

论著·临床研究

QGS 和 ECTb 软件在门控心肌灌注显像定量分析中的比较

宋结平, 寿毅, 姜建隼, 尤志雯, 孟庆元, 赵军

同济大学附属东方医院核医学科, 上海 200120

[摘要] **目的**·探讨单光子发射计算机断层成像 (single-photon emission computed tomography, SPECT) 门控心肌灌注显像 (gated myocardial perfusion imaging, G-MPI) 中常用的 2 种处理软件 Cedars-Sinai 定量门控 SPECT (quantitative gated SPECT, QGS) 和爱莫瑞心脏工具箱 (Emory cardiac toolbox, ECTb) 所得定量分析结果的差异。**方法**·回顾性分析以得-99m-甲氧基异丁基异腈 (^{99m}Tc -methoxyisobutylisonitrile, ^{99m}Tc -MIBI) 为心肌灌注显像剂进行 SPECT G-MPI 的 28 例患者 (共 37 人次) 的检查结果, 使用 QGS 和 ECTb 2 种后处理软件分别对心功能参数 [左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、舒张末期容积 (end-diastolic volume, EDV) 和收缩末期容积 (end-systolic volume, ESV)] 及相位分析参数 [相位直方图带宽 (phase histogram bandwidth, PHB) 和相位标准差 (phase standard deviation, PSD)] 进行定量分析。并分析同一参数在 2 种软件处理结果中的相关性及其差异。**结果**·2 种软件所测得 LVEF、EDV 和 ESV 值的相关性较好 (LVEF: $r=0.917$, $P=0.000$ 。EDV: $r=0.976$, $P=0.000$ 。ESV: $r=0.981$, $P=0.000$)。但 2 种软件进行相位分析所得 PHB 及 PSD 的相关性均不明显 (PHB: $r=0.319$, $P=0.055$ 。PSD: $r=0.172$, $P=0.310$)。在心功能分析方面, QGS 所测得 ESV 值高于 ECTb 所测得值, 而 QGS 所测得 EDV、LVEF 值则均低于 ECTb 所测得值。在相位分析方面, QGS 所测得 PSD、PHB 值均低于 ECTb 所测得值。分析 2 种软件所测结果之间的差异, 发现 2 种软件所测得 LVEF、ESV、PSD 值的差异有统计学意义 [LVEF: $(47.8 \pm 16.9)\%$ vs $(57.4 \pm 17.2)\%$, $P=0.000$ 。ESV: $(67.5 \pm 51.0)\text{ mL}$ vs $(58.3 \pm 50.0)\text{ mL}$, $P=0.000$ 。PSD: $20.5^\circ \pm 10.3^\circ$ vs $30.6^\circ \pm 18.9^\circ$, $P=0.004$]。而 2 种软件所测得 EDV、PHB 值的差异无统计学意义 [EDV: $(116.8 \pm 52.8)\text{ mL}$ vs $(120.8 \pm 55.7)\text{ mL}$, $P=0.050$ 。PHB: $72.2^\circ \pm 37.0^\circ$ vs $86.1^\circ \pm 55.7^\circ$, $P=0.139$]。**结论**·QGS 与 ECTb 软件在 G-MPI 定量分析中所测得左心功能参数的相关性好, 但 2 种软件在左心室机械不同步评估 (相位分析) 中无明显相关性。2 种软件所测得同一参数的值之间有差异, 故在临床应用中 2 种软件所测得结果不适合直接对比参考。2 种软件所测得结果的差异提示, 在临床工作中有必要根据科室所用软件建立本单位正常人群的数据库。

[关键词] 门控心肌灌注显像; 定量分析; 软件; 心功能**[DOI]** 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.11.012 **[中图分类号]** R817.4 **[文献标志码]** A

Comparison of quantitative analysis between QGS and ECTb software programs used in gated myocardial perfusion imaging

SONG Jie-ping, SHOU Yi, JIANG Jian-jun, YOU Zhi-wen, MENG Qing-yuan, ZHAO Jun

Department of Nuclear Medicine, East Hospital, Tongji University, Shanghai 200120, China

[Abstract] **Objective**·To study the differences and correlations of quantitative analysis between Cedars-Sinai quantitative gated SPECT (QGS) and Emory cardiac toolbox (ECTb) used in single photon emission computed tomography (SPECT) gated myocardial perfusion imaging (G-MPI). **Methods**·A total of 28 patients were examined with ^{99m}Tc -methoxyisobutylisonitrile (^{99m}Tc -MIBI) SPECT G-MPI. The left ventricular ejection fraction (LVEF), end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV), phase histogram bandwidth (PHB) and phase standard deviation (PSD) were calculated with QGS and ECTb. The correlations and differences of the results from these two programs were analyzed. **Results**·These two software programs showed high correlation for LVEF, EDV and ESV (LVEF: $r=0.917$, $P=0.000$ 。EDV: $r=0.976$, $P=0.000$ 。ESV: $r=0.981$, $P=0.000$)。The analysis showed no significant correlation for PHB and PSD (PHB: $r=0.319$, $P=0.055$ 。PSD: $r=0.172$, $P=0.310$)。In the analysis of cardiac function, the ESV measured by QGS was higher than that measured by ECTb, and the EDV and LVEF were lower than those measured by ECTb. In the phase analysis, the PSD and PHB measured by QGS were lower than those measured by ECTb. These differences between the results measured by the two software programs were not consistency. There were significant differences in LVEF, ESV and PSD in the comparison of QGS and ECTb [LVEF: $(47.8 \pm 16.9)\%$ vs $(57.4 \pm 17.2)\%$, $P=0.000$ 。ESV: $(67.5 \pm 51.0)\text{ mL}$ vs $(58.3 \pm 50.0)\text{ mL}$, $P=0.000$ 。PSD: $20.5^\circ \pm 10.3^\circ$ vs $30.6^\circ \pm 18.9^\circ$, $P=0.004$]。The EDV and PHB showed no significant difference between the QGS and ECTb [EDV: $(116.8 \pm 52.8)\text{ mL}$ vs $(120.8 \pm 55.7)\text{ mL}$, $P=0.050$ 。PHB: $72.2^\circ \pm 37.0^\circ$ vs $86.1^\circ \pm 55.7^\circ$, $P=0.139$]。 **Conclusion**·These two software programs have good consistency in quantitative analysis of cardiac function. But the result shows no significant consistent in the evaluation of left ventricular mechanical dyssynchrony. There are differences between the data measured by QGS and ECTb. Using the results measured by the two software programs for direct comparison may be not suitable in clinical applications. The differences between these two software programs indicate that it may be necessary to establish a normal databases in clinical work based on the local conditions.

[Key words] gated myocardial perfusion imaging; quantitative analysis; software; cardiac function**[基金项目]** 上海市浦东新区卫生系统重点专科建设项目 (PWZzk2017-24) (Key Specialty Construction Project of Pudong Health and Family Planning Commission of Shanghai, PWZzk2017-24)。**[作者简介]** 宋结平 (1989—), 男, 主治医师, 硕士; 电子信箱: jiepingsong@126.com。**[通信作者]** 赵军, 电子信箱: petcenter@126.com。

单光子发射计算机断层成像 (single-photon emission computed tomography, SPECT) 门控心肌灌注显像 (gated myocardial perfusion imaging, G-MPI) 是一种无创的心血管功能检查方法, 可以提供解剖显像和功能显像信息, 在冠状动脉粥样硬化性心脏病 (冠心病) 诊断、急性冠脉综合征治疗指导、心血管疾病的疗效评估以及预后判断中均有一定的价值^[1]。G-MPI 可以通过软件实现定量分析, 常用的软件有 Cedars-Sinai 定量门控 SPECT (quantitative gated SPECT, QGS)、爱莫瑞心脏工具箱 (Emory cardiac toolbox, ECTb) 和四维模型心肌断层显像 (4D-M)。定量分析软件可以明显提高 SPECT 心肌灌注显像诊断的准确性^[2]。G-MPI 所得到的左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、舒张末期容积 (end-diastolic volume, EDV) 和收缩末期容积 (end-systolic volume, ESV) 等心功能参数可以用于心肌病的诊断等^[3]。相位分析中的功能相位分析可用于心功能及左心室机械不同步定量评估, 为心脏再同步化治疗提供更科学更合理的依据^[4]。相位分析中的直方图带宽 (phase histogram bandwidth, PHB) 和相位标准差 (phase standard deviation, PSD) 与左心室机械不同步具有较高的相关性^[5]。目前对 QGS 和 ECTb 2 种软件所得到的定量数据之间的差异已有相关研究, 但是其结果不尽相同^[6-7]。现阶段 G-MPI 定量分析软件的使用并不充分, 例如相位分析用于左心室机械不同步评估的临床应用缺乏统一的界定标准^[5]。因此, 探索 QGS 和 ECTb 2 种软件定量分析结果的差异并分析产生差异的可能原因, 有助于加深对定量分析结果的理解, 为 G-MPI 报告的解读以及定量分析数据的使用提供有价值的信息。

1 对象与方法

1.1 研究对象

回顾性分析接受以得-99m-甲氧基异丁基异腈 (^{99m}Tc-methoxyisobutylisonitrile, ^{99m}Tc-MIBI) 为心肌灌注显像剂的 SPECT G-MPI 的患者的检查结果, 共 28 人 (男性 24 人, 女性 4 人), 平均年龄 62 岁。其中 8 人接受两日法负荷-静息 G-MPI, 20 人接受单纯静息 G-MPI, 1 人接受单纯负荷 G-MPI, 共计 37 人次 G-MPI。

1.2 图像采集、重建与处理方法

静脉注射 ^{99m}Tc-MIBI, 使用剂量为 555 ~ 925 MBq (15 ~ 25 mCi); 使用 Siemens Symbia Intevo 16 SPECT/CT 进行 G-MPI, 采集矩阵 128 × 128, 放大系数 1.0, 双

探头各采集 17 帧, 每帧采集时间 15 s, 心电门控心率为软件自动跟踪心率 (auto tracking)。使用 Smart-zoom 心脏专用准直器, 采集方法为“慧心”采集 (cardio-centric acquisition) 技术。图像重建采用 Flash 3D 迭代法, 子集数 3, 迭代次数 10。每例 G-MPI 所获得图像均使用 QGS 和 ECTb 2 种软件默认设置自动处理, 得出定量分析数据 LVEF、EDV、ESV、PHB 和 PSD。所有图像重建及处理由同一人完成。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 20.0 软件对数据进行处理和分析。定量数据以 $\bar{x} \pm s$ 、极小值和极大值表示。使用配对样本 *t* 检验对同一参数在 2 种软件中的处理结果的差异进行分析。*P* < 0.05 被认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 QGS 和 ECTb 所得心功能参数的比较

QGS 与 ECTb 测得 LVEF、EDV、ESV 的值见表 1。QGS 所测得 LVEF、EDV 低于 ECTb 所测得结果, QGS 所测得 ESV 高于 ECTb 所测得结果。ESV 和 LVEF 在 2 个软件所测得结果中的差异有统计学意义 (均 *P* < 0.05), 而 EDV 在 2 个软件所测得结果中的差异无统计学意义。

表 1 QGS 与 ECTb 测得 LVEF、EDV 和 ESV 的结果比较
Tab 1 Comparison of LVEF, EDV and ESV measured by QGS and ECTb

项目	$\bar{x} \pm s$	极小值	极大值	<i>P</i> 值
EDV/mL				0.050
QGS	116.8 ± 52.8	49.0	284.0	
ECTb	120.9 ± 55.7	48.0	280.0	
ESV/mL				0.000
QGS	67.5 ± 51.0	7.0	226.0	
ECTb	58.4 ± 50.0	9.0	212.0	
LVEF/%				0.000
QGS	47.8 ± 16.9	17.0	85.0	
ECTb	57.4 ± 17.2	24.0	87.0	

2.2 QGS 和 ECTb 在相位分析中所得参数的比较

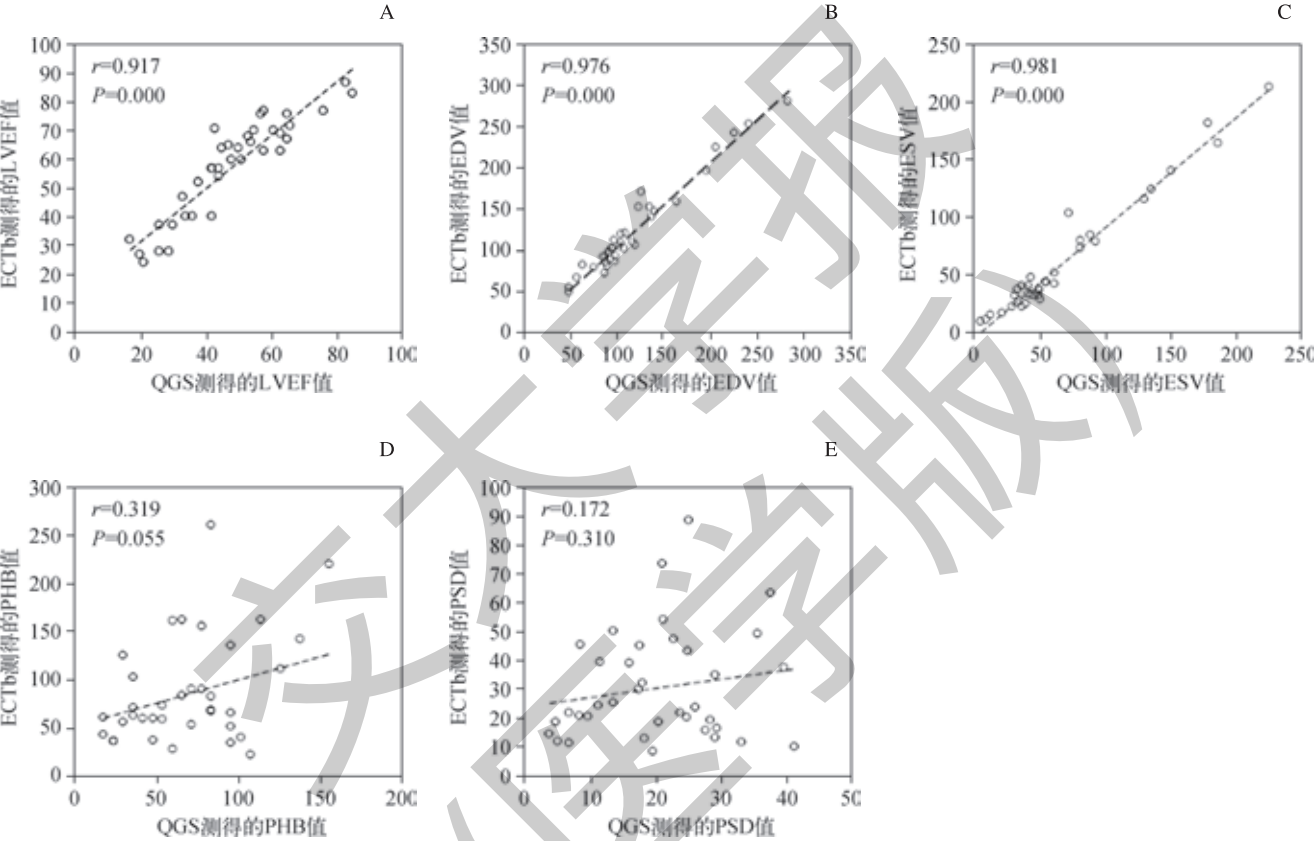
QGS 与 ECTb 测得 PHB 和 PSD 的值见表 2。QGS 所测得 PHB 和 PSD 均低于 ECTb 所测得结果。PSD 在 2 个软件所得结果中的差异有统计学意义 (*P* < 0.05), 而 PHB 在 2 个软件所得结果中的差异无统计学意义。

表 2 QGS 与 ECTb 相位分析所测得 PHB 和 PSD 的比较
Tab 2 Comparison of PHB and PSD measured by QGS and ECTb

项目	$\bar{x} \pm s$	极小值	极大值	P 值
PHB/ $^{\circ}$				0.139
QGS	72.2 ± 37.0	18.0	156.0	
ECTb	86.1 ± 55.7	21.0	261.0	
PSD/ $^{\circ}$				0.004
QGS	20.5 ± 10.3	3.8	41.5	
ECTb	30.6 ± 18.9	8.4	88.5	

2.3 QGS 与 ECTb 所测得结果的相关性分析

QGS 与 ECTb 所测得 LVEF、EDV、ESV 的相关性较好 (LVEF: $r=0.917$, $P=0.000$ 。EDV: $r=0.976$, $P=0.000$ 。ESV: $r=0.981$, $P=0.000$) (图 1A ~ C)。QGS 与 ECTb 所测得 PHB、PSD 无明显相关性 (PHB: $r=0.319$, $P=0.055$ 。PSD: $r=0.172$, $P=0.310$) (图 1D、E)。



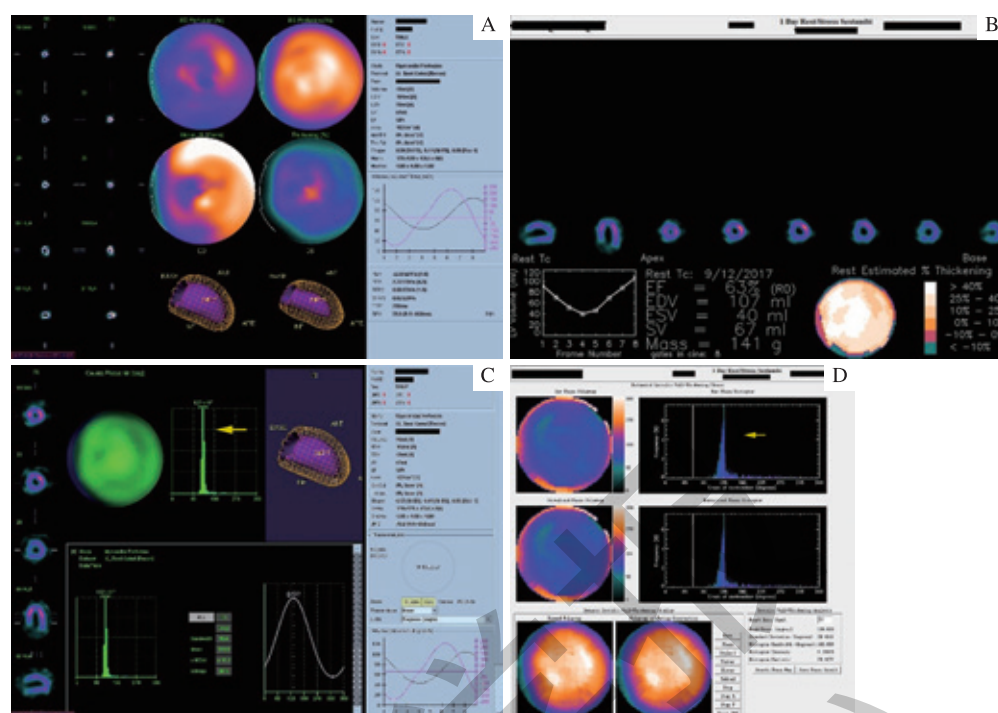
注: A、B、C 分别为 QGS 和 ECTb 所测得 LVEF、EDV 和 ESV 的散点图。D、E 分别为 QGS 和 ECTb 所测得 PHB 和 PSD 的散点图。图中圆圈代表使用 QGS 和 ECTb 处理的 G-MPI 定量分析结果。

图 1 QGS 与 ECTb 测得结果的相关性分析
Fig 1 Correlation analysis of results measured by QGS and ECTb

2.4 2 种软件处理同一次 G-MPI 参数所得定量分析结果的差异举例

从图 2A、B 可见左心功能参数在 2 个软件分析结果中的差异。用 QGS 进行心功能分析所得 LVEF 为 58.0%, EDV 为 104.0 mL, ESV 为 43.0 mL, 而用 ECTb 进行心功能分析所得 LVEF 为 63.0%, EDV 为 107.0 mL, ESV 为 40.0 mL; 可见 LVEF、EDV 在 QGS 中所得结果低于

在 ECTb 中所得结果, 而 ESV 在 2 种软件中的比较结果则相反。图 2C、D 显示, 用 QGS 进行相位分析所得 PHB 为 30.0°, PSD 为 11.1°, 而用 ECTb 进行相位分析所得 PHB 为 102.0°, PSD 为 39.4°; 可见相位分析参数 PHB 和 PSD 在 QGS 中所得结果均小于经 ECTb 分析所得结果, 且从相位图的视觉对比中, QGS 分析所得相位图更高、更尖。



注: A. QGS 的心功能分析; B. ECTb 的心功能分析; C. QGS 的相位分析; D. ECTb 的相位分析。箭头显示 2 种软件所得相位图的差异。

图 2 同一例 G-MPI 数据经过 2 种软件分析所得参数比较

Fig 2 An example comparison of the results of two software programs processing the same G-MPI data

3 讨论

3.1 QGS 和 ECTb 在左心功能分析中所测参数的比较分析

QGS 是由 Germano 等^[8]于 1995 年提出的。它以三维椭圆模型作为左室心肌轮廓,先在心肌短轴图像上找到心肌的最大计数表面作为心肌中层,然后以计数剖面曲线进行高斯拟合,根据高斯标准差确定心内膜和心外膜。并以放射性计数为舒张末期最大计数的 25% 的层面作为瓣膜平面,即心底。经过多次勾画,排除肝脏本底的干扰后,确定出最准确的心腔,然后根据门控显像的收缩末期和舒张末期的图像得出 EDV 和 ESV。最后由公式 $LVEF = (EDV - ESV) / EDV \times 100\%$, 计算出 LVEF 的值^[8]。

ECTb 是由 Faber 等^[9]于 1999 年提出的。它把左心室假设成一个半球和圆柱体的三维混合体,心尖使用半球来模拟,而中间层和心底层使用圆柱体来模拟。根据收缩末期和舒张末期的心肌最大放射性计数,利用傅立叶分析来计算局部室壁增厚率;并设定左心室舒张末期室壁厚度为 10 mm,根据室壁增厚率来计算心内外膜的半径;将这些半径再次转换为心内膜表面点和心外膜表面点的笛卡尔坐标位置,随后这些点将连接成三角形。与心内膜表面和心

外膜表面三角形关联的多边形容积很容易计算。在所有进一步的心室容积计算中,超出心底倾斜的隔膜方向瓣膜平面及其对应多边形的边缘点将被排除。按这种调整方法,心内膜表面点所围的容积就是心内膜隔室容积。心内膜容积和心外膜容积的差值为心肌体积,心肌体积乘以心肌密度 (1.05 g/mL) 即可得到心肌质量。最后,同样使用公式通过 EDV 和 ESV 计算 LVEF。研究者^[10]对 35 个研究对象进行 8 帧门控双同位素 SPECT,用于计算心室容积以及 LVEF;进一步比较 ECTb 与 QGS 计算出的 LVEF 值,发现 2 种软件所得 LVEF 值的相关性良好。

QGS 和 ECTb 在定量分析左心室功能时,均是通过在重建图像上勾画心肌内膜边界,计算心肌 EDV 和 ESV,进一步计算出 LVEF。2 个软件在计算逻辑上有相似之处,因此,2 种软件在心功能参数上表现出的良好线性相关性可能与上述因素有关。但是在软件处理原理中,QGS 直接统计放射性计数从而估计心肌内外膜,而 ECTb 则先使用模型拟合再进行计算得出心肌内外膜,2 种软件在具体计算分析中的差异也在具体结果中有所表现。此外,QGS 所得 ESV 的测量值高于 ECTb 所测得结果。在对心室腔较小的患者进行 G-MPI 的左心室功能参数分析时,关于

QGS 是否能提供更为准确的 LVEF 的问题还需要进一步探索。

G-MPI 所得左心室功能参数在 QGS 和 ECTb 2 种软件的处理结果中存在差异。其中, 2 种软件所测得 LVEF、EDV、ESV 的相关性均较好, 但 LVEF 和 EDV 在 QGS 中被低估, 而 ESV 在 QGS 中所测得值又高于在 ECTb 中的结果。Nakajima 等^[7]的研究结果也给出了相似结论: QGS 所测得的 LVEF、EDV 低于 ECTb 所得结果 [LVEF: $(69.2 \pm 6.5) \%$ vs $(77.1 \pm 6.3) \%$ 。EDV: $(74.7 \pm 17.3) \text{ mL}$ vs $(87.7 \pm 20.2) \text{ mL}$], ESV 在 QGS 中的结果则高于在 ECTb 中的结果 [$(23.8 \pm 9.4) \text{ mL}$ vs $(20.7 \pm 9.1) \text{ mL}$], 但 ESV 在 2 种软件处理结果中的差异并无统计学意义。同样在杜艳等^[11]的研究结果中, ESV 值在 2 种软件分析结果中的差异也无统计学意义 [ESV: $(39.0 \pm 27.0) \text{ mL}$ vs $(37.9 \pm 31.4) \text{ mL}$, $P=0.920$]。然而, 在本研究中, ESV 在 2 种软件中的差异具有统计学意义。本研究中 G-MPI 数据采集使用心脏专用准直器, 且采集方法为“慧心”采集技术; 相比于传统的低能高分辨率准直器和旧的采集方法, 本研究的图像质量较高, 会高估 LVEF, 这可能是导致 ESV 在 2 种软件中存在差异的因素之一。鉴于本研究中病例数量较少, ESV 在 2 种软件中的差异有待进一步验证。

3.2 QGS 和 ECTb 在相位分析中所测参数的比较分析

在相位分析中, QGS 和 ECTb 所使用的模型不同。QGS 反映左心室不同节段的室壁厚度及室壁运动随时间的变化情况以及达峰值的时间, ECTb 则体现心室传导的同步化^[12]。2 种软件在相位分析中所得结果的指代意义不同, 其分析结果也未得到良好的相关性。

在相位分析中, QGS 使用心肌短轴数据集, 依据心室肌模型勾画的心肌内外膜, 将左心室划分为不同节段, 计算每个节段的最大放射性计数以创建阵列。每个阵列第 1 次经过傅里叶变换得到的相位角为相位分析的基础, 考虑到“低时间变化”和分析的不确定性, 最低的 5% 振幅变化的阵列被排除^[13]。以左心室不同阶段的室壁厚度和室壁运动为观察对象, 通过观察心动周期中室壁厚度及室壁运动随时间的变化情况以及达到峰值的时间, 得出心室相位分析图。在 ECTb 中, 同样对心肌短轴数据进行分析, 以左心室长轴为中心, 依据短轴截面通过圆柱—半球模型做短轴切面, 但是 ECTb 通过 1 次谐波快速傅里叶变换对整个左心室提取相位阵列, 并以 R 波的峰值作为 1 次机

械收缩的开始, 依据心室肌运动在整个心室肌机械运动传导的同步性得到相位分析图。ECTb 的相位分析体现了心室肌运动在心动周期中传导的同步化^[12]。因此, 在相位分析中, 2 种软件所得结果的指代意义不同, QGS 代表了心室肌随时间运动的情况和幅度, 而 ECTb 的相位分析代表了心室肌运动在心室运动传导中的同步性。在研究结果中, QGS 和 ECTb 在相位分析中的结果存在差异, 并且 2 种软件的相位分析结果之间未见良好的线性相关性。

相位分析参数 PHB 和 PSD 在 2 种软件的处理结果中无明显相关性, 且 QGS 所测得 PHB 与 PSD 均低于 ECTb 所测结果。在相位分析中 2 个软件的处理结果出现了较明显的差异, 这可能与 QGS 和 ECTb 在定量分析原理上的差异有关, 而且在分析心室机械不同步时, 需要结合考虑性别、LVEF 和心腔容积的大小的影响^[7]。Nakajima 等^[7]研究发现在 QGS 分析结果中, 不同性别之间的相位分析结果 (PHB \pm PSD) 的差异有统计学意义 [男性 vs 女性: $25.0^\circ \pm 8.9^\circ$ vs $18.5^\circ \pm 6.9^\circ$, $P=0.001$]; 而在 ECTb 的分析结果中, 不同性别之间的结果的差异无统计学意义 [男性 vs 女性: $31.3^\circ \pm 9.4^\circ$ vs $27.3^\circ \pm 8.9^\circ$, $P=0.078$]。此外, 接受 G-MPI 检查者当时的疾病状态也是重要的影响因素^[6]。重度心功能衰竭的患者可能伴有大面积的梗死心肌、较大的心室容积以及心律不齐等因素, 从而影响软件对心室肌内外膜的勾画, 这可能影响定量分析结果的准确性, 也可能对 QGS 和 ECTb 2 种软件的定量分析产生不同的影响。

3.3 QGS 和 ECTb 定量分析结果差异的临床意义

经定量分析方法所提供的 LVEF 和室壁运动情况等左心室功能信息有较高的诊断价值, 且 EDV 和 ESV 等参数也可以为临床诊断提供帮助^[14-15]。QGS 和 ECTb 在处理 G-MPI 所测得的定量参数上确实存在差异, 如同本研究所示, 2 种软件所得结果各自有着较为固定的高低取向。因此在对定量结果分析时, 需要考虑 2 种软件所得结果的差异。

G-MPI 通过定量分析可以得到大量的数据。由于其受到较多因素的影响, G-MPI 的分析数据较难解读。如果不能准确解读该定量结果, 可能会限制 G-MPI 的报告阅读以及 G-MPI 在心血管疾病的应用发展。解决该问题的一个切实可行的方法是: 根据 G-MPI 实际的采集方法和后处理软件, 建立与之匹配的正常人群数据库作为图像分析和



数据分析的基线;根据各自软件在定量分析中的特点,找到相对明确的诊断指标从而提高报告准确性。此外,在多次 G-MPI 报告的对比阅读中,注意图像采集条件以及处理软件的异同,避免盲目地进行直接对比,而应在了解不

同处理方法可能带来差异的前提下再做出判断。相信随着 G-MPI 定量分析方法的不断完善, G-MPI 结果能为心血管疾病诊断、心力衰竭患者心功能评估以及指导心脏再同步化治疗等提供更多有价值的信息。

参·考·文·献

- [1] 何作祥. 放射性核素显像在冠心病诊断和治疗中的价值[J]. 中华心血管病杂志, 2004, 32(1): 3-4.
- [2] 冯玉生, 刘文官, 顾宇参, 等. SPECT 门控心肌灌注显像定量分析的诊断价值[J]. 中国临床医学, 2007, 14(3): 403-404.
- [3] Singh P, Bhatt B, Pawar SU, et al. Role of myocardial perfusion study in differentiating ischemic *versus* nonischemic cardiomyopathy using quantitative parameters[J]. Indian J Nucl Med, 2018, 33(1): 32-38.
- [4] Azizian N, Rastgou F, Ghaedian T, et al. LV dyssynchrony assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT can predict response to CRT in patients with end-stage heart failure[J]. Res Cardiovasc Med, 2014, 3(4): e20720.
- [5] 王建锋, 王跃涛. 门控心肌灌注显像相位分析在心血管疾病左室机械不同步中的应用[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2013, 37(4): 247-252.
- [6] Shojaeifard M, Ghaedian T, Yaghoobi N, et al. Comparison of gated SPECT myocardial perfusion imaging with echocardiography for the measurement of left ventricular volumes and ejection fraction in patients with severe heart failure[J]. Res Cardiovasc Med, 2016, 5(1): e29005.
- [7] Nakajima K, Okuda K, Matsuo S, et al. Comparison of phase dyssynchrony analysis using gated myocardial perfusion imaging with four software programs: based on the Japanese Society of Nuclear Medicine working group normal database[J]. J Nucl Cardiol, 2017, 24(2): 611-621.
- [8] Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT[J]. J Nucl Med, 1995, 36(11): 2138-2147.
- [9] Faber TL, Cooke CD, Folks RD, et al. Left ventricular function and perfusion from gated SPECT perfusion images: an integrated method[J]. J Nucl Med, 1999, 40(4): 650-659.
- [10] Faber TL, Vansant JP, Pettigrew RI, et al. Evaluation of left ventricular endocardial volumes and ejection fractions computed from gated perfusion SPECT with magnetic resonance imaging: comparison of two methods[J]. J Nucl Cardiol, 2001, 8(6): 645-651.
- [11] 杜艳, 杨敏福, 田月琴, 等. 门控心肌 SPECT 显像三种定量分析软件测定左心室容积和射血分数的比较[J]. 中华核医学杂志, 2007, 27(3): 161-164.
- [12] 石洪成. 心肌灌注显像定量分析及影响因素[J]. 中华核医学杂志, 2010, 30(4): 285-286.
- [13] Rastgou F, Shojaeifard M, Amin A, et al. Assessment of left ventricular mechanical dyssynchrony by phase analysis of gated-SPECT myocardial perfusion imaging and tissue Doppler imaging: comparison between QGS and ECTb software packages[J]. J Nucl Cardiol, 2014, 21(6): 1062-1071.
- [14] 石洪成, 顾宇参, 刘文官, 等. 静息/负荷 ^{86}Rb PET 门控心肌灌注显像定量分析的诊断价值[J]. 中华核医学杂志, 2008, 28(5): 336-338.
- [15] Matsuo S, Nakajima K, Onoguchi M, et al. Nuclear myocardial perfusion imaging using thallium-201 with a novel multifocal collimator SPECT/CT: IQ-SPECT *versus* conventional protocols in normal subjects[J]. Ann Nucl Med, 2015, 29(5): 452-459.

[收稿日期] 2018-06-04

[本文编辑] 崔黎明