

• 实验研究 •

线性钆沉积大鼠模型使用大环钆剂后脑内钆沉积的变化研究

王旭聪,李健,张睿,王振华,摆玉财,马耀兴,陈兵

【摘要】 目的:探究在已出现线性钆沉积的大鼠中继续注射大环型钆对比剂后大鼠脑内钆沉积的变化。**方法:**对 28 只雄性 SD 大鼠首先进行钆双胺(线性钆对比剂)注射 20 次(4 次/周,共 5 周;单次剂量均为 0.06 mmol/kg)建立线性钆沉积模型,再随机分为 4 组分别注射钆双胺(线性),钆特酸葡胺(大环型),钆布醇(大环型)及高渗盐水(1350 mOsm/kg),注射次数与剂量与之前相当。在首次注射前及每周注射后对大鼠进行头部 MRI 扫描,第 5 周及第 10 周分批处死大鼠提取组织进行电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)实验测定小脑深部核团(DCN)的钆浓度以及进行小脑 HE 染色切片观察分析。在 MRI 图像测量大鼠 DCN T_1 值及 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号比值,并采用双方方差分析(ANOVA)检测各组间各时间点的数值差异;采用 Kruskal-Wallis 检验 DCN 中钆浓度的差异。采用 Spearman 相关系数评估大鼠 DCN T_1 值与 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号比值以及 DCN 中钆浓度的相关性。**结果:**钆双胺组大鼠 DCN 的 T_1 值(595.50 ± 20.96 ms)显著低于其它组;钆双胺组大鼠 DCN 组织中钆浓度(2.25 ± 0.14 ug/g)及 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值(1.15 ± 0.01)显著高于其它组;DCN T_1 值与 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号比值以及 DCN 中钆浓度呈显著负相关(P 值均 < 0.05)。**结论:**在已出现线性钆沉积的大鼠中,继续使用大环型 GBCAs 钆特酸葡胺及钆布醇相对一直使用线性 GBCAs 脑内钆沉积较少,相对较为安全。

【关键词】 钆;大鼠;小脑深部核团;定量磁共振成像;电感耦合等离子体质谱;苏木精-伊红染色法

【中图分类号】 R445.2;R-332;R361 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)07-0806-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.07.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Changes of gadolinium deposition in brain after macrocyclic gadolinium agent in a rat model of linear gadolinium deposition WANG Xu-cong, LI Jian, ZHANG Rui, et al. General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

【Abstract】 Objective: To investigate the changes of intracranial gadolinium deposition in rats with linear gadolinium deposition after continuous injection of large ring gadolinium contrast agent. **Methods:** 28 male SD rats were injected with gadolinium diamine (linear gadolinium contrast agent) for 20 times to establish a linear gadolinium deposition model (4 times/week, 5 weeks in total, with a single dose of 0.06mmol/kg). Gadolinium diamine (linear), gadoterate meglumine (macrocylic), gadobutrol (macrocylic) and hyperosmotic saline (1350 mOsm/kg) were randomly divided into 4 groups, respectively. Brain MRI scan was performed before and after the first injection. The rats were sacrificed in batches at the 5th and 10th week to extract brain tissues, and the gadolinium concentration of cerebellum DCN was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and the cerebellum HE staining section was observed and analyzed. The DCN T_1 value and The T_1 WI signal ratio of DCN/cerebellar cortex were measured in MRI images, and the numerical differences at each time point were detected by ANOVA. Kruskal-wallis was used to test the difference of gadolinium concentration in cerebellar DCN tissues. Spearman correlation coefficient was used to evaluate the correlation between DCN T_1 value, T_1 WI signal ratio of DCN/cerebellar cortex and gadolinium concentration in

作者单位:750004 银川,宁夏医科大学总医院

作者简介:王旭聪(1996-),女,宁夏银川人,硕士研究生,主要从事神经影像学 research。

通讯作者:陈兵, E-mail: chenbing135501@163.com

基金项目:中国红十字基金会"影瑞西北公益行"之 ICON 科研基金(XM_HR_ICON_2020_10)

cerebellar DCN in rats. **Results:** Gadolinium concentration (2.25 ± 0.14 ug/g) and T_1 WI signal intensity ratio (1.15 ± 0.01) of DCN/cerebellar cortex in gadolinium diamine group were significantly higher than those in other groups. DCN T_1 was negatively correlated with T_1 WI signal ratio of DCN/cerebellar cortex and gadolinium concentration in cerebellar DCN (all $P < 0.05$). **Conclusion:** In rats with linear gadolinium deposition, continuous use of macrocyclic GBCAs, gadoterate meglumine and gadobutrol has less intracranial gadolinium deposition than continuous use of linear GBCAs and is relatively safe.

【Key words】 Gadolinium; Rats; Deep cerebellar nucleus; Quantitative magnetic resonance imaging; Inductively coupled plasma mass spectrometry; Hematoxylin-eosin staining

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)增强检查已成为临床重要的影像学检查方法之一。目前最常用于 MRI 增强检查的对比剂为钆对比剂(gadolinium-based contrast agent, GBCAs)^[1-3]。一直以来, GBCAs 被认为是一种相对安全的对比剂。近年来多项人类和动物实验研究表明, 多次重复给予线性 GBCAs 后, 小脑深部核团(deep cerebellar nuclei, DCN) T_1 WI 呈现高信号并出现器官钆沉积^[4-9], 给予不同类型的 GBCAs 后, 脑组织中钆沉积存在显著差异^[6-7, 10], 注射大环型 GBCAs 的大鼠 DCN T_1 WI 图像未见明显增高信号且脑内钆浓度明显较低^[11]。MR 图像解读主要依靠不同组织信号强度的对比, 常规 MR 图像的信号强度会受到扫描设备和参数的影响, 难以与正常参考值比较。与常规 MRI 相比, 多对比度的定量磁共振成像 MAGIC 序列实现了 MR 图像从常规灰阶图到组织定量图谱的转变, 一次扫描可以得到纯粹的 T_1 及其它弛豫时间量化数据, 为临床提供更多有价值的诊断信息。

目前关于接受线性 GBCAs 之后再接受大环型 GBCAs 的钆沉积报道较少, 本研究动物模型为前瞻性评估已建立线性钆沉积模型的大鼠在之后连续多次使用线性 GBCAs(钆双胺)及大环型 GBCAs(钆特酸葡胺与钆布醇)DCN T_1 弛豫值的变化, 以 DCN 钆浓度的测定以及小脑 HE 染色切片为金标准, 并与传统的 MRI 信号强度比值作比较, 探究在已出现线性钆沉积的大鼠中继续注射大环型钆对比剂后大鼠脑内钆沉积的变化。为临床上已经出现脑部线性钆沉积的患者选择 GBCAs 提供参考依据, 并且尽可能排除混杂因素, 规范钆沉积的研究。

材料与方法

1. 钆沉积大鼠模型的建立

本实验已通过宁夏医科大学实验动物伦理学要求。选取 28 只体重为(210 ± 29)g 的健康雄性 Sprague-Dawley 大鼠(动物生产许可证号 SCXK [宁] 2009-0001), 在正常条件下进行饲养。在首次注射前及每周注射后对大鼠进行头部 MRI 扫描, 并测量大鼠

DCN T_1 值及 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号比值。首先对所有大鼠在全麻下(3%~3.5%异氟烷)进行尾静脉注射钆双胺注射液(GE healthcare)20 次(4 次/周, 共 5 周; 单次剂量均为 0.06 mmol/kg)建立线性钆沉积模型, 5 周后处死 5 只大鼠进行电感耦合等离子体质谱仪(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)实验测定 DCN 钆浓度, 并进行小脑组织苏木精-伊红染色法(hematoxylin-eosin staining, HE)组织学分析。将剩下的大鼠随机分为四组: ①钆布醇(大环型 GBCAs)组; 注射钆布醇注射液(瑞威尔生物科技有限公司); ②钆特酸葡胺(大环型 GBCAs)组; 注射钆特酸葡胺注射液(江苏佳迪显医药股份有限公司); ③钆双胺(线性 GBCAs)组; 注射钆双胺; ④高渗盐水(对照组); 注射高渗盐水(1350 mOsm/kg, 渗透压与钆对比剂接近)。注射次数及剂量与之前相当。最后一次 MRI 扫描完成后立刻对大鼠安乐死进行 ICP-MS 实验测定 DCN 钆浓度以及 HE 染色组织学观察分析(图 1)。

2. MRI 扫描及图像分析

大鼠经异氟烷吸入麻醉后, 选取俯卧位固定于大鼠 8 通道脑专用线圈(上海辰光医疗科技有限公司), 采用 3.0T MR 仪(GE SIGNA Architect)对大鼠脑部进行扫描, 行 T_1 WI FSE 序列(TR 470 ms, TE 10 ms)、 T_2 WI FSE 序列(TR 2500 ms, TE 85 ms)及 MAGIC 序列横轴面扫描, 各序列采集 12 层, 层厚 2 mm, 间距 0.2 mm, 矩阵 128×128 , FOV $8.0 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm}$ 。所有图像分析均在盲法和随机条件下进行, 由两名放射科医师(分别从事 MRI 临床应用和研究 10 年和 5 年)对图像进行定量分析, 采用机器自带可自动生成伪彩图的后处理软件 SynMRI(版本 100.0.0)进行图像分析和数据测量, 在左右两侧 DCN 实质上勾画兴趣区(ROI), 见图 2, 左右两侧取平均值, 记录 T_1 时间弛豫值; 分别在左右两侧 DCN 及小脑皮质实质上勾画 ROI(图 3), 左右两侧取平均值, 计算 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号比值。

3. DCN 钆浓度测定

在异氟醚麻醉下通过放血对大鼠实施安乐死。将

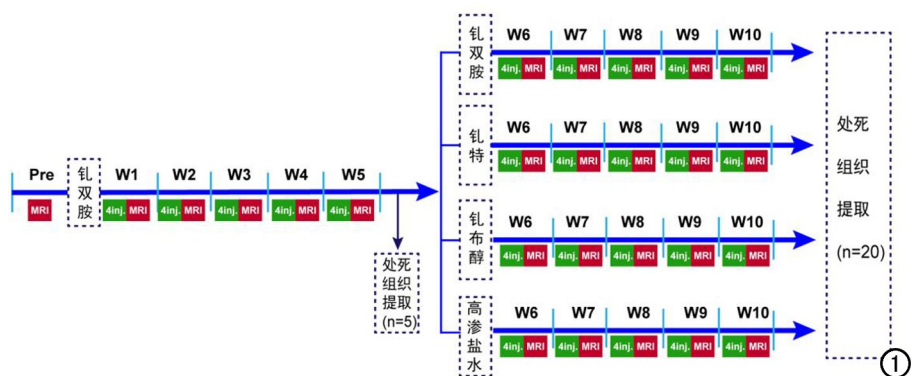


图 1 注射和 MRI 方案结果。钆双胺每周注射单次剂量 0.06 mmol/kg, 共 4 次, 共 5 周。分组后各组注射次数及剂量与之前相当。

大鼠的小脑整块提取并半切, 一半用于 ICP-MS 定量分析, 一半用于后续 HE 染色切片制作, 由质谱分析工作人员测定 DCN 中钆浓度, 结果以每克湿组织重量(组织样品)的 Gd 含量(ug/g)表示。

4. 组织学检查

根据大鼠脑部解剖图谱, 在冰浴中迅速切取包含 DCN 冠状切片, 由病理科工作人员在 37℃ 恒温下染色 5 min, 将染色组织拍照后置于 10% 甲醛溶液固定 1 周, 切片后 HE 染色显微镜下观察。

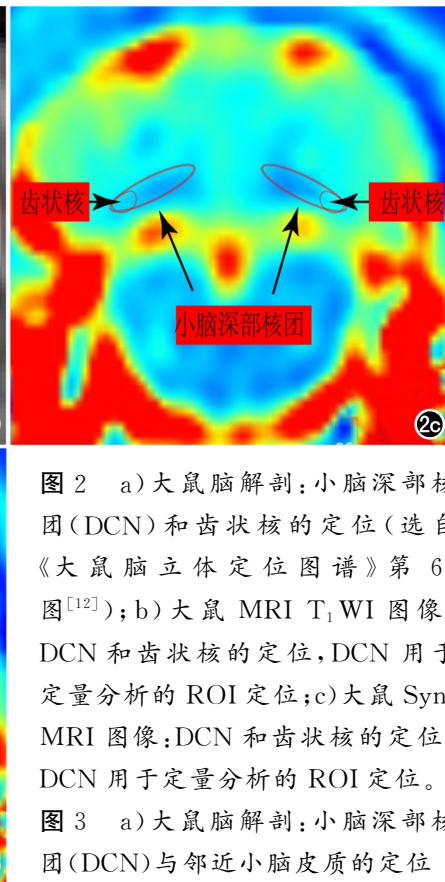
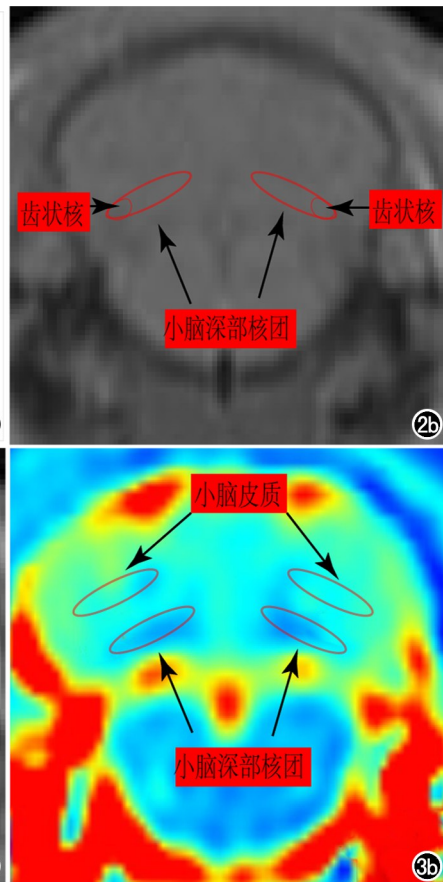
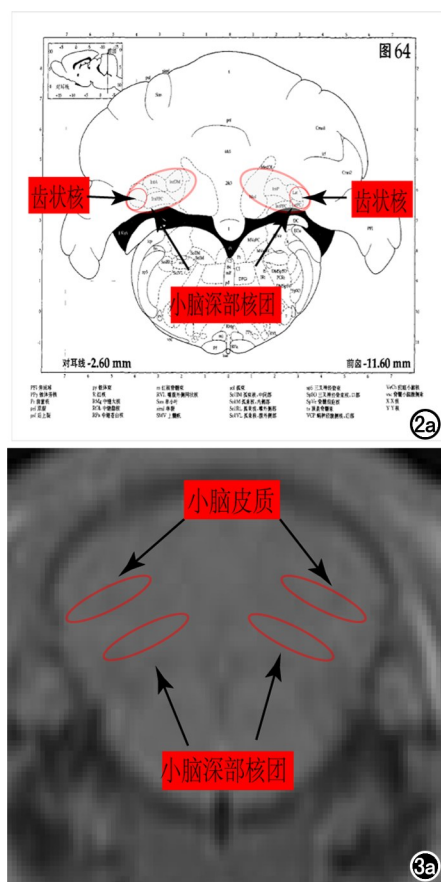


图 2 a) 大鼠脑解剖: 小脑深部核团(DCN)和齿状核的定位(选自《大鼠脑立体定位图谱》第 64 图^[12]); b) 大鼠 MRI T₁WI 图像: DCN 和齿状核的定位, DCN 用于定量分析的 ROI 定位; c) 大鼠 Syn-MRI 图像: DCN 和齿状核的定位, DCN 用于定量分析的 ROI 定位。

(选自《大鼠脑立体定位图谱》第 64 图^[12]); b) 大鼠 MRI T₁WI 图像: 小脑深部核团(DCN)与邻近小脑皮质的定位, 计算 ROI DCN/小脑皮质 T₁WI 信号比值。

5. 统计分析

大鼠 DCN T₁ 弛豫时间与 DCN/小脑皮质 T₁WI 信号强度比值分析采用双方差分析(ANOVA)检测各组间各时间点的差异。在检验正态分布后, 采用 Kruskal-Wallis 检验小脑组织钆浓度的差异。采用 Spearman 相关系数评估大鼠 DCN T₁ 值与 DCN/小脑皮质 T₁WI 信号比值以及 DCN 中钆浓度的相关性。数据分析均采用统计学软件 IBM SPSS Statistics 25.0。以 $P < 0.05$ 为差异有

统计学意义。

结 果

28 只大鼠中, 2 只大鼠(W3、W5)死于麻醉并发症, 1 只大鼠(W4)死于尾静脉感染。最终 25 只大鼠完成了实验。

1. MRI 扫描

在建立线性钆沉积模型初期, 在第 3 周(累积 12 次注射后)大鼠 T₁WI 图像显示 DCN 区域出现显著的

高信号,并在之后的第 4 周与第 5 周更明显(图 4), DCN T_1 值呈逐渐下降趋势,DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值逐渐增高。

分组后钆双胺组大鼠 T_1 WI 图像显示 DCN 信号持续及进行性增高,DCN T_1 值继续呈逐渐下降趋势, DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值逐渐增高。其它组大鼠 T_1 WI 图像显示 DCN 信号未见明显持续增高(图 5),且 DCN T_1 值未见继续下降趋势,DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值未见继续增高(图 6)。

大鼠 DCN T_1 值与 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值呈显著负相关($r=0.89, P<0.01$)。

2.DCN 钆浓度测定

钆双胺组大鼠 DCN 组织中每克组织钆浓度显著高于其它各组(表 1), $P<0.05$ 。DCN T_1 值与 DCN 组织钆浓度呈显著负相关($r=0.87, P<0.05$)。

3.组织学观察

第 5 周处死的大鼠、钆双胺组、钆特酸葡胺组、钆

表 1 大鼠 DCN 末次 MRI 扫描数据与 DCN 浓度比较

分组	DCN T_1 值 (ms)	DCN/小脑皮 质 T_1 WI 信号 强度比值	钆浓度 (ug/g)
正常健康大鼠	1010.98±8.76	1.00±0.27	/
高渗盐水组	994.38±7.86	1.01±0.01	0.90±0.02
第 5 周处死大鼠	814.92±17.45	1.07±0.00	1.53±0.04
钆布醇组	915.50±6.39	1.05±0.01	1.14±0.04
钆双胺组	595.50±20.96	1.15±0.01	2.25±0.14
钆特酸葡胺组	968.90 ±11.80	1.03±0.01	1.09±0.09

布醇组、高渗盐水组大鼠 DCN 区域 HE 染色切片显示绝大多数神经元结构和形态亦未见明显异常(图 7、8)。

讨 论

在 MRI 增强检查中,GBCAs 的使用在疾病诊断中具有重要的作用。GBCAs 根据结构可分为尾部带有 Gd^{3+} 离子的线性类及配体内含 Gd^{3+} 离子的大环类。大环型 GBCAs 钆布醇及钆特酸葡胺其内的 Gd^{3+} 被包裹在环状结构其中,线性 GBCAs 钆双胺中的 Gd^{3+} 在其尾部未有其它结构包绕。尾部带有 Gd^{3+}

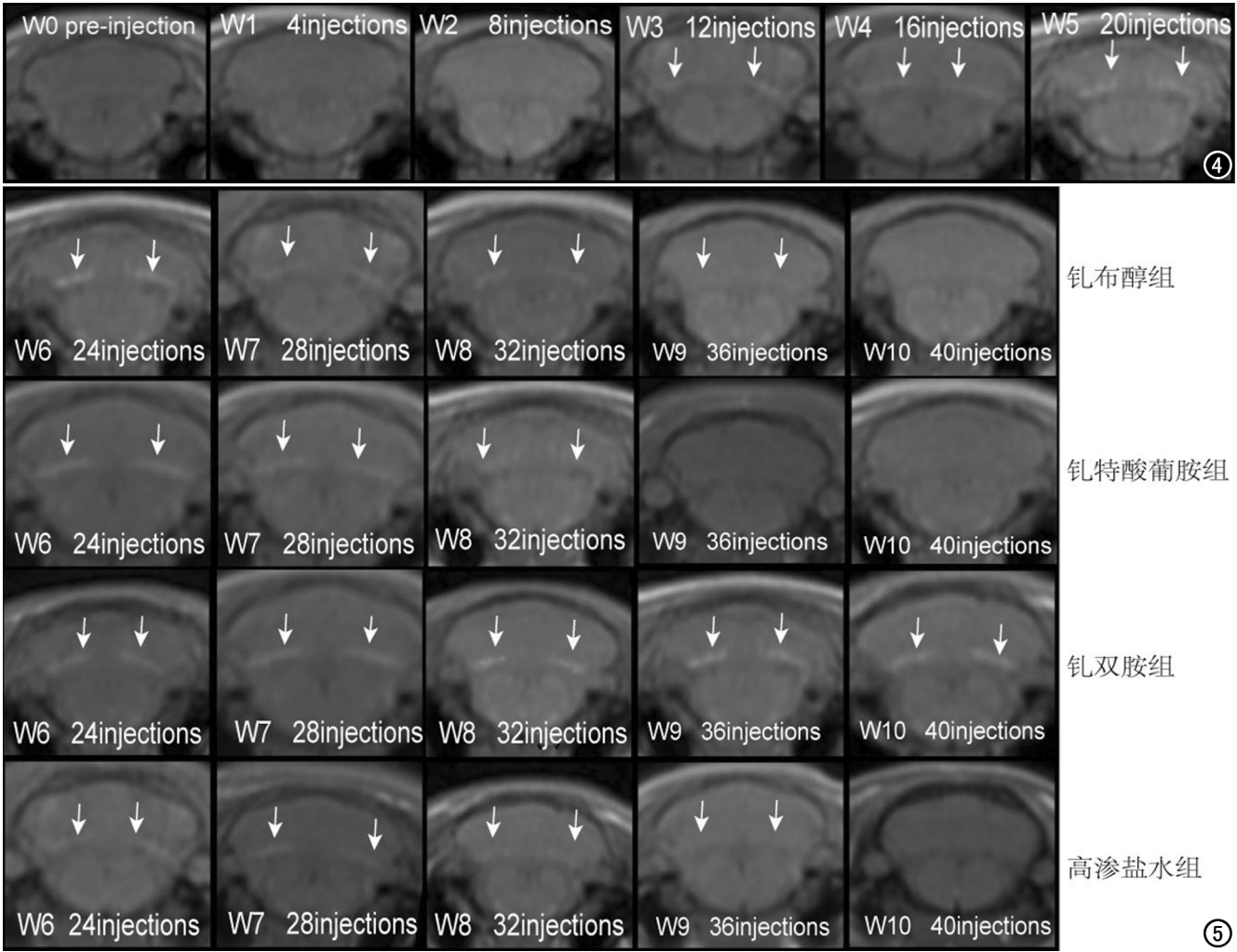


图 4 前 5 周注射钆双胺后大鼠颅脑 T_1 WI 图像,DCN 信号在累计 12 次注射钆双胺后明显增高(箭),并随着累计注射剂量的增多而呈持续而显著的高信号(箭)。图 5 后 5 周分组后大鼠颅脑 T_1 WI 图像,钆双胺组 DCN 信号进行性增高(箭),其它组 DCN 信号未见明显持续增高。

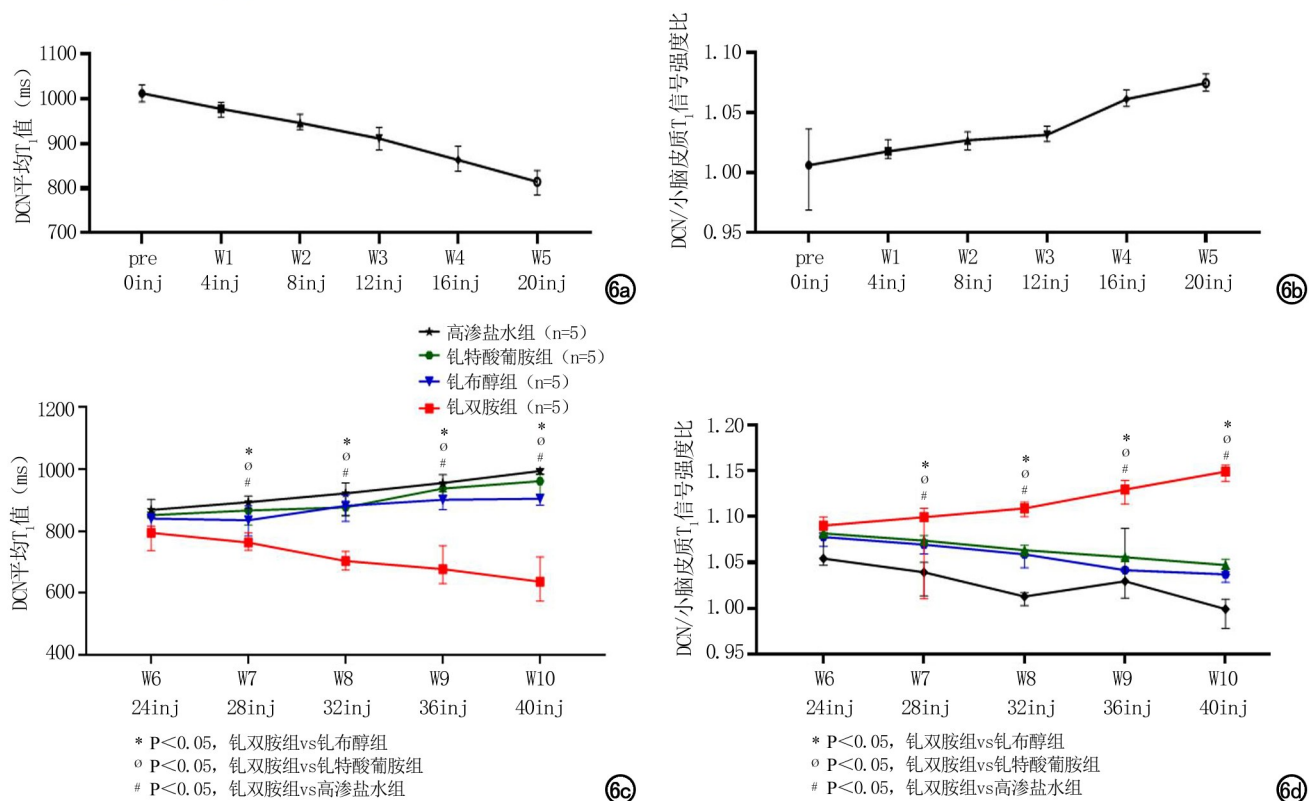


图 6 a、b) 建立线性钆沉积模型前 5 周大鼠 DCN T_1 值随累积注射次数增加呈逐渐下降趋势; b) 建立线性钆沉积模型前 5 周大鼠 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值随累积注射次数的增加逐渐增高; c) 不同分组大鼠 DCN T_1 值随累积注射次数的变化情况, 钆双胺组大鼠继续呈逐渐下降趋势, 其它组大鼠 DCN T_1 值未见继续下降趋势; d) 不同分组大鼠 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值随累积注射次数的变化情况, 钆双胺组逐渐增高, 其他组未见继续增高。

离子的线性类 GBCAs 更易释放 Gd^{3+} 离子。齿状核中的金属成分丰富, 这些金属有机化合物与钆剂的交换通过金属间的跨金属现象发生, 从而释放出游离的 Gd^{3+} 离子, 引起钆剂在齿状核区域中沉积, 从而显示为该区域的低 T_1 弛豫值。在临床常规 GBCAs 用量

为 0.1 mmol/kg (0.2 mL/kg), 人体内 GBCAs 排泄半衰期约为 1.2~2 h, GBCAs 在健康大鼠的排泄半衰期约 0.3 h, 明显短于人类 GBCAs 排泄半衰期 (1.2~2 h), 在本次研究中, 每周注射 4 次 (间隔 24 h) 在 10 周内共给药 40 次, 可减少组织暴露, 并支持较短的给

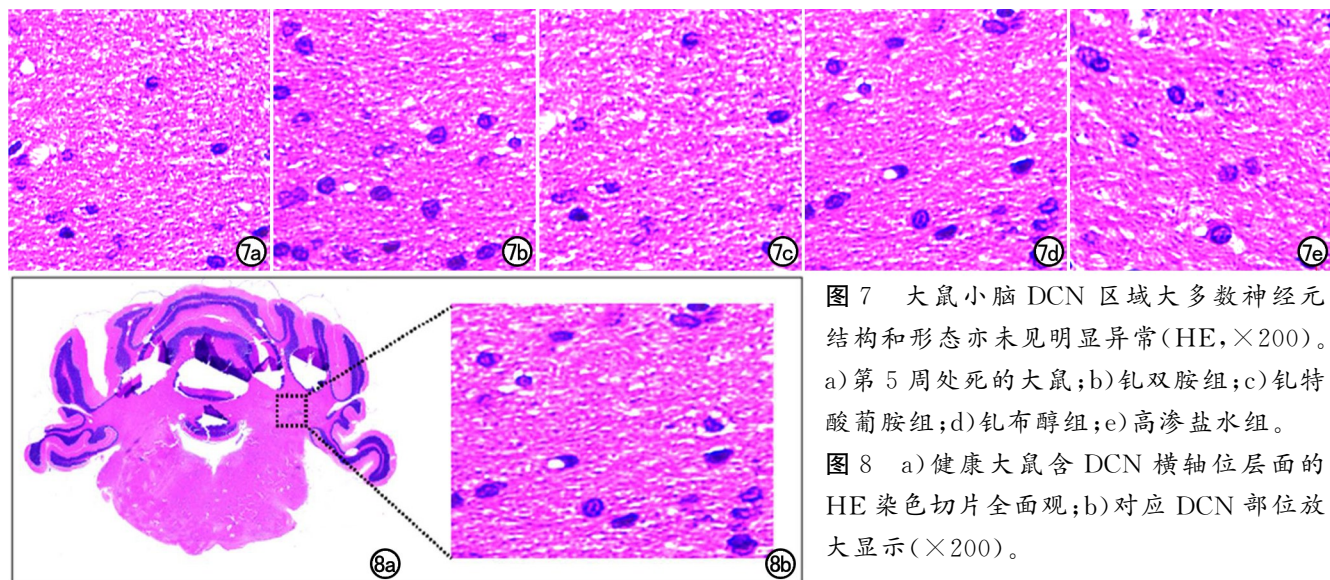


图 7 大鼠小脑 DCN 区域大多数神经元结构和形态亦未见明显异常 (HE, $\times 200$)。a) 第 5 周处死的大鼠; b) 钆双胺组; c) 钆特酸葡胺组; d) 钆布醇组; e) 高渗盐水组。
 图 8 a) 健康大鼠含 DCN 横轴位层面的 HE 染色切片全面观; b) 对应 DCN 部位放大显示 ($\times 200$)。

药时间间隔。根据 FDA 关于动物相对于人体的药物剂量换算方案,本次研究大鼠单次 GBCAs 注射剂量为 0.06 mmol/kg,符合剂量标准。

GBCAs 是一种渗透负荷较低的高渗溶液,但在临床剂量下生理后果可以忽略不计(除非 GBCAs 在注射时外渗),因此本次研究设定高渗盐水组以评估高渗本身是否对 MRI 信号有任何影响。在后期大鼠分组后 5 周内 GBCAs 及高渗盐水注射期间,笔者观察到钆特酸葡胺组与钆布醇组(大环型 GBCAs)大鼠以及高渗盐水组大鼠在后期 DCN T_1 值均有持续的上升,但高渗盐水组大鼠上升更快,笔者推测首先 GBCAs 在人体代谢中随着时间会自然排出部分,其次钆特酸葡胺与钆布醇(大环型 GBCAs)的使用也可能使 DCN 区域 T_1 值降低,但这种降低程度被人体自然代谢所掩盖,因而显示钆特酸葡胺与钆布醇(大环型 GBCAs)组大鼠 DCN T_1 值缓慢上升趋势。

本次研究结果在前 5 周线性钆沉积造模大鼠中,在第 3 周 MRI 扫描图像上见 T_1 WI DCN 显著高信号,这与既往研究中结果一致^[13];后期分组后线性 GBCAs 组大鼠 DCN 信号远远高于大环组及高渗盐水组,笔者推测从线性 GBCAs 转换为大环型 GBCAs 的使用后并不会显著增加钆沉积。当前已有 ICP-MS 结果表明给予不同类型的 GBCAs 后,脑组织中钆沉积存在显著差异^[8],在本次研究 ICP-MS 定量分析中,钆双胺组大鼠 DCN 钆浓度远远高于其它各组,与本次 MRI 扫描测量分析的结果一致。在本次的研究中笔者通过对大鼠 DCN 区域 HE 染色切片分析并未发现相关的脑部病理学损伤出现,同时 DCN 钆浓度的测定也提示接受线性 GBCAs 之后再接受大环型 GBCAs 的安全性相对良好。

定量图谱磁共振成像技术 MAGiC 序列是基于多个回波多个延迟序列的一种新型 MRI 集成序列,具有快速扫描、多组成像等特点,通过调整 TE、TR 及反转时间参数可得到任意对比的图像,以满足不同临床诊断需求。在本研究中,笔者采用定量图谱磁共振成像技术 MAGiC 序列对大鼠 DCN T_1 值进行量化,并同时采用传统信号强度比值来与其作对比。结果显示大鼠 DCN T_1 值与 DCN/小脑皮质 T_1 WI 信号强度比值呈显著负相关($r=0.89, P<0.01$),由于钆的顺磁性效应,可缩短 T_1 弛豫时间,增高 T_1 信号强度,这与本研究的结果一致,提示定量磁共振成像技术在大鼠 DCN 钆沉积定量测量中的可行性。目前许多关于钆沉积的报道是比较同时使用不同类型 GBCAs 后体内钆沉积的差异,而关于接受线性 GBCAs 之后再接受大环型 GBCAs 的相关钆沉积报道较少,本研究前瞻性评估已建立线性钆沉积模型的大鼠在之后连续多次使用不同

类型 GBCAs 后 DCN T_1 值的变化,与传统的 MRI 信号强度比值作比较显示显著相关性,提示定量磁共振成像技术在大鼠 DCN 钆沉积定量测量中的可行性及良好应用价值。

本研究还存在一些局限性:①与临床患者所接受 GBCAs 的剂量相比,本研究中的大鼠受到了更高、更频繁的剂量。在临床患者所接受 GBCAs 的剂量及常见次数下,从线性 GBCAs 转换为大环型 GBCAs 静脉注射后微量元素钆的检测水平预计会大大降低,而且使用通常的人体剂量可能会低于大多数分析仪器的检测限度。还需要进一步研究更低的剂量和更少的使用 GBCAs。②虽然在大鼠脑内钆沉积与神经组织病理损伤似乎没有关系,但之后的生理意义和最终的临床意义是未知的。国内外至今仍然没有明确的证据证明 GBCAs 脑内沉积现象能够引起中枢神经系统或者其他系统的损伤,但是由于 GBCAs 可以分布在羊水、乳汁中,并且能够透过胎盘,以及钆沉积量与接受 GBCAs 剂量相关等危险因素存在,仍需要大量研究探索组织中的 GBCAs 沉积潜在的危害。

综上所述,本研究结果表明,在已出现线性钆沉积的大鼠中,继续使用大环型 GBCAs 钆特酸葡胺及钆布醇相对一直使用线性 GBCAs 脑内钆沉积较少,相对较为安全,为临床上已经出现脑内线性钆沉积的患者选择 GBCAs 提供参考依据。

参考文献:

- [1] 林曦,曾蒙苏,王剑,等.反复静脉注射钆对比剂与钆剂脑内沉积的相关性研究[J].实用放射学杂志,2020,36(11):1853-1856,1876.
- [2] 焦琳琳,段崇峰,于海洋,等.钆塞酸二钠增强 MRI 定量及定性评价肝癌微血管侵犯的价值[J].放射学实践,2021,36(8):1026-1031.
- [3] 毕新军,张学琴,陆健,等.钆塞酸二钠增强 MRI 肝细胞摄取定量参数评估肝功能[J].放射学实践,2021,36(4):514-519.
- [4] 陈明月,周佳伟,崔永征,等.含钆对比剂在脑部沉积研究[J].放射学实践,2019,34(10):1142-1147.
- [5] Ozturk K, Nascene D. Dentate nucleus signal intensity changes on T_1 -weighted MRI after repeated administrations of linear and macrocyclic gadolinium-based contrast agents: a pediatric intraindividual case-control study[J]. Acta Radiol, 2021: 200274489.
- [6] Minaeva O, Hua N, Franz ES, et al. Nonhomogeneous gadolinium retention in the cerebral cortex after intravenous administration of gadolinium-based contrast agent in rats and humans[J]. Radiology, 2020, 294(2): 377-385.
- [7] Ramalho J, Semelka RC, Cruz J, et al. T_1 signal intensity in the dentate nucleus after the administration of the macrocyclic gadolinium-based contrast agent gadoterate meglumine: an observational study[J]. Radiologia (Engl Ed), 2020: S0033-8338(20)30112-0.
- [8] McDonald RJ, McDonald JS, Dai D, et al. Comparison of gadolinium concentrations within multiple rat organs after intravenous administration of linear versus macrocyclic gadolinium chelates[J]. Radi-

- ology, 2017, 285(2): 536-545.
- [9] Layne KA, Raja K, Dargan PI, et al. Gadolinium concentrations in biological matrices from patients exposed to gadolinium-based contrast agents[J]. Invest Radiol, 2021, 56(7): 458-464.
- [10] Ozturk K, Nascene D. Dentate nucleus signal intensity changes on T₁-weighted MRI after repeated administrations of linear and macrocyclic gadolinium-based contrast agents: a pediatric intraindividual case-control study[J]. Acta Radiol, 2021; 200274489.
- [11] Robert P, Violas X, Grand S, et al. Linear gadolinium-based contrast agents are associated with brain gadolinium retention in healthy rats[J]. Invest Radiol, 2016, 51(2): 73-82.
- [12] Paxinos G, Watson C. 大鼠脑立体定位图谱: 第 3 版[M]. 诸葛启钊, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- [13] Jost G, Lenhard DC, Sieber MA, et al. Signal increase on unenhanced T₁-weighted images in the rat brain after repeated, extended doses of gadolinium-based contrast agents: comparison of linear and macrocyclic agents[J]. Invest Radiol, 2016, 51(2): 83-89.

(收稿日期: 2021-10-02 修回日期: 2022-01-06)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字, 节省篇幅, 使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列), 以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

ADC (apparent diffusion coefficient): 表观扩散系数
 ALT: 丙氨酸转氨酶; AST: 天冬氨酸转氨酶
 BF (blood flow): 血流量
 BOLD (blood oxygenation level dependent): 血氧水平依赖
 BV (blood volume): 血容量
 b: 扩散梯度因子
 CAG (coronary angiography): 冠状动脉造影
 CPR (curve planar reformation): 曲面重组
 CR (computed radiography): 计算机 X 线摄影术
 CT (computed tomography): 计算机体层成像
 CTA (computed tomography angiography): CT 血管成像
 CTPI (CT perfusion imaging): CT 灌注成像
 DICOM (digital imaging and communication in medicine): 医学数字成像和传输
 DR (digital radiography): 数字化 X 线摄影术
 DSA (digital subtraction angiography): 数字减影血管造影
 DWI (diffusion weighted imaging): 扩散加权成像
 DTI (diffusion tensor imaging): 扩散张量成像
 ECG (electrocardiography): 心电图
 EPI (echo planar imaging): 回波平面成像
 ERCP (endoscopic retrograde cholangiopancreatography): 经内镜逆行胰胆管造影术
 ETL (echo train length): 回波链长度
 FLAIR (fluid attenuation inversion recovery): 液体衰减反转恢复
 FLASH (fast low angle shot): 快速小角度激发
 FOV (field of view): 视野
 FSE (fast spin echo): 快速自旋回波
 fMRI (functional magnetic resonance imaging): 功能磁共振成像
 IR (inversion recovery): 反转恢复
 Gd-DTPA: 钆喷替酸葡甲胺
 GRE (gradient echo): 梯度回波
 HE 染色: 苏木素-伊红染色
 HRCT (high resolution CT): 高分辨率 CT
 MPR (multi-planar reformation): 多平面重组

MIP (maximum intensity projection): 最大密(强)度投影
 MinIP (minimum intensity projection): 最小密(强)度投影
 MRA (magnetic resonance angiography): 磁共振血管成像
 MRI (magnetic resonance imaging): 磁共振成像
 MRS (magnetic resonance spectroscopy): 磁共振波谱学
 MRCP (magnetic resonance cholangiopancreatography): 磁共振胰胆管成像
 MSCT (multi-slice spiral CT): 多层螺旋 CT
 MTT (mean transit time): 平均通过时间
 NEX (number of excitation): 激励次数
 PACS (picture archiving and communication system): 图像存储与传输系统
 PC (phase contrast): 相位对比法
 PET (positron emission tomography): 正电子发射计算机体层成像
 PS (surface permeability): 表面通透性
 ROC 曲线 (receiver operating characteristic curve): 受试者操作特征曲线
 SPECT (single photon emission computed tomography): 单光子发射计算机体层摄影术
 PWI (perfusion weighted imaging): 灌注加权成像
 ROI (region of interest): 兴趣区
 SE (spin echo): 自旋回波
 STIR (short time inversion recovery): 短时反转恢复
 TACE (transcatheter arterial chemoembolization): 经导管动脉化疗栓塞术
 T₁ WI (T₁ weighted image): T₁ 加权像
 T₂ WI (T₂ weighted image): T₂ 加权像
 TE (time of echo): 回波时间
 TI (time of inversion): 反转时间
 TR (time of repetition): 重复时间
 TOF (time of flight): 时间飞跃法
 TSE (turbo spin echo): 快速自旋回波
 VR (volume rendering): 容积再现
 WHO (World Health Organization): 世界卫生组织
 NAA (N-acetylaspartate): N-乙酰天门冬氨酸
 Cho (choline): 胆碱
 Cr (creatinine): 肌酸

(本刊编辑部)