

钆塞酸二钠增强T₁ mapping成像肝功能评估肝胆期扫描时间的优化

曹勃玲, 陈海东, 陈维鹏, 吴春晓

引用本文:

曹勃玲, 陈海东, 陈维鹏, 等. 钆塞酸二钠增强T₁ mapping成像肝功能评估肝胆期扫描时间的优化[J]. 中国临床医学, 2020, 27(4): 608–612.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201014>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

定量纵向弛豫时间与多期增强MRI评价肾透明细胞癌病理分级的价值对比

Comparison of quantitative T1 mapping and multi-phase enhanced MRI in evaluating pathological grading of clear cell renal cell carcinoma

中国临床医学. 2020, 27(1): 65–70 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20192028>

肺保护性通气降低高原地区全麻患者肺损伤的临床分析

Clinical study of protective ventilation reducing lung injury in patients with general anesthesia in plateau area

中国临床医学. 2020, 27(2): 293–297 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20191899>

孤立性延髓脓肿的临床诊治分析

Clinical diagnosis and treatment of solitary medulla oblongata abscess

中国临床医学. 2020, 27(2): 245–249 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20200343>

喉上神经阻滞用于经口清醒气管插管的临床疗效分析

Clinical observational study of superior laryngeal nerve block in awake fiberoptic orotracheal intubation

中国临床医学. 2020, 27(3): 488–492 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20200850>

吲哚菁绿试验联合Child-Pugh分级评估老年肝细胞癌患者围术期肝功能储备的价值

The value of indocyanine green test combined with Child-Pugh classification in evaluating perioperative liver function reserve in elderly patients with hepatocellular carcinoma

中国临床医学. 2018, 25(3): 400–404 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.2018030>

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201014

钆塞酸二钠增强 T_1 mapping 成像肝功能评估肝胆期扫描时间的优化曹勃玲¹, 陈海东¹, 陈维鹏¹, 吴春晓^{2*}

1. 暨南大学附属珠海医院, 珠海市人民医院医学影像科, 珠海 519000

2. 暨南大学附属珠海医院, 珠海市人民医院肝病科, 珠海 519000

[摘要] 目的:探讨钆塞酸二钠 Gd-EOB-DTPA 增强 T_1 mapping 成像评估肝功能时合理的肝胆期扫描时间。方法:纳入 124 例乙型肝炎肝硬化患者[肝功能 Child-Pugh A 级(LCA)63 例、B 级(LCB)47 例、C 级(LCC)14 例]及 23 例健康体检者(NLF)。患者均采用 Gd-EOB-DTPA 行上腹部平扫及增强扫描,并采用 Look-Locker 序列分别于平扫、增强后 10 min、15 min 及 20 min 采集 T_1 mapping 图像。测量肝脏 T_1 弛豫时间,并计算增强后 10 min、15 min 及 20 min 肝脏 T_1 弛豫时间减低率(ΔT_1)及弛豫率增加值(ΔR_1)。采用重复测量方差分析比较不同级别肝功能组不同时间 T_1 、 ΔT_1 及 ΔR_1 ,采用 ROC 曲线评价 T_1 、 ΔT_1 及 ΔR_1 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的效能。结果:NLF、LCA、LCB 组增强后 10 min、15 min 及 20 min T_1 弛豫时间逐渐减低, ΔT_1 及 ΔR_1 逐渐增加,LCC 组增强后 10 min、15 min 及 20 min T_1 弛豫时间逐渐增加, ΔT_1 逐渐减低。不同时间点 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 差异均有统计学意义($F=23.125, 28.061, 67.421, P=0.000$)。不同组别 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 差异均有统计学意义($F=82.686, 49.041, 70.963, P=0.000$)。增强后 10 min、15 min 与 20 min 的 T_1 弛豫时间鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的 ROC 下面积分别为 0.959、0.949、0.952。 ΔT_1 鉴别两者的 ROC 下面积分别为 0.880、0.879、0.894。 ΔR_1 鉴别两者的 ROC 下面积分别为 0.942、0.934、0.939。增强后 10 min、15 min 与 20 min 的 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 ROC 下面积差异均无统计学意义。结论:采用钆塞酸二钠增强 T_1 mapping 成像评估肝功能时,于增强后 10 min 采集肝胆期图像可满足诊断需求。

[关键词] 肝功能;造影剂;磁共振成像; T_1 mapping;肝胆期**[中图分类号]** R 445 **[文献标志码]** AOptimization of hepatobiliary phase scan time for the assessment of liver function using T_1 mapping on Gd-EOB-DTPA-enhanced magnetic resonance imagingCAO Bo-ling¹, CHEN Hai-dong¹, CHEN Wei-peng¹, WU Chun-xiao^{2*}

1. Department of Medical Imaging, Zhuhai Hospital of Jinan University, Zhuhai People's Hospital, Zhuhai 519000, Guangdong, China

2. Department of Hepatology, Zhuhai Hospital of Jinan University, Zhuhai People's Hospital, Zhuhai 519000, Guangdong, China

[Abstract] **Objective:** To investigate the hepatobiliary phase (HBP) scan time for the assessment of liver function using T_1 mapping on Gd-EOB-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging (MRI). **Methods:** Totally, 124 patients with chronic viral hepatitis B and cirrhosis were classified into three groups as follows: liver cirrhosis with Child-Pugh A (LCA, $n=63$), Child-Pugh B (LCB, $n=47$), and Child-Pugh C (LCC, $n=14$). Twenty-three healthy volunteers with normal liver function (NLF) were enrolled as control group. All patients underwent Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI. To obtain T_1 mapping, Look-Locker sequences before and at 10, 15, and 20 minutes after Gd-EOB-DTPA administration were acquired. T_1 relaxation time of liver was measured on T_1 mapping, reduction rate of T_1 relaxation time (ΔT_1), and increase of relaxation rate (ΔR_1) between pre- and post-enhancement were calculated. Repeated-measures analysis of variance was performed to compare T_1 relaxation time, ΔT_1 , and ΔR_1 among different liver function groups and different time points. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to determine the predictive effect of these parameters in discriminating NLF-LCA and LCB-LCC. **Results:** T_1 relaxation time of NLF, LCA, and LCB groups progressively increased from 10 min, 15 min to 20 min

[收稿日期] 2020-05-01 **[接受日期]** 2020-06-13**[基金项目]** 珠海市科技计划项目(20171009E030093),广东省医学科研基金项目(B2019167). Supported by Zhuhai Science and Technology Plan Project (20171009E030093) and Guangdong Medical Research Fund Project (B2019167).**[作者简介]** 曹勃玲,主治医师. E-mail: cbl00125050@126.com

* 通信作者(Corresponding author). Tel: 0756-2157801, E-mail: drwuchunxiao@126.com

post-contrast, ΔT_1 and ΔR_1 showed a constant decrease from 10 min to 20 min. T_1 relaxation time of LCC gradually decreased and ΔT_1 increased from 10 min to 20 min. T_1 relaxation time, ΔT_1 and ΔR_1 showed significant difference among different time points ($F=23.125, 28.061, 67.421, P=0.000$) and different groups ($F=82.686, 49.041, 70.963, P=0.000$). The areas under the ROC curve of T_1 10 min, T_1 15 min, and T_1 20 min for discriminating NLF-LCA and LCB-LCC were 0.959, 0.949, and 0.952, respectively. The areas under the ROC curve of ΔT_1 10 min, ΔT_1 15 min, and ΔT_1 20 min were 0.880, 0.879, and 0.894, respectively. The areas under ROC curve of ΔR_1 10 min, ΔR_1 15 min, and ΔR_1 20 min were 0.942, 0.934, and 0.939, respectively. No significantly difference ($P>0.05$) was found among the three time points. **Conclusions:** The 10 min HBP is feasible for assessing liver function using T_1 mapping on Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI.

[Key Words] liver function; contrast media; magnetic resonance imaging; T_1 mapping; hepatobiliary phase

钆塞酸二钠 (gadolinium-ethoxybenzyl-diethylenetriamine pentaacetic acid, Gd-EOB-DTPA) 是一种肝细胞特异性 MR 对比剂, 静脉注射后通过 T_1 mapping 成像测量肝实质 T_1 弛豫时间可定量评估肝功能^[1-4], 但目前对于肝胆期扫描时间的选择尚未有明确定论。本研究通过比较分析不同级别肝功能组患者增强后不同扫描时间 T_1 弛豫时间及相关参数, 探讨 Gd-EOB-DTPA 增强 T_1 mapping 成像合理的肝胆期扫描时间。

1 资料与方法

1.1 一般资料 自 2015 年 6 月至 2017 年 7 月共 124 例患者纳入研究, 男性 83 例, 女性 41 例, 年龄 25~80 岁, 平均 (55±11) 岁。纳入标准: 慢性乙型肝炎肝硬化临床怀疑肝脏病变需行 MRI 检查者。排除标准: (1) 肝脏弥漫性病变或巨块型占位; (2) 肝脏部分切除、射频消融或栓塞手术史; (3) 门静脉栓塞或胆道梗阻。其中, 肝硬化肝功能为 Child-Pugh A 级 (LCA) 者 63 例、Child-Pugh B 级 (LCB) 47 例、Child-Pugh C 级 (LCC) 14 例。患者的 Child-Pugh 分级依据肝性脑病、腹水、白蛋白、总胆红素及凝血酶原时间情况, 所有临床化验结果均在 MRI 检查前一周内完成。另纳入同期 23 例无肝病病史、肝功能正常的健康体检者 (normal liver function, NLF) 作为对照组, 其中男性 13 例, 女性 10 例, 年龄 26~69 岁, 平均年龄 (49±14) 岁。本研究为前瞻性研究, 经医院伦理委员会批准, 检查前均签署知情同意书。

1.2 MRI 扫描方法 采用 3.0 T MR 扫描仪 (荷兰, Philips Achieva)、16 通道相控阵体线圈 (SENSE-XL-TORSO) 行上腹部平扫及增强扫描。对比剂采用 Gd-EOB-DTPA (商品名为普美显, 德国拜耳医药保健有限公司生产), 经外周静脉注射, 剂量 0.025 mmol/kg, 速率 1 mL/s, 注射完毕后用

20 mL 生理盐水冲洗, 速率 1 mL/s。常规 MRI 扫描: 平扫序列包括 T_2 WI、 T_1 WI (双回波序列)、DWI (b 值 = 0.800 mm²/s); 采用 T_1 高分辨率各向同性容积激发扫描 (T_1 high resolution isotropic volume excitation, THRIVE) 序列行动态增强扫描, 分别于注射对比剂前及注射对比剂后 20 s、60 s 及 180 s 扫描平扫、动脉期、门静脉期及移行期, 于注射对比剂后 9 min、19 min 扫描肝胆期。 T_1 mapping 扫描: 采用 Look-Locker 序列分别于注射对比剂前及注射对比剂后 10 min、15 min 及 20 min 于近肝门层面采集一层图像, 扫描参数: TR 5.0 ms, TE 1.7 ms, Flip Angle 7°, TI 47 ms, 层厚 8.0 mm, NSA 1, FOV 380 mm×380 mm, 矩阵 98×288, 共 56 期, 扫描时间 20 s。

1.3 图像处理及分析 T_1 mapping 图像的后处理由 2 名具有 10 年以上腹部 MRI 诊断经验的医师采用 MR Map 软件盲法独立完成, 测量前先进行培训, 取平均值作为最终结果。分别在肝脏左外叶、左内叶、右前叶及右后叶各放置一个 ROI, 面积约为 100 mm², 避开大血管、胆管、病灶及伪影, 不同患者不同扫描时间 ROI 尽量放置于同一解剖部位。测量增强前、增强后 10 min、15 min 及 20 min 肝脏 T_1 弛豫时间 (T_1 增强前、 T_1 10 min、 T_1 15 min、 T_1 20 min), 计算增强后 10 min、15 min 及 20 min 肝脏 T_1 弛豫时间减低率 (reduction rate of T_1 relaxation time, ΔT_1)^[4-5] 及肝脏 T_1 弛豫率增加值 (increase of relaxation rate, ΔR_1)^[6]。 $\Delta T_1 = [(T_1 \text{ 增强前} - T_1 \text{ 增强后}) / T_1 \text{ 增强前}] \times 100\%$; $\Delta R_1 = (1/T_1 \text{ 增强后}) - (1/T_1 \text{ 增强前})$ 。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析。对测量数据先行正态性检验, 均符合正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示。不同级别肝功能组不同时间 T_1 、 ΔT_1 及 ΔR_1 的比较采用重复测量方差分析, 两两比较采用 Bonferroni 法。采用 ROC 曲线评价

T_1 、 ΔT_1 及 ΔR_1 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的效能,并采用 Z 检验比较 ROC 下面积。检验水准 (α)为 0.05。

2 结果

2.1 不同级别肝功能组增强后 10 min、15 min 与 20 min T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 结果(表 1、图 1)表明:NLF、LCA、LCB 组增强后 10 min、15 min 及 20 min T_1 弛豫时间逐渐减低, ΔT_1 及 ΔR_1 逐渐增加,LCC 组增强后 10 min、15 min 及 20 min T_1 弛

豫时间逐渐增加, ΔT_1 逐渐减低。 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 不同组别与时间之间均存在交互作用 ($F=8.374,9.144,11.327,P=0.000$);不同时间点 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 差异均有统计学意义 ($F=23.125,28.061,67.421,P=0.000$),各参数组内两两比较差异均有统计学意义 ($P<0.05$);不同组别 T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 差异均有统计学意义 ($F=82.686,49.041,70.963,P=0.000$),各参数组内两两比较除 NLF 与 LCA 组 ΔT_1 外余差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。

表 1 不同肝功能组增强后 10 min、15 min 与 20 min T_1 弛豫时间(ms)、 ΔT_1 (%)及 ΔR_1 ($\times 10^{-3}$)

组别	T_1 10 min	T_1 15 min	T_1 20 min	ΔT_1 10 min	ΔT_1 15 min	ΔT_1 20 min	ΔR_1 10 min	ΔR_1 15 min	ΔR_1 20 min
NLF	276.7 $\pm$ 32.6	254.2 $\pm$ 32.2	233.8 $\pm$ 37.6	64.3 $\pm$ 5.5	67.2 $\pm$ 5.6	69.7 $\pm$ 6.8	2.4 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 0.6	3.1 $\pm$ 0.7
LCA	332.7 $\pm$ 50.6	307.9 $\pm$ 56.1	280.0 $\pm$ 54.1	60.5 $\pm$ 5.7	63.4 $\pm$ 6.2	66.7 $\pm$ 6.0	1.9 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.6	2.5 $\pm$ 0.7
LCB	451.0 $\pm$ 78.6	439.6 $\pm$ 96.6	429.1 $\pm$ 109.4	51.5 $\pm$ 7.4	52.7 $\pm$ 9.3	53.9 $\pm$ 10.7	1.2 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.5
LCC	529.6 $\pm$ 51.4	545.4 $\pm$ 89.5	552.4 $\pm$ 112.9	45.5 $\pm$ 5.6	43.9 $\pm$ 9.1	43.2 $\pm$ 11.5	0.9 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.5

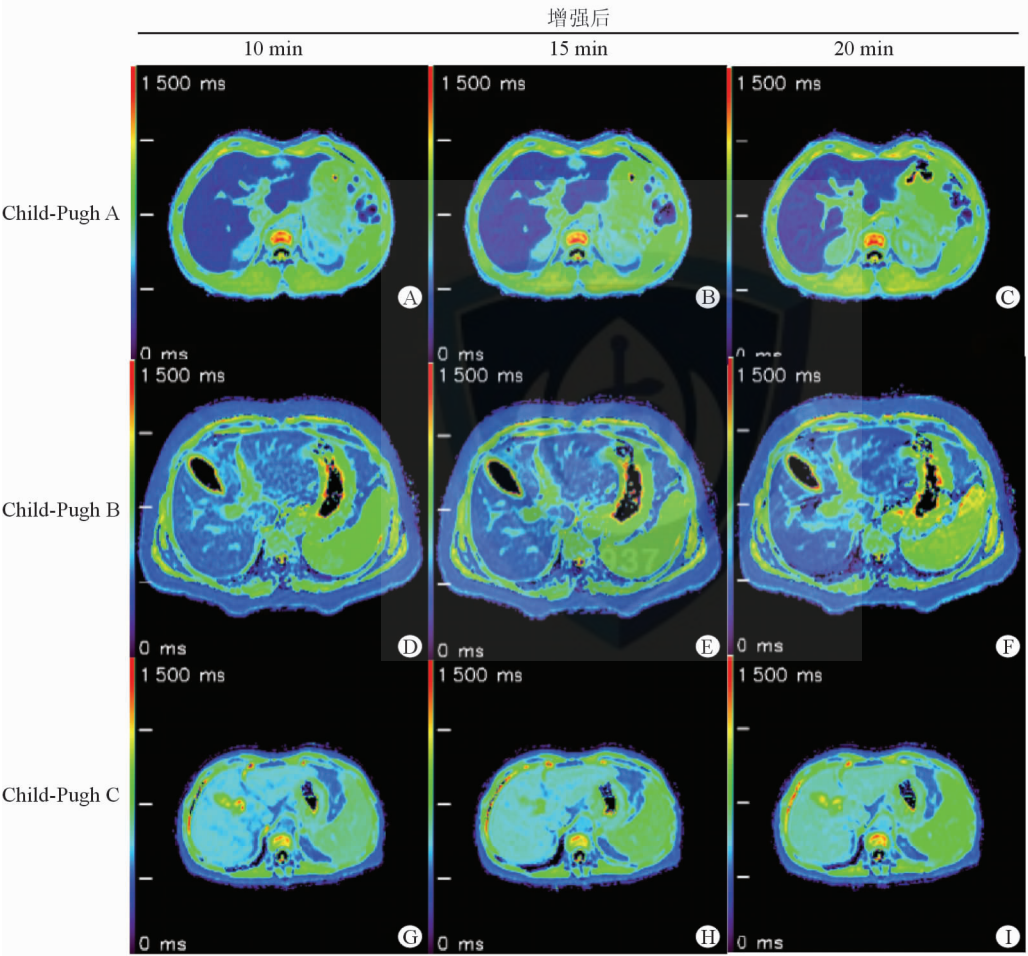


图 1 不同 Child-Pugh 分级患者肝脏 T_1 mapping 弛豫时间

增强后 10 min、15 min 及 20 min 肝脏 T_1 mapping 图像,随时间延长,Child-Pugh A 级肝脏 T_1 弛豫时间分别为 371、353、330 ms;Child-Pugh B 级分别为 465、431、407 ms;Child-Pugh C 级分别为 593、624、664 ms。各组间不同时间点 T_1 弛豫时间均随着肝功能损害程度加重而逐渐升高,肉眼可见伪彩色逐渐增强

2.2 增强后 10 min、15 min 与 20 min T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 及 ΔR₁ 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的效能 增强后 10 min、15 min 与 20 min 的 T₁ 弛豫时间鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的 ROC 下面积分别为 0.959、0.949、0.952,差异均无统计学意义($P>0.05$);增强后 10 min、15 min 与 20 min 的

ΔT₁ 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的 ROC 下面积分别为 0.880、0.879、0.894,差异均无统计学意义($P>0.05$);增强后 10 min、15 min 与 20 min 的 ΔR₁ 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的 ROC 下面积分别为 0.942、0.934、0.939,差异均无统计学意义($P>0.05$,表 2)。

表 2 增强后 10 min、15 min 与 20 min T₁ 弛豫时间(ms)、ΔT₁ (%)及 ΔR₁ (×10⁻³)鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的效能

组别	ROC 下面积	95%CI	阈值	敏感度(%)	特异度(%)	阳性似然比	阴性似然比
T ₁ 10 min	0.959	0.913~0.985	381.0	90.2	90.7	9.7	0.1
T ₁ 15 min	0.949	0.918~0.981	362.0	86.9	89.5	8.3	0.2
T ₁ 20 min	0.952	0.903~0.980	330.0	90.2	87.2	7.1	0.1
ΔT ₁ 10 min	0.880	0.816~0.928	56.1	80.3	81.4	4.3	0.2
ΔT ₁ 15 min	0.879	0.823~0.935	58.2	78.7	83.7	4.8	0.3
ΔT ₁ 20 min	0.894	0.833~0.939	60.4	78.7	89.5	7.5	0.2
ΔR ₁ 10 min	0.942	0.891~0.974	1.5	86.9	88.4	7.5	0.2
ΔR ₁ 15 min	0.934	0.897~0.972	1.5	78.7	93.0	11.3	0.2
ΔR ₁ 20 min	0.939	0.887~0.972	1.6	78.7	95.3	16.9	0.2

3 讨 论

Gd-EOB-DTPA 同时具有非特异性细胞外间隙对比剂和肝细胞特异性对比剂的特性,静脉注射后,首先分布于细胞外间隙由肾小球滤过并经肾脏排泄,随后通过肝细胞膜上的有机阴离子转运多肽从细胞外间隙转运至肝细胞内,由肝细胞特异性摄取,再通过多药抵抗蛋白载体经胆道排泄,正常情况下,两种排泄方式各占 50%左右,且两种排泄方式可相互代偿^[4,7-8]。正常情况下肝细胞对 Gd-EOB-DTPA 的摄取由静脉注射后 1.5 min 开始,20 min 时摄取量达到注射量的 50%,且可持续至少 60 min^[7]。因此多采用延迟 20 min 作为肝胆期扫描时间,但时间过长不利于临床广泛应用。Tamada 等^[9]研究发现,使用 1.5 T MRI,延迟 10 min 采集肝胆期肝实质信号强度已达到 20 min 时的 85%以上。因此采用 3.0 T MRI 对不同级别肝功能组患者行 T₁ mapping 成像,进一步探讨延迟 10 min 扫描肝胆期的临床可行性。

本研究显示,T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 及 ΔR₁ 不同组别与时间之间均存在交互作用,增强后不同时间点及不同组别 T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 及 ΔR₁ 均有显著差异。NLF、LCA、LCB 组 T₁ 弛豫时间随着扫描时间延长而逐渐减低,ΔT₁ 及 ΔR₁ 随着扫描时间延长而增加,与 Zhou 等^[10] 研究结果不同,说明 NLF、

LCA、LCB 组增强后至 20 min 肝实质仍然在持续摄取对比剂。本研究中,LCC 组增强后随着扫描时间延长,T₁ 弛豫时间逐渐增加,ΔT₁ 逐渐减低,LCC 组增强后 10 min、15 min 及 20 min T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 及 ΔR₁ 的变化不同于其他各组,考虑与 LCC 组患者肝功能极差有关,肝功能损伤严重时肝细胞转运蛋白的表达及功能紊乱,使肝细胞对 Gd-EOB-DTPA 摄取减少的同时排泄增加,此外肾脏发挥代偿机制、更多对比剂经肾脏排泄,经肝细胞摄取、胆道排泄的对比剂总量减少,反映了对于肝功能极差患者,延长扫描时间对肝功能的评估价值不大^[1]。本研究增强后 10 min、15 min 及 20 min T₁ 弛豫时间均随着肝功能损害程度加重而逐渐升高,ΔT₁ 及 ΔR₁ 逐渐减低,与文献^[1,4] 报道基本一致。

Zhou 等^[10] 研究发现,增强后 10 min 与 20 min T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 鉴别 LCB 或 LCC 组与其他肝功能组的效能较高(ROC 下面积多在 0.800~1.000 间),鉴别 NLF 与 LCA 组的效能较低(均在 0.500~0.600)。本研究中,增强后 10 min、15 min 及 20 min 的 T₁ 弛豫时间、ΔT₁ 及 ΔR₁ 鉴别 NLF-LCA 与 LCB-LCC 组的 ROC 下面积均大于 0.800,敏感度和特异度大部分大于 80%,且增强后 10 min、15 min 与 20 min 各参数间差异均无统计学意义,也说明采用 Gd-EOB-DTPA 增强 T₁ mapping 成像评

估肝功能方面,肝胆期扫描时间采用 10 min 已足够。Zhou 等^[11]通过对兔纤维化模型行 Gd-EOB-DTPA 增强 T_1 mapping 成像发现,增强后 10 min 与 20 min T_1 弛豫时间与吲哚菁绿排泄试验 R_{15} 显著正相关、 ΔT_1 与 R_{15} 显著负相关,从而推荐 10 min 作为肝功能评估的肝胆期扫描时间。本研究主要采用 Child-Pugh 肝功能分级法,亦得到相同结论。

本研究具有以下局限性。(1)对肝功能的分组仅采用了 Child-Pugh 分级法;(2)采用 Look-Locker 序列行肝脏 T_1 mapping 成像,仅能采集一层图像。

综上所述,本研究通过采用 Gd-EOB-DTPA 增强 T_1 mapping 成像后,比较增强后 10 min、15 min 与 20 min T_1 弛豫时间、 ΔT_1 及 ΔR_1 对肝功能的评价能力发现,于增强后 10 min 采集肝胆期图像可满足诊断需求,有利于临床推广应用。

参考文献

- [1] 张学琴,陆健,张涛,等. 钆塞酸二钠增强 T_1 mapping 成像评估肝功能的价值[J]. 中华放射学杂志, 2018,52(1): 30-35.
- [2] KIM J W, LEE C H, KIM S B, et al. Washout appearance in Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging: a differentiating feature between hepatocellular carcinoma with paradoxical uptake on the hepatobiliary phase and focal nodular hyperplasia-like nodules[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(6):1599-1608.
- [3] BESA C, BANE O, JAJAMOVICH G, et al. 3D T_1 relaxometry pre and post gadoteric acid injection for the assessment of liver cirrhosis and liver function[J]. Magn Reson Imaging, 2015,33(9):1075-1082.
- [4] KATSUBE T, OKADA M, KUMANO S, et al. Estimation of liver function using T_1 mapping on Gd-EOB-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging[J]. Invest Radiol, 2011,46(4):277-283.

- [5] HAIMERL M, SCHLABECK M, VERLOH N, et al. Volume-assisted estimation of liver function based on Gd-EOB-DTPA-enhanced MR relaxometry[J]. Eur Radiol, 2016,26(4):1125-1133.
- [6] DAHLQVIST LEINHARD O, DAHLSTRÖM N, KIHILBERG J, et al. Quantifying differences in hepatic uptake of the liver specific contrast agents Gd-EOB-DTPA and Gd-BOPTA: a pilot study[J]. Eur Radiol, 2012,22(3): 642-653.
- [7] RINGE K I, HUSARIK D B, SIRLIN C B, et al. Gadoteric acid disodium-enhanced MRI of the liver: part 1, protocol optimization and lesion appearance in the noncirrhotic liver[J]. AJR Am J Roentgenol, 2010,195(1): 13-28.
- [8] CHOI Y, HUH J, WOO D C, et al. Use of gadoteric acid disodium for functional MRI based on its unique molecular mechanism[J]. Br J Radiol, 2016,89(1058):20150666.
- [9] TAMADA T, ITO K, HIGAKI A, et al. Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging: evaluation of hepatic enhancement effects in normal and cirrhotic livers[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3):e311-e316.
- [10] ZHOU Z P, LONG L L, QIU W J, et al. Comparison of 10- and 20-min hepatobiliary phase images on Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI T_1 mapping for liver function assessment in clinic[J]. Abdom Radiol (NY), 2017,42(9):2272-2278.
- [11] ZHOU Z P, LONG L L, HUANG L J, et al. Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI T_1 mapping for assessment of liver function in rabbit fibrosis model: comparison of hepatobiliary phase images obtained at 10 and 20 min[J]. Radiol Med, 2017,122(4):239-247.
- [12] NAKAGAWA M, NAMIMOTO T, SHIMIZU K, et al. Measuring hepatic functional reserve using T_1 mapping of Gd-EOB-DTPA enhanced 3T MR imaging: a preliminary study comparing with ^{99m}Tc GSA scintigraphy and signal intensity based parameters[J]. Eur J Radiol, 2017,92:116-123.

[本文编辑] 廖晓瑜,贾泽军