头颈部影像学

双层探测器光谱 CT 虚拟平扫替代常规平扫评估甲状腺结节的可 行性分析

付蓝琦,潘馨梦,刘思佳,李青青,杨亚英

【摘要】目的:探讨双层探测器光谱 CT 虚拟平扫替代常规平扫评估甲状腺结节的可行性。方法: 回顾性收集有病理资料并行光谱 CT 颈部增强扫描的 63 例甲状腺结节患者的影像资料。动脉期 VNC (VNC-A)、静脉期 VNC(VNC-V)和平扫常规(TNC)作为 3 组图像,对其行客观评价[CT 值、背景嗓 声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)]、各组织 CT 值的一致性分析及主观评价(图像质量评分)。结 果:3 组图像(TNC、VNC-A、VNC-V)中甲状腺结节、同层正常甲状腺、颈内动脉、项部脂肪、椎旁肌肉的 CT 值差异均无统计学意义(P 均>0.05),CT 值差异不超过 8 HU,其中 VNC-V 图像 CT 值更接近于 TNC;除甲状腺结节、颈内动脉,其余各组图像背景噪声差异均有统计学意义(P 均<0.05),且 VNC 两 期噪声值明显低于 TNC;3 组图像中正常甲状腺 SNR、CNR 及甲状腺结节 SNR 差异均有统计学意义 (P 均<0.05),VNC 两期 SNR、CNR 高于 TNC。VNC 两期甲状腺病灶、同层正常甲状腺、颈内动脉、 同层椎旁肌肉及静脉期项部脂肪 VNC 与 TNC 差值在 LOA 界限外的点 \leq 5%。两名医师对 TNC、 VNC-A、VNC-V 三组图像主观评价的一致性较好(Kappa 值分别为 0.963、0.954、0.921),且 VNC 两 期的主观评分高于 TNC。与常规扫描方式相比,VNC+双期增强扫描总剂量 DLP 为(314.01±94.14) mGy・cm,ED 为(1.82±0.60)mSv,可有效降低辐射剂量约 34.31%。结论:双层探测器光谱 CT 虚拟 平扫图像在评估甲状腺结节时具有与平扫相当的图像质量,在满足临床诊断需求的同时大大减少了辐 射剂量。

【关键词】 甲状腺结节;虚拟平扫;计算机体层摄影术;图像质量;辐射剂量 【中图分类号】R814.42;R736.1 【文献标志码】A 【文章编号】1000-0313(2022)03-0302-05 DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.03.004 开放科学(资源服务)标识码(OSID):]



[Abstract] Objective: To explore the feasibility of using double-layer spectral detector CT virtual non-contrast (VNC) images instead of true non-contrast (TNC) images in evaluating thyroid nodules. **Methods**: The imaging data of 63 patients with thyroid nodules who had pathological results and neck enhanced spectral CT scan were collected retrospectively. Arterial phase VNC (VNC-A), venous phase VNC (VNC-V), and TNC were used as three groups of images, and objective evaluation [CT value, background noise, signal-to-noise ratio (SNR), and contrast noise ratio (CNR)], consistency analysis of CT value, and subjective evaluation (image quality score) were compared among three groups. **Results**: There were no significant differences in the CT values of thyroid nodules, normal thyroid in the same slice, internal carotid artery, neck fat, and paravertebral muscle among three groups of images (all P > 0.05), and the difference in CT values was less than 8HU. The CT value of VNC-V image was closer to that of TNC. Except for the thyroid nodules and internal carotid artery, the differences in background noise of the other groups were statistically significant (all P < 0.05), and the noise value of two-phase VNC was significantly lower than that of TNC. The SNR and CNR of normal thyroid in

作者单位:650032 昆明,昆明医科大学第一附属医院影像科

作者简介:付蓝琦(1997-),女,河南新乡人,硕士研究生,主要从事医学影像技术工作。

通讯作者:杨亚英, E-mail: yaying yang@163. com

the same slice and SNR of thyroid nodules were significantly different among the three groups (all P < 0.05), and the SNR and CNR of two-phase VNC were higher than that of TNC. The difference between VNC and TNC in the thyroid nodules, the normal thyroid, the internal carotid artery, the paravertebral muscles, and the venous-phase neck fat in the same slice was less than 5% outside the limits of agreement (LOA). The consistency of subjective evaluation in TNC, VNC-A, and VNC-V images by two physicians was good (Kappa value was 0.963, 0.954, and 0.921, respectively), and the subjective score of VNC was higher than that of TNC. Compared with the conventional method, the radiation dose of VNC and dual-phase enhanced scan were only (314.01±94.14)mGy \cdot cm in dose length product and (1.82±0.60) mSv in effective dose, which effectively reduced the radiation dose by about 34.31%. Conclusion: The VNC image derived from double-layer spectral detector CT has the image quality equivalent to that of TNC in the evaluating thyroid nodules, which greatly reduces the radiation dose while meeting the needs of clinical diagnosis.

[Key words] Thyroid nodule; Virtual non-contrast; Tomography, computerized; Image quality; Radiation dose

甲状腺结节是甲状腺的常见、多发病,CT 增强扫描对于评估结节性质、与周围组织关系及淋巴结转移具有重要价值^[1]。但CT 的辐射损害受到社会广泛关注。双层探测器光谱CT 可实现"同时、同源、同向"的双能量成像,其后处理技术虚拟平扫(virtual non-contrast,VNC)利用物质分离及基物质成像技术,从增强扫描图像中减去碘物质,得到类似于平扫(true noncontrast images,TNC)的 VNC 图像^[2]。双层探测器 光谱CT VNC 技术已被证实在胸部、冠状动脉、肝脏、 肾上腺等多个领域可提供与 TNC 相当的图像质 量^[3-5]。在甲状腺方面的研究鲜有报道,本研究拟探讨 双层探测器光谱CT 虚拟平扫替代常规平扫评估甲状 腺结节的可行性。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性收集 2021 年 1 月-2021 年 6 月于昆明医 科大学第一附属医院双层探测器光谱 CT 扫描且最终 经病理证实为甲状腺结节病变患者的病例资料,因结 节过小易受部分容积效应影响导致测量误差,故排除 结节长径 <5 mm 7 例,排除无病理资料 3 例,最终入 组 63 例。63 例中男 26 例,女 37 例;年龄 25~89 岁, 平均(55.35±14.85)岁。其中甲状腺乳头状癌 31 例, 甲状腺滤泡癌 5 例,结节性甲状腺肿 19 例,甲状腺腺 瘤 3 例,桥本氏甲状腺炎 5 例。所有患者检查前均签 署知情同意书。

2. 扫描方法与图像重建

63 例患者均采用 Philips Healthcare IQon Spectral CT 检查。扫描内容包括颈部平扫、动脉期、静脉期增 强扫描,扫描范围自颅顶至主动脉弓水平。先行 CT 平扫,之后采用双筒高压注射器注射非离子型对比剂 碘海醇(350 mg I/mL),剂量 50 mL,流率3 mL/s,并 以相同流率注射生理盐水 40 mL。达到阈值后 7 s、 31 s分别行动脉期、静脉期扫描。扫描参数:管电压 120 kVp,管电流采用自动管电流调节技术,准直器宽 度 64×0.625 mm,X 线管转速 0.5 s/r,螺距 0.798。 CT 图像采集完成后,将平扫数据进行混合迭代重建 (iDose4,level 3)获得常规图像(TNC),增强两期数据 进行投影空间光谱重建(Spectral B,level 3)生成动脉 期 VNC 图像(VNC-A)和静脉期 VNC 图像(VNC-V)。所有图像重建层厚为1 mm,层间距为1 mm。

3. 数据及图像分析

①图像质量客观评价:将 TNC、VNC-A、VNC-V 图像导入 Philips SpDS 图像工作站(Spectral Diagonostic Suite 6.5, Philips Healthcare)进行分析及 测量。所有兴趣区(region of interest, ROI)均测量 3 次取平均值,尽量保证 ROI 形状、大小和位置一致。 ROI 避开钙化、坏死区域,分别位于甲状腺结节、同层 正常甲状腺、颈内动脉、项部脂肪、同层椎旁肌肉,面积 约为 0.7 mm²。分别测量 TNC、VNC-A、VNC-V 图 像中甲状腺结节、同层正常甲状腺、颈内动脉、项部脂 肪、同层椎旁肌肉的 CT 值及标准差(standard deviation, SD),以项部脂肪 SD 作为背景噪声,计算信噪比 (signal noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast noise ratio, CNR),其中 SNR = CT_{ROI}/SD_{ROI}, CNR = (CT_{ROI} - CT_{同层椎后肌肉})/SD_{项遮暗断}。

②图像质量主观评价:由两名高年资影像医师采取5分法^[6]分别对TNC、VNC-A、VNC-V图像质量进行评分,若有分歧则共同协商决定:5分,图像解剖细节清晰,无明显噪声和伪影;4分,图像解剖细节尚清晰,噪声稍增多,略有伪影;3分,图像解剖细节欠清晰,噪声和伪影较明显,基本满足诊断要求;2分,解剖



图 1 女,57岁,甲状腺乳头状癌。a)常规平扫图像;b)动脉期 VNC 图像;c)静脉 期 VNC 图像。

细节辨识困难,噪声和伪影明显,不能满足诊断;1分, 解剖结构无法辨识,伪影严重,无法诊断。3分以上者 可满足诊断要求(图1)。

③辐射剂量:记录患者平扫及增强扫描剂量长度 乘积(dose-length product,DLP)与 CT 剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol),均为设备自动生成,利 用公式计算有效辐射剂量(effective dose,ED),ED= DLP×0.0059^[7]。

4. 统计学方法

采用 SPSS 26.0 和 MedCale 19 软件进行统计分 析,Kolmogorov-Smirnov 检验计量资料是否符合正态 分布,符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示, 组间差异采用单因素方法分析,两两比较采用 Bonferroni 法。绘制 Bland-Altman plot 散点图分析 TNC 与 VNC 图像中各组织 CT 值的一致性,以 TNC 为标准 测量值作为 X 轴,TNC 和 VNC 的差值为 Y 轴。一致 性界限(limits of agreement,LOA)定义为参考范围的 95% 置信区间(95% CI)。 各组主观评分进行比较采 用多组独立样本秩和检验 (Kruskal Wallis H 检验), 两名医师主观评分一致性 评估采用 Kappa 检验,K 值<0.40,一致性差;0.40 \leq K 值<0.75,一致性良 好,K 值 \geq 0.75,一致性良 以 P<0.05 为差异有统计 学意义。

结 果

1. 客观评价指标

各组图像(TNC、VNC-A、VNC-V)中甲状腺结节、同层正常甲状腺、颈内动脉、项部脂肪、椎旁肌肉的CT值差异均无统计学意义(P均>0.05),CT值差异不超过8HU,综合各指标观察VNC-V组CT值更接近于TNC;除甲状腺结节、颈内动脉,其余各组图像背景噪声差异均有统计学意义(P均<0.05),VNC两期噪声值明显低于TNC;三组图像正常甲状腺SNR、CNR及甲状腺结节SNR差异均有统计学意义(P均<0.05),VNC两期SNR、CNR高于TNC,见表1。

2. TNC 与 VNC 两期各组织 CT 值一致性对比

除 VNC-A 项部脂肪外, VNC 两期甲状腺结节、 同层正常甲状腺、颈内动脉、同层椎旁肌肉及静脉期项 部脂肪 VNC 与 TNC 差值在 LOA 界限外的点均≪ 5%(表 2,图 2)。

表1 TNC与双期增强 VNC 图像的客观评价指标比较结果

参数	TNC	VNC-A	VNC-V	F 值	P 值
正常甲状腺					
CT 值(HU)	102.17 \pm 21.59	94.33 ± 24.77	94.87 \pm 25.87	2.071	0.129
背景噪声	8.13±4.72	7.05 ± 4.47	5.82 ± 3.87	4.516	<0.05
SNR	-2.82 ± 12.46	17.73 ± 12.46	26.14 \pm 27.54	72.167	< 0.001
CNR	5.16 ± 4.81	7.03 ± 7.66	6.73 ± 8.05	3.810	< 0.05
甲状腺结节					
CT 值(HU)	48.76 \pm 23.94	44.26 ± 21.35	42.82±19.71	1.279	0.281
背景噪声	8.25 \pm 5.17	7.22 ± 3.90	6.57 \pm 3.46	2.520	0.083
SNR	5.50 ± 10.61	9.01 \pm 12.56	11.01 ± 7.89	3.102	< 0.05
CNR	-2.61 ± 22.79	-2.34 ± 5.14	-0.91 ± 5.26	2.168	0.338
颈内动脉					
CT 值(HU)	54.24 \pm 15.90	58.75 \pm 13.66	54.27±12.08	2.771	0.065
背景噪声	7.80 ± 4.17	7.34 ± 5.84	6.29±3.41	1.789	0.170
SNR	0.57 ± 79.16	14.08 ± 17.78	11.68 ± 7.89	1.478	0.231
CNR	-0.16 ± 13.45	1.43 ± 4.26	0.06 ± 2.69	5.168	0.075
椎体旁肌肉					
CT 值(HU)	56.36 \pm 6.97	53.36 \pm 6.97	53.34 \pm 9.38	2.321	0.313
背景噪声	10.18 ± 5.97	8.13±4.02	6.69±3.44	11.903	0.003
项部脂肪					
CT 值(HU)	-71.83 ± 29.02	-74.87 ± 23.56	-69.82 ± 24.64	0.611	0.544
背景噪声	10.24 ± 5.96	7.68 ± 4.43	8.86 ± 5.67	3.570	< 0.05

表 2 TNC、VNC 上测量 CT 值一致性的 Bland-Altman 分析结果



图 2 TNC 与 VNC 图像 CT 值一致性分析 Bland-Altman 散点图。a) VNC-A和TNC正常甲状腺CT值差值;b)VNC-V和TNC正常甲状腺CT值差 值;c)VNC-A和TNC甲状腺结节CT值差值;d)VNC-V和TNC中甲状腺 结节 CT 值差值;e) VNC-A 和 TNC 颈内动脉 CT 值差值;f) VNC-V 和 TNC 中颈内动脉CT值差值。

3. 图像质量主观评分

两名医师对 TNC、VNC-A、VNC-V 三组图像主 观评价的一致性较好(Kappa 值分别为 0.963、 0.954、0.921)。TNC、VNC-A、VNC-V 三组影像的主 观评分分别为4(3,4)、5(4,5)、5(4,5),三组图像均可 满足诊断要求,评分差异无统计学意义(P>0.05)。

主	2	亜	升	+	+	+1	+#	后	山	헸	旦	цĿ	厽
衣	Э	四内	11	Л	玐	17	佃	沺	剂	⑪	里	Ю	ŦX

扫描方式	常规三期扫描	VNC 双期扫描
ED(mSv)	2.73 ± 0.89	1.82 ± 0.60
CTDIvol(mGy)	13.10 ± 4.16	9.00 ± 2.71
DLP(mGy • cm)	478.00 ± 133.80	314.01 ± 94.14

4. 辐射剂量

平扫 + 双期增强扫描总扫描剂量 DLP 为 (478.00±133.80) mGy • cm, ED 为 (2.73 ± 0.89)mSv。与常规扫描方式相比,VNC+双期增强总 扫描剂量 DLP 仅为(314.01±94.14)mGy • cm, ED 为(1.82±0.60)mSv,有效降低辐

甲状腺结节作为甲状腺的常 见、多发病,其恶性率为 3.9%~ 13.3%^[7]。CT 对于病灶定位、定 性、周围组织侵犯及淋巴结转移的 评估等具有重要意义,已成为临床 常规的检查手段之一[8],但检查过 程中也给患者带来辐射安全隐患。 甲状腺作为辐射敏感器官,更容易 受到辐射的损害, Shao 等^[9]研究 证明 CT 辐射剂量增加可导致患 者患甲状腺癌或白血病等的风险 显著增高,在多次扫描累积剂量较 多的患者中,其患病概率更大。甲 状腺良性结节患者受到电离辐射 后发展成恶性肿瘤的发生率高达 20%~50%[10]。因此,有效降低 辐射剂量成为当今研究热点,降低 管电压[11]、迭代重建算法[12]等成 为降低辐射剂量的多种方法。

VNC 图像利用物质分离及基 物质成像技术,从增强扫描图像中

分离并去除碘,从而获得类似平扫(TNC)的 VNC 图 像^[13]。VNC 技术用于颈部已有报道,胡镭等^[14]基于 单层探测器能谱 CT 研究显示 VNC 图像噪声高于 TNC,且主观评分略低于 TNC。Zhou 等[15]利用双源 能谱 CT 报道尽管辐射剂量显著降低,但在评估甲状 腺癌患者中 VNC 图像的客观及主观图像质量低于 TNC图像。对于上述研究结果,笔者认为可能与传统 能谱 CT 虚拟平扫会因基于重建图像进行抑碘、双能 量射线存在交叉等原因造成物质分离、抑碘不足或数 据丢失、未利用有关,从而出现部分碘仍存在于 VNC 图像中且无法完全去除的情况,导致组织 CT 值不准 确、图像质量下降等问题。双层探测器光谱CT中的 上层探测器采用稀有金属钇(Ytrrium),只吸收低能量 X射线光子,下层探测器具有稀土陶瓷,只采集高能电 子,可实现"同时、同源、同向"的双能量成像[16]。此

外,与传统能谱 CT 相比,光谱 CT 不需要额外调整扫描参数和增加辐射剂量,在一次常规扫描后利用空间-分解技术可重建出虚拟平扫图像、单能级图、碘密度 图、有效原子序数图等多个能谱图像^[17]。且多项研 究^[18-20]证明,光谱 CT 的 VNC 技术基于原始数据进行 抑碘,可消除基于重建图像进行抑碘的部分误差,获得 与 TNC 相同的图像质量,可以作为一种减少辐射剂 量的潜在方法。

VNC 图像评价的关键在于是否有良好的图像质 量,真实反映 TNC 图像的 CT 值、病灶情况,能够达到 影像诊断要求。SNR 和 CNR 也是评价图像质量的重 要参数,SNR 越高,代表图像质量越好。在本研究中, VNC 图像在各个组织器官的噪声均较 TNC 图像明 显降低,且正常甲状腺 SNR、CNR 及甲状腺结节 SNR 高于 TNC 图像。但甲状腺结节及颈内动脉 CNR 值 差异无统计学意义,可能与病变、颈内动脉的 CT 值与 肌肉 CT 值对比不明显有关。另基于 Bland-Altman 分析结果显示,除动脉期项部脂肪外,动脉期和静脉期 甲状腺结节、同层正常甲状腺、颈内动脉、同层椎旁肌 肉及静脉期项部脂肪的 VNC 与 TNC 差值在 LOA 界 限外的点均≤5%,CT 值差异不超过 8 HU,且 VNC-V图像CT值更接近于TNC。此外,两名医师图像质 量对 TNC、VNC-A、VNC-V 三组图像主观评价的一 致性较好,VNC 图像评分略高于 TNC,可清晰检出病 灶。在辐射剂量方面,若使用 VNC+双期增强扫描方 式,可降低辐射剂量约34.31%,ED为(1.82± 0.60) mSv.

本研究尚存在一定局限性:①样本量较小,只评估 了甲状腺结节及部分兴趣区的 CT 值,未对病灶特征 及分化等进行详细分析,今后将扩大样本量进一步完 善;②因结节过小时易受部分容积效应影响导致测量 误差,本研究排除了<5 mm 的微小结节,这可能会影 响研究的准确性,需进一步研究 VNC 对微小结节的 评估能力。

综上所述,双层探测器光谱 CT 虚拟平扫在评估 甲状腺结节时具有与平扫相当的图像质量,在满足临 床诊断要求的同时减少了辐射剂量,值得临床推广使 用。

参考文献:

- Saba V, Shuraki JK, Valizadeh A, et al. Reducing absorbed dose to thyroid in neck ct examinations: the effects of saba shielding[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2020, 191(3): 349-360.
- [2] 任海燕, 甄艳华, 郑加贺. 双层光谱探测器 CT 临床应用与研究进 展[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(10):1555-1558.
- [3] Zopfs D.Rinneburger M.Pinto DD, et al. Evaluating anemia using contrast-enhanced spectral detector CT of the chest in a large cohort of 522 patients[J]. Eur Radiol, 2021, 31(6):4350-4357.

- [4] Gassert FG, Schacky CE, Müller-Leisse C, et al. Calcium scoring using virtual non-contrast images from a dual-layer spectral detector CT: comparison to true non-contrast data and evaluation of proportionality factor in a large patient collective[J]. Eur Radiol, 2021,31(8):6193-6199.
- [5] 朱小倩,陈晨,魏晓磊,等.光谱 CT 虚拟平扫在肝脏及肾上腺 CT 衰减一致性研究[J].临床放射学杂志,2021,40(2):354-358.
- [6] 付永春,江滨,周一楠,等.光谱 CT 头部虚拟平扫图像:不同单能 量图像质量的对比[J].放射学实践,2021,36(4):546-550.
- [7] Williams MD. Preoperative molecular testing of thyroid nodules: current concepts[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2021, 31(3): 301-312.
- [8] 甲状腺癌诊疗规范(2018 年版)[J].中华普通外科学文献(电子版),2019,13(1):1-15.
- [9] Shao YH, Tsai K, Kim S, et al. Exposure to tomographic scans and cancer risks[J]. JNCI Cancer Spectr, 2020, 4(1): pkz072.
- [10] Printz C. Radiation from computed tomography scans is associated with increased risk for thyroid cancer and leukemia[J]. Cancer, 2020, 126(8):1601.
- [11] 梁坚豪,朱新进,杨侃荣,等.低辐射剂量联合低剂量对比剂在甲 状腺 CT 增强扫描中的应用[J].中国医学影像学杂志,2017,25 (2):105-108.
- [12] 金文凤,韩丹,江杰,等. 自适应滤波联合迭代重建在减轻下颈部 CT 伪影中的应用[J]. 放射学实践,2019,34(7):755-759.
- [13] Laukamp KR, Lennartz S, Ho V, et al. Evaluation of the liver with virtual non-contrast: single institution study in 149 patients undergoing TAVR planning[J]. Br J Radiol, 2020, 93 (1106): 20190701.
- [14] 胡镭,罗德红,李琳,等. 能谱 CT 虚拟平扫替代常规平扫评估甲 状腺结节的可行性研究[J]. 国际医学放射学杂志,2017,40(1): 10-13.
- [15] Zhou J, Zhou Y, Hu H, et al. Feasibility study of using virtual non-contrast images derived from dual-energy CT to replace true non-contrast images in patients diagnosed with papillary thyroid carcinoma[J]. J Xray Sci Technol, 2021, 4(5):210884.
- [16] Duan X, Ananthakrishnan L, Guild JB, et al. Radiation doses and image quality of abdominal CT scans at different patient sizes using spectral detector CT scanner: a phantom and clinical study [J]. Abdom Radiol, 2020, 45(10): 3361-3368.
- [17] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识(第一版)[J]. 中华放射学杂志,2020,54(7):635-643.
- [18] 林禹,张潇潇,张有彬,等.双层探测器光谱 CT 虚拟平扫应用于 肝脏三期增强扫描[J].中国医学影像技术,2020,36(S1):29-33.
- [19] Javadi S, Elsherif S, Bhosale P, et al. Quantitative attenuation accuracy of virtual non-enhanced imaging compared to that of true non-enhanced imaging on dual-source dual-energy CT[J]. Abdom Radiol, 2020, 45(4):1100-1109.
- [20] Choi MH, Lee YJ, Choi YJ, et al. Dual-energy CT of the liver: true noncontrast vs. virtual noncontrast images derived from multiple phases for the diagnosis of fatty liver[J]. Eur J Radiol, 2021,140(4):109741.