

论 著

不同的重建参数IQ-SPECT与CMR对心功能的研究分析*

罗之雄 王碧云 卫 华*
山西医科大学第一医院核医学科
(山西太原 030001)

【摘要】目的 在心腔大小正常的人群中,探讨多种重建参数下的IQ-SPECT及CMR左心室功能的差异,用不同重建条件下测定的IQ-SPECT的心功能指标和磁共振测得的结果互相比,进而找出最佳的重建参数。**方法** 筛选2020年10月至2021年1月,在山西医科大学第一医院核医学科行IQ-SPECT心肌灌注显像,且心腔大小在正常范围内(EDV: 60~120mL)的受检者20例,其中女性6例,男性14例。之后追加心脏磁共振(CMR)扫描,于7天内完成。将以上得出的左室舒张末期容积(end diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(End systolic volume, ESV)、射血分数(ejection fraction, EF)数据进行统一分析。根据三维有序子集最大期望值法,采用多种不同的重建参数重建IQ-SPECT(子集3迭代10、子集5迭代12、子集5迭代15、子集8迭代12、子集8迭代15、子集8迭代18),由此得到6组不同的数据,并用独立样本T检验法同CMR组的结果进行比较分析。将CMR的EF值视为“金标准”,用Bland-Altman法判断其与以上6组EF值的偏倚情况。**结果** IQ-SPECT使用的子集和迭代次数增大时,舒张末期及收缩末期容积会升高,而射血分数呈减低趋势;3子集10迭代时测得的EF值和CMR的结果最趋近,偏倚程度仅2.6%。**结论** 一定范围内重建参数的增加,会使EDV及ESV升高,EF反之;此次IQ-SPECT最适宜的重建参数为子集3、迭代10。

【关键词】 IQ-SPECT; 心脏磁共振; 射血分数; 重建参数

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 山西省应用基础研究项目
(201701D121179)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.028

Research and Analysis of IQ-SPECT and CMR on Cardiac Function under Different Reconstruction Parameters*

LUO Zhi-xiong, WANG Bi-yun, WEI Hua*

Department of Nuclear Medicine, the First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China.

ABSTRACT

Objective To explore the difference between IQ-SPECT and CMR left ventricular function under various reconstruction parameters in the population with normal cardiac cavity size, compare the cardiac function parameters measured by IQ-SPECT under various reconstruction parameters with the results measured by magnetic resonance, and then find out the best reconstruction parameters. **Methods** During the period from October 2020 to January 2021, 20 subjects, including 6 females and 14 males, were selected to perform IQ-SPECT myocardial perfusion imaging in the Nuclear Medicine Department of the First Hospital of Shanxi Medical University, and the cardiac cavity size was within the normal range (EDV: 60~120mL). Cardiac magnetic resonance (CMR) examination was added within one week. Statistically check the measured end diastolic volume (EDV), end systolic volume (ESV), and ejection fraction (EF) of the left ventricle. According to the maximum expected value method of three-dimensional ordered subset, multiple different reconstruction parameters are used to reconstruct IQ-SPECT (subset 3 iteration 10, subset 5 iteration 12, subset 5 iteration 15, subset 8 iteration 12, subset 8 iteration 15, subset 8 iteration 18), so as to obtain 6 groups of different data, and independent sample T-test method is used to compare with CMR data. The EF value of CMR was regarded as the gold standard, and the bias between CMR and the above six groups of EF values was judged by Bland Altman method. **Results** When subsets and iterations used by IQ-SPECT increase, EDV and ESV increase gradually, while EF decreases gradually; The EF value measured at the iteration of subset 10 is the closest to the CMR result, and the degree of bias is only 2.6%. **Conclusion** EDV and ESV will increase with the increase of the subset of reconstruction and the number of iterations, while EF will increase on the contrary; The best reconstruction parameters of IQ-SPECT obtained this time are subset 3 and iteration 10.

Keywords: IQ-SPECT; Cardiac Magnetic Resonance; Ejection Fraction; Reconstruction Parameters

近年来,人口老龄化问题日渐凸显,饮食结构也在发生着变化,致使心血管系统疾病的发病也越来越年轻化,其发病率及死亡率的增长速度亦不可忽视^[1],因此提高对可疑心血管疾病患者的检出率显得尤为重要。心脏磁共振检测技术(Cardiac magnetic resonance, CMR)具有较高的分辨率,能对心脏进行多方位的扫描,被视为检查心功能的金标准。单光子发射型电子计算机断层扫描(single-photon emission computed tomography, SPECT)用于门控心肌灌注成像时能够得到有效的EDV、ESV、EF值,并可观察左室心肌血流灌注有无缺损、室壁增厚程度及其运动能力,可以对心功能及心肌缺血的程度进一步评估,在临床应用方面有着不可替代的作用^[2]。IQ-SPECT配有可变聚焦直器(SMARTZOOM)和三维有序子集最大期望值法(3D-Ordered subsets expectation maximization, 3D-OSEM)的重建技术,对心脏的扫描更有针对性,检查时间更短、图像质量更高。研究发现不同的子集和迭代次数重建下的心功能结果并不相同,目前对于最佳的重建参数还存在争议,因此本研究期望通过对IQ-SPECT进行不同参数的重建,并与CMR测得的心功能进行分析,得出最佳的重建参数。

1 资料与方法

1.1 一般资料 筛选2020年10月至2021年1月期间,在我院核医学科行IQ-SPECT心肌灌注显像,且心腔大小在正常范围内(EDV: 60~120mL)的受检者20例,并于一周内完善CMR检查。其中女性6例,男性14例,年龄24~78岁,平均44.20±16.40岁,身高169.10±6.64cm,体重71.30±13.94Kg,体质量指数(body mass index, BMI)24.91±4.53kg/m²。

排除标准:存在严重心律失常、具有CMR禁忌的病人。

1.2 图像采集与处理

1.2.1 IQ-SPECT心肌灌注显像 图像采集: SPECT心肌成像采用心脏专用SMARTZOOM准直器,能峰140keV,矩阵128×128,放大倍数1.0。患者躺平,双臂交叉后抱头并保持不动,探头识别心脏后,以其为准心,顺时针方向由右前38°扫向左后66°,共208°。以25秒/帧,扫34帧,扫描时长接近8min。

图像处理: 图像重建的程序选用西门子的Flash 3D-OSEM,用子集3、迭代10,子集5、迭代12,子集5、迭代15,子集8、迭代12,子集8、迭代15,子集8、迭代18,这6种组合多次重建,得到心肌的原始断层图(图1~图2);接着根据西门子Cedars软件中的QGS处理得到EDV、ESV、EF。

【第一作者】 罗之雄,女,硕士研究生,主要研究方向:临床核医学。E-mail: 535419567@qq.com

【通讯作者】 卫 华,女,副主任医师,主要研究方向:临床核医学。E-mail: jennyhua1981@sina.com

1.2.2 心脏磁共振检查 图像采集：研究采用西门子1.5T磁共振设备配合心电门控技术，患者平躺后，根据标准定位线，分别定位心脏的左两腔、短轴位、四腔心、各方位的左室流出道、左肺动脉等。根据不同的序列，对心脏各个层面分别扫描。成像期间应在左室舒张及收缩末期及时提示受检者吸气末憋气，成像结束后根据后期软件处理获得心功能指标。矩阵512×512，耗时约15min。

图像处理：Leonardo Argus软件可进行心肌内、外膜的自动勾画，如果出现心内、外膜的实际边界与机器勾画的不匹配时，需要人工干预[由心尖至左室流出道逐层勾画出血池容积最小及最大时相的心内、外膜，红线代表心内膜，绿线代表心外膜(图3)]，进而得出LV舒张、收缩末期容积及射血分数(图4)，一般心外膜对心功能的测量无太大影响。

1.3 统计学方法 统计分析采用SPSS21.0软件，将6种不同子集及

迭代重建的IQ和CMR组的心功能参数分别以均数±标准差($\bar{x} \pm SD$)呈现，对数据进行方差齐性检验，符合方差齐性的数据使用独立样本t检验法， $P < 0.05$ 提示差异存在统计意义；使用medcalc软件进行Bland-Altman法分析，判断CMR与多种重建参数下得到的IQ-SPECT的EF值之间的偏倚情况。

2 结果

2.1 多种重建参数下IQ-SPECT与CMR组心功能参数的对比 如表2所示，IQ-SPECT经6种不同子集及迭代次数处理后得到的心功能参数(EDV、ESV、EF)与CMR组的数值进行统计分析，组间差异均有统计价值($P < 0.05$)；除3-10法、5-12法之外，其余的方法组所得的EF值均与CMR组相当，组内差异具有一定统计价值($P < 0.05$)。根据图5可得出，随着子集及迭代次数的增加，IQ-SPECT的EDV及ESV也相应增高，而EF值反而出现了下降趋势。

2.2 多种重建参数下IQ-SPECT与CMR组EF的偏倚情况 IQ-SPECT在子集3迭代次数10时测得的EF与CMR组之间的差值在一致性界限(LOA)内可达95%，而剩余几组的结果与CMR组差值的LOA均不足95%，这表明CMR与3-10法得到的EF值的一致性较好。图6示子集3迭代10重建下的EF更趋近于CMR的结果，偏倚2.6%；当子集及迭代次数逐渐增加时，偏倚随之增加，子集8迭代18时偏倚高达8.1%。

表1 受检者一般资料(n=20)

变量	数据
性别(男/女, n)	14/6
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	44.20±16.40
体重($\bar{x} \pm s$, Kg)	71.30±13.94
身高($\bar{x} \pm s$, cm)	169.10±6.64
BMI($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	24.91±4.53

表2 多种重建参数下IQ-SPECT与CMR组心功能参数的对比

项目	所有受检者(n=20)					
	EDV(mL)	ESV(mL)	EF(%)	P1	P2	P3
3-10法	87.70±14.787	43.80±9.998	50.55±4.334	0.000 [*]	0.000 [*]	0.117 [#]
5-12法	88.05±14.781	44.45±10.211	49.95±4.322	0.000 [*]	0.000 [*]	0.056 [#]
5-15法	88.40±14.939	45.55±10.369	48.95±4.186	0.000 [*]	0.000 [*]	0.013 [*]
8-12法	89.45±15.219	47.35±10.399	47.40±3.872	0.000 [*]	0.001 [*]	0.000 [*]
8-15法	89.70±14.765	49.30±10.593	45.70±5.038	0.000 [*]	0.002 [*]	0.000 [*]
8-18法	90.90±14.444	50.20±10.705	45.10±4.291	0.000 [*]	0.005 [*]	0.000 [*]
CMR	129.70±21.548	60.74±11.701	53.15±5.815			

注：3~10法：3对应OSEM中的子集，10对应迭代次数。P1为6组不同重建条件下的IQ-SPECT所测得的EDV值与CMR组P1为两组检查的EDV结果对比，P2代表两组检查所得的ESV值的比较，P3代表两组检查的EF值的比较，^{*}代表 $P < 0.05$ ，差异存在统计学意义，[#]代表 $P > 0.05$ ，差异存在统计学意义。

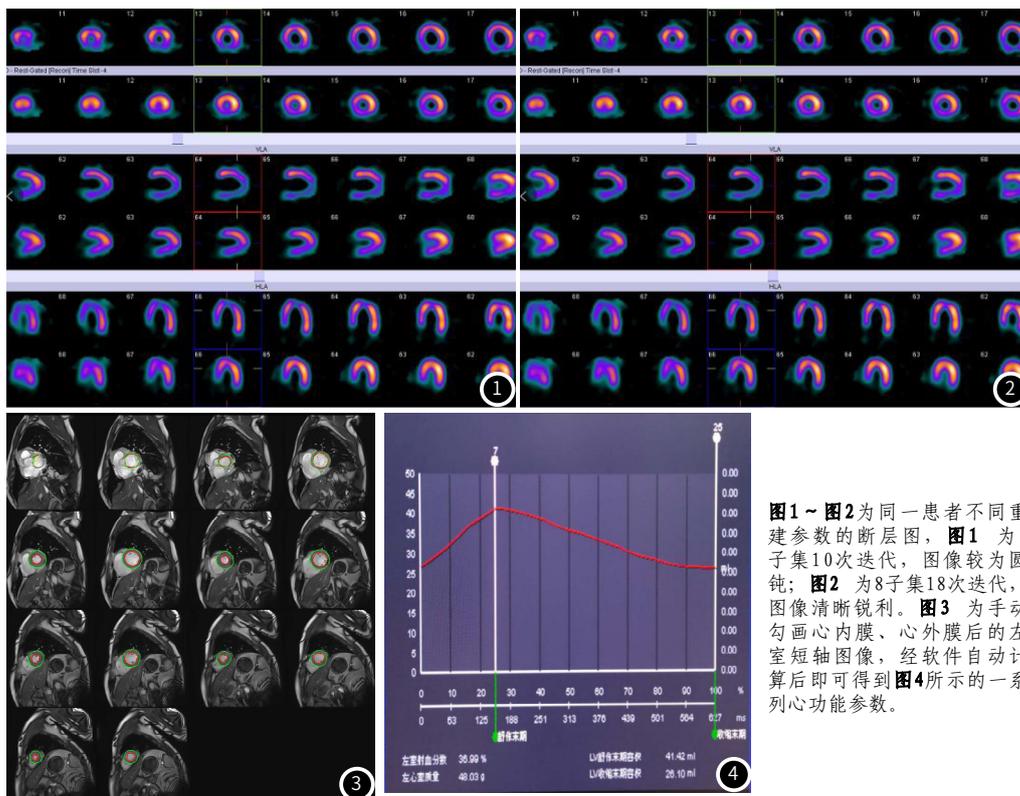


图1~图2为同一患者不同重建参数的断层图，图1为3子集10次迭代，图像较为圆钝；图2为8子集18次迭代，图像清晰锐利。图3为手动勾画心内膜、心外膜后的左室短轴图像，经软件自动计算后即可得到图4所示的一系列心功能参数。

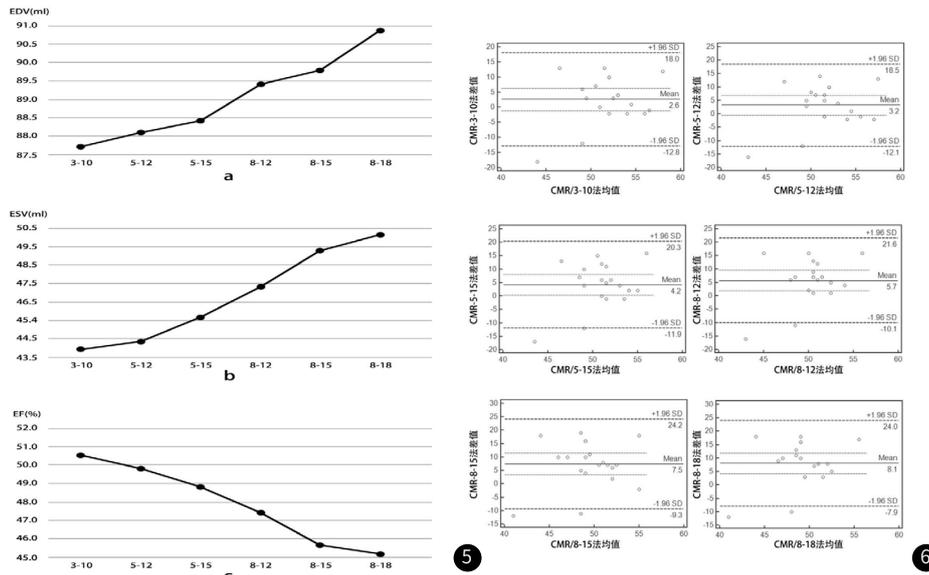


图5 不同重建参数下的EDV、ESV、EF，图5A：代表IQ-SPECT在各种重建参数下的EDV值的走势；图5B：代表各种重建参数下ESV值的走势趋势；图5C：代表各种重建参数下EF值的走势。图6 最中间的线代表两组研究数据差的均数(Mean)；顶部及底部虚线代表两组数据差的均数±标准差($X \pm 1.96SD$)，处于其内部为95%一致性界限(LOA)。

3 讨论

随着心血管疾病发病率的升高及其年轻化的趋势，心功能参数的测定为病情严重程度及预后评估提供了重要参考价值。多种影像学检查技术均可测得心功能参数，不过不同的检查方式导致的结果存在一定的差异。CT检查的辐射损害及对对比剂的肾毒性作用限制其进一步应用；心脏超声检查临床最为常用，但其分辨率较低且易高估心功能；心脏磁共振扫描在检测心脏功能及其解剖结构方面被视为“金标准”，能对心脏进行多角度及层面的扫描，分辨率更高、视野更广，并且没有辐射危害^[3]；与之相比，IQ-SPECT除了可以检测心功能参数外，还能观察心肌血流灌注是否异常，对可疑冠心病的人群做到早筛查、早治疗^[4-5]。此次研究以CMR的检测结果为金标准，同IQ-SPECT在多种重建参数下的结果相比较分析，证实CMR测得的EDV、ESV、EF均高于IQ-SPECT测得的结果。此外，IQ-SPECT在不同的子集及迭代次数下测得的心功能结果有所差异，这与Hippeläinen等^[6-7]的观点基本一致。

IQ-SPECT所用准直器为SMARTZOOM，重建算法为OSEM，是2011年西门子公司刚投入使用的先进设备。新型针孔准直器除了高灵敏度外，亦具备高计数率，可达平行孔准直器的4倍。同时该准直器可随着距离随时调整心脏的位置，使心脏维持在准直器的中心位置上，并有效防止边缘截断^[8]。OSEM法可以减少图像采集时间，并提供更好的图像重建^[9]。CMR被视为检测心功能及心室结构的金标准，其较为准确的心功能参数取决于该设备出色的空间及时间分辨率。此次研究提示CMR测得的数据结果均高于IQ-SPECT，不排除QGS对左室容积测定值偏低的可能性^[10-11]。QGS软件测量心功能参数是根据心肌划分定位及明确心肌界限进行的，在测量时长轴水平的瓣膜偏向室间隔会导致接近室间隔的部分左室容积被忽视，使得左室容积的结果出现误差^[10]。但是本文通过本次研究认为，CMR虽然被视为金标准，但其检测结果的准确度，很大程度上取决于受检者的配合程度，检查过程中如果不能配合屏气或无法忍受长时间的检查，均有可能导致后期图像的异常，使最终检测结果出现偏差。

IQ-SPECT目前多见的重建方式即OSEM重建。在迭代时，将一个或多个方向的投影图像划分为几个子集，这些子集的图像所具有的辐射力参数均相同后，利用这些子集对重构图像的各像素点都加以了修正，随后对重构的图像也进行重置，每个子集都重新计算后，为上一个迭代所进行，而下一个的迭代会通过上一个迭代所进行重构。使用OSEM进行重建时，迭代次数越大分辨率越高，但是噪声会随之增加，由此可见适当的重建参数可以提高图像的质量^[12、13]。不过关于最佳重建参数的具体子集及迭代次数尚无定论。有研究^[14]提出最适合的重建参数为子集8，迭代10；张烨虹^[7]等的

研究中，则视子集15，迭代5为最适合的重建参数。本研究发现，IQ-SPECT重建参数为子集3迭代10、子集5迭代12时测得的EF值同CMR组结果之间无统计意义，重建参数为子集3迭代10时同CMR组的结果之间的偏倚程度最小，仅为2.6%，这表明在本研究中子集3迭代10为最佳重建参数。

综上所述，CMR检测的心室结构及心功能指数虽被视为金标准，但是扫描时对受检者的配合能力要求较高，否则会对图像质量及后期的数据测定造成影响；IQ-SPECT的准直器及算法更为先进，对受检者要求不及CMR严苛，对心功能的测得也有极好的参考价值，测得的EF值也更接近CMR的结果，其中3-10法得到的EF与CMR一致性最高。鉴于此次参与研究人员较少，还需扩大并划分入组范围及人数再次分析。

参考文献

- [1] 马丽媛, 吴亚哲, 王文, 等. 《中国心血管病报告2017》要点解读[J]. 中国心血管杂志, 2018, 23(1): 3-6.
- [2] Sharir T, Slomka P. Dual-isotope myocardial perfusion SPECT imaging: Past, present, and future[J]. J Nucl Cardiol, 2018, 25(6): 1-5.
- [3] 胡皓, 李慧芳, 刘悦. MRI评估高血压左心室肥厚的临床意义[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(1): 87-89.
- [4] 钟幸, 邱珠琪. SPECT/CT MPI联合CACs诊断冠心病的临床价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(6): 67-69.
- [5] 周翠红, 王猛, 金超岭, 等. IQ-SPECT和LEHR-SPECT心肌灌注显像对冠心病诊断价值的对比研究[J]. 中国医学装备, 2018, 15(6): 18-21.
- [6] Hippeläinen E, Mäkelä T, Kaasalainen T, et al. Ejection fraction in myocardial perfusion imaging assessed with a dynamic phantom: Comparison between IQ-SPECT and LEHR[J]. EJNMI Physics, 2017.
- [7] 张烨虹, 牟甜甜, 李瑞奇, 等. IQ-单光子发射计算机断层扫描门控静息心肌灌注图像不同重建参数对测定左心室功能的影响[J]. 心肺血管病杂志, 2019, 38(1): 69-72.
- [8] Leva Lucia, Matheoud Roberta, Sacchetti Gianmauro, et al. Agreement between left ventricular ejection fraction assessed in patients with gated IQ-SPECT and conventional imaging[J]. Nucl Cardiol, 2020, 27(5), 1714-1724.
- [9] Joergensen T, Hansson S H. Evaluation of the left ventricular ejection fraction with gated IQ-SPECT myocardial perfusion imaging[J]. Nucl Med Technol, 2015, 43(3), 193-200.
- [10] Calandri E, Guana F, Pultrone M, et al. Evaluation of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction from Gated Myocardial Perfusion SPECT Processed with “Myovation Evolution”: Comparison of Three Automated Software Packages using Cardiac Magnetic Resonance as Reference[J]. Curr Radiopharm 2020, 9(15).
- [11] Plateau A, Bouvet C, Merlin C, et al. Assessment of four different cardiac softwares for evaluation of LVEF with CZT-SPECT vs CMR in 48 patients with recent STEMI[J]. Nucl Cardiol, 2020, 27(6), 2017-2026.
- [12] Hudson H M, Larkin R S. Accelerated image reconstruction using ordered subsets of projection data[J]. IEEE Trans Med Imaging, 1994, 13(4), 601-609.
- [13] Kortelainen M J, Koivumäki T M, Vauhkonen M J, et al. Effect of data conserving respiratory motion compensation on left ventricular functional parameters assessed in gated myocardial perfusion SPECT[J]. EJNMI Phys, 2021, 8(1), 7.
- [14] Ceriani L, Ruberto T, Delaloye A B, et al. Three-dimensional ordered-subset expectation maximization iterative protocol for evaluation of left ventricular volumes and function by quantitative gated SPECT: A dynamic phantom study[J]. J Nucl Med Technol, 2010, 38(1), 18-23.

(收稿日期: 2021-03-27) (校对编辑: 何镇喜)