

腹盆部低剂量 CT 扫描的临床应用进展

王新莲 综述 贺文 审校

【摘要】 随着公众及专业人员对辐射认识的增加及 CT 技术的发展使低剂量 CT 扫描在腹盆部的应用逐渐增多。个体化扫描及新的图像重建方法的应用保证了辐射剂量下降的同时图像质量能够满足临床要求。本文就腹盆部降低剂量的新技术及低剂量 CT 扫描在腹盆部脏器包括血管、空腔及实质脏器及泌尿系统的应用进行综述。

【关键词】 腹盆部；低剂量；体层摄影术，X 线计算机；辐射剂量

【中图分类号】 R814.42；R816.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)07-0761-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.07.022

近年来，CT 检查日益增多，成为医用电离辐射增加的主要原因，对公众尤其妇女、儿童等敏感人群带来了不良影响，尤其是增加了肿瘤发生的风险，这使得在不影响影像诊断的前提下降低扫描剂量成为业界追逐的目标和关注的焦点^[1-6]。低剂量的概念最早在 90 年代由 Naidich 等^[7]提出，主要用于肺部组织，因为肺组织具有良好的天然对比和低 X 线吸收率，使得肺部病变易于显示，但因为技术、认识等各方面原因在当时并未引起广泛关注。随着人们对于辐射认识的增加及 CT 技术的发展，低剂量的研究重新引起业界广泛兴趣，除了应用于胸部、鼻窦等天然高对比器官外，并逐步应用于腹盆部等低对比组织。腹盆部 CT 检查往往要行增强扫描，多期相扫描，且扫描范围广，辐射剂量不可避免地增加，而且盆腔含有性腺器官对辐射尤为敏感，所以采用低剂量扫描很有必要。本文主要就近年来腹盆部低剂量 CT 在临床的应用进行综述。

腹盆部低剂量 CT 扫描技术的进展

影响腹部 CT 扫描剂量的因素非常多：包括各种人为因素，如适应症的选择、临床医师的习惯、科室扫描习惯、扫描范围的确定，对患者的训练，技术员的水准，扫描参数及扫描方式，机器自身的软硬件条件等均会影响到辐射剂量。临床研究中在控制人为因素及机器自身条件相对固定的情况下，主要通过变换、优化扫描参数、调节管电流或管电压来实现低剂量扫描。X 线强度 = 比例系数 × 管电流 × 阳极靶材料的原子序数 × 管电压，因此管电流和管电压是影响 X 线辐射剂量的最直接因素，且易于调节，是临床研究中降低辐射剂量的主要方法。以往有研究将 300 mAs 及 120 kVp 管电压作为腹盆部 CT 扫描的参考标准^[8]，采用滤波反投影重建(filtered back projection, FBP)，并将低剂

量扫描研究与之对比。但如果其他条件均不变，单纯降低管电流或管电压虽然可以降低辐射剂量，但会导致噪声增加，图像质量下降，影响病变诊断，因而辐射剂量下降的空间有限。随着 CT 技术的发展，进一步降低剂量成为可能。

1. 个体化方案扫描

患者体型是影响腹部 CT 扫描剂量及图像质量的重要因素^[9]，根据不同患者体型选择不同的管电流或管电压，实现个体化扫描，是参数优化的一大进步，可以通过人工设定或机器自动选择的方法实现。体质量指数(body mass index, BMI)、患者腹部径向信息、体重等均可作为评价患者胖瘦程度的参考指标，根据这些指标来设定个体化扫描条件。研究者^[10-11]在腹盆部低剂量扫描中按患者体重划分等级，采用不同的扫描参数，但划分的等级数毕竟有限，因患者的个体差异较大，对于过胖和过瘦的患者都无法兼顾，因而这种按照体重、BMI 等分组的方法并不能实现真正的个体化。自动管电流调节(automatic tube current modulation, ATCM)技术及自动管电压技术在临床的推广使扫描个体化有了质的变化。

ATCM 技术在腹部的应用：ATCM 技术产生较早，由 GE 公司于 90 年代首先提出，但当时技术和设备远没有现在成熟，因而没有在临床广泛应用。2005 年后，各公司先后推出自己较为成熟的产品，逐渐受到临床青睐。既往文献报道^[12-13]，通过 ATCM 技术可使辐射剂量降低 10%~50%。目前主流的 CT 机基本都配备有 ATCM 技术，但不同厂家的 ATCM 技术参考指标不同，噪声指数(noise index, NI)、有效毫安秒、参考图像、标准偏差值是不同厂家用来控制图像质量的指标。尽管预先设置的参考技术指标不同，但基本原理类似，通过个体化因素调制、X 轴调制、角度调制或旋转调制、联合调制的方式^[14-15]，实现辐射剂量的个体化调节。因为各厂家的技术算法不同，因而尚没有统一的标准，研究者在临床研究中需主观设定可接

作者单位：100006 北京，首都医科大学附属北京妇产医院

作者简介：王新莲(1977-)，女，山东烟台人，博士，副主任医师，主要从事腹盆部影像诊断工作。

受图像的参考值,因而有一定的主观性。Prakash 等^[16]在腹部低剂量研究中采用了 GE 公司的 ATCM 技术,并根据患者的体重设置了 3 组不同的 NI,进一步将扫描电流个体化,避免采用统一的 NI 造成过低体重的受检者曝光条件过大或过重体重的患者扫描条件不足。

自动管电压调节技术在腹部的应用:自动 kV 调节技术即 CARE kV 技术,是 Siemens 公司在 2010 年新开发的技术,可以根据患者的体型和检查类型,在 70~140 kV 范围内自动选择适宜的管电压,实现个体化扫描^[17]。其提供的 70 kV 超高分辨力扫描技术,充分贯彻了合理使用低剂量(as low as reasonably achievable, ALARA)的原则,实现了超高对比度和超低剂量的完美结合。目前自动管电压技术已经在全身多个部位中(包括腹部)得以应用^[2,18-19]。研究发现,应用该技术可在保证图像质量的同时使辐射剂量降低约 25%^[18]。袁保锋等^[20]采用 CARE kV 技术对 90 例患者 CT 扫描后的图像质量及辐射剂量研究发现,利用该技术可使辐射剂量降低一半左右,而所得图像质量与常规检查(管电压 120 kVp,管电流 360 mAs)无明显差异。Shin 等^[2]将自动 kV 调节技术与正弦图确定迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)技术联合应用,可使腹部剂量较常规标准 FBP 重建图像的辐射剂量降低 41.3%而图像噪声没有改变。因为不同厂家设备参数、技术条件不同,不同科室扫描习惯不同,单纯横向比较辐射剂量降低的百分比似乎不够合理,但可以肯定的是这些研究证实了自动管电压调节技术在降低辐射剂量方面的贡献。

2. 应用新的图像重建方法降低噪声及伪影

传统的 CT 图像重建算法为解析重建算法,以 FBP 技术为代表,重建算法简单且速度快,一直作为临床常规应用。但因为 FBP 算法简单,未考虑焦点、体素和探测器的实际几何大小,以及 X 线光子的系统光学与统计学波动,因而图像对于噪声和伪影敏感,低对比可探测性较差,导致在此基础上难以实现辐射剂量大幅降低。迭代重建技术的应用引起研究者极大兴趣,通过迭代算法重建图像,降低图像噪声,使辐射剂量有了实质性降低。迭代算法利用矩阵代数,建立精准的数学模型,可以选择性识别并去除或抑制泊松噪声、射线硬化噪声、散射噪声及运动噪声,通过多次迭代重建,得到比 FBP 更好的图像质量,因而逐渐成为临床应用的主流。同 ATCM 技术一样,各大厂家均有自己的迭代重建产品,像 GE 公司的适应性统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)以及升级后的基于模型的迭代重建(model-based iterative reconstruction, MBIR, 商业名称为

VEO), Siemens 公司的图像空间迭代重建(iterative reconstruction in image space, IRIS)和改进后的基于 SAFIRE, Toshiba 公司的适应性迭代剂量减低技术(adaptive iterative dose reduction, AIDR)和升级后的 AIDR 3D 以及 Philips 公司的 iDose。目前很多文献研究证实了迭代重建对降低噪声并进而降低扫描剂量的作用^[21-25]。对不同的组织器官采用的 ASIR 比例不同,腹部通常选择 30%~50% ASIR 重建,即在图像重建过程中采用 30%~50% ASIR 与 FBP 混合重建。Desai 等^[24]将运用 FBP、ASIR 及 IRIS 三种方法重建的腹部 CT 图像对比研究发现,ASIR 及 IRIS 较 FBP 可以明显降低噪声及辐射剂量,而图像质量可以满足临床要求。目前,升级后的迭代重建逐渐用于体模及临床患者研究中^[26-31],较之前的迭代重建进一步降低了扫描剂量,图像质量相对提高。Gervaise 等^[26]采用升级后的 AIDR(AIDR 3D)技术重建患者图像,与 FBP 重建图像比较,可以在剂量下降 49.5%的情况下,维持图像质量不变。Singh 等^[29]在腹部低剂量研究将患者的图像采用 MBIR、ASIR 及 FBP 三种方法重建,发现在较低剂量条件下(50 mAs)MBIR 图像可以满足临床诊断要求,诊断信心较高,而 ASIR 及 FBP 重建图像质量相对较差,提示应用升级后的 MBIR 可以使扫描剂量进一步减低。然而尽管升级后的迭代重建较前有明显优势,但升级后的迭代重建在临床广泛应用还需要一段时间,因为运算时间较长,图像重建过慢,难以满足大量患者的现状。未来随着计算机的发展,数据处理速度加快,升级后的迭代重建将逐渐得以推广。

3. 能谱 CT 虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)的应用

VNC 应用于腹部^[32-33],将剂量降低的途径进一步拓宽:能谱 CT 目前在临床应用的主要包括双源双能 CT 和单源双能 CT,分别以 Siemens 公司生产的双源 CT 及 GE 公司的宝石能谱 CT 为代表。双源 CT 使用两个 X 线管和对应的探测器同时扫描,对应管电压分别为 140 kVp 和 80 kVp。宝石 CT 使用单球管单探测器扫描,瞬时切换高低双能(80 kVp 和 140 kVp)峰值管电压。尽管二者设备不同,但最终都是通过碘分离获得去除碘成分的虚拟图像来代表常规平扫图像。临床上,将腹盆部 CT 检查的患者直接行双期增强扫描,利用后处理软件将动脉期或门脉期图像进行融合重建^[33-34],去除碘剂,即可得到虚拟平扫图像,升级后的软件还可以进行 CT 值测量。双源双能 CT 将 50%的 140 kVp 的数据与 50%的 80 kVp 的数据(双能比率=0.5)经计算后融合成 120 kVp 的数据,再利用后处理软件 Liver VNC 进行处理,调整平扫 CT 与

碘对比剂的融合比率,将 CT 的融合比率调到 100%,碘对比剂的融合比率调到 0%,即可得到虚拟图像。宝石能谱成像可以获取 40~140 keV 不同的 X 线能量的单能量图像,根据临床诊断的需求可以选择任一单能量图像,在腹部可以选择 70 keV 图像^[35-36],去除碘剂,得到虚拟平扫图像。研究报道用 VNC 代替真实平扫后,可以使辐射剂量降低 21.4%~30.0%^[33-34]。

此外通过调节扫描方式,如将螺旋扫描改为轴扫;X 射线传输路径上安装智能滤线系统技术;增大螺距、自动准直,减少扫描次数等方法均可以达到扫描剂量降低的目的。但每种方法均有其局限性,且需根据具体 CT 设备的条件选择。实际临床研究中,单纯应用一种技术对降低辐射剂量的作用有限,越来越多的学者联合多种技术来降低辐射剂量并保证图像质量^[2,37-39],争取达到扫描条件最优化。

针对不同扫描部位或病变部位的低剂量 CT 临床研究

1. 腹部 CT 血管成像(CTA)

目前低管电压扫描模式是临床低剂量研究的热点。降低管电压可以提高对比度分辨率,因为降低管电压会增加高密度物质的 X 线衰减系数,尤其含碘物质,随着扫描管电压降低,X 线束的有效能量接近碘的 K 峰(33.2 keV),碘对比剂的 CT 衰减值会明显升高^[40]。研究发现^[41],管电压从 120 kVp 降为 100 kVp 时,血管强化 CT 值增加 20%~40%,血管强化效果好,与周围组织的对比度增强。根据这一原理,在 CT 血管成像研究中采用低管电压扫描不仅可以降低剂量,还可以减少对比剂的用量及降低对比剂注射速率^[42]。尽管低电压扫描会引起噪声显著增加,但血管成像对噪声的要求可以适度放宽,而且可以通过适度增加电流的方法或通过迭代重建的方法降低噪声。此外,迭代重建在血管成像中的应用取得了很好的效果^[43-44]。Andrabi 等^[43]通过比较低剂量组(采用 ASIR 重建)与常规剂量组(FBP)共 85 例捐肾者的血管 CTA 图像发现,应用 ASIR 可以使辐射剂量降低 36%。而 Hansen 等^[44]在研究中采用了 MBIR,辐射剂量较 ASIR 进一步降低,降低幅度高达 73%,而图像质量仍可以满足临床要求。Shen 等^[39]采用双源 CT 低管电压结合迭代重建、大螺距扫描主动脉,两组患者采用不同浓度对比剂,研究结果显示仅需不到 2 s 就可以完成主动脉血管成像,低电压组采用低浓度对比剂因而对比剂总量较对照组减少 27.3%,辐射剂量较对照组减少 34.3%,但两组图像质量无明显差异。

2. 腹部实质脏器扫描

目前腹部的实质脏器的低剂量扫描研究主要集中

在迭代重建算法的应用^[27-29],结合应用降低固定管电流、降低管电压,或应用自动管电压及管电流调节技术,尽管近年来升级后的迭代重建研究逐渐增多,但真正在临床推广还需时日。在腹部增强扫描研究中,采用低管电压的方法可以减少对比剂的用量,原理同 CT 血管成像。王亚宁等^[45]在上腹部增强扫描研究中采用了低管电压低剂量对比剂检查,并结合迭代算法,结果图像质量与常规对照组无明显差异,而辐射剂量得到降低。Namimoto 等^[37]通过对 25 例肝硬化患者的 CT 增强扫描发现,采用 80 kVp 低电压、低浓度对比剂扫描结合迭代重建,不仅可以降低扫描剂量还可以提高图像质量。而采用低浓度对比剂,相当于减少了碘的用量,减少对患者的肾脏毒性损害。

此外,双能 CT VNC 在腹部应用逐渐增多^[32-34],使用能谱 CT 的双能量成像技术对腹盆部增强扫描患者可以直接进行增强扫描,一次扫描就可以获得增强图像和 VNC 的图像,减少了曝光次数,从而减少了患者的辐射剂量。

3. 腹部空腔脏器扫描

针对空腔脏器如结肠、小肠的低剂量研究逐渐增多,并尝试采用超低剂量扫描。如果单纯评价肠管病变,如结肠息肉等,而不评价或关心肠管之外的情况,可以采用特有的更低剂量的扫描方案^[46-47]。Lee 等^[48]对 92 例患者进行 CT 肠管扫描研究,发现 IRIS 图像与常规剂量的 FBP 图像对病变的检出无明显差异,但剂量仅为常规剂量的一半。O'Neill 等^[49]对 40 例结肠患者进行了超低剂量 CT 扫描研究,发现在剂量降低 74%的条件下,可以对怀疑活跃结肠疾病的患者做出诊断,而剂量水平仅相当于 2 张腹部平片的剂量,这对于需要反复复查观察疾病变化情况的患者无疑是巨大利好。Kaza 等^[50]对 133 例患者小肠采用 80 kVp 低管电压 CT 扫描结合 30% ASIR 重建,与常规 120 kVp 扫描的 FBP 重建图像相比,80 kVp 扫描组的辐射剂量明显下降,但图像质量可以满足临床诊断要求。此外 VNC 研究开始应用于肠道病变^[51-52]。田士峰等^[52]通过对 40 例结肠癌患者的 VNC 研究发现,利用动脉期或静脉期增强扫描的图像通过水碘分离得到的 VNC 图像与常规平扫图像的质量相近,在结肠病变的显示、浆膜侵犯、病灶周围肿大淋巴结的显示上均与常规平扫无差异,可以取代常规平扫用于结肠癌的评估。VNC 除了可以减少一次平扫的辐射剂量,还可以节省时间。

4. 泌尿系统扫描

尿路造影检查在临床应用较广泛,是泌尿系 CT 检查常用的方法,可以同时显示肾脏、输尿管及膀胱。但传统的尿路造影包括四期,平扫期,动脉期,静脉期

及延迟期,患者接受的辐射剂量大,可高达 20 mSv,且对比剂用量较大,对患者肾功能有损害。目前的低剂量研究中,包括降低排泄期的扫描电流或电压,减少扫描次数,将肾实质与肾盂期图像合并一次扫描;降低扫描管电压至 100 kVp^[53-54],减少对对比剂注射量或对比剂浓度^[54]。同样对泌尿实质脏器及泌尿系结石的诊断可以采取上述降低管电压、管电流结合迭代重建的方法。单纯诊断结石可以对噪声的要求适度放宽,因为结石与周围组织对比较高,因而可以采取单纯降低管电流的方法。Kulkarni 等^[55]对 25 例泌尿系结石患者进行 CT 扫描,使用 ASIR 技术重建可以将辐射剂量降到 1.8 mSv,而结石的检出不受影响。另外,可以利用双能 CT 的 VNC 诊断泌尿系结石,通过减少扫描次数达到剂量降低的目的,尤其 Siemens 的二代双源 CT,增加了能谱纯化技术,去除高能谱射线中的低能谱成分,使高能谱射线纯化,不仅可以减少与低能谱能量重叠,显著提高碘成分的区分能力^[56-57],增加小结石的检出能力^[58],而且有效提高了射线的利用率,减少了低能 X 线的吸收,进一步降低了患者接受的辐射剂量。利用能谱 CT 的碘叠加技术和 VNC 技术不仅能使辐射剂量降低还可以对泌尿系病灶进行鉴别诊断,如区分囊肿的类型为单纯性、出血性还是复杂性,鉴别肾脏的良恶性肿瘤等^[59-60]。Scheffel 等^[61]通过对 VNC 与标准平扫的 CT 图像对比研究,发现 VNC 对诊断结石具有很高的特异度和敏感度,可以取代常规平扫。

总之,随着 CT 软硬件技术的发展以及业界和公众对于辐射降低的迫切要求,未来低剂量腹盆部 CT 检查将成为主流。任何临床 CT 检查都应遵循 ALARA 的原则,在满足临床要求的情况下尽可能降低扫描剂量,不能为了追求图像质量牺牲患者利益,这对于妇女、儿童及受检查的重要器官尤其重要。允许适度噪声的存在,根据检查目的和疾病种类、人群特点制定真正的个体化扫描方案是未来努力的方向。

参考文献:

- [1] McCollough CH, Primak AN, Braun N, et al. Strategies for reducing radiation dose in CT[J]. Radiol Clin North Am, 2009, 47(1): 27-40.
- [2] Shin HJ, Chung YE, Lee YH, et al. Radiation dose reduction via sinogram affirmed iterative reconstruction and automatic tube voltage modulation (CARE kV) in abdominal CT[J]. Korean J Radiol, 2013, 14(6): 886-893.
- [3] Pickhardt PJ, Lubner MG, Kim DH, et al. Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging[J]. AJR, 2012, 199(6): 1266-1274.
- [4] Vardhanabhuti V, Loader R, Roobottom CA. Assessment of image quality on effects of varying tube voltage and automatic tube cur-

- rent modulation with hybrid and pure iterative reconstruction techniques in abdominal/pelvic CT a phantom study[J]. Invest Radiol, 2013, 48(3): 167-174.
- [5] Litmanovich D, Tack D, Lin PJ, et al. Female breast, lung, and pelvic organ radiation from dose-reduced 64-MDCT thoracic examination protocols: a phantom study[J]. AJR, 2011, 197(4): 929-934.
- [6] Gleeson TG, Byrne B, Kenny P, et al. Image quality in low-dose multidetector computed tomography: a pilot study to assess feasibility and dose optimization in whole-body bone imaging[J]. Can Assoc Radiol, 2010, 61(5): 258-264.
- [7] Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations[J]. Radiology, 1990, 175(3): 729-731.
- [8] Funama Y, Awai K, Nakayama Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multisection CT with a low-tube voltage technique: phantom study[J]. Radiology, 2005, 237(3): 905-910.
- [9] 詹松华, 谭文莉, 程瑞新, 等. BMI 指数及自动管电流调节技术降低螺旋 CT 腰椎扫描辐射剂量的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2012, 18(4): 365-369.
- [10] Herts BR, Baker ME, Obuchowski N, et al. Dose reduction for abdominal and pelvic MDCT after change to graduated weight-based protocol for selecting quality reference tube current, peak kilovoltage, and slice collimation[J]. AJR, 2013, 200(6): 1298-1303.
- [11] Coppenrath E, Schmid C, Brandl R, et al. Spiral CT of the abdomen: weight-adjusted dose reduction[J]. Rofo, 2001, 173(1): 52-56.
- [12] Rizzo S, Kalra M, Schmidt B, et al. Comparison of angular and combined automatic tube current modulation techniques with constant tube current CT of the abdomen and pelvis[J]. AJR, 2006, 186(3): 673-679.
- [13] McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM Jr. CT dose reduction and dose management tools: overview of available options[J]. Radiographics, 2006, 26(2): 503-512.
- [14] Jonina Gudjousdottir, Ween B, Olsen DR. Optimal use of AEC in CT: a literature review[J]. Radiol Technol, 2010, 81(4): 309-317.
- [15] Lee CH, Goo JM, Ye HJ, et al. Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT era: from basics to practice[J]. Radiographics, 2008, 28(5): 1451-1459.
- [16] Prakash P, Kalra MK, Kambadakone AK, et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique[J]. Invest Radiol, 2010, 45(4): 202-210.
- [17] Hwang HJ, Seo JB, Lee JS, et al. Radiation dose reduction of chest CT with iterative reconstruction in image space-Part I: studies on image quality using dual source CT[J]. Korean J Radiol, 2012, 13(6): 711-719.
- [18] Winklehner A, Goetti R, Baumüller S, et al. Automated attenuation-based tube potential selection for thoraco abdominal computed tomography angiography improved dose effectiveness[J]. Invest Radiol, 2011, 46(12): 767-773.
- [19] Lee SW, Kim Y, Shim SS, et al. Image quality assessment of ultra low-dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction[J]. Eur Radiol, 2014, 24(4): 817-826.

- [20] 袁保锋,李澄,李一鸣,等. 智能最佳管电压技术在 128 层螺旋 CT 全腹部检查中应用探讨[J]. 生物医学工程与临床, 2014, 18(5): 430-434.
- [21] Silva AC, Lawder HJ, Hara A, et al. Innovations in CT dose reduction strategy: application of the adaptive statistical iterative reconstruction algorithm[J]. AJR, 2010, 194(1): 191-199.
- [22] Singh S, Kalra MK, Gilman MD, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT: a pilot study[J]. Radiology, 2011, 259(2): 565-573.
- [23] Martinsen AC, Sæher HK, Hol PK, et al. Iterative reconstruction reduces abdominal CT dose[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(7): 1483-1487.
- [24] Desai GS, Thabet A, Elias AY, et al. Comparative assessment of three image reconstruction techniques for image quality and radiation dose in patients undergoing abdominopelvic multidetector CT examinations[J]. Br J Radiol, 2013, 86(1021): 20120161.
- [25] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques[J]. Radiology, 2010, 257(2): 373-383.
- [26] Gervaise A, Osemont B, Louis M, et al. Standard dose versus low-dose abdominal and pelvic CT: comparison between filtered back projection versus adaptive iterative dose reduction 3d[J]. Diagn Interv Imaging, 2014, 95(1): 47-53.
- [27] Matsuki M, Murakami T, Juri H, et al. Impact of adaptive iterative dose reduction (AIDR) 3D on low-dose abdominal CT: comparison with routine-dose CT using filtered back projection[J]. Acta Radiol, 2013, 54(8): 869-875.
- [28] Pickhardt PJ, Lubner MG, Kim DH, et al. Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging[J]. AJR, 2012, 199(6): 1266-1274.
- [29] Singh S, Kalra MK, Do S, et al. Comparison of hybrid and pure iterative reconstruction techniques with conventional filtered back projection: dose reduction potential in the abdomen[J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(3): 347-353.
- [30] Vardhanabhuti V, Riordan RD, Mitchell GR, et al. Image comparative assessment using iterative reconstructions: clinical comparison of low-dose abdominal/pelvic computed tomography between adaptive statistical, model-based iterative reconstructions and traditional filtered back projection in 65 patients[J]. Invest Radiol, 2014, 49(4): 209-216.
- [31] Hardie AD, Tipnis SV, Rieter WJ, et al. Physician preference between low-dose computed tomography with a sinogram-affirmed iterative reconstruction algorithm and routine-dose computed tomography with filtered back projection in abdominopelvic imaging[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(6): 932-936.
- [32] Mileto A, Mazziotti S, Gaeta M, et al. Pancreatic dual-source dual-energy CT: is it time to discard unenhanced imaging[J]. Clin Radiol, 2012, 67(4): 334-339.
- [33] Graser A, Johnson TR, Chandarana H, et al. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen[J]. Eur Radiol, 2009, 19(1): 13-23.
- [34] Chae EJ, Song JW, Krauss B, et al. Dual-energy computed tomography characterization of solitary pulmonary nodules[J]. J Thorac Imaging, 2010, 25(4): 301-310.
- [35] Lv P, Lin XZ, Chen K, et al. Spectral CT in patients with small HCC: investigation of image quality and diagnostic accuracy[J]. Eur Radiol, 2012, 22(10): 2117-2124.
- [36] Yamada Y, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging for the evaluation of hypovascular hepatic metastases: the optimal monochromatic level with fast kilovoltage switching dual-energy computed tomography[J]. Invest Radiol, 2012, 47(5): 292-298.
- [37] Namimoto T, Oda S, Utsunomiya D, et al. Improvement of image quality at low-radiation dose and low-contrast material dose abdominal CT in patients with cirrhosis: intraindividual comparison of low tube voltage with iterative reconstruction algorithm and standard tube voltage[J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(4): 495-501.
- [38] Yu MH, Lee JM, Yoon JH, et al. Low tube voltage intermediate tube current liver mdcet: sinogram-affirmed iterative reconstruction algorithm for detection of hypervascular hepatocellular carcinoma[J]. AJR, 2013, 201(1): 23-32.
- [39] Shen Y, Sun Z, Xu L, et al. High-pitch, low-voltage and low-iodine-concentration CT angiography of aorta: assessment of image quality and radiation dose with iterative reconstruction[J]. PLoS One, 2015, 10(2): e0117469.
- [40] Kondo H, Kanematsu M, Goshima S, et al. Body size indexes for optimizing Iodine dose for aortic and hepatic enhancement at multidetector CT: comparison of total body weight, lean body weight, and blood volume[J]. Radiology, 2010, 254(1): 163-169.
- [41] Suzuki S, Furui S, Kaminaga T, et al. Measurement of vascular diameter in vitro by automated software for CT angiography: effects of inner diameter, density of contrast medium, and convolution kernel[J]. AJR, 2004, 182(5): 1313-1317.
- [42] Dill T, Deetjen A, Ekinci O, et al. Radiation dose exposure in multislice computed tomography of the coronaries in comparison with conventional coronary angiography[J]. Int J Cardiol, 2008, 124(3): 307-311.
- [43] Andrabi Y, Kambadakone A, Sahani DV. Experiences with the use of iteratively reconstructed dose-modified MDCT angiography examinations of living renal donors[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(4): 535-543.
- [44] Hansen NJ, Kaza RK, Maturen KE, et al. Evaluation of low-dose CT angiography with model-based iterative reconstruction after endovascular aneurysm repair of a thoracic or abdominal aortic aneurysm[J]. AJR, 2014, 202(3): 648-655.
- [45] 王亚宁, 时高峰, 杜煜, 等. 低剂量造影剂结合低管电压在上腹部双源 CT 扫描中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(3): 204-207.
- [46] Luz O, Buchgeister M, Klabunde M, et al. Evaluation of dose exposure in 64-slice CT colonography[J]. Eur Radiol, 2007, 17(10): 2616-2621.
- [47] Cohnen M, Vogt C, Beck A, et al. Feasibility of MDCT colonography in ultra-low-dose technique in the detection of colorectal lesions: comparison with high-resolution video colonoscopy[J]. AJR, 2004, 183(5): 1355-1359.
- [48] Lee SJ, Park SH, Kim AY, et al. A prospective comparison of standard-dose CT enterography and 50% reduced-dose CT enterography with and without noise reduction for evaluating

- Crohn disease[J]. AJR, 2011, 197(1): 50-57.
- [49] O'Neill SB, Mc Laughlin PD, Crush L, et al. A prospective feasibility study of sub-millisievert abdominopelvic CT using iterative reconstruction in Crohn's disease[J]. Eur Radiol, 2013, 23(9): 2503-2512.
- [50] Kaza PK, Platt JF, Al-Hawary MM, et al. CT enterography at 80kVp with adaptive statistical iterative reconstruction versus at 120kVp with standard reconstruction: image quality, diagnostic adequacy, and dose reduction[J]. AJR, 2012, 198(5): 1084-1092.
- [51] Sommer CM, Schwarzwaelder CB, Stiller W, et al. Iodine removal in intravenous dual-energy CT-cholangiography: is virtual non-enhanced imaging effective to replace true non-enhanced imaging? [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(4): 692-699.
- [52] 田士峰, 刘爱连, 汪禾青, 等. CT 能谱成像虚拟平扫替代常规平扫评估结肠癌的可行性研究[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2013, 7(19): 8597-8561.
- [53] Lee S, Jung SE, Rha SE, Byun JY. Reducing radiation in CT urography for hematuria: effect of using 100 kilovoltage protocol [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(8): 830-834.
- [54] 王慧慧, 王鹤, 王霄英, 等. 100kVp 条件下碘克沙醇(270mg I/mL)应用于分次团注双期 CTU 的可行性研究[J]. 放射学实践, 2014, 29(4): 373-377.
- [55] Kulkarni NM, Uppot RN, Eisner BH, et al. Radiation dose reduction at multidetector CT with adaptive statistical iterative reconstruction for evaluation of urolithiasis: How low can we go? [J]. Radiology, 2012, 265(1): 158-166.
- [56] Mangold S, Thomas C, Fenchel M, et al. Virtual nonenhanced dual-energy CT urography with tin-filter technology: determinants of detection of urinary calculi in the renal collecting system[J]. Radiology, 2012, 264(1): 119-125.
- [57] Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, et al. Characterization of urinary stones with dual-energy CT: improved differentiation using a tin filter[J]. Invest Radiol, 2010, 45(1): 1-6.
- [58] 帅桃, 李真林, 阳琴, 等. 能谱纯化技术在泌尿系虚拟平扫成像中的应用价值[J]. 放射学实践, 2013, 28(12): 1196-1199.
- [59] Song KD, Kim CK, Park BK, et al. Utility of iodine overlay technique and virtual unenhanced images for the characterization of renal masses by dual-energy CT[J]. AJR, 2011, 197(6): W1076-W1082.
- [60] Hartman R, Kawashima A, Takahashi N, et al. Applications of dual-energy CT in urologic imaging: an update [J]. Radiol Clin North Am, 2012, 50(2): 191-205.
- [61] Scheffel H, Stolzmann P, Frauenfelder T, et al. Dual-energy contrast-enhanced computed tomography for the detection of urinary stone disease[J]. Invest Radiol, 2007, 42(12): 823-829.

(收稿日期: 2016-04-28)

欢迎订阅 2017 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 创刊至今已 32 周年。2015 年 6 月, 《放射学实践》杂志入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999, 2008 年之后的第 3 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊, 在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中, 被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目: 论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊, 每册 15 元, 全年定价 180 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话: (027) 83662875 传真: (027) 83662887

E-mail: fsxsjzz@163.com 网址: http://www.fsxsj.net

编辑部地址: 430030 武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部