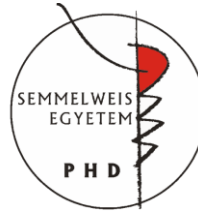


A feladathoz kötött funkcionális Mágneses Rezonancia Képpalkotás Hatékonyságának javítása

Doktori értekezés

Kiss Máté

Szentágothai János Doktori Iskola
Semmelweis Egyetem



Témavezető: Dr. Kozák Lajos Rudolf Ph.D, Egyetemi adjunktus
Konzulens: Dr. Gál Andor Viktor Ph.D, Tudományos főmunkatárs

Hivatalos bírálók: Dr. Andics Attila Ph.D, Egyetemi kutató
Dr. Szigeti Krisztián Ph.D, Tudományos főmunkatárs

Szigorlati bizottság elnöke: Dr. Alpár Alán Ph.D, D.Sc., Egyetemi tanár
Szigorlati bizottság tagjai: Dr. Erőss Loránd Ph.D, Egyetemi oktató
Dr. Négyessy László Ph.D, Egyetemi oktató

Budapest
2020

I. BEVEZETÉS

A tézis egy rövid bevezetővel kezdődik, melyben ismertetem a motivációt, valamint részletes leírást adok a Mágneses Rezonancia Képzéskészítés (MRI)- és a funkcionális MRI (fMRI) alapjairól. A leírás során a műtét előtti tervezéshez szükséges, feladathoz kötött fMRI vizsgálatokra koncentráltam, mely a kutatómunkám alapja volt, majd egy relatíve új szekvencia (simultaneous multislice képzéskészítés - SMS) bemutatásával folytattam. A tézis második részében a fiziológiai műtermékekre (légzés, szívverés) koncentráltam, valamint ismertetem az ehhez elengedhetetlen, jelenleg az fMRI vizsgálatok során leggyakrabban használt fiziológiai műtermécsökkentő technikákat is.

1. Szimultán többszeletes képzéskészítés

A szimultán többszeletes (simultaneous multislice, SMS) vagy a Siemens nomenklatúrájában, mint Multiband (MB) szereplő MRI szekvencia egy olyan mérési eljárás, amely egy speciális gyorsítással jelentősen javítja a mérések időbeli felbontását. Az SMS mérések a szeletkiválasztás irányában végzik a gyorsítást, méghozzá párhuzamos képzéskészítési rekonstrukcióval. Ennek előnye, hogy nem okoz szignifikáns jelcsökkenést, szemben az egyéb gyorsítós MR technikákkal. Az SMS szekvencia segítségével a mérési idő az egyidejűleg gerjesztett szeletek számának megfelelő N faktossal rövidíthető úgy, hogy a jel/zaj arány (Signal to noise ratio) nem romlik szignifikánsan.

Az egyidejűleg gerjesztett szeleteknek köszönhetően átlapolódások jelenhetnek meg, melyek műtermékeket okozhatnak. Ezt nevezik *slice leakage*-nek. Ezen műtermékek a felgyorsított méréseknél fals pozitív hibákat eredményezhetnek, azonban ez az úgynevezett *blipped CAIPI* rekonstrukciós technikával kiküszöbölhető.

Számos kutatás bizonyította, hogy az SMS képzéskészítés segítségével jelentősen több mérési adat rögzíthető, ezzel magasabb statisztikai értékek (t -értékek) érhetők el. Azonban idáig nem tisztázott egyértelműen, hogy az SMS alapú gyorsítási technikával lerövidíthető-e úgy az akvizíciós idő, hogy hasonló vagy esetleg jobb statisztikai értékeket kapjunk.

2. Fiziológiai műtermékek fMRI vizsgálatoknál

A fiziológiai típusú műtermékek jelentik az egyik legnagyobb problémát az fMRI vizsgálatoknál. Módosítják az fMRI alapjául szolgáló BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*) jelet, ami jelentős variációt okozhat a mért jelben. Ennek következményeképp jelentősen befolyásolhatják a statisztikai szenzitivitást, fals negatív eredményekhez vezetve. A két legjelentősebb fiziológiai műterméket a szívverés és a légzőmozgás indukálja.

A szívverés variabilitása befolyásolja a vérátáramlás sebességét, az átáramló vér mennyiségét és az artériák pulzációját. A magasabb pulzus növelheti az artériás pulzusgörbe amplitúdóját, az artériák dilatációját eredményezve. Ezzel párhuzamosan a liquorpulzáció mértéke is emelkedhet. A pulzus variabilitása lokálisan befolyásolja a T2* értékeket. A légzés módosíthatja a B₀ mágneses teret, megváltoztathatja a légzési volument, a vér CO₂ koncentrációját, a mély be- és kilégzés pedig a mágneses tér megváltozásához vezet, amely voxelek közötti eltolódást eredményezhet.

Számos tanulmány igazolta a fiziológiai műtermékek, valamint a korrekciójukhoz kapcsolódó módszerek jelentőségét fMRI vizsgálatok során. Azonban az esetek többségében nyugalmi állapotú fMRI vizsgálatoknál alkalmaznak fiziológiai műtermécsökkentést.

A fiziológiai műtermékek csökkentésének két fő típusa van: adat vezérelt, amely a mért BOLD jelben lévő zaj komponenseken alapul (ilyen pl. a főkomponens elemzés, a független komponens analízis, CORSICA, stb.) és a modell-alapú amelynél független készülékkel történik a fiziológiai paraméterek rögzítése (pl. RETROKCOR, RETROICOR, stb.). A PhysIO toolbox egy kiválóan dokumentált nyílt forrás kódú szoftver, amely a legtöbb, modell-alapú algoritmust tartalmazza. Használatához csupán annyi szükséges, hogy egy külső készülékkel rögzített fiziológiai adatok is a felhasználó rendelkezésére álljanak, ekkor kimenetként előállítja a műtermékeknek megfelelő regresszorokat. A *toolbox*-ot a legtöbb esetben csak nyugalmi állapotú fMRI vizsgálatoknál alkalmazták és csupán néhány vizsgálat foglalkozott feladathoz kötött fMRI mérésekkel.

A számos zajcsökkentő módszer ellenére jelenleg az időbeli frekvenciaszűrést alkalmazzák leggyakrabban fiziológiai műtermékek csökkentésére. Azonban ez sokszor nem elegendő, hiszen az fMRI

vizsgálatoknál használt repetíciós idő (TR) relatíve hosszú (2-3 másodperc), amely alulmintavételezéshez és következményes átlapolódáshoz vezethet.

II. CÉLKITŰZÉS

1. A szimultán többszeletes (simultaneous multi-slice, SMS) EPI szekvencia szerepe a feladathoz kötött funkcionális MRI vizsgálatoknál

1.1. A hagyományos 0,5Hz-es EPI szekvencia összehasonlítása az 1Hz-es mintavételezésű szimultán többszeletes szekvenciával

A négyes gyorsítási faktorral rendelkező szimultán többszeletes (SMS) szekvencia hatékonyságának vizsgálata. Összehasonlítani a hagyományos- és az SMS EPI szekvenciát region of interest (ROI) elemzéssel három előre definiált területen (Extrastriate Body Area-EBA; Fusiform Face Area-FFA; Parahippocampal Place Area-PPA). Az optimális vizsgálati idő meghatározása, amivel hasonló, vagy jobb statisztikai eredmények (t-értékek) érhetők el.

1.2. A hagyományos 0,5Hz-es EPI szekvencia összehasonlítása a 2,5Hz-es mintavételezésű szimultán többszeletes szekvenciával

A hatos gyorsítási faktorral rendelkező szimultán többszeletes (SMS) szekvencia hatékonyságának vizsgálata. Összehasonlítani a hagyományos- és az SMS EPI szekvenciát region of interest (ROI) elemzéssel három előre definiált területen (Extrastriate Body Area-EBA; Fusiform Face Area-FFA; Parahippocampal Place Area-PPA). Az optimális vizsgálati idő meghatározása, amivel hasonló, vagy jobb statisztikai eredmények (t-értékek) érhetők el.

2. A fiziológiai műtermékek csökkentése feladathoz kötött, műtét előtti funkcionális MRI vizsgálatoknál

2.1. A fiziológiai műtermékek (légzés és szívverés) hatása a teljes agyi fMRI aktivációs térképekre

Összehasonlítani a hagyományos (nem korrigált) és a fiziológiai műtermékek korrekció utáni teljes agyi fMRI aktivációs térképeit.

2.2. A fiziológiai műtermékek (légzés és szívverés) hatása az elokvens agyi területeken a műtét előtti funkcionális MRI vizsgálatoknál

Meghatározni a fiziológiai műtermékek hatását az elokvens agyi területeken region of interest (ROI) elemzéssel, ezzel felfedve a különbséget a korrigálatlan és a fiziológiai műtermékcsoökkentéssel átesett aktivációs térképek között.

III. MÓDSZEREK

1. A hagyományos és a szimultán többszeletes EPI szekvencia összehasonlítása

1.1. Résztvevők

21 egészséges önkéntes vett részt a kísérletben. Minden résztvevő jobb kezes volt és a kórtörténetükben nem szerepel sem pszichiátriai sem neurológiai betegség vagy koponyasérülés. Minden alany látása normális volt és mindenki írásos beleegyezését adta a részvételhez. (ENKK 006641/2016/OTIG).

1.2. Képalkotó vizsgálat

Az adatgyűjtés Siemens Magnetom Prisma 3T MRI készüléken történt a Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutató Központ Agyi Képalkotó Központjában. Az fMRI vizsgálatok három különböző paraméterrel történtek, az alanyok között kiegyensúlyozott pszeudo-randomizált sorrendben: egy hagyományos EPI szekvenciával, kettő pedig SMS technikával, két különböző gyorsítási faktorial: négyvel és hattal. A teljes vizsgálati idő mindhárom mérés esetében azonos volt.

1.3. fMRI stimulus és adatelemzés

Az fMRI vizsgálatok során szürkeárnyaltos emberi arcokat, házakat és fej nélküli emberi testeket vetítettünk. Minden mérésnél 30 másodperc hosszú periódusokat használtunk, ahol arcokat (F), házakat (H) és testeket (B) random sorrendben mutattunk be. Minden blokkban 6 stimulus volt kategóriánként. A nyugalmi fázisban (25 másodperc) csupán egy fixációs pontot vetítettünk.

A standard előfeldolgozási lépéseket használtuk az analízis során (mozgás korrekció, koregisztráció, szegmentáció, normalizáció és térbeli simítás). Az elemzés SPM12 *toolbox*-al (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, University College London, UK) és egyéni MATLAB kódokkal történt. Hagyományos, voxel-alapú kontrasztot definiáltunk, hogy megállapítsuk a különbséget a nyugalmi- és az aktív fázisok között (pl. házak vs. testek).

A kontrasztok definiálását minden mérésnél elvégeztük, majd a funkcionális területekről egy-egy 6 mm-es ROI alkalmazásával átlag értékeket kalkuláltunk az összehasonlítás érdekében.

1.4. ROI kijelölés az adatelemzéshez

Egy további funkcionális felvétel is készült a kísérlet során annak érdekében, hogy a kategóriáknak megfelelő statisztikai térképeken és az anatómiai felvételeken – az összehasonlítás érdekében – ki tudjuk jelölni a megfelelő területeket: a fusiform face area-t (FFA), a parahippocampal place area-t (PPA) és az extrastriate body area-t (EBA),

1.5. Az eltérő akvizíciós idők statisztikai alapú összehasonlítása

A mért adatot négy különböző pontban vágtuk el (124, 254, 384 és 515 másodpercnél), így öt eltérő hosszúságú idősort kaptunk.

A következő konzekvens jelöléseket használtuk: 1/5FL, 2/5FL, 3/5FL és 4/5FL, amely reprezentálja a körülbelüli időt a teljes hosszúságú (FL) méréshez képest. Szintén négy különböző időpontban vágtuk el a négyes- illetve a hatos gyorsítással rendelkező méréseket és összehasonlítottuk őket a hagyományos, 11 perces mérésrel (TR=2 másodperc), hogy megállapítsuk a különbséget a gyorsítás nélküli és a gyorsításon átesett mérések között.

2. Fiziológiai műtermécsökkentés a műtét előtti nyelvi fMRI vizsgálatoknál

2.1. Betegek

14 primer agytumoros beteg fMRI vizsgálatainak retrospektív elemzését végeztük. A vizsgálat során primer nyelvi- és motoros területek feltérképezése történt.

2.2. Képalkotó vizsgálat

A méréseket az Országos Klinikai Idegtudományi Intézet Neuroradiológiai osztályán készítettük Siemens Magnetom Verio 3T MRI készüléken. Hagyományos 2D EPI szekvenciákat használtunk a funkcionális mérések kivitelezéséhez GRAPPA párhuzamos képalkotást alkalmazva.

A fiziológiai paraméterek (légzés és szívverés) rögzítése a készülékhez tartozó, beépített MRI kompatibilis készülékkel történt.

2.3. fMRI stimulus és adat elemzés

Négy különböző nyelvi (kép megnevezés, szinonima, hallás utáni döntés és szövegértés) és egy motoros (ujjmozgatás) fMRI paradigmát alkalmaztunk, hogy feltérképezzük az elokvens agyi területeket. Minden paradigma 6 aktív és 6 passzív szakaszt tartalmazott, minden blokk 24 másodperc hosszú volt.

A standard előfeldolgozási lépéseket és adatelemzést használtuk SPM12 *toolbox*-al (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, University College London, UK) és egyéni MATLAB (The Mathworks) kódokkal. Azért, hogy a fiziológiai műtermékeket csökkenteni tudjuk egy konvolúció alapú módszert, a RETROICOR/RVHR-t használtuk, amely azonosítja és kiküszöböli a légzés- és szívverés alapú műtermékeket.

A feladathoz kötött fMRI méréseket elemeztük RETROICOR/RVHR használatával és anélkül is. Jaccard koefficienset alkalmaztunk, hogy kvantitatívan meg tudjuk határozni a fiziológiai műtermékmentesítésen átesett és a műtermécsökkentés nélküli aktivációs térképek közötti különbséget.

Az elokvens agyi területeknek megfelelően (Broca-, Wernicke és a primer szomato-szenzoros területek) region of Interest (ROI) analízist használtunk.

Párosított t-próbát használtunk, hogy megállapítsuk a szignifikáns különbségeket a ROI-k között. Levene tesztet alkalmaztunk, hogy meghatározzuk a ROI-k homogenitását (variancia teszt). Az elokvens agyi területek fMRI aktivációinak kiterjedését is vizsgáltuk. Kétmintás t-próbát alkalmaztunk a kiterjedés eltéréseinek megállapításához.

3. Eredmények

3.1. A hagyományos és a szimultán többszeletes szekvencia összehasonlítása

Szignifikáns ($p < 0,0014$) különbséget találtunk a PPA ROI elemzés során, amikor a négyes gyorsítással rendelkező 4/5 FL-es mérést összehasonlítottuk a teljes hosszúságú (FL), gyorsítás nélküli méréssel. Szintén szignifikáns ($p < 0,0056$) különbséget találtunk az EBA elemzése során is, a 4/5FL-es négyszeres gyorsítási faktoriall rendelkező SMS mérés és a gyorsítás nélküli, teljes hosszúságú mérés összehasonlításánál.

Nem szignifikáns ($p > 0,09$) különbséget találtunk az EBA vizsgálatánál, méghozzá a gyorsítás nélküli, teljes hosszúságú mérés és a négyes gyorsítással rendelkező SMS szekvencia között (1/5FL és 2/5FL esetén is). Említést érdemel, hogy a t -értékek jelentősen csökkentek ($p < 0,001$), amikor összevetettük a gyorsítás nélküli méréseket a négyes gyorsításon átesett 1/5 FL mérésekkel (20% időtartam). Nem találtunk szignifikáns különbségeket ($p > 0,18$) az FFA elemzésénél, amikor négyes gyorsítási faktort alkalmaztunk.

A hatos gyorsítási faktoriall rendelkező SMS mérésekkel – amikor legalább a mérések 60%-át (3/5FL) használtuk – jelentősen nagyobb t -értékeket ($p < 0,001$) kaptunk, összevetve a gyorsítás nélküli, teljes hosszúságú méréssel. Az FFA és EBA régiók esetében az SMS 6-os gyorsítási faktoriall már a 2/5 FL hosszú méréseknél szignifikánsan nagyobb t -értékeket kaptunk, összehasonlítva a gyorsítás nélküli, teljes hosszúságú méréssel ($p < 0,008$ az FFA és EBA esetén is).

Olyan régiók elemzését is elvégeztük, ahol a mérések alatt nem volt várható szignifikáns fMRI aktiváció (PCC, IMPF és rMPF). Nem találtunk szignifikáns különbséget sem az aktivációkban ($t_{\max} < 2,5$, $p_{\min} > 0,21$) sem a t -értékekben ($t_{\max} < 2,4$, $p_{\min} > 0,54$) SMS4 és SMS6 esetén sem.

Az alanyok szinten is elemeztük a nagyobb mintavételezési frekvencia hatását az FFA régiója körül. Nagyobb t -értékeket és nagyobb térbeli kiterjedést kaptunk az aktivációban, amikor a mintavételezés 1-, vagy $\sim 2,5$ Hz volt, összevetve a 0,5Hz-es mintavételezéssel. Megemlítendő, hogy voltak olyan alanyok, akiknek az aktivációjuk nem követte azt a pozitív trendet, amit csoport szinten találtunk magasabb mintavételezéssel (pl. 1/5FL, 2/5FL vagy 3/5FL esetén alacsonyabb t -

értékeket kaptunk, mint a teljes hosszúságú méréseknél, vagy a gyorsítás nélküli, 11 perces mérésnél).

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy a szimultán többszletes szekvencia segítségével rövidíthető az akvizíciós idő, ezzel egyidejűleg fenntartható vagy javítható a funkcionális területek azonosításának robusztussága, mely jelentős előny lehet a klinikai gyakorlatban. Szintén említést érdemel, hogy az FFA esetén egy kisebb terület aktiválódott, amely közel van azokhoz a területekhez, ahol a mágneses szuszceptibilitás nagyobb. A PPA esetében eleve mélyebben fekvő területről van szó, ahol alacsonyabb SNR várható.

3.2. A fiziológiai zajcsökkentés jelentősége műtét előtti fMRI vizsgálatoknál

3.2.1. Teljes agyi aktivációs eredmények

A Jaccard koefficiens értéke öt esetben nagyobb volt, mint 0,5, míg a többi beteg esetében ez az érték kisebb volt, az átlag \pm szórás $0,27 \pm 0,16$ volt. Ezek alapján megállapítható, hogy a nem korrigált és a fiziológiai műtermékmentesítésen átesett, korrigált statisztikai térképek szignifikánsan különböztek. Azért, hogy jobban megérthessük ezt a különbséget és hogy pontosan megítéljük hogyan módosítja a modell-alapú RETROICOR/RVHR a statisztikai térképeket, elemeztük a szignifikáns ($p < 0,001$) és a nem szignifikáns ($p > 0,001$) voxelek számát. Mindkét esetben szignifikáns ($p = 0,009$ és $p < 0,001$) különbséget találtunk a nem korrigált és a fiziológiai korrekción átesett statisztikai térképek között.

Közepesen erős, szignifikánsan pozitív korrelációt találtunk a Jaccard index és a pulzus között ($R^2 = 0,31$, $p = 0,002$). Ugyanakkor nem találtunk szignifikáns korrelációt a Jaccard koefficiens és a légzés között ($R^2 = 0,0052$, $p = 0,711$).

3.2.2. ROI elemzések eredményei

A ROI elemzés után megállapítható, hogy minden betegnél csökkentek a t-értékek átlagértékei a fiziológiai műtermékcsökkentés után. Szignifikáns ($p < 0,0015$) különbséget találtunk a nem korrigált és a

korrigált ROI-k között 5%-os szignifikancia szinten. A ROI-k szórása szintén csökkent, ugyanakkor szignifikáns különbséget (Levene teszttel) ebben az esetben nem találtunk ($F=0,28$). Habár, a csökkent szórást figyelembevéve megállapíthatjuk, hogy a fiziológiai műtermécsökkentés után sokkal megbízhatóbb statisztikai térképeket kapunk. Ennek megfelelően a fiziológias műtermékek korrekciója precízebb elokvens aktivációkat eredményezett.

Elemeztük az elokvens agyi területeken lévő fMRI aktivációk kiterjedését is. Szignifikáns különbséget ($p=0,012$) találtunk a nem korrigált és a korrigált térképek között. Fiziológiai műtermékmentesítés után csökkent az aktivációk kiterjedése minden betegnél. Ezek az eredmények alátámasztják a fiziológiai műtermécsökkentés jelentőségét.

4. Következtetések

4.1. A szimultán többszeletes szekvencia jelentősége a feladathoz kötött fMRI vizsgálatoknál

Az egyik legnagyobb probléma a klinikai fMRI vizsgálatoknál a hosszú mérési idő. Ebben a tézisben különböző gyorsítási faktorral rendelkező szimultán többszeletes alapú szekvenciák hatékonyságát elemeztük kvantitatívan. Megvizsgáltuk, hogy a hagyományos, gyorsítás nélküli fMRI méréshez képest milyen előnyei vannak a különböző mintavételezésű SMS szekvenciáknak, mindezt három különböző területen: EBA, FFA, PPA. Megállapítottuk, hogy hasonló statisztikai erő érhető el az SMS szekvenciákkal (nagyobb térbeli felbontással) jelentősen lerövidítve ezzel a vizsgálati időt. Tapasztalataink alapján megállapítható, hogy egy 11 perc hosszúságú, gyorsítás nélküli mérés biztonságosan kiváltható egy 4 perc hosszúságú, hatos gyorsítási faktorral rendelkező Multiband méréssel, ami ~2.5Hz-es mintavételezést jelent. Ez kifejezetten hasznos lehet, ha a beteggel való kooperáció nehéz és csak nagyon rövid vizsgálatra van lehetőség. A felgyorsított mérésekkel nagyon hasonló statisztikai értékek (t-érték) érhetők el, mint egy gyorsítás nélküli, standard szekvenciával.

Az SMS szekvenciákat előnyeik ellenére, klinikai gyakorlatban csak nagyon csekély számban alkalmazzák. Ennek oka nagy valószínűséggel egyrészt a technika újdonsága, valamint a gyártók között lévő eltérő implementáció is. Megemlítenéd, hogy napjainkban már számos gyártó kínál kereskedelmi forgalomban elérhető SMS méréseket. Szintén említésre méltó az a tény, hogy a szimultán gerjesztés miatt átlapolódások alakulhatnak ki, amelyek fals pozitív hibát eredményezhetnek, ugyanakkor ezt az úgynevezett *blipped-CAIPI* rekonstrukciós algoritmus kiküszöböli.

Az elemzés során egy speciális és elég komplex vizuális paradigmát alkalmaztunk, hogy bemutassuk a magasabb időbeli felbontás előnyeit méghozzá rövidített vizsgálati idővel, két eltérő gyorsítási faktort alkalmazva. Fontos hangsúlyozni, hogy az SMS szekvenciákat nem csak kutatási célokra érdemes használni nagyon komplex paradigmák esetén, hanem jelentős szerepük lehet a klinikai gyakorlatban is, különösen azokban az esetekben, ahol a beteggel való kooperáció nehezített.

4.2. A retrospektív fiziológiai zajcsökkentés jelentősége a műtét előtti feladathoz kötött fMRI vizsgálatoknál

A kutatásban bemutattunk egy modell-alapú fiziológiai műtermékcsökkentő technikát, ami a képtartományban működik felhasználva a légzést és a szívverést. Elemeztük a fiziológiai műtermékek jelentőségét speciális esetekben, nevezetesen műtét előtt álló betegek feladathoz kötött fMRI vizsgálatain.

A RETROICOR/RVHR csökkentette a fals-pozitív eredményeket, így megbízhatóbb statisztikai térképeket eredményezett. Ugyanakkor a ROI elemzés után megállapítást nyert, hogy az aktivációk amplitúdója csökken a fiziológiai korrekció után, viszont az elokvens agyi aktivációk térbeli specificitása javul. A kapott eredményeink további validálás elengedhetetlen, melyhez egyéb modalitások szükségesek, mint pl. elektrokortikográfia.

A legnagyobb problémát a műtét előtti fMRI vizsgálatoknál a fals negatív eredmények jelentik. Alapjában véve, a retrospektíven alkalmazott, modell alapú korrekcióval az aktivációkra vonatkozó statisztikai küszöb csökkenthető, ez az elemzés szenzitivitását úgy növeli, hogy nem eredményez túl sok fals pozitív aktivitást.

Összegezve megállapítható, hogy a RETROICOR/RVHR eredményesen csökkenti a fiziológiai műtermékeket. A fiziológiai műtermékek csökkentése szignifikánsan javítja az fMRI aktivációs térképeket, emellett pedig csökkenti a fals pozitív eredményeket. Ezek így sokkal megbízhatóbb statisztikai térképeket eredményeznek és segítenek karakterizálni az elokvens agyi területeken lévő agyi aktivációkat és javítják a műtét előtti tervezés hatékonyságát.

SAJÁT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA

A tézishez kapcsolódó publikációk

1. **Kiss M.**, Hermann P., Vidnyánszky Z., Gál V.: Reducing task-based fMRI scanning time using simultaneous multislice echo planar imaging. *Neuroradiology* (2018) Mar;60(3):293-302. **IF: 2.504**
2. **Kiss M.**, Gál A.V., Kozák LR, Martos J., Nagy Z.: Fiziológiai műtermékek jelentősége az idegsebészeti műtétek előtt végzett funkcionális MR vizsgálatokban. *Ideggyógyászati Szemle* IF: **0.252**

A tézishez nem kapcsolódó publikációk

1. Kovács A., **Kiss M.**, Pintér N., Szirmai I., Kamondi A.: Characteristics of Tremor Induced by Lesions of the Cerebellum. *The Cerebellum* (2019) 18:705. **IF: 3.41**
2. Horvath A., **Kiss M.**, Szucs A., Kamondi A.: Precuneus-Dominant Degeneration of Parietal Lobe Is at Risk of Epilepsy in Mild Alzheimer's Disease. *Front. Neurol.*, 22 August 2019. **IF: 2.635**
3. **M. Kiss**, G. Rudas, LR Kozak: The outcome of fMRI language mapping is affected by patient fatigue. <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2016/C-2314>
4. A Lakatos, **M. Kiss**, S. Shaikh., B. Lombay: Radiation dose reduction in pediatric CT examinations. <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2012/C-1637>
5. **M. Kiss**, J. Martos, P. Várallyay, V.A. Gál: Arterial Spin Labeling – basics, clinical applications and pitfalls. <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2017/C-1600>
6. **M. Kiss**, J. Martos, V.A.Gál: Physiological artefacts correction technique at pre-surgical task-related functional MRI. <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2017/C-0351>
7. **M. Kiss**, J. Martos, LR Kozak, B. Lombay: Can we avoid the traps at 3T MRI? <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2015/C-1473>
8. **Kiss M.**, Lakatos A., Lombay B.: A sugárdózis csökkentés lehetőségei gyermekek CT-vizsgálatánál. *Magyar Radiológia Online* 3. évfolyam 2012/12

9. Martos J., **Kiss M.**: A funkcionális MR vizsgálatok új diagnosztikai lehetőségei 3 Teslás készülék segítségével. IME XIV. évfolyam, 2015/8; 53-57.
10. Sirokai B., **Kiss M.**, Kovacs L., Benyo B., Benyo Z., Haidegger T.: Best Practices in Electromagnetic Tracking System Assessment. II. SCATh Joint Workshop on New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery. 2012 ISBN: 978-94-6018-549-6
11. **M. Kiss**, Á. Kettinger, Z. Vidnyánszky, V. Gál: Simultaneous multislice fMRI improves the physiological noise removal in resting-state fMRI. Fifth Biennial Conference on Resting State and Brain Connectivity 2016, Vienna, Austria
12. **M. Kiss**, G. Rudas, LR. Kozák: Neural Correlates of possible mind wandering and attentional compensation during extended fMRI sessions. ESMRMB 2016; 33rd Annual scientific meeting.