

• 肺结节影像诊断新技术专题 •

能谱 CT 虚拟平扫在肺结节 AI 辅助诊断系统预测亚实性结节恶性概率中的应用

陈疆红, 钟朝辉, 王大为, 杨正汉, 王振常, 江桂莲

【摘要】 目的:通过与能谱平扫(TNC)图像对比,探究能谱 CT 虚拟平扫(VNC)图像在 AI 肺结节辅助诊断系统预测亚实性结节恶性概率中的效能表现。**方法:**本研究共纳入 86 例因肺内亚实性结节而行手术切除的患者,其中男 26 例、女 60 例,年龄(61.33 ± 11.66)岁。按病理组织学结果将结节分为 3 组:A 组为浸润前病变;B 组为微浸润腺癌;C 组为浸润性腺癌。将患者术前 TNC 和 VNC 图像上传至 AI 肺结节辅助诊断系统进行结节检测并记录结节的恶性概率预测值、体积及 CT 值,进一步行三组间结节数值的非参数检验(Kruskal-Wallis H 检验)及每组 TNC 与 VNC 图像配对样本的非参数检验(Wilcoxon 检验)。**结果:**入组病例中共切除 88 个亚实性结节,其中 A 组、B 组和 C 组分别有 27 个、28 个及 33 个结节。在 TNC 和 VNC 图像中 3 组结节均可被 AI 系统检出。利用 TNC 图像时,AI 系统对 A 组、B 组和 C 组中结节恶性概率的预测值分别为 $74.60\% \pm 19.76\%$ 、 $89.97\% \pm 8.55\%$ 和 $94.25\% \pm 7.04\%$;在利用 VNC 图像时,对三组中恶性概率预测值分别为 $70.01\% \pm 23.43\%$ 、 $88.20\% \pm 10.35\%$ 和 $94.51\% \pm 5.17\%$;2 种图像上三组间预测值的差异均有统计学意义($P < 0.001$)。在 TNC 和 VNC 图像上,三组间结节的 CT 值及体积的差异亦有统计学意义($P < 0.05$)。每组结节在 TNC 和 VNC 图像上恶性概率预测值之间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**利用肺结节 AI 辅助诊断系统预测亚实性结节的恶性概率预测值时,VNC 图像与 TNC 图像的预测效能相似。

【关键词】 深度学习; 肺肿瘤; 磨玻璃结节; 恶性概率; 能谱 CT; 虚拟平扫; 辐射剂量

【中图分类号】 R734.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)08-0972-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.08.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of virtual non-contrast images of energy spectrum CT combined with AI-assisted diagnosis system in predicting the malignant probability of sub-solid pulmonary nodules CHEN Jiang-hong, ZHONG Zhao-hui, WANG Da-wei, et al. Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the performance of visual non-contrast (VNC) images combined with the deep learning (DL)-based artificial intelligence (AI)-assisted pulmonary nodule diagnosis system in predicting the malignant probability of pulmonary sub-solid nodules by comparing with true non-contrast (TNC) images. **Methods:** A total of 86 patients with mean age of (61.33 ± 11.66) years who underwent surgical resection of pulmonary sub-solid nodules were enrolled in this study, including 26 men and 60 women. The sub-solid nodules were divided into 3 groups according to the histopathological results. Pre-invasive lesions were classified as group A, and minimally invasive adenocarcinoma and invasive adenocarcinoma as group B and group C, respectively. DL-based AI-assisted diagnosis system was then utilized to detect sub-solid nodules on the preoperative VNC and TNC images. The malignant probability predictive value, CT value, and volume of the nodules were recorded. Kruskal-Wallis H -test was used to examine the differences in TNC or VNC-derived CT values, nodule volume, and the predicted malignant probability among these three groups. Then paired-samples Wilcoxon test was performed to analyze the differences of these measurements and predicting values be-

作者单位:100050 北京,首都医科大学附属北京友谊医院放射科(陈疆红,钟朝辉,杨正汉,王振常,江桂莲);100025 北京,北京推想科技有限公司全球临床科研合作学院(王大为)

作者简介:陈疆红(1973—),女,河北定州人,博士,副主任医师,主要从事胸部影像诊断工作。

通讯作者:杨正汉, E-mail: zhenghanyang@263.net

基金项目:北京市医院管理局“使命”人才计划(SML20150101);北京学者(京人社专家发[2015]160号)

tween VNC and TNC for each group. **Results:** A total of 88 sub-solid nodules were resected in the enrolled patients, in which 27, 28, and 33 cases were included in group A, B and C, respectively. All the sub-solid nodules were detected by the AI-assisted pulmonary nodule diagnosis system on either VNC or TNC images. The predicting malignant probability of sub-solid nodules were $74.60\% \pm 19.76\%$, $89.97\% \pm 8.55\%$ and $94.25\% \pm 7.04\%$ respectively on TNC images, while $70.01\% \pm 23.43\%$, $88.20\% \pm 10.35\%$ and $94.51\% \pm 5.17\%$ on VNC images for group A, B and C, respectively. Statistically significant differences were observed in both TNC and VNC images-derived CT value, nodule volume and the predicted malignant probability among these three groups. Of special note was no significant difference of predicted malignant probability in each group between TNC and VNC images. **Conclusion:** VNC images can replace TNC images when using AI-assisted pulmonary nodule diagnosis system to predict the malignant probability of pulmonary sub-solid nodules.

[Key words] Deep learning; Lung tumor; Ground glass nodule; Malignant probability; Spectral CT; Visual non-contrast images; Radiation doses

近几年来能谱 CT 在临床得到了广泛应用, 其中虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)是其主要应用领域之一, 它利用 70 keV 的单能量图像抑制增强图像上碘物质的密度而获得^[1]。既往许多研究中比较了肺部 VNC 图像与常规平扫(true non-contrast, TNC)图像的质量差异, 包括图像的主观评分、噪声、信噪比及对比噪声比, 以及对肺内结节病灶的毛刺征、兔耳征、空洞和卫星灶等有定性意义征象的显示情况等, 结果均显示出 VNC 图像具有替代 TNC 图像的潜能, 最重要的是患者所受辐射剂量可以降低约 30%^[2-4]。

人工智能(artificial intelligence, AI)在计算机视觉领域中已逐步得到广泛的研究和应用, 主要针对分类、检测、分割以及配准任务, 其中 AI 肺结节辅助诊断系统发展较为成熟, 许多研究结果显示 AI 在肺结节辅助检测方面具备良好的表现和效能^[5-7]。随着相关软件的不开发更新, 以及对大量数据的深度学习, 其功能也在不断拓展, 例如自动测量肺结节的体积、密度以及对结节良恶性的预测等功能。本研究基于 AI 肺结节辅助诊断系统, 比较 VNC 图像与 TNC 图像对亚实性肺结节的检测效能的差异, 从 AI 肺结节辅助诊断系统适用性的角度去探讨 VNC 替代 TNC 的可能性。

材料与方法

1. 一般资料

将 2017 年 7 月—2019 年 7 月因常规体检发现肺内占位病变、拟行手术治疗而收入我院胸外科的患者纳入观察。纳入标准: ①术前行胸部平扫和增强能谱 CT 检查并有薄层图像(层厚 1.25 mm); ②肺内至少存在一个亚实性结节并经手术切除; ③亚实性结节的病理结果为腺癌浸润前病变或浸润性腺癌。排除标准: ①合并弥漫性肺疾病; ②图像上有明显移动伪影。

最终共纳入符合条件的 86 例患者, 男 26 例, 女 60 例, 年龄 31~82 岁, 平均(61.33 ± 11.66)岁。根据肺内结节的病理结果分为 3 组, A 组为浸润前病变, 包括不典型腺瘤样增生(atypical adenomatous hyperplasia, AAH)及原位腺癌(adenocarcinoma in situ, AIS), B 组为微浸润腺癌(minimally invasive adenocarcinoma, MIA), C 组为浸润性腺癌(invasive adenocarcinoma, IAC)。

2. 数据采集

使用 GE Revolution 256 排螺旋 CT 机。于吸气末屏气扫描, 扫描范围自肺尖至肺底, 嘱患者每次扫描屏气程度尽量保持一致。平扫及增强扫描均采用能谱成像模式, 扫描参数: 80/140 kVp, 自动管电流调节(automatic tube current modulation, ATCM)技术, 最大管电流 260 mA, 层厚 5 mm, 螺距 0.984, 0.5 s/r, 床进速度 78.75 mm/s, 噪声指数(noise index, NI) 12, 30%自适应迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)-V 算法, 采用标准重建方式, 重建层厚 1.25 mm、层间距 1.25 mm。双期增强扫描: 经肘正中静脉注入欧乃派克 100 mL(300 mg I/mL), 注射流率 3.3 mL/s, 之后以相同流率注入 20 mL 生理盐水, 动脉期延迟时间为 30 s, 延迟期为 90 s。将动脉期增强图像进行重建获得 VNC 图像。

将 TNC 及 VNC 图像(层厚 1.25 mm、层间隔 1.25 mm)上传至 AI 肺结节辅助诊断系统(InferRead CT Lung Research, Infervision, Beijing), 记录 AI 系统在 TNC 及 VNC 图像上对靶结节的识别情况, 包括结节是否被检测出、结节的密度、体积及恶性概率预测值。

3. 金标准的建立

亚实性结节(subsolid nodule, SN)定义为含有磨玻璃密度的结节, 包括纯磨玻璃密度结节(pure

ground glass nodule, pGGN) 及混杂磨玻璃密度结节 (mixed ground-glass nodule, mGGN)^[8-9]。磨玻璃密度 (ground glass opacity, GGO) 表现为肺内密度增高影, 但不掩盖其中走行的支气管和血管影。

本研究首先由两位从事呼吸系统影像诊断工作 15 年及 17 年的副主任医师分别在 PACS 工作站上调阅 1.25 mm 层厚的图像, 判断结节的密度 (pGGN 或 mGGN) 并选择符合要求的亚实性结节纳入研究, 记录并测量结节的位置和直径, 当两位医师对结节密度的判断存在歧义时, 由第三位更高年资医师进行裁定。观察图像的窗宽为 1600 HU、窗位为 -700 HU。

4. X 线辐射剂量

查阅每位患者扫描后 CT 机自动给出的剂量报告, 记录总剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 和平扫 DLP, 并计算有效剂量 (effective dose, ED)^[10]:

$$ED = DLP \times 0.014 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm}) \quad (1)$$

5. 统计学分析

使用 IBM SPSS 20.0 软件包进行数据的统计分析。计算 AI 系统在 TNC 及 VNC 图像上对靶结节的检出率 (即敏感度)。每组计量数据均做正态性检验 (Shapiro-Wilk test), 符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差的形式表示, 非正态性计量资料采用中位数 (上、下四分位数) 的形式表示。TNC 及 VNC 图像上三组之间 AI 对病变恶性概率预测值和体积测量结果的比较采用 Kruskal-Willis 检验, CT 值的比较采用单因素 ANOVA 检验; 对三组间差异有统计学意义的指标进行组间两两比较。对每组中 TNC 与 VNC 图像上结节的 CT 值、体积及 AI 对结节恶性概率的预测值进行配对样本非参数检验 (Wilcoxon 检验) 或配对样本 *t* 检验。对利用 TNC 及 VNC 图像获得的靶结节恶性概率预测值、平均 CT 值及平均体积进行相关性检验, 正态分布的数据资料采用 Pearson 相关性分析, 非正态分布的资料采用 Spearman 相关性分析, 相关系数 $r = 0.10 \sim 0.39$ 为相关性弱, $r = 0.40 \sim 0.69$ 为相关性中等, $r = 0.70 \sim 1.00$ 为相关性强。

结果

86 例患者中共计切除了 88 个亚实性结节, 其中 A 组 25 例共 27 个结节; B 组 28 例共 28 个结节, C 组 33 例共 33 个结节。各组结节的密度及平均直径测量结果见表 1。AI 肺结节辅助诊断系统在 TNC 及 VNC 图像上均可以检测到

这 88 个靶结节 (图 1), 检出敏感度为 100% (88/88)。

表 1 三组中结节的基本特征

组别	密度特征 (个)		直径 (mm)
	单纯 GGO	混杂性 GGO	
A 组 (n=27)	26	1	8.4 ± 3.6
B 组 (n=28)	9	19	13.5 ± 5.5
C 组 (n=33)	0	33	16.8 ± 4.7

在 3 组病变的 TNC 及 VNC 图像上, AI 系统预测靶结节的恶性概率、组内及组间比较结果见表 2。在 TNC 或 VNC 图像上, AI 预测结节恶性的概率在三组间的差异均有统计学意义 ($P < 0.001$)。进一步进行组间两两比较, 差异均有统计学意义; TNC 图像上, P_1 (A 组与 B 组) = 0.022, P_2 (B 组与 C 组) = 0.023, P_3 (A 组与 C 组) < 0.001 ; VNC 图像上, P_1 (A 组与 B 组) = 0.010, P_1 (A 组与 B 组) = 0.040, P_3 (A 组与 C 组) < 0.001 。每组中基于 TNC 和 VNC 图像, AI 对结节恶性概率预测值的配对样本非参数检验 (Wilcoxon 检验) 结果显示, 两种图像间的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

AI 肺结节辅助诊断系统可以自动显示靶结节的 CT 值, 3 组中结节的 CT 值及组间和组内比较结果见表 3。在 TNC 和 VNC 图像上, 三组间结节 CT 值的差异均有统计学 ($P < 0.001$)。进一步进行组间两两比较: TNC 图像上, 各组间的差异均有统计学意义, P_1 (A 组与 B 组) = 0.044, P_2 (B 组与 C 组) < 0.001 , P_3 (A 组与 C 组) < 0.001 ; VNC 图像上, 各组间差异均有统计学意义, P_1 (A 组与 B 组) = 0.016, P_2 (B 组与 C 组) < 0.001 , P_3 (A 组与 C 组) < 0.001 。同时, 对每组中靶结节在 TNC 和 VNC 图像上的 CT 值进行配对样本 *t* 检验, 仅 A 组中差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

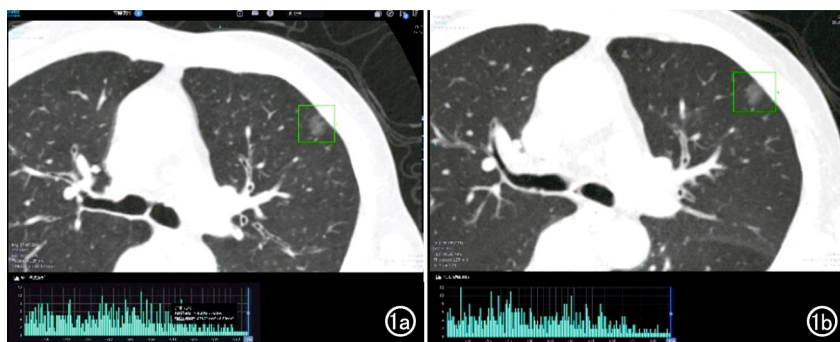


图 1 微浸润腺癌患者, 男, 65 岁, 体检发现左肺上叶前段一纯磨玻璃密度结节, 大小约 10 mm × 14 mm。a) TNC 图像, 此结节均被 AI 肺结节辅助诊断系统检出 (绿框), 且自动预测此结节的恶性概率值为 82.41%; b) VNC 图像, 肺结节辅助诊断系统检出了此结节 (绿框), 且自动预测结节的恶性概率值为 80.97%。

表 2 三组中 TNC 和 VNC 图像上 AI 对结节恶性概率的预测值

图像类型	A 组	B 组	C 组	H 值	P 值
TNC	85.18%(56.64%,92.08%)	93.10%(82.66%,95.75%)	96.79%(92.81%,98.72%)	28.555	<0.001
VNC	73.97%(49.40%,89.70%)	91.59%(81.94%,95.91%)	97.13%(91.01%,98.70%)	30.359	<0.001
Z 值	-1.826	-0.683	-0.216	—	—
P 值	0.068	0.495	0.829	—	—

表 3 三组中 TNC 和 VNC 图像上结节的 CT 值 (HU)

图像类型	A 组	B 组	C 组	F 值	P 值
TNC	-618.22±104.59	-542.21±78.35	-347.64±141.35	46.362	<0.001
VNC	-629.63±107.56	-538.39±83.97	-357.48±147.13	41.823	<0.001
t 值	2.663	-0.577	1.387	—	—
P 值	0.013	0.569	0.175	—	—

表 4 三组患者的 TNC 和 VNC 图像中结节体积(mm³)的比较

图像类型	A 组	B 组	C 组	H 值	P 值
TNC	263.19(130.78,347.96)	824.16(388.64,1656.32)	2140.50(715.33,3560.76)	33.743	<0.001
VNC	212.66(140.57,307.90)	722.49(411.68,1427.58)	2066.27(892.55,3403.35)	37.914	<0.001
Z 值	-3.003	-2.550	-0.902	—	—
P 值	0.003	0.011	0.367	—	—

三组中 AI 肺结节辅助诊断系统测量的结节直径及组内和组间比较结果见表 4。在 TNC 和 VNC 图像上,三组间靶结节体积的差异均有统计学意义($P<0.001$)。进一步组间两两比较结果显示:TNC 图像上,A 组与 B 组之间以及 A 组与 C 组之间结节体积的差异有统计学意义($P=0.001$; $P<0.001$),而 B 组与 C 组间结节体积的差异无统计学意义($P=0.161$);VNC 图像上,测量的结节平均体积两两组间比较,A 组与 B 组之间、B 组与 C 组之间、以及 A 组与 C 组之间结节体积的差异均有统计学意义($P=0.001$; $P=0.032$; $P<0.001$)。A 组和 B 组中 VNC 图像上测量的结节体积较 TNC 图像分别要小 8.8%和 10.9%,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

对基于 TNC 和 VNC 图像 AI 肺结节辅助诊断系统获得的靶结节恶性概率、CT 值和体积进行相关性检验,结果显示两种图像上获得的各指标测量结果均具有较强的相关性,详见表 5。

表 5 各指标在 TNC 与 VNC 图像上测量结果的相关性

指标	P 值	r 值*
恶性概率	<0.001	0.856
CT 值	<0.001	0.978
体积	<0.001	0.979

注:* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

本研究中患者行 CT 检查的总 ED 为(8.31 ± 1.20)mSv,其中 TNC 的 ED 为(2.74 ± 0.44)mSv,若在肺部双期增强扫描中应用 VNC 代替 TNC,患者所受辐射剂量将减少 33%。

讨 论

能谱 CT 突破传统 CT 的局限,可以得到能谱曲线、有效原子序数、碘浓度和水浓度等参数,除了为病

变诊断提供形态学信息外,还提供了功能学信息。本研究应用的 GE revolution CT 是单源双能量 CT,可以提供两种 VNC 图像,一种为抑碘图,即在增强图像数据中将碘物质提取出来并加以抑制,另一种为水基图,即在水(碘)密度图上不显示分离出来的碘物质。本研究中对增强后动脉期图像的原始数据进行“抑碘”处理而得到 VNC 图像。

本课题选择的研究对象为亚实性结节,包括纯磨玻璃密和混杂磨玻璃密度结节,且经病理证实为腺癌浸润前病变和浸润性腺癌。我们按肿瘤侵袭性由小到大将结节分为 3 组:AAH 和 AIS(A 组),MIA(B 组),IAC(C 组)。然而,3 组结节在 CT 表现上有一定重叠,即 IAC 也可表现为纯磨玻璃密度结节,而 AAH、AIS 和 MIA 由于肺泡壁的萎陷和纤维成分的增生也可以表现为混杂磨玻璃密度结节。

术前的精准诊断是关系到患者治疗和预后的重要环节,这也成为放射科医师当前面临的挑战之一。在诸多既往研究中,有学者分析了磨玻璃密度结节的大小、密度等形态学特征,认为结节的侵袭性与其大小和密度具有相关性^[11-12]。Lee 等^[13]则认为,直径大于 15 mm 或 CT 值大于-472 HU 的纯磨玻璃密度结节很可能是浸润性腺癌。此外,也有研究结果显示能谱 CT 的多参数信息提高了分析、鉴别此类结节的能力,在 140 keV 单能量图像上病灶的 CT 值(≥ -476.4 HU)结合直径(>16.1 mm)可以提高对 IAC 的诊断能力和敏感性^[14];而增强扫描获得诊断信息可以进一步提高对此类结节的鉴别效能^[15-16],但随之出现的问题是患者所受的 X 线辐射剂量增大。针对这个问题,陆续有研究探讨了虚拟平扫代替普通平扫的可能性。Chae 等^[17]研究显示实性结节在 VNC 图像

上的 CT 值与 TNC 图像上的比较无明显差异。吕燕等^[3]的文章中也指出,针对肺部结节和肿块病变的诊断,VNC 图像有替代 TNC 图像的潜能。与以往研究类似,本研究结果显示,在利用 AI 肺结节诊断系统进行亚实性结节检测、测量和良恶性预测时 VNC 具有替代 TNC 的潜能,不仅能够减少 X 线辐射剂量,从而使得对于 X 线敏感的人群、尤其是儿童起到很好的保护作用,同时也可以简化工作流程、提高放射科的工作效率。

既往对磨玻璃密度结节的虚拟平扫图像质量的研究较少。我院既往对于此类结节的研究显示,VNC 图像上结节的密度与 TNC 比较无明显差异^[18]。本研究选取结节最大层面手动勾画感兴趣区,并复制粘贴到其它序列相应层面图像上结节的相同位置进行参数值,但手动操作的测量误差是难以避免的,而应用 AI 软件自动对靶结节进行 3D 分割,自动给出结节的 CT 值及体积,从而能显著降低测量的误差,测量的一致性和可重复性较高。因此,本研究中使用较成熟的基于深度学习的 AI 肺结节辅助诊断系统,分析其在 VNC 与 TNC 图像上测量和预测结节参数的一致性。

首先,比较了 VNC 与 TNC 图像上三组亚实性结节的平均 CT 值,结果显示 A 组和 C 组的 VNC 图像上结节的 CT 值较 TNC 图像上分别减少了约 12 和 10 HU,而 B 组却增加了约 4 HU,但总体而言,所有亚实性结节在 VNC 和 TNC 图像上的 CT 值相关性非常高。

比较三组间结节的体积,A 组和 B 组中结节体积在 VNC 图像上较 TNC 减小,且差异有统计学意义,而 C 组中结节体积在两种图像间的差异无明显变化,而所有亚实性结节在 VNC 和 TNC 图像上的体积亦具有较高的相关性。

有研究结果显示,VNC 图像上实性结节的体积较常规图像减少了 5.5%^[19]。而本研究中实验对象为亚实性结节,分析数据的变化可能是由于在 VNC 图像的处理过程中,会有数据的部分丢失,对此类结节的密度及体积的影响会大于实性结节,因此本研究中大部分结节在 VNC 中较 TNC 中的密度较低且体积减小,此外,不同次扫描时吸气程度的差异亦会导致亚实性结节密度及体积的变化。但是,这些变化最终并未对结节恶性概率的预测值产生明显影响,三组中结节的恶性预测概率在 VNC 与 TNC 图像间的差异均无统计学意义。

本研究的局限性:首先,入组病例偏少,不可避免存在选择偏倚;其次,本研究仅纳入了亚实性结节,有待进一步补充实性密度结节作为研究样本,全面评估该 AI 肺结节辅助诊断系统利用 VNC 图像时的效能,

进而证实 VNC 图像取代 TNC 图像的可行性;最后,本研究仅应用了当前一款较成熟的 AI 软件,尚不能全面代表现阶段 AI 辅助诊断的价值。

总之,现阶段应用的 AI 系统对不同病理类型的亚实性密度肺腺癌的恶性概率预测在 TNC 图像上有较好的表现,在 VNC 图像上同样具有这种鉴别诊断能力,从另一个角度支持了 VNC 取代 TNC 的潜力,同时也进一步展现了 AI 肺结节系统良好的辅助诊断能力。

参考文献:

- [1] Li Y, Li Y, Jackson A, et al. Comparison of virtual unenhanced CT images of the abdomen under different iodine flow rates[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(1): 312-321.
- [2] 王会霞, 岳松伟, 吕培杰, 等. 对比分析两种胸部能谱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.
- [3] 武卫杰, 岳松伟, 王会霞, 等. 能谱 CT 虚拟平扫评估纯磨玻璃结节的可行性研究[J]. *放射学实践*, 2020, 35(3): 346-351.
- [4] Walter SS, Schneeweß S, Maurer M, et al. Virtual non-enhanced dual-energy CT reconstruction may replace true non-enhanced CT scans in the setting of suspected active hemorrhage[J/OL]. *Eur J Radiol*, 2018, 109: 218-222. DOI: 10.1016/j.ejrad.2018.10.026.
- [5] 蔡雅倩, 张正华, 韩丹, 等. AI 对肺磨玻璃结节筛查及定性的临床应用研究[J]. *放射学实践*, 2019, 34(9): 958-962.
- [6] Liu K, Li Q, Ma JC, et al. Evaluation a fully automated pulmonary nodule detection approach and its impact on radiologist performance[J/OL]. *Radiology (AI)*, 2019, 1(3): e180084. DOI: 10.1148/ryai.2019180084.
- [7] Li L, Liu Z, Huang H, et al. Evaluating the performance of a deep learning-based computer-aided diagnosis (DL-CAD) system for detecting and characterizing lung nodules: comparison with the performance of double reading by radiologists[J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(2): 183-192.
- [8] 中华医学会放射学分会心胸学组. 肺亚实性结节影像处理专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2015, 49(4): 254-258.
- [9] Hansell DM, Bankier AA, MacMahon H, et al. Fleischner society: glossary of terms for thoracic imaging[J]. *Radiology*, 2008, 246(3): 697-722.
- [10] Deak PD, Smal Y, Kalender WA. Multi-section CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product[J]. *Radiology*, 2010, 257(1): 158-166.
- [11] Eguchi T, Kondo R, Kawakami S, et al. Computed tomography attenuation predicts the growth of pure ground-glass nodules[J]. *Lung Cancer*, 2014, 84(3): 242-247.
- [12] Peng M, Li Z, Hu H, et al. Pulmonary ground-glass nodules diagnosis: mean change rate of peak CT number as a discriminative factor of pathology during a follow-up[J/OL]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1058): e20150556. DOI: 10.1259/bjr.20150556.
- [13] Lee HY, Choi, YI, Lee KS, et al. Pure ground-glass opacity neoplastic lung nodules: histopathology, imaging, and management[J]. *Am J Roentgenol*, 2014, 202(3): 224-233.
- [14] Zhang Y, Tang J, Xu J, 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.
- [15] Liu G, Li M, Li G, et al. Assessing the blood supply status of the focal ground-glass opacity in lungs using spectral computed tomography[J]. Korean J Radiol, 2018, 19(1): 130-138.
- [16] Son JY, Lee HY, Kim JH, et al. Quantitative CT analysis of pulmonary ground-glass opacity nodules for distinguishing invasive adenocarcinoma from non-invasive or minimally invasive adenocarcinoma: the added value of using iodine mapping [J]. Eur Radiol, 2016, 26(1): 43-54.
- [17] 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.
- [18] 韩仙俊, 贺文, 陈疆红, 等. 亚实性肺腺癌能谱 CT 虚拟平扫效果的研究[J]. CT 理论与应用研究, 2019, 28(1): 81-90.
- [19] den Harder AM, Bangert F, van Hamersvelt RW, et al. The effects of iodine attenuation on pulmonary nodule volumetry using novel dual-layer computed tomography reconstructions[J]. Eur Radiol, 2017, 27(12): 5244-5251.

(收稿日期: 2020-12-27 修回日期: 2020-02-28)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

2018 年 9 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 年之后的第 5 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!