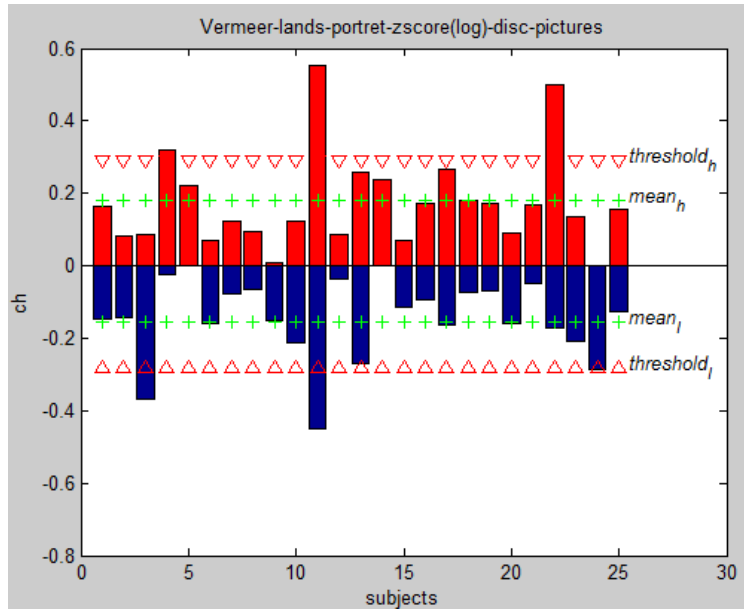


37. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) alfa

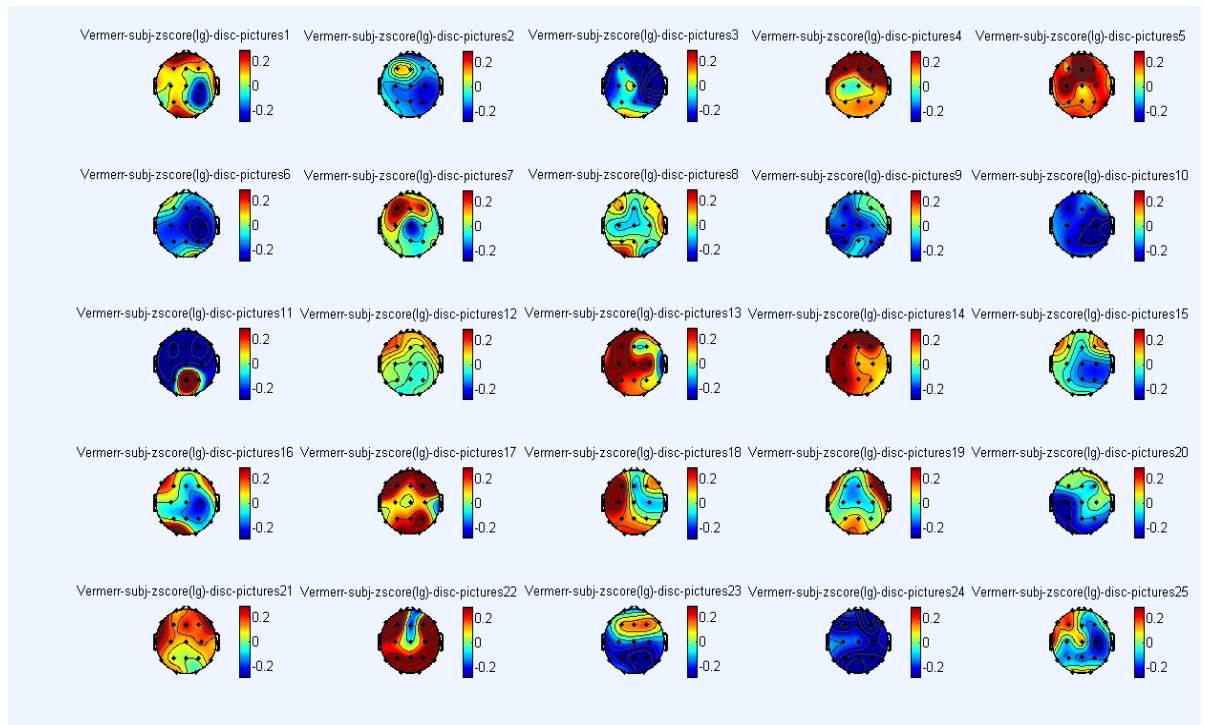


38. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) alfa

Vermeer eredményei a kizárt festmények Z-érték esetében alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

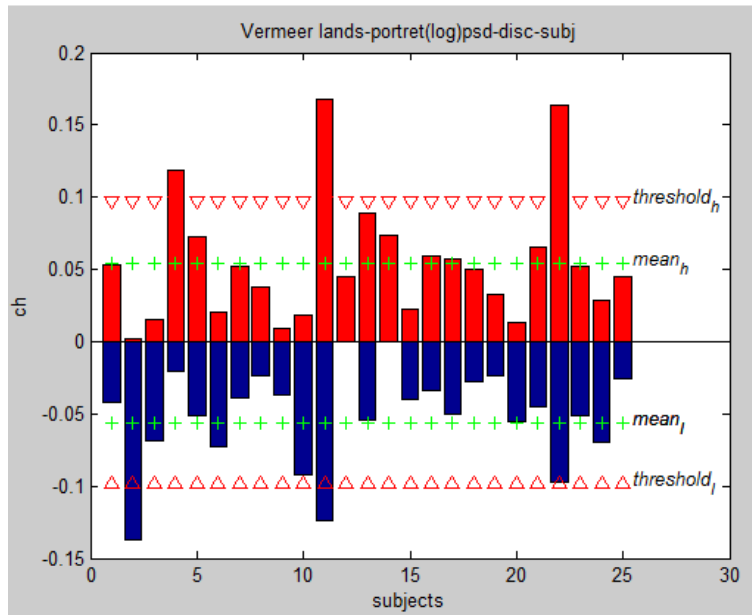


39. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) alfa- kizárt képek után

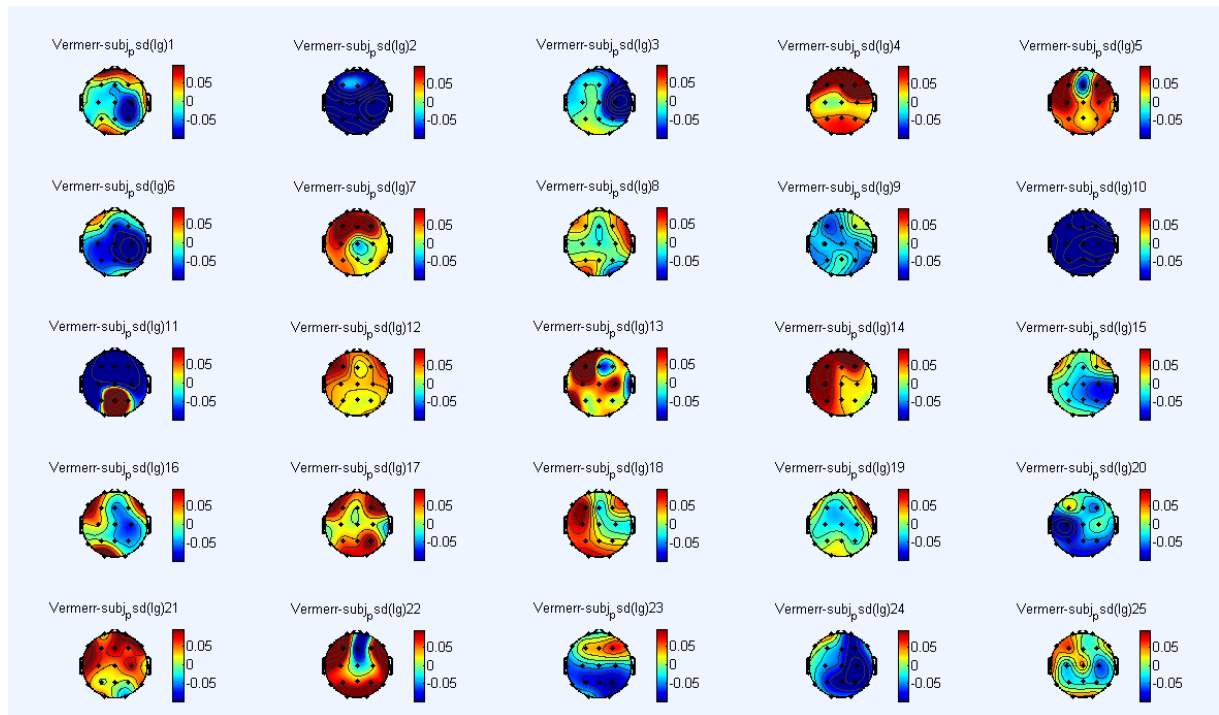


40. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) alfa a kizárt képek után

Vermeer PSD adatai esetében alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

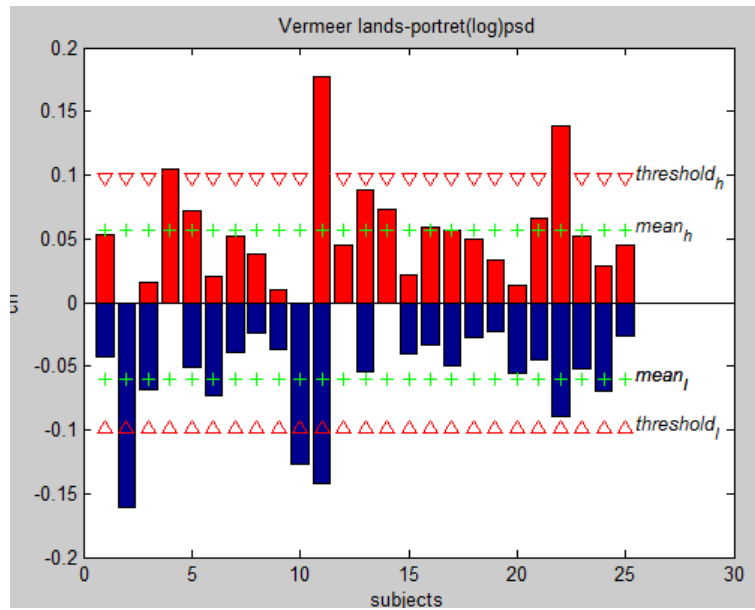


41. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD) alfa

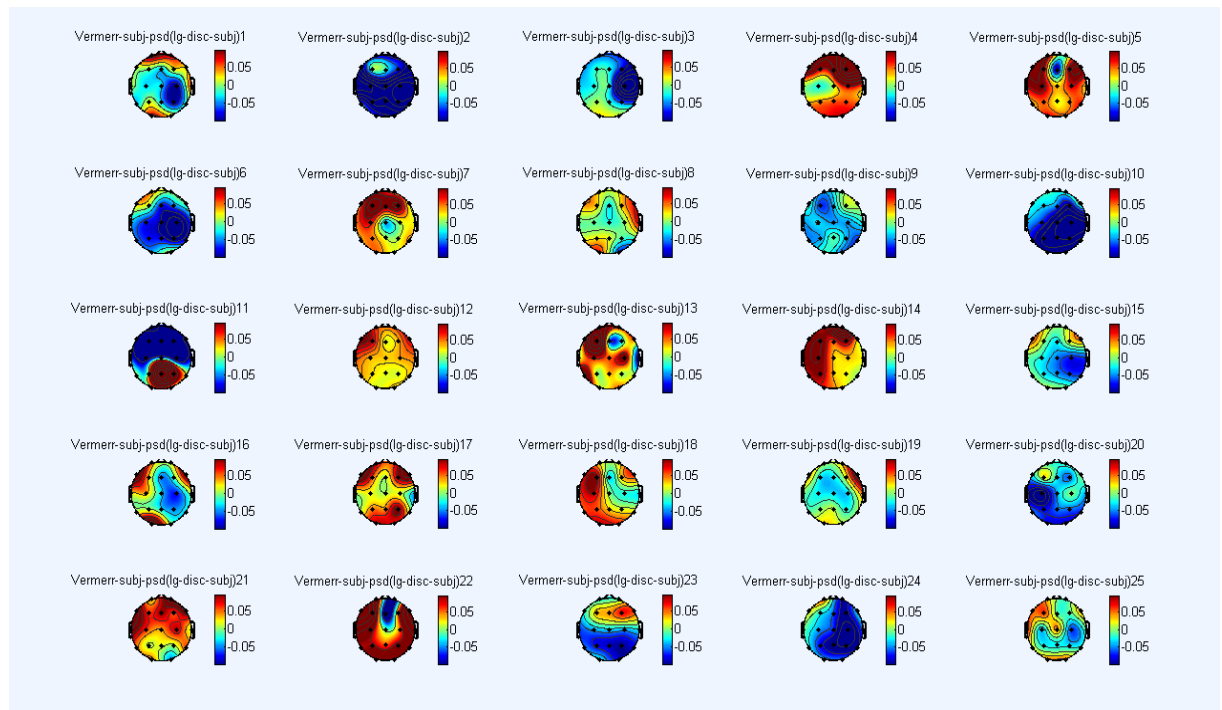


42. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) alfa

Vermeer esetében az eredmények a kizárt képek után PSD, alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

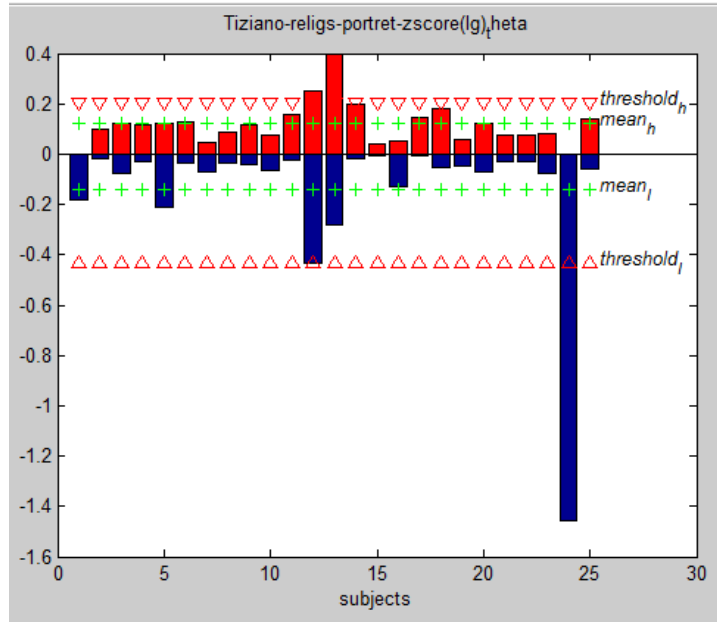


43. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD) alfa a képek kizárása után

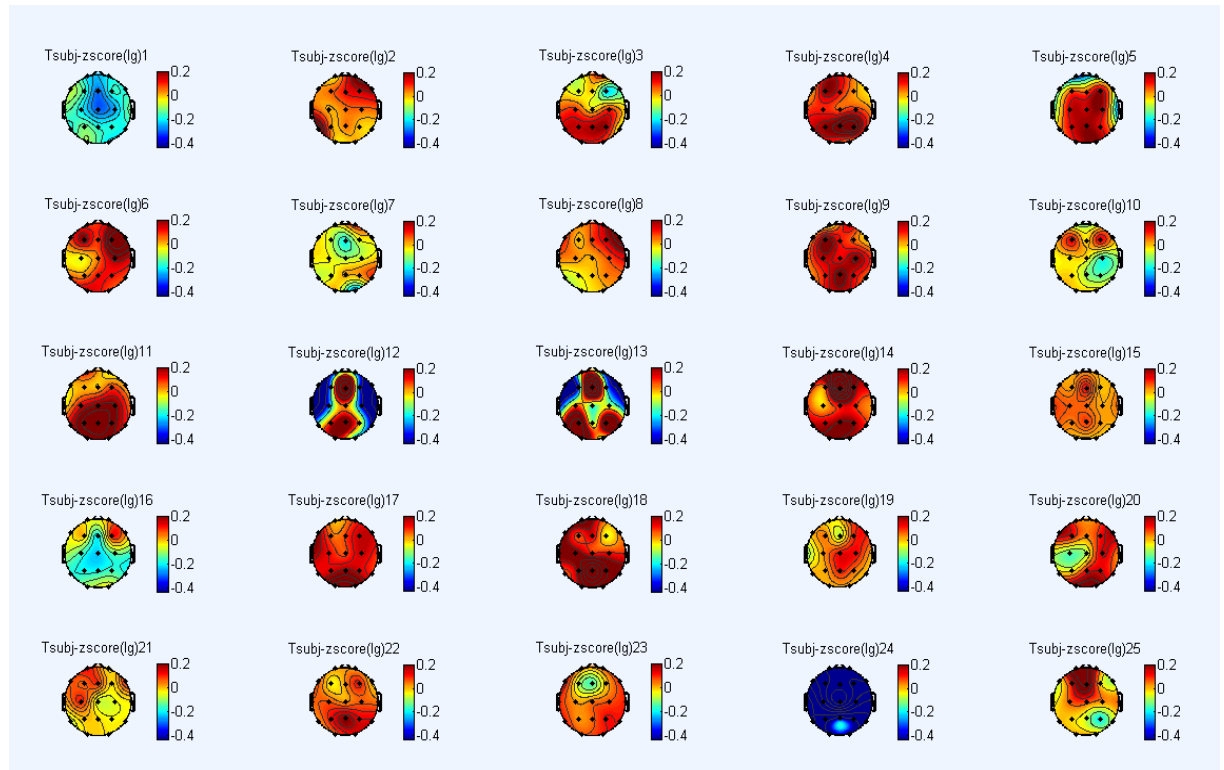


44. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) alfa- kizárt képek után

Tiziano esetében theta sáv Z- érték bar graph (a), potenciáltérkép (b)



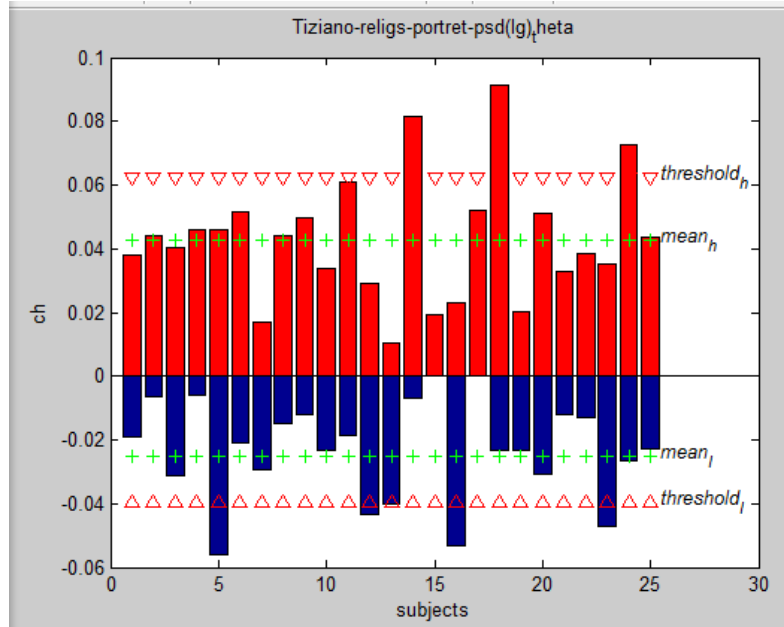
45. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) theta



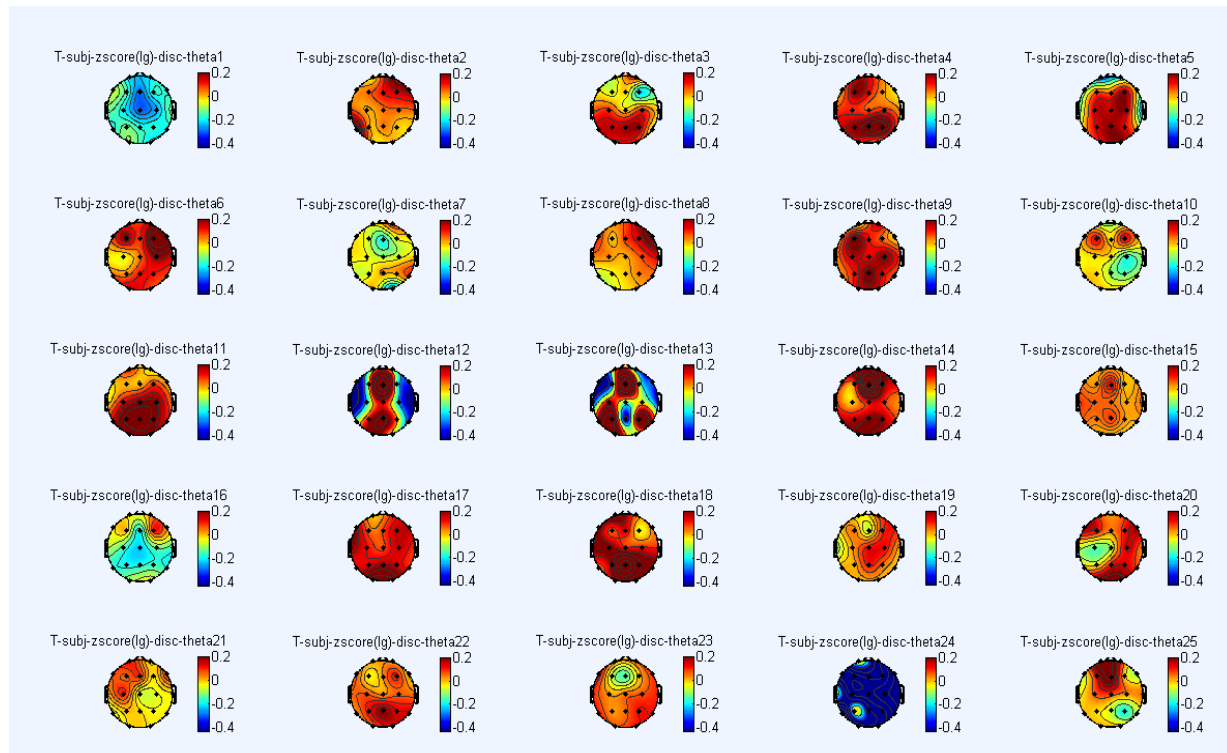
46. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) theta

A kizárt képek utáni eredmények;

Tiziano esetében Z-érték, alfa sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

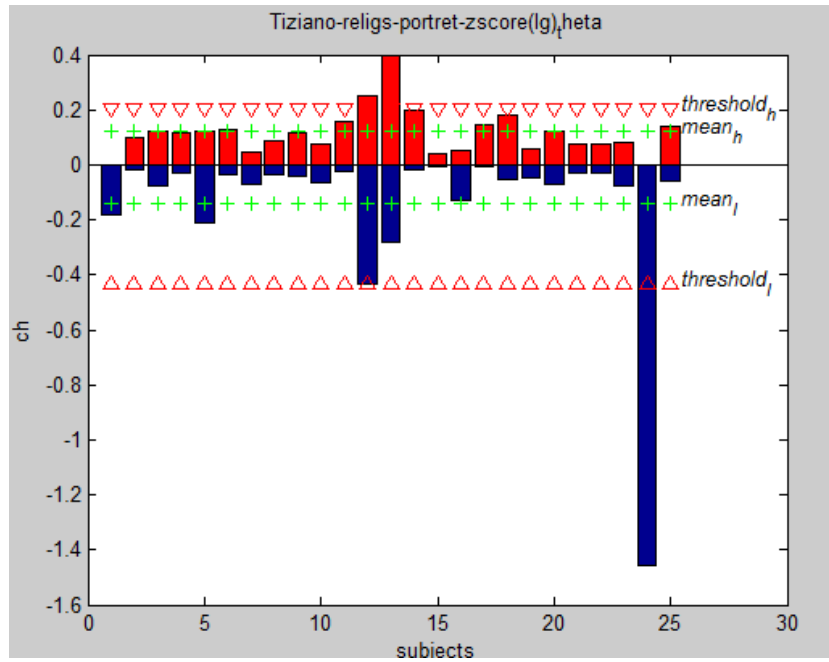


47. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) theta- a kizárt képek után

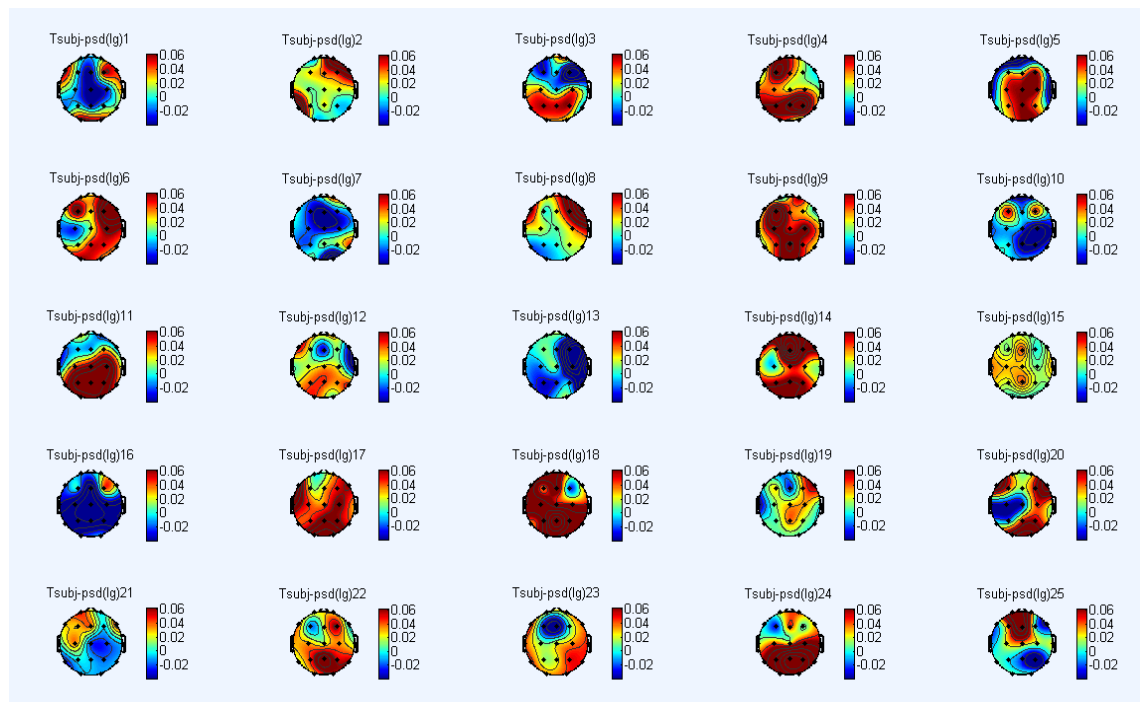


48. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) theta a kizárt képek után

Tiziano esetében theta sáv PSD érték bar graph (a), potenciáltérkép (b)



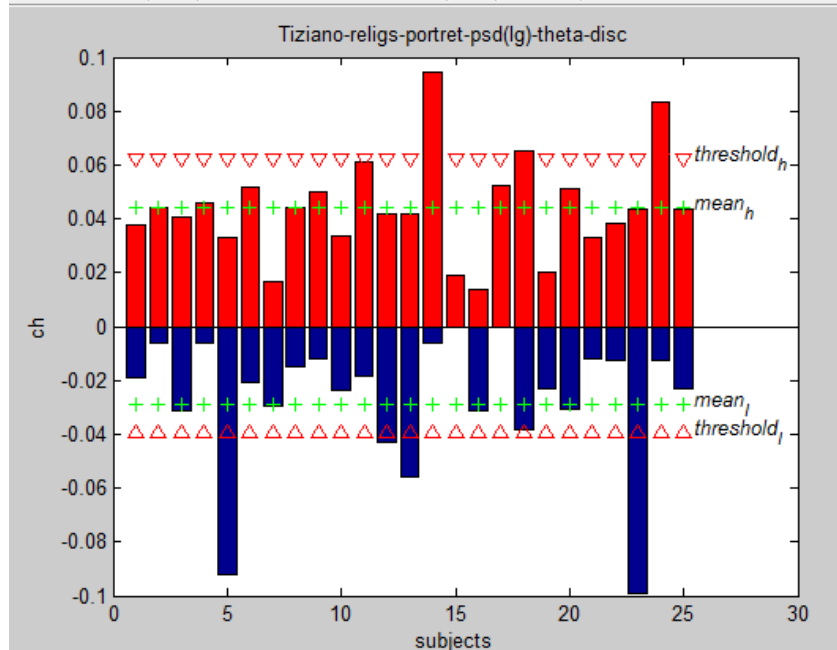
49. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD-érték) theta



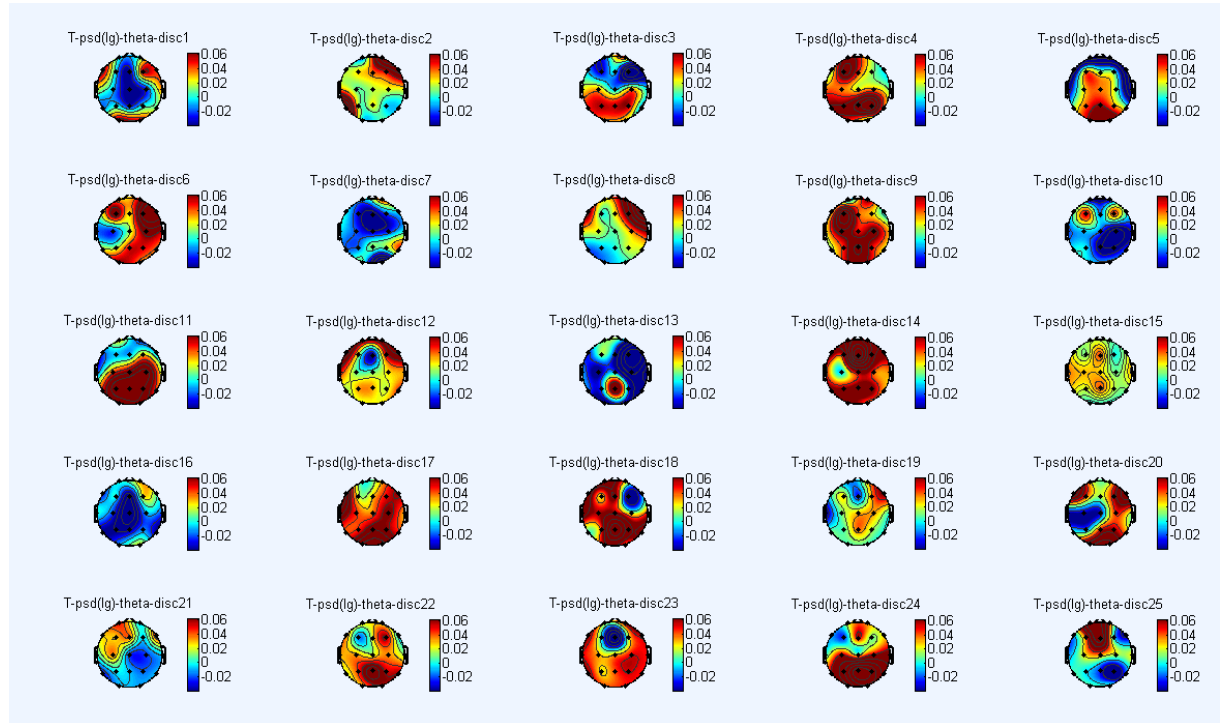
50. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) theta

A kizárt képek utáni eredmények;

Tiziano esetében PSD, theta sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

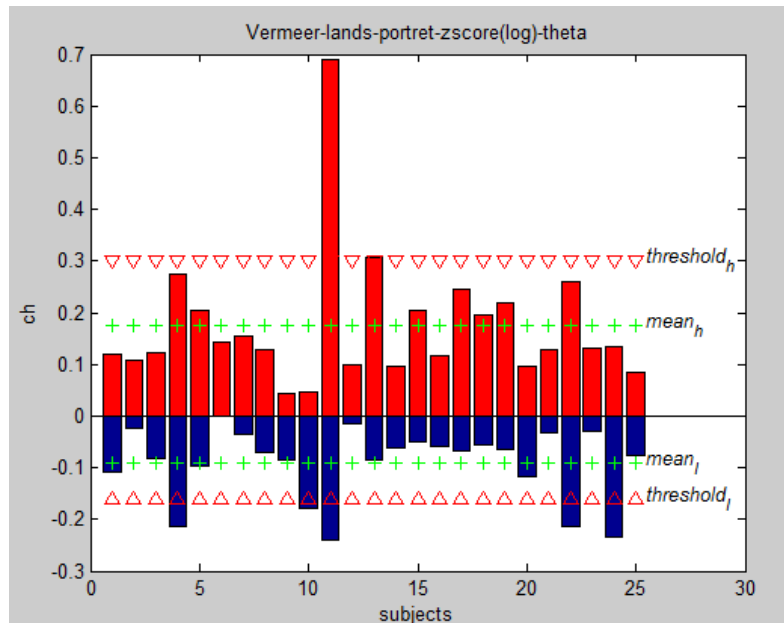


51. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD-érték) theta a kizárt képek után

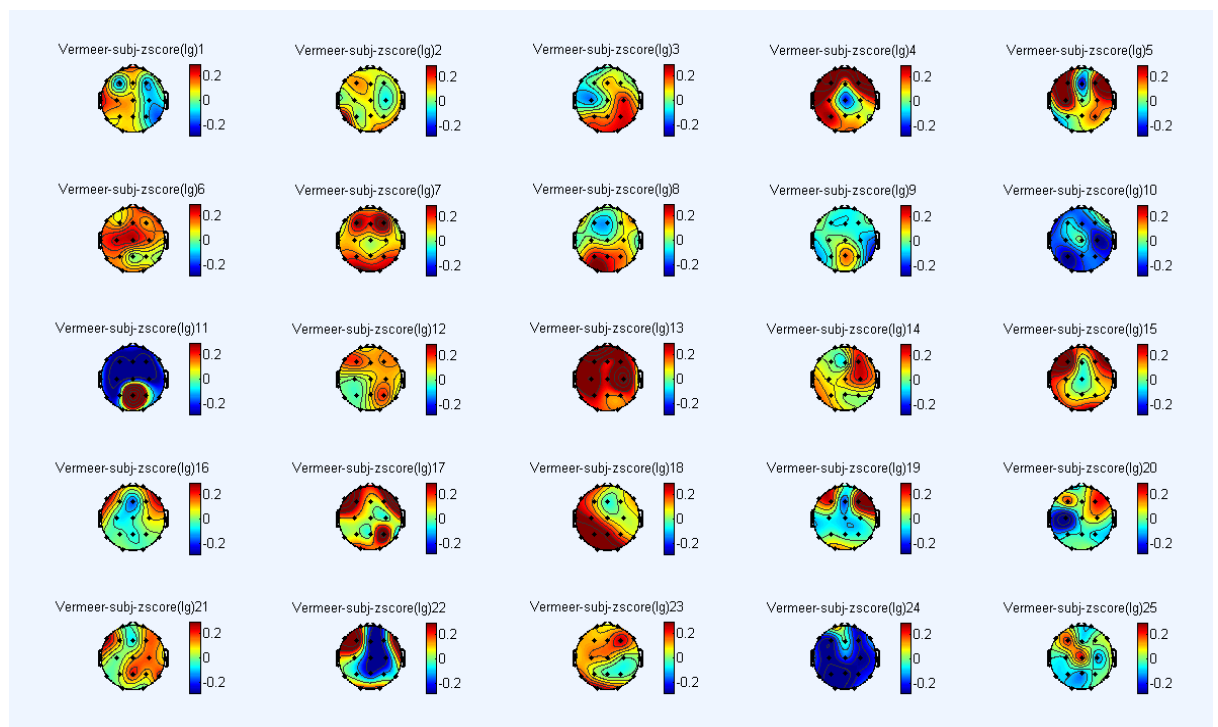


52. ábra Tiziano festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD) theta a kizárt képek után

Vermeer esetében z -érték esetében theta sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):



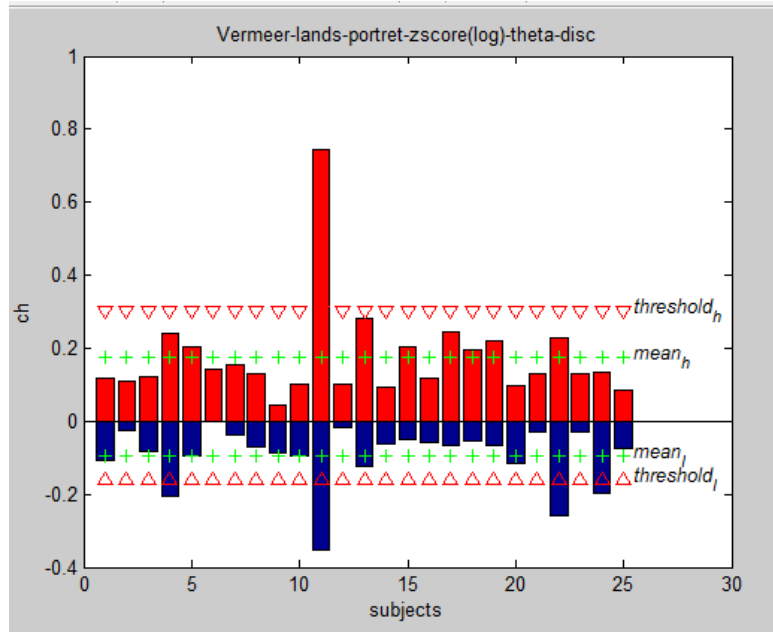
53. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) theta



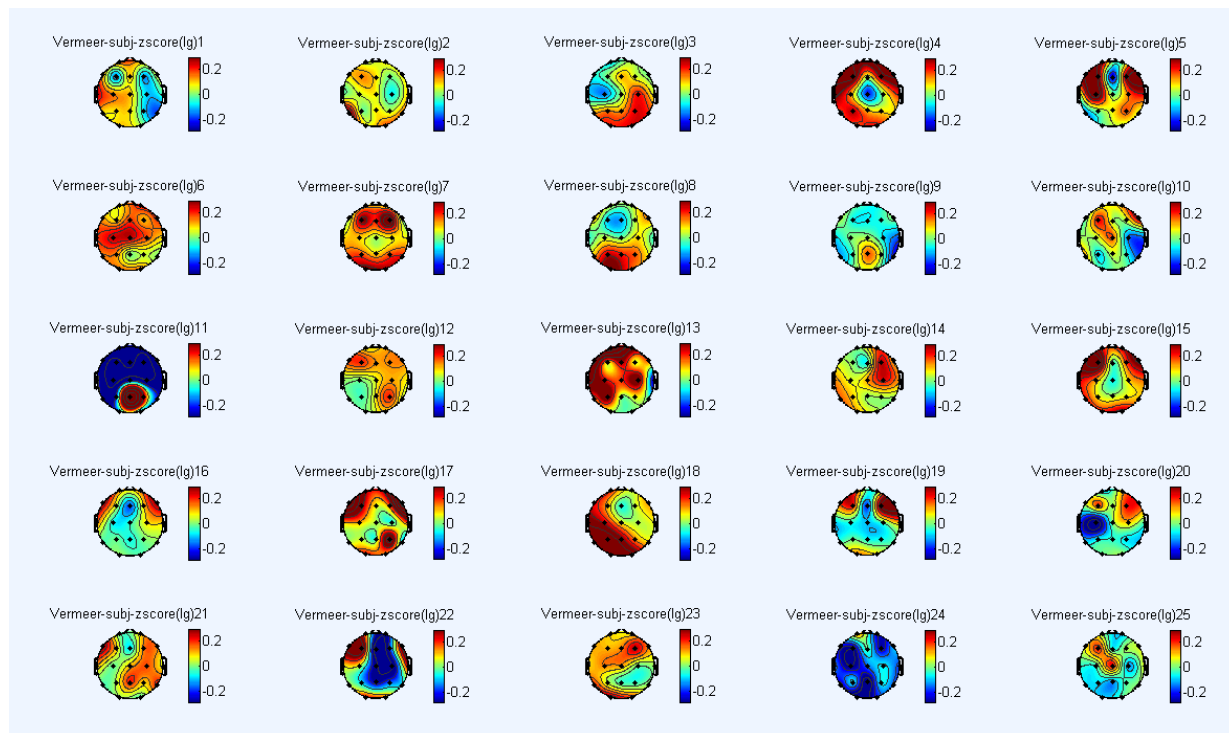
54. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) theta

A kizárt képek utáni eredmények;

Vermeer esetében Z-érték, theta sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

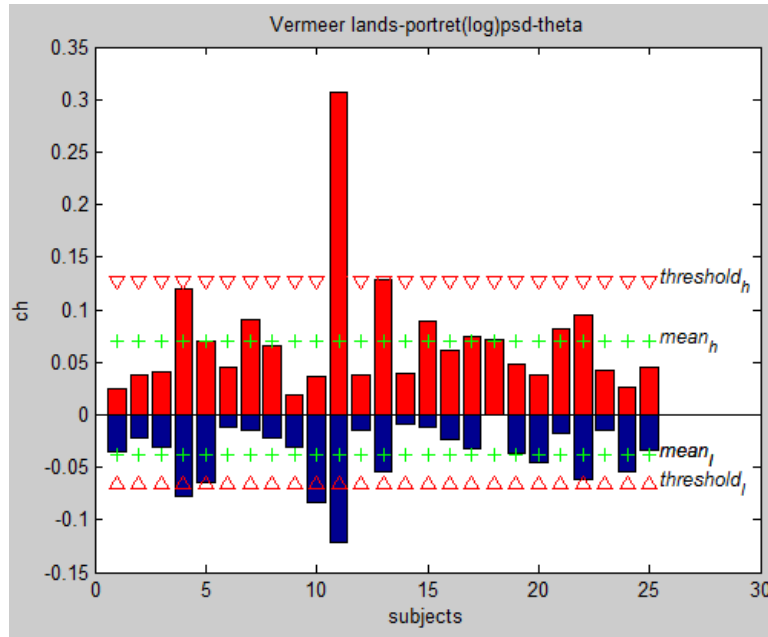


**55. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (Z-érték) theta a kizárt képek után**

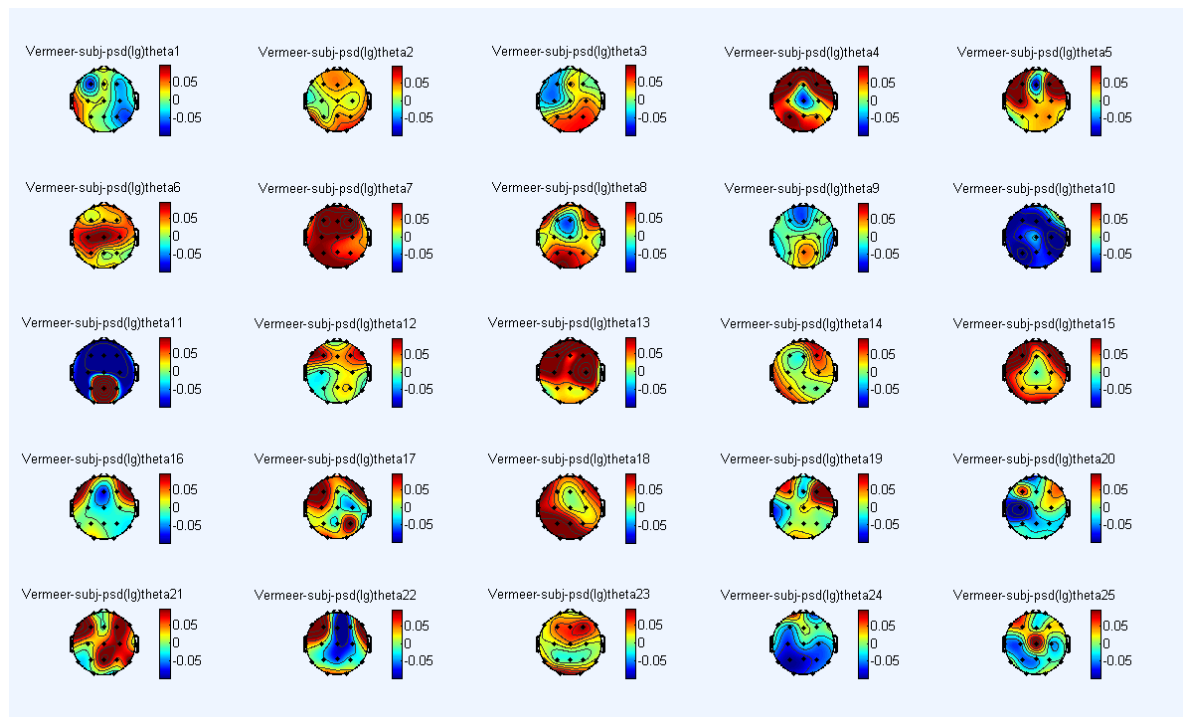


**56. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (Z-érték) theta a kizárt képek után**

Vermeer esetében PSD-érték esetében theta sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):

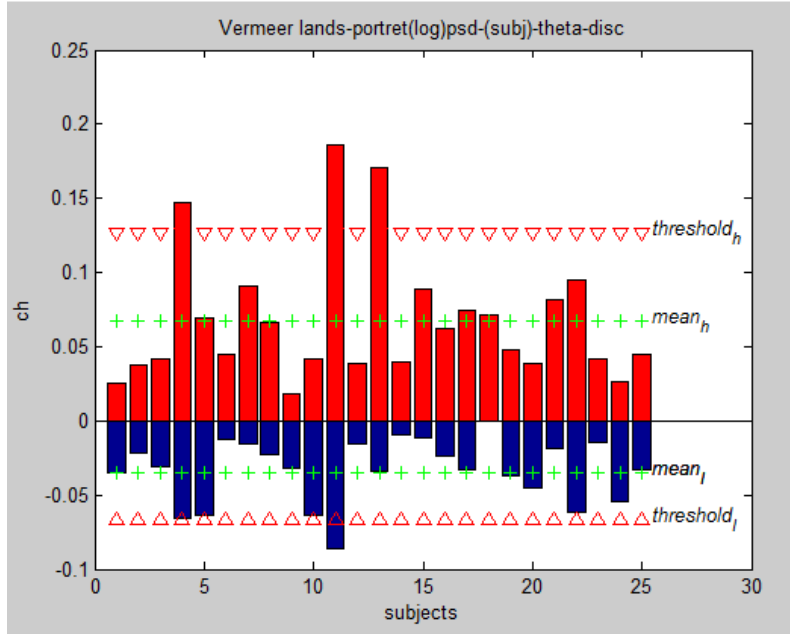


57. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD-érték) theta

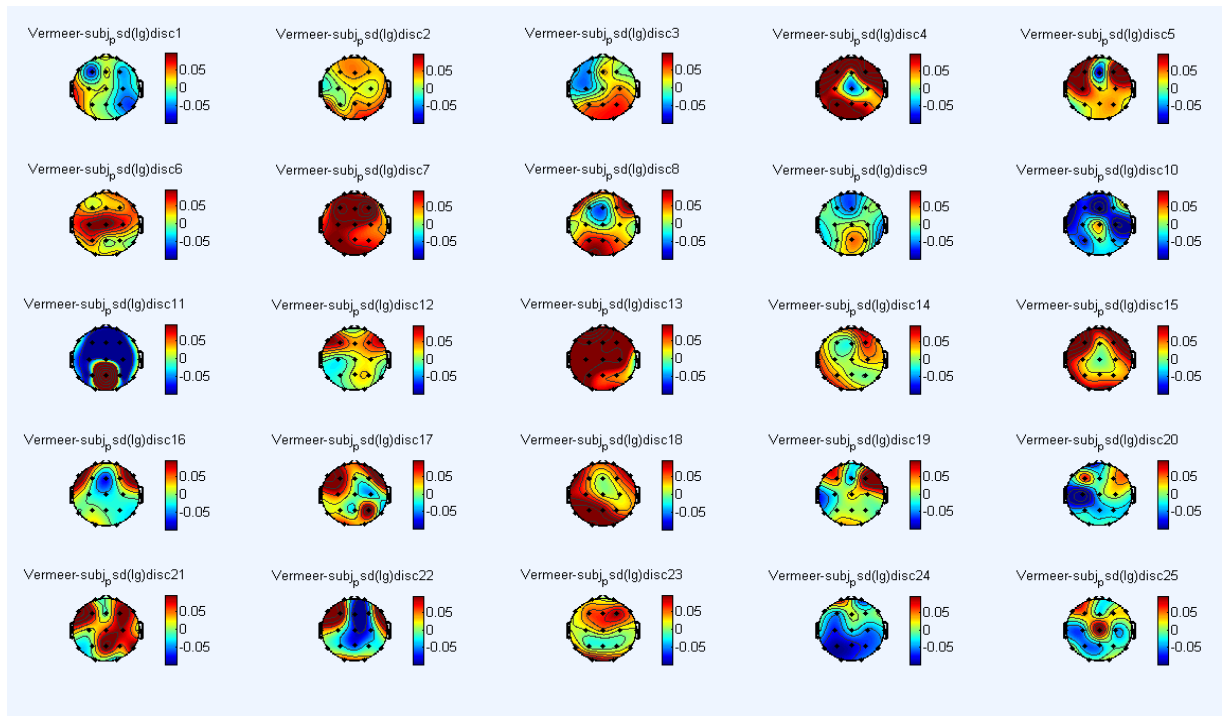


58. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD-érték) theta

A kizárt képek utáni eredmények;  
Vermeer esetében PSD-érték, theta sáv bar-graph (a), potenciáltérkép (b):



59. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti elektróda potenciál bar-graphja (log10), (PSD-érték) theta a kizárt képek után

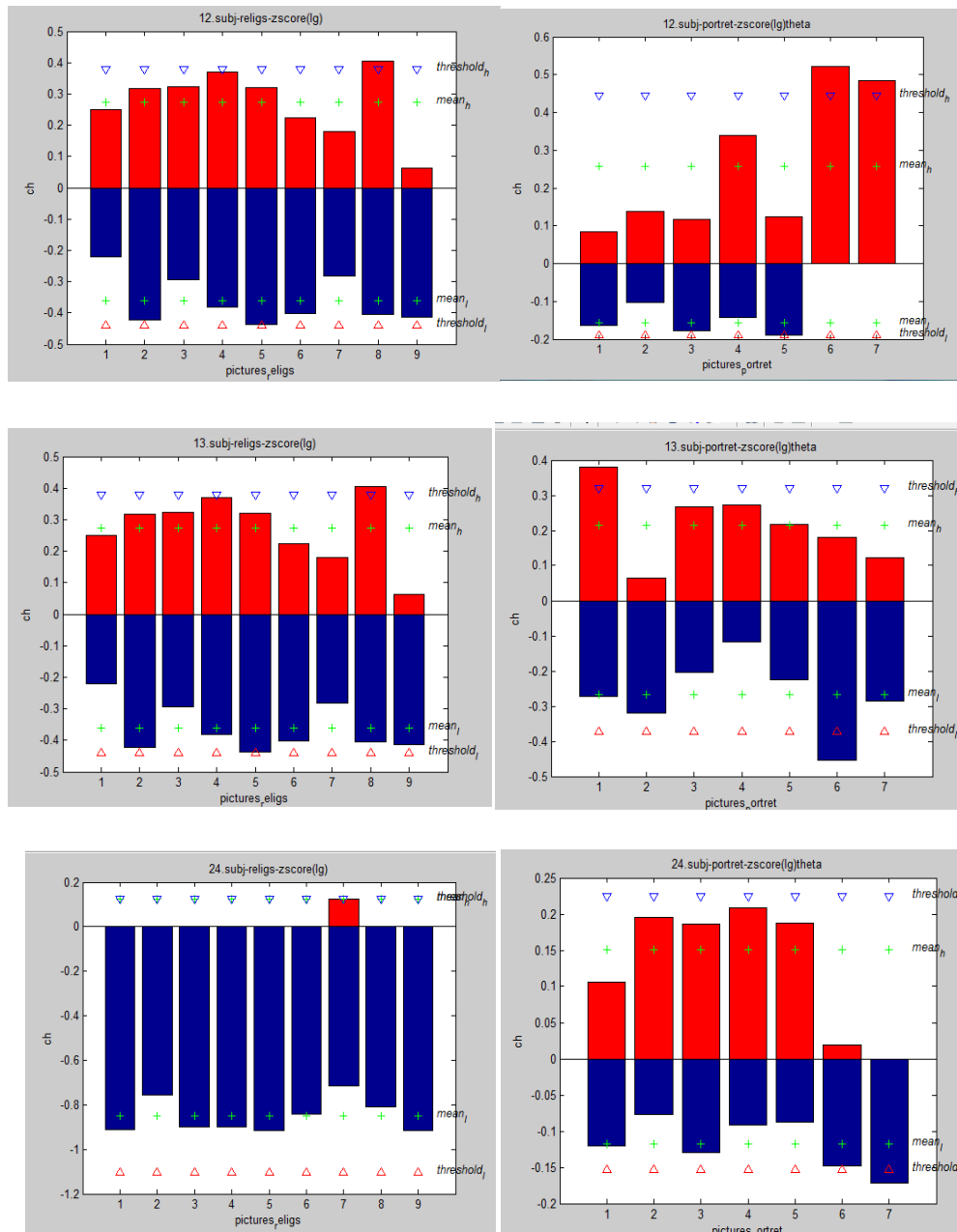


60. ábra Vermeer festményei esetén alanyonkénti potenciáltérkép (log10), (PSD-érték) theta a kizárt képek után

1 példa: az egyénenkénti képek ellenőrzése esetében

Tiziano-theta sáv, Z-érték szerint a következő alanyok képei kerültek további elemzésre: a 12, 13, 24,-es alanyok vallási illetve portré képeit.

[portré kép 7 db, vallási kép 9 db]



61. ábra Tiziano-theta sáv, Z-érték szerinti a vallási illetve a portré képek bar-graphjai

## 2. sz. melléklet

### *PSD ÉRTÉK számítása*

#### **1.script**

```
refdir = ' _ '

subjects = {' ' }; % 25 subj name

bandName = {'Theta' 'Alfa1' 'Alfa2' 'Alfa3' 'Alfa' 'Beta' 'Gamma'};
film = {'OA' 'Norm' 'Dist' 'Muto'};

fRange = [1 45];
fres = .3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for i = 1:length(film)

    for k = 1:25
        cd(refdir);
        filename = sprintf('_mat',subjects{k},subjects{k})
        load(filename);
        IAF =getIAF_Frontale_OA(EEGInterp,fres)
        IF=fRange(1);
        hF=fRange(2);

        -----

        lFrP=round(IF/fres)+1;
        hFrP=round(hF/fres)+1;
        clear IF hF
        fSamp=EEGInterp.fsamp;
        noverlap=0;
        window=hanning(round(fSamp/fres)); %
        nfft=length(window);
```

```

[nsamp,nCh,nTr] = size(EEGInterp.samp);
for e=1:nTr
    for c=1:nCh % 1:nCh % scan channels or component
        tmpdata = EEGInterp.samp(:,c,e); % channel activity
        [tmpspec,freqs] = PSD(tmpdata,nfft,fSamp>window,noverlap);
        eegspec(c,:,e) = tmpspec;
    end
end
data = eegspec(:,lFrP:hFrP,:);
% -----
%make PSD band
bands = getIAFbands_v3(IAF,bandName);

bandsInd = round(bands*size(data,2)/(fRange(2)-fRange(1)));
bandsInd = [bandsInd(:,1) bandsInd(:,2)-1];

for q = 1:size(bandsInd,1)
    Sband_data(:,q,:) = mean(data(:,bandsInd(q,1):bandsInd(q,2),:),2);
end

scalpPSD.S = Sband_data;
scalpPSD.IAF = IAF;
scalpPSD.fSamp = fSamp;
scalpPSD.Fres = fres;
scalpPSD.Frange = fRange;
scalpPSD.label = EEGInterp.label;
scalpPSD.band = bandName;
clear EEG eegspec Sband_data

% save
SAVE_NAME=sprintf('%s.scalpPSD.mat',filename(1:end-4));
subdir = fullfile(refdir,'scalpPSD');
mkdir(subdir);
cd(subdir);
PSD_SAVENAME=fullfile(subdir,SAVE_NAME);
save(PSD_SAVENAME,'scalpPSD');
clear scalpPSD

```

end

end

## ***Z-érték számítása***

### **2. script**

```
clear
```

```
refdir=' _'
```

```
subjects ={' ' };% 25 subjects name
```

```
seconds = 44;
```

```
for k=1:25
```

```
    for h=1:17
```

```
        cd(refdir);
```

```
        filename = sprintf('%s\\%s _scalpPSD.mat',subjects{k},subjects{k});
```

```
        load(filename);
```

```
        m_val = mean(scalpPSD.S(:,1:seconds),3);
```

```
        std_test = std(scalpPSD.S(:,1:seconds),0,3);
```

```
        clear scalpPSD
```

```
        filename1 = sprintf('%s _scalpPSD.mat',subjects{k},subjects{k},h);
```

```
        load(filename1);
```

```
        PSD_pict = mean(scalpPSD.S(:,1:seconds),3);
```

```
        zscore = (PSD_pict-m_val)./std_test;
```

```
%save
```

```
    SAVE_NAME=sprintf('%s.scalpzscorePSD.mat',filename1(1:end-4));
```

```
    subdir = fullfile(refdir,'scalpzscorePSD');
```

```
%mkdir(subdir);
```

```
cd(subdir);
```

```

        PSD_SAVENAME=fullfile(subdir,SAVE_NAME);
        save(PSD_SAVENAME,'zscore');
        clear zscore

    end

end

Változók kinyerése, átnevezése

3.script

clear all
refdir='_';
subjects ={" " };% 25 subjects name

cd(refdir)
for k=1:25
    cd(refdir)
    filename = sprintf('%s_.scalpPSD.scalpzscorePSD.mat',subjects{k});
    load(filename);
    eval(['var1=zscore']); % var2, var3 ....

%save
    SAVE_NAME=sprintf('%s.var1.mat',filename(1:end));

    subdir = fullfile(refdir,['mean_zsore\',subjects{k}]);
    subdir = fullfile(refdir,'mean_zsore');
    mkdir(subdir);
    cd(subdir);
    PSD_SAVENAME=fullfile(subdir,SAVE_NAME);
    save(PSD_SAVENAME,'var1');
    clear var1;

```

## *Esetenkénti különböző tematikájú képek rendezése egy Mátrixba.*

### **4. script**

```
refdir = ('_')

subjects = {' ' }; % 25 subjects name

for ii = 1:25

    for i = [ 11 14 15 16 17 20 2] % example: portret number
        %for i = [1 3 4 5 6 7 8 9 10] %religs number
        cd(refdir)
        refdir1 = fullfile(refdir,subjects{ii})
        cd (refdir1)

        filename2 =
sprintf('%s_tiziano_Quadro_%d_1sec_int.scalpPSD.scalpzscorePSD.mat.var%d.mat',...
subjects{ii},i,i);
load(filename2);

        eval(['datCol(ii,:) = var',num2str(i),'']);

        SAVE_NAME=sprintf('%d_datCol.mat',i);

        save(SAVE_NAME,'datCol');
        clear datCol
    end

end
```

### ***Képek különbségeinek a számítása:***

#### **5.script**

[vallási – porter képek]

```
refdir=('_tiz_portret')
```

```
refdir2= ('_tiz_religs')
```

```
for i =1:25
```

```
cd (refdir2)
```

```
filename= sprintf('%d_religs.mat',i)
```

```
load(filename)
```

```
cd(refdir)
```

```
filename2= sprintf('%d_portret.mat',i)
```

```
load(filename2)
```

```
mean_all_pic_subj = squeeze(nanmean(religs,1))-squeeze((nanmean(portret,1)))
```

```
%save
```

```
SAVE_NAME=sprintf('%d_%d.mean_all_pic_subj.mat',i,i);
```

```
subdir = fullfile(refdir,'all_pic1sub');
```

```
mkdir(subdir);
```

```
cd(subdir);
```

```
PSD_SAVENAME=fullfile(subdir,SAVE_NAME);
```

```
save(PSD_SAVENAME,'mean_all_pic_subj');
```

```
clear mean_all_pic_subj
```

```
end
```

### ***Az átlagolt, kivont képek változóinak átnevezése:***

#### **6.script**

```
refdir=('_')
```

```
cd(refdir)
```

```

filename = sprintf('1_1.mean_all_pic_subj.mat')
load(filename);
eval(['var1=mean_all_pic_subj']);

%save
SAVE_NAME='var1.mat'
cd(refdir)
filename = sprintf('2_2.mean_all_pic_subj.mat')
load(filename);
eval(['var2=mean_all_pic_subj']);
%save
SAVE_NAME='var2.mat'
... % var3, var4 ...

```

***Bar-graph- átlag, szórás, küszöbérték számítása – alfa sáv szerint:***

#### **7.script**

```

close all
clear all
refdir = ('_')
cd(refdir)
for i=1:25

    filename2 = sprintf('var%d.mat',i)
    load(filename2);

end

for ii=1:25
    eval(['j',num2str(ii),'=var',num2str(ii),'{:,5}'])
    % in case theta band = var',num2str(ii),'{:,1}!!!
end

```

```

for ii=1:25
eval(['idx_h',num2str(ii),'=find(j',num2str(ii),'>0)']);
eval(['idx_l',num2str(ii),'=find(j',num2str(ii),'<0)']);
end

for i=1:25
eval(['avg_h',num2str(i),'=mean(j',num2str(i),'{idx_h',num2str(i),'})',';');
eval(['avg_l',num2str(i),'=mean(j',num2str(i),'{idx_l',num2str(i),'})',';');
end

all_avg_h=[avg_h1 avg_h2 all_min avg_h4 avg_h5 avg_h6 all_min avg_h8 avg_h9 avg_h10
avg_h11 ...]
avg_h13 avg_h14 avg_h15 avg_h16 avg_h17 avg_h18 avg_h19 all_min avg_h21 avg_h22
avg_h23 avg_h24 avg_h25]

all_avg_l=[avg_l1 avg_l2 avg_l3 avg_l4 avg_l5 avg_l6 avg_l7 avg_l8 avg_l9 avg_l10 avg_l11
all_min...
all_min avg_l14 all_min avg_l16 avg_l17 avg_l18 avg_l19 avg_l20 avg_l21 avg_l22 avg_l23
avg_l24 avg_l25]

X=1:25;
bar(X, all_avg_l); hold on
bar(X, all_avg_h, 'r'); hold on

mean_l=nanmean(all_avg_l);plot(X,mean_l,'g+')
mean_h=nanmean(all_avg_h);plot(X,mean_h,'g+' )

std_l = nanstd(all_avg_l)
std_h = nanstd(all_avg_h)
threshold_h = std_h+mean_h; plot(X, threshold_h,'rv');
threshold_l = mean_l-std_l;plot(X, threshold_l,'r^');

text(25.5,mean_l,'\itmean_l')
text(25.5,mean_h,'\itmean_h')
text(25.5,threshold_h,'\itthreshold_h')
text(25.5,threshold_l,'\itthreshold_l')

```

```

ylabel('ch')
xlabel('subjects')
title('')
hold on

saveas(gcf, '_fig')

```

### ***Potenciáltérkép készítése***

#### **8.script**

```

for i=1:25
    eval(['all_p = j', num2str(i), ';']);
    subplot(5,5,i);
    topoplot(all_p, 'SdQ.locs', 'maplimits', [threshold_l threshold_h]);
    title(['_', num2str(i)])
    colorbar
end

saveas(gcf, '_fig')
close all

```

### ***Az egyénenkénti képek adatainak elemzése a küszöbértéknek megfelelően:***

#### **9.script**

```

close all
clear all

load('...._land_PSD.mat')
for i=1:3
    eval(['lands_PSD', num2str(i), '=land_PSD(i, :, 5)'])
end

```

```

for ii=1:3
eval(['idx_h',num2str(ii),'=find(lands_PSD',num2str(ii),'>0)']);
eval(['idx_l',num2str(ii),'=find(lands_PSD',num2str(ii),'<0)']);
end

for i=1:3
eval(['avg_h',num2str(i),'=nanmean(lands_PSD',num2str(i),'(idx_h',num2str(i),'))',';');
eval(['avg_l',num2str(i),'=nanmean(lands_PSD',num2str(i),'(idx_l',num2str(i),'))',';');
end

all_avg_h=[avg_h1 avg_h2 avg_h3 ]

all_avg_l=[avg_l1 avg_l2 avg_l3 ]

X=1:3;
bar(X, all_avg_l); hold on
bar(X, all_avg_h, 'r'); hold on

mean_l=nanmean(all_avg_l);plot(X,mean_l,'g+')
mean_h=nanmean(all_avg_h);plot(X,mean_h,'g+' )

std_l = nanstd(all_avg_l)
std_h = nanstd(all_avg_h)
threshold_h = std_h+mean_h; plot(X, threshold_h,'bv');
threshold_l = mean_l-std_l;plot(X, threshold_l,'r^');

text(7.5,mean_l,'\itmean_l')
text(7.5,mean_h,'\itmean_h')
text(7.5,threshold_h,'\itthreshold_h')
text(7.5,threshold_l,'\itthreshold_l')

for i=1:3
eval(['idx_threshold_h=find(all_avg_h >threshold_h)']);
eval(['idx_threshold_l=find(all_avg_l <threshold_l)']);
end

```

```

save_name=sprintf('2.lands_idx_threshold_L.mat')
save(save_name,'idx_threshold_l')
clear idx_threshold_2.mat

```

```

save_name=sprintf('2.lands_idx_threshold_H.mat')
save(save_name,'idx_threshold_h')
clear idx_threshold_h.mat

```

```

ylabel ('ch')
xlabel ('pictures-lands')
title('_.subj-lands-PSD(lg)')
hold on

```

```

saveas(gcf, 'bar_ .subj-lands_PSD(lg).fig')
close all
clear all

```

***Az egyénenkénti képek adatainak kizárása a küszöbértéknek megfelelően***

#### **10.script**

```

close all
clear all
load('_religs.mat')
religs(:, :, :) = [] % number outliers pictures
religs(:, :, :) = []
save('_religs.mat')
clear
close all

```

## *A kizárt alanyok utáni átlagkép számítás*

### **11. script**

```
clear all
close all

refdir='lands';
cd(refdir)

for i= [1 2 3...] % azokat az esetek lettek kihagyva, melyek a korrekció után is túllépték a
küszöbértéket

    filename = sprintf('%d_land_PSD.mat',i);
    load(filename);
    eval(['var',num2str(i),'=land_PSD']);

    eval(['vara',num2str(i),'=nanmean(var',num2str(i),'')])
end

cur=1
for i= [1 2 3 5 6 7 8 9 10 12 14 15 16 17 18 19 20 21 23 24 25]

    eval(['mean_all_verm_PSD_lg_disc_lands_theta(cur,:)=vara',num2str(i)])
    cur=cur+1

end
save allData_verm_lands_theta
SAVE_NAME=sprintf('mean_all_verm_PSD_lg_disc_lands_theta.mat');
save(SAVE_NAME,'mean_all_verm_PSD_lg_disc_lands_theta');
clear mean_all_verm_PSD_lg_disc_lands_theta
```

### ***T-teszt***

### **12. script**

```
load('C:....._portret.mat')
load('C:\...._religs.mat')
```

```
[h, p, ci, stats]=...
ttest(mean_all_tiz_PSD_log_disc_9_13_religs(:,5),mean_all_tiz_PSD_log_disc_9_13_portret(
(:,5),0.05,'both'); % alfa band
```

```
[ttresh ttresh_FDR ttresh_Bonf FDR Bonf] = ttestCorrection_v2(h,p,stats,0.05)
```

```
save tttest_
```

### ***T-teszt korrekciós függvényei***

#### **13.b,c**

```
function [ttresh ttresh_FDR ttresh_Bonf FDR Bonf] = ttestCorrection_v2(h,p,stats,alfa)
```

```
% No correction
```

```
ttresh = tresh(stats.tstat,p,alfa);
```

```
% False Discovery Rate correction
```

```
FDR = alfa*((size(p,1)+1)/(2*size(p,1)));
```

```
ttresh_FDR = tresh(stats.tstat,p,FDR);
```

```
% Bonferroni correction
```

```
Bonf = alfa/size(p,1);
```

```
ttresh_Bonf = tresh(stats.tstat,p,Bonf);
```

```
function ttresh = tresh(t,p,tresh)
```

```
ttresh = t;
```

```
ind = find(p > thresh);
```

```
ttresh(ind) = 0;
```

**Potenciáltkép készítése- +, ++ szignifikáns területek jelölése:**

**14.script**

```
load('C:... ttest.mat')

filename =sprintf('ttresh_FDR')
eval(['p_values=ttresh_FDR'])
X=find(p_values <0)
Y=find(p_values >0)

filename2=sprintf('scalpPSD')
eval(['electrodnames=scalpPSD.label'])
significant_p= [electrodnames(X) electrodnames(Y)]

filename =sprintf('ttresh_Bonf')
eval(['p_values=ttresh_Bonf'])
V=find(p_values <0)
VV=find(p_values >0)

filename2=sprintf('scalpPSD')
eval(['electrodnames=scalpPSD.label'])
significant_p= [electrodnames(V) electrodnames(VV)]

topoplot(stats.tstat,'SdQ.locs','maplimits',[-4,4]);
title(['T-test'])
colorbar

hold on
% a szignifikáns erteke ellenorze utan- +, ill ++ jelolese a {elektrodak mellett}

text(-0.20, 0.41,'\itFp1 ');hold on
text(0.12, 0.40,'\itFp2 ');hold on
text(-0.35, 0.28,'\itF7');hold on
text(0.30, 0.29,'\itF8');hold on
```

```

text(-0.20, 0.26, '\itF3');hold on
text(0.18, 0.26, '\itF4');hold on
text(0.007, 0.28, '\itFz');hold on
text(-0.46, -0.007576, '\itT3');hold on
text(0.42, 0.007, '\itT4');hold on
text(-0.23, -0.0023, '\itC3');hold on
text(0.26, 0.007, '\itC4');hold on
text(0.002, 0.002, '\itCz');hold on
text(-0.37, -0.25, '\itT5');hold on
text(0.32, -0.25, '\itT6');hold on
text(-0.18, -0.23, '\itP3');hold on
text(0.18, -0.23, '\itP4');hold on
text(0.020, -0.21, '\itPz');hold on
text(-0.1442, -0.4167, '\itO1');hold on
text(0.142, -0.41, '\itO2');hold on

saveas(gcf, 'T_test...')

```

### 3.sz. melléklet

A CD könyvtár tartalma:

EEG

1. PSD

- scalpPSD.m
- getPeak\_v2.m
- getIAFbands\_v3.m
- getIAF\_frontale\_OA.m

2. Zscore

- zscore.m

3. Getvalues

- var\_zscore.m
- var\_psd.m

4. Topics\_minus

- all\_picture\_in1\_subj.m
- 1\_picture\_inall\_subject.m
- mean\_all\_pic\_subject.m
- extract\_var\_all

5. Bargraph\_topoplot

- bargraph.m
- topoplot.m
- topoplot1.m
- [SdQ.locs](#) – a topoplot függvényhez

6. Threshold\_in\_pictures

- bar.m
- discard\_pictures.m

7. Mean\_all\_pictures

- mean\_all.m

8. T\_test

- ttest.m
- topo\_electroenames.m
- [scalpPSD.mat](#) - a korrekció függvényhez

- ttestCorrection.m
- tresh.m

#### EXCEL

- picture\_data.xlsc

#### WEB\_DOWNLOAD

- EEG-elemzes.doc
- EEGNomenklaura.pdf

#### DIPLOMAMUNKA

- Diplomamunka\_bm\_2013.pdf
- Diplomamunka\_bm\_2013.docx