

Single-exponential and dual-exponential fitting methods of MR T2-Map

LI Ya-fen, NIU Ai-qing, KANG Li-li*

(Department of Medical Engineering, Institute Biomedical Engineering of
Southern Medical University, Guangzhou 510515, China)

[Abstract] **Objective** To assess the single-exponential and dual-exponential fitting methods of MR T2-Map, and to get T2 value of each pixel. **Methods** Single and dual-exponential methods with linear fitting and non-linear regression fitting techniques were used for a series images with different TE; then T2-Map images were achieved. T2-Map software was realized on MATLAB and it had the function of compute, display, save and so on. **Results** T2-Map software with single-exponential and dual-exponential fitting methods was achieved, able to calculate T2 value of tissues everywhere and form the T2-Map image. **Conclusion** Single-exponential T2-Map method is convenient, having obvious merit-high speed, but can not show the area with obvious different contents very well. However, dual-exponential fitting method can deal with this question with providing different T2 values, thus is accurate with the sacrifice of costing too much time. Dual-exponential fitting method of T2-Map is a beneficial supplement to single-exponential method.

[Key words] Magnetic resonance image; T2-Map; Linear fitting; Non-linear regression

磁共振 T2-Map 的单、双指数拟合方法

李雅芬, 牛爱青, 康立丽*

(南方医科大学生物医学工程学院医学工程系, 广东 广州 510515)

[摘要] **目的** 探讨 MR 图像单指数和双指数拟合的 T2-Map 方法, 获得每个像素点的 T2 信息。**方法** 对不同 TE 条件下的一系列 MR 图像利用单、双指数拟合方法得到 T2-Map 图像。采用线性拟合和非线性回归方法实现对 MR 图像的每个像素点的单指数拟合和定点双指数拟合, 得到 T2-Map 图像; 上述计算过程是在 MATLAB 平台上开发 T2-Map 的计算软件, 根据应用需求设计并实现计算、显示和存储等功能。**结果** 得到了单、双指数拟合方法的 T2-Map 计算软件, 可用于计算不同组织的 T2 值, 得到 T2-Map。**结论** 利用单指数线性拟合方法得到 T2-Map 图像方便、快捷, 但不能很好地反映一些组织成分混合较多的区域; 在出现组织明显混合的情形时, 双指数拟合的方法可以计算出两个不同的 T2 值, 使得分析结果更加精确, 但是计算速度较慢, 双指数 T2-Map 是单指数 T2-Map 计算方法的有益补充。

[关键词] 磁共振成像; T2-Map; 线性拟合; 非线性回归

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)02-0347-04

正常组织和某些病变组织的横向弛豫时间 T2 值会产生一定的差异, 这种差异可以发生在没有明显形态学变化的组织内, 因此利用 T2 值的变化协助诊断在疾病早期、定量诊断中有较高的应用价值^[1-4]。扫描采集得到的磁共振图像反映着多个参数的信息, 利用这些图像进行诊断对医生经验的依赖性较高; 而如能得到 T2-Map 图像协助医生进行诊断, 将可得到更为精确和科学的定量诊断依据。

根据测量 T2 的基本公式, 利用两幅 MR 图像可以计算每

个像素的 T2 值, 从而得到 T2-Map 结果, 但噪声对两幅图像的测量结果影响较大。利用多幅不同 TE 值的图像, 进行 T2 值的单指数拟合或双指数拟合得到的 T2-Map 图像可较好地体现每个像素的 T2 值^[5-6]。

本文基于 MATLAB 工具设计了 T2-Map 软件的图形用户界面^[7], 编写程序以实现用单指数和双指数拟合, 通过该软件实际分析每个像素点的自旋-自旋弛豫时间衰减曲线, 得到每个像素点的 T2 值及 T2-Map 图像。T2-Map 软件界面简洁、易于操作, 提供读取磁共振图像数据、计算并显示 T2-Map 及存储等功能, 用户可以查看感兴趣组织区域的 T2 值变化, 作为 MR 定量诊断的辅助工具, 便于对一些疾病如关节病变、前列腺疾病和宫颈癌等进行诊断。

1 设计与方法

1.1 原理 利用 SE 序列进行扫描成像, 得到不同 TE 值条件

[作者简介] 李雅芬(1987-), 女, 山西运城人, 在读本科。研究方向: 影像工程。E-mail: yaya379li@163.com

[通讯作者] 康立丽, 南方医科大学生物医学工程学院医学工程系, 510515。E-mail: klyysz@fimmu.com

[收稿日期] 2009-07-09 **[修回日期]** 2009-10-15

下的 MR 图像,从而可得到每个像素的信号强度^[8,9]。MR 信号强度随 TE 值的变化规律由横向弛豫过程决定,参见式(1)。

$$M = M_0 \times e^{-TE/T_2} \quad (1)$$

利用两个不同 TE 值的 MR 图像可以得到 T2 值的测量公式:

$$T_2 = \frac{TE_2 - TE_1}{\ln(M_1/M_2)} \quad (2)$$

式中 M_1 、 M_2 分别是回波时间为 TE_1 、 TE_2 条件下对应的信号强度。由于受到噪声的影响明显,利用式(2)的方法得到每个像素的 T2 值误差较大。利用多种不同 TE 值的多幅 MR 图像的数据进行单指数拟合,可以测得精度较高的 T2 值。实现单指数拟合的基本思路如下:

先对公式(1)两边取对数,可得到:

$$\ln M(t) = \ln M_0 + \frac{1}{T_2} \times t \quad (3)$$

式(3)是线性形式,对多幅图像的每个像素的 M 值取对数,与相对应的 TE 值代入公式(3)进行线性拟合,可得到参数 $\ln M_0$ 、 $\frac{1}{T_2}$ 的值。

如果不同 TE 值的信号分布偏离线性结果明显,利用线性拟合得到的结果误差会明显增加。本文针对单指数方法采用非线性拟合技术进行计算。非线性拟合需要预设拟合初值,本软件根据解剖部位的先验预估计 T2 值或参考线性拟合的结果来设置初值,降低了迭代次数,提高了拟合速度。

由于部分容积效应,在同一个像素点得到的 T2 值是像素内不同组织的加权平均 T2 值,不能真实反映像素内不同成分的 T2 值。当一个像素的组织成分不单一时,每种组织成分都对应一个 T2 值,此时可利用多指数拟合得到每个像素点内不同组织成分的 T2 值。但是,针对大量像素点进行多指数拟合会遇到很多困难,例如计算速度非常慢及不能得到有效解等。为简单起见,本文假设像素内最多有两种组织成分,对该像素的一系列图像数据进行双指数拟合,则可以得到两个相对应的 T2 值。实现双指数拟合的基本思路如下:

设一个像素点有两种组织成分,根据式(1)可得到:

$$M = M_{10} \times e^{-TE/T_{21}} + M_{20} \times e^{-TE/T_{22}} \quad (4)$$

式(4)中 T_{21} 和 T_{22} 分别是两种组织成分的 T2 值; M_{10} 、 M_{20} 分别是两种组织的初始磁化强度矢量。这样,将多幅图像的测量结果 M 和相对应的 TE 值代入公式(4),设定拟合初值,经过计算可得到相应参数的值。

1.2 界面设计 采用 Mathworks 公司的软件 MATLAB7.04,在 MATLAB 中集成的图形用户界面(GUI)下进行软件设计。图形用户界面(GUI)是用户与硬件、软件交互、通信的中介,由按钮、窗口、键盘操作等控件构成的用户视窗。

程序运行使用的电脑硬件配置如下: Intel(R) Celeron(R) CPU 2.93 GHz;512 M 内存。

本文所设计的用户界面需要实现以下功能:读取多幅数据图像并显示图像路径及名称、接受用户输入的参数值、显示计算得到的 T2-Map 结果、存储 T2-Map、利用鼠标取点绘制该

像素点的 T2 衰减曲线等。

1.3 程序设计 图 1 是 T2-Map 处理流程图,主要需要实现 MR 图像读取、T2 值计算^[10]、T2-Map 结果显示及存储、T2 衰减曲线绘制及 T2 值显示的功能。

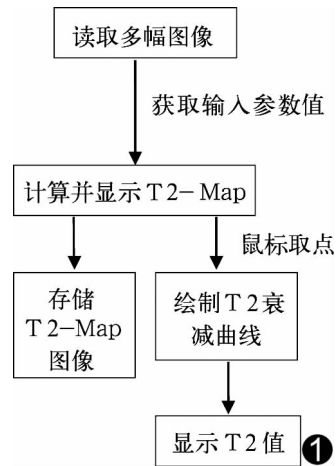


图 1 T2-Map 处理流程图

进行单、双指数拟合需要同时读入多幅图像数据。程序处理的系列图像是在同一初始设置即系统调整一致的条件下取得的一系列 MR 图像。设定一个文件夹存储这一系列图像文件,计算时只需读取这个文件夹下的所有图像。

本软件还提供了绘制某个像素点的衰减曲线,并显示其 T2 值。首先要得到这个像素点在矩阵中的位置,同时进行噪声阈值判断。在正常组织取点绘制该点的 T2 衰减曲线和散点图(图 2);若在周围空气取点,则只绘制散点图,不进行拟合。图中横坐标为时间(ms),纵坐标为信号强度。最后设置关闭选项对话框,在关闭界面前询问用户。

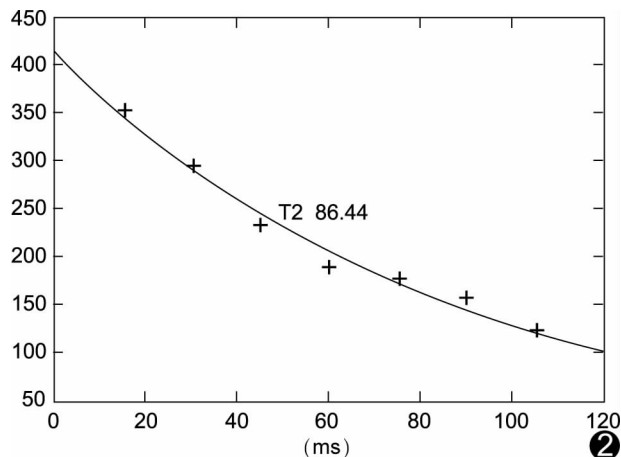


图 2 组织区域内某点的 T2 衰减曲线

1.4 图像扫描条件 利用 SE 序列进行扫描,系统调整条件在第一次扫描时固定下来,改变回波时间 TE 得到不同 TE 对应的 MR 图像。本研究中 TE 分别选取 15、30、45、60、75、90、105 及 120 ms。

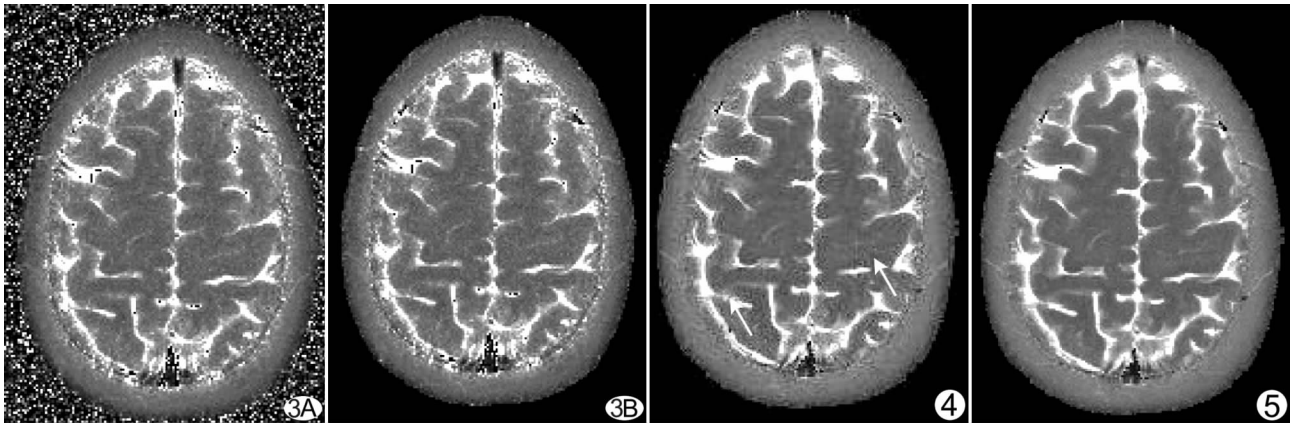


图 3 两幅图像计算得到的 T2-Map 结果 A. 两幅图像计算得到 T2-Map; B. 针对 A 进行噪声阈值化的掩膜处理
拟合得到的 T2-Map 结果 (箭示所选区域做拟合衰减曲线)

图 4 多幅图像线性

拟合得到的 T2-Map 结果

2 结果

图 3 是根据式(2)的两幅图像方法得到的 T2-Map 结果,其中图 3A 和图 3B 分别是利用噪声阈值进行掩膜处理前后的结果图。图 4 是采用多幅 MR 图像进行单指数线性拟合得到的 T2-Map 结果,运算时间 74 s。图 5 是采用多幅图进行单指数非线性回归得到的 T2-Map 结果,其图像质量与图 4 相比变化不大,但运行速度比线性拟合慢很多,约为 136 s。图 6 是利用双指数拟合方法得到的结果,其中图 6A 显示在组织边界区域像素点是由两条 T2 衰减曲线合成,其中一条曲线的权重较大、T2 值较大,一条曲线的权重较小、T2 值较小;图 6B 显示的是成分相对单一区域的像素点的 T2 衰减曲线,一条是组织的 T2 衰减曲线,一条是噪声曲线。

3 讨论

影像诊断医生利用 MR 图像进行诊断,主要是利用肉眼观察 MR 图像的方式,诊断有明显的主观性,缺乏定量的客观指标。计算组织的特性参数、并以图像的形式显示出来,可为图像的定量诊断提供客观依据。由图 3~5 显示的一系列 T2-Map 结果为医生提供了 T2 值分布图,医生利用 T2-Map 进行相应测量,可以获得感兴趣区域或像素点的 T2 结果,用于比较分析病变组织与正常组织的 T2 值差异,实现对疾病的诊

断^[1,3-4]。

比较图 3~5,可知两幅图像计算方法得到的 T2-Map 结果受噪声干扰明显,图像有明显的颗粒状显示。利用多幅图像进行拟合可降低噪声对测量结果的影响。为突出图像的对比显示,对图像外围噪声进行阈值化的掩膜处理是简单有效的方法。

在计算速度上,两幅图计算 T2-Map,由于数据量小,计算速度很快;多幅图像单指数线性拟合运算计算 T2-Map 时,由于对每一个像素点进行线性拟合运算,程序运行时间有所延长;单指数非线性回归方法计算每个像素点的 T2 值,运行速度更慢,且图像质量与线性拟合的结果差异不明显。因此,本文的程序最终选用单指数线性拟合方法。

双指数拟合 T2-Map 在一些关键像素点能显示出更精确的 T2 值信息。例如,图 6A 显示的两条 T2 衰减曲线说明该像素中有两种明显不同的成分,各有不同 T2 值,其中一种成分含量较多,另一种成分含量较少;图 6B 的结果显示该像素内成分较单一,只有一条 T2 衰减曲线,另一条是噪声曲线。图 6 显示利用双指数拟合技术得到的 T2 结果对组织边界区域、病变变化区域诊断上有应用潜力。但是,如何以图像的方式显示利用双指数拟合的结果还有待研究解决,例如如何选取每个像素的其中一个 T2

值形成 T2-Map。

综上所述,利用单指数线性拟合方法得到 T2-Map 图像方便、快捷,但不能很好地反映一些组织成分混合较多的区域;在组织成分较多的情形时,利用双指数拟合的方法可以计算出两个不同的 T2 值,使得分析结果更加精确。双指数 T2-Map 的计算速度较慢,是单指数 T2-Map 计算方法的有益补充。对 MR 图像进行多指数拟合

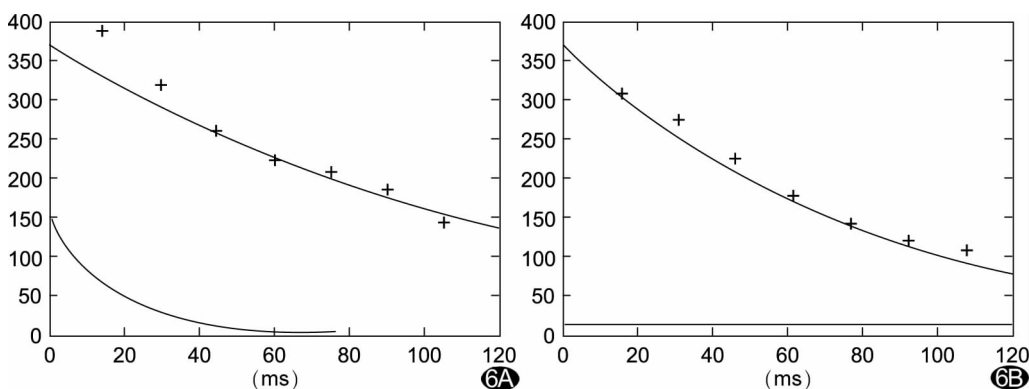


图 6 图 4 中两箭所指像素点的双指数 T2 拟合衰减曲线 A. 左箭所指像素点横向弛豫衰减曲线; B. 右箭所指像素点纵向弛豫衰减曲线

方法得到多个 T2 值的计算和结果显示是有待深入研究的工作。

[参考文献]

- [1] Mosher TJ, Smith H, Dardzinski BJ, et al. MR imaging and T2 mapping of femoral cartilage: in vivo determination of the magic angle effect. *AJR Am J Roentgenol*, 2001, 177(3): 665-669.
- [2] Watanabe A, Benneker LM, Boesch C, et al. Classification of intervertebral disk degeneration with axial T2 mapping. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 189(4): 936-942.
- [3] 郑红伟, 李小明, 罗敏, 等. MR T2-mapping 成像对诊断早期膝关节软骨损伤的临床应用价值. *医学影像学杂志*, 2008, 18(5): 532-534.
- [4] 嵇鸣, 叶春涛, 苗华栋, 等. 高分辨 MR T2 弛豫时间在骨质疏松跟骨

- 检查中的价值. *中国医学影像技术*, 2006, 22(11): 1752-1755.
- [5] Bonny JM, Boespflug-Tanguy O, Zanca M, et al. Multi-exponential analysis of magnitude MR images using a quantitative multispectral edge-preserving filter. *J Magn Reson*, 2003, 161(1): 25-34.
- [6] Jones CK. Quantitative multi-component T2 analysis using fast spin echo MRI. Master thesis, University of Western Ontario, 1997: 1-59.
- [7] 邱金蕙, 王裔辉, 李振全. 基于 Matlab/GUI 的新型界面开发方式. *河北工业科技*, 2008, 25(4): 233-235, 254.
- [8] 康立丽, 林意群. MRI 原理、技术与质量保证. 北京: 科学出版社, 2004: 1-29.
- [9] 康宁, 俎栋林, 张宏杰. 自旋密度 ρ 、弛豫时间 T1 和 T2 定量磁共振成像. *中国医学影像技术*, 2004, 20(12): 1944-1947.
- [10] Recktenwald G 数值方法和 MATLAB 实现与应用. 北京: 机械工业出版社, 2004: 125-155, 316-347.

第 13 届医学影像计算与计算机辅助介入国际会议将首次在华召开

医学影像计算与计算机辅助介入大会, 英文全称 Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention, 缩写 MICCAI。MICCAI 大会是医学影像领域重要的国际论坛。MICCAI 目前主要涉及的研究领域包括: 医学影像与计算; 计算机辅助介入诊疗系统与医疗机器人; 医疗可视化及手术交互; 生物与神经科学影像与计算; 计算解剖学; 计算生理学; 基于脑影像的人类连接组学; 临床以及生物(理)的创新性应用。目前, MICCAI 大会已被国际公认为医学影像计算与计算机辅助介入相关领域的最具声望的顶尖级学术会议。

中国科学院自动化研究所中法实验室计算医学中心(www.ccm.org.cn)蒋田仔教授于 2007 年成功向 MICCAI 理事会申请第 13 届医学影像计算与计算机系统辅助介入年会(以下简称 MICCAI'2010)的举办权。

MICCAI'2010 将于 2010 年 9 月 20-24 日在首都北京国家会议中心举办。大会主席由中国科学院自动化研究所蒋田仔教授担任, 荷兰 Utrecht 大学 Max Viergever 教授和 MICCAI 学会主席、美国耶鲁大学教授 James Duncan 教授担任大会副主席。MICCAI 会议每年都会吸引来自美国、英国、法国、荷兰、德国、日本等国家和地区 700 名左右的参会代表, 其中亚洲的参会人员大概占 20% 左右。为了鼓励各相关学科领域的学者积极参与, MICCAI'2010 针对多领域设置了不同的学术奖项和侧重于来自中国地区的学生将为一定比例的学生部分或者全部免除会议注册费。由于 MICCAI 会议经费主要来自参会人员的注册费和相关研究机构和社会企业的资助。为了鼓励各社会机构以及公司企业的参与, 经过 MICCAI 国际理事会的批准, MICCAI'2010 将会设立包括铂金、金牌、银牌和铜牌等各种不同级别的赞助荣誉和设有各种类型的展位, 以及易拉宝和插页等各种广告宣传形式, 详情请联系我们索要赞助细则手册。

目前, MICCAI'2010 得到了国家基金委、科技部、科学院等政府部门的大力支持。更多的信息请登录 MICCAI'2010 会议官方网站 www.miccai2010.org, 也随时欢迎来来电详细洽谈。

联系人 张钢琴(女士)

电子邮件 gangqin.zhang@ia.ac.cn

电话 010-6261 3669, 13911008024