

SwiftScan mode for improving SPECT quantitative accuracy and image quality: A phantom study

SONG Guoqing^{1,2}, MA Chenghao³, YANG Shuangchen¹, YANG Xin¹, ZHANG Xinchao¹,

TIAN Congna¹, HU Yujing¹, QIN Yanan¹, WEI Qiang¹, BIAN Yanzhu^{1,2*}

(1. Department of Nuclear Medicine, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, China; 2. Hebei Provincial

Key Laboratory of Cerebral Networks and Cognitive Disorders, Shijiazhuang 050051, China;

3. Department of Imaging, Shijiazhuang People's Hospital, Shijiazhuang 050011, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of Swift Scan mode for improving quantitative accuracy and image quality of SPECT. **Methods** A phantom model consisting 6 spheres (with diameter of 37, 28, 22, 17, 13 and 10 mm, respectively) was used, and 640 kBq/ml and 20 kBq/ml $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$ solution were perfused into the spheres and the phantom cavity, respectively. SwiftScan mode and conventional step and shoot mode SPECT images were acquired under 5, 10 and 15 s/frame, respectively. The subjective imaging quality scores, and objective indexes of imaging quality, including coefficient of variation (CV), contrast-to-noise ratio (CNR), counts sphere (C_{sphere}) and measurement quantification error percentage (Error%) were compared between different modes. **Results** Under 5, 10 and 15 s/frame, the subjective imaging quality scores of SwiftScan mode were all higher than those of conventional step and shoot mode, and the maximum difference existed under 5 s/frame. Meanwhile, CV, CNR and C_{sphere} of SwiftScan mode SPECT images were all better than those of conventional step and shoot mode under 5, 10 and 15 s/frame (all $P < 0.05$). After excluding spheres with diameters of 10 mm and 13 mm, the Error% of SwiftScan mode SPECT images were better than that of conventional step and shoot mode under 5 s/frame and 10 s/frame (all $P < 0.05$), but no significant difference was found between 2 modes under 15 s/frame (all $P > 0.05$). **Conclusion** Under the same scanning time, especially short scanning time, the quantitative accuracy and imaging quality of SwiftScan mode SPECT were both better than those of conventional step and shoot mode SPECT images.

[Keywords] tomography, emission computed, single photon; phantoms, imaging; quantification; image quality

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.03.026

螺旋采集改善 SPECT 定量准确性及图像质量:体模研究

宋国庆^{1,2}, 马成皓³, 杨双臣¹, 杨鑫¹, 张新超¹, 田丛娜¹, 胡玉敬¹,

秦亚楠¹, 魏强¹, 边艳珠^{1,2*}

(1. 河北省人民医院核医学科, 河北 石家庄 050051; 2. 河北省脑网络与认知障碍疾病重点实验室,

河北 石家庄 050051; 3. 石家庄市人民医院影像科, 河北 石家庄 050011)

[摘要] **目的** 观察螺旋采集用于改善 SPECT 定量准确性及图像质量的价值。**方法** 针对 1 个包含 6 个球体(直径分别为 37、28、22、17、13 和 10 mm)的体模模型, 分别向球体及体模腔内灌注 640 kBq/ml 及 20 kBq/ml $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$ 溶液, 并以 5、10 及 15 秒/帧行螺旋采集与常规步进采集; 比较 2 种采集方式所获图像质量主观评分及客观参数, 包括本底变异系

[基金项目] 河北省卫生健康委医学科学研究课题计划(20241560、20242327)。

[第一作者] 宋国庆(1993—), 女, 河北邢台人, 本科, 主管技师。研究方向: 影像与核医学。E-mail: 1563938530@qq.com

[通信作者] 边艳珠, 河北省人民医院核医学科, 050051; 河北省脑网络与认知障碍疾病重点实验室, 050051。E-mail: yanzhubian99@163.com

[收稿日期] 2023-09-25 **[修回日期]** 2024-01-10

数(CV)、对比度噪声比(CNR)、平均放射性计数(C_{sphere})和测量定量误差百分比(Error%)的差异。**结果** 各采集时间下,螺旋采集图像质量评分均高于常规步进采集,以 5 秒/帧时二者差值最大;螺旋采集的 CV、CNR、 C_{sphere} 均优于常规步进采集(P 均 <0.05)。排除直径 10、13 mm 球体后,5、10 秒/帧下,螺旋采集 Error% 均优于常规步进采集(P 均 <0.05),而 15 秒/帧下二者差异无统计学意义(P 均 >0.05)。**结论** 相同采集时间、尤其较短采集时间下,以螺旋采集所获 SPECT 的定量准确性及图像质量优于常规步进采集。

[关键词] 体层摄影术,发射型计算机,单光子;体模,显像术;定量;图像质量

[中图分类号] R817 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2024)03-0446-05

SPECT/CT 图像质量和定量准确性受采集、重建及校正方法影响^[1]。

根据美国核医学和分子成像学会(Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, SNMMI)SPECT 断层显像程序标准 4.0^[2],采用常规步进采集模式行 SPECT 扫描的参数宜为 $3^{\circ}\sim 6^{\circ}$ /帧、10~40 秒/帧,总检查时间较长,导致患者舒适性和配合度下降;如何在保证图像质量的同时缩短 SPECT 扫描时间是重要临床课题。螺旋采集(GE SwiftScan 技术)是全新 SPECT 采集模式,探头在静止及旋转移动时均可连续采集数据^[3-5],故能有效增加信息量(图 1);但在相同扫描时间下,螺旋采集的放射性计数高于步进采集^[6-7]。本研究观察利用螺旋采集改善 SPECT 定量准确性及图像质量的价值。

1 材料与方法

1.1 材料 美国国家电气制造商协会(National Electrical Manufacturers Association, NEMA)国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)体模模型 1 个(美国 Data Spectrum Corporation),其腔内含 6 个直径分别为 37、28、22、17、13 和 10 mm 的球体(图 2)。向体模腔内注入 10 150 ml 蒸馏水及 203 MBq $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$ 溶液并充分摇匀,分别向 6 个球体内注入 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$ 溶液 640 kBq/ml,用以模拟靶/本底比值 32:1 的临床状态。

1.2 仪器与方法 采用配备低能高分辨灵敏度准直器的 GE Discovery NM/CT 860 扫描仪于同次灌模下对体模进行扫描。CT 参数:螺旋采集,旋转时间 0.6 s,管电压 120 kV,管电流 120 mA,层厚 5 mm,螺距 1.35:1,矩阵 512×512 ;SPECT 参数:分别以 5、10 及 15 秒/帧进行 3 次扫描,主能窗 $140\text{ keV}\pm 10\%$,散射能窗 $120\text{ keV}\pm 5\%$,矩阵 128×128 ,放大倍数 1.0, 6° /帧,在以螺旋模式采集的同时获得常规步进模式图像。采用

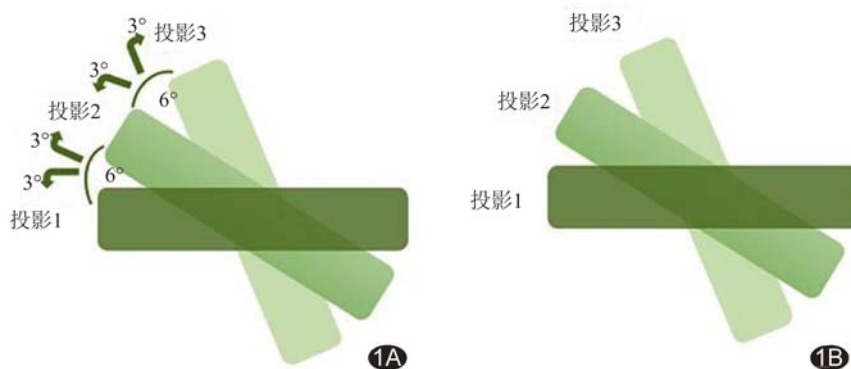


图 1 SPECT 扫描示意图 A. 螺旋采集,若步进角为 6° ,则将 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ (不包括 3°)数据添加到前个投影视图中,将 3° (包括 3°)~ 6° 数据添加到后个投影视图中;B. 常规步进采集

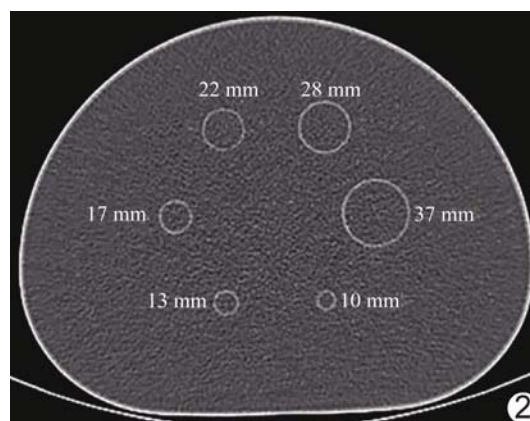


图 2 CT 图示体模腔内球体

GE Q. VMI 软件以有序子集最大期望值法(ordered subsets expectation maximization, OSEM)重建 SPECT 断层图像,经 4 次迭代获得 10 个子集,并行 CT 衰减校正、散射校正和灵敏度恢复校正。

1.3 图像分析 由 1 名医师和 1 名技师采用双盲法阅片进行主观评分,根据所能分辨出小球数目评价图像显示球体得分(1~6 分),根据噪声粗糙-细腻程度进行本底噪声评分(1~4 分),以二者之和为图像质量主观得分;以医师与技师总分的平均值为最终结果。由该技师采用球形工具于 CT 图中沿球体内壁勾画与球体直径一致的靶区,并使其体积与球体实际体积误

差小于 10%；软件自动测量靶区平均摄取值[记为 activity SPECT (A_{SPECT})]、平均放射性计数[记为 counts sphere(C_{sphere})]；于球体旁本底区复制相同体积 ROI，软件自动得出本底平均放射性计数[记为 counts normal(C_{normal})]及标准差[记为 counts standard deviation(C_{SD})]；计算本底变异系数(coefficient of variation, CV)、对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)和测量定量误差百分比(Error%)：

$$CV = \frac{C_{\text{SD}}}{C_{\text{normal}}} \times 100\%$$

$$CNR = \frac{C_{\text{sphere}} - C_{\text{normal}}}{C_{\text{SD}}}$$

$$Error\% = \frac{A_{\text{True}} - A_{\text{SPECT}}}{A_{\text{True}}} \times$$

100%

其中, A_{True} 是球体实际活度值, 为 640 kBq/ml。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量数据, 采用配对 t 检验进行比较。以组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)检验一致性, $ICC > 0.75$ 为一致性好。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评分 观察者间显示球体得分、本底噪声评分和图像质量评分的一致性均好 ($ICC = 1.000, 0.898, 0.969$)。随采集时间增加, SPECT 图像显示体模球体质量逐渐提高。相同采集时间下, 螺旋采集图像显示球体更清晰、本底噪声更均匀, 即图像质量更佳(图 3)。各采集时间下, 螺旋采集图像质量评分均高于常规步进采集, 以 5 秒/帧时二者差值最大, 此时螺旋采集图像质量平均分与 10 秒/帧下常规步进采集图像相当(表 1)。

2.2 客观参数

2.2.1 CV 随采集时间增加, SPECT 图像显示体模球体的 CV 逐渐下降。各采集时间下, 螺旋采集的 CV 均低于常规步进采集 (P 均 < 0.05)。见图 4。

2.2.2 CNR 随采集时间增加, SPECT 图像显示体模球体的 CNR 逐渐增高。各采集时间下, 螺旋采集的 CNR 均大于常规步进采集 (P 均 < 0.01)。见图 5。

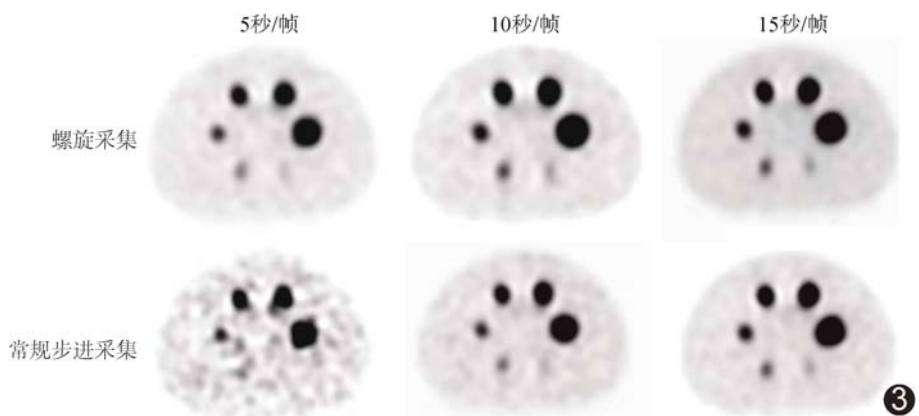


图 3 IEC 体模球体中心水平 SPECT 横断面图像

表 1 体模球体 SPECT 图像主观评分

采集方式		医师评分			技师评分			图像质量平均分
		显示球体	本底噪声	图像质量	显示球体	本底噪声	图像质量	
螺旋采集	5 秒/帧	5	3	8	5	2	7	7.5
	10 秒/帧	6	3	9	6	2	8	8.5
	15 秒/帧	6	4	10	6	4	10	10.0
常规步进采集	5 秒/帧	4	2	6	4	1	5	5.5
	10 秒/帧	5	3	8	5	2	7	7.5
	15 秒/帧	6	4	10	6	3	9	9.5

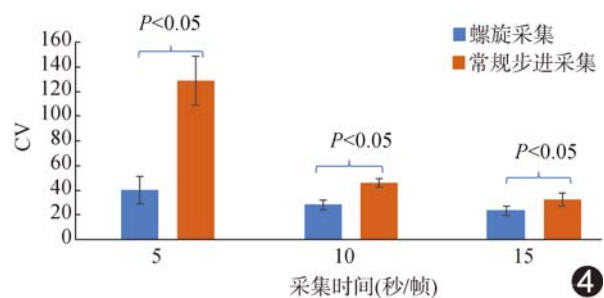


图 4 IEC 体模球体中心水平 SPECT 横断面图像 CV 柱形图

2.2.3 C_{sphere} 随采集时间增加, SPECT 图像显示体模球体的 C_{sphere} 逐渐增高。各采集时间下, 螺旋采集的 C_{sphere} 均大于常规步进采集 (P 均 < 0.05)。见图 6。

2.2.4 Error% 随体模球体直径增大, SPECT 扫描的 Error% 逐渐下降。直径 10 mm 及 13 mm 球体因部分容积效应而 Error% 过大, 故予以剔除。5 秒/帧及 10 秒/帧下, 螺旋采集的 Error% 均小于常规步进采集 (P 均 < 0.05)；15 秒/帧下二者差异无统计学意义 (P 均 > 0.05)。见表 2。

3 讨论

本研究主观评分结果显示, 随采集时间增加, 体模球体 SPECT 图像质量逐渐提高, 与既往研究^[8-9]类似, 这是由于采集时间越长, 图像信息量越大, 故质量

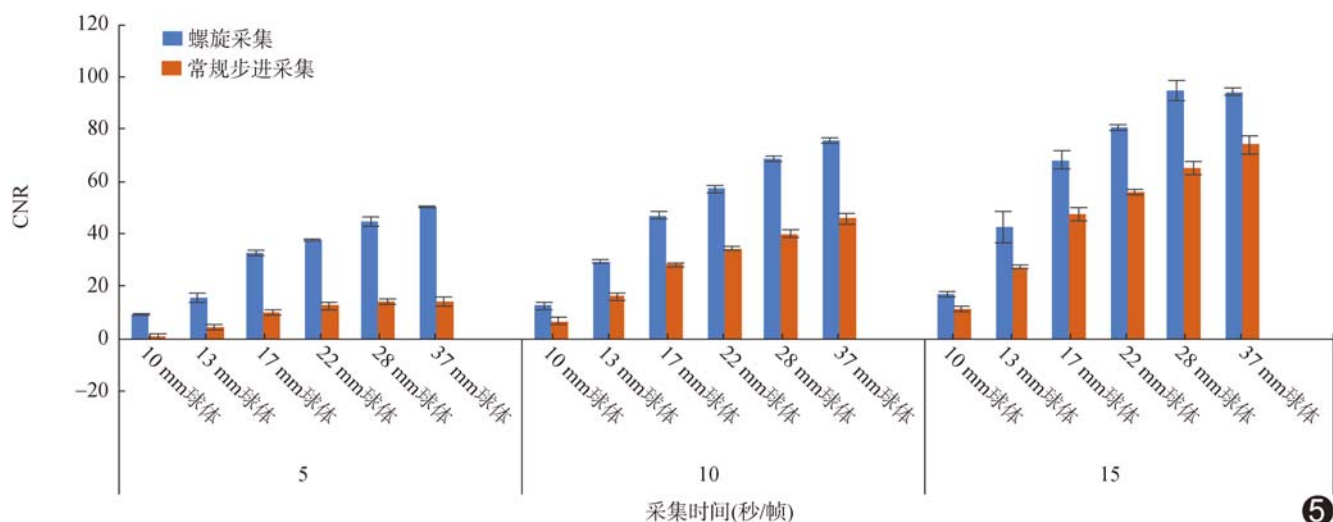
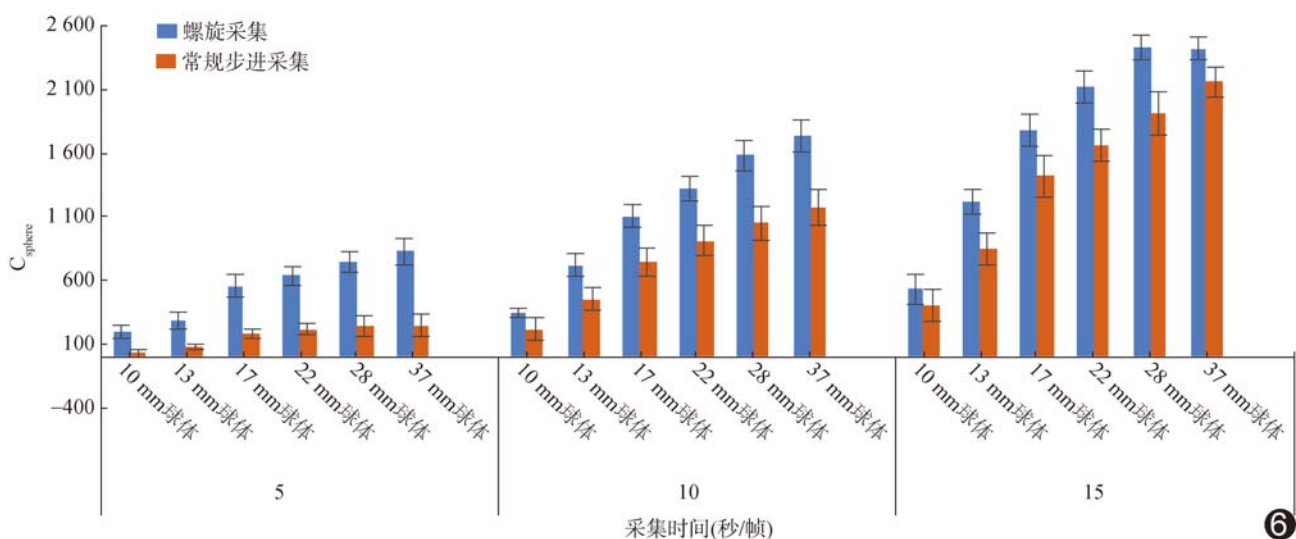


图 5 IEC 体模球体中心水平 SPECT 横断面图像 CNR 柱状图

图 6 IEC 体模球体中心水平 SPECT 横断面图像 C_{sphere} 柱状图

越佳; 5 秒/帧下螺旋采集图像的质量评分平均分与 10 秒/帧下常规步进采集图像相当, 提示螺旋模式有助于在保证图像质量的前提下缩短采集时间。

既往针对骨骼模型的研究^[8]结果显示, 长时间(> 17 min)采集时, 螺旋采集与常规步进采集 SPECT 图像质量相当, 而短时采集则以螺旋采集更优。本研究发现, 螺旋采集 SPECT 图像的 CV、CNR、C_{sphere} 均优于常规步进采集, 二者在 5 秒/帧时差异更为明显; 分析原因, 螺旋采集可将探测器旋转时间计数 (约 4 s/rot, 共 120 s) 添加到常规步进采集中, 使 5 秒/帧、10 秒/帧及 15 秒/帧下常规步进采集时间均有所增加 (5 秒/帧+120 s、10 秒/帧+120 s、15 秒/帧+120 s), 且以 5 秒/帧增加幅度更大; 因此, 短时间采集时, 螺旋

模式明显优于常规步进采集; 而长时间采集时, 螺旋采集的优势可能并不明显。

SHIIBA 等^[8]报道, 任何采集时间下, 螺旋采集与常规步进采集所获 SPECT 定量值均无明显差异。本研究发现 5 秒/帧及 10 秒/帧下, 螺旋采集的 Error% 均小于常规步进采集, 而 15 秒/帧下二者差异无统计学意义 (直径 10 mm 及 13 mm 球体除外); 结果出现差异的原因可能在于影响定量值的因素较多, 如勾画感兴趣容积 (volume of interest, VOI) 方式^[10-11]及重建参数等^[12-13]。勾画 ROI 方法包括基于 CT 图像勾画法和阈值法; 本研究采用前者, 勾画标准较统一, 误差较小; 而阈值法是相对阈值的自动勾画方法, 易受放射性摄取、靶本比及球体大小影响^[11]。将螺旋采集模式

表 2 不同直径球体在不同采集时间、不同采集方式下的 SPECT Error% 比较

球体直径 (mm)	5 秒/帧			
	螺旋采集	常规步进采集	t 值	P 值
10	83.28±23.89	96.65±39.68	-2.145	0.165
13	58.86±13.89	81.28±29.68	-48.553	0.000
17	22.47±3.89	68.68±9.68	-28.676	0.001
22	15.89±2.69	56.03±8.36	-9.294	0.011
28	10.71±2.68	45.63±4.12	-14.752	0.005
37	6.72±2.09	40.69±3.23	-29.752	0.001
球体直径 (mm)	10 秒/帧			
	螺旋采集	常规步进采集	t 值	P 值
10	85.88±23.89	91.34±39.68	-2.815	0.106
13	49.69±13.89	73.44±29.68	-12.775	0.006
17	19.27±3.89	48.44±9.68	-17.627	0.003
22	12.23±2.69	33.44±8.36	-9.793	0.010
28	9.86±2.68	23.44±4.12	-7.539	0.017
37	3.91±1.09	12.23±1.23	-8.988	0.012
球体直径 (mm)	15 秒/帧			
	螺旋采集	常规步进采集	t 值	P 值
10	83.31±23.89	87.70±39.68	-4.626	0.044
13	47.53±13.89	65.63±29.68	-24.485	0.002
17	17.20±3.89	20.36±9.68	-0.706	0.553
22	11.53±2.69	14.62±8.36	-1.453	0.283
28	9.31±2.68	11.85±4.12	-1.602	0.250
37	2.73±1.094	4.14±1.23	-1.373	0.303

与探索最佳勾画 VOI 方式及重建参数相结合,或有助于进一步缩短采集时间和/或提高图像质量。此外,本研究发现,随体模球体直径增大,SPECT 采集 Error% 逐渐下降,可能与部分容积效应导致噪声较高、边缘伪影较多有关。

综上所述,本研究发现,相同采集时间、尤其较短扫采集时间下,针对 NEMA 体模以螺旋采集所获 SPECT 的定量准确性及图像质量优于常规步进采集。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:宋国庆研究设计、撰写和修改文章;马成皓数据分析;杨双臣统计分析;杨鑫、秦亚楠图像处理;张新超研究设计;田丛娜研究实施;胡玉敬查阅文献;魏强指导;边艳珠审阅文章。

[参考文献]

[1] LJUNGBERG M, PRETORIUS P H. SPECT/CT: An update on

technological developments and clinical applications [J]. Br J Radiol, 2018,91(1081):20160402.

[2] BARTEL T B, KURUVA M, GNANASEGARAN G, et al. SNMMI procedure standard for bone scintigraphy 4.0[J]. J Nucl Med Technol, 2018,46(4):398-404.

[3] SHIBUTANI T, ONOBUCHI M, NAOI Y, et al. The usefulness of SwiftScan technology for bone scintigraphy using a novel anthropomorphic phantom[J]. Sci Rep, 2021,11(1):2644.

[4] THIBAUT F, BAILLY M, LE ROUZIC G, et al. Clinical evaluation of general electric new Swiftscan solution in bone scintigraphy on NaI-camera: A head to head comparison with Siemens Symbia[J]. PLoS One, 2019,14(9):e0222490.

[5] SHIBUTANI T, ONOBUCHI M, YONEYAMA H, et al. Performance of SwiftScan planar and SPECT technology using low-energy high-resolution and sensitivity collimator compared with Siemens SPECT system[J]. Nucl Med Commun, 2021,42(7):732-737.

[6] BAILLY M, LE ROUZIC G, METRARD G, et al. Faster acquisition for dopamine transporter imaging using Swiftscan step and shoot continuous SPECT without impairing visual and semiquantitative analysis [J]. Front Med (Lausanne), 2020, 7:235.

[7] PICONE V, MAKRI N, BOUTEVIN F, et al. Clinical validation of time reduction strategy in continuous step-and-shoot mode during SPECT acquisition[J]. EJNMMI Phys, 2021,8(1): 10.

[8] SHIIBA T, SEIKAWA Y, TATEOKA S, et al. Verification of the effect of acquisition time for SwiftScan on quantitative bone single-photon emission computed tomography using an anthropomorphic phantom[J]. EJNMMI Phys, 2022,9(1):48.

[9] 卢洪辉,耿建华,罗小毛,等. SPECT/CT 骨断层图像采集条件的优化研究[J]. 中国医学装备,2020,17(10):61-65.

[10] COLLARINO A, PEREIRA ARIAS-BOUDA L M, VALDÉS OLMOS R A, et al. Experimental validation of absolute SPECT/CT quantification for response monitoring in breast cancer[J]. Med Phys, 2018,45(5):2143-2153.

[11] 邓惠兴,吉婷,王岐,等. ⁹⁹Tc^m-O₄-SPECT/CT 放射性摄取靶区勾画方法的定量准确性分析[J]. 中国医学装备,2021,18(9): 38-42.

[12] ICHIKAWA H, MIYAJI N, ONOBUCHI M, et al. Feasibility of ultra-high-speed acquisition in xSPECT bone algorithm: A phantom study with advanced bone SPECT-specific phantom[J]. Ann Nucl Med, 2022,36(2):183-190.

[13] 邓惠兴,杨爱民,杨路路,等. OSEM 重建的设置对于⁹⁹Tc^m O₄ SPECT/CT 定量准确性的影响[J]. 中国医疗设备,2021,36(11):67-70,75.