

建立低可能性稳定性冠心病患者 CZT SPECT 负荷门控心肌灌注显像左心室球形指数的临床参考值

刘羽芃 赵宇婷 郑雅琦 孟晶晶 王彦琳 张晓丽
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: 张晓丽, Email: xlzhang68@126.com

【摘要】 目的 建立低可能性稳定性冠状动脉粥样硬化性心脏病(SCAD)患者碲铋镭(CZT) SPECT 负荷门控心肌灌注显像(G-MPI)左心室球形指数的临床参考值,并分析其影响因素。**方法** 横断面研究。回顾性收集 2022 年 3 月至 2022 年 8 月在首都医科大学附属北京安贞医院行 CZT SPECT 运动或药物负荷 G-MPI 的疑似低可能性 SCAD 患者 622 例,选择符合纳入、排除标准的 348 例,其中 309 例为低可能性 SCAD 患者[男 128 例,女 181 例,年龄(58 ± 10)岁],39 例为正常对照(NC)[男 17 例,女 22 例,年龄(55 ± 10)岁]。使用简单随机抽样法将低可能性 SCAD 患者按 7:3 随机分为训练集($n=216$)和验证集($n=93$)。收集分别通过定量灌注 SPECT(QPS)和定量门控 SPECT(QGS)软件获得的左心室非门控球形指数[形态指数(SI)_{QPS}、偏心指数(EI)_{QPS}]和门控球形指数[舒张末期(ED)- SI _{QGS}、收缩末期(ES)- SI _{QGS}和 EI _{QGS}]。SI 越大, EI 越小,提示心室重构越严重。将训练集各指数的 $\bar{x}\pm 2s$ 作为低可能性 SCAD 患者的左心室球形指数界值,应用于验证集和 NC 组,得到 2 组球形指数正常率。采用两独立样本 t 检验比较不同组间差异,采用多元线性回归分析球形指数的影响因素。**结果** 训练集球形指数 SI _{QPS}、ED- SI _{QGS} 和 ES- SI _{QGS} 的上限分别为 0.69、0.74 和 0.54, EI _{QPS} 和 EI _{QGS} 的下限分别为 0.81 和 0.77,将其应用于验证集和 NC 组,2 组球形指数正常率均为 100%(93/93 或 39/39)。线性回归分析显示,ES- SI _{QGS} 与左心室射血分数相关[$\beta=-0.004$ (95% CI: -0.005~-0.002), $P<0.001$], ED- SI _{QGS} 与性别相关[$\beta=0.022$ (95% CI: 0.005~0.040), $P=0.014$], EI _{QPS} [β 值: -0.012(95% CI: -0.020~-0.005), 0.000(95% CI: -0.001~0.000), 均 $P<0.05$] 和 EI _{QGS} [β 值: -0.016(95% CI: -0.027~-0.006), 0.000(95% CI: -0.001~0.000), 均 $P<0.05$] 均与性别和年龄相关。在低可能性 SCAD 患者中,与女性相比,男性 EI _{QPS}(0.87 ± 0.02 与 0.86 ± 0.03 ; $t=3.81$, $P<0.001$)、ES- SI _{QGS}(0.42 ± 0.06 与 0.40 ± 0.07 ; $t=2.48$, $P=0.014$) 和 EI _{QGS}(0.86 ± 0.03 与 0.84 ± 0.04 ; $t=5.71$, $P<0.001$) 更高。在男性低可能性 SCAD 患者中,与非高龄组(<60 岁; $n=71$)相比,高龄组(≥ 60 岁; $n=57$) SI _{QPS}(0.57 ± 0.06 与 0.55 ± 0.06 ; $t=-2.66$, $P=0.009$) 和 ED- SI _{QGS}(0.61 ± 0.05 与 0.59 ± 0.07 ; $t=-2.14$, $P=0.035$) 更高,而 EI _{QPS}(0.86 ± 0.02 与 0.88 ± 0.02 ; $t=3.16$, $P=0.002$) 和 EI _{QGS}(0.85 ± 0.03 与 0.87 ± 0.03 ; $t=2.88$, $P=0.005$) 更低。**结论** 本研究建立了低可能性 SCAD 患者 CZT SPECT 负荷 G-MPI 的左心室球形指数临床参考值,在临床应用上述参考值时需综合考虑性别和年龄因素。

【关键词】 冠心病; 心肌灌注显像; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 参考值

基金项目: 北京安贞医院国家心血管疾病临床医学研究中心高水平研究专项(2025AZD3002)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20251019-00371

Establishment of the clinical reference values of left ventricular sphericity indexes using CZT SPECT stress gated myocardial perfusion imaging in low-probability stable coronary artery disease

Liu Yupeng, Zhao Yuting, Zheng Yaqi, Meng Jingjing, Wang Yanlin, Zhang Xiaoli

Department of Nuclear Medicine, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China

Corresponding author: Zhang Xiaoli, Email: xlzhang68@126.com

【Abstract】 Objective To establish the clinical reference values of left ventricular sphericity indexes using cadmium-zinc-telluride (CZT) SPECT stress gated myocardial perfusion imaging (G-MPI) in patients with low-probability stable coronary artery disease (SCAD) and analyze influencing factors. **Methods** This study was a cross-sectional study. A total of 622 patients with suspected low-probability SCAD who underwent exercise or pharmacological stress G-MPI (CZT SPECT) from March to August 2022 in Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University were retrospectively enrolled, and 348 meeting the inclusion

and exclusion criteria were selected, including 309 with low-probability SCAD (128 males and 181 females, age (58 ± 10) years), and 39 normal controls (NC; 17 males and 22 females, age (55 ± 10) years). The patients with low-probability SCAD were randomly divided into a training set ($n=216$) and a validation set ($n=93$) at a ratio of 7:3 using the simple random sampling method. Quantitative perfusion SPECT (QPS) and quantitative gated SPECT (QGS) were used to obtain non-gated sphericity indexes (shape index (SI)_{QPS} and eccentricity index (EI)_{QPS}) and gated sphericity indexes (end-diastolic (ED)-SI_{QGS}, end-systolic (ES)-SI_{QGS}, EI_{QGS}). The larger SI value and the smaller EI value indicated more severe ventricular remodeling. The $\bar{x} \pm 2s$ of each index in the training set was used as the cut-off value of the left ventricular sphericity index for low-probability SCAD and applied to the validation set and the NC group to obtain the normal rate of the sphericity index. The independent-sample *t* test was used to compare the differences between different groups, and multiple linear regression was used to analyze the influencing factors of the sphericity index.

Results Upper limits for sphericity indexes SI_{QPS}, ED-SI_{QGS} and ES-SI_{QGS} in the training set were 0.69, 0.74, 0.54 respectively; lower limits for EI_{QPS} and EI_{QGS} were 0.81 and 0.77. When these values were applied to the validation set and the NC group, the normal rates were both 100% (93/93 or 39/39). Linear regression confirmed that ES-SI_{QGS} was associated with left ventricular ejection fraction ($\beta = -0.004$, 95% CI: -0.005 to -0.002 , $P < 0.001$), ED-SI_{QGS} was associated with gender ($\beta = 0.022$, 95% CI: $0.005-0.040$, $P = 0.014$), and EI_{QPS} (β values: -0.012 , 95% CI: -0.020 to -0.005 ; 0.000 , 95% CI: -0.001 to 0.000 , both $P < 0.05$) and EI_{QGS} (β values: -0.016 , 95% CI: -0.027 to -0.006 ; 0.000 , 95% CI: -0.001 to 0.000 , both $P < 0.05$) were associated with gender and age. Males among patients with low-probability SCAD exhibited significantly higher EI_{QPS} (0.87 ± 0.02 vs 0.86 ± 0.03 ; $t = 3.81$, $P < 0.001$), ES-SI_{QGS} (0.42 ± 0.06 vs 0.40 ± 0.07 ; $t = 2.48$, $P = 0.014$), and EI_{QGS} (0.86 ± 0.03 vs 0.84 ± 0.04 ; $t = 5.71$, $P < 0.001$) than females, and the males with age ≥ 60 years ($n = 57$) showed increased SI_{QPS} (0.57 ± 0.06 vs 0.55 ± 0.06 ; $t = -2.66$, $P = 0.009$) and ED-SI_{QGS} (0.61 ± 0.05 vs 0.59 ± 0.07 ; $t = -2.14$, $P = 0.035$) but decreased EI_{QPS} (0.86 ± 0.02 vs 0.88 ± 0.02 ; $t = 3.16$, $P = 0.002$) and EI_{QGS} (0.85 ± 0.03 vs 0.87 ± 0.03 ; $t = 2.88$, $P = 0.005$) compared to males with age < 60 years ($n = 71$). **Conclusions** The stress clinical reference values of left ventricular sphericity indexes are established using CZT SPECT G-MPI in low-probability SCAD. When applying these values in clinical practice, factors such as gender and age need to be comprehensively considered.

[Key words] Coronary disease; Myocardial perfusion imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Reference values

Fund program: Beijing Anzhen Hospital High Level Research Funding (2025AZD3002)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251019-00371

左心室重构是心脏病理生理学的关键环节,是指心脏对异常血流动力学、代谢及炎症刺激等的适应性改变^[1]。目前临床评估左心室重构主要依赖于容积参数,但其对左心室形态变化的敏感性不足。SPECT 门控心肌灌注显像 (gated-myocardial perfusion imaging, G-MPI) 获得的左心室球形指数,包括形态指数 (shape index, SI) 和偏心指数 (eccentricity index, EI),可定量评估左心室形态改变,成为评估左心室重构的重要参数^[2]。

既往研究表明,左心室球形指数对多种心血管疾病的预后预测和疗效评估具有重要价值^[1-6]。然而,相关研究主要集中于心血管疾病患者群体,尚缺乏统一的临床参考值^[1-6]。稳定而可靠的标准化参考值是规范应用 G-MPI 的基石。碲铈镉 (cadmium-zinc-telluride, CZT) 心脏专用 SPECT 较传统 SPECT 分辨率更高,图像质量更好,可缩短采集时间,降低患者辐射剂量^[7]。此外,负荷 G-MPI 正常的患者预后良好,可不行静息 G-MPI,降低患者辐射剂量与医疗费用,优化医疗资源配置^[8]。因此,本研究拟建立 CZT SPECT 负荷 G-MPI 的左心室球形指数的临床参考值,并进一步探讨其影响因素。

资料与方法

1. 研究对象。本研究是横断面研究,遵循《赫尔辛基宣言》的原则,获得本院伦理委员会批准 (批件号:2022284x),患者签署知情同意书。回顾性收集 2022 年 3 月至 2022 年 8 月于首都医科大学附属北京安贞医院行药物或运动负荷 G-MPI 的疑诊低可能性稳定性冠状动脉粥样硬化性心脏病 (stable coronary artery disease, SCAD) 患者 622 例,筛选符合标准的研究对象。纳入标准: (1) 根据性别、年龄、胸痛性质、呼吸困难等评估患者 SCAD 的验前概率 (pre-test probability, PTP)^[9],选取低概率 ($PTP \leq 5\%$) 及中概率 ($5\% < PTP \leq 15\%$) 患者; (2) G-MPI 药物或运动负荷试验心电图阴性; (3) 静息心电图及静息超声心动图正常; (4) G-MPI 负荷总积分 < 4 分^[10]。排除标准: (1) 有陈旧性心肌梗死或冠状动脉血运重建术史; (2) 有心律失常、心肌病、心肌炎、瓣膜性心脏病病史; (3) MPI 图像质量不佳。

最终纳入 348 例,其中 309 例 [男 128 例,女 181 例,年龄 (58 ± 10) 岁] 为低可能性 SCAD 患者; 39 例 [男 17 例,女 22 例,年龄 (55 ± 10) 岁] 无糖尿病、高

血压、高脂血症病史,且冠状动脉 CT 血管造影或冠状动脉造影阴性者为正常对照(normal control, NC)组^[11]。将低可能性 SCAD 患者按 7:3 随机分为训练集和验证集:使用简单随机抽样法从 309 例中抽取 93 例作为验证集,剩余 216 例自动纳入训练集。收集研究对象的临床基线信息:性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI),糖尿病、高血压、高脂血症病史,吸烟史。

2. 显像设备和方法。显像设备为以色列 Spectrum Dynamics 公司 CZT SPECT 心脏专用机;显像剂为^{99m}Tc-甲氧基异丁基异腈(methoxyisobutylisonitrile, MIBI),由原子高科股份有限公司提供,放化纯 $\geq 95\%$,注射剂量为 740 MBq。患者检查前 48 h 内停用 β 受体阻滞剂,24 h 内停用含咖啡因的食物或药物及钙通道阻滞剂。G-MPI 具体流程参照文献[12],进行图像采集时,患者需保持在成像椅 65°~70°的直立位,放大倍数为 1,图像矩阵为 64×64,每个心动周期分为 8 帧,获得心脏短轴、水平长轴和垂直长轴的图像。

3. 分析指标。通过定量灌注 SPECT(quantitative perfusion SPECT, QPS)和定量门控 SPECT(quantitative gated SPECT, QGS)软件(美国 Cedars-Sinai 医学中心)分别获得左心室非门控球形指数(SI_{QPS}和 EI_{QPS})和门控球形指数[舒张末期(end diastolic, ED)-SI_{QGS}、收缩末期(end systolic, ES)-SI_{QGS}和 EI_{QGS}]。SI 为左心室短轴最大横径与长轴长径之比^[4]。EI 计算方法:用迭代法构建最适合左心室心肌中段的三维椭球体模型,基于三维有序子集最大期望化算法重建图像,测得该模型短轴横径 x 、 y 、长

轴长径 z , $EI = (1 - \frac{xy}{z^2})^{0.5}$ ^[2]。SI 和 EI 值均在 0~1 范围内,SI 值越趋于 1 或 EI 值越趋于 0,提示左心室越接近球形,表明左心室重构越严重。

将计算出的训练集球形指数的 $\bar{x} \pm 2s$ 作为界值^[13],应用于验证集和 NC 组(判断 2 组球形指数是否均在界值以内),得到其球形指数正常率,以提升球形指数临床参考值的可靠性。

4. 统计学分析。采用 IBM SPSS Statistic 27.0 软件分析数据。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验、单因素方差分析或 Kruskal-Wallis 秩和检验。定性资料以频数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用多元线性回归分析球形指数影响因素。双侧检验 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 基本资料比较。训练集、验证集及 NC 组间的基线资料及球形指数差异均无统计学意义(χ^2 值: 0.16~3.37, $H = 4.13$, F 值: 0.29~1.74, 均 $P > 0.05$), 具体见表 1。

2. 球形指数的临床参考值。训练集球形指数 SI_{QPS}、ED-SI_{QGS}、ES-SI_{QGS} 的 $\bar{x} \pm 2s$ 分别为 0.69、0.74、0.54, EI_{QPS}、EI_{QGS} 的 $\bar{x} - 2s$ 分别为 0.81、0.77, 将其用于验证集和 NC 组, 2 组球形指数正常率均为 100% (93/93 或 39/39)。

3. 低可能性 SCAD 患者球形指数的影响因素。

表 1 3 组研究对象的基本资料比较

组别	例数	男性 [例(%)]	年龄 (岁; $\bar{x} \pm s$)	BMI [kg/m ² ; $M(Q_1, Q_3)$]	吸烟史 [例(%)]	糖尿病 [例(%)]	高血压 [例(%)]	高脂血症 [例(%)]	药物负荷 [例(%)]
NC	39	17(43.6)	55±10	24.5(22.1, 27.5)	7(17.9)	—	—	—	25(64.1)
训练集	216	95(44.0)	59±10	25.6(23.6, 28.3)	47(21.8)	58(26.9)	126(58.3)	133(61.6)	110(50.9)
验证集	93	33(35.5)	58±11	25.5(22.9, 27.6)	19(20.4)	27(29.0)	49(52.7)	49(52.7)	55(59.1)
检验值		2.00 ^a	1.62 ^b	4.13 ^c	0.31 ^a	0.16 ^a	0.84 ^a	2.12 ^a	3.37 ^a
P 值		0.368	0.199	0.107	0.855	0.396	0.214	0.092	0.185

组别	LVEF (%)	LVEDV (ml)	LVESV (ml)	非门控球形指数		门控球形指数		
				SI _{QPS}	EI _{QPS}	ED-SI _{QGS}	ES-SI _{QGS}	EI _{QGS}
NC	70±7	67±17	21±9	0.56±0.06	0.87±0.02	0.62±0.08	0.42±0.08	0.86±0.03
训练集	70±8	65±17	20±9	0.55±0.07	0.87±0.03	0.60±0.07	0.41±0.07	0.85±0.04
验证集	69±7	64±15	20±7	0.56±0.05	0.86±0.02	0.61±0.05	0.40±0.06	0.85±0.03
检验值	0.55 ^b	0.65 ^b	0.51 ^b	0.29 ^b	1.39 ^b	1.28 ^b	1.74 ^b	1.06 ^b
P 值	0.577	0.525	0.601	0.750	0.252	0.280	0.178	0.348

注: 训练集和验证集均为低可能性稳定性冠状动脉粥样硬化性心脏病患者, 正常对照(NC)组无糖尿病、高血压、高脂血症病史, 且冠状动脉 CT 血管造影或冠状动脉造影阴性; BMI 为体质指数, LVEF 为左心室射血分数, LVEDV 为左心室舒张末期(ED)容积, LVESV 为左心室收缩末期(ES)容积, SI 为形态指数, QPS 为定量灌注 SPECT, EI 为偏心指数, QGS 为定量门控 SPECT; ^a 为 χ^2 值, ^b 为 F 值, ^c 为 H 值; — 表示无数据

通过线性回归分析低可能性 SCAD 患者的球形指数与性别、年龄、BMI、左心室射血分数、左心室 ED 容积、左心室 ES 容积之间的关系,但由于 3 个左心室参数存在显著共线性[方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF) >10],且左心室 ED 容积的 VIF 最大,剔除了该参数。分析结果显示,ES-SI_{QCS} 与左心室射血分数相关[$\beta = -0.004$ (95% CI : $-0.005 \sim -0.002$), $P < 0.001$], ED-SI_{QCS} 与性别相关[$\beta = 0.022$ (95% CI : $0.005 \sim 0.040$), $P = 0.014$], EI_{QPS} [β 值: -0.012 (95% CI : $-0.020 \sim -0.005$), 0.000 (95% CI : $-0.001 \sim 0.000$)], 均 $P < 0.05$] 和 EI_{QCS} [β 值: -0.016 (95% CI : $-0.027 \sim -0.006$), 0.000 (95% CI : $-0.001 \sim 0.000$)], 均 $P < 0.05$] 均与性别和年龄相关。

4. 不同性别组间球形指数比较。在低可能性 SCAD 患者中,与女性相比,男性的 EI_{QPS} (0.87 ± 0.02 和 0.86 ± 0.03 ; $t = 3.81$, $P < 0.001$)、ES-SI_{QCS} (0.42 ± 0.06 和 0.40 ± 0.07 ; $t = 2.48$, $P = 0.014$) 和 EI_{QCS} (0.86 ± 0.03 和 0.84 ± 0.04 ; $t = 5.71$, $P < 0.001$) 更高; SI_{QPS}、ED-SI_{QCS} 在男性 (0.56 ± 0.06 与 0.55 ± 0.07) 与女性 (0.60 ± 0.06 与 0.61 ± 0.07) 患者间的差异无统计学意义(t 值: 0.68 、 -1.57 , 均 $P > 0.05$)。在 NC 组中,各参数在男性与女性亚组间的差异均无统计学意义(t 值: $-1.34 \sim 1.77$, 均 $P > 0.05$)。

5. 高龄组和非高龄组的球形指数比较。将低可能性 SCAD 患者分为高龄组 (≥ 60 岁) 和非高龄组 (< 60 岁) 进行分析^[14]。在男性低可能性 SCAD 患者中,与非高龄组 (71 例) 相比,高龄组 (57 例) 的 SI_{QPS} (0.57 ± 0.06 和 0.55 ± 0.06 ; $t = -2.66$, $P = 0.009$)、ED-SI_{QCS} (0.61 ± 0.05 和 0.59 ± 0.07 ; $t = -2.14$, $P = 0.035$) 显著增高, EI_{QPS} (0.86 ± 0.02 和 0.88 ± 0.02 ; $t = 3.16$, $P = 0.002$) 和 EI_{QCS} (0.85 ± 0.03 和 0.87 ± 0.03 ; $t = 2.88$, $P = 0.005$) 显著降低。而女性低可能性 SCAD 患者中高龄组 (87 例) 和非高龄组 (94 例) 的球形指数差异均无统计学意义(t 值: $0.52 \sim 1.35$, 均 $P > 0.05$)。

讨 论

CZT SPECT 较传统 SPECT 性能更优。本研究建立了低可能性 SCAD 患者 CZT-SPECT 的左心室球形指数临床参考值: 通过训练集获得球形指数 SI_{QPS}、ED-SI_{QCS} 和 ES-SI_{QCS} 的上限分别为 0.69 , 0.74 和 0.54 , EI_{QPS} 和 EI_{QCS} 的下限分别为 0.81 和 0.77 , 上述界值在验证集和 NC 组中均表现出 100% 的正常率。Abidov 等^[3] 采用 IQ-SPECT 设备, 在 186 例低可能性 ($< 5\%$) CAD 且超声心动图和 MPI 正常的患

者中, 获得负荷 ES-SI_{QCS} 的正常值为 0.54 , 与本研究的临床参考值一致。多项研究结果表明, 这一界值可为多种心血管疾病患者的危险分层提供独立的增量预测价值^[1,3,15]。研究显示, CZT SPECT 测得的左心室功能参数与传统双探头 SPECT 设备之间并无明显系统性差异^[16]。因此, 本研究建立的低可能性 SCAD 患者球形指数的参考值可为不同类型 SPECT 设备的临床应用提供一定的参考价值。

左心室球形指数虽为评估左心室重构提供了新工具, 但其准确性受限于 SPECT 固有成像技术的影响(如分辨率限制及心脏运动伪影干扰), 故临床应用时需结合其他容量参数等综合判断。既往研究提示, 因生理因素和激素水平不同, 男性和女性的正常心功能参考值也不同^[16-17]。本研究发现, 不同性别的左心室球形指数之间存在差异, 男性 EI_{QPS}、ES-SI_{QCS} 和 EI_{QCS} 均高于女性; 且按年龄分组分析发现, 与非高龄男性患者相比, 高龄低可能性 SCAD 男性患者的 SI_{QPS} 和 ED-SI_{QCS} 更高, EI_{QPS} 和 EI_{QCS} 更低, 提示老年男性心脏更趋于球形, 而在女性中未发现这种差异。既往对人心室样本的组织学分析研究发现, 男性的心肌细胞数量随年龄增长而减少, 可能与局部心肌缺血、细胞损伤激发的细胞自噬有关, 为维持心脏泵血功能, 其余心肌细胞代偿性肥大, 这可能是老年男性心脏更趋于球形的原因之一^[18]。另一方面, 既往研究表明女性心肌内间质组织的纤维成分比例较高, 心肌纤维长度相对更短^[19], 这种组织和结构特征使女性发生心室重构时更倾向于向心性肥厚, 表现为心腔变小和心室壁厚度增加, 而男性则更趋于偏心性肥厚和心室扩张。综上所述, 将球形指数应用于临床个体化评估时, 需结合患者性别和年龄综合考虑。

为了充分挖掘 G-MPI 获得的心功能参数的临床价值, 提升诊断准确性, 本研究在课题组前期建立左心室功能参数参考值的基础上^[16], 聚焦左心室球形指数, 在方法上有拓展与改进。首先, 与之前研究采用的 PTP 标准不同, 本研究根据临床指南更新的 PTP 标准^[9] 划分正常组和低可能性 SCAD 患者; 其次, 本研究采用训练集-验证集(内部验证)的方法, 检测左心室球形指数阈值的可靠性; 第三, 本研究依据《中国健康老年人标准》^[14] 划分高龄组与非高龄组。本研究 G-MPI 球形指数参考值和前期研究获得的功能参数阈值共同构成了更完整和准确的评估体系。未来研究将进一步通过中心队列验证多参数联合模型的预后价值, 优化临床决策, 进一步提升其

临床应用价值。

本研究的局限性:(1)本研究为单中心回顾性研究,样本量相对有限,可能影响结果的普适性,需通过多中心大样本研究验证;(2)研究对象仅为一定时间段内于本院行 G-MPI 检查的连续病例,可能存在选择偏倚,导致样本对低可能性 SCAD 人群的代表性不足;(3)在临床实践中,SPECT 设备类型、采集条件、显像剂种类和注射剂量、采用的定量分析软件和图像重建方法等,均可能影响左心室球形指数。因此,不同单位需根据情况建立本单位的球形指数的临床参考值。

总之,本研究建立了低可能性 SCAD 患者 CZT SPECT 左心室球形指数的临床参考值,为后续探索其临床应用价值提供了理论依据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

志谢 首都医科大学附属北京安贞医院药事部、药物临床试验机构刘之光教授就统计学方法给予了指导与帮助

作者贡献声明 刘羽芃:研究设计与实施、论文撰写、统计学分析;赵宇婷、郑雅琦、孟晶晶:研究实施、论文修改;王彦琳:图像处理;张晓丽:研究指导、论文修改和审阅、经费支持

参 考 文 献

- [1] Nappi C, Gaudieri V, Acampa W, et al. Comparison of left ventricular shape by gated SPECT imaging in diabetic and nondiabetic patients with normal myocardial perfusion; a propensity score analysis[J]. J Nucl Cardiol, 2018, 25(2): 394-403. DOI:10.1007/s12350-017-1009-6.
- [2] Gimelli A, Liga R, Clemente A, et al. Left ventricular eccentricity index measured with SPECT myocardial perfusion imaging; an additional parameter of adverse cardiac remodeling[J]. J Nucl Cardiol, 2020, 27(1): 71-79. DOI:10.1007/s12350-017-0777-3.
- [3] Abidov A, Slomka PJ, Nishina H, et al. Left ventricular shape index assessed by gated stress myocardial perfusion SPECT; initial description of a new variable[J]. J Nucl Cardiol, 2006, 13(5): 652-659. DOI:10.1016/j.nuclcard.2006.05.020.
- [4] Miller RJH, Sharir T, Otaki Y, et al. Quantitation of poststress change in ventricular morphology improves risk stratification[J]. J Nucl Med, 2021, 62(11): 1582-1590. DOI:10.2967/jnumed.120.260141.
- [5] 席小依,王璐霞,姚玘,等.门控心肌灌注显像左心室形态指数和偏心指数在评估心肌梗死患者左心室重构中的价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(1): 6-11. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221231-00378.
Xi XY, Wang LX, Yao Q, et al. Value of left ventricular shape index and eccentricity index of gated myocardial perfusion imaging in the evaluation of left ventricular remodeling in patients with myocardial infarction[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(1): 6-11. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221231-00378.
- [6] Zhao Y, Hu Y, Li Y, et al. Spherization indices measured by resting SPECT improve risk stratification in patients with ischemia with non-obstructive coronary artery disease (INOCA) [J]. EJNMMI Res, 2024, 14(1): 16. DOI:10.1186/s13550-024-01075-9.
- [7] 余飞,李剑明,张涵,等. CZT 心脏专用 SPECT 心肌血流定量技术临床应用中国专家共识[J].国际放射医学核医学杂志, 2024, 48(4): 207-214. DOI:10.3760/cma.j.cn121381-202312034-00422.
Yu F, Li JM, Zhang H, et al. Chinese expert consensus on the clinical application of CZT cardiac-dedicated SPECT myocardial blood flow quantification technique [J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2024, 48(4): 207-214. DOI:10.3760/cma.j.cn121381-202312034-00422.
- [8] Gowd BM, Heller GV, Parker MW. Stress-only SPECT myocardial perfusion imaging: a review[J]. J Nucl Cardiol, 2014, 21(6): 1200-1212. DOI:10.1007/s12350-014-9944-y.
- [9] 中华医学会心血管病学分会,中华心血管病杂志编辑委员会.中国慢性冠脉综合征患者诊断及治疗指南[J].中华心血管病杂志, 2024, 52(6): 589-614. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20240325-00168.
Chinese Society of Cardiology, Chinese Medical Association; Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Chinese guidelines for the diagnosis and management of patients with chronic coronary syndrome[J]. Chin J Cardiol, 2024, 52(6): 589-614. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20240325-00168.
- [10] Dorbala S, Ananthasubramanian K, Armstrong IS, et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) myocardial perfusion imaging guidelines; instrumentation, acquisition, processing, and interpretation[J]. J Nucl Cardiol, 2018, 25(5): 1784-1846. DOI:10.1007/s12350-018-1283-y.
- [11] Genders TS, Steyerberg EW, Alkadhi H, et al. A clinical prediction rule for the diagnosis of coronary artery disease; validation, updating, and extension[J]. Eur Heart J, 2011, 32(11): 1316-1330. DOI:10.1093/eurheartj/ehr014.
- [12] 中华医学会核医学分会《SPECT 心肌灌注显像技术与图像操作要点专家共识(2019 版)》编写委员会,中华医学核医学分会“基于中国正常人群的心肌灌注 SPECT 定量分析多中心研究”项目组. SPECT 心肌灌注显像技术与图像处理要点专家共识(2019 版)[J].中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(1): 32-36. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.01.007.
Writing Committee of Chinese Society of Nuclear Medicine for the 2019 Expert Consensus for Key Points of Technique and Image Process during SPECT Myocardial Perfusion Imaging, Chinese Society of Nuclear Medicine Expert Group of Multi-center Study on Quantitative Analysis of SPECT Myocardial Perfusion Imaging in Normal Chinese Population. 2019 Expert consensus for key points of technique and image process during SPECT myocardial perfusion imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(1): 32-36. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.01.007.
- [13] Akincioglu C, Berman DS, Nishina H, et al. Assessment of diastolic function using 16-frame ^{99m}Tc-sestamibi gated myocardial perfusion SPECT; normal values [J]. J Nucl Med, 2005, 46(7): 1102-1108.
- [14] 《中国健康老年人标准》起草组.中国健康老年人标准 (WS/T 802—2022) [J].中华老年医学杂志, 2022, 41(11): 1263-1263. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2022.11.001.
Drafting Group of the Standard for Healthy Chinese Older Adults. The standard for healthy Chinese older adults (WS/T 802-2022) [J]. Chin J Geriatr, 2022, 41(11): 1263-1263. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2022.11.001.
- [15] Gaudieri V, Nappi C, Acampa W, et al. Added prognostic value of left ventricular shape by gated SPECT imaging in patients with suspected coronary artery disease and normal myocardial perfusion[J].

- J Nucl Cardiol, 2019, 26(4): 1148-1156. DOI:10.1007/s12350-017-1090-x.
- [16] 孟晶晶, 焦建, 解小芬, 等. 建立低可能性稳定性冠心病患者 CZT SPECT 负荷门控心肌灌注显像的左心室功能参数正常参考值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(3): 144-149. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221123-00352.
- Meng JJ, Jiao J, Xie XF, et al. Establishment of the normal reference values of left ventricular function parameters evaluated by CZT SPECT stress gated myocardial perfusion imaging in low-likelihood of stable coronary artery disease [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(3): 144-149. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221123-00352.
- [17] Ababneh AA, Sciacca RR, Kim B, et al. Normal limits for left ventricular ejection fraction and volumes estimated with gated myocardial perfusion imaging in patients with normal exercise test results: influence of tracer, gender, and acquisition camera [J]. J Nucl Cardiol, 2000, 7(6): 661-668. DOI: 10.1067/mnc.2000.109861.
- [18] Olivetti G, Giordano G, Corradi D, et al. Gender differences and aging: effects on the human heart [J]. J Am Coll Cardiol, 1995, 26(4): 1068-1079. DOI:10.1016/0735-1097(95)00282-8.
- [19] Dworatzek E, Baczko I, Kararigas G. Effects of aging on cardiac extracellular matrix in men and women [J]. Proteomics Clin Appl, 2016, 10(1): 84-91. DOI 10.1002/prca.201500031.
- (收稿日期: 2025-10-19)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于论著文稿中中、英文摘要的书写要求

摘要内容应结构严谨, 语义确切, 表达简明, 高度概括; 具有独立性和自明性; 着重反映研究中的创新内容和作者的独到观点; 不必列出本学科已成为常识的内容; 不要简单地重复题名中已有的信息。(1) 原创性研究、系统综述和 Meta 分析应提供摘要, 一般写成包含“目的 (Objective)”“方法 (Methods)”“结果 (Results)”“结论 (Conclusions)”的结构式摘要。“目的”陈述所做研究工作的主要目的和研究范围, 应与题名内容对应。“方法”陈述研究设计类型、研究对象来源 (时间、地点)、收集方法和标准、分组情况及标准 (随机试验要说明具体的随机方法) 等, 明确说明研究的干预措施、具体观察指标、采用的主要统计学方法等; 对于动物实验研究, 可介绍实验动物的微生物学等级、品种、品系、雌雄、年龄、数量等。“结果”陈述研究的主要结果, 列出与目的、方法、结论相对应的主要数据 (表达相对数时应同时给出具体的绝对数)、统计学处理结果 (尽量给出具体的统计量值和 P 值; 确需用不等式表达 P 值时, 选用 $P>0.05$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 或 $P<0.001$) 等。“结论”陈述研究的主要结论, 须有结果支持, 不空泛夸大, 应与研究目的相呼应。(2) 综述应提供指示性中英文摘要 (100~200 字)。(3) 中文摘要应使用规范化名词术语, 非公知公认缩略语、代号首次出现时, 应注明全称或加以说明。一般采用第三人称写法。不列图表, 不引用文献, 不加评论和解释, 不能含有论文中没有的结论或信息。(4) 英文摘要应与中文摘要内容原则上相对应, 但考虑到国外读者的需要, 可更详细。结果项内容可适当扩充, 但不能含有正文中没有的结论或信息。阿拉伯数字不能放在句首。英文文题后列出全部作者及其单位、科室 (包括城市、邮编) 的英文规范表达。

敬请广大读者、作者周知, 并遵照此要求投稿。

本刊有关文章涉及课题基金项目的标注要求

论文所涉及的课题如取得国家或部、省级以上基金或属攻关项目, 应列出 (双语著录), 如“基金项目: 国家自然科学基金 (30271269, 81273264); 国家重点研发计划 (2020YFC2008200)”及“Fund program: National Natural Science Foundation of China (39570835)”。中英文基金项目分别置于中文关键词、英文 Key words 下方。获得基金资助产出的文章作者需提供印有基金项目名称和项目编号的证明类文件复印件。

本刊编辑部