

· 论 著 ·

## T1-mapping 序列在心肌梗死定量分析中的临床应用\*

罗芳<sup>1</sup>, 周绍权<sup>2△</sup>, 徐刚<sup>2</sup>, 顾敏<sup>2</sup>, 卢小军<sup>2</sup>, 慕长萍<sup>2</sup>

(1. 重庆市中医院脾胃科 400021; 2. 重庆市人民医院中山院区放射科 400013)

**摘要:**目的 分析 T1-mapping 序列显示心肌受损的模式和定量分析心肌梗死的范围和程度。方法 收集 50 例心肌梗死患者作为试验组, 20 例健康志愿者为对照组。用 1.5 T 磁共振进行心脏扫描。扫描序列包括磁共振黑血反转恢复成像技术(T2WI-STIR)、首过灌注、延迟强化、心肌电影和 T1-mapping 序列。对比分析 T1-mapping 与常规序列显示心肌病变范围和灵敏度。结果 试验组心肌 T1 值与对照组相比差异具有统计学意义[(1 220.0±50.0)ms vs. (981.0±23.0)ms,  $P<0.05$ ], T1-mapping 显示受累心肌病变范围比 T2WI-STIR 更准确。T1-mapping 能敏感显示局灶性心肌梗死, 特别对早期心内膜下心肌梗死显示较清楚。T1-mapping 与 T2WI-STIR 比较, 其显示心肌梗死灵敏度、阳性预测值均较高, 但其特异度相对较低。结论 T1-mapping 序列不使用对比剂可准确显示病变心肌范围并可进行定量分析, 对局灶性心肌梗死显示更有优势。

**关键词:** T1-mapping; 心肌梗死; 心脏磁共振; 延迟强化

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-9455.2017.15.008 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9455(2017)15-2188-04

## Application of quantitative analysis of T1-mapping in myocardial infarction\*

LUO Fang<sup>1</sup>, ZHOU Shaoquan<sup>2△</sup>, XU Gang<sup>2</sup>, GU Min<sup>2</sup>, LU Xiaojun<sup>2</sup>, MU Changping<sup>2</sup>

(1. Department of Spleen-Stomach, Chongqing Traditional Chinese Medicine Hospital, Chongqing 400021,

China; 2. Department of Radiology, Zhongshan District of Chongqing General Hospital, Chongqing 400013, China)

**Abstract:** **Objective** To discuss patterns of myocardial injury detected by T1-mapping and quantify myocardial involvement in myocardial infarction. **Methods** A total of 50 patients with suspected acute myocardial infarction (test group) and 20 healthy people (control group) were selected as subjects. The hearts were scanned using 1.5 T cardiac magnetic resonance scanners. Scanning sequences were as following: dark-blood T2 weighted imaging (T2WI-STIR), first pass perfusion, late gadolinium enhancement, myocardial cine and native T1-mapping. T1-mapping additional value was compared to traditional CMR sequences. **Results** T1 value of test group was significantly higher than that of the control group [(1 220.0±50.0)ms vs. (981.0±23.0)ms,  $P<0.05$ ]. And extent of disease showed by T1-mapping was more accurate than T2WI-STIR. The focal myocardial infarction was showed sensitively by T1-mapping, especially displayed the early endocardial infarction. Compared with T2WI-STIR sequence, T1-mapping had higher sensitivity and positive predictive rate for myocardial infarction, however, its specificity was relatively low. **Conclusion** T1-mapping could show extent of disease of myocardium accurately, which could also conducted quantitative analysis. It may be especially useful in identifying subtle focal disease when conventional methods are not feasible.

**Key words:** T1-mapping; myocardial infarction; cardiovascular magnetic resonance; late gadolinium enhancement

心肌梗死是由于冠状动脉病变引起管腔狭窄使相应供血区域心肌缺血缺氧, 导致功能障碍并可进一步发展引起心肌细胞死亡。心肌细胞因缺血灌注出现心肌细胞膜通透性改变、酶功能异常、含水量增加, 心肌细胞及其周围可出现炎性反应。磁共振黑血反转恢复成像技术(T2WI-STIR)是传统用于显示心肌水肿的标准序列, 其可以进行半定量分析, 如测量病变心肌与正常心肌或骨骼肌比值(SI)半定量判断心肌水肿范围和程度, 若病变累及整个心肌或仅局限小范围病变, 这种方法就不准确或不能显示病变。心肌对比剂首过灌注、心肌电影图像结合心肌延迟强化序列(LEG)是传统判断心肌活性的方法。传统检查方法过程复杂, 需要用钆剂, 常会出现多种伪影, 如慢血流高信号、心率不齐或屏气不良等均可引起伪影或降低图像质量, 且对心内膜下、心尖部、局灶性心肌梗死显示不敏感并易漏诊。

T1-mapping 序列是新近用于检查心肌活性的新技术, 其成像基本原理是在不同的纵向弛豫时间(T1)间期内进行多次

反复采集心肌舒张中晚期图像并进行复杂后处理运算所获得的能定量测定心肌 T1 值的伪彩图<sup>[1]</sup>。T1-mapping 图直接测量 T1 值改变来判断心肌水肿情况, 有关研究表明, 任何组织在特定的磁场中有特定的 T1 值<sup>[2]</sup>。T1-mapping 序列的优势在于, 它不需要对比剂增强检查和正常心肌细胞作为对照来判断病变心肌, 故 T1-mapping 发现心肌病变更准确和客观<sup>[3-4]</sup>。本研究采用 T1-mapping 对早期心肌梗死患者进行检查, 现将结果报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究采用回顾性研究方法, 收集重庆市人民医院中山院区 2014 年 2 月至 2016 年 3 月临床诊断为心肌梗死并长期随访患者共 50 例为试验组, 其中男 26 例, 女 24 例; 患者平均年龄(55.0±13.0)岁。所有患者均在发病 2 周内进行心脏磁共振检查。纳入标准: (1) 患者有急性胸痛临床症状; (2) 心肌钙蛋白 I 升高, >0.04 μg/L。排除标准: (1) 磁共振检查禁忌证和钆剂使用禁忌证; (2) 血液动力学不稳定, 如

\* 基金项目: 重庆市渝中区基础与前沿研究计划项目(20150130)。

作者简介: 罗芳, 女, 护师, 主要从事心腹部疾病方面研究。△ 通信作者, E-mail: 513129149@qq.com。

收缩压小于 90 mm Hg, 主动脉内球囊反搏、严重心率失常; (3) 陈旧性心肌梗死者和有慢性心肺功能不全者。同时收集 20 例健康志愿者为对照组, 其中男 12 例, 女 8 例; 平均年龄 (56.0±8.0) 岁。对照组心电图均正常, 无心脏病史和心脏病危险因素, 无任何心肺疾病手术史和心肺疾病临床症状。所有研究对象均签署知情同意书。

**1.2 方法** 所有研究对象均行心脏磁共振检查 (1.5 T MR scanner, Avanto, Siemens Healthcare, Germany), 使用 16 通道心脏专用线圈。心脏定位图像用心电门控的 FISP 序列。TRUFI 序列用于左室短轴电影成像, 从心底无间隔扫描至心尖部, 共 10~12 层, 扫描参数: 重复时间 (TR), 55 ms; 回波时间 (TE), 1.1 ms; 反转角, 67°; 层厚, 8 mm; 层间距, 2 mm; 采集矩阵, 192 mm×109 mm; 视野, 320 mm×400 mm。黑血 T2WI-STIR 序列: TR, 430 ms; TE, 52 ms; TI, 170 ms, 反转角, 180°; 层厚, 8 mm; 采集矩阵, 256 mm×156 mm; 视野, 320 mm×400 mm。T1-mapping 序列使用 MOLLI 序列: 层厚, 8 mm; TR, 740 ms; TE, 1.06 ms; 反转角, 35°; 平行成像因素 2; 采集矩阵, 192 mm×124 mm; 视野, 320 mm×400 mm。延迟强化采用 PSIR 序列, 在对比剂注入后约 10 min 进行扫描, 参数: TR, 600 ms; TE, 3.4 ms; 反转角, 25°; 层厚, 8 mm; 采集矩阵, 256×156 mm; 视野, 320 mm×400 mm。电影图像、T2WI-STIR、T1-mapping 及延迟强化图像的扫描位置和层厚相同。磁共振对比剂使用马根维显, 用量为 0.2 mL/kg; 首过灌注先给总量 2/3, 灌注结束后再给剩下 1/3 量作为延迟显像用, 灌注流速为 3 mL/s, 延迟流速为 1 mL/s; 首过灌注和延迟给药后分别再给予对应相同速率 20 mL 生理盐水冲管。

**1.3 图像分析** 使用西门子 Argus 工作站进行图像后处理, 匹配所有电影图像、T2WI-STIR、T1-mapping 和 LGE 图, 去除伪影明显和质量不佳图像。T2WI-STIR 显示, 当 SI>2:1 时, 诊断心肌存在水肿, 并勾画出水肿范围。T1-mapping 可自

动显示出异常心肌区域并通过不同的颜色来区分。所有心肌轴位图像均采用美国心脏学会 17 段分段法进行分段。13% 节段电影图像因流出道伪影和运动伪影而除。25% 节段 T2WI 图像因呼吸运动伪影, 图像信号缺失和偏共振伪影而不符合要求。19% 节段 T1-mapping 图像因运动伪影、部分容积效应和信噪比 (SNR) 低而不能用于诊断。7% 节段延迟图因运动伪影和低 SNR 而去除。图像后处理分别由两名具有副高级职称心血管组医师进行测量、区分并记录。

**1.4 统计学处理** 采用统计学软件 SPSS17.0 进行分析, 正态分布的计量资料采用  $\bar{x}\pm s$  表示, 组间比较采用 *t* 检验; 非正态分布的计量资料用中位数和四分位数间距 [ $M(P_{25}, P_{75})$ ] 表示, 组间比较采用秩和检验。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 两组研究对象一般资料比较** 结果显示, 两组研究对象一般资料比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 具有可比性, 见表 1。

**2.2 心脏磁共振 检查结果同对照组比较** 试验组患者射血分数轻度降低但差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。T1-mapping 心肌梗死区 T1 值升高, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。为进一步分析 T1-mapping 显示异常的心肌特性, 将 T1-mapping 异常组心肌再细分为 3 组, 分别为亚组 I: 心肌有水肿和延迟强化, 提示确切心肌细胞坏死; 亚组 II: 仅有心肌细胞水肿, 无延迟强化, 提示心肌细胞处于缺血期, 心肌细胞功能异常, 经积极治疗心肌细胞功能可恢复正常; 亚组 III: 无心肌水肿和延迟强化, 提示没有心肌细胞功能异常和细胞坏死, 可能是由于心肌细胞点状坏死所致, 在短时间反转恢复序列 (STIR) 和 LGE 上均无显示。亚组 I 的 T1 值、LGE 和 T2 信号强度比值 (T2 SI) 与对照组比较, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。故 T1-mapping 对显示心肌水肿和 LGE 异常心肌灵敏度更高、更准确。见表 2。

表 1 两组研究对象一般资料比较

组别	n	年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$ )	男/女 (n/n)	高血压 [n(%)]	高血脂 [n(%)]	吸烟 [n(%)]	糖尿病 [n(%)]	家族史 [n(%)]	肌钙蛋白 I [ $\mu\text{g/L}$ , $M(P_{25}, P_{75})$ ]
对照组	20	56.0±8.0	12/8	—	—	4(20.0)	—	—	—
试验组	50	55.0±13.0	26/24	10(20.0)	18(36.0)	10(20.0)	16(32.0)	7(14.0)	9.6(2.8, 38.0)
P		0.74	0.65	—	—	0.58	—	—	—

注: —表示该项无数据

表 2 对照组和试验组心脏磁共振检查结果比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	n	射血分数 (%)	左心室质量 (g/m <sup>2</sup> )	左心室舒张末期 容积(mL/m <sup>2</sup> )	左心室收缩末期 容积(mL/m <sup>2</sup> )	T2 SI	T1 (ms)	T1≥1 200 ms [% , $M(P_{25}, P_{75})$ ]	LGE [% , $M(P_{25}, P_{75})$ ]
对照组	20	71.0±4.0	52.0±11.0	77.0±16.0	19.0±5.0	1.55±0.14	981.0±23.0	0(0,1)	0(0,1)
试验组	50	64.0±13.0	51.0±8.0	75.0±19.0	21.0±5.0	1.75±0.30*	1 220.0±50.0*	30(15,60)*	11(4,20)*
亚组 I	37	61.0±11.0*	51.0±10.0	73.0±10.0	22.0±19.0*	1.79±0.24*	1 334.0±62.0*	47(25,69)*	19(8,23)*
亚组 II	5	69.0±8.0	51.0±14.0	75.0±19.0	20.0±8.0	1.59±0.19	1 207.0±76.0*	15(12,29)*	3(1,5)*
亚组 III	8	71.0±5.0	52.0±4.0	76.0±11.0	19.0±11.0	1.56±0.11	994.0±55.0	5(2,9)	1(0,2)

注: 与对照组比较, \*  $P<0.05$

**2.3 灵敏度和特异度分析** T1-mapping 显示 T1 值增加区域与 T2WI 显示水肿区域和延迟强化区域基本相似, 但 T1 值异常区域常常大于 T2WI 和 LGE 显示异常区域。进一步判断评估心肌梗死患者正常心肌节段与对照组正常心肌节段 T1 值

是否存在差异, 结果表明, 试验组正常心肌节段与对照心肌 T1 值差异无统计学意义 [(990.0±27.0) ms vs. (981.0±23.0) ms,  $P=0.16$ ]。本研究结果表明 T1-mapping 与 LGE 两种检查方法诊断心肌梗死的灵敏度和准确性高于 T2WI-STIR, 差

异均有统计学意义( $P < 0.05$ );但 T1-mapping 与 LGE 之间差异无统计学意义,表明 T1-mapping 与 LGE 对发现心肌梗死病

变灵敏度相似。说明 T1-mapping 在缺血性或非缺血性心肌梗死的诊断上均明显优于 T2WI-STIR,见表 3。

表 3 不同检查方法对心肌梗死的诊断效果分析(%)

指标	灵敏度	特异度	准确性	阳性预测值	阴性预测值
T1-mapping	90.0*	72.0*	84.0*	93.0*	88.0*
T2WI-STIR	70.0*	87.0*	71.0*	80.0*	60.0*
LGE	72.0	96.0	86.0	97.0	67.0
T1-mapping+T2WI-STIR	80.0	96.0	85.0	95.0	51.0
T1-mapping+LGE	69.0	97.0	89.0	98.0	64.0
T1-mapping+T2WI-STIR+LGE	50.0	97.0	70.0	98.0	58.0

注:与 LGE 比较,\*  $P < 0.05$

### 3 讨 论

T1-mapping 通过多次采集心动周期中晚期不同 T1 值图像进行后处理后获得图像,图像分辨率高,并用伪彩可区别显示不同 T1 值,对感兴趣区心肌值可直接进行测量<sup>[5]</sup>。在本研究中,T1-mapping 诊断心肌梗死有如下优势:(1)T1-mapping 能够发现局灶性和小范围的心肌梗死,而 T2WI-STIR 和 LGE 图像常不能显示,提示 T1-mapping 在诊断非缺血性心肌梗死具有优势;(2)T1-mapping 比 T2WI 和 LGE 图能显示更大范围的病变,表明 T1-mapping 在显示病变与传统方法相比灵敏度更高;(3)T1-mapping 对心肌梗死病变显示类似于 LGE,但不需要对比剂增强检查,扫描时间短,过程简单。

心肌梗死 T1 值增加和 T2 SI 值的升高均支持心肌水肿,是心肌梗死早期病理生理改变。心肌水肿引起 T1 值增加不仅仅是细胞内含水量增加,同时也反映了细胞内外自由水与结合水组成改变,而 T1-mapping 对这种组成改变也能敏感显示,而 T2WI-STIR 不能显示,故 T1-mapping 在病变范围的显示大于 T2WI-STIR<sup>[6]</sup>。T1-mapping 能发现局灶性或微小范围病变,而 T2WI-STIR 或 LGE 不能显示或显示不佳,一方面 T1-mapping 图通过直接测量每个像素 T1 值而直接显示,另一方面,T1-mapping 对磁化传递效应很敏感,故心肌 T1 值轻微改变均能准确显示<sup>[7-9]</sup>。

T1-mapping 可以取代 T2WI-STIR 序列而作为判断水肿的新标准序列,因为 T1-mapping 在发现病变引起水肿的敏感性和病变范围均具有优势,组间比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。T1-mapping 特别适用于患者不能长时间屏气或心肌本身存在疾病的患者,因常规 T2WI 不能显示病灶或由于伪影而不能用于诊断。T1-mapping 显示心肌梗死的面积与心肌 T1 值升高相关,在心肌梗死周围的区域同样也发现 T1 值的增加,其改变可能原因是与坏死组织相连区域组织含水量增加有关或许与梗死区与邻近结构磁化传递改变相关<sup>[10]</sup>。

本研究表明 T1-mapping 在发现心肌梗死病变和对梗死区域的显示与 T2WI-STIR 相比更具有优势,并能直接定量分析 T1 值改变。T1-mapping 直接测量 T1 值的改变,可直接判断心肌 T1 值是否在正常范围内,不需要 T2 SI 正常心肌或骨骼肌作对比进行定量分析。

T1-mapping 对病变心肌可直接清楚的显示并可进行 T1 值的测定,但其特异度不高,各种原因引起心肌细胞含水量增加、自由水与结合水改变均可在 T1-mapping 敏感地显示出来,是否不同种类疾病均具有特异性 T1 值,疾病不同时期是否具有特异性 T1 值,均需进一步探索研究。本院没有开展心肌活

检检查,主要原因在于行心肌活检风险高且并发症多,临床操作复杂,故本次研究所有患者均没有病理学依据,故下一步将进行动物实验,验证 T1-mapping 序列显示异常区域的病理学改变,并尝试探索心肌梗死和心肌水肿 T1 阈值范围,期望 T1-mapping 阈值限定技术可用于鉴别心肌坏死区、心肌缺血区和心肌水肿区<sup>[11-12]</sup>。

综上所述,T1-mapping 序列目前可直接应用于临床,其对心肌病变显示灵敏度高。在不使用磁共振对比剂增强的情况下,可早期、敏感地显示局灶性心肌梗死、心内膜下心肌梗死和准确判断心肌梗死范围,为临床诊疗提供了客观依据并可指导临床治疗和判断预后。

### 参考文献

- [1] Rogers T, Dabir D, Mahmoud I, et al. Standardization of T1 measurements with MOLLI in differentiation between health and disease—the ConSept study[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2013, 15(6): 78-87.
- [2] Ugander M, Bagi PS, Oki AJ, et al. Myocardial edema as detected by pre-contrast T1 and T2 CMR delineates area at risk associated with acute myocardial infarction[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2012, 5(6): 596-603.
- [3] Ferreira M, Piechnik K, Dall' Armellina E, et al. Native T1-mapping detects the location, extent and patterns of acute myocarditis without the need for Gadolinium contrast agents[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2014, 16(1): 36-47.
- [4] Berry C, Kellman P, Mamcini C, et al. Magnetic resonance imaging delineates the ischemic area at risk and myocardial salvage in patients with acute myocardial infarction[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2010, 3(5): 527-535.
- [5] Dall' Armellina E, Piechnik SK, Ferreira VM, et al. Cardiovascular magnetic resonance by non-contrast T1-mapping allows assessment of severity of injury in acute myocardial infarction[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2012, 14(6): 15-28.
- [6] Ferreira M, Pichnik K, Dall' Armellina E, et al. Non-contrast T1-mapping detects acute myocardial edema with high diagnostic accuracy: a comparison to T2-weighted cardiovascular magnetic resonance[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2012, 14(2): 42-54.

量管理水平和医院对患者的服务意识。

**3.3.1 建立广义的检验结果回报时间流程体系** 广义的检验结果回报时间可以从医生开出检验项目开始到医生拿到检验结果结束。根据门急诊采血患者检验结果回报时间需求的质性研究结果,考虑到患者对检验结果回报时间的紧迫性、方便性、及时性、有效性需求,从医生开出检验项目开始,告知患者检验结果回报时间,安排后续就诊,进行检验结果回报时间有效性、延迟性的监控,确保医生及时拿到检验结果。

**3.3.2 进行医疗、护理、实验室多部门的合作** 文献[10]显示多部门合作检验结果回报时间监控可提高检验质量。广义的检验结果回报时间流程体系必然促成医疗、护理、实验室应多部门合作。医疗、护理、实验室多部门合作,共同制订检验结果回报时间相关流程,如检验结果回报时间告知流程、检验结果回报时间咨询流程、检验结果回报时间制订流程、检验结果回报时间特殊情况处理流程、检验结果回报时间延迟处理流程等。

**3.3.3 加强与检验结果回报时间相关的信息化建设** 无论是检验结果回报时间流程的优化,还是多部门合作的检验结果回报时间监控体系的建立,都离不开检验结果回报时间信息化的建设。建立检验结果回报时间信息查询模块、检验结果回报时间延迟信息查询模块、检验结果回报时间相关流程信息查询模块、采血检验咨询服务模块等。彻底改变人工记忆检验结果回报时间的模式,利于医生、护士、患者查询,解放人力资源,减少人为差错。

综上所述,本研究以采血护士处理患者有关检验结果回报时间的要求、疑问和投诉为出发点,运用质性研究的方法,力争客观描述患者对检验结果回报时间的真实需求,以科学的方法为医院提出合理化建议。但仍存在资料搜集和提炼的不足,下一步将在此基础上进行深层次的量化调查分析,构建门急诊采血患者服务体系,同时进行实证研究。

**参考文献**

[1] 姜艳梅,王晶,张长福,等.从医院检验科的角度谈谈现代医学与人文关怀[J].国际检验医学杂志,2015,36(7):1006-1008.  
 [2] 刘春.生化检验质量与报告时间满意度分析[J].青岛医药卫生,2010,42(5):397.  
 [3] 夏万利.急诊生化检验结果回报时间的调查探析[J].中外医学研究,2013,11(5):140.

[4] 梁映亮,隋洪,徐灼均.实验结果回报时间分析[J].蚌埠医学院学报,2013,38(1):102-104.  
 [5] Wong L, Coulter A, Cheung W, et al. Item Generation in the development of an inpatient experience questionnaire: a qualitative study[J]. BMC Health Serv Res, 2013, 13(1):265.  
 [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.关于进一步深化优质护理,改善护理服务的通知(国卫办医发[2015]15号)[EB/OL]. [2016-11-26]. http://www.nhpc.gov.cn/zyzgj/s3593/201503/7bfe482ac571419e901909180d9916.shtml.  
 [7] Thyssen D, Beck A. How patients experience the surroundings in relation to patient participation: a qualitative study of inpatients with intestinal failure[J]. Patient Pre Adhere, 2014, 8(1):585-592.  
 [8] Coates V. Qualitative research: a source of evidence to inform nursing practice[J]. J Diabetes Nurs, 2004, 10(9):8-10.  
 [9] 叶应妩,王毓三.全国临床检验操作规程[M].南京:东南大学出版社,2006:3-4.  
 [10] 毛丽娜,石青峰.检验结果回报时间延迟监测对检验质量的影响[J].护理研究,2014,28(35):4446-4447.  
 [11] 毛丽娜.门诊血液标本采集患者检验咨询服务需求的质性研究[J].中国医药科学,2014,4(83):129-131.  
 [12] 勾忠杰,李金林,贺钰,等.护理操作技能培训中培养护士发散性思维的实践[J].护理学杂志,2011,26(9):14-16.  
 [13] 刘明.护理质性研究[M].北京:人民卫生出版社,2008:18-22.  
 [14] 张伟群.急诊标本检验结果回报时间调查分析[J].调查与实验研究,2013,51(29):7-10.  
 [15] 黄雪珍,隋洪,邓文成,等.急诊生化标本检验结果回报时间分析[J].医学检验与临床,2013,24(3):33-35.  
 [16] Groothuis S, Goldschmidt HM, Drupsteen EJ, et al. Turn-around time for chemical and endocrinology analyzers studied using simulation[J]. Clin Chem Lab Med, 2002, 40(2):174-181.  
 [17] 宋吴岚,陈敏,周君,等.通过CAP质量追踪活动评价急诊实验周转时间[J].检验医学,2009,24(9):692-695.

(收稿日期:2017-01-12 修回日期:2017-03-20)

(上接第 2190 页)

[7] Germannin P, El Ghannudi S, Jeung Y, et al. Native T1 mapping of the heart—a pictorial review[J]. Clin Med Insights Cardiol, 2014, 8(Suppl 4):1-11.  
 [8] Kellman P, Aari E, Xue H. T1 and extracellular volume mapping in the heart: estimation of error maps and the influence of noise on precision[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2013, 15(2):56-68.  
 [9] Kawel N, Nacif M, Zavodni A, et al. T1 mapping of the myocardium: intra-individual assessment of the effect of field strength, cardiac cycle and variation by myocardial region[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2012, 14(3):27-37.  
 [10] Salerno M, Janardhanan R, Jiji S, et al. Comparison of

methods for determining the partition coefficient of Gadolinium in the myocardium using T1 mapping[J]. J Magn Reson Imaging, 2013, 38(1):217-224.  
 [11] Burt JR, Zimmerman SL, Kamel IR, et al. T1 mapping: techniques and potential applications[J]. Radiographics, 2014, 34(4):377-395.  
 [12] Ferreira VM, Piechnik SK, Robson MD, et al. Myocardial tissue characterization by magnetic resonance imaging novel applications of T1 and T2 mapping[J]. J Thorac Imaging, 2014, 29(3):147-154.

(收稿日期:2017-01-13 修回日期:2017-03-21)