

QUANTIFICATION OF T_1 FOR PRECLINICAL CARDIAC MRI

Lenka Dvořáková

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xdvora0c@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Radovan Jiřík

E-mail: jirik@isibrno.cz

Abstract: T_1 mapping of myocardial tissue is important for diagnostics of myocardial fibrosis. Cardiac magnetic resonance imaging of small animals is challenging due to high heart and respiratory rates. A pulse sequence for T_1 mapping are proposed in this paper based on inversion recovery FLASH.

Keywords: MRI, T_1 mapping, inversion recovery, FLASH, CMRI

1 ÚVOD

Srdeční choroby patří mezi nejčastější důvody úmrtí člověka. Mezi tyto choroby patří infarkt myokardu, který způsobuje fibrózu srdeční stěny. Ta má za příčinu poškození diastolické a systolické funkce srdce. Magnetická rezonance kardiální oblasti může unikátně stanovit rozsah fibrotické tkáně. Vytvoření T_1 mapy myokardu přispěje ke zlepšení přesnosti diagnostiky myokardiální fibrózy. [4]

Při vyšetření magnetickou rezonancí je měřený objekt vložen do homogenního magnetického pole. Vysílačem je poté generována sekvence budících radiofrekvenčních impulsů na vhodné frekvenci. Budící impulsy excitují rezonující protonová jádra do vyššího energetického stavu. Po ukončení buzení nastává relaxace jader do jejich rovnovážného stavu, která je doprovázena emisí elektromagnetického vlnění. [2]

V současné výbavě preklinické magnetické rezonance chybí nástroje pro kvantifikaci T_1 myokardu malých zvířat. Při měření myokardu je potřeba eliminovat artefakty způsobené srdečními a dýchacími pohyby. Dýchací a srdeční frekvence jsou u malých zvířat fyziologicky mnohem vyšší než lidské a proto je měření na malých zvířatech obtížnější.

Jedním ze způsobů, jak omezit pohybové artefakty, je akvizici synchronizovat s EKG signálem a dýchací křivkou. EKG je měřeno elektrodami buď z povrchu těla nebo subkutánně. Během akvizice ale dochází k rušení signálu magnetickým polem, což způsobuje horší detekci QRS komplexu. Pro lepší eliminaci pohybových artefaktů lze využít navigátoru. Během akvizice není nutné EKG snímat, srdeční a respirační cykly jsou odvozeny zpětně během rekonstrukce ze signálu navigátoru.

Cílem této práce je navrhnout a optimalizovat pulsní sekvenci pro zobrazení T_1 myokardu potkana. Dále je součástí práce vypracování softwaru pro vytvoření T_1 mapy z naměřených dat.

2 METODA AKVIZICE A STANOVENÍ T_1 MAPY

Pulsní sekvence je charakterizována několika parametry, mezi které patří sklápěcí úhel (FA, *flip angle*), repetiční čas (TR, *repetition time*), inverzní čas (TI, *inversion time*). Pro výpočet hodnoty T_1 je potřeba nasnímat několik obrazů s různými hodnotami jednoho z uvedených parametrů. Teoretický průběh závislosti nasnímaného signálu na zvoleném parametru je znám a lze z něho určit hodnotu T_1 . [3]

V rámci této práce byla navržena pulsní sekvence určená pro akvizici dat pro vyhodnocení T_1 mapy myokardu. Metoda je typu *inversion recovery* (IR), kdy je nejdříve aplikován 180° radiofrekvenční impuls a po uplynutí inverzního času TI je aplikována rychlá zobrazovací sekvence *Fast Low Angle SHot* (FLASH). Podle literatury je tento typ sekvence nejčastěji používán pro stanovení T_1 mapy myokardu. Akviziční signál lze vyjádřit jako funkci hodnoty TI:

$$S = k\rho(1 - 2e^{-TI/T_1}), \quad (1)$$

kde k je konstanta úměrnosti, ρ je hustota protonových jader. [3]

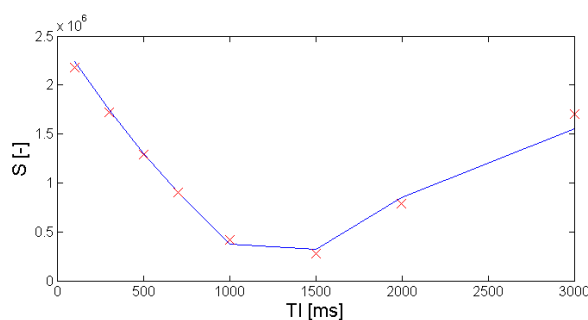
3 AKVIZICE DAT

Laboratorní potkan byl uspán isofluranem a zobrazen na 9,4 T NMR systému Biospin (Bruker Biospin MRI, Ettlingen, Germany) s využitím povrchové cívkvy. Z důvodu eliminace pohybových artefaktů bylo snímáno EKG a respirace a pro kontrolu zvířete byla rektálně měřena teplota. Pro EKG byly využity subkutánní elektrody, které jsou oproti povrchovým citlivější. Pro synchronizaci akvizice s EKG a dechem byl využit software Small Animal Monitoring and Gating System (Small Animal Instruments, New York, USA). Na EKG křivce byl detekován QRS komplex a spolu s ohledem na respiraci bylo určeno časové okno pro akvizici signálu odpovídající konci diastoly.

Parametry měření jsou sepsány v tabulce 1. Čas TI byl nastaven na hodnoty TI = 100, 300, 500, 1000 a 3000 ms.

Tabulka 1: Akviziční parametry

Parametr	Nastavená hodnota
Zobrazovací matice	128x128
TE	2,0 ms
TR (FLASH)	4,0 ms
TR (IR)	5000 ms
FA (FLASH)	30°
FOV	6,0 cm
Šířka řezu	2,0 mm

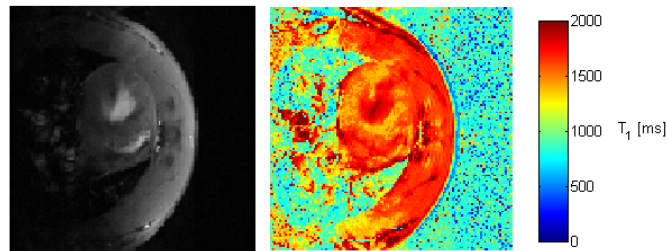


Obrázek 1: Závislost volně indukovaného signálu na čase TI pixelu myokardu, červeně naměřený signál, modře vypočítané hodnoty

4 ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro zpracování naměřených snímků za účelem vytvoření T_1 mapy byl vytvořen software v prostředí Matlab (Mathworks, Natick, MA, USA). Naměřenými hodnotami je proložena funkce o předpisu

(1). Pro fitování je využita funkce *lsqcurvefit* z Optimization Toolbox Matlab. Funkce *lsqcurvefit* je minimalizační funkce, která využívá metody nejmenších čtverců pro odhad parametru $k\rho$ a T_1 . Na obrázku 1 jsou červenými křížky vyznačeny naměřené hodnoty signálu S v závislosti na času TI a modrá křivka vyznačuje průběh odhadnuté funkce. Hodnota T_1 byla vypočítána v každém bodě. Na obrázku 2 je vlevo snímek s TI nastaveným na 500 ms a vpravo výsledná T_1 mapa. Snímky byly pořízeny s využitím povrchové cívký a proto je kvalita obrazu v levé části nižší. Hodnoty T_1 myokardu dosahují hodnot mezi 1300–1500 ms, což odpovídá hodnotám v literatuře [1]. V oblasti bez signálu je pouze šum, který generuje náhodné hodnoty a proto je zde velký rozptyl v odhadnutých hodnotách T_1 .



Obrázek 2: Vlevo snímek myokardu, $TI = 500$ ms, vpravo T_1 mapa myokardu potkana

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout pulsní sekvenci pro stanovení T_1 myokardu. Byla navržena metoda na základě IR FLASH. Pomocí této metody byl zobrazen myokard potkana a vyčíslena T_1 mapa. Akviziční parametry metody budou v další části optimalizovány s ohledem na poměr signál-šum a kontrast-šum v obraze.

Získané obrazy byly ovlivněny pohybovými artefakty. Pro lepší eliminaci artefaktů bude v dalším postupu práce navržena a otestována metoda využívající navigátoru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu GAČR 102/12/2380 a Evropské komise a MŠMT (projekty č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.05/1.1.00/02.0123)

REFERENCE

- [1] CLIQUE, Hélène, Hai-Ling Margaret CHENG, Pierre-Yves MARIE, Jacques FELBLINGER and Marine BEAUMONT, 2013. *3D myocardial $T(1)$ mapping at 3T using variable flip angle method: Pilot study*. Magnetic resonance in medicine : official journal of the Society of Magnetic Resonance in Medicine. DOI: 10.1002/mrm.24688
- [2] DRASTICH, Aleš. *Tomografické zobrazovací systémy* 1. vyd. Brno: VUT, 2004. ISBN 80-214-2788-4.
- [3] HORNAK, Joseph. *The Basics of MRI* [online] [Citace: 27.12.2013] Dostupné z URL: <<http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>>.
- [4] MEWTON, Nathan, Chia Ying LIU, Pierre CROISILLE, David BLUEMKE a Joao A.C. LIMA. *Assessment of Myocardial Fibrosis With Cardiovascular Magnetic Resonance*. Journal of the American College of Cardiology. 2011, svazek 57, číslo 8, s. 891-903. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.11.013. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735109710048060>>.