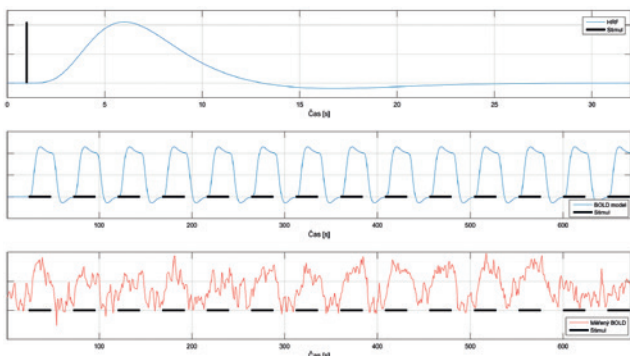


# Zobrazování funkce mozku

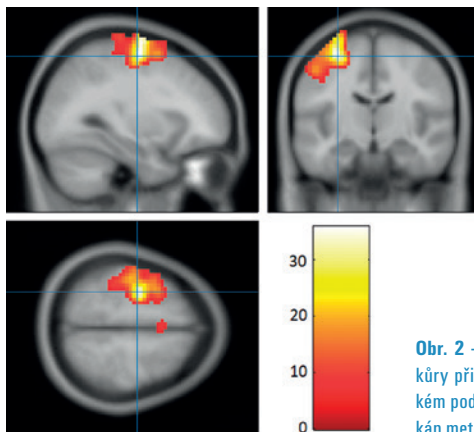
Martin Gajdoš, Michal Miki

Funkční zobrazování mozku se uplatňuje jak v neurovědním výzkumu, tak i v klinických aplikacích. V tomto příspěvku se zaměříme na mapování funkce mozku pomocí funkční magnetické rezonance (fMRI) a elektroencefalografie (EEG).



**Obr. 1** - V horní části je zachycena hemodynamická odezva, uprostřed modelový BOLD signál odpovídající zobrazené opakované aktivitě a dole je reálný BOLD signál měřený v primární zrakové oblasti při použití vizuální stimulace.

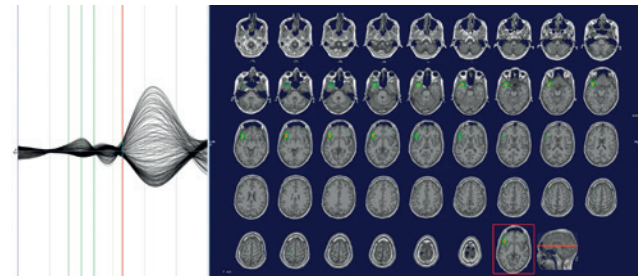
Při zobrazování metodou fMRI se využívá opakované měření mozku, které zaznamenává metabolickou stopu neuronální aktivity. Jak? Nejčastěji měříme fMRI závislou na úrovni oxykysličené krve (BOLD fMRI; *blood oxygenation level dependent fMRI*). V tomto případě jsou zaznamenávány  $T_2^*$  vážené snímky, které jsou citlivé na poměr oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu. Pokud je populace neuronů zapojena do aktivity, jakou je například zpracování vizuálního podnětu ve zrakové kůře, spotřebovává energii a kyslík a produkuje metabolity. Metabolity jsou odváděny odkysličenou krví a nová energie a kyslík jsou dodávány oxykysličenou krví. Oxykysličená krev má díky diamagnetickému oxyhemoglobinu jiné magnetické vlastnosti než odkysličená krev, kde převládá paramagnetický deoxyhemoglobin. Jelikož jsme schopni pořádit fMRI sken mozku přibližně každou vteřinu, získáme tak časový vývoj poměru oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu, který je pro takové zapojení neuronální populace do aktivity charakteristický. Odezva na krátký impuls se nazývá hemodynamická odezva (obrázek 1).



**Obr. 2** - Lokalizace motorické kůry při opakovaném motorickém podnětu. Výsledek byl získán metodou GLM.

Naměřená data je potřeba zpracovat a k tomu mají výzkumníci k dispozici velkou škálu metod, které volí dle řešení hypotézy. Jednou z nich je obecný lineární model (GLM), který využívá toho, že jsme schopni namodelovat teoretický průběh hledaného signálu. Tento model, neboli regresor, může představovat například časový průběh zapojení se zrakové kůry do zpracování vizuálních podnětů, které přicházejí v předem definovaných časových okamžicích. Metodou obecného lineárního modelu pak v každém elementu prostoru (voxelu) mozku určíme, nakolik je hledaný signál přítomen. Míra přítomnosti je ohodnocena statistickou hodnotou a výsledkem analýzy je prostorová mapa statistických hodnot. Tímto způsobem lze například při tlučení prstů o palec u měřeného člověka lokalizovat motorickou kůru. Lokalizace funkční oblasti mozku je důležitá při předoperačním plánování, kdy se výsledná statistická mapa nahraje neurochirurgovi do navigačního systému (obrázek 2).

Pokročilejší metody analýzy, které nacházejí své uplatnění zatím spíše v základním výzkumu, jsou schopny například detegovat stavy mozku v jednotlivých časových okamžicích a následně tak díky nim můžeme analyzovat dynamiku přepínání mezi těmito stavy mozku. Tato dynamika se může lišit u zdravých a nemocných lidí a bylo například ukázáno, že metoda umožňuje odlišit pacienty se schizofrenií od zdravé populace.



**Obr. 3** - Lokalizace epileptického výboje získaná metodou zpětné rekonstrukce elektrických zdrojů. Červená čára znázorňuje v levém grafu průběh EEG signálů časovou pozici odpovídající aktuálnímu stavu rekonstruovaného elektrického zdroje (vpravo).

Funkci mozku lze zobrazovat rovněž pomocí EEG. V tomto případě se využívá měření změny rozdílů elektrických potenciálů mezi elektrodami, které jsou nejčastěji umístěny na povrchu hlavy. Tyto změny jsou způsobeny synchronizovanými výboji populací neuronů. Hlavním zdrojem signálu EEG jsou postsynaptické proudy pyramidálních neuronů. Pro měřitelný EEG signál musí synchronizovaný výboj pocházet minimálně od stovek tisíc neuronů. Metoda EEG umožňuje – oproti fMRI – změřit stav potenciálů mozku několik tisíckrát za vteřinu. Na druhou stranu je ale přesnost lokalizace zdroje aktivity vzhledem k fMRI nižší, jelikož se spoléhá obvykle „pouze“ na data z desítek až stovek povrchových elektrod.

Vyšší časové rozlišení metody je vhodné při měření rychlých dějů, jakými jsou například epileptické výboje. Metodou zpětné rekonstrukce elektrických zdrojů je pak možné nejen lokalizovat počátek epileptického výboje, ale také sledovat jeho šíření mozkem (obrázek 3).