

• 胸部影像学 •

初步评估双源 CT 双能量技术在孤立性肺结节研究中的价值

王华斌, 李苏建, 卢光明, 张龙江, 周长圣, 王中秋

【摘要】 目的:探讨双源 CT 双能量技术在孤立性肺结节(SPN)研究中的临床应用价值。**方法:**40 例 SPN 患者经病理证实并行胸部 CT 常规平扫及双能量模式增强扫描,双能量增强扫描数据传入 Siemens 双源 CT 专用“Dual-Energy”工作站,选择“Liver VNC”模式进行自动能量减影,得到虚拟平扫图像及碘分布图像。对 SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫图像 SPN 的 CT 值进行比较研究;对 SPN 内的碘分布图像 CT 值与 SPN 的强化值(增强图像 SPN 的 CT 值—平扫图像 SPN 的 CT 值)进行比较研究;对利用碘分布图像 CT 值和强化值在诊断 SPN 的符合率进行比较研究;研究虚拟平扫图像显示 SPN 内钙化灶以及纵隔淋巴结钙化灶的能力;将双能量扫描模式辐射剂量与单源扫描模式辐射剂量进行比较。**结果:**SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫图像的 CT 值以及碘分布图像 CT 值与强化值显示出良好的一致性(相关系数分别为 0.89,0.91)。以 20HU 作为阈值,利用 SPN 强化值评估其良恶性的准确度、敏感度、特异度分别为 67.5%、71.4%、58.3%;利用 SPN 碘分布图像 CT 值评估其良恶性的准确度、敏感度、特异度分别为 75.0%、74.2%、66.7%。虚拟平扫图像对 SPN 内钙化灶及纵隔淋巴结钙化的显示率为 94.2%。双能量扫描模式平均辐射剂量(230.74 ± 36.12)mGy·cm 与单源扫描模式平均辐射剂量(238.14 ± 29.12)mGy·cm,差异无统计学意义($t=0.12, P>0.05$)。**结论:**双能量扫描技术能够一次扫描获得虚拟平扫图及碘剂分布图,不存在数据采集的位置和时间差,能够成功检出强化后 SPN 内的钙化灶,选择性重建 SPN 的虚拟平扫图像代替胸部常规平扫则可以明显减低患者的辐射剂量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 双能量成像; 肺结节, 孤立性

【中图分类号】 R563.9; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)05-0504-05

Preliminary evaluation of dual-energy CT technique in the study of solitary pulmonary nodules WANG Hua-bin, LI Su-jian, LU Guang-ming, et al. Department of Medical Imaging, Nanjing General Hospital of PLA, Clinical College of Medical School of Nanjing University, Nanjing 210002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the clinical utility of dual-energy CT technique in the study of solitary pulmonary nodules. **Methods:** 40 patients with SPN proved pathologically were examined by conventional chest CT and the DE mode of Somatom Definition scanner. By using a modified prototype of the Liver VNC application of dual energy (Siemens Medical Solutions) on a dedicated research MultiModality Workplace workstation, virtual nonenhanced and iodine-enhanced images were calculated from the enhanced scan data. CT value of SPNs on virtual nonenhanced and nonenhanced weighted average images, as well as CT value of the SPNs on iodine-enhanced image and the degree of enhancement (CT number on enhanced weighted average image minus CT number on nonenhanced weighted average image) were compared. The CT value of the SPN on iodine-enhanced image and the degree of enhancement were compared in terms of their diagnostic accuracy for distinguishing malignant and benign nodules. Detectability of calcifications within the SPN and lymph nodes on virtual nonenhanced image were compared with those on the nonenhanced weighted average image. Radiation dose of dual-energy CT was compared with that of single-energy CT. **Results:** CT value of SPN on nonenhanced weighted average and virtual nonenhanced images showed good agreement ($r=0.89, t=6.84, P<0.001$). The CT value of SPN on iodine-enhanced image and the degree of enhancement also showed good agreement ($r=0.91, t=6.98, P<0.001$). Diagnostic accuracy with a cut off of 20HU for malignancy by using CT value on iodine-enhanced image was comparable to that by using the degree of enhancement (sensitivity, 74.2% and 71.4%; specificity, 66.7% and 58.3%; accuracy, 75.0% and 67.5%, respectively). On virtual nonenhanced image, 94.2% (33 of 35) of calcifications in the SPNs and lymph nodes were detected. The average dose-length product of a single scanning covering the full thorax using DE CT was (230.74 ± 36.12)mGy·cm, was not significantly different from that of single-energy CT (238.14 ± 29.12)mGy·cm. **Conclusion:** Dual-energy technique simultaneously provides virtual nonenhanced image and an iodine-enhanced image from a single scanning. DE CT allows differentiation of calcification from enhancing tissue by subtraction of the iodine component. Optional reconstruction of a virtual nonenhanced image after DE CT scanning may save the amount of radiation of an additional nonenhanced CT scanning.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Dual energy imaging; Pulmonary nodule, solitary

双源 CT (dual source computer tomography, DSCT) 是基于西门子成熟的 64 层 CT 技术之上的崭新设备, 在扫描速度、时间分辨力和空间分辨力上有了

作者单位: 21000 南京, 南京军区总医院医学影像科

作者简介: 王华斌(1972—), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 副主任医师, 主要从事医学影像诊断工作。

通讯作者: 李苏建, Email: lisujian2005@yahoo.com.cn

更高的突破,目前研究主要集中于心脏成像方面^[1,2],而其独特的双能量成像技术报道很少。胸部双能量成像技术可鉴别碘和其他软组织,并得到虚拟平扫图像,在理论上有望代替胸部常规平扫,减低患者的 X 线辐射、消除呼吸及心脏搏动的影响^[3]。但双能量技术在孤立性肺结节(solitary pulmonary nodule, SPN)诊断上究竟优势如何尚不明确,本研究旨在评价其在 SPN 诊断上的临床应用价值。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性分析 2007 年 1 月~2009 年 3 月在南京军区总医院行双源 CT 增强检查 SPN 40 例,所有病例均经穿刺活检或手术病理证实。男 24 例,女 16 例,年龄 16~82 岁,平均 49 岁。所有入选患者行双能量增强前均签署知情同意书。

2. CT 扫描方法及图像后处理

扫描采用西门子(Somatom Definition)双源 CT,先对整个胸部行常规 CT 平扫(单源模式),扫描范围由胸廓入口至肾上腺水平。增强扫描选择双能量模式,扫描范围与平扫相同,对比剂为欧乃派克(300 mg I/ml) 100 ml,以 3.0 ml/s 流率经肘或手背静脉注入,延迟 120 s 开始扫描。扫描条件:矩阵 512×512, A 球管 140 kV, 50 mAs; B 球管 80 kV, 210 mAs; 扫描参数:准直器宽度 32×0.6 mm,螺距 0.7,旋转时间 0.5 s,重建参数:层厚 1.0 mm,重叠 0.7 mm,重建函数 D30f。将双能量增强扫描数据传入 Siemens 双源 CT 专用 Dual-Energy 软件,选择“Liver VNC”模式进行自动能量减影,得到虚拟平扫图像及碘分布图像。

3. 双能量扫描观测指标

每个病例采集到 4 组数据,即 SPN 的常规平扫 CT 值,强化值,虚拟平扫 CT 值,碘剂分布图 CT 值。本研究的比较观察项目有:①对 SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫的 CT 值进行比较研究;②对 SPN 的碘分布图像 CT 值与 SPN 的强化值进行比较研究;③碘分布图像 CT 值和强化值对 SPN 的诊断符合率进行比较研究;④比较虚拟平扫及常规平扫上显示 SPN 内及淋巴结钙化的能力;⑤将双能量扫描模式辐射剂量与单源扫描模式辐射剂量进行比较。

4. 统计学分析

定量资料用平均值±标准差表示,计数资料用百分比来表示。应用 SPSS 11.5 软件对上述结果进行统计学分析;SPN 虚拟平扫 CT 值、碘剂分布图 CT 值与常规平扫 CT 值、强化值的相关性采用 pearson 检验。分别计算利用碘分布图像 CT 值和强化值诊断 SPN 的敏感度、特异度、准确度。双能量扫描模式辐射剂量

与单源扫描模式辐射剂量进行完全随机设计两总体均数比较的 t 检验。统计结果以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

1. SPN 的虚拟图像 CT 值和常规图像 CT 值的比较分析

SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫的 CT 值显示出良好的一致性($r=0.89, t=6.84, P<0.001$)。SPN 内的碘分布图像 CT 值与 SPN 的强化值(增强图像 SPN 的 CT 值-常规平扫图像 SPN 的 CT 值)也显示出良好的一致性($r=0.91, t=6.98, P<0.001$)。SPN 的虚拟平扫图像 CT 值与碘分布图像 CT 值的总值与增强图像 SPN 的 CT 值显示出很好的一致性($r=0.94, t=7.01, P<0.001$)(图 1~4)。SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫的 CT 值的平均相差值为 -2.3 HU。SPN 内的碘分布图像 CT 值与 SPN 的强化值的平均相差值为 1.9 HU。SPN 的虚拟平扫图像 CT 值与碘分布图像 CT 值的总值与增强图像 SPN 的 CT 值的平均相差值为 1.8 HU。40 例病例中,恶性肿瘤 28 例,其中腺癌 14 例,鳞癌 4 例,细支气管肺泡癌 3 例,未分化癌 2 例,腺鳞癌 1 例,转移瘤 3 例,类癌 1 例。良性结节 12 例,其中结核瘤 5 例,炎性结节 3 例,错构瘤 2 例,肺血管瘤及肺囊肿各 1 例。SPN 内的碘分布图像 CT 值与 SPN 的强化值均显示恶性 SPN 的 CT 值显著高于良性 SPN 的 CT 值。据既往文献^[4,5],选择 20 HU 作为区别良恶性 SPN 的临界值,利用 SPN 的强化 CT 值评估 SPN 良恶性,25 例诊断恶性 SPN 出现 5 例误诊,其准确度、敏感度、特异度分别为 67.5%、71.4%、58.3%。利用碘分布图像 CT 值评估 SPN 良恶性,27 例诊断恶性 SPN 出现 4 例误诊,其准确度、敏感度、特异度分别为 75.0%、74.2%、66.7%。

2. 虚拟平扫图像检出钙化病灶的能力

在常规平扫图像上,5 个 SPN 内检出 8 个钙化灶,12 例病例检出 27 个纵隔淋巴结钙化灶。虚拟平扫图像检出全部 SPN 内钙化灶,25 个(93%, 25/27)纵隔淋巴结钙化灶(图 2)。

3. 辐射剂量

双能量增强扫描模式平均辐射剂量为(230.74±36.12) mGy·cm,单源扫描模式平均辐射剂量为(238.14±29.12) mGy·cm,两者之间差异无统计学意义($t=0.12, P>0.05$)。

讨论

1. 双能量技术原理及其优势

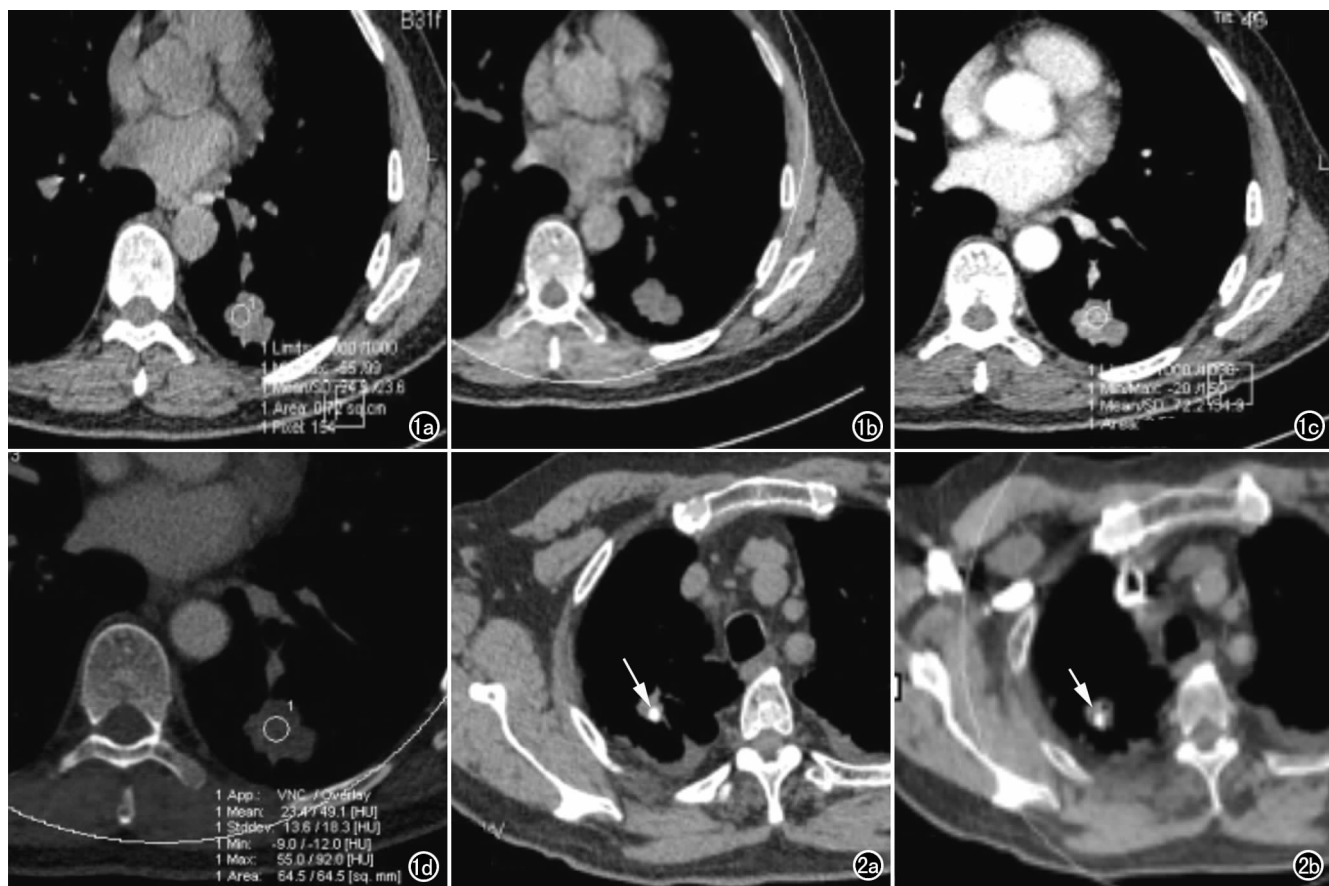


图 1 左下肺孤立性肺结节。碘剂分布图像 SPN 内 VNC 值代表感兴趣区的虚拟平扫 CT 值(23.4HU),与常规平扫图像感兴趣区 CT 值(24.9HU)相一致。Overlay 值代表感兴趣区碘分布 CT 值(49.1HU),与 SPN 的强化值(47.3HU)也显示出良好的一致性。a) SPN 的常规平扫图像; b) 虚拟平扫图像; c) 增强图像; d) 碘剂分布图像。

图 2 右上肺孤立性肺结节。a) 常规平扫图像示 SPN 内高密度钙化灶(箭); b) 虚拟平扫图像示 SPN 内高密度钙化灶(箭)。

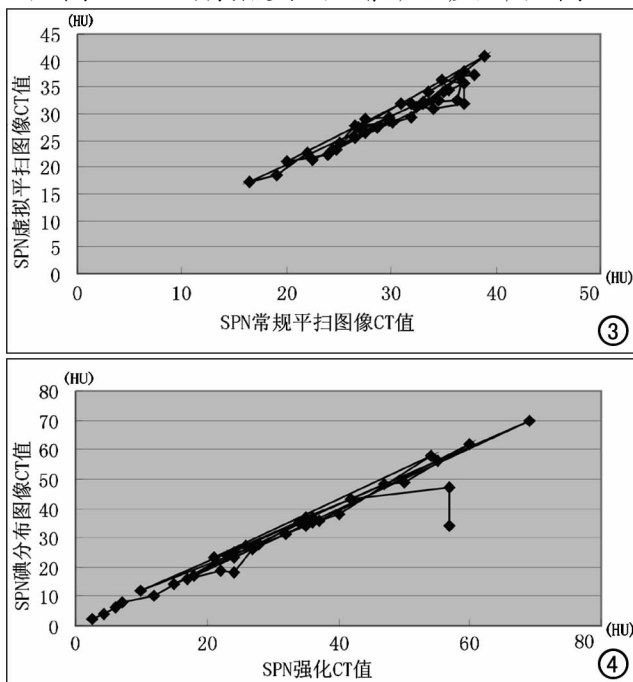


图 3 SPN 的常规平扫 CT 值和虚拟平扫图像 CT 值相关性散点图($r=0.89, t=6.84, P<0.001$)。图 4 SPN 的强化值与碘分布图像 CT 值相关性散点图($r=0.91, t=6.98, P<0.001$)。

双能量成像即在两种不同的能量下成像。其依据是不同成分的组织在不同的 X 射线能量照射下表现出的 CT 值不同,再通过图像融合重建技术,可得到能体现组织化学成分的 CT 图像,即组织特性图像。高密度物质衰减 X 线光子能量的主要方式是光电吸收效应,与 X 线光子的能量相关,其 CT 值随 X 线能量的变化有明显变化;而软组织衰减 X 线光子能量的主要方式是康普顿散射效应,与入射 X 线的能量关系不大,其 CT 值随 X 线能量的变化不明显。因此,通过分析不同能量的 X 线下组织相对应的 CT 值变化,能够区分不同成分的组织。碘为高原子序数物质,为最常用 CT 对比剂,其在低电压下表现为更强的增强效应,因此可以利用此种效应鉴别碘与其他不具备此效应的软组织。DSCT 双能量成像的基本过程是:一次扫描中球管 A 和球管 B 分别以 140 kV 和 80 kV 的管电压产生射线,经受检者衰减后,分别被相应探测器 A 和 B 接收,再经各自对应的数据采集装置采集转换后,便获得了两组独立原始影像数据,再在相关软件下计算机自动将由采集装置 A 获得的数据与 B 获得的数据相减,后对获得的差值经一系列处理,即可得到所需影

像。与常规 CT 相比,双源 CT 通过 Z 轴的飞焦点技术及两组球管、探测器,每次旋转每组探测器可以获得层厚为 0.6 mm 的重叠 64 层图像,机架的旋转最短时间为 0.33 s,缩短了检查时间,提高了检查的成功率。两套球管同时同层进行扫描所获得的高能和低能数据不存在时间和位置的差别,这为能量减影提供了最基本保证^[6,7]。

2. 双能量技术在 SPN 检查中的价值

SPN 是指肺实质内单发的、直径 ≤ 3 cm 的圆形或类圆形结节,不伴有明显的肺不张、卫星病灶或局部淋巴结肿大。SPN 影像学早期定性诊断长期以来一直是放射学研究的热点和难点。近年来,广泛开展的结节/肿块动态增强(包括肺灌注)在鉴别 SPN 的良恶性方面已被证实为一种有效的方法^[4,9]。但是,其也存在一些缺陷,例如,增加了患者 X 线辐射的剂量,因为兴趣区(region of interest, ROI)在动态扫描中出现位置的偏差而导致测量数据的不准确(尤其在 SPN 的体积较小时)以及各研究报道的灌注技术有很大的差别,包括扫描设备和分析软件,造成灌注技术和参数缺乏统一标准等,限制了该技术在临床上的广泛应用。双源 CT 的出现,在理论上为解决这些问题提供了可能性。基于本研究,使用双能量技术能够成功将碘成分从强化的软组织肿块中分离出来。SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和常规平扫的 CT 值以及碘分布图像 CT 值与强化值显示出良好的一致性,其 r 值分别为 0.89、0.91。因此,该项技术所获得的 SPN 的虚拟平扫图像可以代替以往动态增强研究中作为基线的胸部常规平扫。双能量技术另一重要价值是能够一次扫描同时获得 SPN 的虚拟平扫图像和碘分布图像,因此可以在相同的 ROI 得到 SPN 的虚拟平扫图像 CT 值和碘分布图像 CT 值,保证虚拟平扫和增强的每个像素点一一对应,最大程度减少 ROI 在动态扫描中出现位置的偏差而导致测量数据的不准确,这一点,在研究较小的 SPN 显得更加重要,本研究显示,利用碘分布图像 CT 值评估 SPN 良恶性,其准确度、敏感度、特异度分别为 75.0%、74.2%、66.7%,均较利用 SPN 的强化 CT 值评估 SPN 良恶性准确度、敏感度、特异度(其分别为 67.5%、71.4%、58.3%)有所提高,但差异无统计学意义。利用 SPN 的峰强化值及峰强化时间对评估 SPN 的良恶性有很大的帮助,据既往文献^[8,9],本研究选择 20 HU 作为区别良恶性 SPN 的临界值,120 s 延时扫描目的是在 SPN 峰强化时间内采集数据。本研究显示,尽管绝大多数 SPN 内钙化灶以及纵隔淋巴结在虚拟平扫图像上能被检出(其检出率分别为 100%、93%),但仍有少部分未检出。推测其原因,可能是虚拟平扫图像噪声较高,钙化灶表面的信噪比较低,在物

质分离时,部分钙化灶被转移到碘分布图像所致,但其确切原因,有待进一步深入研究^[10]。既往研究表明^[4-6],SPN 内及纵隔淋巴结钙化灶往往是良性结节的良好预测因子,因此,从强化的 SPN 内分离出钙化灶是重要的。强化的 SPN 内的钙化灶有时会被掩盖,特别是当钙化灶的密度 CT 值低于 SPN 的强化峰值。此时,通过双能量技术获得的虚拟平扫图像能提供有益的帮助。本组数据表明,双能量增强扫描模式平均辐射剂量稍低于单源扫描模式平均辐射剂量。因此,日常工作中选择性重建 SPN 的虚拟平扫图像代替胸部常规平扫可以明显减低患者的辐射剂量。

3. 双能量技术应用的局限性

由于受机架内可利用空间的限制,探测器 B 的有效探测野仅为 26 cm,故双能量检查的有效探测野受到一定的限制,位于肺野外带的 SPN 可能在有效探测野之外。本研究所有病例双能量模式增强扫描前均行胸部 CT 常规平扫,确保病灶均在有效探测野。据笔者经验,绝大多数病灶在常规胸部定位扫描即位于有效探测野内,无需改变患者扫描位置。日常工作中,笔者建议可参考扫描定位像适当调整个别患者扫描位置,以确保病灶均在有效探测野。本研究选择修正后的肝脏虚拟平扫(Liver VNC)模式进行自动能量减影,将原来默认的窗位,窗宽改为纵隔的窗位,窗宽(40 HU, 400 HU),得到胸部虚拟平扫图像及碘分布图像,图像质量能够满足临床需求,但要获得高质量的虚拟平扫图像及碘分布图像尚有待于后处理软件进一步升级和开发^[2,5,8]。

总之,双能量扫描技术能够一次扫描获得虚拟平扫图及碘剂分布图,不存在数据采集的位置和时间差,能够成功检出强化后 SPN 内的钙化灶,选择性重建 SPN 的虚拟平扫图像代替胸部常规平扫则可以明显减低患者的辐射剂量,因此,该技术有较好的临床应用前景。然而,胸部双能量扫描技术临床应用目前尚处于初步探索阶段,有待于双源 CT 硬件和后处理软件的不完善和发展。

参考文献:

- [1] 张竹花,金征宇,张抒扬,等. 双源 CT 冠状动脉成像的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2007, 41(9): 973-976.
- [2] 张宗军,卢光明. 双源 CT 原理及临床应用[J]. 医疗卫生装备, 2007, 28(10): 57-58.
- [3] 郑玲,顾海峰,杨刚,等. 双源 CT 成像技术及其临床应用的新进展[J]. 医学研究生学报, 2008, 21(4): 404-407.
- [4] Caoili EM, Korobkin M, Francis IR, et al. Adrenal masses: characterization with combined unenhanced and delayed enhanced CT[J]. Radiology, 2002, 222(3): 629-633.
- [5] Boland GW, Hahn PF, Pena C, et al. Adrenal masses: characterization with delayed contrast-enhanced CT[J]. Radiology, 1997, 202

(4):693-696.

[6] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(3): 1510-1517.

[7] Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, et al. First performance evaluation of a dualsource CT (DSCT) system[J]. Eur Radiol, 2006, 16(5):256-268.

[8] Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, et al. Lung nodule enhancement at CT: prospective findings[J]. Radiology, 1996, 201(7): 447-455.

[9] Jeong YJ, Lee KS, Jeong SY, et al. Solitary pulmonary nodule: characterization with combined wash-in and washout features at dynamic multi-detector row CT[J]. Radiology, 2005, 237(2):675-683.

[10] Eun JC, Jae WS, Joon BS, et al. Clinical utility of dual-energy CT in the evaluation of solitary pulmonary nodules: initial experience[J]. Radiology, 2008, 249(8):671-681.

(收稿日期:2009-04-24 修回日期:2009-10-19)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数
BF (blood flow):血流量
BOLD (blood oxygenation level dependent):血氧水平依赖
BV (blood volume):血容量
b:扩散梯度因子
CAG (coronary angiography):冠状动脉造影
CPR (curve planar reformation):曲面重组
CT (computed tomography):计算机体层成像
CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像
DICOM (digital imaging and communication in medicine):

医学数字成像和传输

DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影
DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像
DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像
ECG (electrocardiography):心电图
EPI (echo planar imaging):回波平面成像
ETL (echo train length):回波链长度
FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):快速小角度

激发反转恢复

FLASH (fast low angel shot):快速小角度激发
FOV (field of view):视野
FSE (fast spin echo):快速自旋回波
fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共振成像
IR (inversion recovery):反转恢复
Gd-DTPA:钆喷替酸葡甲胺
GRE (gradient echo):梯度回波

MPR (multi-planar reformation):多平面重组
MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影
MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影
MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像
MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像
MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学
MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT
MTT (mean transit time):平均通过时间
NEX (number of excitation):激励次数
PACS (picture archiving and communication system):图像
存储与传输系统
PC (phase contrast):相位对比法
PET (positron emission tomography):正电子发射计算机
体层成像
PS (surface permeability):表面通透性
SPECT (single photon emission computed tomography):单
光子发射计算机体层摄影术
PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像
ROI (region of interest):兴趣区
SE (spin echo):自旋回波
T₁ WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像
T₂ WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像
TE (time of echo):回波时间
TI (time of inversion):反转时间
TR (time of repetition):重复时间
TOF (time of flight):时间飞跃法
TSE (turbo spin echo):快速自旋回波
VR (volume rendering):容积再现
WHO (World Health Organization):世界卫生组织

(本刊编辑部)