

## Evaluation of intravoxel incoherent motion imaging in normal liver based on ECG-triggered technique

AI Zhu, HAN Qijia, LIANG Jianke, XIANG Zhiming\*

(Department of Radiology, Panyu Center Hospital of Guangzhou,  
Guangzhou 511400, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the influence of ECG-triggered technique on imaging quality and parameters in diffusion weighted intravoxel incoherent motion imaging (IVIM DWI). **Methods** Twenty young healthy volunteers underwent liver IVIM DWI examination were enrolled, the images were obtained with ECG-triggered and free breath, and SNR, ADC and parameters of IVIM (true-diffusion coefficient [D], pseudo-diffusion coefficient [D\*], perfusion fraction [f]) of the left and right lobe of liver were acquired. The scores of liver imaging quality was analyzed with Wilcoxon sign rank sum test. The SNR, ADC, D, D\* and f values were analyzed with paired-samples t test. The consistency of ADC, D, D\*, and f were assessed with the Bland-Altman method. **Results** The scores of liver imaging quality of ECG-triggered were significantly higher than those of free breath (all  $P < 0.01$ ). Under different b values, SNR of left lobe of liver with ECG-triggered were higher than those of the free breath (all  $P < 0.01$ ). The values of ADC and f of left lobe of liver with ECG-triggered were statistically lower than those of free breath (both  $P < 0.05$ ), but the values of D were higher than that of free breath ( $P < 0.05$ ). The consistency of left lobe of liver with ECG-triggered was better than that with free breath. **Conclusion** IVIM DWI combined with ECG-triggered can be used to obtain better imaging quality and effectively overcome the interference of heart beating on parameters measuring in left lobe of liver.

**[Keywords]** liver; intravoxel incoherent motion; diffusion magnetic resonance imaging; ECG-triggered

DOI:10.13929/j.1003-3289.201810146

## 基于心电门控技术的体素内不相干运动成像 评价正常肝脏图像质量

艾 竹, 韩绮嘉, 梁健科, 向之明\*

(广州市番禺区中心医院放射科, 广东 广州 511400)

**[摘要]** **目的** 探讨体素内不相干运动(IVIM)DWI条件下心电门控技术对肝脏图像质量和参数测量的影响。**方法** 前瞻性收集 20 名志愿者行 IVIM DWI, 采用自由呼吸和心电门控扫描, 并对所得图像进行主观评分, 测量肝左、右叶 SNR、ADC 值及 IVIM 各参数值[真扩散系数(D)、假扩散系数(D\*)、灌注分数(f)]。采用 Wilcoxon 符号秩和检验比较肝脏图像主观质量评分, 以配对 t 检验比较 SNR、ADC 值及 IVIM 各参数值, 以 Bland-Altman 方法评价各参数值的一致性。**结果** 采用心电门控技术所得图像质量主观评分明显高于自由呼吸( $P$  均  $< 0.01$ ); 不同 b 值时采用心电门控技术测得肝左叶 SNR 均高于自由呼吸图像( $P < 0.01$ ), 肝左叶 ADC、f 值均低于自由呼吸图像( $P$  均  $< 0.05$ ), 而 D 值则高于自由呼吸图像( $P < 0.05$ )。采用心电门控技术肝左叶 D、D\* 和 f 值的一致性好于自由呼吸图像。**结论** 心电门控 IVIM DWI 可获得较好的图像质量, 有效克服心脏搏动对肝左叶各参数值数据测量的影响。

**[基金项目]** 国家自然科学基金(81671853)、广东省自然科学基金(2015A030313753)、广州市民生科技重大专项(2019)、广州市科学研究专项(201510010002)、广州市番禺区科技计划重点学科项目(2017-Z04-12)、广州市番禺区科技计划项目(2014-Z03-24)。

**[第一作者]** 艾竹(1990—), 女, 湖北当阳人, 硕士, 医师。研究方向: 腹部影像学。E-mail: 519125253@qq.com

**[通信作者]** 向之明, 广州市番禺区中心医院放射科, 511400。E-mail: xzmzg@126.com

**[收稿日期]** 2018-10-25 **[修回日期]** 2019-03-20

[关键词] 肝脏;体素内不相干运动;扩散磁共振成像;心电门控

[中图分类号] R3; R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2019)06-0909-05

目前体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)成像技术越来越广泛应用于肝脏,尤其在肝脏疾病的定性及疗效评估中有重要价值<sup>[1-3]</sup>。获得高 SNR 及更加稳定的参数值已成为近年来肝脏 IVIM 成像的研究热点<sup>[4]</sup>。本研究旨在比较自由呼吸和心电门控两种不同技术对肝脏 IVIM DWI 的影响,以优化肝脏 IVIM DWI 技术,为临床肝脏病变的诊断及疗效评估提供更可靠的量化依据。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 前瞻性收集 2016 年 6—9 月广州市番禺区中心医院符合纳入标准的 20 名中青年志愿者,男 7 名,女 13 名,年龄 19~36 岁,平均(24.1±3.0)岁。纳入标准:①无任何肝脏疾病;②近期(一般为 6 个月)无药物服用史;③无肝脏手术史及酒精滥用史;④无任何心脏疾病,心功能及心电图正常。排除标准:①有肝脏疾病史;②存在 MR 检查禁忌证(安装心脏起搏器、体内金属植入、幽闭恐惧症等);③有严重心脏疾病,心功能或心电图其中一项异常者;④采集的图像伪影明显,无法进行图像分析。本研究经广州市番禺区中心医院伦理委员会批准,所有志愿者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Avanto 超导 1.5T MR 仪。扫描前于胸骨左侧第 3、5 肋间隙及心尖搏动处贴专用电极片,并进行呼吸训练。安装心电门控及体部线圈,使用腹带固定呼吸探测器。根据右冠状动脉形态变化确定心脏相对静止期,以决定心电门控延迟时间。定位扫描后,行自由呼吸及心电门控 IVIM DWI 全肝扫描。采用单次激发平面回波序列, b 值取 0、50、100、150、300、600 s/mm<sup>2</sup>, TR 3 000 ms/330 ms, TE 74 ms/74 ms, FOV 400 mm×296 mm, 矩阵 128×128, 并行采集方式(采集因子为 2), 层厚 5 mm, 层间距 1.6 mm。

1.3 图像分析 由 2 名高年资医师对图像进行评价,并达成一致意见。主观评分:4 分,图像对比好,组织结构清晰可辨;3 分,图像对比良好,组织结构或病灶

有模糊影;2 分,图像出现较多伪影,但不影响诊断;1 分,图像伪影多,无法用于诊断。采用 Image J 软件,分别在肝左、右叶的中间连续 3 个层面,距肝表面 1 cm 均匀肝实质内放置 3 个面积为 100 mm<sup>2</sup>的圆形 ROI,避开肉眼可见的血管或胆管,获得 ADC 值、真扩散系数(true-diffusion coefficient, D)、假扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D\*)及灌注分数(perfusion fraction, f)值。分别测量 2 组不同 b 值下肝脏及背景信号强度(SI<sub>肝</sub>、SD<sub>背景</sub>),根据公式<sup>[4]</sup> SNR=SI<sub>肝</sub>/SD<sub>背景</sub> 计算不同 b 值图像的 SNR 值。其中 1 名医师对所有数据均测量 2 次,间隔 1 周再测量 2 次。

1.4 统计学分析 采用 MedCalc 11.5.0 和 SPSS 19.0 统计分析软件。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 Wilcoxon 符号秩和检验比较肝脏图像质量主观评分,以配对 t 检验比较自由呼吸和心电门控时 SNR、ADC 值及 IVIM 各参数值。以 Bland-Altman 法评价各测量值的一致性,计算 2 次测量差值的 95%CI,一致性以 95%CI 的上、下限(limit of agreement, LOA)之和的 1/2 表示,数值越小,表示一致性越好。P<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 图像质量评分 不同 b 值下,心电门控序列的图像质量评分均高于自由呼吸图像,差异均有统计学意义(P 均<0.01),见表 1 和图 1、2;心电门控序列图像肝左叶 SNR 值明显高于自由呼吸图像(P<0.01),肝右叶间差异无统计学意义(P>0.05),见表 2。

2.2 ADC、D、D\*、f 值的比较 与自由呼吸比较,采用心电门控技术时,肝左、右叶 ADC 值降低(P 均<0.05),肝左叶 D、f 值差异有统计学意义(P 均<0.05),肝右叶 f 值差异有统计学意义(P<0.05);采用同种技术,肝左、右叶的 ADC、D、f 值差异有统计学意义(P 均<0.05),D\* 值差异无统计学意义(P>0.05);见表 3。

表 1 2 种技术不同 b 值下 IVIM 图像质量评分( $\bar{x} \pm s$ , n=20)

| 采集方式 | 0         | 50 s/mm <sup>2</sup> | 100 s/mm <sup>2</sup> | 150 s/mm <sup>2</sup> | 300 s/mm <sup>2</sup> | 600 s/mm <sup>2</sup> |
|------|-----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 自由呼吸 | 3.05±0.22 | 2.55±0.51            | 2.50±0.51             | 2.45±0.51             | 2.10±0.72             | 1.85±0.59             |
| 心电门控 | 3.80±0.41 | 3.30±0.47            | 3.25±0.55             | 3.10±0.64             | 2.80±0.62             | 2.60±0.50             |
| Z 值  | -3.873    | -3.638               | -3.441                | -3.153                | -3.130                | -3.873                |
| P 值  | <0.001    | <0.001               | <0.001                | <0.001                | <0.001                | <0.001                |

表 2 2 种技术肝脏左、右叶不同 b 值下图像 SNR 比较(  $\bar{x} \pm s, n=20$  )

| 采集方式 | 肝左叶           |                      |                       |                       |                       |                       |
|------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      | 0             | 50 s/mm <sup>2</sup> | 100 s/mm <sup>2</sup> | 150 s/mm <sup>2</sup> | 300 s/mm <sup>2</sup> | 600 s/mm <sup>2</sup> |
| 自由呼吸 | 134.08±85.44  | 207.68±145.85        | 154.61±107.73         | 127.63±89.68          | 96.85±69.83           | 64.64±38.94           |
| 心电门控 | 366.14±257.80 | 439.03±274.03        | 329.27±250.09         | 266.94±161.58         | 179.70±85.94          | 153.20±77.28          |
| t 值  | -4.395        | -3.348               | -3.019                | -4.440                | -4.975                | -4.705                |
| P 值  | <0.001        | 0.003                | 0.007                 | <0.001                | <0.001                | <0.001                |

| 采集方式 | 肝右叶           |                      |                       |                       |                       |                       |
|------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      | 0             | 50 s/mm <sup>2</sup> | 100 s/mm <sup>2</sup> | 150 s/mm <sup>2</sup> | 300 s/mm <sup>2</sup> | 600 s/mm <sup>2</sup> |
| 自由呼吸 | 185.78±101.31 | 175.13±89.63         | 167.58±101.56         | 166.79±83.55          | 127.19±77.61          | 123.42±86.72          |
| 心电门控 | 226.33±123.64 | 176.99±157.51        | 170.77±85.54          | 167.21±74.66          | 154.97±84.10          | 151.72±123.64         |
| t 值  | -1.667        | -0.055               | -0.111                | -0.017                | -1.805                | -0.831                |
| P 值  | 0.112         | 0.956                | 0.912                 | 0.987                 | 0.087                 | 0.417                 |

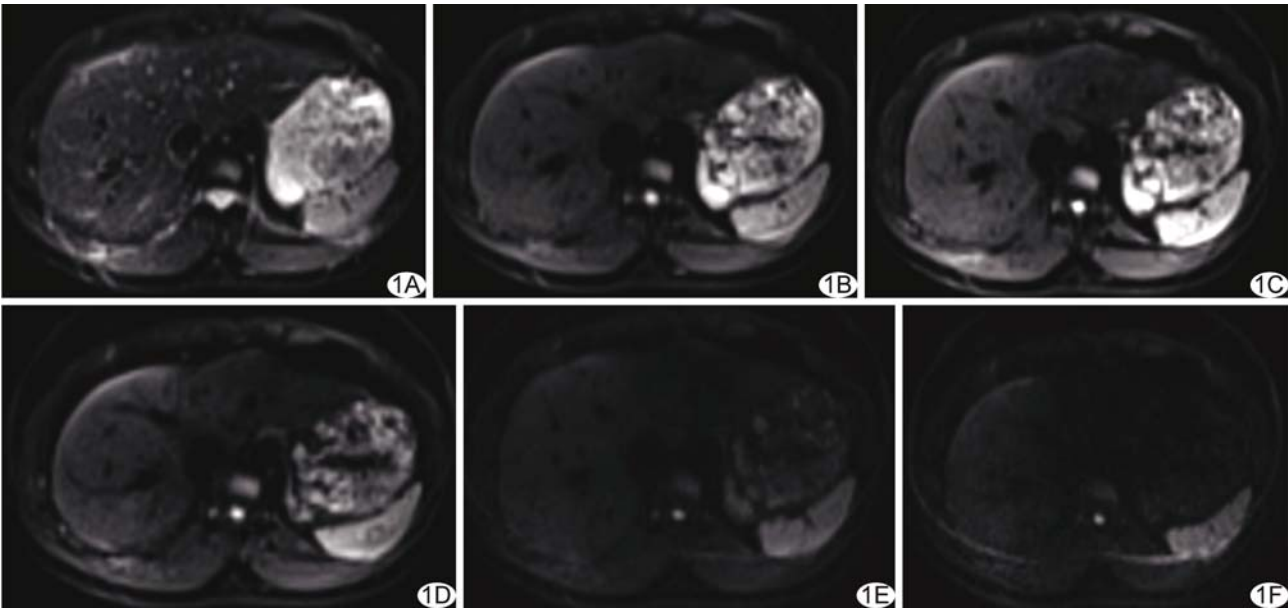


图 1 自由呼吸时不同 b 值的肝脏 IVIM 图像 A~F, b 值分别为 0、50、100、150、300、600 s/mm<sup>2</sup>

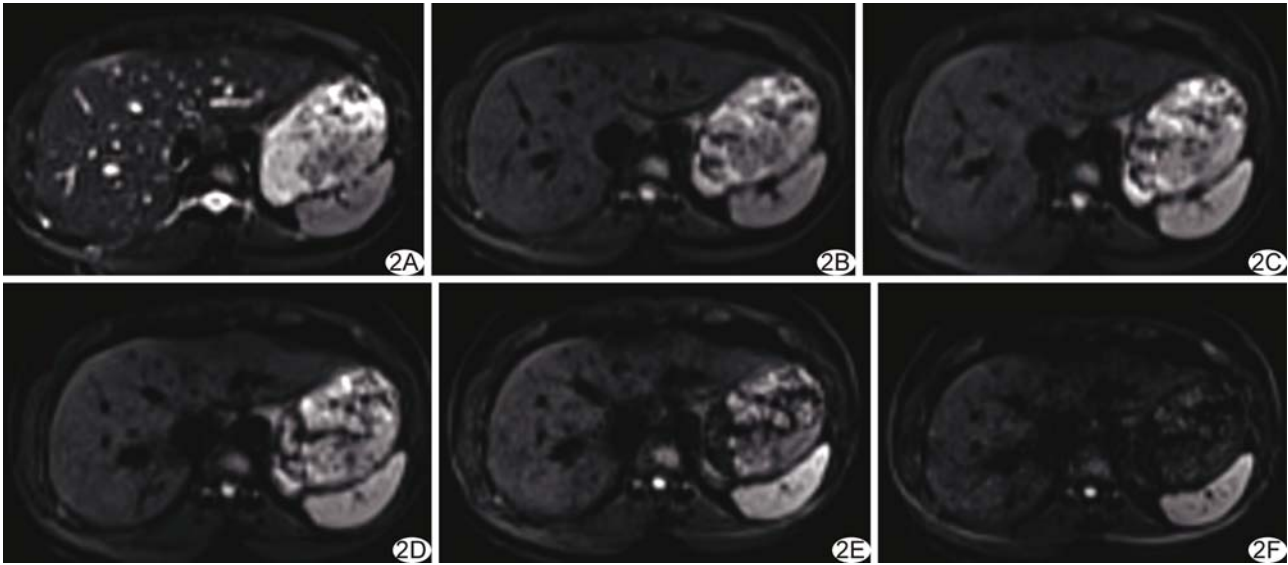


图 2 心电门控时不同 b 值的肝脏 IVIM 图像 A~F, b 值分别为 0、50、100、150、300、600 s/mm<sup>2</sup>

2.3 一致性分析 心电门控技术图像测量肝左、右叶 ADC 值一致性(7.10%、5.25%)好于自由呼吸图像(12.65%、7.60%),测量肝左叶 D、D\* 和 f 一致性好于自由呼吸图像,其中 D 值一致性最好(自由呼吸图像:肝左叶为 42.65%、55.60%、52.80%,肝右叶为 18.85%、52.75%、47.00%;心电门控图像:肝左叶为 25.75%、54.75%、51.85%,肝右叶为 20.10%、48.80%、49.05%)。

### 3 讨论

研究<sup>[5-6]</sup>表明,肝脏 DWI 中可采用多种技术减少呼吸、心脏

搏动等生理因素对图像质量的影响。笔者曾在前期研究<sup>[7]</sup>中分析了不同呼吸补偿技术对肝实质 ADC 值可重复性的影响。在此基础上,本研究进一步探索自由呼吸和心电门控技术在肝脏 IVIM DWI 中的应用。

3.1 不同采集技术对肝脏 IVIM DWI 图像质量的影响 目前评价 MR 图像质量多采用 SNR, SNR 越大,图像越清晰,图像质量越好<sup>[8]</sup>。本研究结果显示,采用心电门控技术所得图像的主观评分高于采用自由呼吸技术图像( $P < 0.01$ )。采用心电门控技术所得图像肝左叶的 SNR 值在不同 b 值( $b = 0, 50, 100, 150, 600 \text{ s/mm}^2$ )下均大于采用自由呼吸图像( $P$  均  $< 0.01$ ),而采用两种技术所得肝右叶 SNR 值在不同 b 值时差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ )。选择低 b 值成像时,图像接近于 T2WI,无法观测到真正的扩散现象。随 b 值增大,图像的 SNR 明显下降。本研究根据右冠状动脉的形态变化确定心脏相对静止期,以此决定心电门控所需延迟时间,使得 IVIM 信号采集处于静止期,所得图像 SNR 高于采用自由呼吸技术,提示结合心脏运动周期采集的心电门控技术可减少心脏搏动对肝脏 IVIM 图像质量的影响,因肝左叶更靠近心脏,效果更为明显,与其他研究<sup>[9-10]</sup>结果一致。

3.2 不同技术对肝脏 ADC、D、D\*、f 值的影响 本研究中,采用心电门控技术所得肝左、右叶的 ADC 值均低于采用自由呼吸技术;肝左、右叶相比较,肝左叶 ADC 值大于肝右叶( $P < 0.05$ )。采用心电门控技术所得肝左叶的 D 值大于采用自由呼吸技术, f 值小于采用自由呼吸技术,肝右叶的 f 值小于采用自由呼吸技术( $P$  均  $< 0.05$ )。Mürtz 等<sup>[10]</sup>认为使用脉搏触发

表 3 2 种技术肝脏 IVIM 图像中肝左、右叶各参数的比较

( $\bar{x} \pm s, n = 20$ )

| 采集方式 | 肝左叶                                               |                                                 |                   |                  |
|------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|------------------|
|      | ADC<br>( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) | D<br>( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) | D*                | f                |
| 自由呼吸 | $1.78 \pm 0.36$                                   | $1.52 \pm 0.29$                                 | $87.67 \pm 25.01$ | $33.00 \pm 8.04$ |
| 心电门控 | $1.44 \pm 0.25$                                   | $1.72 \pm 0.39$                                 | $83.97 \pm 21.58$ | $26.62 \pm 7.32$ |
| t 值  | 7.231                                             | -2.221                                          | 0.703             | 2.618            |
| P 值  | 0.001                                             | 0.039                                           | 0.490             | 0.017            |

| 采集方式 | 肝右叶                                               |                                                 |                   |                  |
|------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|------------------|
|      | ADC<br>( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) | D<br>( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) | D*                | f                |
| 自由呼吸 | $1.23 \pm 0.08$                                   | $1.08 \pm 0.16$                                 | $95.25 \pm 16.81$ | $24.21 \pm 5.90$ |
| 心电门控 | $1.20 \pm 0.08$                                   | $1.10 \pm 0.15$                                 | $87.93 \pm 14.96$ | $20.66 \pm 4.51$ |
| t 值  | 2.391                                             | -0.566                                          | 1.264             | 2.384            |
| P 值  | 0.039                                             | 0.578                                           | 0.221             | 0.028            |

技术后肝脏的 ADC 值小于未使用该技术的 ADC 值,提示该技术可在很大程度上降低心脏搏动及大血管搏动对 DWI 信号的影响,有利于减少图像伪影,提高图像质量和 ADC 值的准确性。刘再毅等<sup>[11]</sup>发现,在 b 值相同的情况下,肝左叶 ADC 值大于肝右叶,本研究结果与之相符。分析原因,笔者认为这是由于心脏搏动引起肝脏非刚性运动,导致一部分信号丢失,而肝左叶距离心脏最近,受心脏搏动影响更明显。陈世林等<sup>[12]</sup>认为,肝左叶毗邻心脏,采集 IVIM 数据时心脏搏动导致左肝组织失相位,从而导致测量值误差,因此肝左叶 D、D\*、f 值均较肝右叶高,本组结果与之相悖,可能因 D\* 值本身非常小,波动相对较大;IVIM 参数除受前期扫描影响外,后期处理及拟合算法均会对其造成影响,在一定程度上导致测量不准确。

3.3 不同技术对各参数值一致性的影响 本研究中,采用心电门控技术测量肝脏左、右叶的 ADC 值一致性均好于采用自由呼吸技术,肝左叶的 D、D\* 和 f 测量值的一致性均好于采用自由呼吸技术,提示根据冠状动脉形态变化选择心电门控技术可减少心脏搏动对肝左叶信号采集的影响,在一定程度上提高参数测量的可靠性。Lee 等<sup>[13]</sup>研究发现,心电触发技术通过降低心脏运动引起的测量误差使各定量参数可重复性最好,其中 D\* 的可重复性最差,本研究结果与之相符。目前关于心电门控影响 IVIM 参数值变化的研究相对较少,对 D、D\*、f 值的大小变化尚无统一意见,有待进一步观察。但本研究表明采用心电门控后 IVIM 图像质量得到一定改善,所测参数值具有一定可靠性。

本研究的不足:纳入研究对象均为健康人,未对不

同肝脏疾病进行分析评价;仅选择自由呼吸联合心电图门控技术进行扫描,对于后者是否优于其他如呼气末屏气、膈肌导航及呼吸门控等呼吸补偿技术,尚需继续探索。

综上所述,行肝脏 IVIM DWI 时,采用心电图门控技术可改善肝脏图像质量、提高图像 SNR,获得相对可靠的参数值,尤其对于肝左叶,可在一定程度上降低心脏运动的影响,具有临床应用价值。

### [参考文献]

- [1] França M, Martí-Bonmati L, Alberich-Bayarri Á, et al. Evaluation of fibrosis and inflammation in diffuse liver diseases using intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(2):468-477.
- [2] Pieper CC, Meyer C, Sprinkart AM, et al. The value of intravoxel incoherent motion model-based diffusion-weighted imaging for outcome prediction in resin-based radioembolization of breast cancer liver metastases. *Oncotargets Ther*, 2016, 9:4089-4098.
- [3] Zhang J, Guo Y, Tan X, et al. MRI-based estimation of liver function by intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging. *Magn Reson Imaging*, 2016, 34(8):1220-1225.
- [4] 何梦琪,许乙凯,张静,等. IVIM-DWI 鉴别诊断肝细胞癌和肝局灶性结节增生. *中国医学影像技术*, 2017, 33(6):907-911.
- [5] Kartalis N, Loizou L, Edsberg N, et al. Optimising diffusion-weighted MR imaging for demonstrating pancreatic cancer: A comparison of respiratory-triggered, free-breathing and breath-hold techniques. *Eur Radiol*, 2012, 22(10):2186-2192.
- [6] Chen X, Qin L, Pan D, et al. Liver diffusion-weighted MR imaging: Reproducibility comparison of ADC measurements obtained with multiple breath-hold, free-breathing, respiratory-triggered, and navigator-triggered techniques. *Radiology*, 2014, 271(1):113-125.
- [7] 钟桂棉,向之明,梁倩雯,等.呼吸补偿技术对测量正常肝实质表观扩散系数值可重复性的影响. *中华放射学杂志*, 2016, 50(9):686-690.
- [8] 谢丽芬,刘再毅,梁长虹.钆对比剂对腹部实质性脏器体内不相干运动磁共振成像的影响. *中国医学影像学杂志*, 2015, 23(2):114-119.
- [9] Kim SY, Lee SS, Byun JH, et al. Malignant hepatic tumors: short-term reproducibility of apparent diffusion coefficients with breath-hold and respiratory-triggered diffusion-weighted MR imaging. *Radiology*, 2010, 255(3):815-823.
- [10] Mürtz P, Flacke S, Träber F, et al. Abdomen: Diffusion-weighted MR imaging with pulse-triggered single-shot sequences. *Radiology*, 2002, 224(1):258-264.
- [11] 刘再毅,陈鑫,颜丽芬,等. b 值对肝脏磁共振扩散加权成像 ADC 值及其可重复性的影响. *中国医学影像学杂志*, 2013, 21(5):370-373.
- [12] 陈世林,陈鑫,钟丽珊,等.正常肝脏体内不相干运动磁共振扩散加权成像的可行性及可重复性研究. *实用放射学杂志*, 2014, 30(4):623-626.
- [13] Lee Y, Lee SS, Kim N, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging of the liver: Effect of triggering methods on regional variability and measurement repeatability of quantitative parameters. *Radiology*, 2015, 274(2):405-415.

## 《医学影像技术质量控制与安全保证》出版发行

由南京军区南京总医院王骏主编的大学教材《医学影像技术质量控制与安全保证》一书出版发行。该书从医学影像相关法律法规入手,阐述了医学影像科室的管理和医学影像技术质量控制,涵盖 X 线成像、CT 成像、磁共振成像、数字减影血管造影、核医学成像等方面的内容。并就对比剂、放射性药物、X 线辐射、磁共振成像、被检者隐私及信息的安全保证进行了论述,是医学影像技术在校学生及在职人员的参考书。

欲购此书者,敬请将 50 元(普通寄免邮费,需特快者加 20 元)寄至:南京三牌楼新门口 4 号 7 幢 402 室 王骏,邮编:210003,敬请在留言栏中注明书名和您的手机号便于联系。

