

# 基于 VTK 的磁共振波谱多体素可视化

万遂人,戴利文,孙钰

东南大学医学电子学实验室,南京 210096

**摘要** 医学影像检查可以直观地看到病灶区域,但是却难以判定肿瘤的具体种类和恶化程度。活检是一种有创伤的检查手段,无疑会给病患带来更多的痛苦。磁共振波谱(MRS)是利用波谱的化学位移研究化合物组分和分子结构的一门科学,是医学影像学近年来发展起来的一种新的检查手段。作为一种无创伤研究活体器官组织代谢、生化变化及化合物定量分析方法,磁共振波谱能够反映正常和病理组织的代谢信息和状态,确定组织的性质,被称为“虚拟活检”。本文通过多次实验,不断对解析方案进行修正,最终解析出飞利浦磁共振波谱体素的空间位置信息。根据 MR 图像的空间位置信息和磁共振波谱体素的空间位置信息,利用可视化工具包 VTK,实现了飞利浦磁共振波谱体素与磁共振图像的配准,方便医生精确地了解体素在大脑中的位置,准确地诊断脑肿瘤的类型和级别,为治疗方案的制定和治疗提供参考。

**关键词** 磁共振波谱;VTK 工具包;配准

**中图分类号** R318

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.15.002

## Visualization of Magnetic Resonance Spectroscopy Multi-voxel Based on VTK

WAN Suiren, DAI Liwen, SUN Yu

Medical Electronics Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China

**Abstract** Conventional medical imaging is able to see the nidus area visually; however it is difficult to determine the specific type of tumor and the degree of deterioration. The biopsy is a means of trauma check and undoubtedly will bring patients with much pain. Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS) uses magnetic resonance phenomenon and chemical shift to study the existence of compounds or the structure of molecules. Nowadays, MRS is becoming a novel check in medical imaging after years of development. MRS is able to reflect the metabolite distribution of brain tissues without invasion, and is of much importance to diagnose and rank brain tumor. During the MRS check for patients, the location selection of MRS voxel is the key for reflecting the metabolite of the lesion correctly. The spatial information of Philips MRS multi-voxel is correctly understood. Based on the development of Visualization ToolKit (VTK), the registration of MRS multi-voxel and MR image is realized and the convenience for doctors to understand the location of the voxel precisely and know the pattern of the tumor better is provided, and the reference for diagnose and further study is offered. It dramatically reduces the dull work for doctors in practice.

**Keywords** magnetic resonance spectroscopy; VTK; registration

### 0 引言

磁共振波谱 (Magnetic Resonance Spectroscopy, MRS) 是利用波谱的化学位移研究化合物组分和分子结构的一门科学,它是医学影像学近年来发展的一种新的检查手段。作为一种无创伤研究活体器官组织代谢、生化变化及化合物定量分析方法,磁共振波谱能够反映正常和病理组织的代谢信息和状态,确定组织的性质,被称为“虚拟活检”<sup>[1-7]</sup>。

由于飞利浦磁共振软件系统并不提供对磁共振波谱信号的后期处理,所以医生直接采集到的磁共振波谱数据对诊断参考价值不大,必须经过第三方软件的后处理,进而提取各种代谢物的浓度。此时,医生并不能将相应的浓度结果和扫描层的图像相对应,必须借助飞利浦磁共振系统软件进行人工配准。这一重复机械的过程,可能导致诊断的效率大幅降低。本文在多次实验的基础上,总结出飞利浦磁共振波谱

收稿日期:2012-12-20;修回日期:2013-03-06

作者简介:万遂人,教授,研究方向为磁共振及小波理论,电子信箱:srwan@seu.edu.cn

体素空间位置信息规律,并在多例病例数据上得到验证。

VTK(Visualization ToolKit)是一个开放源码、自由获取的软件系统,可用于图像处理和数据可视化。VTK 包含一个 C++类库,是一个用于可视化应用程序构造与运行的支撑环境,它是在三维函数库 OpenGL 基础上采用面向对象的设计方法发展起来的,它将我们在可视化开发过程中会经常遇到的细节屏蔽起来,并将一些常用的算法封装起来,为开发医学图像三维重建软件提供底层的图形图像学支持<sup>[8]</sup>。

## 1 材料和方法

### 1.1 临床资料与实验设备

实验所用数据均由江苏省南京市鼓楼医院提供,设备是飞利浦 3.0T 磁共振成像仪。

### 1.2 MR 图像的空间位置信息

MR 图像遵循 DICOM 标准,不同的 Tag 号对应不同的数据含义。本文所需图像的空间位置信息包括以下 4 个。

(1) PatientPosition(0018,5100):此数据描述的是患者与成像设备的空间相对位置。本文所采用的均是 HFS,即患者头先入、仰卧。此时,以患者身体某处为坐标原点,从左向右为  $x$  轴正向,从前向后为  $y$  轴正向,从下向上为  $z$  轴正向。整个系统是以病人为中心的右手坐标系<sup>[9]</sup>。

(2) ImagePositionPatient(0020,0032):此数据描述的是图像左上角像素的空间位置 $(x,y,z)$ <sup>[9]</sup>。

(3) ImageOrientationPatient(0020,0037):此数据描述的是图像行增长方向和列增长方向的单位方向向量,共 6 个值,分别表示图像行方向与  $x,y,z$  轴所成角度的余弦值,列方向与  $x,y,z$  轴所成角度的余弦值<sup>[9]</sup>。

(4) PixelSpacing(0028,0030):此数据描述的是像素之间的空间距离,单位为 mm<sup>[9]</sup>。

根据上述 4 组信息,可以确定图像上任意一像素的空间位置,公式如下:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1\Delta_i & Y_1\Delta_j & 0 & S_x \\ X_2\Delta_i & Y_2\Delta_j & 0 & S_y \\ X_3\Delta_i & Y_3\Delta_j & 0 & S_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} i \\ j \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $P_x, P_y, P_z$  为图像上像素点 $(i,j)$ 的空间坐标; $S_x, S_y, S_z$  为图像位置(0020,0032)的 3 个值,是整体图像的起始参考点; $X_1, X_2, X_3$  为图像方向(0020,0037)的前 3 个值,为行方向增长的单位方向向量; $Y_1, Y_2, Y_3$  为图像方向(0020,0037)的后 3 个值,为列方向增长的单位方向向量; $i$  为图像上像素点的列索引值,第一列索引值为 0; $j$  为图像上像素点的行索引值,第一行索引值为 0; $\Delta_i$  为列像素之间的实际空间距离, $\Delta_j$  为行像素之间的实际空间距离。

### 1.3 多体素的空间位置信息

在选取磁共振波谱扫描区域时,出于增强信噪比等考虑,通常先选取一个较大的区域 FOV(Field of View),然后根

据医生认定的病变区域,选取感兴趣区域 VOI (Volume of Interest),空间关系如图 1 所示。

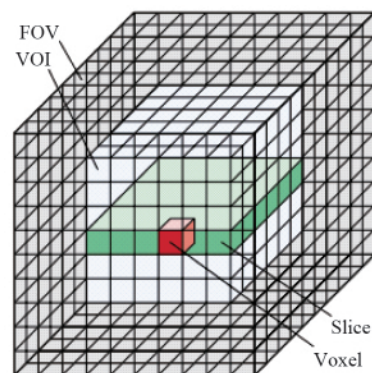


图 1 FOV 与 VOI 相对位置关系

Fig. 1 Relative spatial location of FOV and VOI

飞利浦磁共振波谱多体素的空间位置信息位于.spar 文件中,使用文本编辑器 UltraEdit 打开该文件,得到以下参数信息:

```
averages: 4
ap_size: 64
lr_size: 32
cc_size: 8
ap_off_center: 7.056865215
lr_off_center: -29.76660728
cc_off_center: -3.573571444
ap_angulation: 12
lr_angulation: 6
cc_angulation: -4
si_ap_off_center: -4
si_lr_off_center: -5
si_cc_off_center: -10
si_ap_off_angulation: 12
si_lr_off_angulation: 6
si_cc_off_angulation: -4
phase_encoding_fov: 100
slice_thickness: 8
```

上述信息中,averages 确定了每个单体素沿  $x,y$  的长度; ap\_size,lr\_size,cc\_size 确定了 VOI 沿  $y,x,z$  轴的长度; ap\_off\_center,lr\_off\_center,cc\_off\_center 分别描述了 VOI 中心的  $y,x,z$  坐标; ap\_angulation,lr\_angulation,cc\_angulation 描述了 VOI 按先后顺序绕  $y,x,z$  轴旋转的角度; si\_ap\_off\_center, si\_lr\_off\_center,si\_cc\_off\_center 分别确定了 FOV 中心的  $y,x,z$  坐标; si\_ap\_off\_angulation,si\_lr\_off\_angulation,si\_cc\_off\_angulation 描述了 FOV 按先后次序绕  $y,x,z$  轴旋转的角度,一

般这 3 个角度值与 VOI 的旋转角度值相同; phase\_encoding\_fov 确定了 FOV 沿  $x, y$  的长度; slice\_thickness 确定了 FOV 的厚度, 一般与 VOI 的厚度相同。

### 1.4 基于 VTK 的可视化

#### 1.4.1 MR 图像的三维重建

本实验的环境为 VC++, VTK 可视化工具包。

利用 VTK 中的 vtkImagePlaneWidget 可以将平面二维图像映射到三维空间的某一平面, 需要设置该三维平面的相关参数, 具体如下:

**SetOrigin:** 设置图像平面左下角的坐标。由式(1)知, 只需取  $i$  等于 0,  $j$  等于图像高度, 即可得到 Origin 的坐标;

**SetPoint1:** 设置图像平面右下角的坐标, 确定图像平面的一条轴。由式(1)知, 只需取  $i$  等于图像宽度,  $j$  等于图像高度, 即可得到 Point1 的坐标;

**SetPoint2:** 设置图像平面左上角的坐标, 确定图像平面的第二条轴。Point2 即为 ImagePositionPatient 给出的坐标值。

#### 1.4.2 波谱体素的三维重建

对于 FOV, 总体素个数为  $(\text{phase\_encoding\_fov}/\text{averages}) \times (\text{phase\_encoding\_fov}/\text{averages})$ 。对于 VOI, 其中包含的体素个数为  $(\text{ap\_size}/\text{averages}) \times (\text{lr\_size}/\text{averages})$ 。

利用 VTK 的 vtkRectilinearGrid 对体素进行三维重建。以 averages 等分 FOV 和 VOI, 沿边长分别计算出等分点, 分别对应 SetXCoordinates, SetYCoordinates, SetZCoordinates。

分别按沿  $y, x, z$  轴旋转的顺序, 对 FOV 和 VOI 进行一定角度的旋转。在 VTK 中利用 RotateWXYZ ( $\text{ap\_angulation}, 0, 1, 0$ ), RotateWXYZ ( $\text{lr\_angulation}, 1, 0, 0$ ), RotateWXYZ ( $\text{cc\_angulation}, 0, 0, 1$ ), 实现上述旋转。

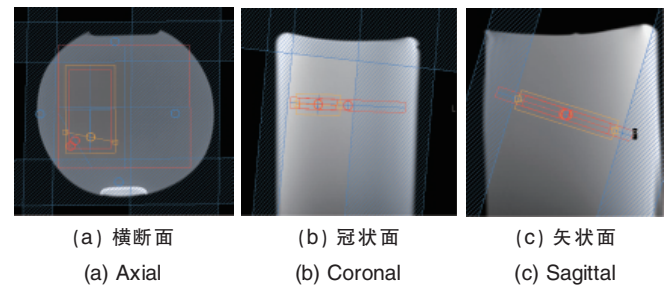
## 2 结果与讨论

### 2.1 纯水实验

常规 MRS 扫描一般采用与 Axial, Sagittal, Coronal 所成角度较小的平面。为了在大角度情况下验证体素空间位置信息的正确性, 对纯水进行 MRS 扫描。在角度选取方面, 选取与 Axial, Sagittal, Coronal 成较大角度的平面。

图 2 分别给出了体素在盛水容器的 Axial、Coronal 和

Sagittal 平面上的投影。图 2(c) 可看出, 体素呈较大倾斜。

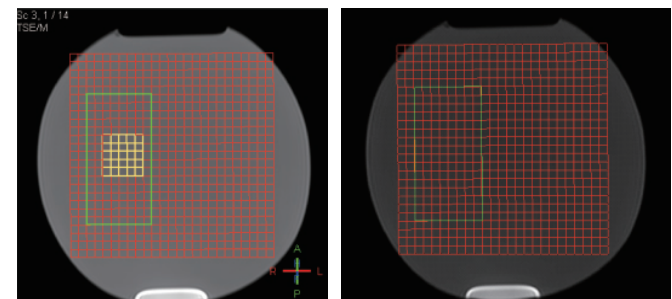


(a) 横断面 (a) Axial (b) 冠状面 (b) Coronal (c) 矢状面 (c) Sagittal

图 2 纯水实验 FOV 选取截面

Fig. 2 Projection of FOV in pure water

图 3(a) 为飞利浦磁共振系统软件给出的配准截图, 图 3(b) 为本文根据波谱体素空间位置信息重建出的配准图。需要说明的是, 飞利浦给出的配准图只是平面图, 图 3(b) 只是从某一角度观察得到的结果。



(a) 系统软件配准图 (a) Registration by system software (b) 本实验配准图 (b) Registration by this experiment

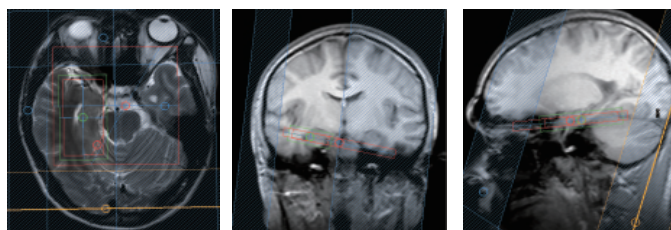
图 3 配准图对比

Fig. 3 Comparison of registration

### 2.2 病人实例

图 4 为 1 例病例在磁共振波谱扫描时体素分别在 Axial, Coronal 和 Sagittal 平面内放置示意图。与纯水实验一样, 在选取体素时, 特意将 FOV 与横断面成较大角度, 这点从图 4(a) 中的冠状面投影可以看出。

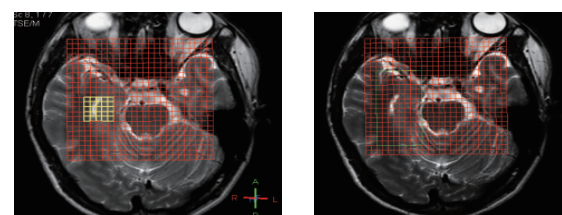
图 5(a) 为飞利浦磁共振系统软件给出的配准截图, 图



(a) 横断面 (a) Axial (b) 冠状面 (b) Coronal (c) 矢状面 (c) Sagittal

图 4 头颅扫描 FOV 选取截面

Fig. 4 Projection of FOV in human skull



(a) 系统软件配准图 (a) Registration by system software (b) 本实验配准图 (b) Registration by this experiment

图 5 配准图对比

Fig. 5 Comparison of registration

5(b)为本文根据波谱体素空间位置信息重建出的配准图。可以看出,本文配准结果与系统扫描结果一致,正确解析出了波谱体素的空间位置信息。

### 3 结论

本文首先解析.spar文件,对其中的参数信息进行预测,并结合MR图像,利用VTK工具包实现了磁共振波谱体素的三维可视化。纯水实验中,为了使旋转信息明显,将实验中的FOV与横断面、冠状面及矢状面成较大角度。经过多次实验,不断修正解析方案,直至配准结果与系统扫描图相同。在纯水实验结果正确的基础上进行多例病人实验,配准结果与系统扫描图相同。

本文给出的磁共振波谱体素可视化,已经被用于实际工作中,减少了医生在磁共振波谱后期处理中的重复机械性劳动,大大提高了诊断效率。

#### 参考文献 (References)

- [1] Maudsley A A, Domenig C, Govind V, et al. Mapping of brain metabolite distributions by volumetric proton MR spectroscopic imaging (MRSI)[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2009, 61(3): 548-559 .
- [2] Sarah J N. Multivoxel magnetic resonance spectroscopy of braintumors[J]. Molecular Cancer Therapeutics, 2003, 2(5): 497-507.

- [3] Novotny E J, Fulbright R K, Jr, Pearl P L. Magnetic resonance spectroscopy of neurotransmitters in human brain [J]. Annals of Neurology, 2003, 54(6): S25-S31.
- [4] Smith J K, Londono A, Castillo M, et al. Proton magnetic resonance spectroscopy of brain-stem lesions[J]. Neuroradiology, 2002, 44(10): 825-829.
- [5] Kojic J, Robertson P L, Quint D J, et al. Brain glutamine by MRS in a patient with urea cycle disorder and coma [J]. Pediatr Neurology, 2005, 32(2): 143-146.
- [6] Dowling C, Bollen A W, Noworolski S M, et al. Preoperative proton MR spectroscopic imaging of brain tumors: Correlation with histo-pathologic analysis of resection specimens [J]. American Journal of Neuroradiology, 2001, 22(4): 604-612.
- [7] Danielsen E R, Christensen P B, Arlien-Soborg P, et al. Axonal recovery after severe traumatic brain injury demonstrated *in vivo* by 1H MR spectroscopy[J]. Neuroradiology, 2003, 45(10): 722-724.
- [8] 袁果,叶峰,杨玲,等.基于VTK的医学图像交互式三维测量技术研究[J].计算机工程与设计,2008,29(13):3549-3551.  
Yuan Gao, Ye Feng, Yang Ling, et al. Computer Engineering and Design, 2008, 29(13): 3549-3551.
- [9] 王恒,朱玉全,吴微. DICOM医学图像文件的信息提取及图像显示的实现[J].医疗设备信息,2007,22(9):1-3.  
Wang Heng, Zhu Yuquan, Wu Wei. Information of Medical Quipment, 2007, 22(9): 1-3.

(责任编辑 马宇红,朱宇)

#### ·学术动态·



## “科学大师名校宣传工程”拉开帷幕

“共和国的脊梁——科学大师名校宣传工程”由中国科协发起、中国科协和教育部共同主办,旨在通过师生演校友、师弟演学长的方式,广泛宣传把自身事业追求和人生价值追求同国家富强、社会进步、人民幸福紧密联系起来,坚持以人民利益为最高利益、以报效祖国为最高荣耀、在创造一流科技业绩中书写人生辉煌的科学大师,塑造科技界的民族英雄,展示共和国脊梁的光辉业绩、崇高形象。

2013年4月26日,“共和国的脊梁——科学大师名校宣传工程”汇演活动在清华大学新清华学堂正式启动。清华大学学生艺术团话剧队排演、以“两弹一星”元勋邓稼先科学报国事迹为主线,展现他投身新中国核事业历程的大型多幕话剧《马兰花开》,上海交通大学排演的话剧《钱学森》,浙江大学排演、以著名气象学家竺可桢事迹为主题的话剧《求是魂》,中国地质大学(武汉)排演、以著名地质学家李四光事迹为主题的话剧《大地之光》,中国科技大学排演、以“两弹一星”元勋郭永怀事迹为主题的音乐剧《爱在天际》,陆续公开汇演。

详见中国科协网 <http://zt.cast.org.cn/n435777/n435799/n14642477/index.html>。