

Application and comparison of SPM and AFNI in the data processing of fMRI

LI Cai-yuan^{1,2,3}, MA Shu-hua^{1,2,3*}, WANG Zhao-xin⁴, HU Zhi-guo⁵

(1. Department of Radiology, Shantou Chaonan Minsheng Hospital, Shantou 515144, China;

2. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Medical College of Shantou University,

Shantou 515041, China; 3. Guangdong Key Laboratory of Medical Molecular Imaging,

Medical College of Shantou University, Shantou 515041, China; 4. Shanghai Key Laboratory of

Magnetic Resonance [East China Normal University], Shanghai 200062, China;

5. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100053, China)

[Abstract] Function magnetic resonance imaging (fMRI) has been widely used in brain function research. At present, many soft wares are applied to the fMRI data processing and analysis, in which SPM and AFNI are widely used. The application and difference of SPM and AFNI in the fMRI were reviewed in this paper.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Statistical parametric mapping; Analysis of functional neuroimages

SPM 与 AFNI 在功能磁共振成像数据处理中的应用与比较

黎才源^{1,2,3} 综述, 马树华^{1,2,3*}, 王兆新⁴, 胡治国⁵ 审校

[1. 汕头潮南民生医院放射科, 广东 汕头 515144; 2. 汕头大学医学院第一附属医院放射科, 广东 汕头 515041;

3. 汕头大学医学院广东省医学分子影像重点实验室, 广东 汕头 515041; 4. 上海市磁共振重点

实验室(华东师范大学), 上海 200062; 5. 中国科学院心理研究所, 北京 100053]

[摘要] 功能磁共振成像(fMRI)在脑功能研究方面应用广泛。目前用于 fMRI 数据处理与分析的软件很多, 以统计参数图(SPM)与功能神经影像分析(AFNI)软件应用最为广泛。本文就 SPM 和 AFNI 在 fMRI 中的应用及二者间的差异作一综述。

[关键词] 磁共振成像; 统计参数图; 功能神经影像分析

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)05-0977-03

功能磁共振成像(function magnetic resonance imaging, fMRI)是一种观察脑区活动和神经通路的成像技术, 因有较高的空间、时间分辨率、无辐射损伤以及可在活体上重复进行检测等优点而被广泛应用于脑功能和脑疾病的研究^[1]。fMRI 实验数据的处理分析方法大致可分为两种: 感兴趣区(region of interest, ROI)分析法和基于全脑体素的分析法。

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(30700235)、广东省科技攻关课题(2009B030801323)、广东省自然科学基金(06301077)、广东省卫生厅课题(A2007421)、广东省中医药管理局课题(2060134、2008160)、汕头市科技局课题[汕府科(2008)85号]。

[作者简介] 黎才源(1983—), 男, 广东茂名, 在读硕士。研究方向: 磁共振脑功能成像研究。E-mail: drlicy@163.com

[通讯作者] 马树华, 汕头大学医学院第一附属医院放射科, 515041。E-mail: shuhua6699@yahoo.com.cn

[收稿日期] 2009-10-19 **[修回日期]** 2010-01-14

ROI 分析法通过解剖定位或额外的功能激活任务找出感兴趣的脑功能区, 对这些脑区内的数据再做统计分析, 适用于特定脑区功能的实验, 一般用于^[2]: ①初步探索 fMRI 数据: 在复杂的多因素水平实验设计时, 往往难以将多种刺激条件的结果清楚地区别, 而 ROI 分析只针对其中一种感兴趣的因水平来分析; ②通过减少所计算的体素数量控制 I 类错误, 对统计结果多重比较的校正在阈值上有其优势; ③通过 fMRI 确定一簇脑功能一致的体素作为 ROI, 再研究其对其他设计处理的反应, 现多用于视觉处理等研究。为反映多个脑区功能相关联的情况, 需采用基于全脑体素的分析法, 对全脑内每个体素的数据做统计分析, 得到全脑激活的结果。其特点是逐体素分析, 不存在人为因素, 由计算机自动处理。目前国际上多采用统计参数图(statistical parametric mapping, SPM)和功能神经影像分析(analysis of functional neuroimages, AFNI)两款数据处理软件, 研究比较二者的差别及优缺点, 可对

实验数据处理的结果进行综合判断。

1 SPM 和 AFNI 的简介及应用

SPM (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) 基于 MATLAB 平台运行, 操作简单、易于掌握, 是目前 fMRI 数据处理中最常用的软件^[3]。数据处理过程有预处理和统计分析。预处理包括将原始数据格式转成 SPM 可处理的数据格式、时间校正、头动校正、图像配准、空间标准化、空间平滑。统计分析主要包括建立统计模型、将数据应用于统计模型、进行参数统计得到单个被试的结果、多个被试的组分析。

AFNI (<http://afni.nimh.nih.gov>) 可在任何含有 Unix + X11 + Motif 的系统平台上运行, 具有简便的交互式操作, 可实现 3D 脑功能图像可视化, 其辅助程序可以对三维图像数据集进行操作和融合。AFNI 的源代码是完全开放的, 且具有 plug in 功能, 熟知 ANSIC 的程序员可使用 plug in 功能添加所需的程序代码, 完成新的数据分析功能。AFNI 的处理过程包括重建原始功能像并转换数据格式、功能像层面时间校正和运动校正、功能像的时间域滤波、功能像的空间平滑、单个被试通用线性模型分析、变换至 T & T (talairach and tournaux) 坐标系(空间标准化)、统计图的空间平滑以及多个被试的组分析。

2 SPM 与 AFNI 数据处理的比较

SPM 的处理步骤较固定, AFNI 则较自由, 如: 空间平滑可在个体被试数据统计分析之前进行, 也可在组分析前进行; 而空间标准化多在个体被试数据统计分析前后均可进行。AFNI 有交互功能, 因此可根据数据处理的需要, 直接显示数据的空间和时间信号图像。

2.1 fMRI 实验数据的格式 磁共振机采集的数据一般以 DICOM 的格式记录, SPM 与 AFNI 处理的数据格式与 DICOM 不同。SPM 2 及之前版本使用的数据格式是 ANALYZE 格式, SPM 5、SPM 8 使用的格式是 NIFTI (neuroimaging informatics technology initiative), 系由 ANALYZETM-7.5 文件格式扩展而来, 可加强数据在不同处理软件间的互通性。AFNI 使用数据集, 新版 AFNI 也可支持 NIFTI 格式。

2.2 时间校正 因机器采集每层图像数据的精确时间和采集方式不同(顺序、隔行等), 导致相邻层面的信号变化有所差异, 故需用数学方法将其模拟成完全在同一时间采集。SPM 和 AFNI 中时间校正的基本原理无明显差别。对于事件相关性设计, 因任务的时间分辨率较高, 扫描层面之间的时间差异会影响其后统计计算的精确性, 故时间校正对事件相关实验十分重要; 而对组块设计来说, 任务的时间分辨率较低, 轻微的时间误差对任务激活的结果影响不大。

2.3 头动校正 fMRI 实验时间长、测量次数多, 实验中严格固定头部会引起被试不适, 轻微的头动及生理性的头部血流冲击、心脏搏动及呼吸运动等导致的头动难以避免, 而头动是实验数据错误的原始来源, 因此评估头动校正算法的利用及其对脑激活计算结果的影响非常重要。有研究提示, SPM 和 AFNI 头动校正应用效果对实验结果有利, 效果无明显差别。Morgan 等^[4]评估 SPM 99 与 AFNI 头动校正的有效性, 发现头动校正能增加特异激活区的检出。Oakes 等^[5]发现, 在头动校正

的准确性方面, AFNI 比 SPM 2 稍好, 但差异不大; 与事件相关性设计相比, 头动校正设计在组块设计中更具优势, 而 AFNI 处理数据的速度明显较 SPM 2 快。Morgan 等^[6]发现 SPM 2 和 AFNI 的头动校正对发现激活脑区的敏感性表现也相近。

2.4 空间平滑 AFNI 和 SPM 的空间平滑在操作步骤上原理大致相同, 但稍有差异。空间平滑是将数据在空间上用平滑函数(通常是 Gauss 函数)去卷积, 除模糊结构差异外, 还可通过平滑消除硬件不稳及生理运动产生的干扰信号, 空间平滑可减小 MR 图像的随机噪声影响, 提高信噪比, 进而提高对功能激活数据的检测能力。因此, AFNI 和 SPM 的空间平滑功能无明显差异。但因两者空间平滑和标准化步骤的顺序不同, 可能导致其平滑数值的大小选择不同, 在一定程度上可能使最后的处理结果存在差异。

2.5 空间标准化比较 fMRI 中不同个体和同一个体不同时间的脑成像数据需在同一标准解剖结构平台上比较, 进行空间标准化。AFNI 与 SPM 所用的方法和模板有所不同: AFNI 使用 T & T 坐标系作为标准图谱配准^[7], SPM 则采用 MNI 模板。AFNI 用手工操作将脑变换到 T & T 坐标系, SPM 是自动化操作, 选取必要的参数即可完成。

由于 T & T 模板基于个体脑组织的尸体解剖, 不一定能很好地反映神经的影像解剖学表现^[8]。蒙特利尔神经学研究所(Montreal neurological institute, MNI)根据个体脑的 MR 扫描设计了一个更有普遍代表性的模板, 称为 MNI 标准脑图谱。研究证实两种标准图谱都是有效的, Prodoehl 等^[9]发现, 用 T & T 及 MNI 坐标系处理实验数据后产生的信号变化率与 EPI 模板一致, 即用 T & T 和 MNI 处理的数据与其他方法处理的数据是可比较的。

MNI 模板是 SPM 采用整体形变的仿射变换和局部非线性变换而同一化到标准脑上^[10]。T & T 与 MNI 标准脑图谱存在差异。Allen 等^[11]发现 MNI 模板体积比 T & T 坐标体积大 25% 左右, 脑体积大小在空间标准化后产生了组水平的不同; 标准化后, 区域脑在性别间的差别比自然脑的性别差异小。王培织等^[12]发现 SPM 2 的空间配准结果在总体上比 AFNI 稍好。目前 SPM 仍采用低分辨率解剖模型作为标准化模板, 经平滑后仍难分辨小的激活区域(如听觉皮层亚区), 因此提高模板的分辨率对于要求更细、更严格的研究有极大的帮助^[13]。为使基于 MNI 的研究成果能与基于 T & T 的成果比较, 可使用变换公式将 MNI 标准脑转换成 T & T 坐标系脑。

3 SPM 与 AFNI 数据分析比较

SPM 中个体数据的统计分析过程: ①模型设置及参数估计(包括信号时间序列滤波); ②对无效假设进行检验, 并作统计推断, 然后进行统计参数图显示。SPM 采用广义线性模型(GLM), 并对模型中某参数进行估计, 再对该参数进行统计推断。SPM 2 主要采用 t 检验和 F 检验。根据检验的显著性水平确定阈值, 对零假设进行检验, 通过阈值的统计参数图判别激活与非激活。AFNI 中也是采用 GLM, 但相对于 SPM 主要使用较固定的血流动力学模型方程, AFNI 的反卷积分析还可使用较为灵活的自由血流动力学模型方程, 通过 AFNI 中的程序 3dDeconvolve 实现的反卷积分析, 可更好地反

映数据的真实情况,特别对事件相关设计实验更具优势。

另外,在数据处理分析的过程中,AFNI 和 SPM 都使用信号时间序列滤波来去除一些干扰信号,但在 AFNI 中并不强制要求这一步骤,而 SPM 中这一步骤却经常被使用,且默认了一个 128 s 的滤波函数;这一默认数值对于一般的事件相关设计实验基本没有问题,但对组块设计的实验则并不一定是合适的,需要根据实验设计的任务时间规律来计算最佳滤波数值。如果滤波函数的数值取得过小,会将数据中与任务相关的有用信号和干扰信号一并去除,造成实验结果的误差。这一点是使用 SPM 的新手应该注意的问题(SPM 中并不是所有默认的预设值都是合适的),也是 SPM 和 AFNI 数据处理结果差异的一个重要影响因素。

单个被试数据分析结果如 T 值图,反映的是被试脑内每个体素的信号时间变化模式与设计的任务模型相符合的程度,体现的是脑区激活的真实性而不是激活幅度的大小;而多被试数据的组分析则是对多人脑内体素的信号变化幅度的统计参数图(β 值图)再进行统计分析,并基于高斯场模型的假设,得到具有推广性的随机效应的结果^[7, 14-15]。在多个被试结果的组分析上,SPM 目前只能进行 T 和 F 检验以及二因素的方差分析,而 AFNI 则还可完成更多因素(目前到 5)的方差分析,就组分析的功能性和灵活性来讲,AFNI 更优。

在 SPM 2 与 AFNI 总体的评估上,汲业等^[16]分别用 SPM 和 AFNI 独立处理同一 fMRI 实验数据,处理结果在脑激活上大体一致,对 ROI 的时间反应曲线也较一致。由于 SPM 设定了大量的默认值,实验人员只要按照默认操作,对同一实验数据处理所得的结果是一样的,而 AFNI 更多地依赖实验人员的经验,因此 SPM 在客观性方面比 AFNI 稍好。SPM 拥有强大的统计功能,将数据处理后,能得出所有被试在不同任务中的平均结果。AFNI 将数据处理后,需使用其他软件进一步处理才能得出结果。

4 软件的更新

上述两款软件都要不定时更新,更新内容可能包括理论、算法、架构或界面等方面,可通过查看主页进行了解。主要的更新有:SPM 5、SPM 8 内增加的被试数据批量处理功能——matlabbatch,避免了图形界面内一个被试数据处理完后再输入另一个被试数据的麻烦;同时,SPM 8 引进了一个适用于组研究的新方法——贝叶斯模型选择(Bayesian model selection, BMS),BMS 可在两个被试之间或组水平进行随机模型分析效果;SPM 在脑电图和脑磁图数据处理上也有改善。AFNI 的更新是通过一些新软件包的发布,主要有:增强了图像对齐的功能,之前 AFNI 没有设计解剖像和功能像对齐的功能。新增了处理扩散张量成像数据的插件。另外 AFNI 也新开发了几个软件包,如 3dREMLfit、3dLME、1dGC 或 3dGC 等。3dREMLfit 是 AFNI 在 fMRI GLM 中处理序列相关的一个新途径。3dLME 采用的是线性混合效应模型,在组分析上的作为要优于方差分析,可用于实验组间人数不相等的的数据、实验因素和协变量数目无限制的实验数据等。1dGC 或 3dGC 是通过多变量或矢变量自回归模型应用于格兰杰因

果关系分析,应用上要优于 VAR 分析。

5 小结

AFNI 和 SPM 这两个软件各有优缺点。AFNI 有许多较灵活的功能,更多地用于非典型的人脑功能实验和动物实验的数据处理;而 SPM 则由于容易上手和较标准化的处理流程,被较多典型的人脑功能实验使用。

[参考文献]

- [1] Logothetis NK. What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, 2008, 453(7197): 869-878.
- [2] Poldrack RA. Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2007, 2(1): 67-70.
- [3] Friston KJ. Introduction: Experimental design and statistical parametric mapping. 2nd ed. // *Human Brain Function*. London: London Academic Press, 2003.
- [4] Morgan VL, Pickens DR, Hartmann SL, et al. Comparison of functional MRI image realignment tools using a computer-generated phantom. *Magn Reson Med*, 2001, 46(3): 510-514.
- [5] Oakes TR, Johnstone T, Ores Walsh KS, et al. Comparison of fMRI motion correction software tools. *Neuroimage*, 2005, 28(3): 529-543.
- [6] Morgan VL, Dawant BM, Li Y, et al. Comparison of fMRI statistical software packages and strategies for analysis of images containing random and stimulus correlated motion. *Comput Med Imaging Graph*, 2007, 31(6): 436-446.
- [7] 钟明军,唐焕文,冯敬海. AFNI 的数学基础及其在脑高级功能研究中的一个应用. *应用基础与工程科学学报*, 2002, 10(3): 239-252.
- [8] Chau W, McIntosh AR. The Talairach coordinate of a point in the MNI space: how to interpret it. *Neuroimage*, 2005, 25(2): 408-416.
- [9] Prodoehl J, Yu H, Little DM, et al. Region of interest template for the human basal ganglia: comparing EPI and standardized space approaches. *Neuroimage*, 2008, 39(3): 956-965.
- [10] Penny WD, Trujillo-Barreto NJ, Friston KJ. Bayesian fMRI time series analysis with spatial priors. *Neuroimage*, 2005, 24(2): 350-362.
- [11] Allen JS, Bruss J, Mehta S, et al. Effects of spatial transformation on regional brain volume estimates. *Neuroimage*, 2008, 42(2): 535-547.
- [12] 王培织,臧玉峰,蒋田仔,等. AFNI 和 SPM 脑图像空间标准化的效果比较. *中国医学影像技术*, 2004, 20(11): 1650-1653.
- [13] Tahmasebi AM, Abolmaesumi P, Zheng ZZ, et al. Reducing inter-subject anatomical variation: effect of normalization method on sensitivity of functional magnetic resonance imaging data analysis in auditory cortex and the superior temporal region. *Neuroimage*, 2009, 47(4): 1522-1531.
- [14] 吴义根,李可. SPM 软件包数据处理原理简介——第一部分:基本数学原理. *中国医学影像技术*, 2004, 20(11): 1768-1772.
- [15] 吴义根,李可. SPM 软件包数据处理原理简介——第二部分:应用于 PET 及 fMRI. *中国医学影像技术*, 2004, 20(11): 1722-1775.
- [16] 汲业,冯士刚,刘文宇,等. SPM 和 AFNI 的性能比较. *中国医学影像技术*, 2005, 21(3): 336-338.