

THE SIMULATION OF EFFECT OF MR PULSE SEQUENCES ON THE MEASUREMENT OBJECT TEMPERATURE

Markéta Kosková

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkosko00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Lucie Grossová

E-mail: xgross03@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with a heating tissues problem of the measured object in magnetic resonance. This is the consequence of using MRI pulse sequences. At the beginning of this paper is introduction to this topic and the ways of gathering the data necessary for the further processing. In experimental part of this paper the program for object heating simulation in MRI is proposed. This should help with planning the sequences so the researcher does not have to wait for the object to cool down, and also create the better conditions for the experimental animals to survive the process.

Keywords: nuclear magnetic resonance, tissue heating, graphical user interface

1. ÚVOD

Nukleární magnetická rezonance je fyzikálně – chemická metoda založená na analýze magnetických momentů atomových jader. Jedná se o původně analytickou metodu, která byla rozvinuta v zobrazovací techniku používanou k tomografickému zobrazování vnitřních orgánů lidského těla [1]. Přestože je tato metoda z biologického hlediska považována za metodu bezpečnou, existují významná rizika s ní spojená. Tato práce se zabývá právě jedním z rizik a to zahříváním tkání v průběhu měření, které je způsobeno absorpcí energie radiofrekvenčního pole. Právě zmíněné pole vzniká jako důsledek aplikace pulzních sekvencí, pomocí kterých dochází k excitaci atomových jader v měřeném objemu tkáně a následně k zisku obrazové informace [2].

Celá tato práce vznikla primárně pro účely ÚPT AV ČR v Brně z důvodu kolísání teploty myši v průběhu experimentálního výzkumu. Cílem práce bylo provedení série měření pro otestování vlivu různých akvizicí pulzních sekvencí na teplotu měřeného fantomu a následná aplikace získaných poznatků na živý objekt. Data z proměřování fantomu byla dále využita pro vytvoření programu k simulaci zvyšování teploty po aplikaci vybraných akvizicí pulzních sekvencí při plánování MR experimentů.

2. ZÍSKÁVÁNÍ DAT

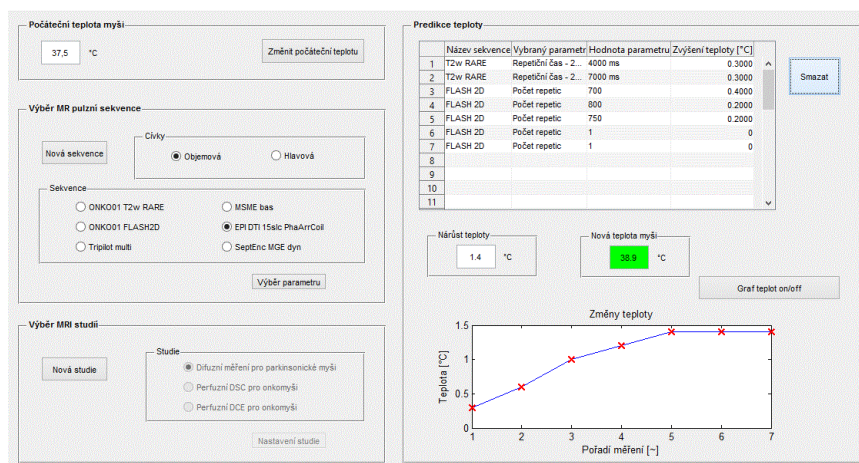
Aby mohl simulační program správně fungovat, bylo nutné nejprve získat potřebná data. Pro tyto účely byl tedy vytvořen testovací fantom, který se skládal z plastové lahvičky naplněné agarovou želatinou. Rozměry lahvičky byly voleny 10 cm na výšku a 3 cm na šířku, aby co nejvíce odpovídaly tělu myši, na které bylo prováděno následné srovnávání výsledků. Spolu s tím, že měl fantom napodobit myš rozměrem, musel také kvůli distribuci teploty co nejlépe simulovat vlastnosti živé tkáně. Toho bylo docíleno pomocí agarové želatiny. Pro zaznamenávání teploty fantomu v průběhu měření magnetickou rezonancí byl použit vláknově optický senzor Fiber Optic Temperature Sensor od firmy SA Instruments, Inc. s rektální sondou. Jedná se o teplotní sondu, která využívá fluorescenční technologie pro přesné a spolehlivé měření teploty v rozsahu 20 – 60 °C s přesností $\pm 0,2$ °C a časovou odezvou 300 ms.

Celé měření proběhlo na 9,4T MR přístroji Bruker Biospec 94/30 USR na ÚTP AV ČR v Brně. Pro získání dat byly zvoleny čtyři pulzní sekvence: Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement (RARE), Fast Low Angle Shot (FLASH), Echo Planar Imaging (EPI) a Multiple Gradient Echo (MGE). Vzhledem k tomu, že výsledky práce jsou pro účely ÚPT, vycházelo se z předem daného nastavení těchto sekvencí, jaké se na ÚPT běžně využívá k experimentálním studiím. Navíc se celé měření uskutečnilo dvakrát – pro hlavovou přijímací cívku a pro objemovou cívku.

Aby se projevil vždy samotný parametr (bez vlivu těch ostatních), zvětšovala či zmenšovala se vždy hodnota pouze jednoho konkrétního parametru a to tak, aby byla data získána vždy pro zvolený rozsah tohoto parametru. I když pro každou sekvenci byly zvoleny různé parametry, v této práci jsou prezentovány pouze ty, které jsou společné pro všechny sekvence. Jedná se tedy o délku repetičního času při jednom řezu i při 25 řezech fantomem, o velikost matice obrazu, o rozměry Field of view (FOV) a o počet řezů fantomem.

3. SIMULAČNÍ PROGRAM

Simulační program vychází z experimentálně naměřených dat na 9,4T MR přístroji Bruker Biospec 94/30 USR na ÚTP AV ČR v Brně. Základní premisou tohoto programu je, že nárůst teploty není závislý na počáteční teplotě. Tedy že při totožném nastavení pulzní sekvence a různé počáteční teplotě dojde vždy k přibližně stejnému ohřevu měřeného objektu. Princip programu spočívá v tom, že všechny MR sekvence a k nim změřené rozsahy parametrů jsou do programu uloženy spolu s korepondujícími reálně naměřenými nárůsty teploty. Tedy o kolik narostla teplota během experimentu, tak o tolik se zvýší teplota v programu u dané akvizice. Při plánování pomyslného experimentu potom program sečítá nárůsty teploty volených MR akvizic a průběžná navýšení teploty pro přehlednost ukládá do grafu. Pro jednodušší používání bylo v programu MATLAB vytvořeno grafické uživatelské rozhraní, jehož úvodní stranu ukazuje **Obrázek 1**.

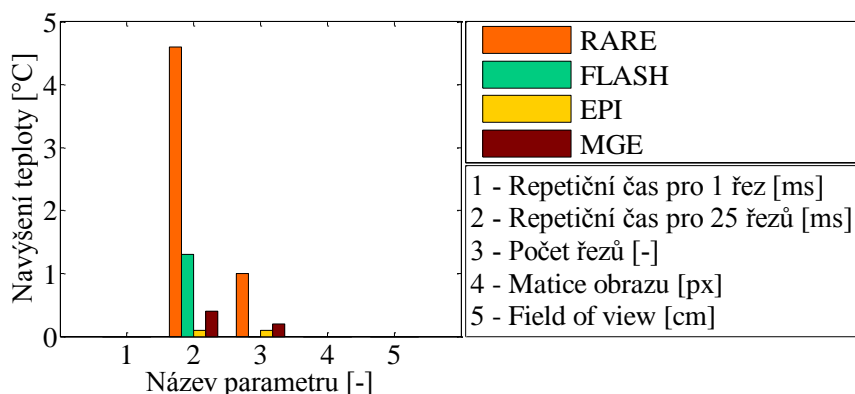


Obrázek 1: Grafické uživatelské rozhraní simulačního programu.

Po celou dobu simulace je možné změnit počáteční hodnotu teploty zkoumaného objektu (laboratorní myši). Tato změna je pak ihned implementována do celkových výpočtů. Podle výběru typu cívky a MR pulzní sekvence se následně volají jednotlivá grafická rozhraní s adekvátní databází naměřených dat. V těchto grafických rozhraních jsou dále zobrazeny jednotlivé parametry sekvence a jejich hodnoty. V závislosti na výběru jsou zvolené MR akvizice přidány do celkového experimentu a současně k nim naměřené hodnoty teploty vykresleny do přehledného grafu. V programu jsou zahrnuty i předpřipravené experimentální studie, které je možnost defaultně použít nebo je případně i upravovat dle potřeby. Veškerá vybraná data jsou ukládána do tabulky, kde jsou zobrazeny i jednotlivé popisné parametry vybraných dat. V průběhu celé simulace je implementován kontrolní algoritmus, který ve chvíli překročení kritické teploty myši upozorní na tuto situaci dialogovým oknem a barevnou indikací. Po celou dobu simulace je možnost kteroukoliv dříve vybranou hodnotu z tabulky odstranit.

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení měření bylo provedeno spočítáním celkového nárůstu teploty při měření celého rozmezí jednoho zvoleného parametru. Příklad vyhodnocení výsledků je proveden z dat získaných při měření s hlavovou přijímací cívkou pro všechny parametry společné všem sekvencím, což ukazuje **Obrázek 2**. Jak je možné pozorovat, repetiční čas při jednom řezu, matice obrazu a FOV neměly na zvýšení teploty v žádném z měření vliv. Zbylé dva parametry, repetiční čas pro 25 řezů fantomem a počet řezů fantomem, naopak teplotu testovacího fantomu zvyšovaly. Podle teoretických předpokladů se potvrdilo, že největší vliv na zahřívání měřeného objektu měla sekvence RARE, která dokázala teplotu zvýšit o celých 4,6 °C.



Obrázek 2: Vyhodnocení naměřených dat s hlavovou přijímací cívkou.

Ověřování výsledků na laboratorní myši bylo provedeno dvakrát. Jednou byla myš v průběhu měření vyhřívána teplým vzduchem, v druhém případě cirkulující teplou kapalinou. V obou případech byly voleny takové akvizice pulzních sekvencí, které přispěly k největšímu nárůstu teploty během měření na fantomu. U sekvence RARE to byl repetiční čas při 25 řezech fantomem (4,6 °C), počet řezů (1 °C), tloušťka řezu (4,8 °C) a RARE faktor při 25 řezech fantomem (2,8 °C). Pro sekvenci FLASH to byl počet repetičí (2,1 °C), sklápěcí úhel při 800 repetičích (1,9 °C) a opět repetiční čas při 25 řezech fantomem (1,3 °C). Při zahřívání myši teplým vzduchem docházelo k neustálému kolísání teploty myši, proto bylo provedeno druhé měření při zahřívání cirkulující kapalinou, kde se navyšování teploty myši přibližně rovnalo navyšování teploty fantomu.

5. ZÁVĚR

Tato práce prezentuje výsledky zaznamenávání teploty, kterých bylo dosaženo v průběhu MR měření na 9,4T MR přístroji Bruker Biospec 94/30 USR na ÚTP AV ČR v Brně. Výsledky jsou důležité především z biologického hlediska, protože díky nim bude experimentátor více zvažovat, jak za sebe lépe seřadit pulzní sekvence v průběhu experimentálních měření, aby se laboratorní zvíře nepřehřívalo a nemuselo se během měření ochlazovat. Navržený program tedy usnadní práci se seřazením sekvencí za sebe bez rizika tepelného ohrožení zvířete. Ze získaných výsledků je zřejmé, že ze sekvencí je pro zvíře nejnebezpečnější sekvence RARE, která se v experimentech běžně používá pro úvodní anatomické sekvence.

REFERENCE

- [1] BROWN, Mark A a Richard C SEMELKA. *MRI: basic principles and applications*. 3rd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Liss, 2003, xiv, 265 p. ISBN 0471433101. Orság, F.: Vision für die Zukunft. Biometrie, Kreutztal, DE, b-Quadrat, 2004, s. 131-145, ISBN 3-933609-02-X
- [2] FRANK G. SHELLOCK a JOHN V. CRUES. MR Procedures: Biologic Effects, Safety, and Patient Care. *Radiology* [online]. 2004, **232**(3): 635-652 [cit. 2015-10-27]. DOI: 10.1148/radiol.2323030830.