

论 著

多层同时成像技术在颅脑扩散张量成像应用研究

赵田瑞^{1,*} 戈璇² 王佳蕊¹

1.首都医科大学附属北京友谊医院放射科

2.首都医科大学附属脑重大疾病研究中心

(北京 100000)

【摘要】目的 比较颅脑DTI序列在不使用SMS技术和SMS2倍加速和3倍加速下的图像质量和FA值一致性。**方法** 于2023年2月至6月在我院招募30名志愿者进行颅脑DTI扫描,不使用SMS技术和SMS2倍加速和3倍加速扫描得到三组图像。测量6个感兴趣的FA值,用五分法进行主观评分。**结果** 使用SMS技术的两组扫描时间较不使用SMS的时间缩短;在胼胝体、内囊、顶叶白质区域三组间FA值无统计学差异,延髓处FA值三组间存在统计学差异($P<0.01$),主观评分方面组织清晰程度、伪影两方面三组间无统计学差异,ROI放置难度上不使用SMS技术的优于使用SMS技术的两组($P<0.01$)。**结论** 对于颅脑DTI扫描除颅底区域外,可使用SMS3倍加速来替代常规DTI扫描。

【关键词】 扩散张量成像; 多层同时成像; 颅脑磁共振成像

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.001

Application of Simultaneous Multi-Slice Imaging Technology in Diffusion Tensor Imaging of the Brain

ZHAO Tian-rui^{1,*}, GE Xuan², WANG Jia-rui¹.

1.Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100000, China

2.Beijing Institute Of Brain Disorders Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100000, China

ABSTRACT

Objective To compare the image quality and FA value consistency of cranial DTI sequences without SMS technology and with SMS 2x and 3x acceleration. **Methods** From February to June 2023, 30 volunteers were recruited in our hospital for cranial DTI scans. Three sets of images were obtained without using SMS technology and scanning with SMS 2x and 3x acceleration. Measure 6 FA values of interest and subjectively score them using a five point scale. **Results** The two scanning times using SMS technology are shorter than those without SMS; There was no statistically significant difference in FA values among the three groups in the corpus callosum, internal capsule, and parietal white matter region. However, there was a statistically significant difference in FA values among the three groups in the medulla oblongata ($P<0.01$). There was no statistically significant difference in subjective scores such as tissue clarity and artifacts among the three groups. In terms of ROI placement difficulty, the group that did not use SMS technology was better than the two groups that used SMS technology ($P<0.01$). **Conclusion** For cranial DTI scanning, except for the skull base area, SMS3x acceleration can be used instead of conventional DTI scanning.

Keywords: Diffusion Tensor Imaging; Simultaneous Multi-slice; Brain MRI

扩散磁共振成像(diffusion magnetic resonance imaging, DMRI)是基于水分子扩散对MRI信号产生影响而发展起来的一类成像方法。DMRI主要依赖于组织内水分子的扩散效应,为组织成像对比提供了崭新的成像技术。而在人体内由于复杂的生理环境导致水分子扩散环境并不均一,扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)可以生成得到各向异性分数(fractional anisotropy, FA)。FA值可以定量评估水分子扩散的方向信息,通常用于颅内脑血管病^[1]、肿瘤^[2]等病变的鉴别诊断。其中DTI扫描最核心的扫描参数为扩散方向数,为实现DTI扫描要求的最少扫描方向要求为6个方向,扫描方向数越多,FA值计算越准确,相应的扫描时间也成比例延长。由于较长的扫描时间,极大程度地限制了DTI技术的应用。而多层同时成像技术(simultaneous multi-slice, SMS)可以同时采集多个层面信息,可以成比例地减少扫描时间,因此本研究将对SMS技术在颅脑DTI扫描中的应用进行研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2023年2月至2023年6月期间于首都医科大学附属北京友谊医院内招募临床受试者30例,志愿者纳入标准如下:志愿者有意愿参加本研究,了解本研究相关内容,并签署知情同意书;无磁共振检查禁忌证;志愿者无颅脑疾病史,无精神药物成瘾史;志愿者能接受长时间磁共振扫描,且最终扫描图像无明显运动伪影。最终共纳入志愿者30例,其中男性14例,女性16例,年龄20~52岁。

1.2 检查设备与参数 使用德国西门子3.0T MAGENTOM Prisma超导型磁共振成像系统,颅脑64通道相控阵线圈,扫描序列包括:3D矢状面mp-rage、2D横断面DTI序列,DTI序列包括三组:不使用SMS技术、使用两倍SMS技术加速、使用三倍SMS技术加速;下文中将三组分别称为:SMS1、SMS2、SMS3。详细扫描参数见表1。

1.3 影像学分析

1.3.1 客观评价 客观评价主要比较三组DTI得到的FA值是否存在差异,每个患者分别在3组图像上测量11个感兴趣区(region of interest, ROI),包括:延髓、胼胝体膝部、胼胝体压部、双侧内囊前肢、双侧内囊膝部、双侧内囊后肢、双侧顶叶白质。其中每次测量ROI均为4mm²,且均测量三次取平均值作为最终结果。ROI具体放置方法见图1。测量完成后,将双侧同位置ROI取平均值记为最终结果,例如内囊前肢FA值为左侧内囊前肢FA值的平均值,其余同理;最终共记录7个感兴趣FA值,分别为:延髓、胼胝体膝部、胼胝体压部、内囊前肢、内囊膝部、内囊压部、顶叶白质。

(1)FA平均值计算公式

$$FA_{内囊前肢} = (FA_{左侧内囊前肢} + FA_{右侧内囊前肢}) / 2$$

1.3.2 主观评价 主观评分由两位年资在5年以上的医生采用五分法分别对灰白质显示清晰程度、图像伪影、ROI放置难度三方面进行双盲评价,当评分不同时由第三位年资更高的医生作出评价。具体评分标准如下:5分,结构辨认清晰,完全无伪影,ROI放置容易;4分,结构辨认较清晰,有极轻微伪影,ROI放置较容易;3分,组织区分模糊,但

【第一作者】 赵田瑞,男,技师,主要研究方向:磁共振加速成像。E-mail: ztr19971210@163.com

【通讯作者】 赵田瑞

可分辨或有轻微伪影, ROI仍可正常放置; 2分, 组织区分十分模糊, 较难分辨或有明显伪影, ROI几乎无法放置; 1分, 无明确界限或严重伪影, 完全无法放置ROI。

1.4 统计学分析 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析。计量资料采用Shapiro-Wilk检验进行正态性检验, 符合正态分布的

示, 使用单因素方差分析法(ANOVA)对三组间六个ROI的FA值进行统计分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义; 对于有统计学差异的ROI, 再使用Bonferroni法进行事后比较, 判断组间差异来源, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

表1 扫描参数

序列	扩散方向数	b值(s/mm ²)	层厚(mm)	矩阵	视野(mm)	重复时间(ms)	回波时间(ms)	加速因子	扫描时间(m:s)
SMS1						5100	80	1	8:45
SMS2	64	0/1000	2	80×80	220×220	2700	80	2	4:43
SMS3						2000	80	3	3:33

表2 FA值比较

序列	延髓	胼胝体膝部	胼胝体压部	内囊前肢	内囊膝部	内囊后肢	顶叶白质
SMS1	0.496±0.053	0.805±0.047	0.847±0.044	0.543±0.047	0.664±0.036	0.719±0.029	0.572±0.039
SMS2	0.419±0.053	0.799±0.041	0.834±0.054	0.543±0.047	0.647±0.041	0.702±0.036	0.565±0.036
SMS3	0.430±0.068	0.792±0.053	0.835±0.041	0.534±0.045	0.644±0.040	0.705±0.033	0.573±0.044
F值	15.664	0.532	0.643	0.421	2.124	2.298	0.362
P值	<0.01	0.589	0.528	0.658	0.126	0.106	0.697
$P_{SMS1-SMS2}$	<0.01						
$P_{SMS1-SMS3}$	<0.01						
$P_{SMS2-SMS3}$	<0.01						

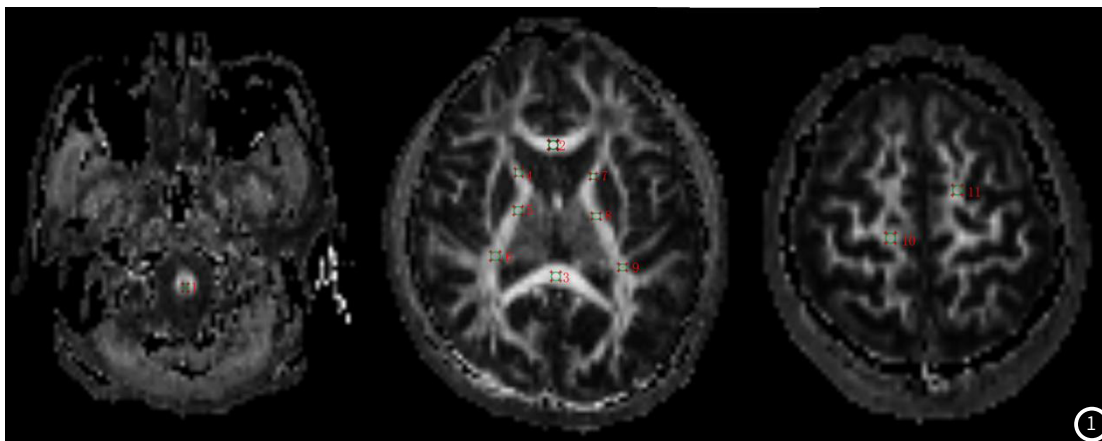


图1 图1为ROI的具体放置方法, ROI1~11依次为延髓、胼胝体膝部、胼胝体压部、左侧内囊前肢、左侧内囊膝部、左侧内囊后肢、左侧内囊前肢、左侧内囊膝部、左侧内囊后肢、右侧顶叶白质、左侧顶叶白质。

2 结果

2.1 客观分析 经正态性检验, 各组数据均符合正态分布, 经方差齐性检验, 各组数据也均符合方差齐性, 可以使用ANOVA分析。ANOVA分析具体结果见表2。经统计分析发现, 胼胝体膝部、胼胝体压部、内囊前肢、内囊膝部、内囊后肢、顶叶白质这6个ROI三组间FA值无统计学差异(P值均大于0.05)。而延髓这一ROI, 三组间FA值经ANOVA检验, 存在统计学差异($P < 0.01$)。针对延髓组进行Bonferroni法事后比较发现, SMS1组与SMS2、SMS3组间, SMS2组SMS3组间均存在统计学差异($P < 0.01$)。

2.2 主观评价 经正态性检验, 各组评分均符合正态分布, 经方差齐性检验, 各组评分也均符合方差齐性, 可以使用ANOVA分析。ANOVA分析具体结果见表3。观察数据发现, 针对组织清晰程度和伪影程度两个方面, 三组间评分无统计学差异(P值均大于0.05)。而ROI放置难度评分中, 三组间存在统计学差异($P < 0.01$), 经Bonferroni法事后比较发现SMS1组与SMS2组间无统计学差异(P值大于0.05), SMS3组与SMS1、SMS2组间均存在统

计学差异($P < 0.01$)。

表3 主观评分

序列	组织清晰程度	伪影	ROI放置难度
SMS1	5.00±0.00	5.00±0.00	4.86±0.43
SMS2	5.00±0.00	5.00±0.00	4.96±0.18
SMS3	4.96±0.18	4.93±0.25	4.53±0.62
F值	1.000	2.071	7.507
P值	0.372	0.132	<0.01
$P_{SMS1-SMS2}$			0.372
$P_{SMS1-SMS3}$			<0.01
$P_{SMS2-SMS3}$			<0.01

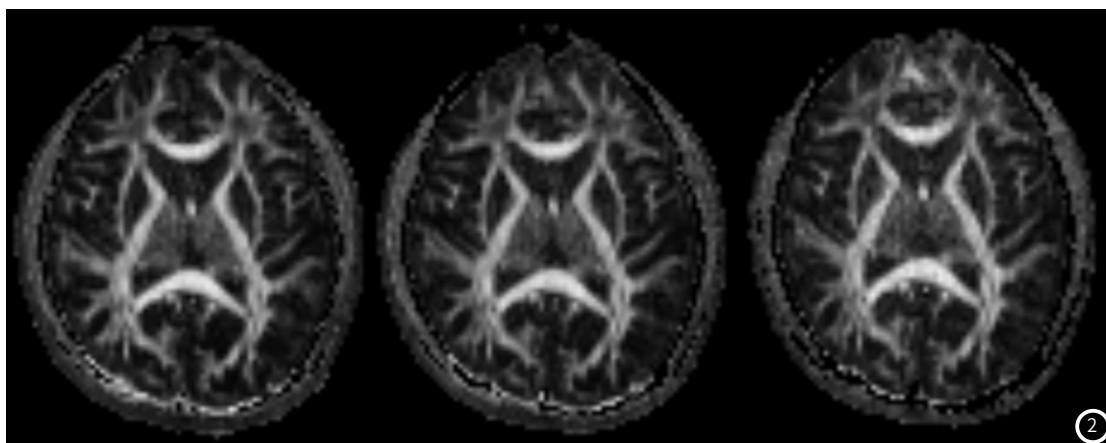


图2 图2从左至右依次为SMS1、SMS2、SMS3三组图像胼胝体层面，观察发现SMS3组图像较前两组有轻微模糊。

3 讨论

SMS技术目前在乳腺^[3]、盆腔^[4]、腹部^[5]等部位有较大的应用价值^[6]。SMS技术是由多频率的复合射频脉冲对多个成像层面同时激发，利用相控阵线圈的敏感度信息及与并行成像密切相关的图像重建算法来进行多层数据采样、提取及重建，并以二维的方式进行图像输出。SMS通过增加层加速因子来加快扫描速度，可以有效降低TR时间，实现更快速扫描，也可以在相同TR的情况下，同时激发更多层数。但SMS技术由于在采集信号时同时对多个层面进行激发，会出现多层面间的信号混叠。为解决这一问题SMS在采集信号阶段还需调整相位编码方式，即使用Blipped CAIPIRINHA的相位编码方式。具体为在相位编码的同时，在Z轴上交替施加Blip梯度，使不同层面的图像产生不同程度的FOV平移，以便后续进行GRAPPA运算时最大程度地减小SNR的损失；层面间及层面内使用GRAPPA运算处理混叠，区分多层图像。

综上所述我们得知，SMS技术主要可能出现的伪影来源于加速因子过大时可能会出现层面间的卷褶伪影，因此在本研究选取ROI时，主要选取了颅顶(双侧顶叶白质)、颅脑中部(胼胝体、内囊)、颅底(延髓)区域进行了比较研究。研究发现对于顶叶白质、胼胝体膝部、胼胝体压部、内囊前肢、内囊膝部、内囊后肢这六个ROI，三组中FA值之间均无统计学差异；而延髓部，SMS1组FA值为 0.496 ± 0.053 、SMS2组为 0.419 ± 0.053 、SMS3组为 0.430 ± 0.068 ，三组各组分均存在统计学差异($P < 0.01$)。主观评分方面在组织清晰程度和伪影方面我，三组之间没有统计学差异，而ROI放置难度评分上SMS1组为 4.86 ± 0.43 、SMS2组为 4.96 ± 0.18 、SMS3组为 4.53 ± 0.62 ，三组间，SMS1与SMS2间无统计学差异，SMS3组虽较SMS1、SMS2组评分较差($P < 0.01$)，组内评分也均高于3分，ROI也均可正常放置。

综合本次研究我们发现对于颅脑DTI扫描，使用SMS技术可以极大地缩短扫描时间，不使用SMS技术时扫描时间为8分45秒，使用两倍加速后时间为4分43秒(缩短了46.09%)，使用三倍加速后时间为3分33秒(缩短了59.42%)。参数设置时我们发现，SMS3组TR可进一步缩短从而更进一步缩短扫描时间，但DTI序列本质上仍为T2加权序列，故未将TR缩短至2000ms以下，因此也限制了扫描速度的进一步加快。而针对颅顶、颅脑中部的ROI，SMS3组与SMS1组FA值无差异，因此主要针对该区域的DTI

扫描时，可以使用3倍的层面间加速因子来更快地完成扫描。而对于颅底区域，SMS2、SMS3组的FA值与SMS1组有较大差异。思考可能与颅底区域，上下均有组织，而下部组织并未在成像范围内，可能会发现层间卷褶伪影影响该区域信号采集有关。因此在针对颅底区域的DTI扫描并不建议使用SMS技术加速。

本研究中存在较多的不足和可改进之处：(1)本研究纳入的病例相对较少，且均为正常志愿者，下一步进一步增加研究数量。(2)本研究ROI为手动放置，测量的ROI数量较少，只能选取代表性ROI进行研究，下一步可以使用基于纤维束示踪的空间统计分析^[7](tract-based spatial statistics, TBSS)技术进行更多的脑区分析研究。(3)针对颅底区域不适用SMS技术的问题，可以进一步进行探讨，若适当增大扫描范围包括颅底两侧区域是否会有所改善。

参考文献

- [1] 朱艳清, 张静, 王明泉, 等. 磁共振扩散张量成像量化参数在创伤性脑白质损伤中的联合应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(9).
- [2] 张治业, 徐文中, 王占伟. 动态增强磁共振成像与扩散张量成像在胶质瘤分级中的临床价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(4).
- [3] 云昊, 霍敏, 胡益祺, 等. 同时多层采集技术在乳腺MR高清扩散峰度成像中的可行性研究[J]. 放射学实践, 2021, 36(1).
- [4] 罗明芳, 周蜜, 李方, 等. 同时多层采集技术结合分段读出平面回波成像序列弥散加权成像评估直肠癌病理分化程度[J]. 中国介入影像与治疗学, 2023, 20(8).
- [5] 徐辉, 张楠, 杨大为, 等. 同时多层扩散成像对胰腺病变的诊断效能[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(6).
- [6] 李雪, 严福华. 磁共振同时多层成像技术的临床研究进展[J]. 磁共振成像, 2021, 12(3).
- [7] 崔书亭, 彭洁, 艾育华, 等. 扩散张量磁共振成像数据分析的TBSS方法评价[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(23).

(收稿日期: 2024-07-15)

(校对编辑: 姚丽娜)