

高场强 MR 仪结合小动物线圈在小鼠神经系统疾病中的应用

庄丽华, 龚志刚, 杨烁慧, 陆方, 孔营楠, 詹松华, 刘孟潇

【摘要】 目的:研究临床常规高场强 MR 仪结合 8 通道小孔径专用线圈用于小鼠神经系统常见疾病成像的可行性。**方法:**采用 3.0T MR 仪结合 8 通道横向放置小孔径线圈及小柔线圈扫描小鼠脑组织,调整 T_1 WI、 T_2 WI 冠状面及横轴面参数,优化各个序列图像质量,最终确定扫描参数。取 15 只 C57 小鼠,采用 8 通道横向放置线圈和小柔线圈依次扫描。扫描结束对图像质量行主观评分,测量并计算大脑皮层及中心区域信噪比(SNR)及对比噪声比(CNR),并采用配对 t 检验法比较两种线圈各个序列的主观评分及 SNR、CNR 值。采用 8 通道横向放置小孔径线圈扫描永久性脑缺血模型及脑胶质瘤模型并观察病灶显示情况。**结果:**8 通道横向放置线圈 T_1 WI 及 T_2 WI 冠状面及横轴面图像主观评分均高于小柔线圈(P 均 <0.001)。8 通道横向线圈 T_1 WI 及 T_2 WI 冠状面图像(皮层及中心)SNR 高于小柔线圈(P 均 <0.01)。8 通道横向线圈 T_1 WI 及 T_2 WI 冠状面图像(皮层及中心)CNR 高于小柔线圈,差异不具有统计学意义(P 均 >0.05)。8 通道横向线圈 T_1 WI 及 T_2 WI 横轴面图像(皮层及中心)SNR 和 CNR 高于小柔线圈(P 均 <0.01)。使用 8 通道横向放置线圈结合高场强 MR 仪能清晰显示缺血灶及胶质瘤部位及范围,增强后可见肿瘤明显强化。**结论:**使用 8 通道横向放置线圈结合高场强 MR 仪能很好的进行小鼠脑部 MR 成像, T_1 WI、 T_2 WI 图像成像质量佳,图像质量明显优于小柔线圈,对脑卒中及脑胶质瘤病灶显示清晰,可以用于小鼠脑缺血疾病及肿瘤疾病的成像。

【关键词】 小孔径线圈; 小鼠; 神经系统; 磁共振成像

【中图分类号】 R445.2; R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)07-0723-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.07.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of high strength field magnetic resonance system scan combined with a small aperture coil in the diagnosis of diseases of mouse nervous system ZHUANG Li-hua, GONG Zhi-gang, YANG Shuo-hui, et al. Department of Radiology, Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

ZHUANG Li-hua, GONG Zhi-gang, YANG Shuo-hui, et al. Department of Radiology, Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to investigate the diagnostic feasibility on common diseases of the mouse nervous system on a high strength field MRI combined with an 8-channel small aperture coil. **Methods:** The mouse brain tissue was scanned with a 3.0T MRI system combined with an laterally placed 8-channel small aperture coil. The T_1 WI and T_2 WI (coronal and transverse) position parameters were adjusted to optimize the imaging quality, then the scanning parameters were finally determined. Fifteen C57 mice were scanned consecutively with the laterally placed 8-channel small aperture coil and a small flexible coil. Upon the completion of the scan, images of each sequence were scored. The signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the cerebral cortex and the central region were measured and calculated. The pair wise t -test was used to compare the subjective scores, SNR and CNR values of each sequence of the two coils. Then the lesions of the permanent cerebral ischemia model and the glioma model were scanned with the laterally placed 8-channel small aperture coil. **Results:** The statistical results showed that the subjective scores of the coronal and transverse T_1 WI and T_2 WI images of the laterally placed 8-channel small aperture coil were higher than those of the small flexible coil (both $P < 0.001$). The SNR of coronal T_1 WI and T_2 WI images (cortex and center) of the laterally placed 8-channel small aperture coil were higher than that of

作者单位: 201203 上海中医药大学附属曙光医院放射科(庄丽华、龚志刚、杨烁慧、陆方、孔营楠、詹松华); 201318 西门子医疗系统有限公司上海分部(刘孟潇)

作者简介: 庄丽华(1989-), 女, 湖北宜昌人, 博士研究生, 主要从事磁共振新技术在中枢神经系统疾病的临床应用研究。

通讯作者: 龚志刚, E-mail: ericgongzg@aliyun.com

基金项目: 国家自然科学基金(81573782); 2014年上海市上海中医药大学人才培养项目

the small flexible coil, the differences were statistically significant (both $P < 0.01$); The CNR of coronal T_1 WI and T_2 WI images (cortex and center) of the laterally placed 8-channel small aperture coil were higher than that of the small flexible coil, the differences were not statistically significant (both $P > 0.05$); The SNR and CNR of transverse T_1 WI and T_2 WI images (cortex and center) with the laterally placed 8-channel small aperture coil were higher than those of the small flexible coil, the differences were statistically significant (both $P < 0.01$); The images with 8-channel coil combined with high-strength-field MR spectroscopy can clearly show the location and extension of ischemic lesions and gliomas. **Conclusion:** Using high strength field MR spectroscopy combined with laterally placed 8-channels coils can yield quality images of mouse brain. The image quality of T_1 WI and T_2 WI images is good, and better than that of small soft coils. Stroke and glioma lesions are clear and worthy of application in cerebral ischemic and neoplastic diseases in mice.

【Key words】 Small aperture coil; Mouse; Nervous system; Magnetic resonance imaging

缺血性脑疾病(脑卒中)及脑肿瘤是中枢神经系统危害人类健康的重要疾病,其相关致病机制、药物研发及治疗的研究越来越受到重视^[1-3]。复制动物模型进行此类神经系统疾病的研究也逐渐成为一种主要研究方法。而转基因动物和基因治疗、生物治疗的兴起,使得这些疾病模型多在小鼠或者裸鼠上进行,加之转基因动物价格昂贵,裸鼠肿瘤造模难度大,则迫切需要一种能重复监测,重复观察的手段,这就大大推动了小动物脑部成像的必要性。

磁共振对软组织分辨力高,无辐射损伤,可重复检查,其多参数、多序列、多切面成像使其成为活体研究的重要方法。小孔径可以获得更高的磁场强度和梯度场,可以提高信噪比和空间分辨率^[4-5]。

国外多采用高场强或者超高场强的小动物专用磁共振扫描系统进行大小鼠的磁共振研究,场强为4.7T、7T、9T甚至更高^[6-9],但目前小动物专用MR仪价格昂贵,国内一般科研机构难以配置,大部分医院及中小型科研机构,仍要以临床型MR仪来进行动物MR研究为主。国内报道的多采用1.5T或者3.0T MR仪进行大鼠的MR相关研究,主要采用表面柔性线圈、膝关节线圈或者手指线圈进行研究,存在诸多明

显缺陷,信噪比较低,获得的图像体素大,组织细节不易分辨,图像质量不佳,对小鼠进行成像研究则更少。那么在经费有限的情况下,如何利用临床型MR仪进行小鼠脑组织成像便成了必须面临的重要问题。

本研究探索在Siemens 3.0T MR仪上联合8通道专用小孔径线圈对小鼠脑组织进行成像,取得了满意的图像质量,并将其与小柔线圈图像质量进行了对比,并在此基础上制作永久性脑缺血及脑胶质瘤模型并进行了图像质量观察,能清晰的显示病灶。

材料与方法

1. 材料

C57BL/6n 雄性小鼠 15 只,体重 20~25 g,购自浙江维通利华生物科技有限公司,许可证号:SCXK(浙)2018-0001。4%水合氯醛溶液(上海国药集团化学试剂有限公司),1 mL 注射器。8 通道横向放置小孔径线圈(上海辰光医疗科技股份有限公司,编号 5000049101/序列号 001006),配套专用固定筒,Siemens 小柔表面线圈。

2. 检查方法

采用 Siemens skyra 3.0T MR 仪。取 C57 小鼠,

表1 磁共振扫描各序列参数

参数	T_1 WI	T_2 WI	T_1 WI	T_2 WI	T_1 WI	T_2 WI
	TSE-TRA	TSE-TRA	TSE-COR	TSE-COR	TSE-SAG	TSE-SAG
TR(ms)	500	3800	761	3800	500	3800
TE(ms)	13	80	13	80	13	80
翻转角	131	150	131	150	131	150
层厚(mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
层距(mm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
视野(mm ²)	60×36	60×36	60×48	60×48	60×36	60×36
带宽(Hz/Px)	244	260	244	260	244	260
激励次数	3	2	4	4	3	2
矩阵	192×192	192×192	128×128	128×128	192×192	192×192
层数	8	6	10	10	8	6
扫描时间	2分47秒	2分59秒	2分51秒	2分51秒	2分47秒	2分59秒

扫描前以4%水合氯醛腹腔注射麻醉小鼠(400 mg/kg)。将麻醉好的小鼠俯卧位放置于8通道横向放置小孔径线圈中央,调整TR、TE、翻转角、层厚、层距、带宽、激励次数等参数,观察图像质量,然后取出小鼠固定于小柔线圈中央,再次扫描,当采用两种线圈扫描图像质量均佳时,确定最终扫描参数(表1)。固定参数后,先使用8通道横向放置小孔径线圈,依次行TSE T₁WI、T₂WI序列扫描(包括冠状面及横轴面)。然后更换为小柔表面线圈,依次扫描所有小鼠。

3. 主观评分

由两名一线放射科医师采用单盲法对所有小鼠脑部T₁WI、T₂WI横轴面及冠状面图像锐利度、噪声、伪影进行评价。评分参考Kalra五级评分法^[10-11],评分标准为:5分,图像质量非常好,噪声控制好,无伪影;4分,图像质量较好,噪声和伪影少;3分,图像质量一般,有一些噪声和/或伪影,但不影响诊断;2分,图像质量较差,有严重噪声或伪影,影响诊断;1分,图像质量差,噪声或伪影严重,无法进行诊断。图像评分结束后统计出各组小鼠两名医师的评分,每只小鼠的评分为2位医生评分的均值。

4. SNR及CNR值

在后处理工作站上用View Forum软件对图像进行测量,在小鼠脑组织T₁WI、T₂WI及SWI图像上大脑海皮层、侧脑室旁及周围背景放置兴趣区(面积约0.2 mm², 10~14个像素点),测量信号值(兴趣区中像素点的信号强度平均值)及噪声强度(兴趣区中像素点信号强度的标准差),计算信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR), $SNR = SI_{组织} / SD_{噪声}$ 。

5. 永久性脑缺血及脑胶质瘤模型扫描

上述15只小鼠苏醒后禁食不禁水12 h,于第二天采用改良线栓法制作右侧大脑中动脉闭塞永久性脑缺血模型,造模后24 h进行MR扫描,扫描参数同前,在T₁WI、T₂WI冠状面及横轴面图像上观察病灶显示情况。

另取上海中医药大学附属曙光医院神经外科制作的裸鼠脑胶质瘤模型,先进行常规T₁WI、T₂WI冠状面扫描,经小鼠尾静脉注射钆喷酸葡胺(1.1 mL生理盐水加入0.5 mL对比剂,每10 g小鼠尾静脉注射0.1 mL/g)后再进行T₁WI冠状面、横轴面及矢状面扫描,观察肿瘤病灶增强显示情况。

6. 统计学方法

所有数据采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,使用SPSS 21.0统计软件进行分析,若数值符合正态分布则用配对样本t检验,不符合正态分布则使用配对样本秩和检验来评价两种线圈各组图像主观评分、SNR及CNR值是否存在差异。 $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

结果

1. 两种线圈扫描图像主观评分

所有图像扫描结束后,对两名医师的图像评分揭盲。8通道横向放置线圈T₁WI、T₂WI冠状面及横轴面图像主观评分均高于小柔线圈(P 均 < 0.001),见图1及表2。

表2 两种线圈扫描图像主观评分

扫描序列	横向放置小孔径线圈	小柔表面线圈	t值	P值
T ₁ WI-COR	4.50±0.46	3.20±0.37	11.063	<0.001
T ₂ WI-COR	4.63±0.44	3.17±0.24	12.856	<0.001
T ₁ WI-TRA	4.87±0.35	3.07±0.18	18.924	<0.001
T ₂ WI-TRA	4.90±0.28	3.67±0.45	8.047	<0.001

2. 两种线圈扫描图像SNR及CNR值

扫描结束后统计出所有图像冠状面及横轴面的大脑皮层及中心区域(侧脑室旁)信号均值及标准差,计算出SNR及CNR值。8通道横向线圈T₁WI及T₂WI冠状面图像(皮层及中心)SNR高于小柔线圈,差异具有统计学意义(P 均 < 0.01);8通道横向线圈T₁WI及T₂WI冠状面图像(皮层及中心)CNR高于小柔线圈,差异无统计学意义(P 均 > 0.05)。

8通道横向线圈T₁WI及T₂WI横轴面图像(皮

表3 两种线圈扫描图像SNR及CNR值

序列/部位	8通道横向线圈SNR	C3表面线圈SNR	统计学结果		8通道横向线圈CNR	C3表面线圈CNR	统计学结果	
			t值	P值			t值	P值
T ₁ WI-COR								
皮层	29.87±7.70	15.32±5.99	6.116	<0.001	88.38±45.53	41.07±75.33	1.855	>0.05
中心	46.57±29.94	13.37±5.36	4.187	<0.001	84.99±44.14	41.78±75.39	1.713	>0.05
T ₂ WI-COR								
皮层	26.87±9.32	12.50±3.90	6.727	<0.001	49.24±16.50	38.45±27.10	1.224	>0.05
中心	28.24±13.45	13.70±7.81	3.449	<0.01	43.78±15.21	36.03±25.58	0.960	>0.05
T ₁ WI-TRA								
皮层	39.27±12.40	15.76±6.47	8.801	<0.001	83.49±43.31	17.37±6.40	6.231	<0.001
中心	52.95±25.07	21.22±11.59	4.873	<0.001	77.83±40.71	17.47±6.44	6.068	<0.001
T ₂ WI-TRA								
皮层	32.43±14.77	11.50±5.90	5.426	<0.001	84.08±65.51	22.62±11.83	3.404	<0.01
中心	26.36±13.86	10.46±4.34	3.899	<0.01	75.28±57.53	21.49±10.55	3.387	<0.01

层及中心)SNR 和 CNR 高于小柔线圈,差异具有统计学意义(P 均 <0.01)。

3. 正常小鼠两种线圈 MR 图像

使用两种线圈均可显示小鼠脑组织轮廓。8 通道横向放置小孔径线圈 T_1 WI 及 T_2 WI 冠状面和横轴面图像均可清晰显示侧脑室、三脑室及周围脑组织,边缘清晰可见(图 1a~d);小柔线圈也可显示脑部轮廓及脑组织结构,但 T_1 WI 冠状面和横轴面无法分辨脑室低信号区, T_2 WI 可显示脑室高信号区,边缘模糊(图 1e~h)。

4. 永久性脑缺血模型小鼠 MR 图像

永久性脑缺血模型小鼠造模 24 h 后 MR 扫描。使用 8 通道横向放置小动物线圈扫描小鼠卒中中模型时, T_1 WI 图像横轴面及冠状面脑组织无明显信号改变, T_2 WI 可见病灶侧脑组织高信号区,清晰显示病灶边缘(图 2a~d)。使用小柔线圈扫描图像病灶边缘模糊,高低信号区域边缘欠清(图 2e~h)。

5. 胶质瘤模型小鼠 MR 图

胶质瘤模型小鼠在成模后进行 MR 扫描,平扫 T_1 WI 未见明显异常信号, T_2 WI 可见肿瘤部位成略高信号,增强后 T_1 WI 冠状面、横轴面、矢状面可见肿瘤明显增强,图像可准确测量胶质瘤的大小和范围(图 3a~e)。

讨论

随着转基因动物的逐渐普及及基因治疗等成为神经系统疾病的研究热点,活体显示脑组织内部情况对于检测卒中及脑肿瘤变化或者治疗尤为重要。MR 对软组织分辨力好,具有强大的后处理功能,无创且可重复,是活体动物检测的最佳途径,在动物研究中的应用越来越广泛^[12-15]。过去大部分科研机构进行小动物 MR 研究常用的小柔表面线圈虽能贴近被检动物,但表面线圈所产生的磁场不均匀,穿透深度有限,这限制了它的使用。为了提高小鼠头部图像的清晰度,研究者发明了 8 通道小动物专用线圈。这种线圈具有孔径小的优势,能够很好的包裹小鼠的头部,周围空隙减少,因而使图像信噪比增加,改善了图像质量,解剖细节显示更佳。

使用 Siemens 3.0T MR 仪结合 8 通道横向放置小孔径线圈进行小鼠脑组织成像,通过参数调节,很好的显示出小鼠脑组织结构,包括皮层、侧脑室及海马、纹状体等。使用 8 通道横向放置小孔径线圈时,小鼠脑部 T_1 WI、 T_2 WI 冠状面及横轴面成图像的主观评分均高于小柔表面线圈,8 通道横向线圈 T_1 WI、 T_2 WI 冠状面及横轴面图像 SNR 明显高于小柔线圈,8 通道横向线圈 T_1 WI、 T_2 WI 横轴面图像 CNR 高于常规小柔线圈。小鼠普遍体重小,仅为大鼠的几十分之一,成像也较大鼠困难。本研究所用小鼠体重为 20~25g,

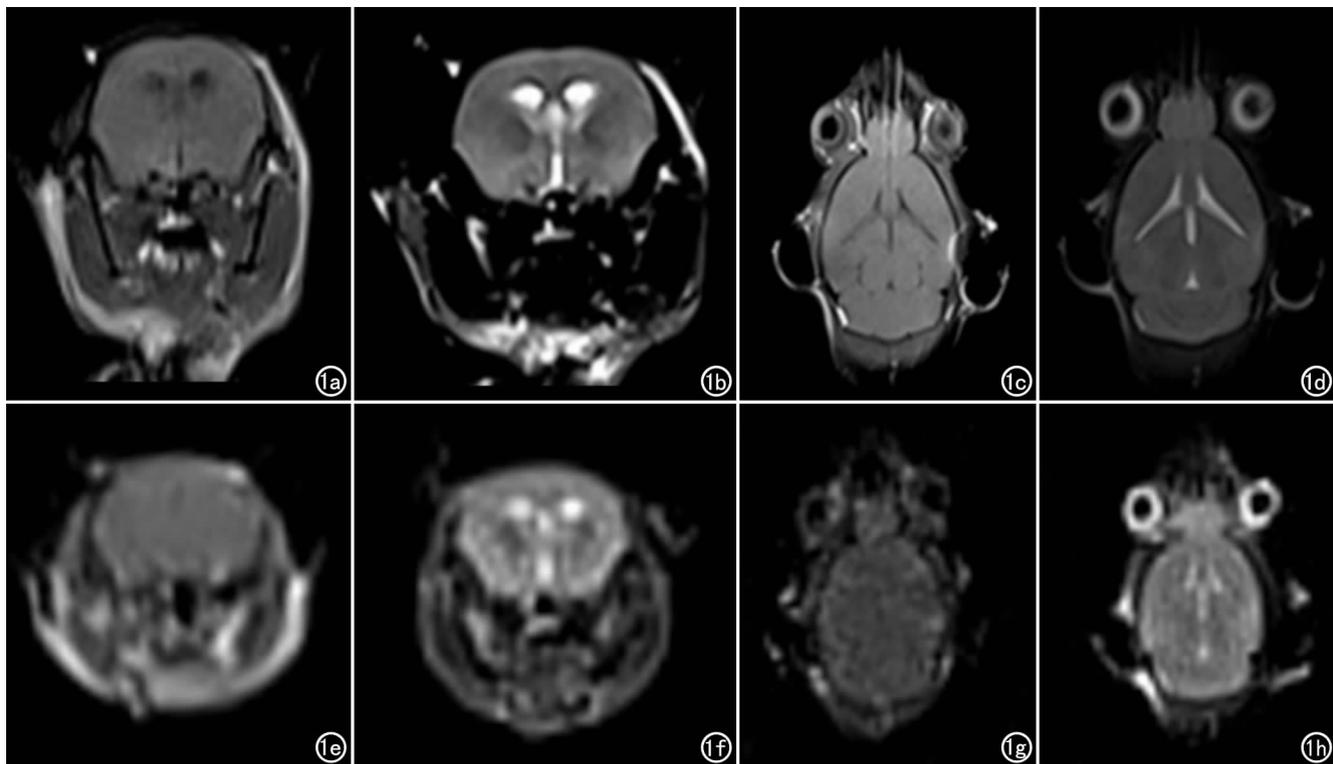


图 1 正常小鼠。a~d 为 8 通道通道横向放置小孔径线圈,e~f 为小柔线圈。a) T_1 WI 横轴面;b) T_2 WI 横轴面;c) T_1 WI 冠状面;d) T_2 WI 冠状面;e) T_1 WI 横轴面;f) T_2 WI 横轴面;g) T_1 WI 冠状面;h) T_2 WI 冠状面。

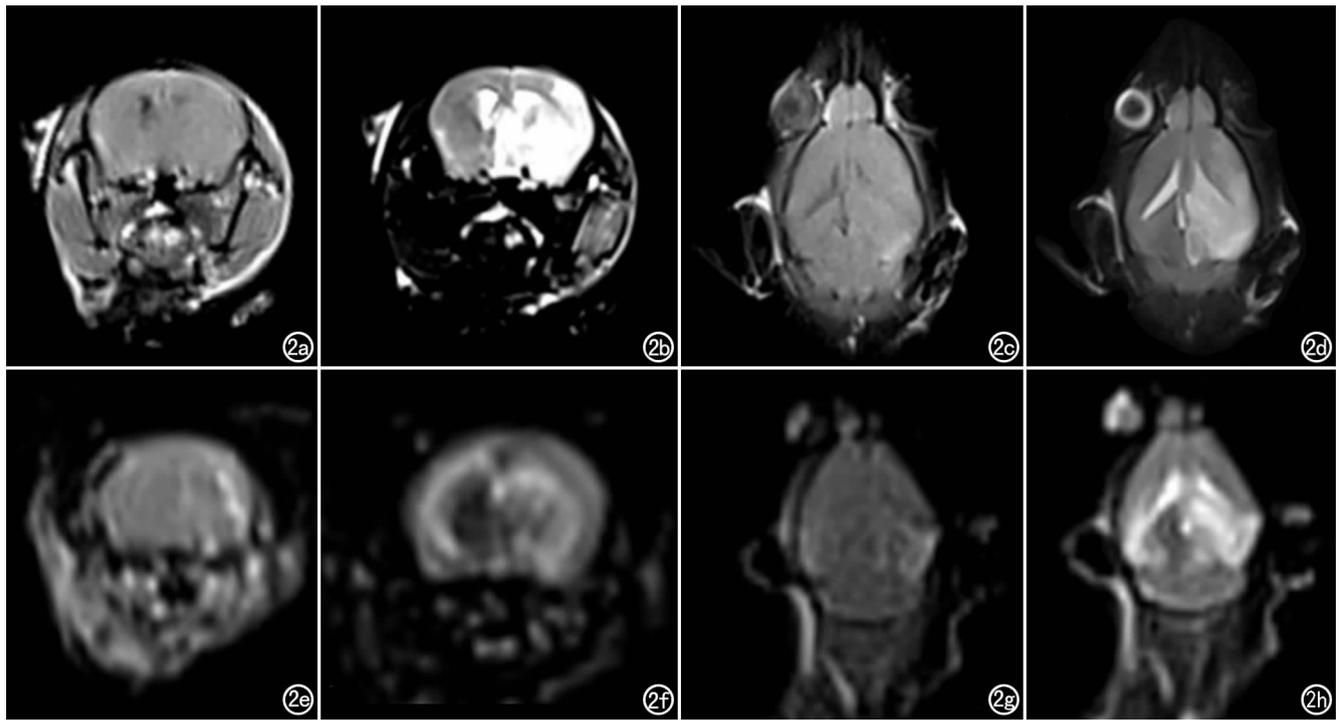


图2 小鼠永久性脑缺血模型。a~d为8通道通道横向放置小孔径线圈,e~f为小柔线圈。a)T₁WI横轴面;b)T₂WI横轴面;c)T₁WI冠状面;d)T₂WI冠状面;e)T₁WI横轴面;f)T₂WI横轴面;g)T₁WI冠状面;h)T₂WI冠状面。

体素小,层厚不宜过大,本研究中层厚1 mm,层间距0.1 mm,较小的层厚和层间距能获得更多的解剖细节;虽然过高的激励次数还可提高SNR,但扫描时间也相应延长,时间过长小鼠易苏醒移动,也不可取,本研究中激励次数在4次及以下,T₁WI、T₂WI扫描时间均在5 min以内,总扫描时间在麻醉时效内,满足扫描时间要求。

同时,笔者在C57BL/6永久性脑缺血模型和裸鼠脑胶质瘤模型上进行观察和验证,发现采用Siemens 3.0T临床型MR设备结合国产通道横向放置小孔径线圈作为发射和接收线圈进行成像,发现其在小鼠脑

卒中模型中能清晰显示脑缺血范围及水肿情况,同时在小鼠脑胶质瘤模型上可检查出胶质瘤的存在,对比剂注射后各个层面增强图像显示清晰,说明这些图像能满足药物治疗脑卒中或脑肿瘤效果评价的相关研究。尽管这些图像与国外超高场强专用小孔径MR仪成像有一定差距,但在经费有限不具备小动物迷你磁共振扫描条件时,可通过临床磁共振仪器结合国产小孔径线圈进行小鼠脑组织的扫描,同时还可尝试进行SWI及灌注等相关研究,这一图像能满足包括脑血管疾病及脑肿瘤在内的绝大部分神经系统疾病的临床研究,值得加以应用。当然,笔者首先在3.0T磁共振

上利用这一线圈进行了小鼠脑组织的研究,在未来的研究中,将利用此线圈探索更多其他序列、其他部位的成像,期待能为其他系统的研究提供更多帮助。

参考文献:

- [1] Wang Y, Cui L, Ji X, et al. The China National Stroke Registry for patients with acute cerebrovascular events: design, rationale, and baseline patient characteristics [J]. *Int J Stroke*, 2011, 6(4): 355-361.

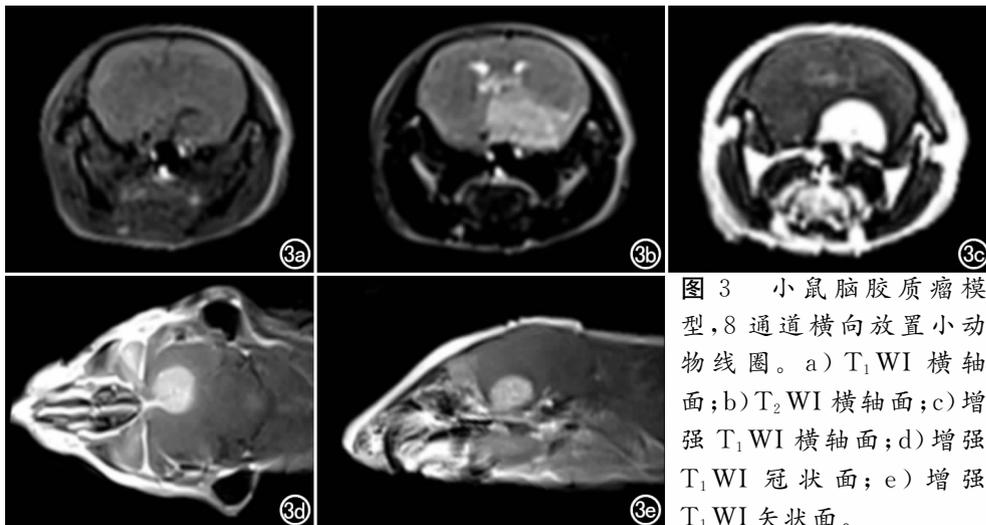


图3 小鼠脑胶质瘤模型,8通道横向放置小动物线圈。a)T₁WI横轴面;b)T₂WI横轴面;c)增强T₁WI横轴面;d)增强T₁WI冠状面;e)增强T₁WI矢状面。

- [2] Thrift AG, Howard G, Cadilhac DA, et al. Global stroke statistics; an update of mortality data from countries using a broad code of cerebrovascular diseases[J]. *Int J Stroke*, 2017, 12(8): 796-801.
- [3] Ke C, Gupta R, Xavier D, et al. Divergent trends in ischaemic heart disease and stroke mortality in India from 2000 to 2015: a nationally representative mortality study[J]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(8): e914-e923.
- [4] Zubkov M, Hurshkainen AA, Brui EA, et al. Small-animal, whole-body imaging with metamaterial-inspired RF coil[J]. *NMR Biomed*, 2018, 31(8): e3952.
- [5] Orzada S, Maderwald S, Gorické SL, et al. Design and comparison of two eight-channel transmit/receive radiofrequency arrays for in vivo rodent imaging on a 7T human whole-body MRI system[J]. *Med Phys*, 2010, 37(5): 2225-2232.
- [6] Mcnamara RK, Schurdak JD, Asch RH, et al. Omega-3 fatty acid deficiency impairs frontostriatal recruitment following repeated amphetamine treatment in rats: A 7 Tesla in vivo pHMRI study[J]. *Nutr Neurosci*, 2019, 22(8): 587-595.
- [7] Ramamonjisoa N, Ratiney H, Mutel E, et al. In vivo hepatic lipid quantification using MRS at 7 Tesla in a mouse model of glycogen storage disease type 1a[J]. *J Lipid Res*, 2013, 54(7): 2010-2022.
- [8] Zhang F, Chen S, Tong M, et al. 7.0 tesla high resolution MRI study on intracerebral migration of magnet-labeled neural stem cells in a mouse model of Alzheimer's disease[J]. *Magn Reson Imaging*, 2018, 54(8): 58-62.
- [9] Joubert M, Tager P, Legallois D, et al. Test-retest reproducibility of cardiac magnetic resonance imaging in healthy mice at 7-Tesla: effect of anesthetic procedures[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 6698.
- [10] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization[J]. *Radiology*, 2004, 230(3): 619-628.
- [11] Kalra MK, Wittram C, Maher MM, et al. Can noise reduction filters improve low-radiation-dose chest CT images[J]. *Radiology*, 2003, 228(1): 257-264.
- [12] Irazabal MV, Mishra PK, Torres VE, et al. Use of ultra-high field MRI in small rodent models of polycystic kidney disease for in vivo phenotyping and drug monitoring[J]. *J Vis Exp*, 2015, 6(100): e52757.
- [13] Bernau M. Assessment of local reaction to vaccines in live piglets with magnetic resonance imaging compared to histopathology[J]. *ALTEX*, 2016, 33(1): 29-36.
- [14] Ho Y, Weng J, Lin C, et al. Ceftriaxone treatment for neuronal deficits: a histological and MEMRI study in a rat model of dementia with lewy bodies[J]. *Behav Neurol*, 2018, 2018(8): 4618716.
- [15] Harris SS, Boorman LW, Das D, et al. Physiological and pathological brain activation in the anesthetized rat produces hemodynamic-dependent cortical temperature increases that can confound the BOLD fMRI signal[J]. *Front Neurosci*, 2018, 12(8): 550.

(收稿日期: 2018-11-24 修回日期: 2019-02-12)

下期要目

双能 CT 对 AIS 血管内治疗后早期颅内出血的价值
健康人脑静息态动态性及其一致性的性别差异
8 通道 360°全景眼表面线圈在 3.0T MRI 中的应用
胸部 CT 对胸外偶发病变的诊断研究
肺孤立性实性病变的 MR 扩散成像技术优选
探讨分段读出 DWI 在乳腺癌病灶显示中的优势
局灶性肝紫癜的 CT 及 MR 表现特征

MRI 的纹理分析对于鉴别孤立性纤维性肿瘤/血管周细胞瘤
与血管瘤型脑膜瘤的临床价值
自由呼吸和屏气两种方法所测肺腺癌磁共振动态对比增强
渗透性参数的一致性研究
儿童 CT 检查中不同体型特异性辐射剂量估计的初步
对比分析
DCE-MRI 纹理分析鉴别宫颈鳞癌与腺癌及预测分级的价值