

·临床研究·

门控心肌灌注显像负荷总积分及相位分析对冠状动脉病变程度的评估价值

崔博 刘保平 谢新立 王瑞华

450000, 郑州大学第一附属医院核医学科

通信作者: 刘保平, Email: Liubp5000@sina.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.02.004

【摘要】目的 探讨门控心肌灌注显像(GMPI)负荷总积分(SSS)及相位分析对冠状动脉(简称冠脉)病变程度的评估价值。**方法** 入组先后行冠脉造影和 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -甲氧基异丁基异腈两日法负荷-静息 GMPI 的胸痛患者 89 例, 其中, 经冠脉造影确诊冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)者 52 例(冠心病组), 冠脉硬化者 26 例(冠脉硬化组), 正常者 11 例(正常组)。冠脉病变程度由 Gensini 积分表示。采用 17 节段目测半定量法及定量门控心肌断层显像软件相位分析得出 SSS 和相位直方图带宽(BW)、相位标准差(SD)和熵, 分析上述参数与 Gensini 积分的相关性, 以及在冠心病组、冠脉硬化组及正常组之间的差异。统计学方法采用 *Kruskal-Wallis* 检验、单因素方差分析、相关分析、岭回归分析和配对 *t* 检验。**结果** (1)单因素分析结果显示, 在病变程度不同的各组中, Gensini 积分随 GMPI 各参数的增高而逐渐增高。(2)岭回归分析结果显示, BW 是反映冠脉病变严重程度最显著的参数, 其他依次为 SSS、熵和 SD($t=6.692$ 、 3.688 、 3.559 和 2.896 , 均 $P<0.05$)。(3)冠心病组的 SSS 和静息 BW、SD、熵与 Gensini 积分呈正相关($r=0.750$ 、 0.747 、 0.671 和 0.695 , 均 $P<0.05$)。而冠脉硬化组及正常组的各参数与 Gensini 积分无明显相关性。冠心病组的静息 BW($52.4^{\circ}\pm 20.6^{\circ}$)、SD($16.7^{\circ}\pm 7.7^{\circ}$)、熵($41.3\%\pm 8.0\%$)均显著大于冠脉硬化组($23.7^{\circ}\pm 7.4^{\circ}$ 、 $6.4^{\circ}\pm 2.9^{\circ}$ 、 $28.7\%\pm 8.0\%$), 差异有统计学意义($F=8.299$ 、 8.176 、 6.752 , 均 $P<0.001$), 但冠脉硬化组与正常组间上述参数的差异均无统计学意义($F=1.462$ 、 0.812 和 1.422 , 均 $P>0.05$)。89 例患者的静息与负荷 BW、SD、熵之间的差异均无统计学意义($t=0.283$ 、 1.121 和 0.726 , 均 $P>0.05$)。**结论** SSS、BW、SD、熵在评估冠脉病变程度中具有一定的价值。静息、负荷 GMPI 相位分析对评价左室收缩同步性的价值相当。

【关键词】 门控心肌灌注显像; 冠状动脉病变; 相位分析; 负荷总积分; Gensini 积分

Assessment of the value of summed stress score and phase analysis of gated myocardial perfusion imaging in the severity of coronary artery lesion Cui Bo, Liu Baoping, Xie Xinli, Wang Ruihua

Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

Corresponding author: Liu Baoping, Email: Liubp5000@sina.com

【Abstract】 Objective To assess the value of summed stress score (SSS) and phase analysis of gated myocardial perfusion imaging (GMPI) in the severity of coronary artery lesion. **Methods** Eighty-nine patients with chest pain who underwent coronary angiography and $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -methoxyisobutylisonitrile ($^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI) two-day stress-rest GMPI were enrolled in this study. Among them, 52 patients were diagnosed with coronary heart disease by coronary angiography; 26 patients had coronary atherosclerosis and 11 patients were normal. The degree of coronary artery lesion was represented by Gensini score. SSS and phase histogram bandwidth (BW), standard deviation (SD), and entropy were derived using a 17-segment visual semi-quantitative method and the quantitative gated SPECT software phase analysis to analyze the correlation of the parameters with the Gensini score. The differences of the above parameters among coronary heart disease group, coronary artery sclerosis group, and normal group were compared. *Kruskal-Wallis* test, ANOVA, correlation analysis, ridge regression, and paired *t* test were used for statistical methods. **Results** (1) Univariate analysis showed that Gensini score gradually increased with the increase

of GMPI parameters. (2) Ridge regression analysis showed that BW was the most significant parameter that reflected the severity of coronary artery lesion, followed by SSS, entropy, and SD ($t=6.692, 3.688, 3.559$ and 2.896 , all $P<0.05$). (3) SSS, BW, SD, entropy of coronary heart disease group, and Gensini score were positively correlated ($r = 0.750, 0.747, 0.671$ and 0.695 , all $P<0.05$). No significant correlation was found between the parameters and Gensini score in the coronary artery sclerosis and normal groups. Rest GMPI analysis showed that BW ($52.4^\circ \pm 20.6^\circ$), SD ($16.7^\circ \pm 7.7^\circ$), and entropy ($41.3\% \pm 8.0\%$) in coronary heart disease group were significantly higher than those in the coronary artery sclerosis group ($23.7^\circ \pm 7.4^\circ, 6.4^\circ \pm 2.9^\circ$, and $28.7\% \pm 8.0\%$, respectively; $F=8.299, 8.176$ and 6.752 , all $P<0.001$). No significant difference was found in these parameters between coronary artery sclerosis group and normal group ($F=1.462, 0.812$ and 1.422 , all $P>0.05$). The differences in BW, SD and entropy between rest and stress GMPI in 89 patients were not significantly different ($t=0.283, 1.121$ and 0.726 , all $P>0.05$). **Conclusions** SSS, BW, SD, and entropy have certain value in assessing the degree of coronary artery disease. Rest and stress GMPI have similar values in assessing left ventricular synchrony.

【Key words】 Gated myocardial perfusion imaging; Coronary heart disease; Chase analysis; Summed stress score; Gensini score

冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)是常见的心血管疾病,其发病率及病死率逐年升高。临床上多采用冠状动脉(简称冠脉)造影作为诊断“冠心病”的金标准,但冠脉造影主要反映解剖学改变,存在一定的片面性。核素心肌灌注显像被认为是冠心病的早期诊断、危险度分层、预后判断的有价值的检查方法^[1]。其中,门控心肌灌注显像(gated myocardial perfusion imaging, GMPI)可全面提供心肌血流灌注情况、心脏舒缩功能参数,还可通过相位分析获得反映心肌收缩同步性参数^[2-3]。笔者拟采用 GMPI 得到的负荷总积分(summed stress score, SSS)及相位参数评估冠心病患者的冠脉病变程度。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2016 年 3 月至 2017 年 7 月因胸痛入我院的确诊或可疑冠心病患者 89 例,其中男性 52 例,女性 37 例,年龄为 32~78(53.7 ± 12.9)岁。经冠脉造影确诊冠心病患者 52 例(59%, 冠心病组),即左主干、前降支、回旋支、右冠脉或其分支的血管直径狭窄 $\geq 50\%$,其中陈旧性心肌梗死患者 4 例;冠脉硬化者 26 例(29%, 冠脉硬化组),即上述血管直径狭窄为 0~50%;冠脉血管完全正常者 11 例(12%, 正常组)^[4]。入选条件:先后行负荷-静息 GMPI 和冠脉造影,两项检查时间间隔不超过 3 个月。排除条件:(1)进行过血运重建术;

(2)既往有先天性心脏病、瓣膜病、心肌病、心肌桥等可导致心肌缺血、心功能改变的疾病;(3)因心律失常而不能完成 GMPI。89 例患者的分组及基本临床情况见表 1。本研究已通过我院伦理委员会审批并取得患者及家属知情同意,审批编号:2016-16。

表 1 89 例入组患者的分组及基本临床情况

Table 1 Comparison of the basic clinical situation of 89 cases of patients enrolled

组别	例数 (男/女)	年龄/ [($\bar{x} \pm s$)岁]	高血压/%	糖尿病/%
冠心病组	52(32/20)	55.4 \pm 11.0	38.5	23.1
冠脉硬化组	26(14/12)	53.5 \pm 10.5	34.6	19.2
正常组	11(6/5)	51.5 \pm 9.6	27.3	18.2
统计量	0.500 ^a	0.743 ^b	0.522 ^a	0.228 ^a
P 值	0.779	0.905	0.770	0.892

注:表中,^a为 χ^2 值;^b为 F 值;冠脉:冠状动脉。

1.2 显像方法

采用德国西门子公司 Symbia T16 型双探头 SPECT/CT 仪。显像剂为郑州原子高科有限公司提供的 ^{99m}Tc -MIBI(放化纯度 $>95\%$,注射剂量为 740~1110 MBq)。受检者检查前至少停用 β 受体阻滞剂、钙拮抗剂、硝酸酯类等影响心率或扩张冠脉的药物 24 h。采用两日法在空腹状态下先后行静息及负荷 GMPI,负荷 GMPI 采用分级式次极量踏车运动试验,达到最大心率的 85%或患者出现心绞痛、呼吸困难、心律失常、血压下降、心电图 ST 段下移 >1 mm 等情况时,即可注射显像剂。图像采集于

静脉注射显像剂后 90 min 进行。采集条件：矩阵 64×64，双探头呈 90°，共采集 180°，6°/帧，每个心动周期采集 16 帧，40 s/帧。采用 Flash 三维迭代重建法获得衰减校正及散射校正后的心脏短轴、水平长轴、垂直长轴图像。

1.3 图像分析

由两位具有主治医师或以上职称的核医学医师独立分析负荷心肌灌注图像，采用 17 节段目测半定量法得出 SSS，如两者意见不同则请第 3 位医师共同判断。通过 Cedars-Sinai 定量门控心肌断层显像软件获得静息及负荷状态下的相位参数，即相位直方图带宽(bandwidth, BW)、相位标准差(standard deviation, SD)和熵。

1.4 冠脉病变程度评价

采用 Gensini 积分法^[9]，对冠脉各支病变程度进行定量评定，即每处病变的积分为狭窄程度评分乘以病变部位评分，每例患者的积分为所有病变积分的总和。将积分为 0 者记为 A 组，积分大于 0 者以三分位点(5.2、20.0)分为 B、C、D 组，即将样本分为积分逐渐增高的 4 组：A 组积分为 0，B 组为 0<积分≤5.2，C 组为 5.2<积分≤20.0，D 组为 20.0<积分≤52.0。

1.5 统计学方法

采用 SPSS15.0 软件进行统计学分析，符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，不符合者以中位数(第 25 百分位数，第 75 百分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示。(1)多组间相位参数经数据转换后采用单因素方差分析，SSS 的比较采用 *Kruskal-Wallis* 检验；(2)相位参数与 Gensini 积分的相关性采用 Pearson 积矩相关分析，SSS 与 Gensini 积分的相关性采用 Spearman 秩相关分析；(3)以 Gensini 积分为因变量，SSS 及相位参数为自变量进行多因素分析，因自变量间存在共线性问题，采用岭回归分析；(4)组内静息、负荷之间的相位参数的比较采用配对 *t* 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 冠心病患者的冠脉造影结果

52 例冠心病患者中单支病变者 26 例(50%)，双支病变者 14 例(26.9%)，三支病变者 12 例(23.1%)。Gensini 积分为 4.0~52.0 分，其中，24 例(46.1%)为 4.0~19.5 分，21 例(40.4%)为 20.0~36.0 分，

7 例(13.5%)为 36.5~52.0 分(表 2)。

2.2 冠脉病变程度不同组之间 GMPI 各参数的对比分析结果

89 例患者的 Gensini 积分为 0~52.0 分，中位数为 9.0 分。表 3 结果显示，SSS、BW、SD 和熵随 Gensini 积分的增高整体呈上升趋势，除 A 组与 B 组之间的差异无统计学意义(统计量分别为 -0.191、-1.718、-0.950 和 -1.646，均 $P>0.05$)，其余各组间差异均有统计学意义(统计量范围分别为 -5.142~-0.734、-10.403~-5.096、-10.009~-4.697 和 -8.687~-4.310，均 $P<0.001$)。典型 GMPI 图像见图 1、图 2。

表 2 52 例冠心病患者的冠状动脉造影结果(例)

Table 2 Coronary angiography of 52 cases of coronary heart disease(case)

病变支数	例数	Gensini 积分		
		4.0~19.5 分	20.0~36.0 分	36.5~52.0 分
单支	26	18	8	0
双支	14	3	11	0
三支	12	3	2	7

表 3 门控心肌灌注显像各参数与冠状动脉病变程度的对比

Table 3 Gated myocardial perfusion imaging parameters and the severity of coronary lesions compared

组别	例数	SSS	BW/°	SD/°	熵/%
A 组	11	1(0,2)	19.5±6.8	5.3±1.7	24.7±5.9
B 组	26	1(0,2)	23.9±7.3	6.7±3.1	28.9±7.9
C 组	29	2(1,3)	41.6±15.2	12.5±6.1	37.1±7.7
D 组	23	5(4,10)	65.8±19.1	21.7±7.0	46.4±5.3
统计量		36.025 ^a	50.050 ^b	42.441 ^b	35.094 ^b
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：表中，A 组~D 组分别表示 Gensini 积分为 0、0<积分≤5.2、5.2<积分≤20.0、20.0<积分≤52.0 的胸痛患者；SSS：负荷总积分；BW：带宽；SD：标准差；^a为 χ^2 值；^b为 *F* 值。

2.3 GMPI 各参数与冠脉病变程度的相关分析结果

在冠心病组中，SSS、静息 BW、SD、熵与 Gensini 积分呈正相关($r=0.750、0.747、0.671、0.695$ ，均 $P<0.05$)。而在冠脉硬化组和正常组中，GMPI 各参数与 Gensini 积分无明显相关性。

2.4 GMPI 各参数与冠脉病变程度的多因素分析

对 89 例患者的岭回归分析结果显示，BW 与冠脉病变的关联最明显，其他依次为 SSS、熵和 SD($t=6.692、3.688、3.559$ 和 2.896，均 $P<0.05$) (表 4)。

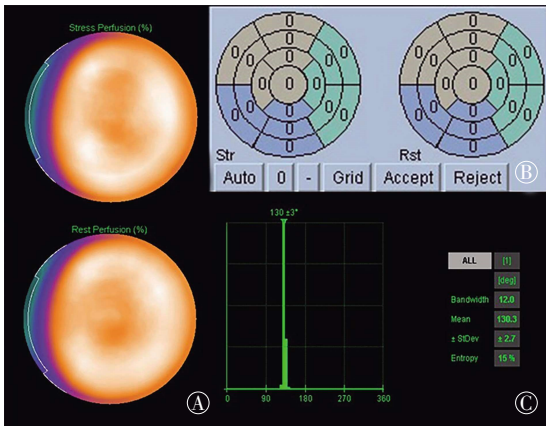


图1 冠状动脉血管正常组患者的负荷-静息门控心肌灌注图患者男性, 46岁, Gensini 积分=0。图中, A: 灌注图; B: 靶心图, 负荷总积分=0; C: 相位直方图, 带宽=12.0°, 标准差=2.7°, 熵=15%。

Fig. 1 Stress and rest GMPI bull's eye plot and phase histogram of a patient in the normal group

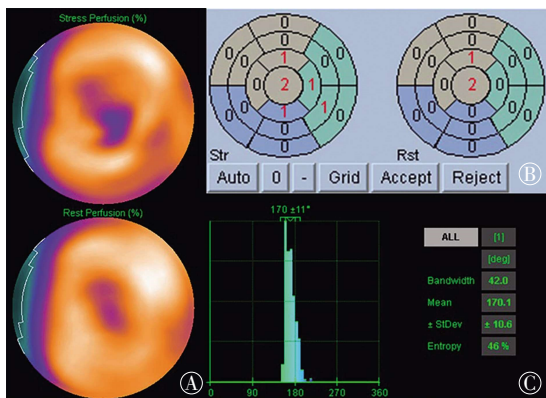


图2 冠心病组患者的负荷-静息门控心肌灌注图像 患者男性, 53岁, Gensini 积分=18.0。图中, A: 灌注图; B: 靶心图, 负荷总积分=6; C: 相位直方图, 带宽=42.0°, 标准差=10.6°, 熵=46%。

Fig.2 Stress-rest GMPI bull's plot eye and phase histogram of a patient with coronary heart disease

表4 89例患者的门控心肌灌注显像参数与冠状动脉病变程度的多因素分析

Table 4 Multivariate analysis of gated myocardial perfusion imaging parameters and severity of coronary lesions in 89 cases

参数	Beta	B	SE(B)	t 值	P 值
SSS	0.215	0.647	0.175	3.688	<0.001
BW	0.299	0.180	0.027	6.692	<0.001
SD	0.163	0.268	0.093	2.896	0.005
熵	0.210	0.271	0.076	3.559	<0.001

注: 表中, SSS: 负荷总积分; BW: 带宽; SD: 标准差。

2.5 GMPI SSS 及相位参数在各组间的比较结果

SSS 及静息 BW、SD、熵在冠动脉硬化组和正常

组间的差异无统计学意义(统计量分别为 0.000、1.462、0.812 和 1.422, 均 $P>0.05$), 而在冠心病组和冠动脉硬化组(统计量分别为-4.415、8.299、8.176 和 6.752, 均 $P<0.001$)、冠心病组和正常组(统计量分别为-3.087、7.591、6.797 和 6.427, 均 $P<0.001$) 之间的差异均有统计学意义(表 5)。

表5 门控心肌灌注显像各参数在 3 组间的比较

Table 5 Gated myocardial perfusion imaging parameters of the three groups

组别	例数	Gensini 积分	SSS	BW/°	SD/°	熵/%
冠心病组	52	21.3±12.3	3(1,5)	52.4±20.6	16.7±7.7	41.3±8.0
冠动脉硬化组	26	3.4±1.4	1(0,2)	23.7±7.4	6.4±2.9	28.7±8.0
正常组	11	0	1(0,2)	19.5±6.8	5.3±1.7	24.7±5.9
统计量		65.819 ^a	24.041 ^a	51.022 ^b	45.776 ^b	35.019 ^b
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 表中, SSS: 负荷总积分; BW: 带宽; SD: 标准差; ^a 为 χ^2 值; ^b 为 F 值; 冠脉: 冠状动脉。

2.6 静息与负荷间 GMPI 相位参数的比较结果

静息与负荷 BW ($39.9^\circ \pm 22.1^\circ$ 、 $40.3^\circ \pm 22.9^\circ$)、SD ($12.3^\circ \pm 8.1^\circ$ 、 $12.4^\circ \pm 8.2^\circ$)、熵 ($35.6\% \pm 10.3\%$ 、 $35.9\% \pm 11.0\%$) 之间的差异均无统计学意义 ($t = 0.283$ 、 1.121 和 0.726 , 均 $P>0.05$)。

3 讨论

目前, 对于冠心病的诊断有多种方法, 其中以冠脉造影作为诊断的金标准, 但其为有创性检查, 且价格较昂贵, 对操作者的技术要求高。GMPI 作为一种简便、无创、相对廉价的影像学检查方法, 在临床上应用广泛。大量临床研究表明, SSS、左心室射血分数等参数在冠心病危险度分层及预后判断上有一定价值^[6-7], 但有关 GMPI 相位分析与冠脉病变程度间的对比研究甚少。本研究结果显示, 随着 SSS、BW、SD 及熵的增高, Gensini 积分逐渐增高, 提示冠脉病变程度加重。相关分析结果显示, SSS 是反映冠脉病变严重程度最显著的参数, 冠心病组的 SSS、BW、SD、熵与 Gensini 积分呈显著正相关, 提示 SSS、BW、SD、熵对评估冠心病患者冠脉病变程度具有重要价值。而多因素分析结果显示, BW 是冠脉病变严重程度的最强预测因子, 其次是 SSS。此外, 熵也是一个不能忽视的参数, 其与心肌收缩的混乱程度有关, 在一定程度上可以反映冠脉病变程度, 但当前国内外对此参数

的研究甚少。有研究表明, SSS 与冠脉狭窄程度呈显著正相关, 对诊疗功能相关冠脉病变具有实用价值^[8-9]。Lin 等^[10]对 163 例可疑冠心病患者行 CT 血管造影和心肌灌注显像, 结果显示在中、低危患者中, 冠脉斑块与心肌缺血密切相关。有关研究结果亦证实, SSS 是不良心脏事件发生的独立预测因子^[7,11]。Holman 等^[12]研究表明, 随着冠脉疾病严重程度的增加, 心肌收缩同步性逐渐减低。在本研究中, 冠心病组的 SSS、BW、SD、熵均显著大于冠脉硬化组, 且差异有统计学意义, 而冠脉硬化组的 BW、SD、熵均大于正常组, 但差异无统计学意义。由此可见, 心肌灌注水平越低, 心肌收缩不同步性越差、收缩混乱程度越重, 提示冠脉病变程度越重。因冠脉狭窄引发局部心肌血供减少或心肌细胞功能改变而导致的心肌缺血在负荷 GMPI 中表现为 SSS 增高, 这也是左室心肌收缩不同步的因素之一^[13]。相关文献结果亦表明, 左室心肌收缩不同步与心肌灌注异常有关, 可导致一系列病理生理变化及心功能恶化^[14-15]。当出现固定性缺损、部分可逆性缺损时, 3 种不同类型的心肌同时存在, 导致左室心肌收缩同步性减低^[13]。另有研究表明, 在无心肌缺血症状的患者中, 左室收缩不同步可作为早期左室功能障碍的标志, 同时也是心血管不良事件的独立预测因子^[16-17]。因此, 在中重度冠心病患者中, 静息状态下的相位参数可在一定程度上反映出心肌缺血程度和预后情况。有研究者报道, 在冠心病患者尚未出现 QRS 波改变或心肌梗死时, 左室心肌收缩同步性即已经减低^[18]。因此, 在冠脉硬化患者中, BW、SD、熵对评估其冠脉病变严重程度有一定参考价值。此外, 本研究结果提示, 在冠脉硬化组中, GMPI 各参数与 Gensini 积分无明显相关性。可能的原因是, 尽管部分患者出现冠脉硬化及轻度狭窄, 但冠脉血流量未明显减少, 尚足以维持心肌细胞的正常功能。

本研究结果还显示, 静息及负荷 GMPI 所得的相位参数之间的差异无统计学意义, 既往已有研究结果也证实了这一点^[2,19]。本研究中采集与注射显像剂的时间间隔为 90 min, 心功能及相位参数是通过左室室壁运动时靶区框画心室面积来计算的, 因此无论静息还是负荷显像, 图像采集时反映的均为静息状态下的相位。Chen 等^[20]对 25 例心肌缺血患者采用双嘧达莫药物负荷后极早期采集的 GMPI 较

静息时的同步性更差。由此进一步推测, 采集与注射显像剂的时间差是影响负荷与静息 GMPI 相位参数差异性的因素之一。

综上所述, GMPI SSS 及相位分析参数与冠脉病变程度存在一定的相关性, 静息、负荷 GMPI 相位分析对评价左室收缩同步性的价值相当。对于临床可疑或确诊冠心病患者行负荷及静息 GMPI, 可“一站式”评估左室心肌灌注情况、心脏舒缩功能和收缩同步性, 在一定程度上判断冠脉病变范围及程度, 对随后是否有必要行冠脉造影有一定的参考价值。本研究的不足之处在于, 中重度冠脉狭窄的病例数较少, 可能造成一定程度的结果偏倚, 且未探讨冠脉狭窄所致的不同区域心肌缺血、心肌梗死对相位分析参数的影响, 尚需大样本研究。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 崔博负责现场试验、数据收集与分析、论文撰写; 刘保平负责方法建立、论文审阅; 谢新立、王瑞华负责论文审阅。

参 考 文 献

- [1] Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging)[J]. *Circulation*, 2003, 108(11): 1404–1418. DOI: 10.1161/01.CIR.0000080946.42225.4D.
- [2] 郭悦, 姚稚明, 张娟, 等. 负荷-静息 ^{99m}Tc-MIBI 门控心肌灌注断层显像相位分析评价左室缺血心肌收缩同步性[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2015, 35(3): 195–199. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.03.009.
Guo Y, Yao ZM, Zhang J, et al. Systolic synchrony of ischemic myocardium assessed by stress-rest ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT myocardial perfusion imaging[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 35(3): 195–199.
- [3] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2013.04.014.
Wang JF, Wang YT. The application of phase analysis of gated myocardial perfusion imaging to assess left ventricular mechanical dyssynchrony in cardiovascular disease[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2013, 37(4): 247–252.
- [4] 高阅春, 何继强, 姜腾勇, 等. 冠心病患者冠状动脉病变严重程度与冠心病危险因素的相关分析[J]. *中国循环杂志*, 2012, 27(3): 178–181. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2012.03.006.
Gao YC, He JQ, Jiang TY, et al. Relationship of coronary stenosis

- with its risk factors in patients of coronary disease[J]. *Chin Circ J*, 2012, 27(3): 178-181.
- [5] Vlietstra RE, Kronmal RA, Seth AK, et al. Correlation of the coronary heart disease risk factors and coronary angiographic data [J]. *Kardiologia*, 1982, 22(2): 67-72.
- [6] Travin MI, Heller GV, Johnson LL, et al. The prognostic value of ECG-gated SPECT imaging in patients undergoing stress Tc-99m sestamibi myocardial perfusion imaging[J]. *J Nucl Cardiol*, 2004, 11 (3): 253-262. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2004.02.005.
- [7] Ahlberg AW, Kazi FA, Azemi T, et al. Usefulness of stress gated technetium-99m single photon emission computed tomographic myocardial perfusion imaging for the prediction of cardiac death in patients with moderate to severe left ventricular systolic dysfunction and suspected coronary artery disease[J]. *Am J Cardiol*, 2012, 109 (1): 26-30. DOI: 10.1016/j.amjcard.2011.07.066.
- [8] 沈艳, 马玉玲. 总负荷积分与冠脉 Gensini 积分的相关性分析[J]. *江苏医药*, 2010, 36(15): 1761-1763. DOI: 10.19460/j.cnki.0253-3685.2010.15.008.
- Shen Y, Ma YL. Analysis of correlation between summed stress score and Gensini score[J]. *Jiangsu Med J*, 2010, 36(15): 1761-1763.
- [9] 付瑛, 王蓓, 米宏志, 等. SPECT/CT 融合影像探究冠心病心肌灌注异常与冠状动脉狭窄的相关关系[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2015, 35(4): 241-245. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.04.001.
- Fu Y, Wang J, Mi HZ, et al. Evaluation of correlation between myocardial perfusion abnormality and coronary artery stenosis with SPECT/CT[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 35(4): 241-245.
- [10] Lin F, Shaw LJ, Berman DS, et al. Multidetector computed tomography coronary artery plaque predictors of stress-induced myocardial ischemia by SPECT[J]. *Atherosclerosis*, 2008, 197(2): 700-709. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2007.07.002.
- [11] Yoda S, Nakanishi K, Tano A, et al. Major cardiac event risk scores estimated with gated myocardial perfusion imaging in Japanese patients with coronary artery disease[J]. *J Cardiol*, 2016, 67(1): 64-70. DOI: 10.1016/j.jjcc.2015.04.008.
- [12] Holman BL, Wynne J, Idoine J, et al. Disruption in the temporal sequence of regional ventricular contraction. I. Characteristics and incidence in coronary artery disease[J]. *Circulation*, 1980, 61(6): 1075-1083. DOI: 10.1161/01.CIR.61.6.1075.
- [13] 王建锋, 王跃涛, 张晓丽, 等. 门控心肌灌注显像相位分析评价陈旧性心肌梗死患者左心室收缩同步性[J]. *中华心血管病杂志*, 2015, 43(7): 599-604. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2015.07.007.
- Wang JF, Wang YT, Zhang XL, et al. Left ventricular systolic synchrony assessed by phase analysis of gated myocardial perfusion imaging in patients with old myocardial infarction[J]. *Chin J Cardiol*, 2015, 43(7): 599-604.
- [14] Sharma RK, Volpe G, Rosen BD, et al. Prognostic implications of left ventricular dyssynchrony for major adverse cardiovascular events in asymptomatic women and men: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis[J/OL]. *J Am Heart Assoc*, 2014, 3(4): e000975[2017-10-19]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4310386>. DOI: 10.1161/JAHA.114.000975.
- [15] Ovidia M, Abudayyeh I. Risk stratification by quantitation of LV dyssynchrony: a new branch of the field of nuclear cardiology[J]. *J Nucl Cardiol*, 2014, 21(4): 747-752. DOI: 10.1007/s12350-014-9907-3.
- [16] Yamada S, Arrell DK, Kane GC, et al. Mechanical dyssynchrony precedes QRS widening in ATP-sensitive K⁺ channel-deficient dilated cardiomyopathy[J/OL]. *J Am Heart Assoc*, 2013, 2(6): e000410[2017-10-19]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3886734>. DOI: 10.1161/JAHA.113.000410.
- [17] Tavares A, Peclat T, Lima RS. Prevalence and predictors of left intraventricular dyssynchrony determined by phase analysis in patients undergoing gated SPECT myocardial perfusion imaging[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(5): 845-852. DOI: 10.1007/s10554-015-0833-5.
- [18] Lee PW, Zhang Q, Yip GW, et al. Left ventricular systolic and diastolic dyssynchrony in coronary artery disease with preserved ejection fraction[J]. *Clin Sci(Lond)*, 2009, 116(6): 521-529. DOI: 10.1042/CS20080100.
- [19] Zhou Y, Li D, Feng J, et al. Left ventricular dyssynchrony parameters measured by phase analysis of post-stress and resting gated spect myocardial perfusion imaging[J]. *World J Nucl Med*, 2013, 12(1): 3-7. DOI: 10.4103/1450-1147.113931.
- [20] Chen CC, Shen TY, Chang MC, et al. Stress-induced myocardial ischemia is associated with early post-stress left ventricular mechanical dyssynchrony as assessed by phase analysis of ²⁰¹Tl gated SPECT myocardial perfusion imaging[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2012, 39(12): 1904-1909. DOI: 10.1007/s00259-012-2208-7.

(收稿日期: 2017-10-19)