

· 论 著 ·

甲状腺CT辐射剂量、图像质量与女性体成分的相关性研究

沈茜刚¹, 林呈祥², 彭卫军¹, 顾雅佳¹

1. 复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032;
2. 复旦大学附属儿科医院放射科, 国家儿童医学中心, 上海 201102

[摘要] 背景与目的: 计算机断层成像 (computed tomography, CT) 检查已成为有效剂量的主要来源之一。本研究通过分析甲状腺CT的辐射剂量、图像质量和女性体成分之间的相关性, 为今后更好地控制辐射剂量和图像质量提供数据基础。方法: 回顾性分析2015年1月—2019年12月在复旦大学附属肿瘤医院进行甲状腺CT检查的患者。收集甲状腺实质均匀区域的CT值和标准差值, 相同感兴趣区 (region of interest, ROI) 大小测量邻近皮下脂肪组织的CT值和标准差值。所有数据需测3次取其均值, 记录容积CT剂量指数 (CT dose index of volume, CTDIvol)、剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 并计算有效剂量值和各部位的信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR)、对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR)。所有患者均接受骨密度检查, 记录患者的身高、体重、体重指数 (body mass index, BMI)、体表面积 (body surface area, BSA)、脊柱与大腿肌肉百分比、脊柱与大腿脂肪百分比的数值。结果: 104例患者纳入本研究。甲状腺CT图像的SNR和脊柱肌肉百分比 ($r=0.284$, $P=0.004$)、CNR和脊柱脂肪百分比 ($r=0.197$, $P=0.045$)、甲状腺CT图像的有效剂量和患者的年龄、体重、BMI、大腿脂肪百分比、BSA之间 ($r=0.221$ 、 0.247 、 0.260 、 0.262 和 0.222 , $P=0.024$ 、 0.011 、 0.008 、 0.007 和 0.024) 均呈正相关。SNR和年龄、体重、BMI及脊柱脂肪百分比 ($r=-0.292$ 、 -0.198 、 -0.207 、 -0.284 ; $P=0.003$ 、 0.044 、 0.035 和 0.004)、CNR和脊柱肌肉百分比 ($r=-0.197$, $P=0.045$)、有效剂量和大腿肌肉百分比 ($r=-0.262$, $P=0.007$) 之间均呈负相关。结论: 甲状腺CT的辐射剂量与女性体成分有相关性, 图像质量与女性体成分的相关关系为今后更好地控制辐射剂量和提高图像质量提供了数据基础。

[关键词] 辐射剂量; 体成分; 有效剂量; 信噪比; 对比噪声比

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2025.04.010

基金项目: 无。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 不需要。

知情同意: 不需要。

引用本文: 沈茜刚, 林呈祥, 彭卫军, 等. 甲状腺CT辐射剂量、图像质量与女性体成分的相关性研究 [J]. 中国癌症杂志, 2025, 35(4): 418-423.

Funding: no.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: not required.

Informed consent: not required.

Cite this article: SHEN Q G, LIN C X, PENG W J, et al. A study on correlation between thyroid CT radiation dose, image quality and female body composition [J]. Chin Oncol, 2025, 35(4): 418-423.

A study on correlation between thyroid CT radiation dose, image quality and female body composition SHEN Xigang¹, LIN Chengxiang², PENG Weijun¹, GU Yajia¹ (1. Department of Radiology, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Department of Radiology, Children's Hospital of Fudan University, National Children's Medical Center, Fudan University, Shanghai 201102, China)

Correspondence to: GU Yajia E-mail: cjr.guyajia@vip.163.com

[Abstract] **Background and purpose:** With the increasing use of medical imaging examinations, Computed tomography (CT) scans have become one of the primary sources of effective dose. This study analyzed the correlation between radiation dose, image quality and body composition in thyroid CT to provide a data foundation for better control of radiation dose and image quality in the future. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on patients who underwent thyroid CT scans at Fudan University Shanghai Cancer Center from January 2015 to December 2019. CT values and standard deviations (SD) of the homogeneous parenchyma of the thyroid were collected, and CT values and SD values of adjacent subcutaneous fat tissue were measured with the same region of interest (ROI) size. All data were measured three times to obtain the average value, and the volume CT dose index (CTDIvol) and

dose-length product (DLP) were recorded. Effective dose values and signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) for various parts were calculated. All patients underwent bone density examinations, and patient height, weight, body mass index (BMI), body surface area (BSA), and the percentage of muscle and fat in the spine and thighs were recorded. **Results:** A total of 104 patients were enrolled in this study. The SNR of thyroid CT images and the percentage of spinal muscle ($r=0.284$, $P=0.004$), CNR of thyroid CT images and the percentage of spinal fat ($r=0.197$, $P=0.045$), and the effective dose of thyroid CT images and age, weight, BMI, thigh fat percentage, and body surface area ($r=0.221$, 0.247 , 0.260 , 0.262 , and 0.222 ; $P=0.024$, 0.011 , 0.008 , 0.007 and 0.024) were positively correlated. While, SNR and age, weight, BMI, and the percentage of spinal fat ($r=-0.292$, -0.198 , -0.207 , and -0.284 ; $P=0.003$, 0.044 , 0.035 , 0.004), CNR and the percentage of spinal muscle ($r=-0.197$, $P=0.045$), and the effective dose and the percentage of thigh muscle ($r=-0.262$, $P=0.007$) were negatively correlated. **Conclusion:** The radiation dose in thyroid CT is correlated with female body composition. The image quality is related to female body composition, providing a data foundation for better control of radiation dose and image quality in the future.

[**Key words**] Radiation dose; Body composition; Effective dose; Signal-to-noise ratio; Contrast-to-noise ratio

国家癌症中心发布的数据显示, 甲状腺癌已高居女性癌症排名第三位^[1]。甲状腺是人体最大的内分泌腺, 对电离辐射较敏感。其常用的影像学检查方法之一是计算机断层成像 (computed tomography, CT), 但CT检查会伴随一定程度的电离辐射^[2]。大剂量的电离辐射是目前已确定的甲状腺癌危险因素之一^[3]。在临床诊治过程中, 应注意放射剂量的控制。近年来, 临床研究越来越关注人体照射野外敏感部位 (如晶状体、甲状腺、胸腺等) 的辐射吸收剂量。本研究旨在单中心回顾性分析甲状腺CT检查的辐射剂量、图像质量与女性体成分的相关性, 以期为甲状腺CT辐射剂量的控制和图像质量的优化提供理论参考。

1 资料和方法

1.1 研究对象

回顾性收集和分析2015年1月—2019年12月在复旦大学附属肿瘤医院进行甲状腺CT平扫和增强及骨密度检查的肿瘤患者的临床资料。患者纳入标准为: ① 女性患者; ② 同时接受甲状腺CT和骨密度检查; ③ CT和人体成分检查即骨密度检查的间隔时间不超过6个月。排除标准为: ① 对比剂过敏者; ② 扫描图像质量差者; ③ 图像伪影严重者; ④ 扫描方式不符合要求者。

1.2 CT检查技术

CT检查采用SIEMENS公司的Sensation 40或Sensation 64多排螺旋CT, 成像参数为层厚5 mm、120 kV, mAs自动调整扫描。均使用非离子型对比剂, 注射速率视患者个体差异设置在1.5~3.0 mL/s。甲状腺CT检查为平扫+增强扫描, 采用标准颈部软组织窗, 感兴趣区 (regions of interest, ROI) 取增强且层厚5 mm序列中的甲状腺实质均匀区域进行测量。

1.3 人体成分检测

采用美国GE公司的Lunar iDXA骨密度机。检查前测量患者身高和体重, 询问绝经者的绝经年龄。检查前要求被检者除去厚重衣物, 避免佩戴任何金属及其他高密度物品, 如纽扣、钥匙、硬币、拉链、含金属配件的内衣等。被检者平卧于检查床上, 采用DXA标准模式进行扫描, 扫描架从头侧向足侧运动并进行扫描。常规拍摄脊柱正位片, 包括L1~L4腰椎范围和左侧髋关节正位片, 包括耻骨联合、股骨头、股骨颈、大转子。检查完毕, 系统软件自动进行数据处理、分析和结果计算。

1.4 CT技术数据分析

1.4.1 相关比例计算

甲状腺扫描范围自外耳孔至气管隆突分叉处。手动勾画圆形ROI, 大小 $50 \text{ mm}^2 \pm 2 \text{ mm}^2$, 注意避开相邻血管和病灶, 选甲状腺实质均匀区域测CT值和标准差 (standard deviation, SD) 值, 相同ROI测量邻近皮下脂肪组织的CT值、SD值。所有数据分别测量3次, 取其均值, 计算数值包括组织CT值 (CT value of tissue, TCTv)、组织CT均值 (mean tissue CT value, MTCTv)、组织标准差值 (SD value of tissue, TSDv)、组织标准差均值 (mean tissue SD value, MTSDv)、脂肪CT均值 (mean fat CT value, MFCTv) 和脂肪标准差均值 (mean fat SD value, MFSDv)。并计算各部位的信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 及对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR), 计算公式分别为: $\text{SNR}=\text{MTCTv}/\text{TSDv}$; $\text{CNR}=(\text{MTCTv}-\text{MFCTv})/\text{MFSDv}$ ^[4]。

1.4.2 辐射剂量计算

记录容积CT剂量指数 (CT dose index of volume, CTDIvol) 和剂量长度乘积 (dose

length product, DLP), 计算有效剂量 (effective dose, ED), 公式为: $ED=k \times DLP$, 颈部 (甲状腺) k 系数为 $0.0054 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ [5]。

1.4.3 人体成分计算

记录患者身高、体重、体重指数 (body mass index, BMI)、体表面积 (body surface area, BSA)、脊柱与大腿肌肉百分比、脊柱与大腿脂肪百分比。BSA计算公式为: $BSA(\text{m}^2) = 0.0061 \times \text{身高}(\text{cm}) + 0.0128 \times \text{体重}(\text{kg}) - 0.1529$ [6]。

1.5 统计学处理

对所有数据定量变量, 计算平均值、SD、偏度、峰度、统计量 D 值和 P 值, 进行正态性检验, 符合正态分布, 进行Pearson相关系数分析。采用Pearson相关分析, 对体成分、身高、体重、BMI与辐射剂量、图像质量各指标进行逐一的相关分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。相关程度说明, 相关系数 $0 \sim 0.09$ 为没有相关性, $0.1 \sim 0.3$ 为弱相关性, $0.3 \sim 0.5$ 为中等相关性, $0.5 \sim 1.0$ 为强相关性 [7]。采用SPSS 21.0软件进行统计学分析。

2 结果

2.1 纳入患者的基本情况

本研究纳入符合入组标准的患者共104例, 患者年龄在25~76岁, 均值为 (52.32 ± 11.48)

岁。患者的纳入和排除标准流程图见图1。

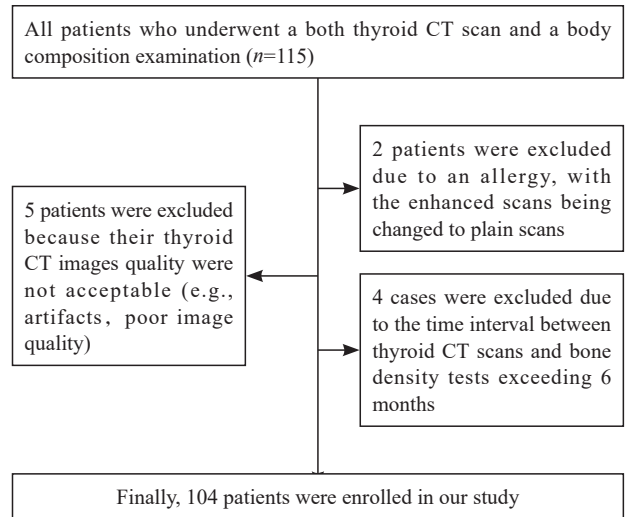


图1 本研究的患者纳入和排除标准流程图

Fig. 1 Flowchart of patients inclusion and exclusion criteria for this study

2.2 女性患者的体成分与甲状腺CT图像的SNR相关性

甲状腺CT图像的SNR和脊柱肌肉百分比之间呈正相关 ($r=0.284$, $P=0.004$)。SNR和年龄、体重、BMI和脊柱脂肪百分比之间呈负相关 ($r=-0.292$ 、 -0.198 、 -0.207 和 -0.284 , $P=0.003$ 、 0.044 、 0.035 和 0.004 , 表1)。

表1 104例患者的女性体成分与甲状腺CT图像的SNR、CNR相关性表

Tab. 1 Correlation table between female body composition of 104 patients and SNR, CNR of thyroid CT images

Index	TCTv1	TCTv2	TCTv3	MTCTv	TSDv1	TSDv2	TSDv3	MTSDv	SNR	MFCTv	MFSDv	CNR
Age	-0.234*	-0.227*	-0.250*	-0.243*	0.196*	0.107	0.123	0.176	-0.292**	-0.311**	-0.03	0.004
Height	-0.138	-0.137	-0.164	-0.15	-0.026	-0.096	-0.035	-0.07	-0.004	-0.031	0.078	-0.143
Weight	-0.374**	-0.379**	-0.331**	-0.371**	0.13	0.04	-0.029	0.059	-0.198*	-0.443**	-0.065	-0.011
BMI	-0.342**	-0.347**	-0.287**	-0.335**	0.154	0.072	-0.016	0.089	-0.207*	-0.444**	-0.097	0.038
Thigh fat/%	-0.087	-0.08	-0.069	-0.081	-0.001	-0.006	0.068	0.023	-0.059	-0.363**	-0.071	0.116
Thigh muscle/%	0.087	0.08	0.069	0.081	0.001	0.006	-0.068	-0.023	0.059	0.363**	0.071	-0.116
Spine fat/%	-0.179	-0.221*	-0.207*	-0.208*	0.154	0.152	0.108	0.176	-0.284**	-0.637**	-0.118	0.197*
Spine muscle/%	0.179	0.221*	0.207*	0.208*	-0.154	-0.152	-0.108	-0.176	0.284**	0.637**	0.118	-0.197*
BSA	-0.371**	-0.376**	-0.338**	-0.372**	0.113	0.016	-0.034	0.039	-0.182	-0.412**	-0.043	-0.04

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$. BMI: Body mass index; BSA: Body surface area; TCTv: CT value of tissue; MTCTv: Mean tissue CT value; TSDv: SD value of tissue; MTSDv: Mean tissue SD value; SNR: Signal-to-noise ratio; MFCTv: Mean fat CT value; MFSDv: Mean fat SD value; CNR: Contrast-to-noise ratio.

2.3 女性患者的体成分与甲状腺CT图像的CNR相关性

甲状腺CT图像的CNR和脊柱脂肪百分比呈正相关 ($r=0.197$, $P=0.045$)。CNR和脊柱肌肉百分比呈负相关 ($r=-0.197$, $P=0.045$, 表1)。

2.4 女性患者的体成分与SNR、CNR和辐射剂量的正态性检验分析结果

正态性分析可见SNR、脂肪CT值均值、ED、年龄、身高、体重、BMI和BSA不具有正态性特质。组织CT值均值、CNR、大腿脂肪百分

比、大腿肌肉百分比、脊柱脂肪百分比和脊柱肌肉百分比具有正态性特质，具体结果见表2。

2.5 女性患者的体成分与甲状腺CT图像的辐射剂量相关性结果

甲状腺CT图像的ED和年龄、体重、BMI、

大腿脂肪百分比、BSA呈正相关 ($r=0.221$ 、 0.247 、 0.260 、 0.262 、 0.222 ， $P=0.024$ 、 0.011 、 0.008 、 0.007 、 0.024)。ED和大腿肌肉百分比呈负相关 ($r=-0.262$ ， $P=0.007$)。具体结果见表3。

表2 104例患者的女性体成分与SNR、CNR和辐射剂量的正态性检验分析结果

Tab. 2 The analysis results of the normality test for female body composition, SNR, CNR, and radiation dose in 104 patients

Index	Sample size	Mean	SD	Measure of skewness	Kurtosis	The statistic <i>D</i> value	<i>P</i> value
MTCTv	104	159.506	19.236	0.318	1.362	0.073	0.186
MTSDv	104	9.561	2.755	0.762	1.090	0.075	0.149
SNR	104	18.013	5.468	0.881	0.934	0.098	0.015*
MFCTv	104	-86.987	9.842	1.095	1.713	0.111	0.003**
MFSDv	104	9.247	3.256	3.166	18.067	0.165	0.000**
CNR	104	0.968	9.035	0.649	0.770	0.082	0.079
CTDI	104	13.089	3.735	1.023	1.572	0.120	0.001**
DLP	104	309.049	70.142	0.490	-0.633	0.119	0.001*
ED	104	1.669	0.379	0.489	-0.633	0.119	0.001**
Age	104	52.486	11.596	-0.336	-0.559	0.109	0.004*
Height	104	159.895	4.863	0.391	1.949	0.091	0.031*
Weight	104	59.714	9.763	2.045	8.008	0.143	0.000**
BMI	104	23.328	3.477	2.438	13.336	0.126	0.000*
Thigh fat/%	104	26.952	4.202	0.321	1.784	0.053	0.662
Thigh muscle/%	104	73.048	4.202	-0.321	1.784	0.053	0.662
Spine fat/%	104	31.992	8.474	-0.318	-0.307	0.056	0.572
Spine muscle/%	104	68.008	8.474	0.318	-0.307	0.056	0.572
BSA	104	1.587	0.140	1.759	5.899	0.103	0.008**

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$. MTCTv: Mean tissue CT value; MTSDv: Mean tissue SD value; SNR: Signal-to-noise ratio; MFCTv: Mean fat CT value; MFSDv: Mean fat SD value; CNR: Contrast-to-noise ratio; CTDI: CT dose index; DLP: Dose-length product; ED: Effective dose; BMI: Body mass index; BSA: Body surface area.

表3 104例患者的女性体成分与甲状腺CT图像的辐射剂量相关性表

Tab. 3 Correlation between female body composition of 104 patients and radiation dose in thyroid CT images table

Index	CTDIvol	DLP	<i>k</i> value mSv/(mGy·cm)	ED
Age	0.084	0.222*	0.0054	0.221*
Height	-0.113	-0.022	0.0054	-0.022
Weight	0.264**	0.248*	0.0054	0.247*
BMI	0.318**	0.260**	0.0054	0.260**
Thigh fat/%	0.244*	0.262**	0.0054	0.262**
Thigh muscle/%	-0.244*	-0.262**	0.0054	-0.262**
Spine fat/%	0.233*	0.179	0.0054	0.179
Spine muscle/%	-0.233*	-0.179	0.0054	-0.179
BSA	0.218*	0.222*	0.0054	0.222*

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; BMI: Body mass index; BSA: Body surface area; CTDI: CT dose index; DLP: Dose length product; ED: Effective dose.

3 讨 论

甲状腺CT作为诊断甲状腺疾病的主要影像学手段之一, 其诊断效能毋庸置疑。然而, 甲状腺是对电离辐射较敏感的器官^[8], 这使得射线的潜在致癌风险成为限制CT在甲状腺检查中应用的重要因素^[9]。因此, 在甲状腺CT扫描过程中, 应尽可能降低X线的辐射剂量, 以保护甲状腺组织。X线的辐射剂量与管电压、管电流呈正相关, 降低管电压或管电流能有效地降低X线的辐射剂量, 同时降低管电压、管电流效果更显著^[10]。目前, 降低辐射剂量的主要方法包括降低管电压、管电流以及采用管电流自动调制^[11-12]。

本研究中甲状腺CT图像的ED与患者年龄、体重、BMI、大腿脂肪百分比、BSA呈正相关。可见, 未来不仅可以通过降低管电压、管电流, 还可以根据BMI指数、体成分指数等来降低患者的辐射剂量。

甲状腺CT图像的SNR和患者年龄、体重、BMI和脊柱脂肪百分比呈负相关。CNR和脊柱肌肉百分比呈负相关。由此可见决定图像质量的主要参数SNR、CNR与BMI、体成分指数有相关性。

体质量指数 (body mass index, BMI) 是衡量人体胖瘦程度的国际通用指标。研究^[13-14]发现, BMI是影响CT辐射剂量的重要因素之一, CT辐射剂量与患者的BMI有关, 且辐射剂量随BMI增加而增大。有研究^[15]显示, CT的有效剂量随着BMI和腹腔内脂肪量的增加而增加 ($P < 0.001$), 体重每增加1 kg有效剂量增加0.13 mSv; BMI每增加5 kg/m², 有效剂量增加1.95 mSv。此外, 有研究^[16]认为, 在腹部骨盆CT中, 仅需了解患者的体型、性别和年龄, 便可估计患者的特异性器官剂量和群体特异性有效剂量及风险指数。以往关于CT辐射剂量与体成分的相关性研究主要集中在胸部、腹部或盆部^[17-18]。本研究通过分析甲状腺CT图像的ED、SNR、CNR与女性体成分的相关性, 探讨辐射剂量与女性体成分之间的关系, 为更好地控制辐射剂量和图像质量提供相关的数据基础。

本研究尚存在局限性: 首先, 本研究是回顾性研究, 样本量较小, 后续研究有待进一步扩大样本量; 其次, 本研究纳入的患者均为女性, 后续研究将纳入男性患者进行分析, 使研究的内容更具系统性和全面性; 再次, 本研究所用到的

CT设备为单一品牌, 后续有待对多品牌的CT检查图像进行对比分析; 最后, 本研究未进行倚偏分析。

本课题组的前期研究^[19]发现, 体成分与乳腺X线摄影辐射剂量存在较高的相关性, 且与其他研究^[20]报道一致。本研究从探讨常规甲状腺CT检查的辐射剂量与女性体成分的相关性中发现, 甲状腺CT图像的ED、SNR、CNR与女性体成分指标之间差异有统计学意义。说明甲状腺CT检查的辐射剂量、图像质量与女性体成分相关, 为今后更好地控制辐射剂量和图像质量提供了数据基础, 但其中的机制及关系尚需进一步研究。

第一作者:

沈茜刚 (ORCID: 0000-0001-6460-3474), 副主任技师; 林呈祥 (ORCID: 0009-0008-3902-329X), 主管技师 (共同第一作者)。

通信作者:

顾雅佳 (ORCID: 0000-0002-6130-859X), 主任医师, 教授, 复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科主任, E-mail: cjr.guyajia@vip.163.com。

作者贡献声明:

沈茜刚: 完成病例筛选和收集, 撰写并修改文章; 林呈祥: 完成数据收集、汇总, 撰写并修改文章; 彭亚军: 审核并修改文章; 顾雅佳: 审核并修改文章。

[参 考 文 献]

- [1] HAN B F, ZHENG R S, ZENG H M, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022 [J]. J Natl Cancer Cent, 2024, 4(1): 47-53.
- [2] 牛延涛, 张永县, 卓维海, 等. 加强放射诊断辐射剂量管理的必要性及应对策略 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 23(4): 241-247.
NIU Y T, ZHANG Y X, ZHUO W H, et al. The necessity and countermeasures of strengthening radiation dose management in diagnostic radiology [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2023, 23(4): 241-247.
- [3] 刘慧敏, 乔丽颖, 董玮琪, 等. 内蒙古2010—2015年甲状腺癌发病与死亡现状及趋势分析 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2020, 27(24): 1950-1956.
LIU H M, QIAO L Y, DONG W Q, et al. Epidemiological characteristics and trends of thyroid cancer in Inner Mongolia, 2010-2015 [J]. Chin J Cancer Prev Treat, 2020, 27(24): 1950-1956.
- [4] GONZALEZ-GUINDALINI F D, BOTELHO M P F, TÖRE H G, et al. MDCT of chest, abdomen, and pelvis using attenuation-based automated tube voltage selection in combination with iterative reconstruction: an inpatient study of radiation dose and image quality [J]. AJR Am J Roentgenol, 2013, 201(5): 1075-1082.
- [5] European Communities. European guidelines on quality criteria for computed tomography [J]. Report Eur, 1999, 16262.

- [6] WU Q, ZHOU Y, FAN X, et al. Evaluation of nine formulas for estimating the body surface area of children with hematological malignancies [J] . *Front Pediatr*, 2022, 10: 989049.
- [7] ROSENKRANTZ A B, LIM R P, HAGHIGHI M, et al. Comparison of interreader reproducibility of the prostate imaging reporting and data system and likert scales for evaluation of multiparametric prostate MRI [J] . *AJR Am J Roentgenol*, 2013, 201(4): W612–W618.
- [8] 刘宇飞, 孙全富. 电离辐射照射与甲状腺结节关系研究进展 [J] . *中国职业医学*, 2013, 40(5): 468–471.
- LIU Y F, SUN Q F. Research progress on correlation between ionizing radiation exposure and thyroid nodule [J] . *China Occup Med*, 2013, 40(5): 468–471.
- [9] LOOMANS-KROPP H A, DUNN B K, KRAMER B S, et al. Thyroid incidentalomas in association with low-dose computed tomography in the national lung screening trial [J] . *Am J Epidemiol*, 2020, 189(1): 27–33.
- [10] 卢光明. 积极推进超低剂量CT血管成像研究 [J] . *放射学实践*, 2014, 29(6): 582–583.
- LU G M. Actively promote the study of ultra-low dose CT angiography [J] . *Radiol Pract*, 2014, 29(6): 582–583.
- [11] JU Y H, LEE G, LEE J W, et al. Ultra-low-dose lung screening CT with model-based iterative reconstruction: an assessment of image quality and lesion conspicuity [J] . *Acta Radiol*, 2018, 59(5): 553–559.
- [12] MOLONEY F, JAMES K, TWOMEY M, et al. Low-dose CT imaging of the acute abdomen using model-based iterative reconstruction: a prospective study [J] . *Emerg Radiol*, 2019, 26(2): 169–177.
- [13] SMITH-BINDMAN R, WANG Y F, NELSON T R, et al. Predictors of CT radiation dose and their effect on patient care: a comprehensive analysis using automated data [J] . *Radiology*, 2017, 282(1): 182–193.
- [14] BOOS J, MEINEKE A, RUBBERT C, et al. Cloud-based CT dose monitoring using the DICOM-structured report: fully automated analysis in regard to national diagnostic reference levels [J] . *Rofa*, 2016, 188(3): 288–294.
- [15] CHAN V O, MCDERMOTT S, BUCKLEY O, et al. The relationship of body mass index and abdominal fat on the radiation dose received during routine computed tomographic imaging of the abdomen and pelvis [J] . *Can Assoc Radiol J*, 2012, 63(4): 260–266.
- [16] TIAN X Y, LI X, SEGARS W P, et al. Patient- and cohort-specific dose and risk estimation for abdominopelvic CT: a study based on 100 patients [C] // *Medical Imaging 2012: Physics of Medical Imaging*. San Diego, California, USA. SPIE, 2012.
- [17] MCLAUGHLIN P D, CHAWKE L, TWOMEY M, et al. Body composition determinants of radiation dose during abdominopelvic CT [J] . *Insights Imag*, 2018, 9(1): 9–16.
- [18] ISRAEL G M, CICCHIELLO L, BRINK J, et al. Patient size and radiation exposure in thoracic, pelvic, and abdominal CT examinations performed with automatic exposure control [J] . *Am J Roentgenol*, 2010, 195(6): 1342–1346.
- [19] 沈茜刚, 顾雅佳, 郑晓静, 等. 乳腺X线摄影辐射剂量、乳腺密度及体成分三者间的相关性研究 [J] . *中国癌症杂志*, 2018, 28(10): 755–761.
- SHEN X G, GU Y J, ZHENG X J, et al. The correlation study among mammographic radiation dose, breast density and body composition in breast cancer [J] . *China Oncol*, 2018, 28(10): 755–761.
- [20] 季宇, 郝玉娟, 刘佩芳, 等. 乳腺X线摄影和超声检查诊断疾病准确性及与女性体质量指数、乳房体积及乳腺密度的相关性研究 [J] . *中华放射学杂志*, 2017, 51(2): 123–126.
- JI Y, HAO Y J, LIU P F, et al. Study on diagnostic accuracy of mammography and ultrasonography and its correlation with female body mass index, breast volume, breast density of breast cancer [J] . *Chin J Radiol*, 2017, 51(2): 123–126.

(收稿日期: 2024-08-14 修回日期: 2024-12-18)

(责任编辑: 王琳辉)