

肥胖患者腰椎低剂量 CT 检查 自身对照研究的临床初探

陈 凯, 刘 忱, 赵汉青, 侯利军, 娄 玉, 宋红燕, 员 林

(徐州医科大学附属淮海医院影像科, 江苏 徐州 221004)

摘要:目的 探讨肥胖患者腰椎低剂量 CT 检查的临床应用价值。方法 前瞻性选取临床拟诊腰椎疾患者行 CT 检查, BMI > 30 kg/m², 有常规 CT 检查和低剂量 CT 复查资料的患者 30 例。根据不同管电压(120 kVp, 100 kVp)及图像重建方式[滤波反投影重建(FBP)、正弦图确定迭代重建(SAFIRE)], 分为对照组(120 kVp+FBP)、试验 1 组(100 kVp+FBP)以及试验 2 组(100 kVp+SAFIRE), 参考管电流 300 mA。记录并计算每例患者辐射剂量指标[CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效辐射剂量(ED)], 比较各组 L4~L5 椎间隙水平椎间盘、硬膜囊、右侧腰大肌及 L5 椎体松质骨各 ROI 的噪声、SNR、CNR 及主观评分, 并进行统计学分析, P < 0.05 为差异有统计学意义。结果 试验 1 组图像质量主客观各指标均与对照组和试验 2 组有差异, 有统计学意义(P < 0.05)。试验 2 组除 L5 椎体松质骨 SNR 高于对照组且有统计学意义外(P < 0.05), 其余各指标均与对照组间差异无统计学意义。主观评价观察者间一致性良好。试验组与对照组相比各辐射剂量明显降低(P < 0.05)。结论 肥胖患者行腰椎 CT 低剂量检查, 管电压低至 100 kVp 时需联合 SAFIRE 技术, 方可获得与常规 CT 检查相同的图像质量, 同时能明显降低辐射剂量。

关键词:低剂量; 计算机体层成像; 腰椎; 肥胖患者

DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2019.08.030

中图分类号: R589.2; R814.42 文献标志码: A 文章编号: 1002-1671(2019)08-1324-05

A self-controlled clinical preliminary study on low-dose CT examination of lumbar spine in obese patients

CHEN Kai, LIU Chen, ZHAO Hanqing, HOU Lijun, LOU Yu, SONG Hongyan, YUAN Lin

(Department of Radiology, the Affiliated Huaihai Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221004, China)

Abstract: Objective To explore the clinical application value of low-dose CT examination of lumbar spine in obese patients. **Methods** Thirty patients with lumbar vertebral diseases were prospectively selected to undergo CT examination, and all of them with BMI more than 30 kg/m² were performed conventional CT examination and low-dose CT examination at follow-up. According to different tube voltages (120 kVp, 100 kVp) and image reconstruction methods [filtered back projection (FBP), sinogram affirmed iterative reconstruction (SAFIRE)], the patients were divided into 3 groups: control group (120 kVp+FBP), group 1 (100 kVp+FBP) and group 2 (100 kVp+SAFIRE), the tube current of 300 mA was as the reference. CT dose index volumes (CTDIvol), dose length product (DLP), effective dose (ED) of each patient were recorded and calculated. Then the noise, SNR, CNR and subjective score of ROI in the lumbar 4-5 intervertebral disc, dural sac, right psoas major and lumbar 5 vertebral cancellous bone in 3 groups were compared. Data were analyzed statistically. P < 0.05 was considered statistically significant. **Results** The subjective and objective indicators of the image quality of group 1 were different from those of control group and group 2, which were statistically significant (P < 0.05). The SNR of lumbar 5 vertebral cancellous bone in group 2 was higher than that in control group (P < 0.05), besides, there was no significant difference in other indexes between these 2 groups. Subjective evaluation was consistent between two observers. The radiation dose of 2 experimental groups was significantly lower than that of control group (P < 0.05). **Conclusion** Obese patients undergoing low-dose CT examination of lumbar spine combined with SAFIRE technique when the tube voltage is as low as 100 kVp can obtain the same image quality as conventional CT examination, which can also significantly reduce the radiation dose.

Key words: low-dose; computed tomography; lumbar spine; obese patient

肥胖是多种疾病的危险因素, 目前已证实可以

增加骨关节炎和腰椎疾病的发病风险^[1-2]。肥胖人士罹患腰椎疾病时常反复接受腰椎 CT 检查, 辐射剂量增加。近年来发展的低剂量 CT 扫描技术可在保证图像质量的前提下, 降低 CT 辐射剂量^[3-5]。但国内关于肥胖患者腰椎低剂量 CT 检查的报道较少。本文旨

作者简介:陈 凯(1979-), 男, 江苏省张家港市人, 硕士, 主治医师, 主要从事影像诊断及技术工作。

通信作者: 员 林, E-mail: yuanlin97@163.com

在探讨肥胖患者腰椎低剂量 CT 检查的应用价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料 前瞻性选取 2017 年 1 月至 2017 年 12 月因腰腿疼痛来徐州医科大学附属淮海医院骨科或疼痛科就诊行腰椎常规剂量 CT 检查, BMI ≥ 30 kg/m² 的患者 30 例(男 20 例, 女 10 例), 复诊时采用腰椎低剂量 CT 检查。患者年龄 31~71 岁, 平均(52±10.76)岁, BMI 30.20~35.42 kg/m², 平均(32.54±1.60) kg/m², 复诊间隔时间 13~37 d, 平均(24.33±7.05) d。剔除标准: (1)既往腰腹部手术有金属植入产生硬化伪影或腰椎疾患影响观察与测量者。(2)首诊及复诊时 BMI 有明显变化者。本研究经本院伦理委员会批准, 所有患者均签署知情同意书。

1.2 检查方法 采用德国 Siemens Somatom Definition CT 机行腰椎 CT 平扫。扫描范围根据定位像自第 12 胸椎水平至第 1 骶椎水平。参考管电流设置为 300 mA。探测器宽度为 64×0.6 mm, 螺距为 1.35, X 线管转速为 0.5 s/r, 重组间隔为 1 mm。图像重建方法: 滤波反投影(filtered back projection, FBP)和正弦图确定迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE), 滤波强度为 3。所有患者初诊时采用管电压 120 kVp 扫描且图像采用 FBP 重建, 复诊时采用低管电压 100 kVp 扫描, 图像重建分别采用 FBP 以及 SAFIRE。

1.3 分组 将 30 例患者依据管电压及重建方式不同分为对照组(管电压 120 kVp+FBP 重建)、试验 1 组(低管电压 100 kVp+FBP 重建)以及试验 2 组(低管电压 100 kVp+SAFIRE 重建)。

1.4 图像分析

1.4.1 客观评价 将图像传至工作站, 每个腰椎间盘横断面和矢状面均采用 3 mm 层厚连续多平面重组, 并进行图像质量评价。评价方法参考 Yang 等^[6]测量方法: 测量 L4~L5 椎间隙水平椎间盘、硬膜囊、右侧腰大肌(轴位图像)以及 L5 椎体松质骨(正中矢状位图像)的平均密度(mean density, MD)和标准差(standard deviation, SD)测量, 由 SD 代表图像噪声, 测量 3 次取平均值。划定 ROI 时在被测组织内面积尽可能大, 避开严重伪影、粗大血管及明显脂肪浸润。计算每个 ROI 的 SNR、椎间盘与硬膜囊的 CNR, 计算公式为: $SNR = MD/SD$; $CNR = (MD_{\text{椎间盘}} - MD_{\text{硬膜囊}}) / (SD_{\text{椎间盘}}^2 + SD_{\text{硬膜囊}}^2)^{1/2}$

1.4.2 主观评价 由 2 名 5 年以上工作经验的影像诊断医师在双盲条件下独立分析图像并对质量进行主观评分, 意见不一致时商榷后确定。软组织窗及骨窗同时进行评价, 图像参考窗宽、窗位分别为 400 HU、40 HU

(软组织窗), 2 500 HU、400 HU(骨窗)。评分标准如下: 5 分, 解剖细节清晰, 能简单明了地进行评价; 4 分, 解剖结构及细节较清楚, 能够进行评价, 但是不理想; 3 分, 大部分解剖结构可以满足诊断, 但少数图像不能进行评价; 2 分, 解剖结构不清楚, 细节不足以被发现, 影响诊断; 1 分, 解剖结构模糊, 不能诊断。

1.5 辐射剂量 从仪器中记录管电压分别为 120 kVp、100 kVp 的容积 CT 剂量指数(CT dose index volumes, CTDIvol)及剂量长度乘积(dose length product, DLP), 并计算有效辐射剂量(effective dose, ED), 由 DLP 乘以特定的转换系数 k 值得出($k = 0.011 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)^[4]。

1.6 统计学分析 采用 SPSS17.0 统计软件包进行统计分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用配对样本 t 检验对复查前后腰椎 CT 图像噪声、SNR、CNR、主观评分及辐射剂量进行对比分析。观察者之间图像主观评价的一致性通过 Kappa 检验。P 值 < 0.05 为有统计学意义(Kappa 值 0~0.20, 0.21~0.40, 0.41~0.60, 0.61~0.80, 0.81~1.00 分别表示一致性差、稍差、较好、好、很好)。

2 结果

2.1 图像客观评价 试验 1 组在椎间盘、硬脊膜囊、右侧腰大肌及 L5 椎体松质骨 ROI 处的噪声均高于对照组($t = -9.93, P = 0.00; t = -10.06, P = 0.00; t = -11.89, P = 0.00; t = -6.51, P = 0.00$)及试验 2 组($t = 14.13, P = 0.00; t = 9.66, P = 0.00; t = 15.28, P = 0.00; t = 6.21, P = 0.00$), 差异有统计学意义。试验 2 组与对照组各 ROI 的噪声差异无统计学意义(表 1; 图 1, 2)。

试验 1 组在各 ROI 的 SNR 及 CNR 均低于对照组($t = 13.15, P = 0.00; t = 3.33, P = 0.01; t = 9.71, P = 0.00; t = 3.11, P = 0.01; t = 12.27, P = 0.00$)及试验 2 组($t = -11.56, P = 0.00; t = -4.33, P = 0.01; t = -8.67, P = 0.00; t = -5.55, P = 0.00; t = -8.73, P = 0.00$), 差异有统计学意义。试验 2 组 L5 椎体松质骨 ROI 的 SNR 高于对照组($t = -3.00, P = 0.01$), 差异有统计学意义, 其余各 ROI 的测量指标较对照组无差异(表 2; 图 1, 2)。

2.2 图像主观评价 3 组主观评分分别为对照组 4.68±0.47、试验 1 组 2.62±0.50、试验 2 组 4.52±0.32。试验 1 组图像主观评分均低于对照组及试验 2 组($t = 10.68, P = 0.00, t = -14.38, P = 0.00$), 差异有统计学意义; 对照组与试验 2 组之间主观评分差异无统计学意义; 观察者之间一致性 Kappa 值变化范围 0.71~0.87, 表现为好或者很好的一致性。

2.3 辐射剂量比较 试验组较对照组各个辐射剂量 $t = 13.47, P = 0.00$), CTDIvol、DLP、ED 均降低约 44%、46% 及 45% (表 3)。

表 1 试验组与对照组图像噪声比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	椎间盘噪声值	硬脊膜囊噪声值	右侧腰大肌噪声值	L5 椎体松质骨噪声值
对照组	14.23 ± 2.02	14.40 ± 3.29	15.23 ± 3.64	34.06 ± 8.86
试验 1 组	28.36 ± 6.81*	27.97 ± 7.25*	28.11 ± 5.86*	52.82 ± 12.84*
试验 2 组	14.88 ± 3.51#	14.47 ± 3.65#	15.36 ± 4.06#	34.97 ± 10.08#

注: *, 与对照组比较 $P < 0.05$; #, 与试验组 1 比较 $P < 0.05$

表 2 试验组与对照组 SNR 及 CNR 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	SNR				CNR
	椎间盘	硬脊膜囊	右侧腰大肌	L5 椎体松质骨	椎间盘与硬脊膜囊
对照组	5.29 ± 1.30	1.13 ± 0.63	3.11 ± 1.00	4.11 ± 1.41	2.95 ± 0.85
试验 1 组	2.91 ± 0.94*	0.77 ± 0.43*	1.72 ± 0.50*	3.40 ± 1.49*	1.52 ± 0.52*
试验 2 组	5.52 ± 1.74#	1.26 ± 0.73#	3.20 ± 1.13#	4.57 ± 1.69#*	2.73 ± 0.86#

注: *, 与对照组比较 $P < 0.05$; #, 与试验组 1 比较 $P < 0.05$

表 3 试验组与对照组辐射剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	辐射剂量		
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy · cm)	ED(mSv)
对照组	25.19 ± 10.10	640.12 ± 53.47	7.03 ± 2.78
试验组	14.15 ± 6.90*	356.43 ± 73.45*	3.91 ± 1.90*

注: *, 与对照组比较 $P < 0.05$

3 讨论

国内研究将 $18.5 \text{ kg/m}^2 < \text{BMI} < 24.0 \text{ kg/m}^2$ 界定为正常组, $24 \text{ kg/m}^2 < \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$ 为超重组及 $\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$ 为肥胖组^[1]。肥胖可导致或加速腰椎退行性改变^[7]。腰椎的影像学检查中, MR 在诊断骨髓水肿、骨髓脂肪浸润以及椎间盘突出上优于 CT, 但观察骨质结构不如 CT, 同时检查费用高, 时间长, 有较多禁忌证。X 线平片尽管辐射剂量很低, 但在观察解剖细节上有明显缺陷。腰椎 CT 在观察骨质结构上有明显优势, 并且兼顾软组织病变, 是腰部疾病诊断和随访的主要方法。但腰椎 CT 检查的应用导致了辐射剂量的增加, 需要在检查中尽可能降低辐射剂量。有研究^[6, 8-10]表明正常 BMI 患者采用腰椎低剂量 CT 检查能够在保证图像质量的前提下降低辐射剂量, 但腰椎低剂量技术在肥胖患者中的应用国内鲜有报道。

研究发现^[10], 正常 BMI 患者行腰椎 CT 检查, 将管电压降至 100 kVp 时, 即使不采用迭代重建技术, 图像质量虽有所下降, 但仍能满足诊断。本研究中, 所有患者 BMI 均在 30 kg/m^2 以上, 当管电压降至 100 kVp 时, 试验 1 组图像噪声明显增加, SNR、CNR 及主观评

分明显下降, 会影响诊断。而试验 2 组使用迭代重建技术后, 图像质量各参数与对照组比较无明显差异, 同时患者 ED 降低约 45%, 并且试验 2 组 L5 椎体松质骨的 SNR 要高于对照组, 差异有统计学意义, 提示低管电压联合迭代重建在优化骨质结构图像上较常规剂量有优势。分析其原因可能为低剂量 CT 检查时射线能量降低, 在一定程度上造成高对比组织(比如骨皮质及骨小梁)CT 值升高, 采用迭代重建技术后, 图像噪声降低, SNR 有所增加。因此, 低剂量 CT 检查对腰椎高对比组织的显示能力并不低于常规剂量 CT 检查, 与文献报道一致^[3, 8-9, 11]。

值得注意的是, 以往国内研究^[3-5, 10, 12-13]多以随机选择患者进行分组, 考虑到部分患者在诊疗中需要多次复查腰椎 CT, 因此本研究前瞻性地挑选了有复诊记录的患者进行自身对照, 增加试验对比的准确性。

另外, 有报道^[8, 14-15]称由于患者个体差异, 单纯依靠 BMI 来制订患者扫描方案具有局限性, 提出根据腰围和腰部定位像的前后径来制订个性化低剂量扫描方案。但笔者认为其测量标准与方法难以统一, 不利于研究之间的相互比较。因此, 本研究中仍以 BMI 来界

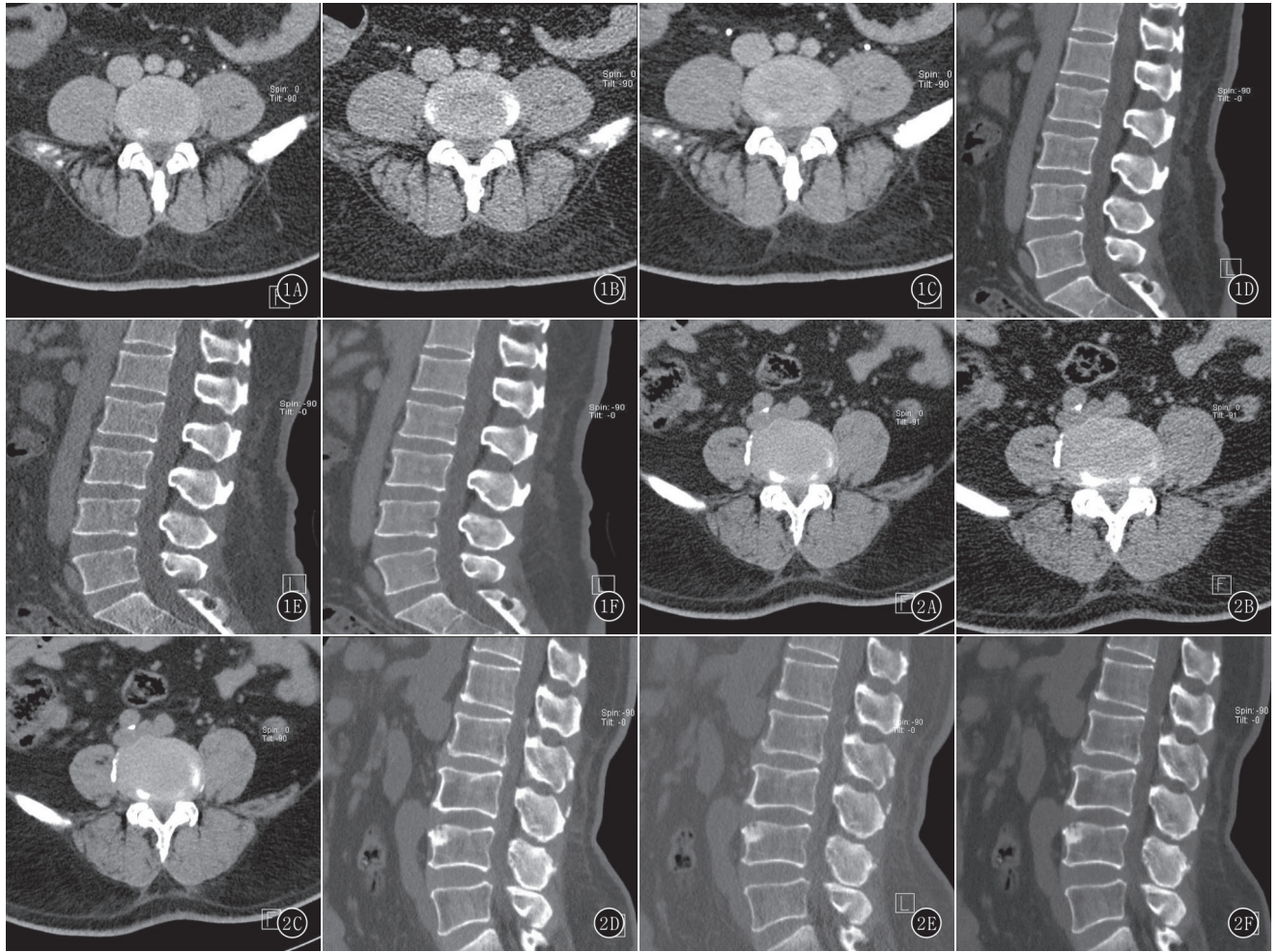


图 1A~F 男, 52 岁, BMI 为 33.4 kg/m^2 。A~C. 复查前后不同管电压及重建方式的轴位软组织窗图像(分别为对照组、试验 1 组、试验 2 组); D~F. 复查前后正中矢状位骨窗图像(分别为对照组、试验 1 组、试验 2 组) 图 2A~F 女, 62 岁, BMI 为 32.5 kg/m^2 。A~C. 复查前后轴位软组织窗图像(分别为对照组、试验 1 组、试验 2 组); D~F. 复查前后正中矢状位骨窗图像(分别为对照组、试验 1 组、试验 2 组)

定肥胖人群。

本研究的不足: (1) 仅对腰椎结构的图像质量进行评价, 未评价低剂量 CT 检查对腰椎疾病的诊断效能; (2) 本研究患者 BMI 范围在 $30.20 \sim 35.42 \text{ kg/m}^2$ 之间, 未对更高 BMI 患者低剂量 CT 检查进行研究; (3) 仅对管电压进行改变, 未对其他扫描参数进行调整。

综上所述, 肥胖患者行腰椎 CT 检查时, 将管电压降至 100 kVp , 在联合迭代重建的基础上可获得与常规管电压 120 kVp 同样的图像质量, 同时能有效降低辐射剂量。

参考文献:

[1] 陈旭狮, 桑朝辉, 彭楷文, 等. 腰腿痛患者肥胖与腰椎间盘退变程度的相关性研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2016, 5(11): 868-872. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2016.11.015.

[2] SARTORI-CINTRA A R, AIKAWA P, CINTRA D E, et al. Obesity versus osteoarthritis: beyond the mechanical overload[J]. Einstein (Sao Paulo), 2014, 12(3): 374-379. DOI: 10.1590/S1679-

45082014RB2912.

[3] 吴金花, 饶慧敏, 董国斌, 等. iDose4 迭代重建技术在腰椎外伤 CT 低剂量扫描中的应用[J]. 宁夏医学杂志, 2016, 38(10): 902-904. DOI: 10.13621/j.1001-5949.2016.10.0902.

[4] 辛文龙, 雷军强, 翟亚楠, 等. 基于迭代重组的双源 CT 腰椎低剂量扫描的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2015, 34(7): 1166-1170. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2015.07.036.

[5] 钟冠新, 林瑞红, 麦冠光. 腰椎 MSCT 低剂量容积扫描的可行性研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2017, 15(2): 167-170. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0512.2017.02.013.

[6] YANG C H, WU T H, CHOU Y Y, et al. Imaging quality and diagnostic reliability of low-dose computed tomography lumbar spine for evaluating patients with spinal disorders[J]. Spine J, 2014, 14(11): 2682-2690. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.03.007.

[7] 田伟. 脊柱与关节退行性疾病流行病学现状与诊疗发展[J]. 骨科临床与研究杂志, 2016, 1(1): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.2096-269X.2016.01.001.

(下转第 1350 页)

imaging (gradient echo or susceptibility-weighted imaging) in midline and off-midline intracranial germ cell tumors: a pilot study[J]. *Neuroradiology*, 2018, 60(1): 89-99. DOI: 10.1007/s00234-017-1947-3.

[17] 梁爽, 张凤翔. 磁敏感加权成像在肺癌脑转移瘤中的应用价值[J]. *实用医学影像杂志*, 2017, 18(1): 7-11. DOI: 10.16106/j.cnki.cn14-1281/r.2017.01.003.

[18] 崔恒武, 董津邑, 葛宇曦, 等. 脑转移瘤放疗前后的 SWI 及增强 T₁ WI 对比研究[J]. *实用放射学杂志*, 2014, 30(12): 1955-1957, 1981. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2014.12.001.

[19] FU J H, CHUANG T C, CHUNG H W, et al. Discriminating pyogenic brain abscesses, necrotic glioblastomas, and necrotic metastatic brain tumors by means of susceptibility-weighted imaging[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(5): 1413-1420. DOI: 10.1007/s00330-014-3518-x.

[20] CHEN W, DELPROPOSTO Z, LIU W, et al. Susceptibility-weighted imaging for the noncontrast evaluation of hepatocellular carcinoma: a prospective study with histopathologic correlation[J]. *PLoS One*, 2014, 9(5): e98303. DOI: 10.1371/journal.pone.0098303.

[21] LI R K, PALMER S L, ZENG M S, et al. Detection of endogenous iron reduction during hepatocarcinogenesis at susceptibility-weighted MR imaging: value for characterization of hepatocellular carcinoma and dysplastic nodule in cirrhotic liver[J]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0142882. DOI: 10.1371/journal.pone.0142882.

[22] LI C, HU J, ZHOU D, et al. Differentiation of bland from neoplastic thrombus of the portal vein in patients with hepatocellular carcinoma: application of susceptibility-weighted MR imaging[J]. *BMC Cancer*, 2014, 14: 590. DOI: 10.1186/1471-2407-14-590.

[23] BAI Y, WANG M Y, HAN Y H, et al. Susceptibility weighted imaging: a new tool in the diagnosis of prostate cancer and detection of prostatic calcification[J]. *PLoS One*, 2013, 8(1): e53237. DOI: 10.1371/journal.pone.0053237.

[24] XIN J Y, GAO S S, LIU J G, et al. The value of ESWAN in diagnosis and differential diagnosis of prostate cancer: preliminary study [J]. *Magn Reson Imaging*, 2017, 44: 26-31. DOI: 10.1016/j.mri.2017.08.002.

[25] DOU S, BAI Y, SHANDIL A, et al. Detecting prostate cancer and prostatic calcifications using advanced magnetic resonance imaging[J]. *Asian J Androl*, 2017, 19(4): 439-443. DOI: 10.4103/1008-682X.177840.

[26] ZAMBOGLOU C, THOMANN B, KOUBAR K, et al. Focal dose escalation for prostate cancer using (68)Ga-HBED-CC PSMA PET/CT and MRI: a planning study based on histology reference[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1): 81. DOI: 10.1186/s13014-018-1036-8.

[27] DIRAJLAL P A, JAMBON E, ALBAT-ESQUIROU A, et al. T₂ star-weighted angiography (SWAN) allows to concomitantly assess the prostate contour while detecting fiducials before MR-based intensity-modulated radiation therapy in prostate carcinoma[J]. *Acad Radiol*, 2018, 25(1): 95-101. DOI: 10.1016/j.acra.2017.07.012.

[28] 张永成, 俞胜男, 陈杰, 等. 磁敏感加权成像技术鉴别乳头状和嫌色细胞肾癌的价值研究[J]. *磁共振成像*, 2016, 7(12): 921-925. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2016.12.006.

[29] XING W, HE X, KASSIR M A, et al. Evaluating hemorrhage in renal cell carcinoma using susceptibility weighted imaging[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e57691. DOI: 10.1371/journal.pone.0057691.

[30] YANG M, GAO L, LIU K, et al. Characterization of Fe₃O₄/SiO₂/Gd₂O(CO₃)₂ core/shell/shell nanoparticles as T₁ and T₂ dual mode MRI contrast agent[J]. *Talanta*, 2015, 131: 661-665. DOI: 10.1016/j.talanta.2014.08.042.

[31] LIU S, BRISSET J C, HU J, et al. Susceptibility weighted imaging and quantitative susceptibility mapping of the cerebral vasculature using ferumoxytol[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 47(3): 621-633. DOI: 10.1002/jmri.25809.

(收稿日期: 2018-07-17; 修回日期: 2018-11-15)

(上接第 1327 页)

[8] ALSHAMARI M, GEIJER M, NORRMAN E, et al. Low dose CT of the lumbar spine compared with radiography: a study on image quality with implications for clinical practice[J]. *Acta Radiol*, 2016, 57(5): 602-611. DOI: 10.1177/0284185115595667.

[9] LEE S H, YUN S J, KIM D H, et al. Diagnostic usefulness of low-dose lumbar multi-detector CT with iterative reconstruction in trauma patients: a comparison with standard-dose CT[J]. *Br J Radiol*, 2017, 90(1077): 20170181. DOI: 10.1259/bjr.20170181.

[10] 余敬, 陈凯, 柴雷雷, 等. 低 kVp 联合迭代重建在青年军人腰椎 CT 检查中的应用价值[J]. *医疗卫生装备*, 2018, 39(2): 68-71. DOI: 10.7687/j.issn1003-8868.2018.02.068.

[11] LEE S H, YUN S J, JO H H, et al. Diagnostic accuracy of low-dose versus ultra-low-dose CT for lumbar disc disease and facet joint osteoarthritis in patients with low back pain with MRI correlation [J]. *Skeletal Radiol*, 2018, 47(4): 491-504. DOI: 10.1007/s00256-017-2811-6.

[12] 余敬, 陈凯, 刘忱, 等. 低管电压联合迭代重建技术在 BMI 正常腰椎疾病患者多层螺旋 CT 检查中的应用[J]. *山东医药*, 2018, 58(16): 70-72. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2018.16.021.

[13] 何建成, 罗鲁贤, 钟志辉, 等. 腰椎间盘多层螺旋 CT 低剂量扫描方式的改进[J]. *医疗卫生装备*, 2014, 35(11): 80-82. DOI: 10.7687/J.ISSN.1003-8868.2014.11.080.

[14] 白金城, 迟红卫, 王淑萍, 等. 个体化降低 CT 扫描管电流在腰椎间盘检查中的应用[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2016, 27(6): 427-430.

[15] 林俊东, 郑亚明, 洪嘉志, 等. 腰椎间盘低剂量 CT 轴位扫描临床意义及图像质量与受检者自身因素的相关性研究[J]. *中国医药*, 2015, 10(6): 888-891. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4777.2015.06.034.

(收稿日期: 2018-10-18; 修回日期: 2018-12-13)