

FUNKČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE – NÁSTROJ PRO VIZUALIZACI ANATOMICKÝCH STRUKTUR MOZKU ZAPOJENÝCH DO MECHANIZMŮ VNÍMÁNÍ, ŘÍZENÍ MOTORIKY A MYŠLENÍ.

R. Jech, A. Nebuželský, J. Krásenský a E. Růžička

Neurologická klinika 1.LF UK a VFN v Praze

S progresivním rozvojem výpočetní techniky, statistických metod a nových diagnostických postupů přestává být studium funkčních zapojení mozku výhradní doménou klasické neuroanatomie. Zásadním obratem byl objev funkční magnetické rezonance (fMRI). Ta se od standardní magnetické rezonance (MR), která je běžnou součástí vyšetřovacích metod v medicíně, liší schopností detekovat dynamické změny signálu způsobené lokálním kolísáním poměru oxy- a deoxyhemoglobinu v závislosti na neuronální aktivitě (BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent). Nezobrazuje tedy neuronální aktivitu přímo, ale pouze prostřednictvím lokálních změn oxygenace a regionálního krevního průtoku v závislosti na aktuální spotřebě nervovou tkání v daném místě. Deoxyhemoglobin má, podobně jako magnetické kontrastní látky, tzv. paramagnetické vlastnosti, což vede v místech s jeho vyšší koncentrací ke vzniku lokálních nehomogenit magnetického pole, jejichž důsledkem je daleko rychlejší ztráta energie excitovaných vodních protonů a tím i významnější lokální úbytek radiofrekvenčního signálu. K registraci fMR se nejčastěji používá metodiky Echo Planar Imaging (EPI), která na rozdíl protokolů používaných při běžném morfologickém MR vyšetření umožní rychlými změnami magnetického pole dekodovat signál z celého řezu nebo objemu již po jediném, nebo několika málo excitačních radiofrekvenčních pulsech. Detekovaný signál (echo) se tak rozčlení na konečný počet vzorků, z nichž každý v sobě nese fázově kódovanou informaci o signálu z každého místa daného řezu.

Aktivace neuronálních struktur se vybavuje přesně definovanými stimulačními úlohami, které subjekt během vyšetření fMR průběžně řeší. Zrakovou, sluchovou nebo taktilní stimulací lze studovat mechanismy percepce, volní pohybovou aktivitou končetinami lze aktivovat funkční okruhy zapojené do řízení motoriky, mentálním procesem při řešení kognitivních úloh lze aktivovat specifické struktury zapojené do mechanismů myšlení, učení a paměti. V klasickém vyšetřovacím schématu je subjekt vystaven dvěma stavům: fázi stimulace a fázi klidové. Např. u vizuálních úloh je standardním podnětem černobílý revertující pruhový nebo šachovnicový podnět, při kterém se bílé plochy stimulačního obrazce rytmicky zaměňují za černé a naopak. Po jeho několikasekundové prezentaci následuje stejně dlouho trávající období bez stimulace, při které je promítán černý obraz.

Mozková kůra, která je stimulací aktivována, vykazuje v 1,5 T poli lokální fluktuace signálu pouze v rozmezí 1-3%, přestože lokální zvýšení krevního průtoku a objemu je několikanásobně větší. Tyto fluktuace jsou navíc kontaminovány četnými artefakty, jejichž signál bývá výrazně vyšší. K zobrazení výsledku není proto výhodná prostá subtrakce dvou objemů MR dat pořízených za obou stavů stimulace, ale aplikace statistických metod. Během jednoho vyšetření je za prostřídání několika period vizuální stimulace nasnímáno několik desítek (tzv. dynamických) objemů MR dat, reprezentujících řadu 3D zobrazení téhož mozku v čase. Analýzu fMR komplexně řeší program *Breathing Brain*, vytvořený v prostředí MATLAB™. Program využívá schopnosti snadné manipulace a statistického zpracování obrazů ve vícerozměrných maticích, kde je každý voxel obrazu v dynamickém objemu definován x,y,z a časovou souřadnicí. Pro vizualizaci výsledků program používá a) analýzu rozptylu (ANOVA) nebo b) párový T-test, kdy se dynamické objemy ještě před vlastním testováním roztřídí za použití kategorizačního vektoru, podle toho zda byly pořízeny za klidového stavu nebo během stimulace. Výsledkem analýzy je 3D matice T nebo F hodnot. c) Metodou korelační analýzy je porovnáván dynamický průběh MR signálu v daném voxelu s korelačním vektorem, který popisuje dynamický průběh úlohy nebo vhodnou matematickou funkci (např. sinusoidu). Korelační vektor může obsahovat také zprůměrněný MR signál několika voxelů, o kterých je již dopředu známo, že se během úlohy aktivují (autokorelace). Výsledkem analýzy je 3D matice r korelačních koeficientů. d) Rychlou Fourierovou transformací (FFT) lze definovat všechny voxely, jejichž MR signál osciluje na frekvenci dané stimulační úlohy. FFT přináší možnost navíc zobrazit fázi dynamických změn MR signálu.

Každou z uvedených metod se testuje každý voxel celého MR objemu dat, tzn. včetně voxelů, které se nacházejí mimo vlastní prostor mozku a hlavy subjektu. Výsledná 3D matice obsahuje takový počet hodnot, který odpovídá celkovému počtu voxelů v každém dynamickém 3D objemu MR dat. Pro výsledné zobrazení jsou použity voxely pouze s těmi T, F nebo r koeficienty, jejichž hodnota přesahuje statistickou významnost. Zbývající šum může být dodatečně odstraněn mediánovým filtrem nebo selektivní filtrací podle amplitudového pásma fluktuace signálu. Voxely jsou převedeny do barevné škály a bikubicky interpolovány na pozadí běžného anatomického zobrazení mozku. Typem barevné škály je možné současně odlišit oblasti, které se během úlohy aktivují nebo inhibují. Výsledek lze programem prohlížet nezávisle ve třech navzájem kolmých řezech nebo exportovat do standardního .jpeg formátu

Studium funkčních zapojení mozku se stává se stále častěji předmětem zájmu klinických oborů, kterým nabízí perspektivu plánování neurochirurgických výkonů nebo zpřesnění diagnostiky některých neurologických a psychiatrických onemocnění. Vedle možnosti ověření klasických neuroanatomických schémat se metodou fMR otevřely netušené možnosti poznání mechanismů procesu percepce a lidského myšlení.

Studie byla podpořena grantem IGA MZ ČR 4189-3 a grantovým záměrem CEZ:J13/98:111100001

E-mail: panther@tremor.anet.cz Ilustrace a včetně dalšího výkladu: <http://www.neuro.lf1.cuni.cz/Robert>