

# SPECT 负荷心肌灌注显像对慢性肾脏病患者心源性死亡的预测价值

张颖 焦建 常智 韩旭 李全 李珺奇 张烨虹 解小芬 董薇 米宏志

首都医科大学附属北京安贞医院核医学科, 北京 100029

通信作者: 董薇, Email: dongwei\_810303@163.com

**【摘要】** 目的 评估 SPECT 心肌灌注显像 (MPI) 预测慢性肾脏病 (CKD) 患者发生心源性死亡的临床价值。方法 对 2017 年 6 月至 2024 年 3 月在首都医科大学附属北京安贞医院行 MPI 检查且经临床诊断为 CKD 的 160 例患者 [男 109 例、女 51 例, 年龄 68.5 (61.0, 74.0) 岁] 进行回顾性随访。图像分析采用 17 节段 5 分法, 获得左心室心肌血流灌注及功能参数。按随访得到的心源性死亡情况将患者分为死亡组与存活组, 组间资料差异比较行  $\chi^2$  检验、两独立样本  $t$  检验或 Mann-Whitney  $U$  检验; 采用 Cox 比例风险回归分析与心源性死亡有关的预测因子; 用 ROC 曲线分析预测因子的效能; 进行 Kaplan-Meier 生存分析, 通过 log-rank 检验比较组间差异。结果 中位随访时间为 26.0 (10.0, 46.5) 个月, 160 例患者中死亡组 17 例, 存活组 143 例。死亡组与存活组间体质量指数 (BMI), 既往心肌梗死, 既往血运重建术, 超敏 C 反应蛋白 (hs-CRP), MPI 阳性, 左心室舒张末期容积 (EDV)、收缩末期容积 (ESV)、射血分数 (EF), 负荷异常总积分 (SSS), 静息异常总积分 (SRS) 和总积分差值 (SDS) 差异均具有统计学意义 ( $\chi^2$  值: 4.58~16.13,  $t$  值: -2.34, -3.97,  $Z$  值: -2.81~5.02, 均  $P < 0.05$ )。多因素 Cox 回归分析显示 SSS [风险比 ( $HR$ ) = 1.153, 95%  $CI$ : 1.062~1.252,  $P = 0.001$ ] 和 hs-CRP ( $HR = 1.031$ , 95%  $CI$ : 1.004~1.058,  $P = 0.023$ ) 是 CKD 患者发生心源性死亡的独立危险因素。ROC 曲线分析示 SSS 预测患者心源性死亡的最佳界值为 8 分, AUC 为 0.815; Kaplan-Meier 生存分析示 SSS  $\geq 8$  分组的死亡发生率明显高于 SSS  $< 8$  分组 [33.3% (12/36) 和 4.0% (5/124);  $\chi^2 = 25.44$ ,  $P < 0.001$ ]。结论 MPI 是对 CKD 患者进行心源性死亡评估的重要影像学检查手段, SSS  $\geq 8$  分以及血清 hs-CRP 水平增高是此类患者发生心源性死亡的重要危险因素。

**【关键词】** 肾功能不全, 慢性; 心脏停搏; 心肌灌注显像; 99m 锝甲氧基异丁基异腓; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 预测

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240708-00250

## Predictive value of stress myocardial perfusion imaging with gated SPECT for cardiac death in patients with chronic kidney disease

Zhang Ying, Jiao Jian, Chang Zhi, Han Xu, Li Quan, Li Junqi, Zhang Yehong, Xie Xiaofen, Dong Wei, Mi Hongzhi

Department of Nuclear Medicine, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China  
Corresponding author: Dong Wei, Email: dongwei\_810303@163.com

**【Abstract】** **Objective** To evaluate the clinical predictive value of SPECT myocardial perfusion imaging (MPI) in the occurrence of cardiac death in patients with chronic kidney disease (CKD). **Methods** A retrospective follow-up was performed for 160 patients (109 males, 51 females; age: 68.5 (61.0, 74.0) years) who underwent MPI in Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University between June 2017 and March 2024. The 17-segment 5-point method was used for image analysis to obtain the left ventricular myocardial perfusion and functional parameters. The patients were followed up for cardiac death, and divided into death group and survival group. Clinical data of those 2 groups were compared by  $\chi^2$  test, the independent-sample  $t$  test or Mann-Whitney  $U$  test. Cox proportional hazards regression analysis was used to analyze the predictors related to cardiac death. The ROC curve was used to analyze the performance of predictors. Survival curves were obtained by the Kaplan-Meier method, and log-rank test was performed to compare the difference between 2 groups. **Results** The follow-up time of 160 patients with CKD was 26.0 (10.0, 46.5) months. Of 160 patients, 17 died and 143 survived. There were statistically significant differences in body mass index (BMI), previous myocardial infarction, previous revascularization, hypersensitive C-reactive protein (hs-CRP), positive MPI, left ventricular end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV), ejection fraction (EF), summed stress score (SSS), summed rest score (SRS) and summed difference score (SDS) between the death group and the survival group ( $\chi^2$  values: 4.58-16.13,  $t$  values: -2.34,

-3.97,  $Z$  values: from -2.81 to 5.02, all  $P < 0.05$ ). Multivariate Cox regression analysis showed that SSS (hazard ratio (HR) = 1.153, 95% CI: 1.062-1.252,  $P = 0.001$ ) and hs-CRP (HR = 1.031, 95% CI: 1.004-1.058,  $P = 0.023$ ) were independent risk factors for cardiac death in patients with CKD. The optimal cut-off value of SSS for predicting cardiac death in those patients was determined to be 8 with the AUC of 0.815, and the incidence of cardiac death in the SSS  $\geq 8$  group was significantly higher than that in the SSS  $< 8$  group (33.3% (12/36) vs 4.0% (5/124);  $\chi^2 = 25.44$ ,  $P < 0.001$ ). **Conclusion** MPI is an important imaging method for the evaluation of cardiac death in patients with CKD, SSS and hs-CRP are important risk factors in predicting cardiac death in those patients.

**[Key words]** Renal insufficiency, chronic; Heart arrest; Myocardial perfusion imaging; Technetium Tc 99m sestamibi; Tomography, emission-computed, single-photon; Forecasting

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240708-00250

慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD)是指肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)小于  $60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  或持续性蛋白尿( $\geq 3$  个月)的肾脏损害疾病<sup>[1]</sup>。CKD 患者的心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)患病率较高,发病率是普通人群的 10~30 倍<sup>[2]</sup>。CVD 是导致 CKD 患者死亡的主要原因<sup>[3]</sup>。由于碘及钆对比剂具有肾毒性,而 CKD 患者肾功能受损,且起搏器植入、金属植入、心房颤动等是心脏 MR(cardiac MR, CMR)采集禁忌证<sup>[4]</sup>,传统的影像学检查手段,如 CMR、冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)在这类人中的应用受到一定限制。核素心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)使用的显像剂对已经恶化的肾脏无不良影响,适合 CKD 患者。MPI 不仅可以准确诊断心肌缺血部位、范围和程度,还可以“一站式”获得左心室多功能学参数,对心脏病的精准诊断、危险分层和评估预后具有重要的临床价值<sup>[5-9]</sup>。目前,国外用 MPI 对 CKD 患者进行预后预测的报道较多;但在国内,通过此项技术对 CKD 患者进行研究的报道较少。本研究旨在探讨 MPI 对 CKD 患者发生心源性死亡的临床预测价值。

## 资料与方法

1. 研究对象。回顾性纳入 2017 年 6 月至 2024 年 3 月于首都医科大学附属北京安贞医院行门控负荷+静息 MPI 检查的 160 例 CKD 患者,其中男 109 例,女 51 例,年龄为 68.5(61.0, 74.0)岁(范围:24~82 岁)。患者入选标准:估算 GFR(estimated GFR, eGFR)  $< 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  或持续性蛋白尿( $\geq 3$  个月)。排除标准:(1)临床资料不完整;(2)严重心律失常导致门控 MPI 数据不可靠;(3)有腺苷或者运动负荷绝对禁忌证。本研究经北京安贞医院伦理委员会批准(编号:2024138X)。

2. MPI。患者行 2 日法负荷(腺苷药物或踏车运动)+静息 MPI。显像剂<sup>99m</sup>Tc-甲氧基异丁基异腈

(methoxyisobutylisonitrile, MIBI)由北京原子高科股份有限公司提供。具体流程参照本团队既往研究<sup>[10]</sup>。注射显像剂后 60~90 min 进行图像采集,显像设备分别为碲锌镉(cadmium-zinc-tellurium, CZT)心脏专用机 D-SPECT(以色列 Spectrum Dynamics 公司)和 Symbia Intevo 双探头 SPECT/CT 仪(德国 Siemens 公司)。D-SPECT 图像采集方案:患者保持 45° 的体位,矩阵为  $64 \times 64$ ,像素 4.92 mm,放大倍数为 1.0。SPECT/CT 图像采集方案:采用 SMARTZOOM 准直器,能峰 140 keV,窗宽 20%,矩阵  $128 \times 128$ ,放大倍数 1.0。

3. 图像处理与分析。2 种机型采集的数据均传输至定量门控 SPECT(quantitative gated SPECT, QGS; Cedars-Sinai 医学中心)软件进行同步后处理。由 2 名副高级及以上职称的核医学医师采用盲法分析患者图像,意见不统一时由第 3 名医师协调至意见达成一致。如在 2 个不同轴面的断层图像上,同一心肌节段在连续  $\geq 2$  个层面出现放射性分布稀疏或缺损区,则诊断为 MPI 阳性,否则为阴性。心肌图像节段分析采用美国心脏协会 17 节段 5 分法:0 分,摄取正常;1 分,摄取轻度减低;2 分,摄取中度减低;3 分,摄取重度减低;4 分,放射性缺损。获得负荷异常总积分(sum stress score, SSS)、静息异常总积分(sum resting score, SRS),并计算二者的总积分差值(sum difference score, SDS),同时获得左心室舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)和射血分数(ejection fraction, EF)。

4. 随访。以行 MPI 为起始点,采用电话和查阅病案系统方式随访患者有无心源性死亡的情况,随访截止时间为 2024 年 5 月。以发生心源性死亡为随访终点,将患者分为死亡组与存活组。

5. 统计学分析。采用 IBM SPSS Statistics 23.0 软件进行数据分析。符合正态分布的定量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较行两独立样本  $t$  检验;不符合正态分

布的定量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示, 组间比较行 Mann-Whitney  $U$  检验; 定性资料以频数 (%) 表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验。通过 ROC 曲线分析确定 SSS 预测患者心源性死亡的最佳界值和 AUC。进行 Cox 比例风险回归分析, 获得 CKD 患者发生心源性死亡的预测因子。进行 Kaplan-Meier 生存分析, 用 log-rank 检验比较 2 组间死亡发生率的差异。  $P < 0.05$  认为差异有统计学意义。

### 结 果

1. 一般资料。160 例患者中, 高血压 102 例(63.8%), 糖尿病 58 例(36.2%), 胸部不适 59 例(36.9%), 既往心肌梗死 27 例(16.9%), 既往血运重建 41 例(25.6%), 既往血液透析 17 例(10.6%), 尿蛋白阳性 58 例(36.2%)。患者体质量指数(body mass index, BMI)为  $(25.67 \pm 3.60)$   $\text{kg}/\text{m}^2$ , 血肌酐为  $126.35$  ( $94.95, 189.05$ )  $\mu\text{mol}/\text{L}$ , 超敏 C 反应蛋白(hyper-sensitive C-reactive protein, hs-CRP)为  $1.94$  ( $0.92, 4.85$ )  $\text{mg}/\text{L}$ , eGFR 为  $(45.37 \pm 23.85)$   $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{m}^{-2}$ 。

2. MPI 结果。160 例患者均行负荷+静息 MPI, MPI 阳性 53 例(33.1%)。典型病例见图 1。患者左心室负荷 EDV 为  $94.50$  ( $74.00, 114.50$ )  $\text{ml}$ , 负荷 ESV 为  $46.50$  ( $32.00, 69.00$ )  $\text{ml}$ , 负荷 EF 为  $(52.41 \pm 14.23)\%$ ; 静息 EDV 为  $93.00$  ( $71.75, 110.50$ )  $\text{ml}$ , 静息 ESV 为  $44.00$  ( $30.25, 64.50$ )  $\text{ml}$ , 静息 EF 为  $51.00$

( $43.00, 59.00$ )%; SSS 为  $2$  ( $0, 10$ ) 分, SRS 为  $0$  ( $0, 0$ ) 分, SDS 为  $2$  ( $0, 7$ ) 分。

3. 随访结果。随访时间为  $26.0$  ( $10.0, 46.5$ ) 个月, 随访期间共 17 例患者发生心源性死亡, 其中心源性猝死 3 例, 再发致死性心肌梗死 2 例, 心力衰竭死亡 12 例。

死亡组与存活组 BMI、既往心肌梗死、既往血运重建术和 hs-CRP 水平差异均有统计学意义( $\chi^2$  值:  $4.58, 6.18, t = -2.34, Z = 2.77$ , 均  $P < 0.05$ ); MPI 阳性, 左心室负荷 EDV、ESV、EF, 静息 EDV、ESV、EF, SSS, SRS, SDS 差异也有统计学意义( $\chi^2 = 16.13, t = -3.97, Z$  值:  $-2.81 \sim 5.02$ , 均  $P < 0.05$ ; 表 1)。

4. Cox 回归分析结果。单因素 Cox 回归分析示 BMI, 既往心肌梗死, 既往血运重建, hs-CRP, MPI 阳性, 左心室负荷 EDV、ESV、EF, 静息 EDV、ESV、EF, SSS, SRS, SDS 均是 CKD 患者心源性死亡的危险因素; 根据  $P$  值大小将上述因素中的 MPI 阳性, SSS, SRS, SDS, 静息 EDV、ESV、EF 和 hs-CRP 代入多因素 Cox 回归, 并经过性别和年龄校正后得出 SSS[ 风险比(hazard ratio, HR) =  $1.153, 95\% \text{ CI}: 1.062 \sim 1.252, P = 0.001$ ] 和 hs-CRP ( $HR = 1.031, 95\% \text{ CI}: 1.004 \sim 1.058, P = 0.023$ ) 是 CKD 患者发生心源性死亡的独立危险因素(表 2)。

5. 生存分析结果。ROC 曲线(图 2)分析示: 预测患者心源性死亡的 SSS 最佳界值为 8 分, AUC 为

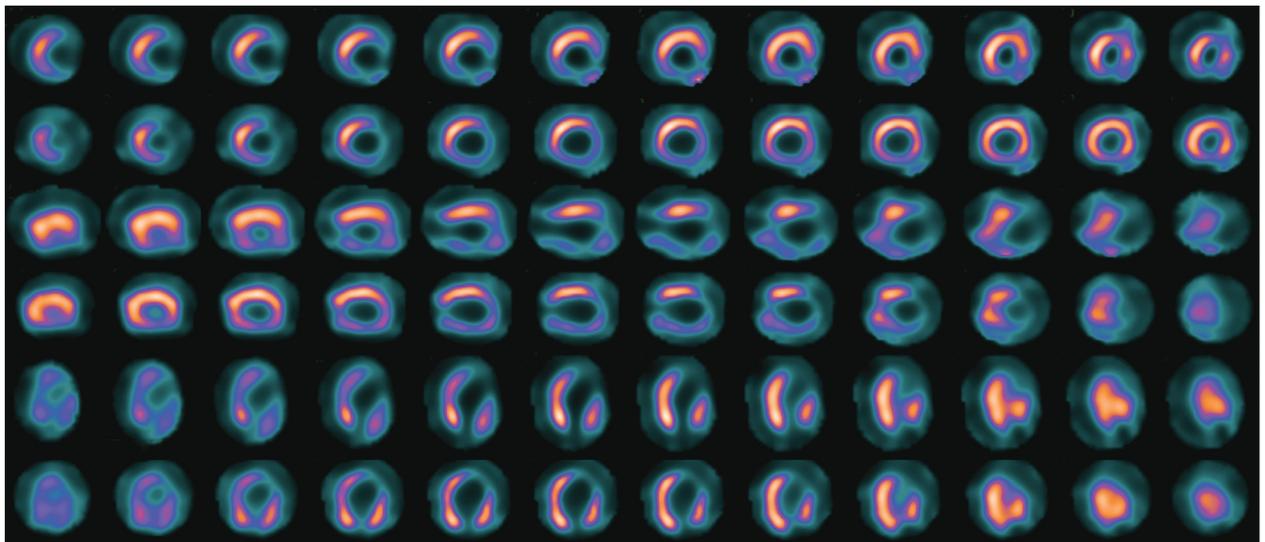


图 1 慢性肾脏病(CKD)患者(男, 62 岁)负荷+静息心肌灌注显像(MPI)图。患者主诉胸闷、肾功能不全, 既往行经皮冠状动脉介入治疗, 慢性肾功能不全 10 年。尿蛋白(+), 肌酐  $144.7 \mu\text{mol}/\text{L}$ , 估算肾小球滤过率(eGFR)  $44.44 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{m}^{-2}$ 。MPI(第 1、3、5 排图为负荷显像, 第 2、4、6 排图为静息显像)示心尖段、前壁心尖段、侧壁心尖段、下壁、部分后侧壁心肌梗死, 约占 38%; 小部分后侧壁心肌缺血, 约占 4%; 负荷异常总积分(SSS)为 28 分, 静息异常总积分(SRS)为 24 分, 总积分差值(SDS)为 4 分, 左心室舒张末期容积(EDV)为  $143 \text{ml}$ 、收缩末期容积(ESV)为  $111 \text{ml}$ 、射血分数(EF)为 22%。因患者心功能差, 肾功能不全, 梗死心肌面积大, 建议行药物保守治疗。患者出院后 9 个月因心力衰竭死亡

表 1 2 组慢性肾脏病患者一般资料及左心室功能参数比较

组别	例数	年龄		性别(例)		BMI ( $\bar{x}\pm s$ ; kg/m <sup>2</sup> )	高血压(例)		糖尿病(例)		既往心肌梗死(例)		既往血运重建(例)	
		[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; 岁]		男	女		有	无	有	无	有	无	有	无
死亡组	17	71.0(62.0, 75.0)		14	3	23.60±3.67	12	5	9	8	7	10	8	9
存活组	143	67.0(61.0, 74.0)		95	48	25.97±3.50	90	53	49	94	20	123	33	110
检验值		1.67		1.77 <sup>a</sup>		-2.34 <sup>b</sup>	0.38 <sup>a</sup>		2.29 <sup>a</sup>		6.18 <sup>a</sup>		4.58 <sup>a</sup>	
P 值		0.094		0.183		0.031	0.535		0.130		0.013		0.032	

组别	既往血液透析(例)		胸部不适症状(例)		hs-CRP	肌酐	eGFR[ $M(Q_1, Q_3)$ ;	尿蛋白(例)	
	有	无	有	无	[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; mg/L]	[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; μmol/L]	ml · min <sup>-1</sup> · 1.73 m <sup>-2</sup> ]	有	无
死亡组	4	13	3	14	6.80(1.92, 13.86)	144.70(66.70, 362.70)	56.80(49.30, 70.25)	8	9
存活组	13	130	56	87	1.84(0.91, 3.90)	125.80(102.30, 161.30)	41.55(26.51, 62.08)	50	93
检验值	1.98 <sup>a</sup>		3.02 <sup>a</sup>		2.77	0.16	0.27	0.92 <sup>a</sup>	
P 值	0.159		0.082		0.006	0.869	0.784	0.338	

组别	MPI(例)		SEDV	SESV	SEF	REDV
	阳性	阴性	[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; ml]	[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; ml]	( $\bar{x}\pm s$ ; %)	[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; ml]
死亡组	13	4	96.00(84.00, 159.00)	72.00(46.00, 118.00)	37.44±15.07	96.00(84.00, 162.00)
存活组	40	103	92.00(73.00, 112.00)	43.00(31.00, 54.00)	54.27±13.03	92.00(71.00, 107.00)
检验值	16.13 <sup>a</sup>		3.18	3.83	-3.97 <sup>b</sup>	2.75
P 值	<0.001		0.002	<0.001	<0.001	0.006

组别	RESV[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; ml]	REF[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; %]	SSS[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; 分]	SRS[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; 分]	SDS[ $M(Q_1, Q_3)$ ]; 分]
死亡组	74.00(32.00, 115.00)	32.00(23.00, 57.00)	10(8, 24)	0(0, 17)	8(4, 10)
存活组	43.00(27.00, 54.00)	51.00(44.00, 59.00)	2(0, 8)	0(0, 0)	2(0, 5)
检验值	2.96	-2.81	5.02	2.37	4.13
P 值	0.003	0.005	<0.001	0.018	<0.001

注: <sup>a</sup>为 $\chi^2$ 值, <sup>b</sup>为 $t$ 值, 余检验值为 $Z$ 值; BMI为体质指数, hs-CRP为超敏C反应蛋白, eGFR为估算肾小球滤过率, MPI为心肌灌注显像, SEDV为负荷左心室舒张末期容积, SESV为负荷左心室收缩末期容积, SEF为负荷左心室射血分数, REDV为静息左心室舒张末期容积, RESV为静息左心室收缩末期容积, REF为静息左心室射血分数, SSS为负荷异常总积分, SRS为静息异常总积分, SDS为总积分差值

0.815(95% CI: 0.725~0.905)。Kaplan-Meier生存曲线(图3)示 SSS $\geq 8$  分组( $n=36$ )的患者的死亡发生率明显高于 SSS $< 8$  分组( $n=124$ ), 分别为 33.3%(12/36)和 4.0%(5/124;  $\chi^2=25.44, P<0.001$ ), SSS $\geq 8$  分组随访 1、2、3 年的生存率分别为 88.89%(32/36)、72.22%(26/36)和 66.67%(24/36)。

### 讨 论

在 CKD 死亡患者中, 约 1/3 死于 CVD 相关心血管并发症<sup>[11]</sup>, 心血管风险已成为 CKD 患者死亡主要的疾病负担。因此, 早期诊断、干预及治疗 CKD 患者心脏病变, 对预后十分关键。既往研究报道 MPI 参数对 CKD 患者心血管风险具有一定的预测价值, SSS $\geq 4$  分和 SDS $\geq 2$  分可以独立预测 CKD 患者心源性死亡、全因死亡、非致死性心肌梗死以及主要不良心血管事件的发生<sup>[12-15]</sup>。本研究重点探讨 MPI 相关参数对 CKD 合并或疑似冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)的患者心源性死亡的预测价值。

Hakeem 等<sup>[12]</sup>的研究示, SSS 对心源性死亡事

件的预测较 SRS、SDS 更灵敏, 在 CKD 患者中, SSS 中到重度异常(>8 分)组的心源性死亡率明显高于轻度异常(4~8 分)组和正常组(0~3 分)。本研究通过多因素 Cox 回归分析得到 SSS 是独立预测患者心源性死亡的危险因素( $P<0.05$ ), 与既往研究结果一致<sup>[10]</sup>; 同时, 本研究得出 SSS $\geq 8$  分的 CKD 患者的死亡发生率明显高于 SSS $< 8$  分的患者(33.3%与 4.0%), 这为临床提供了参考价值。已有研究为了排除冠心病本身导致的死亡, 把既往明确存在冠心病病史、心肌梗死以及行血运重建术的冠心病患者排除, 得出 SSS 对心脏事件有预测价值, 且独立于左心室 EF 以及 eGFR, SSS 评分越高, 心脏事件发生率越明显<sup>[12]</sup>。但目前 CKD 合并冠心病患者日益增多, 包括既往行血运重建以及发生心肌梗死者, 因此, 与之前研究不同, 本研究入选的 CKD 患者包括了明确诊断或疑似冠心病的患者, 基线资料及单因素 Cox 分析均发现既往心肌梗死及行血运重建术的患者死亡率较高, 对临床此类 CKD 患者危险分层有一定的参考价值。同时, 由于入选患者心肌血流灌注受损较重, 得出 SSS8 分为预测此类患者心源性

表 2 不同参数预测慢性肾脏病患者( $n=160$ )心源性死亡的 Cox 回归分析

参数	单因素分析		多因素分析	
	HR 值(95% CI)	P 值	HR 值(95% CI)	P 值
年龄(岁)	1.036(0.988~1.085)	0.143	-	-
男性(%)	2.149(0.617~7.485)	0.230	-	-
BMI( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	0.822(0.700~0.965)	0.017	-	-
高血压(%)	1.187(0.417~3.374)	0.748	-	-
糖尿病(%)	2.333(0.899~6.055)	0.082	-	-
既往心肌梗死(%)	4.499(1.706~11.870)	0.003	-	-
既往血运重建(%)	3.034(1.164~7.909)	0.023	-	-
既往血液透析(%)	1.489(0.475~4.664)	0.494	-	-
胸部不适(%)	0.389(0.112~1.354)	0.138	-	-
hs-CRP( $\text{mg}/\text{L}$ )	1.041(1.019~1.063)	<0.001	1.031(1.004~1.058)	0.023
肌酐( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )	1.001(0.999~1.003)	0.175	-	-
eGFR( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{m}^{-2}$ )	1.010(0.989~1.032)	0.339	-	-
MPI 阳性	7.054(2.299~21.647)	0.001	-	-
SEDV(ml)	1.004(1.001~1.007)	0.005	-	-
SESV(ml)	1.005(1.002~1.007)	0.002	-	-
SEF(%)	0.936(0.908~0.966)	<0.001	-	-
SSS(分)	1.102(1.055~1.152)	<0.001	1.153(1.062~1.252)	0.001
REDV(ml)	1.005(1.002~1.008)	0.002	-	-
RESV(ml)	1.005(1.002~1.008)	0.001	-	-
REF(%)	0.936(0.906~0.967)	<0.001	-	-
SRS(分)	1.088(1.032~1.146)	0.002	-	-
SDS(分)	1.116(1.049~1.187)	0.001	-	-

注: BMI 为体质量指数, hs-CRP 为超敏 C 反应蛋白, eGFR 为估算肾小球滤过率, MPI 为心肌灌注显像, SEDV 为负荷左心室舒张末期容积, SESV 为负荷左心室收缩末期容积, SEF 为负荷左心室射血分数, SSS 为负荷异常总积分, REDV 为静息左心室舒张末期容积, RESV 为静息左心室收缩末期容积, REF 为静息左心室射血分数, SRS 为静息异常总积分, SDS 为总积分差值, HR 为风险比; - 表示无数据

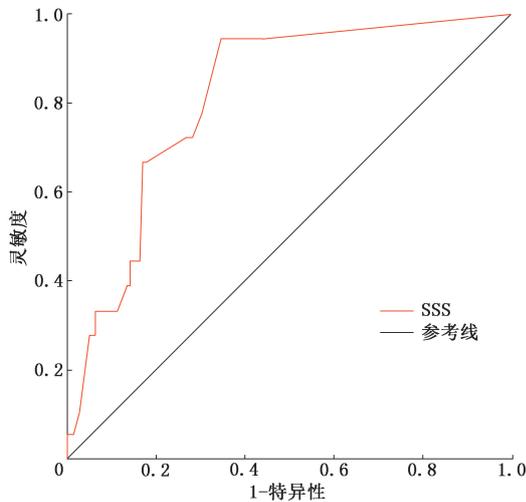


图 2 负荷异常总积分(SSS)预测 160 例慢性肾脏病患者心源性死亡的 ROC 曲线

死亡的阈值,即 SSS 中重度受损( $\geq 8$ 分)者更易发生死亡。另外,本研究未发现 SDS 对患者死亡的预测价值,可能是由于 SDS 是主要不良心血管事件的预测因子<sup>[16]</sup>,而本研究是预测心源性死亡。

hs-CRP 是反映血管低度炎性反应的一种非特异性指标,是临床预测 CVD 比较有用的生物学指标之一。有研究表明,hs-CRP 升高与 CKD 患者较高

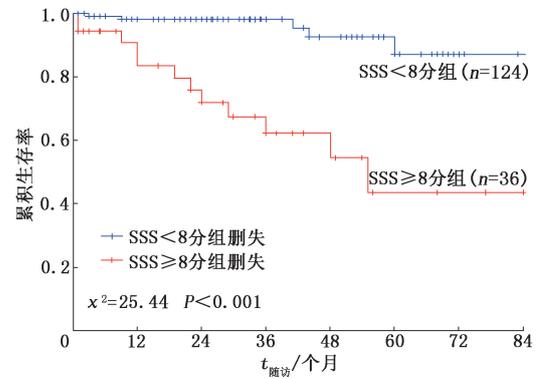


图 3 按 SSS 分组的慢性肾脏病患者心源性死亡事件的 Kaplan-Meier 生存曲线

的死亡率和心脏事件的发生率有关<sup>[16]</sup>。本研究基线资料比较示,死亡组患者的 hs-CRP 明显高于存活组,多因素 Cox 回归分析得出 hs-CRP 是预测 CKD 患者心源性死亡的独立危险因素,与既往报道一致<sup>[17]</sup>,提示 CKD 患者存在的潜在死亡风险与炎性反应有关,为临床提供了重要的信息。

本研究的局限性:(1)样本量较少,文中混杂因素较多;(2)行 MPI 检查的 CKD 患者均已进行药物治疗,且治疗时间长短不一;(3)部分患者随访时间

短。这些因素均可能导致研究结果的偏倚,以上不足之处将在后续研究中补足。

总之,本研究表明,MPI 是对 CKD 患者进行心源性死亡评估的重要影像学检查手段,半定量参数 SSS 以及血清 hs-CRP 升高是预测 CKD 患者发生心源性死亡重要的危险因素。SSS  $\geq 8$  分的 CKD 患者未来心源性死亡风险增加,需要对他们积极进行早期干预并治疗。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 张颖:研究设计与实施、论文撰写;焦建:统计学分析;常智、韩旭:论文审阅;李全、李珺奇、张烨虹、解小芬:数据采集;董薇、米宏志:研究指导、论文审阅

### 参 考 文 献

- [1] Nakamura S, Kawano Y, Nakajima K, et al. Prognostic study of cardiac events in Japanese patients with chronic kidney disease using ECG-gated myocardial perfusion imaging; final 3-year report of the J-ACCESS 3 study[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(2): 431-440. DOI:10.1007/s12350-017-0880-5.
- [2] Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD-MBD Update Work Group. KDIGO 2017 clinical practice guideline update for the diagnosis, evaluation, prevention, and treatment of chronic kidney disease mineral and bone disorder (CKD-MBD) [J]. *Kidney Int Suppl* (2011), 2017, 7(1): 1-59. DOI:10.1016/j.kisu.2017.04.001.
- [3] 孙茉莉,沈婕.核素心肌灌注显像在慢性肾病中的应用[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(2): 108-112. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.02.011.  
Sun MM, Shen J. Application of radionuclide myocardial perfusion imaging in patients with chronic kidney disease[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(2): 108-112. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.02.011.
- [4] Marie PY, Rossignol P. Stress myocardial perfusion gated-SPECT imaging in advanced chronic kidney disease[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(6): 1971-1973. DOI:10.1007/s12350-018-1412-7.
- [5] 李媛媛,王若楠,汪燕辉,等. SPECT MPI 参数研究进展及其临床价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(1): 53-56. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240111-00015.  
Li YY, Wang RN, Wang YH, et al. Research progress and clinical value of SPECT MPI parameters[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(1): 53-56. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240111-00015.
- [6] 周奕含,鲁瑶,孟晶晶,等. SPECT G-MPI 评估左心室射血分数储备对冠心病患者主要不良心血管事件的预测价值[J].*中华心血管病杂志*, 2023, 51(6): 626-632. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20220919-00730.  
Zhou YH, Lu Y, Meng JJ, et al. Predictive value of left ventricular ejection fraction reserve assessed by SPECT G-MPI for major adverse cardiovascular event in patients with coronary artery disease [J]. *Chin J Cardiol*, 2023, 51(6): 626-632. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20220919-00730.
- [7] 杨志敏,杨晓宇,王跃涛,等.基于核素心肌灌注显像评估冠心病 PCI 术后早期残留心肌缺血及其影响因素[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(9): 539-544. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230928-00066.
- [8] Yang ZM, Yang XY, Wang YT, et al. Evaluation and influencing factors of early residual myocardial ischemia on myocardial perfusion imaging after percutaneous coronary intervention for coronary artery disease[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(9): 539-544. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230928-00066.
- [9] Wang W, Li X, Tian C, et al. Cardiac death in patients with left ventricular aneurysm, remodeling and myocardial viability by gated  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT and gated  $^{18}\text{F}$ -FDG PET[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34(3): 485-493. DOI:10.1007/s10554-017-1234-8.
- [10] Tian Y, Zhao M, Li W, et al. Left ventricular mechanical dyssynchrony analyzed by Tc-99m sestamibi SPECT and F-18 FDG PET in patients with ischemic cardiomyopathy and the prognostic value [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(10): 2063-2071. DOI:10.1007/s10554-020-01904-7.
- [11] 焦建,王绿娅,董薇,等.门控心肌灌注显像对家族性高胆固醇血症患者全因死亡风险的预测价值[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(5): 297-302. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230921-00055.  
Jiao J, Wang LY, Dong W, et al. Predictive value of gated myocardial perfusion imaging for all-cause mortality risk in patients with familial hypercholesterolemia[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(5): 297-302. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230921-00055.
- [12] Collins AJ, Foley RN, Chavers B, et al. United States Renal Data System 2011 Annual Data Report: atlas of chronic kidney disease & end-stage renal disease in the United States[J]. *Am J Kidney Dis*, 2012, 59: A7, e1-420. DOI:10.1053/j.ajkd.2011.11.015.
- [13] Hakeem A, Bhatti S, Karmali KN, et al. Renal function and risk stratification of diabetic and nondiabetic patients undergoing evaluation for coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(7): 734-745. DOI:10.1016/j.jcmg.2010.06.001.
- [14] Dilsizian V, Gewirtz H, Marwick TH, et al. Cardiac imaging for coronary heart disease risk stratification in chronic kidney disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(3): 669-682. DOI:10.1016/j.jcmg.2020.05.035.
- [15] Toyama T, Kasama S, Sato M, et al. Most important prognostic values to predict major adverse cardiovascular, cerebrovascular, and renal events in patients with chronic kidney disease including hemodialysis for 2 years [J]. *Cardiology*, 2019, 142(1): 14-23. DOI:10.1159/000496330.
- [16] Nakajima K, Nakamura S, Hase H, et al. Risk stratification based on J-ACCESS risk models with myocardial perfusion imaging; risk versus outcomes of patients with chronic kidney disease[J]. *J Nucl Cardiol*, 2020, 27(1): 41-50. DOI:10.1007/s12350-018-1330-8.
- [17] Matsuo S, Nakajima K, Takeishi Y, et al. Prognostic value of normal stress myocardial perfusion imaging and ventricular function in Japanese patients with chronic kidney disease: a study based on the J-ACCESS-3 database[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(7): 1101-1107. DOI:10.1007/s00259-018-3956-9.
- [18] Wada H, Dohi T, Miyauchi K, et al. Independent and combined effects of serum albumin and C-reactive protein on long-term outcomes of patients undergoing percutaneous coronary intervention [J]. *Circ J*, 2017, 81(9): 1293-1300. DOI:10.1253/circj.CJ-17-0124.

(收稿日期:2024-07-08)