DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2015.09.040

◇综　述◇

双能量 CT 虚拟平扫在泌尿系结石检出的应用价值

梁煜峰,李小虎,余永强,刘　斌

摘要　泌尿系结石是泌尿系统的常见疾病之一,发病率及复发率普遍较高。双能量 CT 虚拟平扫技术的应用,有效地提高了泌尿系结石的检测,明显降低了患者辐射剂量。本文就双能量 CT 虚拟平扫技术应用进展及其优势进行综述。

关键词　虚拟平扫;体层摄影术;信号噪声比;辐射剂量;泌尿系结石

中图分类号　R 445.3

文献标志码　A　**文章编号**　1000-1492(2015)09-1363-04

泌尿系结石是泌尿外科最为常见的疾病之一,可发生于泌尿系的不同部位,以双侧肾脏和输尿管好发。流行病学研究[1]显示泌尿系结石的患病率约为 1%~5%,治疗后易复发,有关文献提到 10 年复发率高达 50%,给患者的生活质量带来严重的影响。由于 CT 检查的诊断敏感性高达 95%~100%[2],所以 CT 检查作为临床检测泌尿系结石的金标准。CT 尿路造影能够清晰显示尿路全程,提高临床诊断准确性,但是相应总辐射剂量较常规平扫的辐射剂量增大,这是导致 CTU 检查未能在临床推广应用的主要原因[3]。随着双能量 CT 物质分离技术的应用,虚拟平扫技术应运而生,可以重建出与常规平扫相似的图像,省略一次扫描次数,有效减少患者的辐射剂量,有很高的临床应用价值。

1　双能量 CT 的技术优势及原理

20 世纪 70 年代的双能量 CT 技术一直不能满足临床诊断及临床科研的需要,主要是由于球管在低电压下输出的能量达不到高千伏和 CT 分辨率低。目前能够实现 CT 双能量成像技术并且适用于临床的方法包括 4 种:① 常规单源 CT(即高低电压扫描 2 次);② 双源 CT;③ 能谱 CT 的快速 kV 切换技术;④ 双层"三明治"探测器 CT(即通过 1 次扫描,不同层的探测器接受不同能量的 X 射线,目前此项技术尚处于研发阶段)。国内外多数双能量 CT 成像技术的研究多以双源 CT 和能谱 CT 为主,另外两种 CT 成像技术尚无用于临床的报道。

当双源 CT 进行扫描时,存在两种不同视野范围的探测器,即探测器 A 负责覆盖于所需要进行扫描的视野范围,探测器 B 则负责局限于所需进行扫描的中心范围,这个范围相对探测 A 是一种更小的视野范围。两种探测器分别开始采集经过受检患者衰减后的 X 射线,采集的方式是以不同的电流和不同的电压运行,通过两种不同探测器所获得的两组不同能量数据,以及一组融合数据图像,然后依据区分碘剂和钙化的硬斑算法以及区分脂肪、碘剂和软组织的材料分解理论,通过二维线性方程进行调整,分别获得出两组能反映碘衰减系数的不同的 CT 图像,其中一组图像是含有碘对比剂的图像,称之为碘分布图;而另一组图像,是去除碘对比剂过后的图像,即所谓的虚拟平扫影像。

宝石能谱 CT 是一种单源 CT,采用单个 X 射线球管技术,可以使系统在 0.5 ms 的短暂周期内完成 80 kV 和 140 kV 电压的瞬时切换[4]。宝石能谱 CT 通过水物质与碘物质之间的分离技术将碘对比剂有效地从所获得的图像中分离出来,在注入碘对比剂行增强扫描的条件下获得临床影像所需的水(碘)密度图,尤其是在所获得的水密度图上不存在含碘成分,初步的研究[5]表明双能量 CT 扫描重建出的虚拟平扫技术可以代表常规平扫图像。

2　虚拟平扫技术的临床应用

双能量 CT 可以通过水物质与碘物质的分离将碘剂从图像中分离出,在注入碘对比剂行增强扫描的条件下获得的一种水(碘)密度图,即所谓的虚拟平扫图像。正是因为虚拟平扫图像上不含有碘成分,所以图像中所有含水成分都能够在虚拟平扫图像上得到特异性显示。因此对于虚拟平扫技术的研究也渐渐地引起更多国内外学者的关注与研究。

2015-05-18 接收

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:81301224);安徽高校省级自然科学研究重点项目(编号:KJ2013A144);安徽医科大学第一附属医院青年培育基金项目(编号:2012KJ02)

作者单位:安徽医科大学第一附属医院放射科,合肥　230022

作者简介:梁煜峰,男,硕士研究生;

余永强,男,教授,主任医师,博士生导师,责任作者,E-mail: yuyongqiang@hotmail.com

双源 CT 的虚拟平扫技术在临床上对肾脏部位的病变有相关报道，Moon et al[6] 就双源 CT 虚拟平扫图像在诊断肾脏结石方面的研究显示虚拟平扫所获得的图像对于结石最大径为 1 ~ 3 mm 的结石的检出存在一定局限性，尽管在图像质量上与常规平扫的图像质量没有太大差异。

能谱 CT 虚拟平扫对肾脏疾病诊断有一定的价值，Lv et al[7] 利用能谱 CT 物质分解图像评估尿路结石检测能力，结果表明水基图与钙基图图像对于结石直径 >2.71 mm 以及高密度的泌尿系结石（在水基图上 >280 HU，在钙基图上 >215 HU）的检测率很高。Takahashi et al[8] 认为能谱 CT 虚拟平扫图像正是因为该图像中含碘成分不显示，有效地避免经肾脏排泄的碘对比剂对肾内结石的遮掩，从而提高了肾结石的检出率。Scheffel et al[9] 评价了双能量 CT 虚拟平扫技术在泌尿系结石上的诊断应用价值，所得到的相关数据提示其诊断结石的灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为高达 83%、100%、100%、88%，对于结石大小的影响差异无统计学意义。李小虎[10-13] 等指出，通过综合运用能谱 CT 虚拟平扫技术、碘（水）图、钙（水）图、水（钙）图这 4 种图像，能够有效地检测泌尿系阴性结石，同时也可以对结石的种类进行分析。

3 双能量 CT 虚拟平扫的优势

3.1 一次扫描获得多组影像 双源 CT 双能量扫描可获得两组图像，即 140 kV 与 80 kV 或 100 kV。由于 140 kV 图像的密度分辨率较高，观察软组织的效果优于另外两种能量的图像。双源 CT 双能量扫描后，通过工作站上的后处理软件可以获得虚拟平扫影像和碘分布图。由于碘分布图分析病灶强化的程度比仅仅依据常规进行增强扫描而获得的图像分析会相对准确，所以对病灶的检出和定性有重要意义。

物理学家指出，任意两种已知物质的 X 射线吸收系数可以决定一种新物质的 X 射线吸收系数，因此将一种物质的衰减转化为产生同样衰减的两种物质的密度，从而产生物质的分离，有效地帮助分析物质的组成。因此能谱 CT 扫描能将增强扫描的图像通过后处理软件进行水物质与碘物质的分离，得到虚拟平扫图像，还可以获得一种称之为碘（水）图像，碘（水）图像对判断软组织有无强化以及其强化程度较为敏感。同样，在能谱 CT 的工作站上对虚拟平扫图像进行后处理，还可进一步获得例如水（钙）、碘（钙）等多组图像，对临床影像中区别对比剂与钙化、判断物质成分等有十分重要的帮助[14]。

3.2 图像质量满足临床需要 根据对腹膜腔内不同的解剖细节及结石显示的清晰程度的不同，以及由于噪声、伪影而引起的对结石检出率等各方面的影响程度不同，图像质量按照以下 5 级的评分标准[15]：5 分（优异）：解剖细节及病灶显示清晰，无明显噪声和伪影；4 分（良好）：解剖细节及病灶显示较清晰，噪声和伪影都增多；3 分（中等）：解剖细节欠清晰，病灶显示尚可，噪声和伪影较明显但仍可在接受范围之内；2 分（较差）：解剖细节辨识困难，病灶显示欠清晰，噪声和伪影很明显；1 分（极差）：解剖细节无法辨识，病灶边界显示不清，噪声和伪影特别明显。Scheffel et al[9] 就双能量 CT 的虚拟平扫图像在双侧肾结石的诊断应用方面进行了多项研究，研究证实虚拟平扫图像质量能够提供接近普通平扫的图像质量，满足临床诊断的需要。

3.3 图像信号噪声比（signal-to-noise ratio，SNR）高 图像 SNR 为平均 CT 值与标准差的比值，即 SNR = 平均 CT 值/噪声。SNR 是衡量所获得图像抵抗外界因素干扰的能力，与扫描管电流、管电压、图像的重建算法、层厚等都有关联，管电流越高，则层厚越厚；管电压越低，则 SNR 越高。CT 值为相应所测量感兴趣区域的平均 CT 值，噪声值即为标准差。为提高研究的准确性与可靠性，研究者通常在常规平扫图像上选定各个组织器官的感兴趣区域，与排泄期虚拟平扫图像上的感兴趣区域尽量保证在相同的位置，相同的水平处、以及尽量保持相同的面积，以此避免实验的较大误差。感兴趣区域的选择区域内应保证此区域内无明确病变的存在。孙昊 等[16] 研究显示虚拟平扫图像中各组织器官噪声值低于常规平扫的组织器官值，而 SNR 明显高于常规平扫的。物理学上虚拟平扫图像是按 0.3 的权重系数（140 kV 的数据与 80 kV 的数据信息分别所占的比例为 70%、30%）通过计算机软件的特殊处理后组合而成，相对来说 80 kV 所获得的图像管电压偏低，有效电流就会较高，SNR 值也随之增高，最终虚拟平扫图像 SNR 会高于普通常规平扫图像。

3.4 结石的发现率高 每例患者检查所获得的常规平扫与虚拟平扫图像中，结石所在的部位及大小可以通过工作站上的软件进行定位及大小的测量。有些学者曾提出虚拟平扫图像对结石诊断没有价值，例如 Scheffel et al[9] 通过排泄期行双能量虚拟平扫及常规平扫获得的图像对于结石的发现率分别为

69.44%(25/36)、94.28%(33/35),认为虚拟平扫图像不能够提高结石的检出率。与此同时国内外更多学者提出非议,Takahashi et al[17]发现通过虚拟平扫图像对于结石的诊断率为62.79%(27/43),而仅仅通过普通扫描图像诊断结石的敏感度仅为9.30%(4/43),认为结合虚拟平扫图像对于临床诊断结石有重要价值。国内学者杨诚等[18]研究虚拟平扫图像对于1~2 mm及≥3 mm的结石的检出率分别为84.21%、100%,可见虚拟平扫图像对结石的诊断有重要意义,同时认为当对结石大小≥3 mm时,双能量虚拟平扫图像可以替代常规平扫图像,同样也给临床诊断带来非常重要的作用。周长圣等[3]研究泌尿系结石在双能量虚拟平扫图像与常规平扫图像上不同部位的显示情况,得出双能量虚拟平扫图像与常规平扫图像这两种不同检查方法对于各个部位结石的检查差异无统计学意义,可见虚拟平扫图像可以代替常规平扫图像,有利于结石在临床中的诊断。

3.5 辐射剂量低 患者检查时都会由机器自动生成两组数据,分别是:容积CT剂量指数(CT dose index,CTDIvol,单位为mGy)及剂量长度乘积(dose length product,DLP,单位为mGy×cm)。容积CT剂量指数表示CT扫描检查容积中的平均放射剂量,剂量长度乘积表示受检者完成一次完整CT扫描的总辐射剂量。根据公式有效剂量(effective dose,ED)=DLP×C[19],换算成ED(单位为mSv),其中C为换算因子,临床研究中通常采用欧洲CT质量标准指南所提出的腹部平均值为0.015[20]。马周鹏等[21]发现运用虚拟平扫检查肾脏疾病时,虚拟平扫的总辐射剂量较常规平扫的辐射剂量均降低。Mileto et al[20]也在研究中指出,应用虚拟平扫时可省略一次常规平扫,减少一次扫描的时间,可以为接受检查的患者减少约(26.7±9.7)%的辐射剂量。因此虚拟平扫技术的运用,对泌尿系CT成像检查无疑存在明显的优势,这也符合国际放射防护委员会提出的合理使用低剂量原则[22]。

随着双能量CT技术逐渐被临床应用,国内外学者普遍认为[4,7-9,16],双能量CT虚拟平扫技术在诊断泌尿系结石方面与普通平扫具有很高一致性,使用虚拟平扫图像存在两个主要优势:缩短扫描时间和降低患者接受的辐射剂量。虚拟平扫图像是增强扫描图像经后处理软件处理得到的,需要保证二者在每个像素点的对称与重合,减少相应感兴趣区在扫描过程中带来的误差,为实验研究数据的准确性提供保障。

当然,双能量CT扫描技术在实际临床应用中还存在一些局限性。首先,由于扫描图像上结石大小不一致,导致虚拟平扫技术对不同大小结石的检出率也存在相应差别,Takahashi et al[17]报道过研究对于直径分别为1~2 mm、3~4 mm和5~6 mm结石,虚拟平扫图像对结石的检出率分别为28.57%(4/14)、64.28%(9/14)和83.33%(5/6),由此可以看出研究对于直径在1~2 mm的结石检出率较低,可能由于虚拟平扫图像存在相应的减小效应,结石越小,虚拟平扫图像上结石的减小效应就会越明显,因此认为虚拟平扫图像对于1 mm~2 mm的小结石诊断能力较差,仍需进一步研究与验证。患者在检查过程中因扫描范围过长,因为所需屏气时间也相应延长,尤其是对于体弱的患者,患者屏气功能较差,会产生一定的呼吸运动伪影,会使得图像质量的误差产生较大。另外,由于80 kV条件下图像的噪声较大,尤其对于体型较肥胖的患者,使得虚拟平扫图像的质量受到影响,结石的检出率也会降低,因此存在身体指数这个变异因素,结石检出率也会受影响。最后,尽管能谱CT虚拟平扫图像可以有效地测量所定义感兴趣区域的水基值,但是需要将所测量出的水基值转化为此感兴趣区域的CT值,转化过程较为复杂,给常规平扫与虚拟平扫二者之间的综合分析带来不便。

4 结语

综上所述,能谱CT虚拟平扫技术在泌尿系结石诊断方面已经取得了有价值的突破与进展,这不仅能够有效检测出泌尿系结石,更主要的是可以减少患者的辐射剂量。相信,随着双能量CT成像技术的不断发展与成熟,能谱CT虚拟平扫技术有望为结石患者的预防及治疗提供更多有帮助的信息。

参考文献

[1] 叶章群.泌尿系结石研究现状与展望[J].中华实验外科杂志,2005,22(3):261-2.

[2] 赵文前,孙玉芝,张金山,等.大剂量静脉尿路造影在泌尿系梗阻检查中的应用探讨[J].中国医学影像技术,2003,19(6):733-4.

[3] 周长圣,郑 玲,张龙江,等.双源CT尿路造影中双能量虚拟平扫检查尿路结石[J].中国医学影像技术,2009,25(5):853-5.

[4] 李小虎,刘 斌,余永强,等.能谱CT的原理与临床应用价值[J].中国医疗器械信息,2011,17(10):1-5.

[5] Hartman R,Kawashima A,Takahashi N,et al. Applications of du-

al-energy CT in urologic imaging: an update [J]. Radiol Clin North Am,2012,50(2):191-205.

[6] Moon J W,Park B K,Kim C K,et al. Evaluation of virtual unenhanced CT obtained from dual-energy CT urography for detecting urinary stones [J]. Br J Radiol,2012,85(1014):e176-81.

[7] Lv P J,Zhang Y,Liu J,et al. Material decomposition images generated from spectral CT: detectability of urinary calculi and influencing factors [J]. Acad Radiol,2014,21(1):79-85.

[8] Takahashi N,Hartman R P,Vrtiska T J,et al. Dual-energy CT iodine-subtraction virtual unenhanced technique to detect urinary stones in an iodine-filled collecting system: a phantom study [J]. AJR Am J Roentgenol,2008,190(5):1169-73.

[9] 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):823-9.

[10] 吴礼明,刘 斌,李小虎,等. 能谱 CT 扫描钙基图及水基图区分泌尿系结石成分的初步实验研究 [J]. 实用放射学杂志,2012,28(8):1280-2.

[11] 李小虎,余永强,王万勤,等. 体外区分泌尿系结石成分: 对比观察 CT 能谱扫描与常规扫描 [J]. 中国医学影像技术,2011,27(11): 2331-4.

[12] 李小虎,刘 斌,余永强,等. 能谱 CT 单能量区分体外肾结石成分的初步实验研究 [J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2011,9(5):9-11.

[13] 李小虎,余永强,王万勤,等. CT 能谱成像对肾结石成分分析的初步研究 [J]. 中华放射学杂志,2011,45(12):1216-9.

[14] 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(1):54-7.

[15] Behrendt F F,Schmidt B,Plumhans C,et al. Image fusion in dual energy computed tomography: effect on contrast enhancement,signal-to-noise ratio and image quality in computed tomography angiography [J]. Invest Radiol,2009,44(1): 1-6.

[16] 孙 昊,薛华丹,刘 炜,等. 双源 CT 泌尿系成像双能量虚拟平扫的临床评估 [J]. 中国医学科学院学报,2010,32(6):649-54.

[17] Takahashi N,Vrtiska T J,Kawashima A,et al. Detectability of urinary stones on virtual nonenhanced images generated at pyelographic-phase dual-energy CT [J]. Radiology,2010,256(1):184-90.

[18] 杨 诚,曹建新,王一民,等. 双能量 CT 虚拟平扫图像检测泌尿系结石 [J]. 中国介入影像与治疗学,2012,9(12):861-4.

[19] Menzel H,Schibilla H,Teunen D. European guidelines on quality criteria for computed tomography [M]. Luxembourg: European Commission,2000: 16262.

[20] 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):334-9.

[21] 马周鹏,周建军,刘学玲,等. 双能 CT 双期增强扫描结合虚拟平扫对肾脏透明细胞癌的诊断价值 [J]. 中华放射学杂志,2012,46(8):687-92.

[22] Slovis T L. The ALARA concept in pediatric CT: myth or reality [J]. Radiology,2002,223(1):5-6.

(上接第 1340 页)

[16] Kwasniewska A,Stupak A,Krzyzanowski A,et al. Cesarean scar pregnancy: uterine artery embolization combined with a hysterectomy at 13 weeks´ gestation-a case report and review of the literature [J]. Ginekol Pol,2014,85(12): 961-7.

Study of the clinical treatments on 107 cases with uterine scar early pregnancy

Pan Xiaohua, Li Li, Yan Shijie, et al

(*Dept of Gynecology,The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University,Hefei* 230022)

Abstract ***Objective*** To explore the treatment effects of uterine artery embolization (UAE) combined with medications or operation treatments about uterine scar early pregnancy (USEP). ***Methods*** Retrospective analysis was of the treatment effects of medications, operation treatments and UAE for 107 cases of USEP using Logistic regression models. ***Results*** Drug therapy, operation therapy and UAE were all safe and effective. All the patients were cured and without follow-up irregular vaginal bleeding. The time of productions ($x = 1.2 \pm 0.47$) and the number of human chorionic gonadotrophin-β (β-HCG) value (M = 1175ng/ml) before treatments were effective determineing factors of UAE to the treatments of USEP. Mifepristone, No. II of ectopic pregnancy and open operation for the uterine scar pregnancy with the removal of pregnancy and uterine scar repair all showed effective correlation to UAE. UAE effectively reduced the amount of bleeding after treatments. ***Conclusion*** USEP patients can been treated by the drug therapy, operation therapy and UAE method, USEP patients with production history and β-HCG value larger than 1175ng/ml before treatments should be treated by UAE combined with mifepristone or No. II of ectopic pregnancy or open operation for the uterine scar pregnancy with the removal of conceptus and the cesarean incisionrepair.

Key words uterine scar pregnancy; early stage; treatment