

## 免服泻药管电压切换型双能 CT 结肠成像 泛影葡胺标记肠内容物的研究\*

梁丹<sup>1,2</sup>, 郭红梅<sup>3#</sup>, 段济杰<sup>4</sup>, 罗明月<sup>2△</sup>, 朱冬云<sup>2</sup>, 邱建平<sup>2</sup>, Wenli Cai<sup>5</sup>

(1. 广东省广州市第一人民医院放射科 510180; 2. 中山大学附属第六医院放射科, 广州 510655;

3. 巴音郭楞蒙古自治州人民医院 CT 和 MR 科, 新疆库尔勒 841000; 4. 清华大学深圳研究生院  
生物医学工程研究中心, 广东深圳 518055; 5. 哈佛大学医学院麻省总医院放射科, 美国波士顿 02114)

**[摘要]** 目的 研究免服泻药管电压切换型双能 CT 结肠成像低浓度小剂量泛影葡胺标记肠内容物的效果。方法 46 例没有影响胃肠道运动功能病史的健康成年志愿者, CT 检查前 1 天低纤维、低残渣饮食, 分 5 次口服 4.0% 泛影葡胺 60 mL 标记肠内容物, 每餐后喝水量大于 200 mL。采用 Toshiba 医疗系统 Aquilion One 640 管电压切换型 CT 机仰卧位双能容积扫描, 获得双能融合图像。统计分析志愿者肠道准备依从性、肠内容物存留状态及肠内容物的 1 级标记效果。结果 95.7%、4.3% 的志愿者肠道准备依从性分别为容易接受、尚可接受。11.2% 肠段没有液体和固体内容物存留, 44.9%、43.9% 肠段分别以液体、固体内容物存留为主。升结肠、横结肠、降结肠内容物的 1 级标记效果分别为 91.3%、100.0%、93.5%, 盲肠、乙状结肠、直肠内容物的 1 级标记效果分别为 67.4%、80.4%、73.9%。升结肠、横结肠、降结肠内容物总体上的 1 级标记效果(94.9%)明显好于盲肠、乙状结肠、直肠内容物总体上的 1 级标记效果(73.9%), 差异有统计学意义( $P < 0.01$ )。液体肠内容物的 1 级标记效果(96.7%)明显好于固体肠内容物的 1 级标记效果(67.8%), 差异有统计学意义( $P < 0.01$ )。结论 免服泻药管电压切换型双能 CT 结肠成像低浓度小剂量泛影葡胺对升结肠、横结肠、降结肠内容物及液体肠内容物的标记效果良好。

**[关键词]** 免服泻药; 管电压切换型双能 CT; CT 结肠成像; 泛影葡胺; 肠内容物标记

**[中图分类号]** R816.5

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2016)31-4327-04

### Preliminary study on efficacy of fecal tagging with low-concentration and small-dose diatrizoate meglumine in non-cathartic kVp-switching dual-energy CT colonography\*

Liang Dan<sup>1,2</sup>, Guo Hongmei<sup>3#</sup>, Duan Chaijie<sup>4</sup>, Luo Mingyue<sup>2△</sup>, Zhu Dongyun<sup>2</sup>, Qiu Jianping<sup>2</sup>, Wenli Cai<sup>5</sup>

(1. Department of Radiology, Guangzhou Municipal First People's Hospital, Guangzhou, Guangdong 510180, China;

2. Department of Radiology, Sixth Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510655, China;

3. Department of CT and MR, Mongolia Autonomous Prefecture People's Hospital of Bayinguoleng, Kuerle, Xinjiang 841000, China; 4. Research Center of Biomedical Engineering, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University,

Shenzhen, Guangdong 518055, China; 5. Department of Radiology, Massachusetts

General Hospital and Harvard Medical School, Boston 02114, Massachusetts, United States)

**[Abstract]** **Objective** To preliminarily explore the efficacy of fecal tagging with low-concentration and small-dose diatrizoate meglumine in non-cathartic kVp-switching dual-energy CT colonography. **Methods** Forty-six healthy adult volunteers without history of conditions affecting gastrointestinal motor function were enrolled in this study. One day before CT examination, all volunteers were asked to take low-fiber and low-residue diets; in addition, they were orally administered 60 mL 4% diatrizoate meglumine five times for fecal tagging, followed by drinking >200 mL water after each meal. Dual-energy volume scanning was performed on a kVp-switching CT scanner with 135/80 kVp and automatic dose exposure control module in the prone position, and dual-energy blending images were acquired. Compliance with bowel preparation, status of fecal residue, and grade 1 fecal tagging efficacy were analyzed statistically. **Results** The compliance with bowel preparation was "easy to accept" in up to 95.7% of volunteers and "fairly easy to accept" in 4.3%. The status of fecal remains was "without liquid and solid fecal residue", "mainly liquid fecal residues", and "mainly solid fecal residues" in 11.2%, 44.9%, and 43.9% of colorectal segments, respectively. Grade 1 fecal tagging efficacy was seen in 91.3%, 100%, and 93.5% of the ascending, transverse and descending colon, respectively; also, it was 67.4%, 80.4%, and 73.9% in cecum, sigmoid colon, and rectum. The overall grade 1 fecal tagging efficacy in the ascending, transverse and descending colon was significantly higher than that in cecum, sigmoid colon, and rectum (94.9% vs. 73.9%), the difference was statistically significant ( $P < 0.01$ ). The grade 1 fecal tagging efficacy for liquid feces (96.7%) was significantly superior to that for solid feces (67.8%), the difference was statistically significant ( $P < 0.01$ ). **Conclusion** Low-concentration and small-dose diatrizoate meglumine has good fecal tagging efficacy for bowel contents in the ascending, transverse and descending colon, and liquid bowel contents.

**[Key words]** non-cathartic; kV switching dual-energy computed tomography; computed tomography; diatrizoate meglumine; fecal tagging

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81230035), 广东省科技计划项目(2013B051000016)。 作者简介: 梁丹(1989-), 硕士, 从事影像医学新技术研究。 # 共同第一作者: 郭红梅(1968-), 本科, 副主任技师, 主要从事影像医学新技术研究。 △ 通讯作者, E-mail: myluo720@163.com。

传统的口服泻药清洁肠道打乱了 CT 结肠成像 (CT colonography, CTC) 受检者的日常生活, 受检者不易接受, 成为制约 CTC 筛查结直肠癌临床应用的关键问题。免服泻药电子清洁 CTC 很有希望成为结直肠癌筛查的新技术<sup>[1-4]</sup>。电子清洁是在 CT 扫描前口服高密度标记物对结直肠内容物进行标记, 通过图像处理算法对标记的肠内容物进行识别、分割、减影, 留下未被标记的结直肠壁及病变, 达到仿真肠道清洁的效果<sup>[5-7]</sup>。采用何种标记物及标记方法是研究热点之一。双能 CT 利用两种能谱的 CT 数据显示解剖结构和病变, 进行物质分离, 有利于提高电子清洁效果<sup>[8-10]</sup>。国外的研究大多数采用口服优维显标记肠内容物, 再用双源型双能 CT 进行电子清洁<sup>[5-7, 11-12]</sup>。

泛影葡胺是临床上的常用药品, 价格较优维显低很多, 具有价格低廉的优势, 更适合应用于 CTC 标记肠内容物。但是泛影葡胺为高渗性药品, 常规浓度、口服剂量对胃肠道有刺激作用, 会导致腹泻等胃肠道不适, 降低受检者的依从性, 因此标记肠内容物时只宜低浓度、小剂量<sup>[13]</sup>。双能 CT 包括双源型和管电压切换型两种类型, 各有优缺点<sup>[14]</sup>。本课题组将初步研究免服泻药管电压切换型双能 CTC 低浓度、小剂量泛影葡胺标记肠内容物的效果, 现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 没有影响胃肠道运动功能病史的健康成年志愿者 46 例, 其中男 21 例, 女 25 例, 年龄 32~77 岁, 平均 (57.70±11.87) 岁。不包括炎症性肠病者, 活动性肺结核者, 多发性骨髓瘤者, 甲状腺功能亢进者, 肾功能减退者, 对碘过敏者, 孕妇。本研究获得本院医学伦理委员会批准, 志愿者均知情同意。

### 1.2 方法

**1.2.1 肠道准备** 将 60% 泛影葡胺 (湖南汉森制药有限公司) 1 支 20 mL 溶解于 280 mL 温开水, 配制成 4.0% 泛影葡胺 300 mL, 分成 5 等份, 每份 60 mL。CT 扫描检查前 1 d 志愿者低纤维、低残渣饮食, 如白粥、面条等; 每餐后多喝水, 喝水量大于 200 mL; 早上起床后喝水量大于 200 mL, 尽量排空大便; 7:00 早餐、12:00 中餐、19:00 晚餐餐后, 23:00 睡觉前分别口服 4.0% 泛影葡胺 60 mL, 4 次标记肠内容物。检查当天早上起床后喝水量大于 200 mL, 尽量排空大便; 7:00 早餐后口服 4.0% 泛影葡胺 60 mL, 第 5 次标记肠内容物。

**1.2.2 肠道准备依从性调查** CT 扫描检查前, 对 46 例志愿者上述肠道准备的依从性进行问卷调查。依从性分为 4 个等级, 1 级: 容易接受, 没有腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适; 2 级: 尚可接受, 轻微腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适; 3 级: 稍难接受, 明显腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适; 4 级: 难以接受, 严重腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适。

**1.2.3 CT 扫描检查** 使用 JS-628F 电脑遥控灌肠整复仪 (广州今健科技公司) 向结直肠腔灌注足够的室内空气, 使其充分扩张。设定肠腔压力上限 3.5 kPa, 超过 3.5 kPa 则自动停止灌注空气, 以保证志愿者的安全。使用 Toshiba 公司 640 CT 机, 11:00 进行管电压切换型双能容积 CT 扫描, 从头端向足端方向扫描, 范围包括整个结直肠。训练志愿者进行 CT 扫描检查时平静呼吸后屏住呼吸, 绷紧腹部, 保持身体不动。双能容积 CT 扫描参数: 管电压 135/80 kVp, 自动毫安, 扫描时间 0.35 s, 视野 500 mm, 重建函数 FC17, 重建算法 AIDR 3D STD。

**1.2.4 图像后处理** 将 CT 扫描图像数据经图像存储与通讯系统 (西安华海公司, HINet, PACS 5.0) 传送到图像后处理工作站。在图像后处理工作站进行体部对位 (body registration) 结构校正、双能容积扫描图像融合 (blending imaging)。

**1.2.5 肠内容物存留状态及标记效果评价** 结直肠按照解剖部位分为盲肠、升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠及直肠 6 个肠段。由 2 位富有经验的放射科医生在双能容积扫描融合图像上逐段评价肠内容物存留状态及标记效果。如果 2 位医生的评价有分歧, 则与另一位更富经验的放射科医生共同讨论后达成一致性意见。肠内容物存留分为 3 种状态。状态 0: 一段肠腔没有液体及固体肠内容物存留; 状态 1: 一段肠腔肠内容物存留以液体为主; 状态 2: 一段肠腔肠内容物存留以固体为主。以肠内容物 100% 标记为基准, 肠内容物标记效果分为 4 个等级<sup>[4]</sup>。1 级: 标记效果良好, 一段肠腔肠内容物标记大于或等于 90%, 或者该段肠腔没有肠内容物存留; 2 级: 标记效果一般, 一段肠腔肠内容物标记小于 90%, 且大于或等于 75%; 3 级: 标记效果尚可, 一段肠腔肠内容物标记小于 75%, 且大于或等于 50%; 4 级: 标记效果不好, 一段肠腔肠内容物标记小于 50%。

**1.3 统计学处理** 使用 SPSS20.0 进行数据统计及分析。采用配对 *t* 检验, 统计分析志愿者肠道准备依从性、肠内容物存留状态。采用两样本率比较的 *u* 检验, 统计分析肠内容物的 1 级标记效果, *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 肠道准备依从性** 46 例志愿者中, 44 例 (95.7%) 没有出现腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适, 容易接受肠道准备, 依从性 1 级; 其余 2 例 (4.3%) 有轻微腹泻, 尚可接受肠道准备, 依从性 2 级; 无依从性 3 级、4 级的志愿者。

**2.2 肠内容物存留状态** 各肠段内容物存留状态见表 1。31 个肠段 (11.2%) 没有液体和固体肠内容物存留, 其余 245 个肠段 (88.8%) 有液体和/或固体肠内容物存留 (图 1)。124 个肠段 (44.9%) 以液体肠内容物存留为主, 其中升结肠、横结肠及降结肠占 89 段 (71.8%)。121 个肠段 (43.9%) 以固体肠内容物存留为主, 其中盲肠、乙状结肠及直肠占 77 段 (63.6%)。

表 1 各肠段内容物存留状态 (n)

状态	盲肠	升结肠	横结肠	降结肠	乙状结肠	直肠	合计 [n(%)]
0	0	0	1	4	13	13	31(11.2)
1	20	30	33	26	10	5	124(44.9)
2	26	16	12	16	23	28	121(43.8)

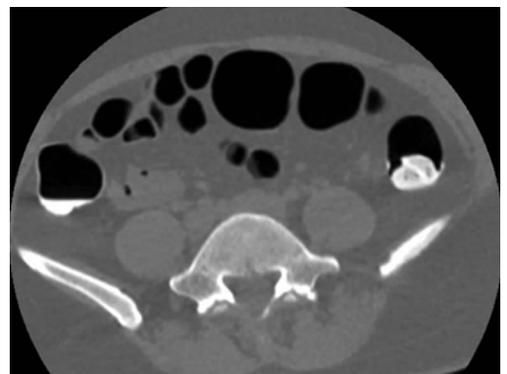


图 1 肠 (升结肠、降结肠) 内容物存留状态

**2.3 肠内容物标记效果** 各肠段内容物标记效果见表 2。升结肠、横结肠、降结肠内容物的 1 级标记效果分别为 42/46 段(91.3%)、46/46 段(100.0%)、43/46 段(93.5%)，3 个肠段内容物总体上的 1 级标记效果为 131/138 段(94.9%)，见图 2A。盲肠、乙状结肠、直肠内容物的 1 级标记效果分别为 31/46 段(67.4%)、37/46 段(80.4%)、34/46 段(73.9%)，3 个肠段内容物总体上的 1 级标记效果为 102/138 段(73.9%)。升结肠、横结肠、降结肠内容物总体上的 1 级标记效果(94.9%)与盲肠、乙状结肠、直肠内容物总体上的 1 级标记效果(73.9%)比较，差异有统计学意义( $u=6.0953, P<0.01$ )。

表 2 各肠段内容物标记效果

等级	盲肠	升结肠	横结肠	降结肠	乙状结肠	直肠	合计[n(%)]
1	31	42	46	43	37	34	233(84.4)
2	12	4	0	3	2	3	24(8.7)
3	3	0	0	0	5	6	14(5.1)
4	0	0	0	0	2	3	5(1.8)

表 3 液体和固体肠内容物的标记效果(肠段数)

等级	液体[n(%)]	固体[n(%)]	合计(n)
1	120(96.8)	82(67.8)	202
2	4(3.2)	20(16.5)	24
3	0(0.0)	14(11.6)	14
4	0(0.0)	5(4.1)	5

液体、固体肠内容物的 1 级标记效果分别为 96.8%、67.8%，差异有统计学意义( $u=5.9387, P<0.01$ )，见图 2B。液体肠内容物没有 3、4 级标记效果，固体肠内容物的 3、4 级标记效果分别为 11.6%、4.1%。

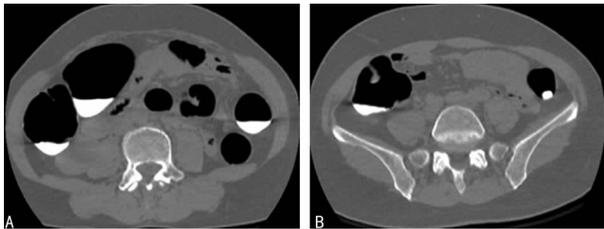


图 2 肠内容物标记效果  
A: 升结肠、横结肠和降结肠液体肠内容物 1 级标记效果。B: 升结肠液体肠内容物 1 级标记效果，降结肠固体肠内容物 1 级标记效果。

图 2 肠内容物标记效果

**3 讨论**

肠内容物标记效果将直接影响肠内容物电子清洁效果和 CTC 筛查结直肠癌的准确性<sup>[1,6]</sup>。影响肠内容物标记效果的因素包括标记物的种类、浓度、口服剂量和时间。碘原子序数高，在双能 CTC 高低能图像上能量衰减曲线差异大，容易被识别、分割、减影，从而有利于提高电子清洁效果<sup>[14-15]</sup>。

本研究未口服泻药，志愿者 CT 扫描检查前 1 d 开始饮食调节，包括低纤维、低残渣饮食，每餐后喝水量大于 200 mL；检查前 1 d 及当天早上起床后喝水量大于 200 mL，尽量排空大便。这样一方面能够增加肠腔内的液体量，另一方面可以尽量排空肠内容物，减少肠内容物存留，提高肠内容物的标记效果。根据本课题组的前期研究<sup>[16]</sup>，并结合没有影响胃肠道蠕动功

能病史的健康成年人的胃肠道传输时间，本研究 CT 扫描检查前 1 d 3 餐后、睡觉前及当天早餐后分别口服 4.0% 泛影葡胺 60 mL，共 5 次标记肠内容物。

肠道准备依从性问卷调查发现，95.7% 的志愿者没有出现腹痛、腹泻或腹胀等胃肠道不适，依从性 1 级，容易接受本肠道准备方法；另外 4.3% 的志愿者只有轻微腹泻，但是尚可接受；没有依从性 3 级、4 级的志愿者。这提示本研究的肠道准备方法依从性虽然很高，但是还能够进一步提升。

11.2% 的肠段没有肠内容物存留，包括横结肠(0.4%)、降结肠(1.4%)、乙状结肠(4.7%)和直肠(4.7%)，即结直肠的中远端肠段；液体肠内容物存留为主的肠段占 44.9%，主要为升结肠(10.9%)、横结肠(12.0%)和降结肠(9.4%)，即形态相对平直的结直肠的中间肠段；固体肠内容物存留为主的肠段占 43.9%，集中在盲肠(9.4%)、乙状结肠(8.3%)和直肠(10.1%)，即形态相对弯曲的结直肠的两端肠段。这样的肠内容物存留状态，符合结直肠的解剖结构及正常生理活动。

1、2、3、4 级肠内容物标记效果的肠段分别为 84.4%、8.7%、5.1%、1.8%。其中 2 段乙状结肠、3 段直肠为 4 级肠内容物标记效果，且均为固体肠内容物；回访 3 例志愿者均表示，肠道准备过程中每餐后喝水量不足 200 mL，而且第 2 天早上均没有排空大便，因此导致乙状结肠、直肠固体肠内容物存留，肠内容物标记效果不好。

升结肠、横结肠、降结肠内容物的 1 级标记效果分别为 91.3%、100.0%、93.5%，标记效果良好。盲肠、乙状结肠、直肠内容物的 1 级标记效果分别为 67.4%、80.4%、73.9%，标记效果欠佳。升结肠、横结肠、降结肠内容物总体上的 1 级标记效果(94.9%)明显好于盲肠、乙状结肠、直肠内容物总体上的 1 级标记效果(73.9%)，盲肠、乙状结肠、直肠内容物的标记效果需要进一步提高。

液体肠内容物的 1 级标记效果(96.8%)明显好于固体肠内容物的 1 级标记效果(67.8%)，差异有统计学意义；而且液体肠内容物没有 3、4 级标记效果，但是固体肠内容物 3、4 级标记效果分别为 11.6%、4.1%。这说明液体肠内容物的标记效果明显好于固体肠内容物，固体肠内容物的标记效果需要进一步提高。

2010 年 Eliahou 等<sup>[7]</sup>对 18 个病例的初步研究认为，免服泻药肠内容物标记双能 CTC 的主要优势是肠内容物形成的图像伪影较少、肠壁上假软组织结构较少。2012 年 Cai 等<sup>[6]</sup>采用 Siemens 公司 Somatom Definition Flash 双源型双能 CTC 研究 23 个临床病例，检查前 24 h 低纤维低残渣饮食、口服非离子型碘对比剂欧乃派克 300 mg/mL 共 50 mL 标记肠内容物，扫描球管电压 140/80 kVp、CARE Dose 4D 自动电流剂量，在 48 枚经病理证实的大于或等于 6 mm 的息肉中有 7 枚被标记的肠内容物淹没。在此基础上，2013 年 Cai 等<sup>[11]</sup>采用同样的肠道准备及双能 CTC 研究 22 个临床病例，发现结直肠腔内气体的双能指数明显高于软组织的双能指数，双能指数基本可以鉴别软组织结构与气体标记物分界处的部分容积效应产生的假软组织结构和假瘘管伪影。2015 年 Cai 等<sup>[5]</sup>再采用同样的肠道准备及双能 CTC 进一步研究 22 例临床症状提示结直肠癌、需要检查整个结直肠的成人，检出了 33 枚经病理证实的大于或等于 6 mm 的息肉，其中 13 枚大于或等于 10 mm、19 枚大于或等于 8 mm，8 枚息肉在仰卧位图像上被标记的肠内容物

淹没,9 枚息肉在俯卧位图像上被标记的肠内容物淹没;研究结果认为,仿真肠内容物标记双能电子清洁减少了 CTC 电子清洁过程中产生的图像伪影,为研究 CTC 电子清洁过程中产生的图像伪影这一关键科学问题带来了新希望。2015 年 Nöppi 等<sup>[10]</sup>采用 Siemens 公司 Somatom Definition Flash 双源型双能 CTC 研究 66 个病例,免服泻药清洁肠道,但是检查前 1 d 及 2 h 口服泛影葡胺 50 mL 标记肠内容物,初步研究结果提示结合病变上下联系的检测方法对免服泻药低剂量双能 CTC 计算机辅助检测的检出准确性高。

本实验仅为初步研究,难免具有下列 4 点局限性。(1)2 例志愿者轻微腹泻,依从性未到达 1 级。今后将在本初步研究的基础上,通过降低泛影葡胺的浓度、增加每餐后喝水量,避免泛影葡胺对胃肠道的刺激作用,进一步提高志愿者的依从性。(2)结直肠两端的盲肠、乙状结肠和直肠以固体肠内容物存留为主,标记效果欠佳。将通过增多每餐后喝水量来增加此三个肠段的液体量,并且增加最后 1 次泛影葡胺的口服剂量,进一步提高三个肠段内容物的标记效果。(3)固体肠内容物的 1 级标记效果为 67.8%,标记效果不理想。将通过增多每餐后喝水量来增加肠腔内的液体量,减少固体肠内容物存留,提高肠内容物的标记效果。(4)3 例志愿者每餐后喝水量不足 200 mL,第 2 天早上没有排空大便,导致乙状结肠、直肠固体肠内容物存留,肠内容物标记效果不好。将通过严格要求志愿者每餐后喝水足量,第 2 天早上尽量排空大便,减少乙状结肠、直肠固体肠内容物存留,提高肠内容物的标记效果。也就是说,上述 4 点局限性均能够通过增加每餐后喝水量、第 2 天早上尽量排空大便并增加最后 1 次泛影葡胺的口服剂量来解决,从而避免泛影葡胺对胃肠道的刺激作用、减少固体肠内容物存留,进一步提高肠道准备依从性及肠内容物的标记效果,这将是未来的研究方向。此外,本研究的不足之处是以健康志愿者为研究对象,没有体现病理情况下例如肿瘤患者的成像效果,这也将是未来的研究方向之一。

总之,免服泻药管电切换型双能 CTC 低浓度小剂量泛影葡胺对升结肠、横结肠、降结肠内容物及液体肠内容物的标记效果良好;虽然盲肠、乙状结肠、直肠内容物及固体肠内容物的标记效果欠佳,但是通过解决本研究的局限性将能够进一步提高上述效果。

#### 参考文献

[1] Woodbridge L, Wylie P. Current issues in computed tomography colonography [J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 2016, 37(4):331-338.

[2] Garborg K. Colorectal cancer screening [J]. *Surg Clin North Am*, 2015, 95(5):979-989.

[3] Lieberman D. Screening for colorectal cancer in individuals at average risk: current methods and emerging issues [J]. *JAMA Intern Med*, 2014, 174(1):10-11.

[4] Fletcher JG, Silva AC, Fidler JL, et al. Noncathartic CT colonography: image quality assessment and performance and in a screening cohort [J]. *AJR Am J Roentgenol*,

2013, 201(4):787-794.

- [5] Cai W, Lee JG, Zhang D, et al. Electronic cleansing in fecal-tagging dual-energy CT colonography based on material decomposition and virtual colon tagging [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2015, 62(2):754-765.
- [6] Cai WL, Kim SH, Lee JG, et al. Virtual colon tagging for electronic cleansing in dual-energy fecal-tagging CT colonography [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012(107):3736-3739.
- [7] Eliahou R, Azraq Y, Carmi R, et al. Dual-energy based spectral electronic cleansing in non-cathartic computed tomography colonography: an emerging novel technique [J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 2010, 31(4):309-314.
- [8] Nasirudin RA, Tachibana R, Nöppi JJ, et al. A comparison of material decomposition techniques for dual-energy CT colonography [J]. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 2015(21):9412.
- [9] Karcaaltincaba M, Ozdeniz I. Dual-energy CT for diagnostic CT colonography [J]. *Radiographics*, 2014, 34(3):847.
- [10] Nöppi JJ, Regge D, Yoshida H. Context-specific method for detection of soft-tissue lesions in non-cathartic low-dose dual-energy CT colonography [J]. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 2015(87):9414.
- [11] Cai WL, Zhang D, Lee JG, et al. Dual-energy index value of luminal air in fecal-tagging computed tomography colonography: findings and impact on electronic cleansing [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(2):183-194.
- [12] Biondo S, Miquel J, Espin-Basany E, et al. A double-blinded randomized clinical study on the therapeutic effect of gastrografin in prolonged postoperative ileus after elective colorectal surgery [J]. *World J Surg*, 2016, 40(1):206-214.
- [13] Bolus DN. Dual-energy computed tomographic scanners: principles, comparisons, and contrasts [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(6):944-947.
- [14] Cai W, Kim SH, Lee JG, et al. Informatics in radiology: dual-energy electronic cleansing for fecal-tagging CT colonography [J]. *Radiographics*, 2013, 33(3):891-912.
- [15] Nöppi JJ, Kim SH, Yoshida H. Volumetric detection of colorectal lesions for noncathartic dual-energy computed tomographic colonography [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012(4):3740-3743.
- [16] Chen ZY, Shen HS, Luo MY, et al. Pilot study on efficacy of reduced cathartic bowel preparation with polyethylene glycol and bisacodyl [J]. *World J Gastroenterol*, 2013, 19(4):561-568.

(收稿日期:2016-05-13 修回日期:2016-07-26)