

VIZUÁLNE VNEMY A PREDSTAVY (fMRI ŠTÚDIA)

VISUAL PERCEPTION AND VISUAL IMAGINATION – fMRI STUDY

původní práce

Radovan Vaňatka¹
Marián Chaláni²
Zuzana Bilická²
Katarína Sláviková¹
Jana Mištinová¹

¹I. rádiologická klinika LF UK a UNB, Bratislava, Slovenská republika
²CT a MR-pracovisko, Rádiológia s.r.o., Bratislava, Slovenská republika

Přijato: 1. 11. 2010

Korešpondenčná adresa:

MUDr. Radovan Vaňatka, PhD.
I. rádiologická klinika LF UK a FN
Antolská 11, 851 07 Bratislava,
Slovenská republika
e-mail: vanatka@yahoo.com

SOUHRN

Vaňatka R, Chaláni M, Bilická Z, Sláviková K, Mištinová J. Vizuálne vnemy a predstavy (fMRI štúdia)

Cieľ. Vo svojej práci sme sa zamerali na problematiku vzťahu medzi zrakovými vnemami a predstavami týchto vnemov, a to z hľadiska charakteru aktivácie mozgu tak, ako ho umožňuje zobrazit' metóda funkcionálnej magnetickej rezonancie (fMRI). Podľa viacerých predchádzajúcich pozorovaní je totiž charakter aktivácie mozgu počas vyvolania prestavy vnemu značne podobný charakteru aktivácie mozgu počas vnímania takéhoto vnemu.

Materiál a metóda. Náš súbor tvorilo 12 pacientov (5 žien a 7 mužov). Porovnávali sme charakter aktivácie mozgu pri fMRI počas jednoduchej vizuálnej percepcie a počas vizuálnej imaginácie, pričom výsledky sme podľa miery zhody rozdelili do troch skupín.

Výsledky. Vysokú alebo stredne významnú zhodu medzi charakterom aktivácie mozgu počas vizuálnej percepcie a počas vizuálnej imaginácie sme zistili u vyše polovice našich pacientov (7 z 12), prevažne mužov (1 žena, 6 mužov).

Záver. Vizuálne predstavy môžu u významnej časti vyšetrovaných viesť k aktivácii vizuálneho kortexu, čo je potrebné brať do úvahy pri interpretácii fMRI-nálezov a zároveň to možno využiť ako jeden zo spôsobov aktivácie vizuálneho kortexu.

Kľúčové slová: funkcionálna magnetická rezonancia, mozog, predstava, vnem.

SUMMARY

Vaňatka R, Chaláni M, Bilická Z, Sláviková K, Mištinová J. Visual Perception and Visual Imagination – fMRI study

Aim. Our fMRI study was focused to relationship between brain activation pattern as registred by fMRI during visual perception and visual imagination. As we supposed, brain activation pattern during visual perception would be similar to that of visual imagination.

Material and methods. We examined twelve patients (5 women and 7 men). We compared the cortical regions activated during both visual perception and visual imagination and distinguished three levels of similarity.

Results. The cortical regions activated during both visual perception and visual imagination were found to be highly or moderately similar each other in 58% of participants (7 of 12), predominantly in men (1 woman, 6 men) – probably due to individual ability of visual imagination.

Conclusion. Visual imagination itself is able to activate brain visual cortical regions – it have to influence interpretation of fMRI and occasionally it can be used as an activation stimulus for visual cortex fMRI assessment.

Key words: brain, functional magnetic resonance imaging, imagination, perception.

ÚVOD

Zobrazenie pomocou funkcionálnej magnetickej rezonancie (angl. functional magnetic resonance imaging – fMRI) je relatívne nová modifikácia metódy magnetickej rezonancie (MR), umožňujúca štúdiom aktivačných procesov mozgu

pri psychickej činnosti *in vivo*. Vychádza z predpokladu, že zvýšená aktivita nervových buniek mozgu vedie k lokálnemu zvýšeniu spotreby energie, preto v danej oblasti reflexne dochádza k zvýšeniu prietoku krvi, čo vedie k vzostupu re-

latívneho zastúpenia oxyhemoglobínu v porovnaní s deoxyhemoglobínom. Keďže deoxyhemoglobín je na rozdiel od oxyhemoglobínu paramagnetický, dochádza (v porovnaní s pokojovým stavom bez aktivácie mozgových štruktúr) ku zmenám v intenzite MR-signálu tkaniva, ktoré teda možno považovať za nepriamy odraz neuronálnej aktivity mozgu. Pre bližšie informácie o metóde funkcionálnej magnetickej rezonancie odkazujeme na prehľadné články týkajúce sa tejto témy – v slovenskom, resp. českom jazyku (napr. 1 a 2).

Hypotézy o vzájomnej súvislosti a ovplyvňovaní medzi reálnymi vnemami a predstavami vnemov vznikali už dávno v minulosti. Metóda zobrazenia pomocou fMRI v súčasnosti ponúka možnosti presnejšie a objektívnejšie posúdiť ich vzájomné prepojenie a vzťahy.

CIEĽ PRÁCE

Cieľom práce bolo na podklade fMRI zistiť charakter aktivácie mozgu pri tvorbe jednoduchých vizuálnych predstáv a porovnať ho so stavom pri pôsobení jednoduchého statického vizuálneho stimulu. Získané skúsenosti môžu v budúcnosti ovplyvniť náš výber primeraného postupu fMRI-vyšetrenia pri vyšetrení zrakového kortexu najmä u pacientov s periférnymi či centrálnymi poruchami zraku, resp. s expanzívnymi procesmi v príslušnej oblasti.

MATERIÁL A METÓDA

U 12 pacientov (dospelí ľudia vo veku od 22 do 33 rokov, 5 žien a 7 mužov) bolo realizované fMRI vyšetrenie. Použili sme pritom MR-prístroj 1,5 Tesla firmy Siemens. Na morfológické zobrazenie mozgu bolo použité T1-vážené zobrazenie mozgu $1 \times 1 \times 1$ mm. Funkcionálne MRI sa realizovalo pomocou štandardnej metódy BOLD (Brain Oxygenation Level-dependent Echo-planar MR Imaging). V rámci tohto fMRI-vyšetrenia sme realizovali aj nasledujúce úlohy zamerané na vizuálnu percepciu a vizuálnu imagináciu.

Postup

Postup tejto časti vyšetrenia bol nasledovný:

Hneď po uložení na lôžko MR-prístroja pacient zatvoril oči a zároveň dostal inštrukciu, aby ich počas celého vyšetrenia neotváral, s výnimkou situácie, kedy dostane pokyn ich otvoriť.

Úloha „vizuálny podnet“: blokový dizajn fMRI vyšetrenia so štatistickým vyhodnotením rozdielov medzi bazálnymi podmienkami (pacient sa nehýbe, oči má zatvorené (dovtedy ich neotvoril), bez vedomej imaginácie, bez ďalších doplňujúcich podnetov) a situáciou, keď pacient po otvorení oboch očí pazerá priamo pred seba na vnútornú plochu tunela MR-prístroja (bez iných doplňujúcich vizuálnych, resp. iných podnetov).

Úloha „vizuálna predstava“: blokový dizajn fMRI vyšetrenia so štatistickým vyhodnotením rozdielov medzi bazálnymi podmienkami (pacient má oči zatvorené, bez vedomej imaginácie, bez ďalších doplňujúcich podnetov) a situáciou, keď si pacient (stále so zatvorenými očami) v mysli predstavuje rovnaký vizuálny podnet, aký videl v predchádzajúcej úlohe.

V priebehu samotného fMRI vyšetrenia sme pokyny pacientom podávali len v nevyhnutnej mierne a to verbálne cez

slúchadlá, ktoré mali od začiatku vyšetrenia nasadené. Akustické podávanie pokynov sme uprednostnili pred vizuálnymi signálmi preto, aby sa minimalizoval možný vplyv vizuálneho zadávania pokynov na nami sledovanú aktiváciu mozgu.

Hodnotenie nálezov

Stupeň zhody medzi charakterom aktivácie mozgu pri fMRI počas vizuálnej percepcie a vizuálnej imaginácie bol hodnotený kvalitatívne a každý spomedzi pacientov bol zaradený do jednej z nasledujúcich troch skupín:

1. vysoký stupeň zhody (pri úlohe „vizuálna predstava“ bola v okcipitálnej oblasti pozorovaná jednoznačná a pomerne výrazná aktivácia, ktorej lokalizácia zodpovedala zrakovkej kôre mozgu – hoci pri porovnaní s aktiváciou pri úlohe „vizuálny podnet“ bola táto aktivita menšej intenzity a/alebo rozsahu);
2. stredný stupeň zhody (pri úlohe „vizuálna predstava“ bola v okcipitálnej oblasti pozorovaná jednoznačná, no pomerne málo výrazná aktivácia, ktorej lokalizácia zodpovedala zrakovkej kôre mozgu);
3. nízky stupeň zhody (pri úlohe „vizuálna predstava“ bola aktivácia v okcipitálnej oblasti len naznačená prípadne známky aktivácie v tejto oblasti úplne chýbali).

Typickí zástupcovia jednotlivých skupín sú prezentovaní na obrázkoch 1, 2 a 3. Charakter aktivácie mozgu počas jednotlivých úloh je na nich pre názornosť zobrazený v systéme troch na seba kolmých rovín, prechádzajúcich cez oblasť aktivácie, na ktorú chceme upozorniť. Pri komplexnom posúdení celkového charakteru aktivácie mozgu počas sledovaných úloh však samozrejme treba vychádzať s celého súboru skenov.

VÝSLEDKY

Pri úlohe „vizuálny podnet“ bolo u všetkých pacientov pozorovať typickú aktiváciu vizuálneho kortexu v oblasti okcipitálneho laloka mozgu.

Pri úlohe „vizuálna predstava“ sme pozorovali vysoký stupeň zhody s nálezom, ktorý bol pozorovaný pri úlohe „vizuálny podnet“, u 4 pacientov, pričom išlo výlučne o mužov.

Stredný stupeň zhody sme pozorovali u 3 pacientov, pričom išlo o 1 ženu a 2 mužov.

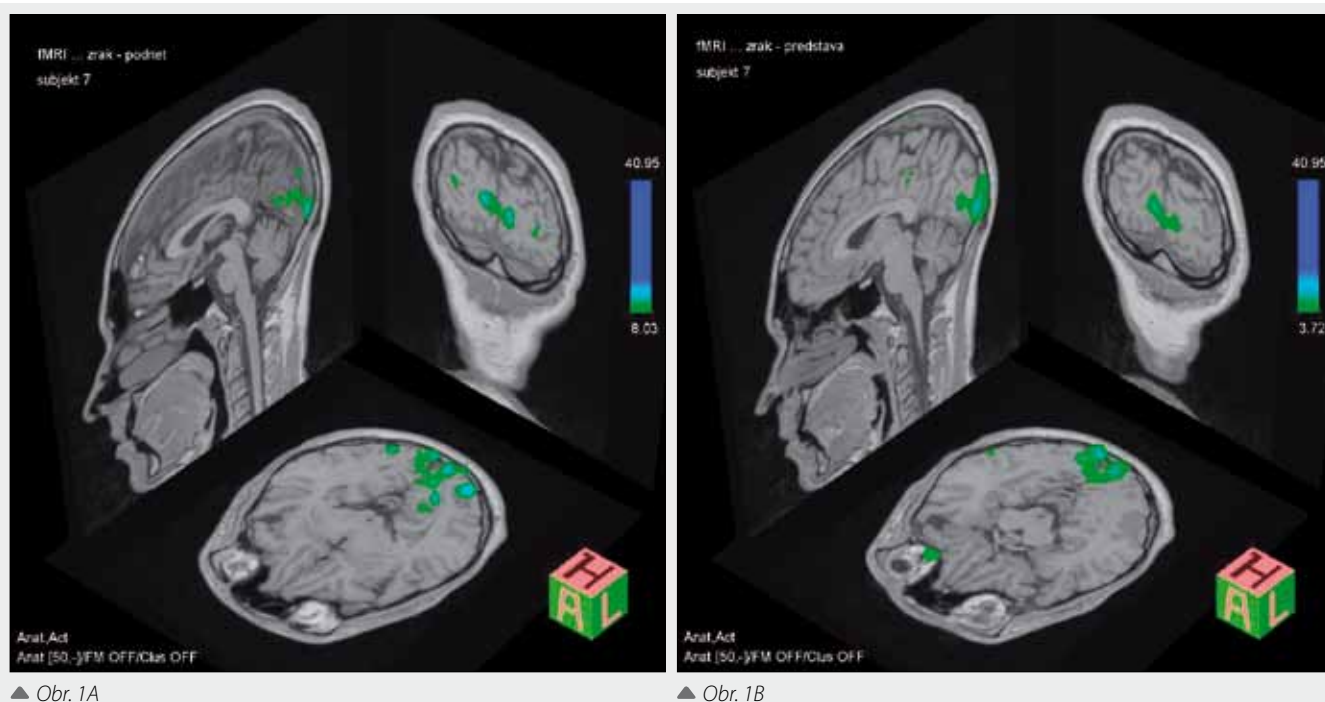
Nízky stupeň zhody sme pozorovali u piatich pacientov – 4 ženy a 1 muž.

Pacienti s vysokým a stredným stupňom zhody medzi charakterom aktivácie mozgu pri vizuálnej percepcii a vizuálnej imaginácii teda spolu tvorili nadpolovičnú časť nášho súboru (7 z 12, teda približne 58 %), hoci čo do intenzity a rozsahu bola táto aktivácia pri vizuálnych predstavách slabšia.

Na druhej strane u niektorých iných pacientov bol charakter aktivácie mozgu počas pôsobenia samotnej predstavy vizuálneho podnetu výrazne odlišný než v situácii, kedy na človeka pôsobil reálny vizuálny podnet. Odráža to zrejme nedostatočne vernú tvorbu vizuálnych predstáv, resp. ich nahradenie iným typom predstavy alebo psychickej činnosti.

DISKUSIA

O vzájomnej súvislosti medzi vnemami a predstavami vnemov hypotetizovali myslitelia a výskumníci už dávno. Metó-

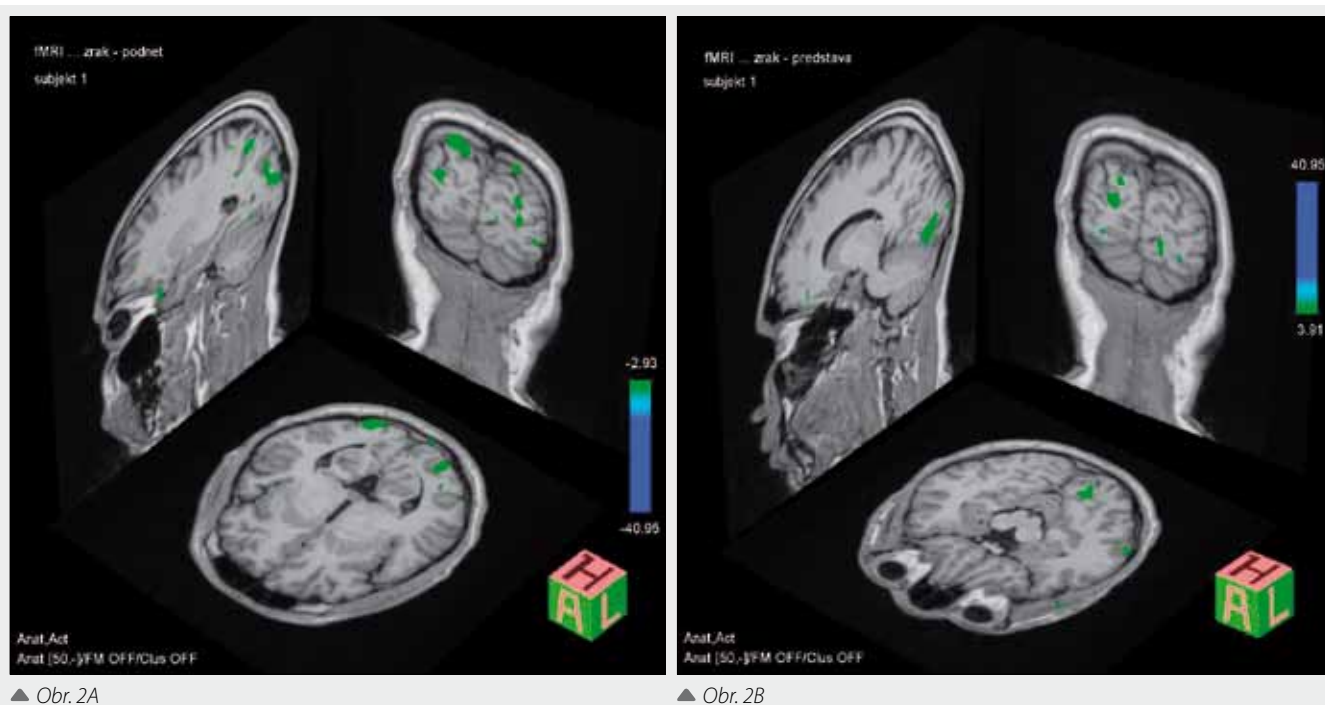


Obr. 1. Participant s vysokým stupňom zhody medzi charakterom aktivácie mozgu pri vizuálnej percepcii (A) a vizuálnej imaginácii (B)
 Fig. 1. High level of similarity between cortical regions activated during visual perception (A) and visual imagination (B)

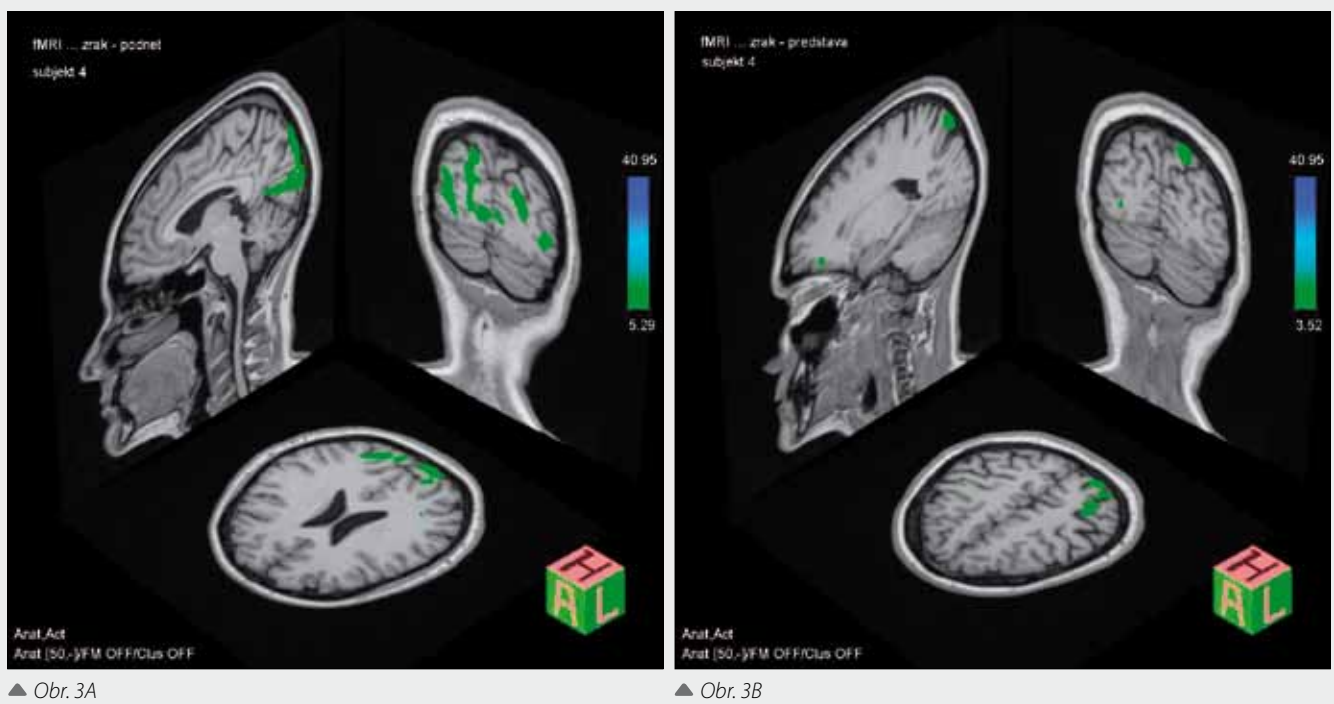
da zobrazenia pomocou fMRI v súčasnosti ponúka možnosti presnejšie a objektívnejšie posúdiť ich vzájomné prepojenie a vzťahy. V tejto oblasti výskumu sa uplatňujú predstavy podnetov najrôznejšieho charakteru – motorických, taktilných, vizuálnych, čuchových či iných podnetov.

Napríklad charakter aktivácie mozgu pri čuchových predstavách u ľudí skúmal pomocou fMRI okrem iných aj Levy so spolupracovníkmi, ktorý porovnával aktiváciu mozgu počas vytvárania predstáv banánovej a mentolovej vône a po-

čas skutočného vnímania týchto vôní. Pozoroval pritom, že u zdravých subjektov dochádzalo v rámci odpovede na tvorbu čuchových predstáv k signifikantne nižšej aktivácii mozgu v porovnaní so situáciou expozície subjektu skutočnému čuchovému podnetu. U žien bola pritom počas tvorby predstáv v porovnaní s expozíciou čuchového podnetu pozorovaná približne dvojnásobná úroveň aktivácie mozgových štruktúr v porovnaní s mužmi. U pacientov s hyposmiou bola naopak aktivácia mozgu počas tvorby predstáv vyššia než počas expo-



Obr. 2. Participant so stredným stupňom zhody medzi charakterom aktivácie mozgu pri vizuálnej percepcii (A) a vizuálnej imaginácii (B)
 Fig. 2. Moderate level of similarity between cortical regions activated during visual perception (A) and visual imagination (B)



Obr. 3. Participant s nízkym stupňom zhody medzi charakterom aktivácie mozgu pri vizuálnej percepcii (A) a vizuálnej imaginácii (B)
 Fig. 3. Low level of similarity between cortical regions activated during visual perception (A) and visual imagination (B)

zácii čuchovému podnetu. Oblasti mozgu, aktivované v prípade predstáv aj reálnej expozície čuchových podnetov, boli pritom podobné a zodpovedali čuchovým oblastiam mozgu (3).

Analogické závery boli pozorované aj pri porovnávaní charakteru aktivácie mozgu pri expozícii vizuálnemu stimulu (vizuálna percepcia) a pri tvorbe vizuálnych predstáv (vizuálna imaginácia), a to nielen na základe fMRI, ale napríklad aj PET-vyšetrovania. Napríklad Kosslyn so spolupracovníkmi porovnávali pomocou PET charakter aktivácie mozgu počas tvorby vizuálnych predstáv a počas vizuálnej percepcie, kvantifikovali stupeň zhody v charaktere aktivácie medzi týmito stavmi a konštatovali významný stupeň tejto zhody (4). Parciálne prekryvanie kortikálnych oblastí zaangażovaných pri vizuálnej percepcii a pri vizuálnej imaginácii potvrdilo aj viacero predchádzajúcich fMRI štúdií (5, 6).

Ako jednu z komplexnejších prác v oblasti fMRI vizuálnych predstáv dávame do pozornosti štúdiu realizovanú autormi Ganis et al. (2004), ktorí porovnávali pomocou fMRI charakter aktivácie mozgu počas percepcie vizuálnych podnetov a počas tvorby predstáv týchto vizuálnych podnetov. Použili pritom pomerne komplexnú úlohu, ktorej súčasťou bolo aj posudzovanie základných aspektov tvaru vnímaných, resp. predstavovaných objektov (7).

Zvolený prístup umožnil kontrolu správnosti a adekvátnosti tvorby vizuálnych predstáv (teda aby sa vizuálne predstavy v maximálnej možnej miere zhodovali s predloženými vizuálnymi stimulmi), pretože toto posúdenie aspektov predstavovaných objektov bolo správne len v prípade, že si participant dokázal predstaviť daný objekt dostatočne verne v porovnaní s pôvodným vizuálnym podnetom. Možnosť kontroly toho, či vyšetovaný subjekt správne vykonáva zadanú úlohu, je častokrát veľmi významným aspektom fMRI-vyšetrovania, a to najmä v prípade, že sa nemožno plne spoľahnúť na schopnosť, resp. ochotu pacienta správne realizovať zadanú úlohu (v klinickej praxi – napríklad u pacientov s poškodením mozgu –

vôbec nie zriedkavý prípad). Musíme si totiž uvedomiť, že veľká časť procesov skúmaných pri fMRI nemá pre vonkajšieho pozorovateľa jasný korelát (napríklad myslenie, spomínanie, plnenie rečovej úlohy vdychu apod.), a teda častokrát nemáme možnosť odlišiť, či chýbanie očakávanej aktivácie mozgu je dôsledkom chorobného procesu, neschopnosti dostatočnej spolupráce či neadekvátnej realizácie úlohy pacientom.

Pri snahe o zakomponovanie prvkov umožňujúcich posúdenie správnosti realizácie úlohy do schémy daného fMRI vyšetrovania však dochádza (okrem aktivácie štruktúr zapojených do pôvodnej úlohy) aj k zapojeniu ďalších psychických mechanizmov či motorických oblastí mozgu, čo komplikuje interpretáciu takto získaných výsledkov. Aj preto sme v našej štúdií zvolili čo najjednoduchší vizuálny podnet a vizuálnu predstavu, bez požadovania ďalších „kontrolných“ (no zároveň rušivých) psychických procesov.

Uvedení autori (7) pozorovali, že pri vizuálnych predstávach a vizuálnom vnímaní dochádza k aktivácii obdobných kortikálnych oblastí, pričom regióny mozgu aktivované počas vizuálnej imaginácie boli podmnožinou regiónov zúčastnených pri vizuálnej percepcii. Najväčšiu zhodu medzi týmito dvomi stavmi pozorovali v oblasti frontálnych a parietálnych lalokov (zrejme oblasti spojené s kognitívnou komplexnosťou tejto úlohy). V okcipitálnej oblasti pritom pozorovali, že pri vizuálnej percepcii sa aktivujú rozsiahlejšie časti zrkovej kôry než pri vizuálnej imaginácii. Pravdepodobne je to následkom toho, že pri vizuálnej imaginácii (na rozdiel od vizuálnej percepcie) nie je potrebná aktivácia oblastí zrkovej kôry zúčastňujúcej sa na základnom kôrovom spracovaní zrkových informácií (rýchla detekcia a kategorizácia objektov, ich zoskupovanie apod.) – pri imaginácii totiž nie je potrebné objekty detegovať či kategorizovať, pretože predstavované objekty sú už „hotové“ – vybrané z „pamätového skladu“. Ich výsledky naznačujú, že kognitívna kontrola je realizovaná obdobne pri percepcii aj pri predstavách, zatiaľčo samotné sen-

zorické procesy sa môžu pri percepcii čiastočne líšiť od imaginácie. Na druhej strane viacero štúdií potvrdilo, že vizuálna imaginácia môže byť niekedy zachovaná aj pri poškodení vizálnej percepcie pri lézii okcipitálneho laloka mozgu (8, 9).

To, že primárne kôrové centrum pre zrak sa nachádza v oblasti okcipitálnych lalokov, je známe už dávno. Avšak pri vytváraní komplexného vizuálneho vnemu sa významne zúčastňujú aj iné oblasti mozgu. Osobitnou kapitolou v oblasti vizuálnej percepcie a vizuálnych predstáv sú zrakové klamy a príbuzné fenomény.

Napríklad bolo pozorované, že pri pohľade na známu tvár sa aktivuje aj špecifická area v oblasti gyrus fusiformis (10). Andrews so spolupracovníkmi skúmali pomocou fMRI charakter aktivity mozgu počas sledovania Rubinovej reverzibilnej figúry, ktorá umožňuje dva odlišné typy interpretácie (kalich alebo profil dvoch tvárí obrátených k sebe). Gyrus fusiformis sa pritom aktivoval len v prípade, že probandi vnímali Rubinovu figúru ako „tvár“. V opačnom prípade sa jeho aktivita stratila, hoci prvotný vizuálny podnet sa nijako nezmenil (menila sa len jeho interpretácia) (11).

Pomocou fMRI bolo tiež zistené napríklad to, že pri dlhšom fixovaní pohľadu na svetelný bod v úplnej tme (na rozdiel od počiatočných fáz fixovania tohto bodu) dochádza okrem aktivácie vizuálneho kortexu aj k obojstrannej aktivácii okcipito-temporálnych oblastí mozgu citlivých na pohyb (area MT/V5), hoci samotný podnet sa medzičasom nijako nezmenil ani nehýbal. Pri vizuálnom fixovaní svetelného bodu v úplnej tme totiž dochádza k fenoménu autokinézy (vnímanie zdanlivého pohybu tohto bodu), pričom tento fenomén sa zvyrazňuje s dĺžkou fixácie tohto bodu (12).

Interpretácia pozorovaného charakteru aktivácie mozgu pri vizuálnej percepcii je teda komplexná a vyžaduje si presné dodržanie dizajnu vyšetrenia a úlohy.

Pri vizuálnej imaginácii sú navyše okrem vizuálnych procesov zaangażované aj ďalšie procesy (napríklad vybavovanie z dlhodo- bej pamäte apod.), čím sa problematika vizuálnych predstáv stáva ešte komplexnejšou, než je problematika vizuálnej percepcie.

Na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že 12 pacientov zhrnutých v našej práci predstavuje veľmi malý súbor. Stačí si však uvedomiť, že súbory mnohých prác z tejto oblasti, ktoré boli uverejnené v renomovaných zahraničných odborných časopisoch, častokrát nebývajú oveľa väčšie. Je to zrejme spôsobe-

né relatívnu novosťou metódy, ohromnou šírkou jej potenciálnych aplikácií a hľadaním jej najefektívnejšieho využitia. Na nejaké zovšeobecnenie našich výsledkov je však samozrejme nevyhnutný rozsiahlejší súbor účastníkov.

Vo všeobecnosti možno povedať, že prinajmenšom u časti našich pacientov bol charakter aktivácie mozgu počas pôsobenia vizuálneho podnetu do značnej miery podobný, ako tomu je pri tvorbe predstavy takéhoto vizuálneho podnetu.

Ako isté prekvapenie možno hodnotiť naše pozorovanie, že vysoká zhoda medzi charakterom aktivácie okcipitálneho kortexu pri vizuálnej predstave a vizuálnej percepcii bola konštatovaná len u mužov, hoci vyššiu schopnosť imaginácie by sme možno očakávali skôr u žien. Tento výsledok je zrejme ovplyvnený okrem iného aj strohosťou a „technickým“ charakterom nami vybraného (veľmi jednoduchého) vizuálneho podnetu a vizuálnej predstavy, ktorý možno vyhovoval skôr mužom.

Naša práca na druhej strane poukázala aj na to, že charakter aktivácie mozgu počas pôsobenia samotnej predstavy vizuálneho podnetu je u časti pacientov výrazne odlišný než v situácii, kedy na človeka pôsobí reálny vizuálny podnet rovnakého charakteru. Odráža to zrejme nedostatočne vernú vôľovú tvorbu vizuálnych predstáv, resp. ich nahradenie iným typom predstavy. Charakter predstáv však neumožňuje ich priamu kontrolu či overenie ich vernosti a živosti (ak len nie práve pomocou fMRI, čo je však zatiaľ otázkou budúcnosti), preto sme sa v tomto smere museli spoľahnúť na spoluprácu a subjektívne výpovede pacientov. Jedno z riešení tohto problému je použitie takých úloh, ktorých plnenie je možné nejakým spôsobom skontrolovať (viď vyššie), prípadne je vhodné zabezpečiť, aby fMRI vyšetreniu predchádzalo isté obdobie tréningu vizualizačnej schopnosti.

ZÁVER

Vizuálne predstavy môžu u významnej časti vyšetovaných pacientov viesť k aktivácii vizuálneho kortexu, čo je potrebné brať do úvahy pri interpretácii fMRI-nálezov a zároveň to možno využiť v prípade potreby ako jeden z možných spôsobov aktivácie vizuálneho kortexu.

Metóda fMRI predstavuje významný pokrok pri v oblasti vyšetrenia mozgovej aktivity.

LITERATURA

1. Vaňatka R, Chalányi M, Geryk B, et al. Funkcionálna magnetická rezonancia (fMRI) – prehľadný článok. *Slov Radiol* 2009; 16(2): 119–123.
2. Chlebus P, Mikl M, Brázdil M, Krupa P. Funkční magnetická rezonance – úvod do problematiky. *Neurologie pro praxi* 2005; 3: 133–139.
3. Levy LM, Henkin RI, Lin CS, Hutter A, Schellinger D. Odor Memory Induces Brain Activation as Measured by Functional MRI. *Journal of Computer Assisted Tomography* 1999; 23: 487–498.
4. Kosslyn SM, Thompson WL, Alpert NM. Neural systems shared by visual imagery and visual perception: a positron emission tomography study. *NeuroImage* 1997; 6: 320–334.
5. Ishai A, Haxby JV, Ungerleider LG. Visual imagery of famous faces: effects of memory and attention revealed by fMRI. *NeuroImage* 2002; 17: 1729–1741.
6. O'Craven KM, Kanwisher N. Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *J Cogn Neurosci* 2000; 12: 1013–1023.
7. Ganis G, Thompson WL, Kosslyn SM. Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study. *Cognitive Brain Research* 2004; 20: 226–241.
8. Ganis G, Thompson WL, Mast FW, Kosslyn SM. Visual imagery in cerebral visual dysfunction. *Neurol Clin* 2003; 21: 631–646.
9. Behrmann M, Moscovitch M, Winocur G. Intact visual imagery and impaired visual perception in a patient with visual agnosia. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1994; 20: 1068–1087.
10. Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience* 1997; 17: 4302–4311.
11. Parry A, Matthews PM. Functional magnetic resonance imaging (fMRI): A "window" into the brain. http://www.fmrib.ox.ac.uk/fmri_intro/brief.htm. Citované 19. 5. 2006.
12. Riedel E, Stephan T, Deutschländer A, et al. Imaging the visual autokinetic illusion with fMRI. *NeuroImage* 2005; 27(1): 163–166.