

双能量 CT 在肺部肿瘤中的应用和现状

邹全梁¹ 孙凯^{2,3}

¹包头医学院中心临床学院 014040; ²包头医学院医学影像研究所 014040;

³包头市中心医院影像科 014040

通信作者: 孙凯, Email: henrysk@163.com

【摘要】 肺部肿瘤良恶性鉴别、肺癌分期及治疗后疗效评估对患者生存率和生活质量至关重要。近年来, 双能量 CT(DECT)技术的出现, 使 DECT 在肺部肿瘤领域的研究成为一大热点。笔者概述了 DECT 技术以及如何使用该技术鉴别肺部良性和恶性结节肿块、DECT 在肺部肿瘤分期和治疗反应中的应用等。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 肺肿瘤; 应用

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.013)

Application and current status of dual energy CT in lung tumors

Zou Quanliang¹, Sun Kai^{2,3}

¹Center Clinical Medical College of Baotou Medical College, Baotou 014040, China; ²Institute of Medical Imaging, Baotou Medical College, Baotou 014040, China; ³Department of Imaging, Baotou Central Hospital, Baotou 014040, China

Corresponding author: Sun Kai, Email: henrysk@163.com

【Abstract】 The identification of benign and malignant lung tumors, the staging of malignant lung tumors, and the assessment of post-treatment efficacy are critical for patient survival and quality of life. Dual-energy CT(DECT) has become a hot topic in the field of lung tumor research with the emergence of DECT technology in recent years. The authors outline DECT technology and its use in identifying benign and malignant nodules in the lungs, staging lung tumors, and evaluating therapeutic response.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Lung neoplasms; Application

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.013)

2013 年我国因支气管肺癌病死的患者共 546 259 例, 占全球该类癌症病死例数 (1 639 646) 的 1/3^[1]。2018 年国际癌症研究机构指出, 我国的男性及女性肺部恶性肿瘤的病死率均居恶性肿瘤的第一位^[2]。因此, 肺部肿瘤良恶性鉴别、肺癌分期及治疗后的疗效评估对患者的生存率和生活质量至关重要。双能量 CT(dual energy computed tomography, DECT) 可用于区别不同组织的特征, 例如由骨创伤引起的骨髓病变研究, 肾囊肿的体内外研究, 尿酸的沉积研究等^[3-5]。DECT 可用于区分乏血供小病变的良、恶性, 显示肿瘤组织中的坏死组织区域, 鉴别肿瘤患者正常淋巴结、炎性淋巴结和转移性淋巴结等^[6-7]。

因此, 研究 DECT 在肺部肿瘤中的应用是非常有价值的。

1 DECT 的技术原理及后处理技术

1.1 DECT 技术

在双能量技术中, X 线穿透组织获得 2 组不同管电压水平的光谱信息, 根据不同能量 X 线下不同的物质衰减存在的固定差异, DECT 能提高不同组织的鉴别能力^[8]。DECT 图像采集方法有 3 种^[9]。第一种是双源 DECT(dsDECT)采集技术, 即 2 个球管在 2 个不同的电压下同时扫描。双源 CT 能够独立选择每个 X 线球管的管电压, 并且确保球管在

不同管电压下的光子输出相似,其可以同步采用降低辐射剂量的技术,如自动化管电流调制技术、迭代重建算法等,可调节的准直器宽度可以确保较好的图像质量和适度的辐射剂量。第3代双源CT在蝶形滤器的远端增加了0.4 mm的锡滤器,提高了高能X线的平均能量,从而改善了物质的组织对比度。双源DECT的主要不足有:①由于探测器较小,且是双源CT系统,第2个球管的扫描视野相对较小(26~33 cm);②2个正交安装的球管探测器系统容易在非对应的正交探测器阵列上产生横向散射,尽管可以使用小探测器元件测量和校正交叉散射辐射,但不能完全消除;③球管角度偏移(第1代、第2代及第3代双源CT角度偏移分别约为90°、95°、95°)导致2个球管之间存在较小的时间差异^[10]。第二种采集方法是单个球管切换管电压峰值(kVp)水平,可以通过快速交替管电压或者在不同的管电压峰值水平上执行2次连续扫描的方式在瞬间实现不同能量之间的快速切换。首先使用高能扫描,当角度有微小变化时再使用低能扫描,几乎可以同时、同角度得到2个能量的采样。通过对2组高度匹配的能量信息在投影空间的解析,可以产生一系列单能量图像,以此消除线束硬化引起的CT值“漂移”。其主要不足是高、低能量采集之间快速的切换时间(<0.25 ms)导致视觉整合期X线谱的升降效应,延长了采集时间,降低了2个能谱的分离度。第三种方法是通过双层技术获取双能量数据,即单个球管发射的光子能量被探测器同时且选择性地记录,其采用三明治类型的双层探测器设计,薄厚不同的两层探测器紧密排列在一起。在能量成像过程中,球管发射的单一电压(通常为120 kV)射线首先经过基于钇的闪烁体组成的内层探测器,选择性地吸收低能量光子,再由Gd₂O₂S₂组成的外部探测器吸收高能光子,然后进行两组能量数据的分析。双能量数据之间的时间差异几乎可以忽略不计。但是电压快速切换技术和“三明治”双层探测器技术无法彻底解决由于采样率低或信号干扰导致的数据信息不准确和辐射剂量过高的情况^[11]。

1.2 DECT的后处理技术

通过DECT强大的计算机后处理技术可以得到除大小、平均密度(HU)外的几个特征性的定量参数。首先,在注射静脉造影剂之后,可以测定组织内碘的相对量,即所谓的“碘相关衰减”,它必

须标准化为动脉中的碘浓度(mg/mL)。在一些DECT研究中,可以利用高、低管电压峰值图像的平均衰减或碘浓度的差异或比率区别ROI的组织,如区别肾上腺腺瘤和肾上腺转移瘤^[6,12],也可以通过DECT图像量化肿块内的脂肪部分以区分良、恶性肾上腺肿块。其次,利用DECT比较ROI在不同千电子伏特(KeV)水平虚拟单能量的HU值曲线和斜率。Hou等^[13]通过对比60例肺癌和25例炎性肿块患者的行动期、静脉期DECT扫描得出DECT的定量参数,如70 KeV单能量图像CT值、标准化碘浓度(normalized iodine concentration, NIC)和能谱衰减曲线的斜率 λ HU,可以成为区分肺癌与炎性肿块的新方法。再次,由DECT数据可以导出有效原子序数(Z_{eff}), Z_{eff} 表示化合物或混合物的复合原子序数。不同的原子组成, Z_{eff} 值不同。 Z_{eff} 值已用于区分良、恶性甲状腺结节^[14]。到目前为止,DECT还没有进行系统地胸部肿瘤学的调查研究,但在胸部精准立体定向放疗计划中应用该技术可能非常有意义。

2 DECT在肺部肿瘤中的应用

2.1 DECT用于肺内实性肺结节

2008年的一项研究证明了DECT诊断孤立性肺结节(solitary pulmonary nodule, SPN)的可行性并指出了DECT的优缺点^[15]。研究对49例患者进行CT平扫和对比增强DECT扫描以判断SPN的良、恶性,双能量中的SPN虚拟平扫CT值与平扫CT值、碘图中的CT值与增强CT值均有较好的一致性(组内相关系数分别为0.83、0.91)。利用碘分布图像CT值评估SPN良、恶性,其灵敏度、特异度、准确率分别为92%、70%、82.2%,均较利用增强CT值评估SPN良、恶性的灵敏度、特异度、准确率(分别为72%、70%、71.1%)有所提高。结节内有无钙化,钙化的分布、含量和形态对于SPN良、恶性的鉴别诊断具有较高的价值。研究表明,结节中所含钙化成分越多,其良性的可能性越大,比如有明显钙化的肺结核或爆米花钙化的肺错构瘤^[16]。Chae等^[17]主要研究DECT的虚拟平扫能否替代平扫而不降低诊断小钙化灶的准确率。研究结果证实,患者使用双源DECT技术行胸部扫描与单能量扫描的辐射剂量相差不多,但虚拟平扫对钙化灶的诊断准确率低。虚拟平扫只

发现了病变中 85.0%(17/20)钙化的 SPN 和 97.8%(44/45)钙化的淋巴结,且虚拟平扫测量到的钙化灶比平扫中测量的的小。Chae 等^[17]提示在实际工作中平扫与对比增强扫描之间可以用碘值净增加 20 HU 的界限值区分良、恶性病变。

2.2 DECT 用于肺内亚实性结节

DECT 技术在鉴别良、恶性肿瘤方面不仅可用于实性结节,而且还可用于磨玻璃影^[18]。为了解决这个问题, Kawai 等^[18]首先对不同密度的钙、碘人造磨玻璃影进行体外研究,然后将 DECT 技术应用于临床病例。对 24 例患者的小型临床队列研究发现,在 DECT 对比增强图像中,22 例腺癌均强化,单个肺出血或炎性肿块未见强化。因此 DECT 技术可以提高良、恶性磨玻璃影鉴别的准确率。Zhang 等^[19]对 55 例已手术切除纯磨玻璃结节的患者行薄层 CT 和增强 DECT 扫描。通过单变量和多变量分析确定其特征,分析鉴别侵袭性腺癌、原位腺癌及小侵袭性腺癌,结果显示三者的 NIC 和能谱曲线斜率(k)的差异均无统计学意义。在多变量回归分析中,140 KeV 的 CT 值和病灶的大小是侵袭性腺癌的独立预测因子,综合使用这两个参数诊断侵袭性腺癌受试者曲线下面积为 0.713。因此 DECT 可以辅助显示病灶血供,判断纯磨玻璃结节的侵袭程度,其中较高能量(尤其是 140 KeV)的 CT 值对于侵袭性腺癌诊断的能力优于低能量的 CT 值,结合结节的大小,诊断侵袭性腺癌的能力可能会提高,但需要更多的临床样本进一步证实。

2.3 DECT 用于肺癌筛查

DECT 扫描可以提高肺结节的诊断率,但 DECT 并未用于肺癌的筛查,主要原因是肺癌筛查一般使用低剂量胸部 CT,并且 DECT 技术绝大多数都需要使用造影剂。泌尿系统结石的诊断之前也一直采取非对比增强 CT,但现在 DECT 已进入临床常规诊断^[20],相信在肺结节诊断筛查领域 DECT 肯定会扮演越来越重要的角色。

2.4 DECT 用于恶性淋巴结的评估

2012 年, Ogawa 等^[21]进行了一项小型 CT 验证研究,目的是研究注射造影剂 60 s 后的 DECT 平均加权图像是否能代替 30 s 和 100 s 时的双相单能量扫描,用于肺癌患者肺门、纵隔淋巴结血供及转移情况的评估。该研究对 83 例疑似肺癌患者注

射造影剂 60 s 后行 DECT(80 kVp 和 140 kVp)扫描及 30、100 s 120 kVp 常规 CT 扫描。结果表明:在肺癌分期中,注射造影剂 60 s 后行 DECT 图像采集可以取代胸部双相 CT 扫描。DECT 对肺癌患者淋巴结的评估尚在探索阶段,但已有 3 项研究结果发表^[22-24]。Liu 等^[22]研究发现,DECT 诊断甲状腺乳头状癌患者颈部转移性淋巴结得出的定量参数比单能 CT 定性成像的准确率更高。实验通过测量动脉期和静脉期的能谱曲线斜率、NIC 和标准化有效原子序数($Z_{\text{eff-c}}$)得出,在转移性淋巴结及良性淋巴结中,三者的差异有统计学意义。与常规 CT 评估相比,静脉期能谱曲线和动脉期 NIC 提高了诊断灵敏度(73.0%vs.61.9%, $P<0.001$)和特异度(88.4%vs.83.0%, $P<0.001$)。Liu 等^[23]将直肠癌患者 DECT 得出的 NIC 与淋巴结大小相结合,将鉴别转移性和非转移性淋巴结的准确率提高至 82.9%。Tawfik 等^[24]研究发现在鳞状细胞癌患者中,DECT 得出的碘值和碘覆盖图可以准确区分正常淋巴结、炎症淋巴结和转移性颈部淋巴结。

Li 等^[25]在术前对 61 例经病理证实为非小细胞肺癌的患者行胸部 CT 和 DECT 扫描,分别测量原发灶淋巴结、20 个转移淋巴结和 20 个非转移淋巴结的碘值和 NIC,统计分析原发病灶淋巴结、转移淋巴结和非转移淋巴结之间的差异。肺鳞状细胞癌与腺癌原发病灶及其转移淋巴结的碘值和 NIC 的差异无统计学意义($P>0.05$),而转移淋巴结与非转移淋巴结之间的差异有统计学意义($P<0.05$)。区分转移淋巴结和非转移淋巴结的最佳碘值和 NIC 阈值分别为 2.93 mg/cm³ 和 0.4328,它们的灵敏度分别为 80% 和 75%,特异度为 65% 和 75%,阳性预测值为 70% 和 75%,阴性预测值为 76% 和 75%,准确率为 73% 和 75%。研究得出 DECT 中的碘值和 NIC 在鉴别非小细胞肺癌原发病灶淋巴结和转移性淋巴结的价值需要进一步的研究验证,但其可用于鉴别非小细胞肺癌中的转移淋巴结和非转移淋巴结。

2.5 DECT 用于肺部肿瘤治疗后的评估

在肿瘤学中,DECT 可以提供使用抗血管生成药物治疗的患者治疗后的反应评估,是非常有前景的方法。有研究报道,抗血管生成药物可导致细胞抑制而不是细胞消亡,在治疗过程中病灶可发生囊性改变、中心坏死甚至假性生长^[26],用传统的标

准,如实体肿瘤的疗效评估标准(response evaluation criteria in solid tumors, RECIST)进行评估时,这些病灶可能会被误诊为病情进展。因此,研究人员提出在使用抗血管生成药物治疗的肺癌患者中使用新的评估标准(DECT)来提高评估的准确性。2012年, Kim等^[27]采用DECT评估10例接受贝伐单抗治疗的非小细胞肺癌患者的治疗反应,采用RECIST(只有大小变化)和Choi等^[26]的标准(反映肿瘤净增强值)进行比较评估,他们发现按RECIST和Choi标准比较评估肿瘤治疗反应的加权 k 值为0.72。在31个目标病灶(21个实性结节、8个淋巴结和2个磨玻璃样结节)中,有5个病灶(16%)使用RECIST和Choi标准评价存在不一致的反应,而碘图能有效鉴别区分肿瘤和出血。因此他们提出DECT可以作为非小细胞肺癌患者抗血管生成治疗后反应评估的有效工具。

顾圣佳^[28]对25例经活检证实且临床资料完整的晚期非小细胞肺癌患者(共30枚靶病灶)在非手术治疗第一疗程前后行DECT扫描,测得30个靶病灶的最大径、CT值及碘含量。分别根据RECIST标准和Choi标准对30个靶病灶进行评估,测得靶病灶的直径在治疗前后变化较小,其平均变化率仅为 $(1.1\pm 38.3)\%$ ($t=1.199$, $P=0.240$)。靶病灶CT值的变化率亦不明显,平均变化率为 $(-4.0\pm 72.1)\%$ ($t=1.182$, $P=0.247$)。靶病灶总碘含量的平均变化率为 $(-27.0\pm 165.7)\%$ ($t=2.053$, $P=0.049$)。他们得出DECT测定的病灶碘含量在治疗前后的变化较最大径、CT值更明显且差异有统计学意义,表明碘含量能更早地反映非小细胞肺癌患者对药物的应答。

2.6 DECT用于肺肿瘤的肺灌注和肺通气

DECT评估肺灌注以及肺通气的价值和准确率已在许多研究中得到证实。Sun等^[29]在32例患者中评估DECT得出的碘浓度与HU值,用于鉴别中央型肺癌诱发的灌注缺损的有效性。研究结果表明,就检测由中央型肺癌诱发的灌注缺损而言,DECT得出的碘浓度的预测值比HU值更可靠。在肺癌患者中,肺功能的准确评估至关重要。Chae等^[30]对肺切除患者行DECT肺灌注扫描,用于预测术后的肺功能,分别于术前和术后6个月对51例患者行DECT、SPECT灌注扫描以及肺功能检测,将肺叶的体积和碘值相乘计算肺叶灌注情况,然后计算每个肺叶灌注占全肺灌注的比例,评

估预测第1秒用力呼气容积和实际第1秒用力呼气容积的一致性。DECT的误差百分比(15.4%)与SPECT(17.8%)相当,因此DECT灌注是可行的。Bahig等^[31]的前瞻性研究将进行早期立体定向放疗或局部晚期调强放疗的肺癌患者纳入研究,其中每个体素对总肺功能的相对贡献基于碘分布,将DECT得出的肺叶功能与SPECT/CT进行比较,比较接受5、20 Gy和平均放疗剂量的患者相对于整个肺(解剖学)有效肺容量与肺功能的百分比。研究共纳入25例肺癌患者,其中包括18例立体定向放疗和7例调强放疗(局部晚期)患者,84%的患者有慢性阻塞性肺疾病,1 s用力呼气量容积占预计值的百分比($FEV_1\%$ pred)中位数为62%(29%~113%),一氧化碳肺中位扩散能力为56%(39%~91%)。DECT和SPECT/CT在肺叶功能之间存在明显的线性相关性(Pearson相关系数 $r=0.89$, $P<0.000\ 01$)。5、20 Gy和平均放疗剂量在解剖和功能肺容量之间的平均(范围)差异为16%(0%~48%, $P=0.03$)、5%(1%~15%, $P=0.12$)和15%(1%~43%, $P=0.047$)。因此由DECT碘图得出的肺功能与SPECT/CT测量的肺功能相关性良好。

3 展望

已有大量研究表明DECT是一种快速、强大且可重复的技术,可以轻松应用到临床工作中。DECT可以同时评估形态和功能学信息,胸部DECT可以为诊断、评估肺结节和肿块提供有用信息,并且可以极大地改善肺癌患者治疗管理的决策制定。因此DECT应越来越多地应用于临床指南和常规检查。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 邹全梁负责论文撰写;孙凯负责方法建立、论文审阅。

参 考 文 献

- [1] Fitzmaurice C, Dicker D, Pain A, et al. The global burden of cancer 2013[J]. *JAMA Oncol*, 2015, 1(4): 505-527. DOI: 10.1001/jamaoncol.2015.0735.
- [2] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6): 394-424. DOI: 10.3322/caac.21492.

- [3] Cao JX, Wang YM, Kong XQ, et al. Good interrater reliability of a new grading system in detecting traumatic bone marrow lesions in the knee by dual energy CT virtual non-calcium images[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(6): 1109–1115. DOI: [10.1016/j.ejrad.2015.03.003](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.03.003).
- [4] Mileto A, Nelson RC, Samei E, et al. Impact of dual-energy multi-detector row CT with virtual monochromatic imaging on renal cyst pseudoenhancement: in vitro and in vivo study[J]. *Radiology*, 2014, 272(3): 767–776. DOI: [10.1148/radiol.14132856](https://doi.org/10.1148/radiol.14132856).
- [5] Dalbeth N, House ME, Aati O, et al. Urate crystal deposition in asymptomatic hyperuricaemia and symptomatic gout: a dual energy CT study[J]. *Ann Rheum Dis*, 2015, 74(5): 908–911. DOI: [10.1136/annrheumdis-2014-206397](https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2014-206397).
- [6] Shi JW, Dai HZ, Shen L, et al. Dual-energy CT: clinical application in differentiating an adrenal adenoma from a metastasis[J]. *Acta Radiol*, 2014, 55(4): 505–512. DOI: [10.1177/0284185113501660](https://doi.org/10.1177/0284185113501660).
- [7] Sun X, Shao XD, Chen HS. The value of energy spectral CT in the differential diagnosis between benign and malignant soft tissue masses of the musculoskeletal system[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(6): 1105–1108. DOI: [10.1016/j.ejrad.2015.02.028](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.02.028).
- [8] Johnson TRC. Dual-energy CT: general principles[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199(5S): S3–8. DOI: [10.2214/AJR.12.9116](https://doi.org/10.2214/AJR.12.9116).
- [9] Thaiss WM, Sauter AW, Bongers M, et al. Clinical applications for dual energy CT versus dynamic contrast enhanced CT in oncology[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(12): 2368–2379. DOI: [10.1016/j.ejrad.2015.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.06.001).
- [10] Goo HW, Goo JM. Dual-energy CT: new horizon in medical imaging[J]. *Korean J Radiol*, 2017, 18(4): 555–569. DOI: [10.3348/kjr.2017.18.4.555](https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.555).
- [11] Faby S, Kuchenbecker S, Sawall S, et al. Performance of today's dual energy CT and future multi energy CT in virtual non-contrast imaging and in iodine quantification: a simulation study[J]. *Med Phys*, 2015, 42(7): 4349–4366. DOI: [10.1118/1.4922654](https://doi.org/10.1118/1.4922654).
- [12] KnöB N, Hoffmann B, Krauss B, et al. Dual energy computed tomography of lung nodules: differentiation of iodine and calcium in artificial pulmonary nodules in vitro[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3): e516–e519. DOI: [10.1016/j.ejrad.2010.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.11.001).
- [13] Hou WS, Wu HW, Yin Y, et al. Differentiation of lung cancers from inflammatory masses with dual-energy spectral CT imaging[J]. *Acad Radiol*, 2015, 22(3): 337–344. DOI: [10.1016/j.acra.2014.10.004](https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.10.004).
- [14] Li M, Zheng XP, Li JY, et al. Dual-energy computed tomography imaging of thyroid nodule specimens: comparison with pathologic findings[J]. *Invest Radiol*, 2012, 47(1): 58–64. DOI: [10.1097/RLI.0b013e318229fef3](https://doi.org/10.1097/RLI.0b013e318229fef3).
- [15] Chae EJ, Song JW, Seo JB, et al. Clinical utility of dual-energy CT in the evaluation of solitary pulmonary nodules: initial experience[J]. *Radiology*, 2008, 249(2): 671–681. DOI: [10.1148/radiol.2492071956](https://doi.org/10.1148/radiol.2492071956).
- [16] Winer-Muram HT. The solitary pulmonary nodule[J]. *Radiology*, 2006, 239(1): 34–49. DOI: [10.1148/radiol.2391050343](https://doi.org/10.1148/radiol.2391050343).
- [17] 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. DOI: [10.1097/RTI.0b013e3181e16232](https://doi.org/10.1097/RTI.0b013e3181e16232).
- [18] Kawai T, Shibamoto Y, Hara M, et al. Can dual-energy CT evaluate contrast enhancement of ground-glass attenuation? phantom and preliminary clinical studies[J]. *Acad Radiol*, 2011, 18(6): 682–689. DOI: [10.1016/j.acra.2010.12.014](https://doi.org/10.1016/j.acra.2010.12.014).
- [19] Zhang Y, Tang J, Xu JR, et al. Analysis of pulmonary pure ground-glass nodule in enhanced dual energy CT imaging for predicting invasive adenocarcinoma: comparing with conventional thin-section CT imaging[J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9(12): 4967–4978. DOI: [10.21037/jtd.2017.11.04](https://doi.org/10.21037/jtd.2017.11.04).
- [20] Jepperson MA, Cernigliaro JG, Ibrahim ESH, et al. In vivo comparison of radiation exposure of dual-energy CT versus low-dose CT versus standard CT for imaging urinary calculi[J]. *J Endourol*, 2015, 29(2): 141–146. DOI: [10.1089/end.2014.0026](https://doi.org/10.1089/end.2014.0026).
- [21] Ogawa M, Hara M, Imafuji A, et al. Dual-energy CT can evaluate both hilar and mediastinal lymph nodes and lesion vascularity with a single scan at 60 seconds after contrast medium injection[J]. *Acad Radiol*, 2012, 19(8): 1003–1010. DOI: [10.1016/j.acra.2012.03.024](https://doi.org/10.1016/j.acra.2012.03.024).
- [22] Liu XW, Ouyang D, Li H, et al. Papillary thyroid cancer: dual-energy spectral CT quantitative parameters for preoperative diagnosis of metastasis to the cervical lymph nodes[J]. *Radiology*, 2014, 275(1): 167–176. DOI: [10.1148/radiol.14140481](https://doi.org/10.1148/radiol.14140481).
- [23] Liu HH, Yan FH, Pan ZL, et al. Evaluation of dual energy spectral CT in differentiating metastatic from non-metastatic lymph nodes in rectal cancer: initial experience[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(2): 228–234. DOI: [10.1016/j.ejrad.2014.11.016](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.11.016).
- [24] Tawfik AM, Razeq AA, Kerl JM, et al. Comparison of dual-energy CT-derived iodine content and iodine overlay of normal, inflammatory and metastatic squamous cell carcinoma cervical lymph nodes[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(3): 574–580. DOI: [10.1007/s00330-013-3035-3](https://doi.org/10.1007/s00330-013-3035-3).
- [25] Li XB, Meng XY, Ye ZX. Iodine quantification to characterize primary lesions, metastatic and non-metastatic lymph nodes in lung cancers by dual energy computed tomography: an initial experience[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(6): 1219–1223. DOI: [10.1016/j.ejrad.2016.03.030](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.03.030).
- [26] Choi H, Chansangavej C, Faria SC, et al. Correlation of computed tomography and positron emission tomography in patients with metastatic gastrointestinal stromal tumor treated at a single institution with imatinib mesylate: proposal of new

computed tomography response criteria[J]. *J Clin Oncol*, 2007, 25(13): 1753-1759. DOI: 10.1200/JCO.2006.07.3049.

[27] Kim YN, Lee HY, Lee KS, et al. Dual-energy CT in patients treated with anti-angiogenic agents for non-small cell lung cancer: new method of monitoring tumor response?[J]. *Korean J Radiol*, 2012, 13(6): 702-710. DOI: 10.3348/kjr.2012.13.6.702.

[28] 顾圣佳. 双能量 CT 成像在非小细胞肺癌非手术治疗疗效评估中的应用研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2015.
Gu SJ. The study of quantitative therapy response assessment of non-small cell lung cancer with dual-energy computed tomography[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2015.

[29] Sun YS, Zhang XY, Cui Y, et al. Spectral CT imaging as a new quantitative tool? Assessment of perfusion defects of pulmonary parenchyma in patients with lung cancer[J]. *Chin J Cancer Res*, 2013,25(6):722-728.DOI:10.3978/j.issn.1000-9604.2013.12.01.

[30] Chae EJ, Kim N, Seo JB, et al. Prediction of postoperative lung function in patients undergoing lung resection: dual-energy perfusion computed tomography versus perfusion scintigraphy[J]. *Invest Radiol*, 2013, 48(8): 622-627. DOI: 10.1097/RLI.0b013e318289fa55.

[31] Bahig H, Campeau MP, Lapointe A, et al. Phase 1-2 study of dual-energy computed tomography for assessment of pulmonary function in radiation therapy planning[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2017, 99(2): 334-343. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2017.05.051.

(收稿日期: 2018-06-12)

《国际放射医学核医学杂志》第六届编辑委员会成员名单

- 顾 问 柴之芳 程天民 樊飞跃 刘昌孝 潘自强 詹启敏 张永学
- 总 编 辑 樊赛军
- 副总编辑 黄 钢 李宝生 李 方 李思进 李亚明 刘 强 孙全富 谭 建 王军平 王 铁
赵 军
- 编辑委员 (含总编辑、副总编辑)
- 蔡 露(美国) 陈 明 陈文新 陈 跃 程 震 邓大平 董秀玥 樊赛军 樊 卫
方 纬 冯彦林 傅志超 高再荣 顾永清 官 键 韩星敏 何 玲 贺小红 胡步荣
黄 钢 贾 强 姜 炜 金顺子 鞠永健 兰晓莉 李宝生 李 彪 李 方 李剑明
李洁清 李 林 李林法 李思进 李险峰 李小东 李亚明 李幼忱 梁 琰 林岩松
刘鉴峰 刘建军 刘建香 刘 强 刘兴党 刘玉龙 龙鼎新 吕玉民 吕中伟 马云川
缪蔚冰 邵春林 沈 婕 沈 强(美国) 石 峰 石洪成 宋娜玲 宋少莉 孙全富
谭 建 唐亚梅 王 冰(日本) 王春祥 王 凡 王海潮(美国) 王 辉 王军平
王 平 王全师 王 铁 王雪梅 王跃涛 王云华 王振光 吴 华 吴李君 武志芳
肖国有 徐白莹 徐 浩 徐文贵 徐志勇 阎紫宸(中国台湾) 杨国仁 杨 辉
杨吉刚 杨卫东 杨 志 姚稚明 于丽娟 查金顺 章英剑 章 真 张 宏 张锦明
张舒羽 张遵城 赵长久 赵晋华 赵 军 赵路军 赵新明 郑飞波 周美娟 周平坤
周宗玖 朱朝晖 朱茂祥 朱小华 左长京 Hiroshi Toyama(日本)
- Hongming Zhuang(美国) Li shuren(奥地利)
- 通讯编委 边艳珠 卜丽红 陈 薇 陈志军 程 兵 程祝忠 戴 东 邓智勇 董 华 董孟杰
段 东 冯学民 傅 鹏 付 鹏 管 樑 何玉林 何之彦 黄建敏 黄 琦 霍 力
金 刚 康 飞 李百龙 李贵平 李素平 李 昕 梁 婷 林端瑜 林志春 刘 斌
刘雪辉 龙再颖 卢 洁 陆克义 罗全勇 马 超 孟召伟 穆晓峰 农天雷 秦永德
史文杰 宋其韬 苏新辉 孙 凯 谭丽玲 王 攀 王任飞 王 伟 王雪鹃 王玉君
王治国 韦智晓 吴彩兰 吴 巍 夏 伟 徐 荣 徐文清 徐 颖 杨爱民 杨忠毅
姚树展 尹雅芙 于海鹏 余 飞 袁耿彪 袁建伟 岳殿超 章 斌 张春银 张金赫
张一帆 张照辉 赵 倩 郑红宾 朱高红 朱国英 朱玉春 周友俊 邹仲敏 左传涛

(以上按姓氏汉语拼音排序)