

论 著

腹部双能CT虚拟平扫各期相的图像质量与辐射剂量的对比研究

李妍 袁颖* 张浩琦

首都医科大学附属北京友谊医院放射科
(北京 100050)

【摘要】目的 探究在对腹部进行双能CT(Dual energy CT, DECT)虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)时各期相图像质量和辐射剂量的对比。**方法** 对21例患有腹部病变需要做增强CT检查的患者应用双能CT虚拟平扫技术,进行真实平扫(true non-contrast, TNC)以及常规三期扫描。对获得的真实平扫图像以及动脉期、门脉期、延迟期的虚拟平扫图像进行对比研究,记录其四组图像肝门层面的肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉、竖脊肌、皮下脂肪的CT值、SD值、信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR),并选择肝门层面测量整个扫描过程和平扫期对应的仪器自动生成的剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP)、有效剂量(Effective Dose, ED)。分析以上图像数据、主观评分等有无统计学意义。**结果** 四组图像的肝右叶、肝左叶CT值无统计学意义($P>0.05$),脾脏、下腔静脉CT值有差异,有统计学意义($P<0.05$)。四组图像的肝左叶SD值无显著差异($P>0.05$),肝右叶、脾脏、下腔静脉的SD值有显著性差异($P<0.05$)。四组图像中肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉的SNR值均无显著性差异($P>0.05$),四组图像中肝右叶、肝左叶、脾脏的CNR值均无显著性差异($P>0.05$),下腔静脉处的CNR值存在显著性差异($P<0.05$)。两种扫描模式所产生的辐射剂量有显著性差异,有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 运用双能CT虚拟平扫技术对腹部有病变的患者进行扫描检查之后,肝脏部位的真实平扫图像和三期虚拟平扫图像质量相似,此项技术对于肝脏的检查意义较大。双能CT虚拟平扫技术在降低辐射剂量总量这一方面也提供了很好的一个途径。总体而言,门脉期虚拟平扫图像更接近真实平扫图像所达到的效果。

【关键词】 腹部; 双能CT; 虚拟平扫; 期相对比
【中图分类号】 R323.3
【文献标识码】 A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.043

Comparative Study of Image Quality and Radiation Dose in Each Phase Different Phases of Virtual Plain Scan of Abdominal Dual Energy CT

LI Yan, YUAN Ying*, ZHANG Hao-qi.

Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100050, China

ABSTRACT

Objective To explore the comparison of different phases of abdomen during Dual energy CT (DECT) virtual non-contrast (VNC). **Methods** Twenty-one patients with abdominal diseases who needed to be examined by enhanced CT were treated with dual-energy CT virtual plain scan, true non-contrast (TNC) scan and routine three-phase scan. The real plain scan images and virtual plain scan images of arterial phase, portal phase and delayed phase were compared, and the CT values, SD values, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (contrast-to-noise ratio) of the right lobe of liver, left lobe of liver, spleen, inferior vena cava, erector spinae and subcutaneous fat in the four groups of images were recorded. And select the hepatic portal level to measure the Dose Length Product (DLP) and Effective Dose (ED) automatically generated by the instrument corresponding to the whole scanning process and the average scanning period. Analyze whether the above image data and subjective scores are statistically significant. **Results** There is no significant difference in CT values of right lobe and left lobe of liver between the four groups ($P>0.05$), but significant difference in CT values of spleen and inferior vena cava ($P<0.05$). There is no significant difference in SD values of left lobe of liver among the four groups ($P>0.05$), but significant difference in SD values of right lobe of liver, spleen and inferior vena cava ($P<0.05$). There is no significant difference in SNR of right lobe of liver, left lobe of liver, spleen and inferior vena cava in four groups of images ($P>0.05$). There is no significant difference in CNR of right lobe of liver, left lobe of liver and spleen in four groups of images ($P>0.05$), but there is significant difference in CNR of inferior vena cava ($P<0.05$). There is a significant difference in radiation dose between the two scanning modes ($P<0.05$). **Conclusion** After using dual-energy CT virtual plain scan technology to scan patients with abdominal lesions, the quality of real plain scan images of liver parts is similar to that of three-phase virtual plain scan images, which is of great significance for liver examination. Dual-energy CT virtual plain scanning technology also provides a good way to reduce the total radiation dose. Generally speaking, the virtual plain scan image of portal vein phase is closer to the effect achieved by the real plain scan image.

Keywords: Abdomen; Dual-energy CT; Virtual Flat Sweep; Phase Contrast

腹部增强CT三期扫描检查在临床上应用广泛。腹部检查时,肝脏对辐射的敏感性较高^[1-2],从患者角度及临床角度来说,关于辐射的危害问题逐渐开始获得关注。双能CT(Dual energy CT, DECT)虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)可以省略真实平扫(true non-contrast, TNC),通过管球实行80~140kVp的瞬时转换,设置不同的管电压进行双能量扫描^[3],从而同时获得两组不同能量数据。再利用碘水分离技术对增强图像进行图像处理^[4-5]获得虚拟平扫图像。这项技术减少了扫描次数、节省了扫描时间,对于辐射剂量总量起到了十分有效的减小效果,并且大大提升了临床医生们的检查效率。本文将21例腹部病变患者采用双能CT虚拟平扫技术进行检查,通过真实扫描得到的平扫图像与经双能CT扫描图像后处理得到的三个期相的虚拟平扫图像进行比较,研究患者腹部增强CT检查后的三个期相的虚拟平扫图像更接近真实平扫图像的质量。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本文为前瞻性的研究,对2021年10月到2022年1月经临床、病理诊断为腹部病变的患者,行腹部CT增强检查,病例数量21例。

纳入标准: 成年患者(>18岁);经临床、病理诊断为腹部病变的患者;无增强检查禁忌症;所有入组患者需要签署相关的知情同意书。**排除标准:** 曾接受肝脏手术(含介入治疗)术后患者;接受过介入手术的患者体内可能含有残留的碘油栓,在图像中显示为高密度影,影响器官处的图像质量;不能配合屏气患者;脾脏切除患者。

1.2 检查前准备 所有患者均用GE Revolution 256排螺旋CT进行检查,在患者进行相关检查之前,明确核实其已将随身所携带的金属物品取下并确定其没有增强检查禁忌症。告知患者于检查前饮水500~1000mL,在进行腹部增强CT扫描时跟随仪器语音提示,配合其发出的呼气、吸气的指令。在进行扫描时,选择头足方向的扫描后,第一步是针对腹部完成定位像的扫描,第二步是完成真实平扫和三期增强扫描,扫描的范围是由横膈顶扫描至双侧髂嵴的上缘。

1.3 方法

【第一作者】 李妍,女,初级技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: ddwss333@163.com

【通讯作者】 袁颖,男,主管技师,主要研究方向:心脏影像研究方向。E-mail: 715337108@qq.com

1.3.1 扫描方法 利用GE Revolution 256排螺旋CT机进行扫描,进行真实平扫时的参数设置为管电压设置为100kV,管电流为Smart mA,探测器宽度设定为80mm,螺距为0.992:1,转速:0.5s/r,层厚5mm;噪声指数NI=8,ASIR-V=60%,Recon type:stnd。在进行增强CT扫描时,经右肘正中静脉选用双筒高压注射的方式注射对比剂来完成三期增强扫描,对比剂类型选用碘佛醇(320mg I/mL),使用的对比剂总量对应为每公斤体重1.4mL,注射时长30s。在选用能谱扫描模式进行检查时,管电压在80kV与140kV之间进行迅速的瞬间转换,管电流选择呈GSI Assist,噪声指数NI=8,ASIR-V=60%。

1.3.2 图像处理与分析

图像重建:在图像后处理页面重建中开启VNC模式,对三个期相的增强图像利用碘-水分离技术进行虚拟平扫重建。三期重建的层厚为1.25mm,Asir-V=60%,通过PACS工作站收集扫描之后的真实平扫图像和三期增强图像。CT值、噪声值的测定需要选定在肝门这一层面上,对肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉这几个部位进行感兴趣区(region of interest, ROI)的选定圈画。其中对脾脏、肝左叶、肝右叶这几个实质性器官的部位进行数据的测量时,ROI面积设置为100~200mm²。但是由于患者之间存在个体差异并且下腔静脉处相比于其他测量部位面积较小,也易受血管搏动、呼吸运动等影响,不利于下腔静脉处感兴趣区的勾画,所以对下腔静脉ROI在勾画时,面积适当减少为50~100mm²。而在对下腔静脉处相关数据进行测量时,层面的选择则可以对充盈不够良好的下腔静脉进行ROI勾画的调整,从而减少数据测量时所产生的误差。绘制ROI时首先在真实平扫期进行选择勾画,然后在VNC三期图像上便可以复制真实平扫上的ROI,也会减少由于ROI勾画位置不同带来的误差。对于某些不能够配合好呼吸屏气的患者,他们在进行平扫和增强检查的过程中,可能会出现吸气、呼气程度不同的特殊情况。面临这种情况时可能会导致四组图像中每个被测量部位处所勾画的ROI大小、位置出现一定的偏差,那么可以调整真实平扫图像上的ROI来缓解这种现象。选择肝门层面测量竖脊肌的CT值、SD值以及皮下脂肪的CT值和SD值,并计算各部位对应的信噪比(SNR)以及对比噪声比(CNR)。公式为:

$$SNR = \frac{CT_{\text{值}}}{SD_{\text{脂肪}}}$$

$$CNR = \frac{CT_{\text{值}} - \text{竖脊肌}CT_{\text{值}}}{SD_{\text{脂肪}}}$$

辐射剂量评估:记录选择肝门层面测量整个扫描过程和平均期对应的仪器自动生成的剂量长度乘积(dose length product, DLP),计算有效剂量(effective dose, ED)。当进行真实平扫时检查过程的辐射剂量总量为真实平扫DLP+三期增强扫描DLP。进行双能CT虚拟平扫时,可减少辐射暴露^[6]省去真实平扫的过程,其辐射剂量总量则为三期增强扫描DLP。公式如下:

$$ED (mSv) = k \times DLP$$

$$k = 0.015 mSv / (mGy \cdot cm) \text{ (成人腹部)}。$$

主观图像质量:由两位影像科工作5年以上的医师对增强后

的三期虚拟平扫图像质量进行5分制评分^[7]。对图像中所出现的伪影情况等评价,评分标准如下:1分:需要观察的检查部位显示不清,无法完整获得诊断所需的图像;2:需要观察的检查部位不清,细节显示不好;3:需要观察的检查部位的多数结构显示清晰可以满足诊断,但小部分结构显示不清的图像不能满足诊断需求;4:需要观察的检查部位整体与细微之处均显示良好,可以满足诊断需求但是图像质量仍有提升空间;5:需要观察的检查部位细节显示完好,可以清晰评价。本研究中选择满足临床诊断需求的3~5分的图像即可。

1.4 统计学方法 本研究采用SPSS 26.0软件对数据进行分析。采用单因素方差分析法(ANOVA)对虚拟平扫动脉期、门脉期、延迟期的肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉、竖脊肌、皮下脂肪的CT值、SD值、信噪比(SNR)以及对对比信噪比(CNR)进行统计分析,P<0.05表示差异有统计学意义。采用配对t检验对三期增强扫描、真实平扫+三期增强扫描的辐射剂量进行分析,P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 四组图像各部位的CT值ANOVA结果及TNC与三期VNC比较结果 四组图像肝右叶、肝左叶CT值的ANOVA结果显著性均>0.05,肝右叶、肝左叶的CT值在三期虚拟平扫图像与真实平扫图像中无显著差异。由此见得双能CT虚拟平扫技术对于肝脏部位的检查效果较其他部位而言相对良好,其中动脉期虚拟平扫的肝右叶CT值与真实平扫结果差异更小。脾脏、下腔静脉四组图像中的CT值的ANOVA结果显著性<0.05,也就是说明脾脏与下腔静脉的四组图像至少有两组存在显著性差异。而通过多重比较结果说明,脾脏与下腔静脉的CT值在三个期相的虚拟平扫图像中与真实平扫图像均存在显著差异,有统计学意义(P<0.05)。

2.2 四组图像各部位的SD值ANOVA结果及TNC与三期VNC比较结果 肝左叶四组图像的ANOVA结果>0.05,肝左叶三期虚拟平扫SD值与真实平扫图像的SD值无明显差异。而肝右叶、脾脏、下腔静脉在四组图像中的ANOVA结果均<0.05,以上部位在三期图像中的SD值与真实平扫图像的SD值存在显著性差异,有统计学意义(P<0.05)。

2.3 四组图像的SNR值ANOVA结果及TNC与三期VNC比较结果 四组图像中肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉的ANOVA结果显著性均>0.05,真实平扫图像与VNC动脉期、VNC门脉期、VNC延迟期图像均无明显差异。通过多重比较结果得知,当真实平扫图像与虚拟平扫三期图像进行比较时,相比于动脉期虚拟平扫与延迟期虚拟平扫图像的肝右叶、肝左叶、脾脏、下腔静脉的SNR值,在门脉期虚拟平扫图像中各部位的SNR值更接近真实平扫图像对应各处的SNR值。

2.4 四组图像的CNR值ANOVA结果及TNC与三期VNC比较结果 四组图像中肝右叶、肝左叶、脾脏的CNR值ANOVA结果均>0.05,以上三个部位的VNC动脉期、VNC门脉期、VNC延迟期图像的CNR值与真实平扫图像CNR值无明显差异。由多重比较结果可以看出,肝右叶与脾脏处在动脉期虚拟平扫图像中的CNR值更接近真实平扫的CNR值。肝左叶在门脉期虚拟平扫图像中的CNR值更接近真实平扫图像的CNR值。而在四组图像中下腔静脉的显著性<0.05,说明在这四组图像中,至少存在两种图像CNR值存在显著性差异。通过多重比较,三期虚拟平扫图像均与真实平扫图像存在显著性差异(P<0.05)。

表1 四组图像CT值ANOVA结果、三期VNC图像与TNC图像的显著性对比

部位	均方	F值	显著性	TNC/VNC动脉期	TNC/VNC门脉期	TNC/VNC延迟期
肝右叶	22.76	0.811	0.492	0.171	0.279	0.203
肝左叶	22.323	0.540	0.656	0.882	0.699	0.313
脾脏	55.875	3.597	0.017	0.003	0.043	0.016
下腔静脉	256.635	10.308	0.000	0.000	0.000	0.000

表2 四组图像SD值ANOVA结果、三期VNC图像与TNC图像的显著性对比

部位	均方	F值	显著性	TNC/VNC动脉期	TNC/VNC门脉期	TNC/VNC延迟期
肝右叶	139.500	16.634	0.000	0.000	0.000	0.000
肝左叶	37.072	1.352	0.263	0.082	0.285	0.089
脾脏	137.663	17.806	0.000	0.000	0.000	0.000
下腔静脉	151.142	10.127	0.000	0.000	0.000	0.000

表3 四组图像SNR值ANOVA结果、三期VNC图像与TNC图像的显著性对比

部位	均方	F值	显著性	TNC/VNC动脉期	TNC/VNC门脉期	TNC/VNC延迟期
肝右叶	2.051	1.184	0.321	0.279	0.069	0.210
肝左叶	2.803	1.636	0.188	0.129	0.036	0.154
脾脏	1.047	0.802	0.496	0.476	0.132	0.330
下腔静脉	0.208	0.215	0.886	0.750	0.635	0.928

表4 四组图像CNR值ANOVA结果、三期VNC图像与TNC图像的显著性对比

部位	均方	F值	显著性	TNC/VNC动脉期	TNC/VNC门脉期	TNC/VNC延迟期
肝右叶	0.272	0.923	0.433	0.260	0.862	0.699
肝左叶	0.148	0.382	0.766	0.944	0.460	0.488
脾脏	0.545	1.908	0.135	0.024	0.274	0.537
下腔静脉	2.070	6.980	0.000	0.000	0.001	0.014

2.5 三期增强、真实平扫与三期增强的CTDIvol、DLP以及ED值差异 对接受了检查的腹部病变患者所受的辐射剂量进行测量, 比较省略真实平扫时的辐射剂量情况。结果表明进行了完整的真实平扫加常规三期扫描的辐射剂量明显高于只进行三期增强扫描的辐射剂量, 两种扫描模式所产生的辐射剂量有显著性差异, 有统

计学意义($P < 0.05$)。

2.6 虚拟平扫图像主观评分 对虚拟平扫图像质量评分进行配对t检验, VNC动脉期与VNC门脉期、VNC动脉期与VNC延迟期、VNC门脉期与VNC延迟期的配对t检验结果均 > 0.05 , 无显著性差异。

表5 不同扫描类型的辐射剂量对比

扫描类型	例数	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy/cm)	ED(msv)
3期增强	21	42.70 \pm 9.41	1915.10 \pm 674.55	28.73 \pm 10.12
平扫+3期增强	21	55.86 \pm 11.65	2513.81 \pm 826.41	37.71 \pm 12.40
P		<0.05	<0.05	<0.05

表6 虚拟平扫图像主观评分

组别	例数	图像质量评分(例)					$\bar{x} \pm s$
		1分	2分	3分	4分	5分	
VNC动脉期	21	0	0	1	10	10	4.4 \pm 0.6
VNC门脉期	21	0	0	2	10	9	4.3 \pm 0.7
VNC延迟期	21	0	0	2	13	6	4.2 \pm 0.6
P值							>0.05

3 讨论

随着科学技术的发展, 精准医疗的标准不仅指CT检查技术方面的进步, 对于辐射剂量的要求也大幅提高。放射性损伤与辐射剂量具有正相关性^[8], 因此减少患者进行相关检查时所受到的辐射剂量总量是十分具有必要性的。双能CT虚拟平扫技术对于这一问题提供了新的解决思路。双能CT虚拟平扫技术利用瞬时切换电压技术生成两组能量的图像^[9-10], 再利用碘水分离技术, 将增强扫描图像中对比剂所含的碘物质消除, 获得虚拟平扫图像^[11-13]。这项技术省略了真实平扫, 降低辐射剂量的同时提高了检查效率。对腹部进行双能CT虚拟平扫时各期相的对比来探讨不同期相虚拟平扫图像质量与真实平扫图像的相似性。

本研究结果显示肝右叶、肝左叶的CT值在真实平扫图像中

与三期虚拟平扫图像没有统计学意义($P > 0.05$), 三期虚拟平扫与真实平扫图像之间无统计学差异, 这证明在针对肝脏部位的疾病中, 三期虚拟平扫均可替代真实平扫过程。有研究表明西门子双源CT在肝脏虚拟平扫与真实平扫的CT值存在统计学差异^[14], 对肝脏的虚拟平扫不可代替真实平扫, 与本文所研究的结果矛盾。出现这种情况的原因可能是由于GE Revolution的实现方式与西门子双源CT的实现方式不同。脾脏、下腔静脉在四组图像中的CT值有统计学意义($P < 0.05$), 在三期虚拟平扫图像中的CT值与真实平扫图像的CT值存在显著性差异。也有一部分研究指出四组图像脾脏CT值有显著差异的情况^[15-17]。这种结果表明三期虚拟平扫不能在脾脏和下腔静脉的分析中替代真实平扫, 笔者认为原因可能是

在腹部增强检查中,脾脏的组织实质属于不均匀强化。对于脾脏勾画ROI时进行测量时,不可避免高低密度混叠区域对于CT值的影响。下腔静脉CT值在三期虚拟平扫中与真实平扫有统计学差异的原因可能由于下腔静脉充盈不佳造成图像质量产生了一定的偏差,还有可能是与将水、碘造做基物质组合及碘造影剂的浓度有一定的相关性^[18]。SD值象征图像噪声,三期虚拟平扫的噪声均有统计学意义($P<0.05$),虚拟平扫与真实平扫相比噪声更高,原因在于双能CT虚拟平扫技术的在瞬时切换管电压,当处于低电压时则可能会导致噪声增加^[19]。但是有研究给出了另一种解释,认为这可能是由于双能CT利用D卷积核舍弃了一些图像的细节来降低噪声,反而降低了图像质量^[20]。

研究结果表明四组图像中肝脏、脾脏、肾背肌及下腔静脉的SNR均无统计学意义($P>0.05$)。SNR是衡量图像干扰因素的指标,证明虽然三期虚拟平扫图像是经过重建获得的图像,但其中的组织信号并没有受到碘水分离技术处理后去碘因素的影响。在三期虚拟平扫图像中,门脉期虚拟平扫图像的SNR与真实平扫图像的SNR最为接近。在三期虚拟平扫图像中CNR均无统计学差异($P>0.05$),三期虚拟平扫的图像都符合诊断要求,可以达到检出病灶的效果。其中肝右叶CNR在虚拟平扫中动脉期优于其他两期,肝左叶CNR在虚拟平扫中门脉期优于其他两期。本文认为出现此类情况与肝脏的灌注特点有关,但目前没有相关文献支持,有待进一步研究。

进行真实平扫+常规三期扫描的辐射剂量明显高于三期增强扫描的辐射剂量,两种扫描模式有统计学意义($P<0.05$)。省略真实平扫过程可显著降低患者所受的辐射剂量。主观评分没有统计学差异($P>0.05$),虚拟平扫图像均满足研究需求。综上所述,运用双能CT虚拟平扫技术对腹部有病变的患者进行扫描检查之后,肝脏部位的真实平扫图像和三期虚拟平扫图像质量相似,此项技术对于肝脏的检查意义较大。双能CT虚拟平扫技术在降低辐射剂量总量这一方面也提供了很好的一个途径。总体而言,门脉期虚拟平扫图像更接近真实平扫图像所达到的效果。但本文存在以下局限:利用GE Revolution进行双能CT虚拟平扫,检查过程中则总会进行瞬时管电压的切换,便会导致球管过热等设备的硬件损耗问题,影响检查的进度。在保证需检查部位完整扫描的同时,需要尽可能缩小扫描的范围。在重建过程中默认ASir-V为60%,此参数可以进行改动。ASir-V改动到何数值时可以得到最佳的重建图像则有待进一步研究。双能CT虚拟平扫技术的重建需要花费更多时间,需要仔细阅读更大的数据集,对于诊断医生来讲增添了阅片的负担。

参考文献

- [1] 孙晓岚, 门琼, 侯克柱, 等. 声辐射力脉冲成像与血清学检测技术诊断肝脏占位性病变的临床价值[J]. 山西医药杂志, 2017, 46(18): 2182-2184.
- [2] 白娇, 钟慧, 刘荣波. 采用双源CT虚拟平扫技术代替常规平扫行CT腹膜腔成像的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(1): 33-37.

- [3] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007 Jun; 17(6): 1510-1517.
- [4] 田士峰, 刘爱连. 双能CT虚拟平扫进展及临床应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2014, 37(01): 54-57.
- [5] 莫家强, 刘彪, 黎军强. 肝癌双源CT双能量虚拟平扫与常规平扫的影像比较研究[J]. 右江民族医学院学报, 2016, 38(3): 302-304.
- [6] Godoy MC, Naidich DP, Marchiori E, et al. Single-acquisition dual-energy multidetector computed tomography: analysis of vascular enhancement and postprocessing techniques for evaluating the thoracic aorta[J]. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(5): 670-677.
- [7] De Cecco CN, Buffa V, Fedeli S, et al. Dual energy CT (DECT) of the liver: conventional versus virtual unenhanced images[J]. Eur Radiol, 2010, 20(12): 2870-5.
- [8] 程璐, 朱唯玮, 李芊亭, 等. 探讨GE Revolution能谱扫描上腹部虚拟平扫代替常规平扫可行性[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(11): 105-107.
- [9] 王会霞, 岳松伟, 吕培杰, 等. 对比分析两种胸部能谱CT虚拟平扫图像与常规平扫图像[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(9): 1409-1413.
- [10] 王小鹏, 侯平, 吕培杰, 等. 能谱联合迭代重建在重度肝硬化双低扫描中的应用价值[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(4): 309-315.
- [11] De Cecco CN, Darnell A, Macías N, et al. Virtual unenhanced images of the abdomen with second-generation dual-source dual-energy computed tomography: image quality and liver lesion detection[J]. Invest Radiol, 2013, 48(1): 1-9.
- [12] Borhani AA, Kulzer M, Iranpour N, et al. Comparison of true unenhanced and virtual unenhanced (VUE) attenuation values in abdominopelvic single-source rapid kilovoltage-switching spectral CT[J]. Abdom Radiol (NY), 2017, 42(3): 710-717.
- [13] 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.
- [14] 钱玉娥, 胡红杰, 张峭巍, 等. 新双源CT虚拟平扫技术在肝脏检查中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2011(2): 120-123.
- [15] 石磊, 张欢, 潘自来, 等. 双能量CT在胃癌虚拟平扫应用的初步探讨[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(1): 33-37.
- [16] 林志焯, 吴先衡, 林黛英, 等. 双源CT双能量虚拟平扫在胆系结石检查中的价值[J]. 影像诊断与介入放射学, 2014, 23(3): 216-219.
- [17] 彭晋, 张龙江, 周长圣, 等. 对比剂注射速率对双源CT上腹部虚拟平扫图像质量的影响[J]. 放射学实践, 2010, 25(02): 215-218.
- [18] 袁才兴. Revolution CT腹部虚拟平扫替代常规平扫的可行性探讨[D]. 福建医科大学, 2018.
- [19] Guimaraes LS, Fletcher JG, Harmsen WS, et al. Appropriate patient selection at abdominal dual-energy CT using 80 kV: relationship between patient size, image noise, and image quality[J]. Radiology, 2010, 257: 732-742.
- [20] 王士阔, 王莹, 王运, 等. 双源CT双能量虚拟平扫对脂肪肝的诊断价值[J]. 放射学实践, 2014, 29(9): 1008-1011.

(收稿日期: 2024-07-30)
(校对编辑: 翁佳鸿)