

FUNKCIJSKO MAGNETNORESONANČNO SLIKANJE PRI BOLNIKIH Z ŽARIŠČNIMI OKVARAMI MOŽGANOV

FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN PATIENTS WITH FOCAL BRAIN LESIONS

Dijana Despot¹, Tina Listar¹, Andrej Sirnik², Nuška Pečarič Meglič², Blaž Koritnik³, Janez Podobnik²

¹ Študentka študijskega programa Radiološka tehnologija 2. stopnja, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

² Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični inštitut za radiologijo, Zaloška c. 7, 1000 Ljubljana

³ Univerzitetni klinični center Ljubljana, Nevrološka klinika/Klinični inštitut za klinično nevrofiziologijo, Zaloška c. 2, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: viš. pred. mag. Janez Podobnik, dipl. inž. rad., e-mail: janez.podobnik@kclj.si

Prejeto/Received: 10.8.2014

Sprejeto/Accepted: 1.10.2014

IZVLEČEK

Uvod in namen: Funkcijsko magnetnoresonančno (fMR) slikanje kot neinvazivna diagnostična metoda omogoča slikanje delovanja možganov, na podlagi česar lahko npr. določimo položaj motoričnega področja za roko in področij za govor ter ugotovimo, katera možganska polobla je dominantna za govor. To slikanje temelji na merjenju razlike v magnetnih lastnostih oksigeniranega in deoksigeniranega hemoglobina v krvi. Namen članka je predstaviti metodo fMR in njeno klinično uporabnost pri bolnikih z žariščnimi okvarami možganov.

Metode: Metode, ki smo jih uporabili, so pregled literature o fMR slikanju, sodelovanje pri fMR preiskavah in retrospektivni pregled baze bolnikov z žariščnimi okvarami možganov, pri katerih smo to slikanje opravili med oktobrom 2009 in januarjem 2013. V študijo smo vključili 18 bolnikov, od tega 9 žensk in 9 moških v starosti od 18. do 55. leta. Slikanje smo opravili z magnetnoresonančnim aparatom Magnetom Trio, A Tim System 3.0T. Pridobljene magnetnoresonančne slike smo s pomočjo računalniškega programa MRIconvert najprej iz zapisa DICOM pretvorili v zapis Nifty. Slike smo nato obdelali in statistično analizirali s programskim paketom SPM (Statistical Parametrical Mapping), ki teče v okolju MATLAB. Rezultate smo prikazali s programom MRICro.

Rezultati: Prikazana so motorična možganska področja za roko in govor ter opredeljena govorna dominanca. Za govor je bila pri 76% bolnikov dominantna leva polobla, pri 24% pa je šlo za obojestransko dominanco. Nihče od bolnikov ni imel desnostranske dominanco.

Razprava: Pri bolnikih z žariščnimi okvarami možganov fMR slikanje omogoča prikaz in lokalizacijo pomembnih možganskih področij. To je lahko koristna informacija za nevrokirurga, ki skuša ta področja med operacijo možganov ohraniti nepoškodovana in tako omogočiti bolnikom čim boljše pooperativno okrevanje.

Zaključek: Rezultati raziskave so pokazali, da je bila pri večini bolnikov za govor dominantna leva možganska polobla. Uporaba fMR slikanja je zelo raznolika, saj se uporablja tako v klinične kot v raziskovalne namene.

Ključne besede: fMR, govor, motorika, epilepsija, možganski tumorji

ABSTRACT

Introduction and purpose: Functional magnetic resonance imaging (fMRI) is a non-invasive diagnostic method for brain function imaging. It can be used to determine the location of hand motor region, cortical language areas and hemispheric language dominance. This type of imaging is based on measuring the difference in the magnetic properties of oxygenated and deoxygenated haemoglobin in the blood. The purpose of this article is to present the method of functional magnetic resonance imaging and its clinical application in patients with focal brain lesions.

Methods: Literature review, active participation in fMRI investigations and retrospective review of the database of patients with focal brain lesions, who underwent fMRI during the period from October 2009 to January 2013. The study included 18 patients (9 women and 9 men) aged 18 to 55 years. The imaging was performed by Magnetom Trio, A Tim System 3.0T and the MRIconvert computer program was used to convert the DICOM data to Nifty data. The images were processed and statistically analysed by SPM (Statistical Parametrical Mapping) software that runs in MATLAB environment. The results were shown by the MRICro programme.

Results: We showed the cortical motor regions for hand and speech and assessed the hemispheric language dominance. In 76 % of the patients, the left hemisphere was dominant for speech, whereas in 24 % both hemispheres were dominant. None of the patients showed the right-sided dominance.

Discussion: fMRI shows and localizes the important brain areas in patients with focal brain lesions. This may be useful for neurosurgeons, so that they can avoid these areas during brain surgery and provide optimal post-operative patient recovery.

Conclusion: According to the results, the left cerebral hemisphere was dominant for speech in most of the patients. fMRI imaging is not only used for clinical but also for research purposes.

Keywords: fMRI, speech, motor skills, epilepsy, brain tumours

UVOD IN NAMEN

Funkcijska slikanja možganov so slikovne tehnike, s katerimi merimo ter kartografsko predstavimo prostorsko in časovno dimenzijo delovanja možganov (Trošt in Koritnik, 2004). Funkcijsko magnetnoresonančno (fMR) slikanje je neinvazivna metoda, ki omogoča slikanje možganov med aktivnostjo in temelji na merjenju razlike v magnetnih lastnostih oksigeniranega in deoksigeniranega hemoglobina v krvi (Bon in sod., 2007). Tehnika se večinoma uporablja za slikanje možganov, saj pri slikanju spinalnega kanala prihaja do artefaktov magnetne dovzetnosti in je zato težje pridobiti uporabne slike (Reimer et al., 2003). Signal, ki je odvisen od stopnje oksigenacije krvi, se pri fMR-u imenuje signal BOLD (blood oxygenation level dependent) (Koritnik, 2003). Ob povečani aktivnosti potrebujejo živčne celice več glukoze in kisika, zato se področni krvni pretok v možganih poveča in je posledično v bolj aktivnih predelih, kljub povečani porabi kisika, vsebnost hemoglobina z vezanim kisikom večja, kot v neaktivnih. Magnetnoresonančni (MR) signal je v aktivnih področjih možganov tako večji in nekoliko svetlejši, saj je koncentracija deoksihemoglobina, ki povzroča motnje področnega magnetnega polja zaradi paramagnetnih lastnosti manjša, kot v manj aktivnih področjih (Trošt in Koritnik, 2004). MR signal se spremeni le za nekaj odstotkov, zato s prostim očesom brez dodatnih analitičnih postopkov na fMR slikah težko opazimo razliko med bolj in manj aktivnimi predeli možganov (Koritnik, 2011). fMR slika se zajema s slikanjem s planarnim odmevom (EPI – echo planar imaging). EPI metoda omogoča hiter zajem slike (med 30 in 100 ms na rezino), kar zmanjša artefakte zaradi premikov glave preiskovanca in tako izboljšuje učinkovitost slikanja (Hribar, 2011).

S fMR slikanjem lahko kartografiramo različna področja možganov in tudi posredno sklepamo o povezavah med različnimi deli možganov. To je zelo pomembno za načrtovanje operativnih posegov, saj so razlike v zgradbi možganov med posamezniki lahko precej velike in se zato na podlagi strukturnih značilnosti ne da vedno zanesljivo sklepati o funkciji posameznih delov možganov. Nevrokirurg lahko s pomočjo fMR natančneje določi lokacijo in dimenzije pomembnih funkcijskih regij, ki se jim pri operaciji želi izogniti. fMR lahko tako pripomore k večji uspešnosti operativnega posega (Jelerčič, 2010).

Epilepsija je bolezen, pri kateri lahko zaradi kronične okvare različnih vzrokov celice možganske skorje postanejo preveč vzdražljive in se odzivajo s sinhronimi izbruhi električnih impulzov, kar se kaže kot epileptični napad (Bielen, 2001).

Pri nekaterih ljudeh z epilepsijo je možno dokaj natančno lokalizirati izvor teh napadov, zato lahko nevrokirurg obolelo možgansko tkivo izreže in tako prispeva k zmanjšanju njihove pogostosti ter k zmanjšanju tveganja razširitve žarišča na še neprizadeto možgansko tkivo (Bon in sod., 2007). fMR se v klinični diagnostiki najpogosteje uporablja pri bolnikih z epilepsijo ali možganskimi tumorji, saj s slikanjem ugotavljajo, kje v možganih so pomembna področja za govor, gibanje ali druge pomembne možganske aktivnosti. Tako se lahko med operativnim posegom izognemo poškodbi funkcijsko pomembnih področij ter morebitnih posledic v smislu motenj govora (Sancin in sod., 2004). Funkcijske slikovne tehnike postajajo vedno bolj pomembne tudi v predkirurški lokalizaciji epileptičnih žarišč (Wurina et al., 2012).

Osrednje živčevje sestavljajo hrbtenjača, možgansko deblo, mali možgani in polobli velikih možganov. Področja, ki so pomembna za tvorbo in razumevanje govora se pri večini ljudi nahajajo v levi možganski polobli: pri tvorbi govora sodeluje Brockovo (4) področje, pri razumevanju pa Wernickejevo (11).

Desna možganska polobla v splošnem prejema senzorične dražljaje z leve strani telesa, leva polobla pa z desne. Polobli po velikosti in obliki nista povsem enaki. Leva polobla je pri 95% desničnih in pri 60–70% levičnih ljudeh odgovorna za govorne sposobnosti in je dominantna za govor (Bon, 2010).

Aktivnost motoričnega sistema možganov je odvisna od dominantnosti roke, pri večini je to desnica, torej je dominantna polobla večinoma leva. Slika 2 prikazuje področja aktivacij motoričnega sistema. Med stiskanjem prstov roke se lahko s fMR slikanjem prikaže aktivacijo senzomotoričnega omrežja, ki ga sestavljajo predvsem primarno in senzomotorično področje (SM1), lateralno premotorično (LPM) in suplementarno motorično področje (SMP) (Koritnik, 2003).

Namen članka je predstaviti metodo funkcijskega magnetnoresonančnega slikanja, ki omogoča prikaz delovanja možganov. V raziskovalnem delu bomo prikazali glavni pomen in rezultate fMR slikanja pri bolnikih z žariščnimi okvarami možganov.

METODE

Metode, ki smo jih uporabili, so pregled literature, ki obravnava fMR, sodelovanje pri preiskavah in retrospektivni pregled baze bolnikov z žariščnimi okvarami možganov (Univerzitetni klinični center (UKC) Ljubljana, Klinični inštitut za radiologijo (KIR)), pri katerih smo opravili fMR v obdobju med oktobrom 2009 in januarjem 2013. Vključili smo 18 bolnikov (9 žensk in 9 moških) v starosti od 18. do 55. leta.

V tabeli 1 so osnovni podatki o aparatu, na katerem so bile izvedene fMR preiskave, delovni postaji, programski opremi, tuljavi in uporabljenem pulznem zaporedju.

Tabela 1: Osnovni podatki o aparatu

aparatus	Magnetom Trio, A Tim System 3.0T
delovna postaja	PC IBM 2GB RAM
programska oprema	MRiConvert, MATLAB, SPM, MRicro
tuljava	Head matrix coil
pulzno zaporedje	EPI BOLD

Protokol fMR slikanja

Slikanja smo izvedli na MR tomografu Magnetom Trio, A Tim System 3.0T. Uporabili smo tuljavo za slikanje glave. S pulznim zaporedjem T1 MPRAGE (Magnetization Prepared Gradient Echo) smo najprej napravili slike možganov v sagitalni ravnini z ločljivostjo 1×1 mm in debelino 1 mm; slikanje je trajalo 9 minut in 49 sekund. Za funkcijske slike na osnovi kontrasta BOLD smo uporabili protokol slikanja EPI s poudarkom T2* in z naslednjimi parametri: čas ponovitve (TR) 3000 ms, čas odmeva (TE) 30 ms, odklonski kot (FA) 90° , število povprečenj 1, slikovno polje (FOV) 192 mm, transverzalne rezine z ločljivostjo 3×3 mm in debelino 3 mm. Transverzalne rezine so bile nastavljene vzporedne s črto, ki povezuje sprednjo in zadnjo komisuro možganov. Sliko celotnih možganov smo zajeli vsake 3s, tako da je celoten funkcijski del slikanja skupaj trajal 21 minut in 20 sekund. Na koncu smo zajeli ali posneli še T2 poudarjene slike, debeline 1 mm, z namenom prikaza morebitnega edema v možganih. Slikanje je trajalo 7 minut in 2 sekundi. V tabeli 2 so strnjeni podatki o protokolu za fMR.

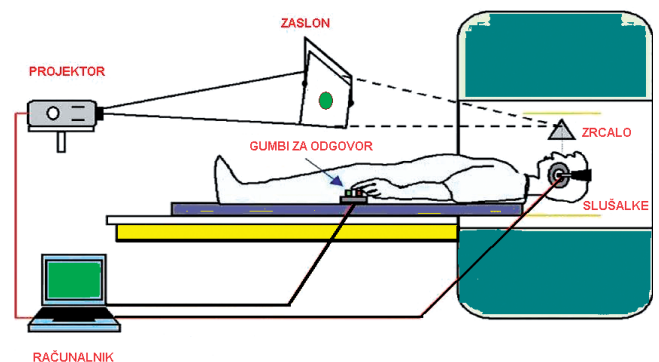
Tabela 2: Slikovni parametri sekvence EPI BOLD

TR	3000 ms
TE	30 ms
odklonski kot	90°
število povprečenj	1
FOV	192 mm
ločljivost	3×3 mm
debelina rezine	3 mm

Potek fMR preiskave

Bolniku smo med slikanjem v tomografu namestili tuljavo za glavo, mu fiksirali glavo in namestili slušalke, ki so služile za omilitev hrupa (saj popolna preprečitev hrupa žal ni možna) in komunikacijo z njim. Na tuljavi je bilo nameščeno zrcalo, s pomočjo katerega je bolnik opazoval projekcijo na platnu, postavljenem pri njegovih nogah (slika 1). Z računalnikom, nameščenim v nadzorni sobi, smo na platnu predvajali naloge, navodila za gibe prstov in za govorne naloge, ki jih je bolnik kasneje izvajal le v mislih (notranji govor), saj bi med praviim govorjenjem zaradi premikov glave in spreminjanja položaja ustne votline na fMR slikah lahko nastali preveliki artefakti. Tipe nalog smo bolniku predhodno razložili in jih pred izvedbo slikanja tudi poskusno opravili (govorne naloge z glasnim govorjenjem). S tem smo se prepričali, da je bolnik naloge razumel in jih bo pravilno izvajal. Prva govorna naloga je bila besedna tekočnost in se je izvajala tako, da je bolnik

tvoril besede, ki se pričnejo s črko, prikazano za kratek čas na zaslonu (npr. ob prikazu črke »v« je tvoril besedo »vrata«). Druga govorna naloga je bila tvorba glagolov, ki so pomensko ustrezali samostalnikom, prikazanim na zaslonu (npr. ob prikazu samostalnika »drevo«, je tvoril glagol »plezati«). Tretja in četrta naloga sta bili stikanje prstov (za določitev motoričnih področij za roko). Bolnik je pri teh nalogah stikal prste najprej ene in nato še druge roke. Na zaslonu se je prikazala utripajoča pika, hitrost utripanja pa je narekovala, kako hitro naj bolnik stiska prste. Pri vsaki nalogi so se 24-sekundna obdobja aktivnosti (govor, stikanje prstov) izmenjevala z obdobji počitka – resting state fMRI, ki so predstavljala referenčno vrednost za določitev aktivacije možganov. Med funkcijskim slikanjem smo pridobili več sto fMR slik in zabeležili podatke o bolnikovi aktivnosti v času zajemanja posameznih slik.



Slika 1: Prikaz položaja bolnika v MR aparatu in sistem za izpeljavo fMR slikanja.

Med preiskavo je bilo zelo pomembno, da je bolnik čimbolj miroval in ni premikal glave. Natančno je moral tudi upoštevati navodila za izvajanje nalog.

Po končanem fMR slikanju smo opravili analizo podatkov s postopkom statistične parametrične kartografije.

Statistična analiza

Pridobljene MR slike smo s pomočjo računalniškega programa MRiConvert najprej iz zapisa DICOM pretvorili v zapis Nifty. Slike smo nato obdelali in statistično analizirali s programskim paketom SPM (Statistical Parametrical Mapping), ki teče v okolju MATLAB. Rezultate smo prikazali s programom MRicro.

Izmerjeno možgansko aktivnost med izvajanjem nalog smo primerjali z možgansko aktivnostjo med mirovanjem (kratki odmori znotraj posamezne serije slikanja). Nato smo aktivnosti med seboj odšteli, da smo prikazali področja možganov, aktivna med izvajanjem naloge. Med hotenimi gibi se tako aktivirajo motorična področja možganov, med opazovanjem vidnih dražljajev pa vidna skorja (Trošt in Koritnik, 2004).

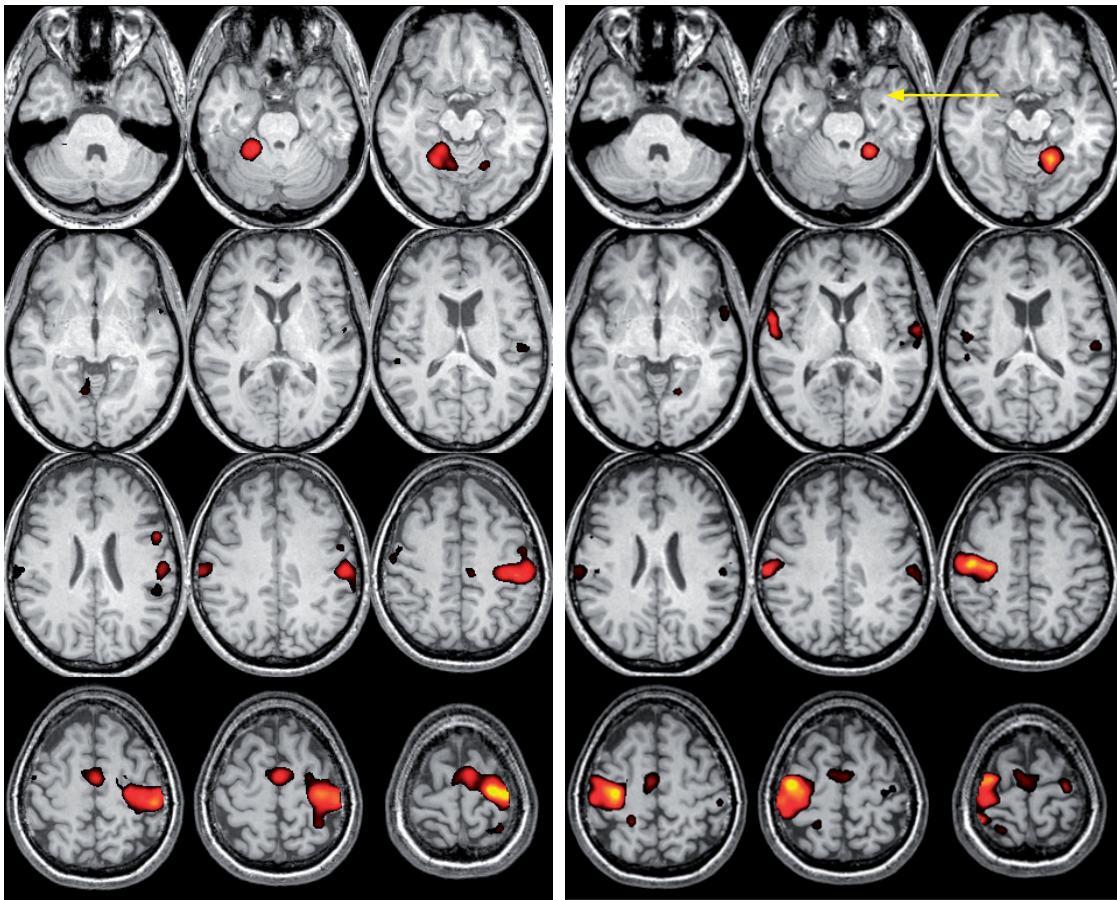
REZULTATI

V tabeli 3 so bolniki označeni z zaporednimi števkami od 1 do 18, navedeni so njihov spol, starost in napotna diagnoza. S pomočjo fMR so bila definirana področja aktivacije za roko in govor ter govorna polobelna dominantnost.

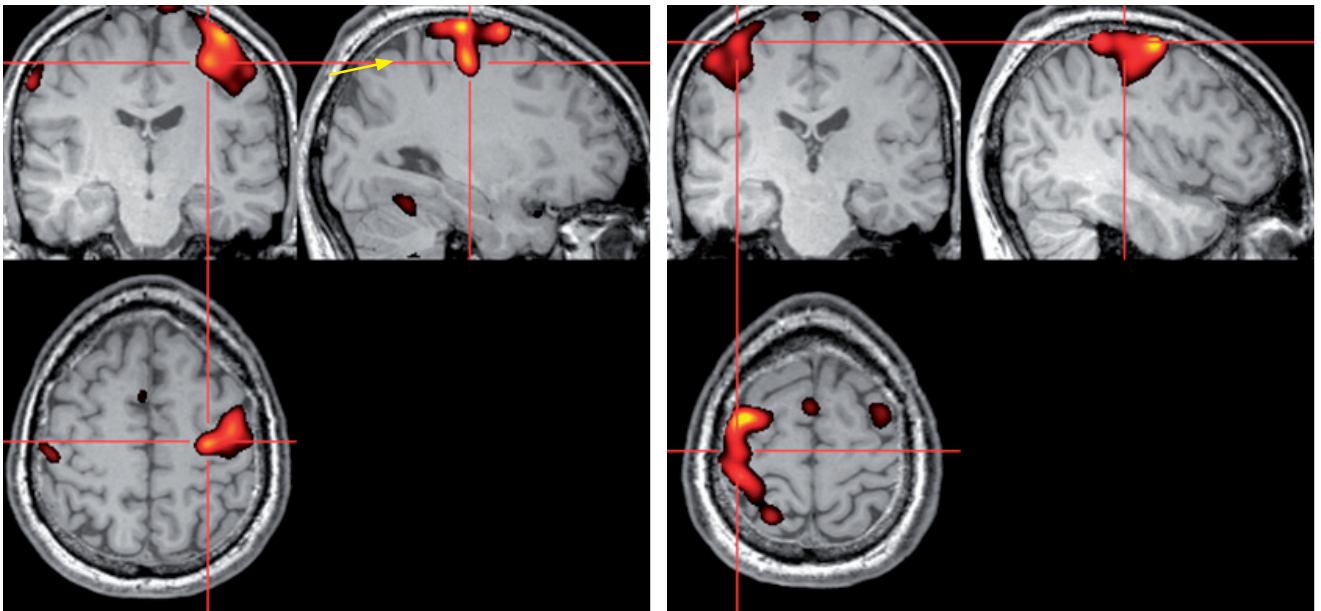
Tabela 3: Podatki o bolnikih, zajetih v raziskavi

Zaporedna številka bolnika	Spol	Starost	Napotna diagnoza	Govorna dominantnost
1	ženski	55 let	epilepsija s kortikalno displazijo desno temporalno	obojestranska
2	ženski	35 let	žariščna epilepsija	levostranska
3	ženski	48 let	žariščna epilepsija, hamartom levo frontobazalno, kandidatka za kirurško zdravljenje	levostranska
4	moški	18 let	epilepsija pred operacijo, levo frontalno	levostranska
5	ženski	35 let	kriptogena žariščna epilepsija, temporalna skleroza levo	levostranska
6	moški	19 let	žariščna simptomatska epilepsija	levostranska
7	ženski	26 let	epilepsija, kortikalna displazija parieto-temporookcipitalno	obojestranska
8	moški	23 let	epilepsija, kortikalna displazija levo centralno, kandidat za kirurško zdravljenje	levostranska
9	moški	28 let	epilepsija	levostranska
10	ženski	40 let	trdovratna epilepsija, heterotopija sive možganovine in motnje migracije	levostranska
11	ženski	26 let	trdovratna epilepsija, magnetnoresonančne in pozitronsko emisijsko tomografske spremembe levo temporalno	levostranska
12	ženski	45 let	epilepsija	levostranska
13	moški	39 let	epilepsija, kortikalna displazija levo parietotemporalno	levostranska
14	moški	49 let	trdovratna epilepsija, predoperativna priprava	levostranska
15	moški	18 let	epilepsija	obojestranska
16	moški	18 let	epilepsija, displazija možganske skorje levo temporalno	levostranska
17	ženski	26 let	epilepsija, ekspanzivni proces	obojestranska
18	moški	21 let	epilepsija, tumor	levostranska

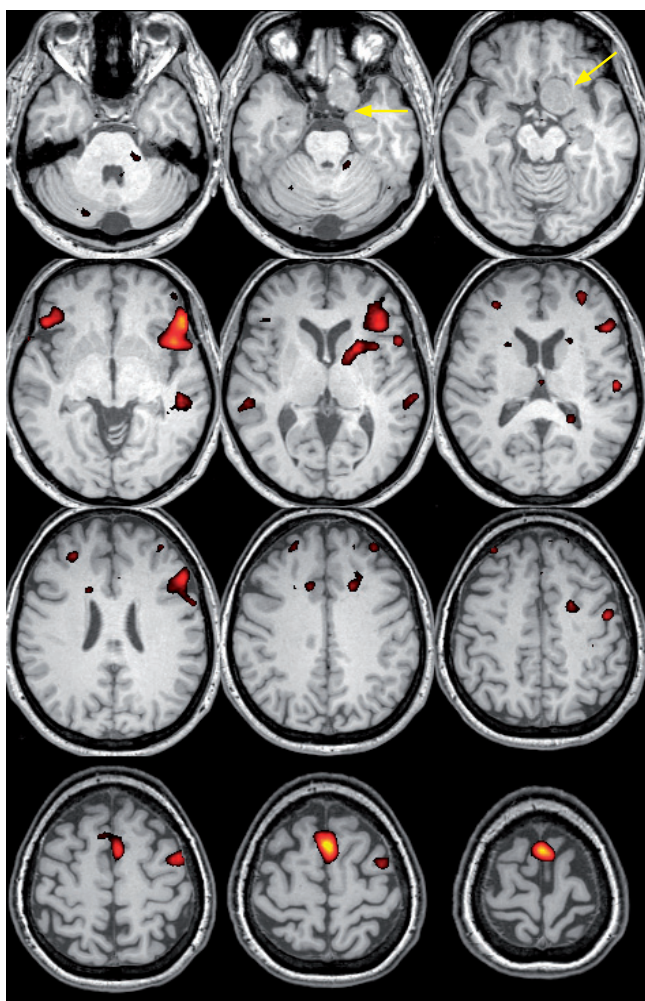
V nadaljevanju so prikazane fMR slike bolnikov. Slike 2, 3 in 8 prikazujejo stikanje prstov leve in desne roke. Bolnika 5 in 13 imata levostransko govorno dominantno. Pri bolniku 18 je s križcem označeno primarno senzorično-motorično področje za roko. Sliki 4 in 7 prikazujeta aktivirana področja pri besedni tekočnosti. Slike 5, 6 in 7 prikazujejo področja aktivacije pri tvorbi glagolov. Pri bolniku 17 je vidna obojestranska govorna dominantnost.



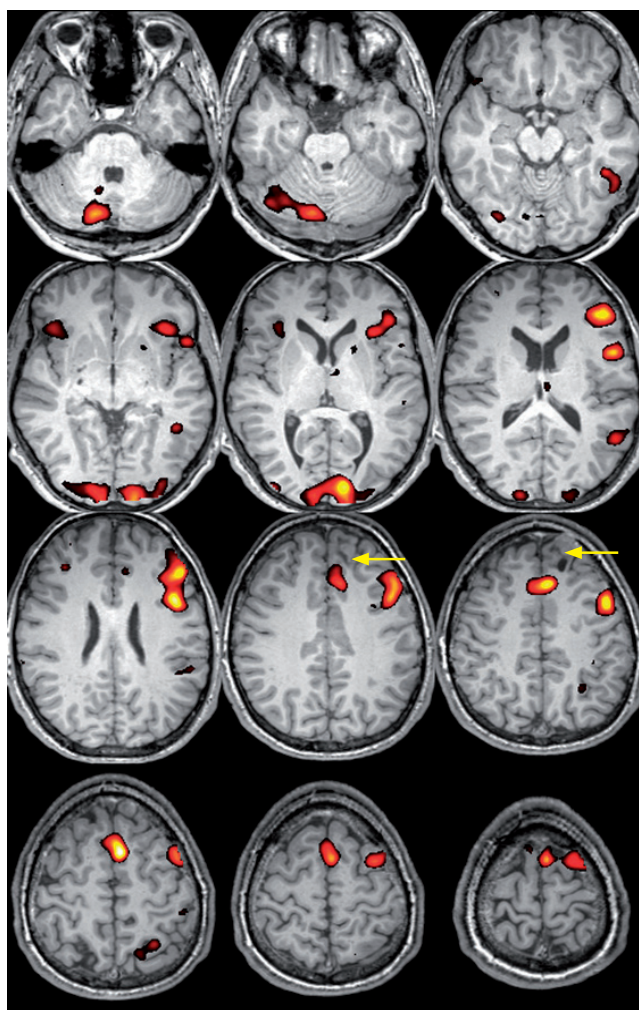
Slika 2: Bolnik 5. Temporalna skleroza (puščica). Levo: stikanje prstov desne roke. Aktivacija je v premotorično področje (PM1) levo in v suplementarno motorično področje (SMP). Desno: stikanje prstov leve roke. Aktivacija je v PM1 desno in v SMP. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



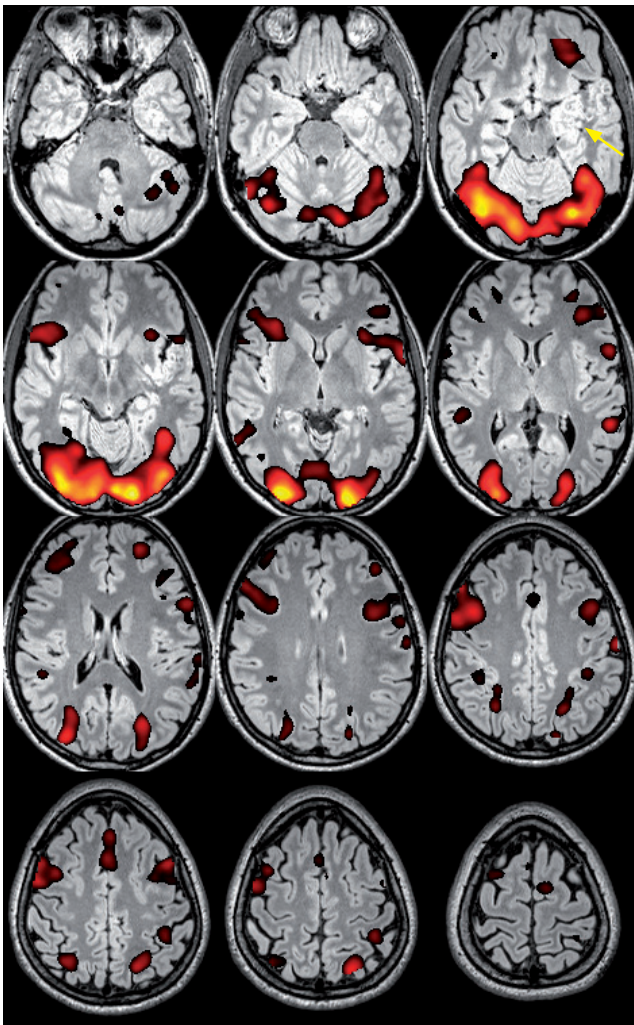
Slika 3: Bolnik 13. Kortikalna displazija levo parietotemporalno. Prikaz PM1 regije v vseh treh ravninah. Levo: stikanje prstov desne roke. Aktivacija v levi PM1. Razširjen sulkus z displazijo skorje leži posteriorno in inferiorno od aktivacije (vidno na sagitalni sliki). Desno: stikanje prstov leve roke. Aktivacija v desni PM1. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



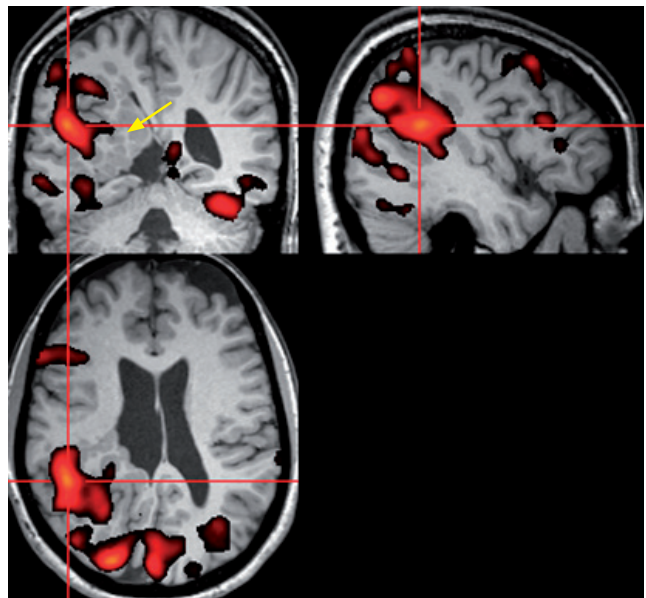
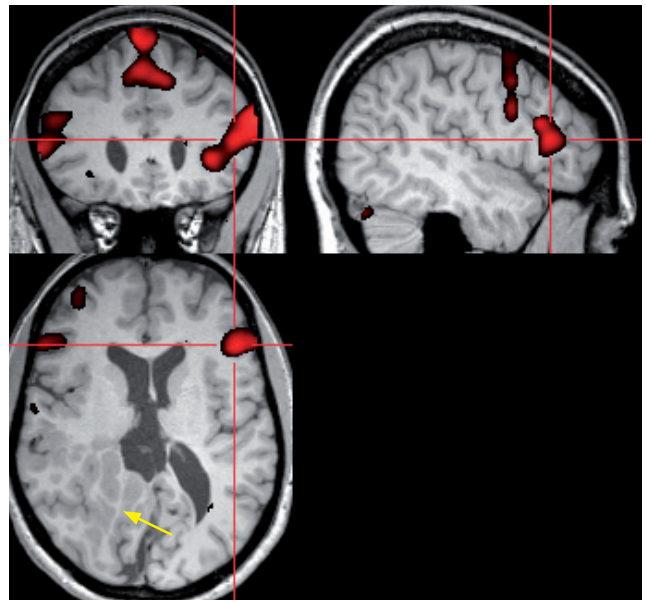
Slika 4: Bolnik 3. Hamartom (puščici). S skorjo izointenzivna patološka formacija frontobazalno dorzalno parasagitalno levo. Besedna tekočnost. Aktivacija Brockovega področja je lateralno in nad hamartomom. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



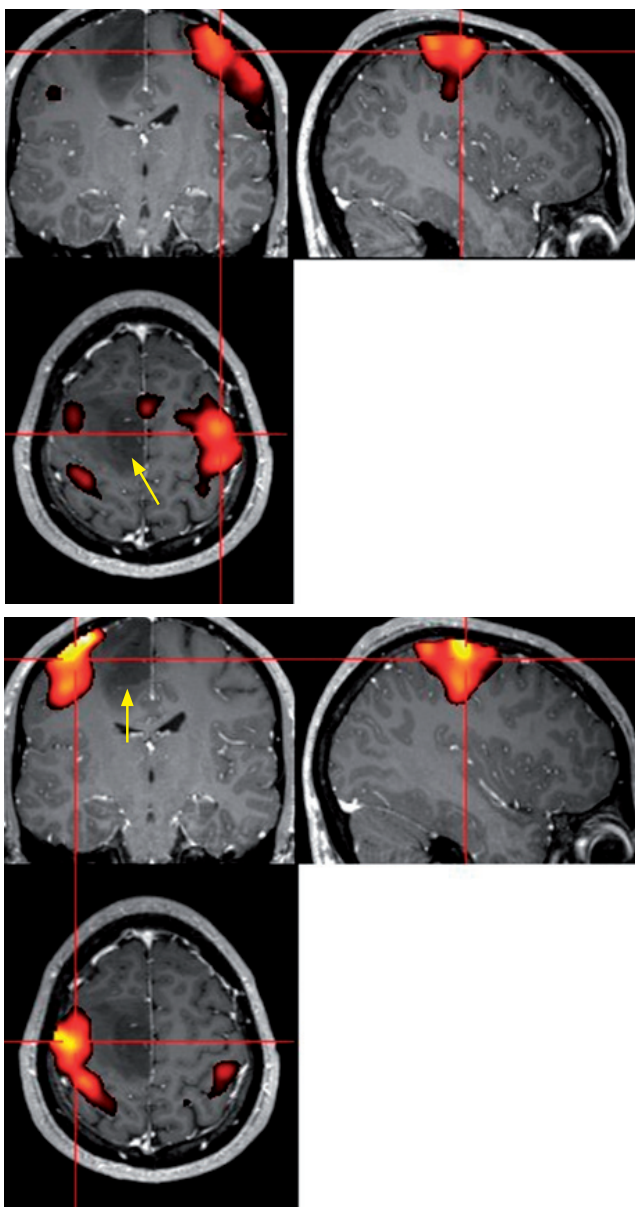
Slika 5: Bolnik 4. Gangliogliom levo frontotemporalno. 2 x 3 cm velika sprememba v skorji in subkortikalni beli možganovini sprednjega dela levega zgornjega frontalnega girusa s tekočinskimi vključki (puščici). S KS se ne obarva. Test tvorbe glagolov pokaže levostransko govorno dominanco. Aktivacija Brockovega področja je lateralno in kavdalno, oddaljeno od spremembe. Aktivacija SMP je posteriorno in v bližini spremembe. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



Slika 6: Bolnik 17. Ekspanzivni proces v skorji levo temporalno za silvično fisuro in v temporalnem operkulumu brez edema ali pomembnega učinka mase (puščica). Test tvorbe glagolov pokaže aktivacijo Brockovega govornega področja obojestransko – obojestranska govorna dominanca. Na levi strani je Brockova regija pred in nad spremembo. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



Slika 7: Bolnik 7. Fokalna subkortikalna heterotopija desno parietalno (puščica). Levo: besedna tekočnost. Aktivacija Brockovega govornega področja obojestransko, dominantno na levi strani. Desno: tvorba glagolov. Aktivacija Wernickovega govornega področja dominantno na desni strani, v področju displazije. Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.



Slika 8: Bolnik 18. Astroцитom (puščici). *Levo: stikanje prstov desne roke, aktivacija v levi PM1. Desno: stikanje prstov leve roke. Aktivacija desne PM1 je odrinjena lateralno in za tumor in je v stiku s tumorjem.*
Vir: arhiv UKC Ljubljana, KIR.

RAZPRAVA

FMR kot neinvazivna diagnostična metoda omogoča slikanje delovanja možganov med aktivnostjo. Tako lahko na primer določimo področje aktivacije za roko in govor ter govorno dominantnost.

V prvem delu razprave bomo med seboj primerjali in analizirali vse bolnike.

V raziskavo je bilo vključenih 18 bolnikov. Prikazana področja aktivacije so med posamezniki variirala. Za govor je bila pri 76% bolnikov dominantna leva polobla, pri 24% pa je šlo za obojestransko dominantno. Nihče od bolnikov ni imel desnostranske dominance.

V nadaljevanju razprave bomo opisali bolnike, ki so poleg epilepsije imeli še dodatno diagnozo, pri katerih smo s fMR pred morebitnim kirurškim posegom določili dominantno možgansko poloblo.

Bolnik 3 je imel hamartom levo frontobazalno. Pri slikanju z magnetno resonanco je bila potrjena velika ekspanzivna patološka formacija premera $2,6 \times 3,3 \times 2,4$ cm. S fMR je bilo prikazano, da je govorna dominantnost levostranska in da sprednja govorna področja niso v stiku s hamartomom.

Bolnik 4 je imel gangliogliom levo frontalno. Področje spremenjene možganovine v premeru cca 3,5 cm je bilo prikazano s pulznim zaporedjem T1 MPRAGE. S fMR je bila prikazana pretežno levostranska govorna dominanca in aktivacija motoričnega področja cca 1 cm dorzalno od spremenjene možganovine.

Bolnik 7 je imel kortikalno displazijo parieto-temporo-okcipitalno desno. Na MR slikah je bilo vidno razsežno področje spremenjenega girusnega vzorca, ki je segal v globino do stranskega ventrikla in je bil nekoliko razširjen in razoblikovan. S fMR je bilo težko opredeliti govorno dominantno, saj se je pri testu besedne tekočnosti aktivirala leva, pri tvorbi glagolov pa desna možganska polobla. Področji govorne in vidne aktivacije sta se nahajali v področju malformacije.

Bolnik 8 je imel kortikalno displazijo levo centralno. Izvedeni sta bili samo nalogi stikanja prstov za določitev motoričnih področij za roko. S fMR je bilo prikazano, da se pri testu motorike aktivira normalno senzorično-motorično kortikalno področje, ki je segalo do displazije, vendar ni bilo v stiku z njo. Pri obeh testih govora je bila aktivacija levo dominantna in odmaknjena od displazije. Brocovo področje se je nahajalo blizu displazije, Wernickejevo področje pa je bilo od nje oddaljeno.

Bolnik 9 je imel kortikalno displazijo levo parieto-temporalno tik nad Wernickejevim področjem. Pri testih za govor se je aktiviralo Brocovo in Wernickejevo področje, pretežno levostransko. Ker se je displazija nahajala tik nad Wernickejevim področjem, je obstajala verjetnost, da je belo nitje arkuatnega fascikla potekalo ob displaziji. Zato je bila pred operativnim posegom za prikaz tega nitja svetovana še traktografija.

Bolnik 17 je imel ekspanzivni proces s številnimi drobnimi cistami. S funkcijskimi testi smo prikazali, da so bila motorična in govorna področja oddaljena od lezije. Govorna aktivacija se je kazala obojestransko.

Bolnik 18 je imel tumor astrocitom. Na MR slikah je bil viden T1 hipointeziven ekspanzivni patološki proces premera $2,7 \times 5 \times 4,8$ cm desno frontalno zadaj parasagitalno. S fMR je bil izveden samo test motorike, ki je prikazal aktivacijo desnostransko tik ob tumorju. Na podlagi tega lahko nevrokirurg načrtuje kirurški pristop tako, da se izogne področju za motoriko roke. S traktografijo pa smo prikazali še potek živčnih vlaken, ki potekajo iz motorične regije.

Kot navaja Detre (2004), naj bi večino obstoječih podatkov o fMR pri epilepsiji pridobili s pomočjo magneta 1,5 T.

Razpoložljivost močnejšega magneta (3 T), ki smo ga uporabili tudi v našem primeru, pa omogoča boljše občutljivost in prostorsko ločljivost metode.

Za statistično analizo smo uporabili programski paket SPM, ki pa je le eden od razpoložljivih. Tuja literatura navaja tudi uporabo drugih (Chandrasekharan and Bejoy, 2008), kot so FSL (fMRI Brain Software Library), Brain Voyager ali AFNI (Analysis of Functional Neuroimage). V raziskavi, kjer so uporabili programsko opremo Brain Voyager, so z uporabo funkcijskih testov prišli do podobnih rezultatov, kot smo jih dobili v naši študiji (Ives-Deliperi et al., 2013).

V literaturi (Chandrasekharan in Bejoy, 2008) lahko zasledimo, da se fMR uporablja pri širokem spektru nevroloških motenj in bolezni. Takšno slikanje omogoča vpogled v mehanizme delovanja bolezni, kot tudi v normalno delovanje možganov. Klinična vloga fMR je vedno bolj priznana. Ena izmed prvih in najbolj priznanih kliničnih uporab fMRI je še vedno predoperativna ocena delovanja možganov pri bolnikih z epilepsijo in možganskimi tumorji. Ta diagnostična informacija pomaga ohranjati motorične in senzorične funkcije ter tako omogoča bolj varno zdravljenje.

ZAKLJUČEK

Funkcijsko magnetnoresonančno slikanje kot neinvazivna metoda omogoča prikaz aktivnosti možganov med opravljanjem določenih nalog. Tako lahko na primer prikažemo področja aktivacije za roko in govor ter določimo za govor dominantno možgansko poloblo.

Pri bolnikih z epilepsijo fMR omogoča prikaz in lokalizacijo pomembnih možganskih področij, ki se jim skušajo nevrokirurgi izogniti med operativnimi posegi, s katerimi odstranijo prizadeto možgansko tkivo ter s tem omogočijo zmanjšanje pogostosti napadov in razširitve žarišča.

Rezultati raziskave so pokazali, da je bila pri večini bolnikov za govor dominantna leva možganska polobla.

Uporaba fMR slikanja je zelo raznolika, saj se uporablja tako v klinične kot v raziskovalne namene.

LITERATURA

Arhiv Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana, Klinični inštitut za radiologijo.

Bielen I, Cvitanović-Šojat L, Dúrrigl V in sod. (2001). Živeti z epilepsijo. Ljubljana: Pliva, 4–5.

Bon J, Bresjanac M, Drolec Novak M in sod. (2007). Prvi koraki v nevroznanost, znanost o možganih. Ljubljana: Sinapsa, slovensko društvo za nevroznanost: Izobraževalni in raziskovalni inštitut Ozara. <http://www.sinapsa.org/radovedni/media/priponke/a27-Nevroznanost.pdf>. <23.01.2013>

Chandrasekharan K, Bejoy T (2008). Clinical applications of functional MRI in epilepsy. *Indian J Radiol Imaging* 18(3): 210–217.

Detre JA (2004). fMRI: Applications in epilepsy. *Epilepsia* 45 (suppl. 4): 26–31.

Hribar A (2011). Haptični robot v magnetnoresonančnem okolju. Doktorsko delo. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.

Ives-Deliperi VL, Butler JT, Meintjes EM (2013). Functional MRI language mapping in pre-surgical epilepsy patients: findings from a series of patients in the Epilepsy unit at Mediclinic Constantiaberg. *S Afr Med J* 103(8): 563–7.

Jelerčič U (2010). Funkcionalna magnetna resonanca, seminar 4. letnik. Ljubljana: Fakulteta za matematiko in fiziko. http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2009_2010/fMRI.pdf. <22.07.2013>

Koritnik B (2003). Funkcijsko magnetnoresonančno slikanje motoričnih področij možganov med hotenimi gibi pri desničnih in levičnih osebah. Magistrska naloga. Ljubljana: Medicinska fakulteta.

Koritnik B (2011). Funkcijsko slikanje možganov – od električnih signalov do barvitih misli. V: Potočnik B, ur. ROSUS 2011: računalniška obdelava slik in njena uporaba v Sloveniji 2011. Maribor, 17. marec 2011. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2011; 9–16.

Koritnik B, Knific J (2001). Funkcijsko magnetnoresonančno slikanje. V: Vodusek DB, Repovš G, ur. Informacijska družba IS'01. Kognitivna nevroznanost IS'01. Zbornik B 4. mednarodne multi-konference; 22–26 October 2001, Ljubljana, Slovenia. Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2001; 23–6.

Van Goethem JWM (2003). Magnetic resonance imaging of the spine. In: Reimer P, Parizel MP, Stichnoth FA, eds. *Clinical MR imaging. A practical approach*. 2th ed. Heidelberg: PRO EDIT GmbH, 161.

Sancin K, Koritnik B, Zidar J (2004). Govorni sistem možganov: vpogled s funkcijskimi slikovnimi metodami. *Psihološka obzorja* 13(2): 33–38.

Trošt M in Koritnik B (2004). Funkcijsko slikanje možganov: V naših glavah je vedno manj skrivnosti. Delova priloga *Znanost*, 19. 04. 2004. http://www.sinapsa.org/rm/file.php?id=29&db=tm_pripone. <13.01.2013>

Wurina, Zang YF, Zhao SG (2012). Resting-state fMRI studies in epilepsy. *Neurosci Bull.* 28(4): 449–55.