

本文引用: 张思然, 李希娅, 王一凡, 等. 2D-STI 联合 RT-3DE 对无心肌梗死的冠心病三支血管病变患者右心房功能的评价[J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33(2): 144-150. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2025.02.007.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2025)33-02-0144-07

2D-STI 联合 RT-3DE 对无心肌梗死的冠心病三支血管病变患者右心房功能的评价

张思然, 李希娅, 王一凡, 马 乐, 礼广森

大连医科大学附属第二医院超声科, 辽宁省大连市 116027

[摘要] **[目的]** 探讨二维斑点追踪技术(2D-STI)联合实时三维超声心动图(RT-3DE)在评价无心肌梗死的冠心病三支血管病变(TVCAD)患者右心房功能中的价值。**[方法]** 选取无心肌梗死的 TVCAD 患者 56 例,根据冠状动脉造影结果分两组:狭窄率 50%~75% 组 28 例、狭窄率 $\geq 75\%$ 组 28 例。另外,筛选健康志愿者 30 例作为对照组。运用 RT-3DE 检查获得右心房容积参数(RAV_{max} 、 RAV_{min} 、 RAV_p),并计算右心房被动射血分数(RAPEF)、右心房主动射血分数(RAAEF)及右心房最大容积指数($RAVI_{max}$)。运用 2D-STI 测量收缩期、舒张早期、舒张晚期右心房应变率(RASRs、RASRe、RASRa)。采用 Pearson 相关分析 2D-STI 参数与氨基末端脑钠肽前体(NT-proBNP)及 Gensini 评分之间的相关性,采用 ROC 曲线分析 2D-STI、RT-3DE 以及二者联合使用对无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能的诊断价值。**[结果]** 与对照组相比,狭窄率 50%~75% 组 RAPEF、RASRe 减低,RAAEF、RASRa 升高(均 $P<0.05$);与对照组、狭窄率 50%~75% 组相比,狭窄率 $\geq 75\%$ 组 RAPEF、RASRs、RASRe 及 RASRa 减低, RAV_{max} 、 RAV_{min} 、 RAV_p 、 $RAVI_{max}$ 、RAAEF 升高(均 $P<0.05$)。狭窄率 50%~75% 组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组 2D-STI 参数与 NT-proBNP 及 Gensini 评分之间存在显著相关。2D-STI、RT-3DE 及二者联合应用对无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能的曲线下面积分别为 0.9048、0.8917、0.9564,两种方法联合使用的诊断效能明显高于单独使用,且 2D-STI 优于 RT-3DE。**[结论]** 评价无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能时,2D-STI 联合 RT-3DE 的诊断效能高于单独使用,并且 2D-STI 优于 RT-3DE。

[关键词] 冠心病三支血管病变; 二维斑点追踪技术; 实时三维超声心动图; 右心房功能

[中图分类号] R5;R445

[文献标识码] A

Evaluation of right atrial function by 2D-STI combined with RE-3DE in patients with triple vessel coronary artery disease without myocardial infarction

ZHANG Siran, LI Xiya, WANG Yifan, MA Le, LI Guangsen

Department of Ultrasound, the Second Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian, Liaoning 116027, China

[ABSTRACT] **Aim** To evaluate the right atrial function by two-dimensional speckle tracking imaging (2D-STI) combined with real-time three-dimensional echocardiography (RT-3DE) in patients with triple vessel coronary artery disease (TVCAD) without myocardial infarction. **Methods** Fifty-six patients with TVCAD without myocardial infarction were selected and divided into two groups according to the results of coronary angiography: 28 cases with a stenosis rate of 50%~75% and 28 cases with a stenosis rate of $\geq 75\%$. In addition, 30 healthy volunteers were screened as control group. RT-3DE was performed to obtain the parameters of right atrial volume (RAV_{max} , RAV_{min} and RAV_p) and then calculated right atrial passive ejection fraction (RAPEF) and right atrial active ejection fraction (RAAEF), and the maximum of right atrial volume index ($RAVI_{max}$). 2D-STI was applied to measure right atrium strain rates during systole, early diastole and late diastole (RASRs, RASRe and RASRa). Correlation between 2D-STI parameters and N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP), Gensini scores were analyzed by Pearson analysis. ROC curve analysis was used to evaluate the diagnostic value of 2D-STI, RT-3DE, and their combined use for right atrial function in TVCAD patients without myocardial infarction. **Results** Compared with control group, RAPEF and RASRe reduced in stenosis rate of

[收稿日期] 2024-07-30

[修回日期] 2024-09-23

[作者简介] 张思然,住院医师,硕士研究生,研究方向为心血管超声,E-mail:zhangsiranranran@163.com。通信作者礼广森,博士,主任医师,研究方向为心血管超声,E-mail:liguansen09@163.com。

50% ~ 75% group, while RAAEF and RASRa increased (all $P < 0.05$). Compared with control group and stenosis rate of 50% ~ 75% group, RAPEF, RASRs, RASRe and RASRa decreased, while RAV_{max} , RAV_{min} , RAV_p , $RAVI_{max}$ and RAAEF increased in stenosis rate of $\geq 75\%$ group (all $P < 0.05$). There was a significant correlation between 2D-STI parameters and NT-proBNP and Gensini scores. The area under the curve of right atrial function in TVCAD patients without myocardial infarction was 0.9048, 0.8917 and 0.9564 for 2D-STI, RT-3DE and their combined use, respectively. The diagnostic efficacy of the two methods was significantly higher when used in combination than when used alone, and 2D-STI was superior to RT-3DE.

Conclusion When evaluating the right atrial function of TVCAD patients without myocardial infarction, the diagnostic efficacy of 2D-STI combined with RT-3DE is higher than that of using it alone, and 2D-STI is superior to RT-3DE.

[KEY WORDS] triple vessel coronary artery disease; two-dimensional speckle tracking imaging; real-time three-dimensional echocardiography; right atrial function

冠心病三支血管病变 (triple vessel coronary artery disease, TVCAD) 是一种十分高危的冠心病类型, 由于三支血管供血范围较单支及双支血管广泛, 病变后更易导致心功能不全。常规超声心动图在反映心室结构及心肌运动能力时, 常受主观因素影响。二维斑点追踪技术 (two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI) 能灵敏地检测出心肌缺血所致的功能障碍, 定量反映整个心动周期心脏各个组成部分的运动能力, 已被证明能准确量化右心房功能^[1-2]。实时三维超声心动图 (real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE) 可以通过三维立体成像对心腔动态追踪, 准确反映心腔容积变化, 其测量值与磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 高度相关^[3]。研究表明, 右心劳损预测患者结局的能力高于左心, 且心房劳损预测优于心室, 右心房容积 (right atrial volume, RAV) 和功能是冠状动脉疾病发病率和死亡率的重要预测因子^[4-5]。目前已经有越来越多的研究表明 2D-STI 联合 RT-3DE 在临床实践中的应用潜力, 无创多模态影像学技术融合评估患者的心脏功能成为研究趋势, 2D-STI 联合 RT-3DE 对无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能进行评估十分必要。本研究旨在对此进行探讨。

1 资料和方法

1.1 研究对象

根据欧洲心脏病学会稳定型冠状动脉疾病诊疗指南^[6], 从 2023 年 4 月—10 月因心绞痛就诊于我院的患者中筛选出冠状动脉造影检查显示三支血管 (左前降支、左回旋支、右冠状动脉) 狭窄率 $\geq 50\%$ 的患者 56 例。所有患者均为窦性心律、均有心绞痛病史, 但均未发生过心肌梗死。另选取年龄和性别与之匹配的健康受检者 30 例作为对照。排除

标准: 既往接受过冠状动脉血运重建治疗; 出现冠心病相关并发症 (乳头肌功能失调等); 重度瓣膜功能障碍 (重度三尖瓣反流等); 合并会对心脏造成损伤的疾病 (系统性红斑狼疮等); 先天性心脏病 (房间隔缺损等); 房颤; 图像质量差; 拒绝冠状动脉造影。

将筛选出的 56 例患者分为两组: 狭窄率 50% ~ 75% 组 28 例, 其中男性 19 例, 女性 9 例, 年龄 39 ~ 84 岁, 平均 (62.21 ± 10.96) 岁; 狭窄率 $\geq 75\%$ 组 28 例, 其中男性 18 例, 女性 10 例, 年龄 48 ~ 84 岁, 平均 (65.61 ± 9.75) 岁。健康受检者 30 例, 其中男性 20 例, 女性 10 例, 年龄 46 ~ 84 岁, 平均 (62.70 ± 9.83) 岁。本研究经本院医学伦理委员会审核通过 (审批号: 伦审 2023 第 99 号), 所有受试者均签署知情同意书。

1.2 资料收集

记录受试者的性别、年龄、身高、体质量, 并计算体质指数 (body mass index, BMI)、体表面积 (body surface area, BSA)。受试者安静休息 10 ~ 15 min 后, 记录其心率、血压。抽取受试者空腹状态下外周静脉血 3 mL, 离心后取血清, 采用全自动化学发光法测定氨基末端脑钠肽前体 (N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP) 水平。

1.3 冠状动脉狭窄 Gensini 评分

根据冠状动脉造影结果, 采用改良 Gensini 评分^[7]方法: 不同冠状动脉分支节段所对应的权重系数乘以该段狭窄程度所对应的分数, 最终结果等于各个节段评分之和。

1.4 常规超声心动图及 RT-3DE 参数测量

应用 GE Vivid E9 超声诊断仪, 配有 M5S-D 探头, 嘱受试者左侧卧位, 在连接心电图后进行检查, 正常呼吸时屏气 3 s, 以获得较好图像, 测量常规参数。获得以右心为主四腔切面, 形成三维全容积图像后储存并进行在线分析, 在收缩末期和舒张末期

手动描计右心房心内膜,获得右心房最大容积(RAV_{max})、最小容积(RAV_{min})、收缩前容积(RAV_p),并计算右心房被动射血分数(right atrial passive ejection fraction, RAPEF)、右心房主动射血分数(right atrial active ejection fraction, RAAEF)、右心房最大容积指数(maximum of right atrial volume index, $RAVI_{max}$)。 $RAPEF = (RAV_{max} - RAV_p) / RAV_{max} \times 100\%$, $RAAEF = (RAV_p - RAV_{min}) / RAV_p \times 100\%$, $RAVI_{max} = RAV_{max} / BSA$ 。

1.5 2D-STI 参数测量

获得以右心为主的心尖四腔切面,以最大限度地显示右心房,储存3个心动周期图像。将图像导入EchoPAC工作站,手动描绘出心内膜曲线,确定感兴趣区(region of interest, ROI),软件自动提供其他心房壁上的6个示踪点,获得收缩期右心房应变率(right atrium strain rate during systole, RASRs)、舒张早期右心房应变率(right atrium strain rate during early diastole, RASRe)、舒张晚期右心房应变率(right atrium strain rate during late diastole, RASRa)。

1.6 统计学分析

采用SPSS 27.0软件分析数据,计量资料以 $\bar{x} \pm s$

表示,计数资料以例(%)表示,三组间连续变量差异比较采用单因素方差分析,分类变量差异比较采用卡方检验,应变率与NT-proBNP、Gensini评分的相关性采用Pearson相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用Bland-Altman方法对30名随机受试者的2D-STI参数进行观察者内和观察者间变异性分析。ROC曲线分析单独使用2D-STI、RT-3DE以及二者联合使用对无心肌梗死的TVCAD患者右心房功能的诊断价值。

2 结果

2.1 一般资料比较

对照组、狭窄率50%~75%组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组的性别、年龄、心率、血压、BMI差异不明显,无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与对照组相比,狭窄率50%~75%组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组NT-proBNP水平升高,分别是对照组的6.28倍和42.38倍(均 $P < 0.05$)。与狭窄率50%~75%组相比,狭窄率 $\geq 75\%$ 组NT-proBNP水平升高了4.96倍($P < 0.05$;表1)。

表1. 一般资料比较

Table 1. Comparison of general information

项目	对照组($n=30$)	狭窄率50%~75%组($n=28$)	狭窄率 $\geq 75\%$ 组($n=28$)	检验值	P
男/女/[例(%)]	20(66.67)/10(33.33)	19(67.86)/9(32.14)	18(64.29)/10(35.71)	0.083	0.959
年龄/岁	62.70 $\pm$ 9.83	62.21 $\pm$ 10.96	65.61 $\pm$ 9.75	0.915	0.405
心率/(次/分)	66.80 $\pm$ 5.30	67.54 $\pm$ 5.01	69.18 $\pm$ 6.17	1.402	0.252
BMI/(kg/m ²)	24.64 $\pm$ 2.57	24.19 $\pm$ 4.10	25.36 $\pm$ 3.61	0.814	0.446
收缩压/mmHg	132.10 $\pm$ 7.95	131.39 $\pm$ 8.75	133.29 $\pm$ 7.50	0.393	0.676
舒张压/mmHg	78.23 $\pm$ 4.11	78.71 $\pm$ 5.37	80.11 $\pm$ 6.46	0.940	0.395
NT-proBNP/(ng/L)	54.84 $\pm$ 23.88	399.01 $\pm$ 146.35 ^a	2379.13 $\pm$ 879.18 ^{ab}	173.365	<0.001

注:a为 $P < 0.05$,与对照组比较;b为 $P < 0.05$,与狭窄率50%~75%组比较。

2.2 常规超声心动图和RT-3DE参数比较

对照组、狭窄率50%~75%组右心房左右径、右心房上下径均无明显差异($P > 0.05$)。与对照组相比,狭窄率50%~75%组RAPEF减低了10.15%,而RAAEF升高了0.19倍(均 $P < 0.05$)。与对照组相比,狭窄率 $\geq 75\%$ 组RAPEF减低了47.83%,而右心房左右径、右心房上下径、 RAV_{max} 、 RAV_{min} 、 RAV_p 、 $RAVI_{max}$ 、RAAEF分别升高了0.29倍、0.17倍、0.52倍、0.77倍、1.00倍、0.48倍、0.47倍(均 $P < 0.05$)。与狭窄率50%~75%组相比,狭窄率 $\geq 75\%$ 组RAPEF减低了41.93%,而右心房左右径、右心房上下径、 RAV_{max} 、 RAV_{min} 、 RAV_p 、 $RAVI_{max}$ 、RAAEF分别

升高了0.20倍、0.14倍、0.46倍、0.68倍、0.81倍、0.42倍、0.23倍(均 $P < 0.05$;表2和图1)。

2.3 2D-STI参数比较

与对照组相比,狭窄率50%~75%组RASRe减低了23.98%,而RASRa升高了0.15倍(均 $P < 0.05$),狭窄率 $\geq 75\%$ 组RASRs、RASRe、RASRa分别减低了44.22%、50.23%、45.77%(均 $P < 0.05$)。与狭窄率50%~75%组相比,狭窄率 $\geq 75\%$ 组RASRs、RASRe、RASRa分别减低了46.12%、34.52%、52.81%(均 $P < 0.05$;表3和图2)。

2.4 相关性分析

将狭窄率50%~75%组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组合

并,结果发现,NT-proBNP 与 RASRs 呈显著负相关($r=-0.739, P<0.001$),与 RASRe、RASRa 呈显著正相关($r=0.565, P<0.001; r=0.795, P<0.001$); Gensini 评分与 RASRs 呈显著负相关($r=-0.724, P<0.001$),与 RASRe、RASRa 呈显著正相关($r=0.636, P<0.001; r=0.744, P<0.001$)。

表 2. 三组间常规超声心动图及 RT-3DE 参数比较

Table 2. Comparison of conventional echocardiography and RT-3DE parameters among the three groups

项目	对照组($n=30$)	狭窄率 50% ~ 75% 组($n=28$)	狭窄率 $\geq 75\%$ 组($n=28$)	检验值	P
右心房上下径/mm	43.97 $\pm$ 5.52	45.22 $\pm$ 5.74	51.34 $\pm$ 7.38 ^{ab}	11.341	<0.001
右心房左右径/mm	36.18 $\pm$ 3.47	38.69 $\pm$ 4.65	46.62 $\pm$ 6.57 ^{ab}	33.589	<0.001
TAPSE/mm	20.42 $\pm$ 4.41	18.56 $\pm$ 3.19	15.67 $\pm$ 3.75 ^{ab}	11.254	<0.001
s'TV/(cm/s)	12.21 $\pm$ 2.97	10.76 $\pm$ 3.47	9.39 $\pm$ 3.02 ^{ab}	5.773	0.004
e'TV/(cm/s)	10.74 $\pm$ 2.93	10.35 $\pm$ 2.56	7.69 $\pm$ 2.36 ^{ab}	11.296	<0.001
a'TV/(cm/s)	9.77 $\pm$ 2.67	8.86 $\pm$ 2.43	7.17 $\pm$ 2.36 ^{ab}	8.030	<0.001
E _{TV} /ATV	1.10 $\pm$ 0.35	1.04 $\pm$ 0.40	0.76 $\pm$ 0.40 ^{ab}	6.471	0.002
E _{TV} /e'TV	4.85 $\pm$ 2.00	5.89 $\pm$ 1.91	6.57 $\pm$ 2.29 ^{ab}	4.527	0.014
LVEF/%	62.33 $\pm$ 4.92	59.75 $\pm$ 5.58	47.89 $\pm$ 4.20 ^{ab}	69.564	<0.001
容积参数					
RAV _{max} /mL	39.17 $\pm$ 5.27	40.64 $\pm$ 2.84	59.36 $\pm$ 7.82 ^{ab}	111.634	<0.001
RAV _{min} /mL	18.87 $\pm$ 3.07	19.93 $\pm$ 2.83	33.46 $\pm$ 5.97 ^{ab}	107.519	<0.001
RAVp/mL	23.50 $\pm$ 3.36	26.04 $\pm$ 2.40	47.04 $\pm$ 7.19 ^{ab}	209.852	<0.001
RAVI _{max}	21.69 $\pm$ 4.21	22.58 $\pm$ 2.50	32.14 $\pm$ 6.36 ^{ab}	44.625	<0.001
功能参数					
RAPEF/%	39.81 $\pm$ 5.80	35.77 $\pm$ 6.18 ^a	20.77 $\pm$ 6.24 ^{ab}	78.095	<0.001
RAAEF/%	19.72 $\pm$ 5.93	23.54 $\pm$ 7.24 ^a	28.90 $\pm$ 6.65 ^{ab}	14.059	<0.001

注:a 为 $P<0.05$,与对照组比较;b 为 $P<0.05$,与狭窄率 50% ~ 75% 组比较。

表 3. 三组间 2D-STI 参数比较

Table 3. Comparison of 2D-STI parameters among the three groups

单位: s^{-1}

项目	对照组($n=30$)	狭窄率 50% ~ 75% 组($n=28$)	狭窄率 $\geq 75\%$ 组($n=28$)	检验值	P
RASRs	1.99 $\pm$ 0.33	2.06 $\pm$ 0.21	1.11 $\pm$ 0.16 ^{ab}	130.47	<0.001
RASRe	-2.21 $\pm$ 0.39	-1.68 $\pm$ 0.65 ^a	-1.10 $\pm$ 0.21 ^{ab}	43.690	<0.001
RASRa	-2.01 $\pm$ 0.25	-2.31 $\pm$ 0.21 ^a	-1.09 $\pm$ 0.18 ^{ab}	253.319	<0.001

注:a 为 $P<0.05$,与对照组比较;b 为 $P<0.05$,与狭窄率 50% ~ 75% 组比较。

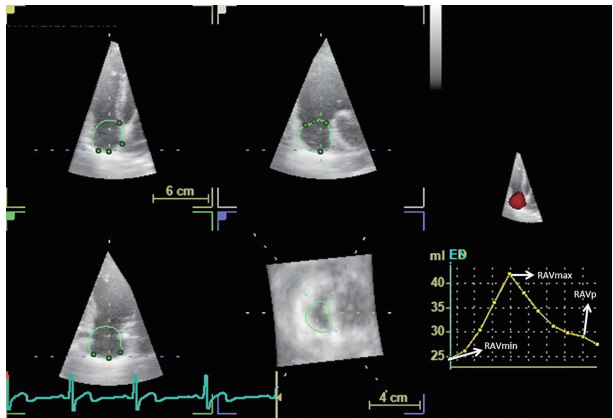


图 1. RT-3DE 右心房时间-容积曲线图

Figure 1. The curve of right atrial time-volume by RT-3DE

2.5 ROC 曲线

2D-STI、RT-3DE 及二者联合应用对无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能的曲线下面积分别为 0.9048、0.8917、0.9564,两种方法联合应用的诊断效能明显高于单独使用,且 2D-STI 优于 RT-3DE(图 3)。

2.6 重复性分析

2D-STI 参数在观察者内部及观察者之间具有良好的结果再现性(图 4)。

3 讨论

冠心病是造成全世界人口死亡的主要原因,TVCAD

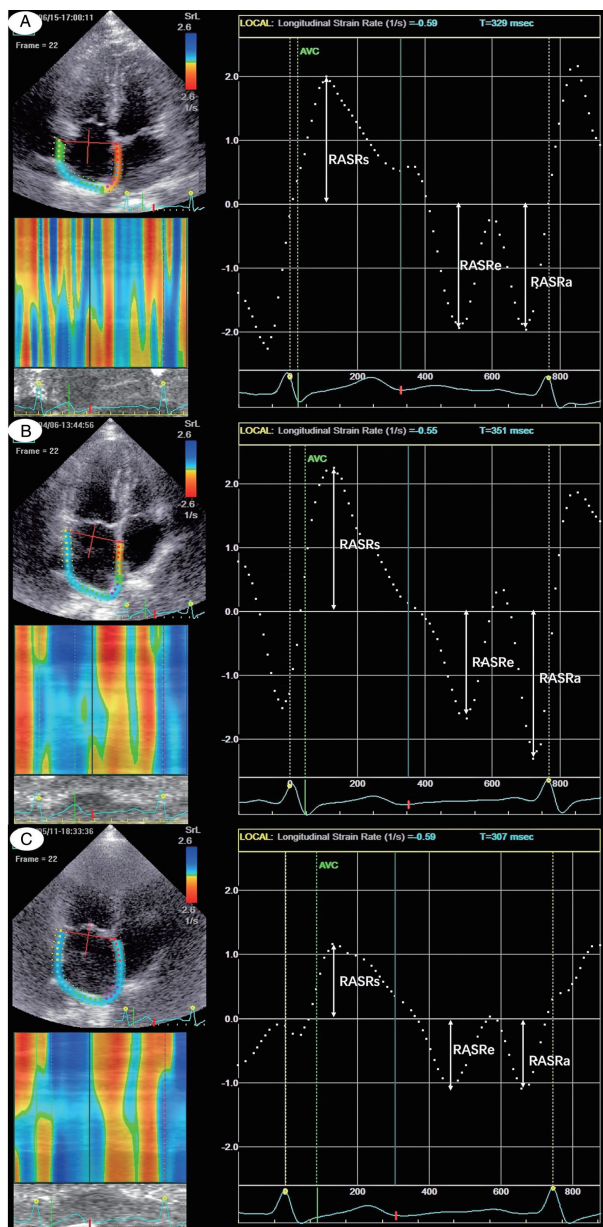


图2. 三组右心房整体纵向应变率曲线图

A 为对照组, B 为狭窄率 50% ~ 75% 组, C 为狭窄率 ≥ 75% 组。

Figure 2. Right atrial global longitudinal strain rate curves of the three groups

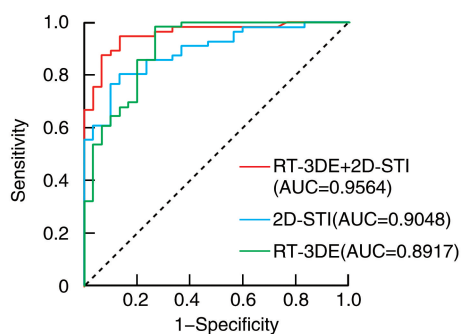


图3. ROC 曲线图

Figure 3. Diagram of ROC curve

是冠心病的一种严重类型,尚未发生心肌梗死的 TVCAD 患者起病往往更加隐匿,预后也较差^[8]。研究表明,在未发生心肌梗死的冠心病患者中存在严重三支血管病变者的心功能不全比例仅为 18.8%,明确该诊断时,血管狭窄程度通常已较严重,心脏早已出现严重心肌缺血^[9-10]。

右心房一直以来是被忽略的腔室,却是全身血液进入心脏的枢纽。右心房时相功能在整个心动周期中发挥三大重要作用:储存功能、管道功能、泵功能。与左心房不同,右心房与压力较低的右心室相通,与右心室舒缩功能关系密切,是调节心室充盈的重要心腔。从长期来看,右心房时相功能可能会影响左心功能。此外,左心室的舒张功能受损也可影响右心室舒张功能,进而影响右心房功能^[11]。右心房对右心室功能调节极为重要,其结构和功能可在心血管疾病的预后评估中起到不可忽视的作用。心肌应变参数是评价冠心病患者心肌缺血区域心肌形变能力的敏感指标^[12],能够直观反映缺血心肌局部或整体运动能力。RT-3DE 采用实时三维成像技术,无角度依赖,不会压缩右心房长度,能准确检测各心脏周期心腔容积变化^[13]。2D-STI 和 RT-3DE 已被证实评估右心房功能具有一定优势,弥补了常规超声心动图无法全面评估右心房功能的缺憾。

心肌缺血早期,38% 的患者有舒张功能受限,其发生早于收缩功能受限^[14]。在右心室舒张期,右心房直接暴露于心室压力。心房容量可能反映潜在舒张期功能不全的严重程度^[15]。RAV 作为右心舒张期功能障碍严重程度和持续时间的标志,可以提供更多的预后信息。本研究发现,狭窄率 ≥ 75% 组三维容积参数 (RAV_{max} 、 RAV_{min} 、 RAV_p 、 RAV_{max}) 较对照组、狭窄率 50% ~ 75% 组均显著增加,这是随着心肌缺血程度的增加,右心室的舒缩功能出现障碍,右心室顺应性恶化,右心房压力增加以维持足够的心室充盈。由于正常心肌细胞代偿能力有限,当右心房心肌代偿不足时,心肌组织出现不同程度重构,顺应性降低,长此以往右心房增大。

本研究发现,狭窄率 ≥ 75% 组 RASRs 较对照组、狭窄率 50% ~ 75% 组明显降低,提示狭窄率 ≥ 75% 组患者右心房储存功能受损严重,狭窄率 ≥ 75% 组患者心肌细胞长时间处于低灌注状态,心肌发生进行性纤维化,变形能力及被动牵拉能力减弱,并且心房肌比心室肌薄弱,右心房长期暴露于高充盈压的右心室,右心房后负荷增加,出现失代偿,最终表现为有效储存量下降。与对照组相比,

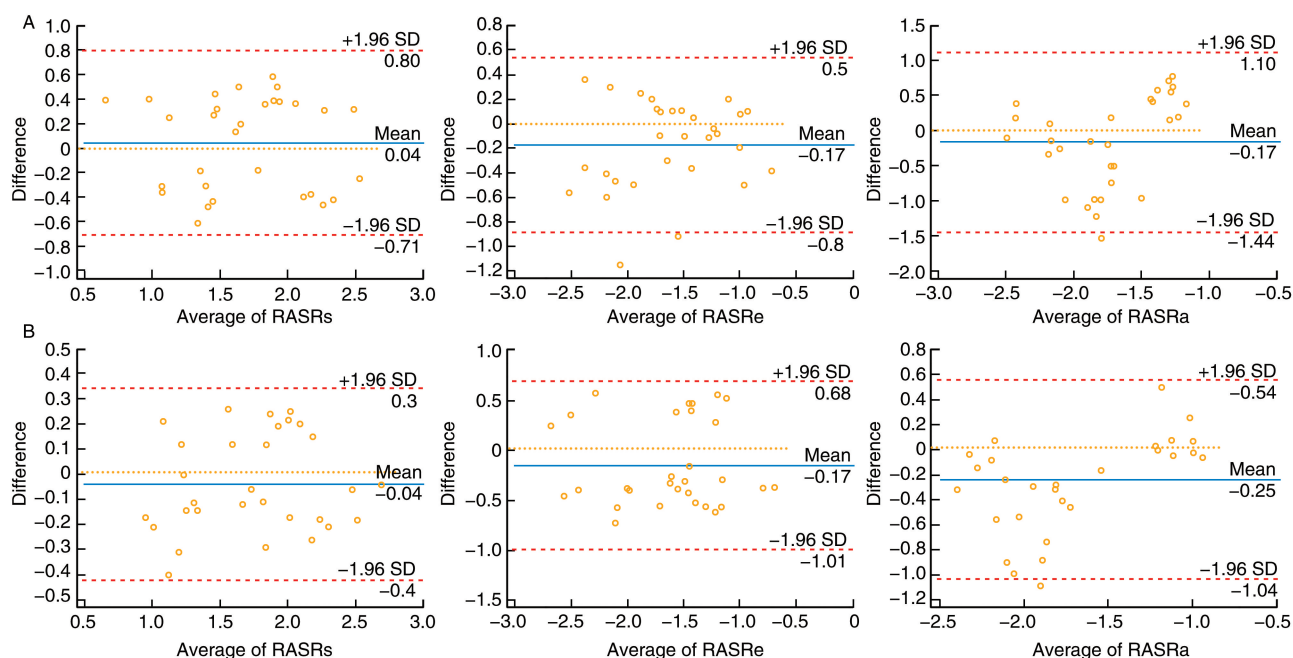


图 4. 2D-STI 参数 Bland-Altman 图

A 图显示观察者之间的差异, B 图显示观察者之内的差异。

Figure 4. Bland-Altman diagram of 2D-STI parameters

狭窄率 50% ~ 75% 组 RASRe 降低, 狭窄率 $\geq 75\%$ 组降低更明显, 表明随着冠状动脉三支血管狭窄程度增加, 右心房管道功能显著下降。由于心肌细胞缺血, 右心室主动向肺动脉泵血能力减弱, 血液淤滞于右心室内, 主动抽吸作用减低, 管道功能下降。右心房心肌顺应性降低严重影响腔静脉及冠状静脉血液回流, 使得心室舒张早期右心房被动排空能力下降, 管道功能明显受损。与对照组相比, 狭窄率 50% ~ 75% 组 RASRa 增加, 而狭窄率 $\geq 75\%$ 组 RASRa 较对照组、狭窄率 50% ~ 75% 组显著降低, 说明轻度狭窄时泵功能增加, 而重度狭窄时泵功能下降。右心房作为右心室充盈辅助泵, 在心室舒张早期可以代偿右心室顺应性下降所致的充盈不足。研究表明, Frank-Starling 定律也同样适用于右心房^[16]。根据该定律, 在一定范围内心房心肌纤维延长, 右心房容量负荷增加, 主动射血能力提高, 泵功能增强。随着狭窄程度增加, 心肌细胞缺血严重以及右心房容量负荷过重, 心肌细胞代偿不足, 泵功能减低。

与对照组相比, 狭窄率 50% ~ 75% 组管道功能减低, 泵功能代偿性增加, 说明患者的管道功能受损早于泵功能。研究发现, 右心房三个功能中, 收缩功能受损迟于管道功能。本研究与既往研究结果一致^[17]。分析其原因是心肌细胞长期缺氧缺血, 心肌组织发生重构, 进而导致右心房心肌顺应性降

低, 而右心房作为一个低压力腔室, 其心肌顺应性降低直接影响到上下腔静脉血液回流, 所以在心室舒张早期, 右心房管道功能受损更明显。

NT-proBNP 由心肌细胞合成分泌, 文献表明该物质与心肌受损关系密切^[18]。当心脏收缩功能障碍时, 血流储存于心室中, 心室容量增加, 导致心室容积增大, 从而挤压心室壁, 刺激 NT-proBNP 的合成释放, 外周血中浓度增加^[19]。本研究中, 狭窄率 50% ~ 75% 组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组 NT-proBNP 升高, 且狭窄率 $\geq 75\%$ 组升高最明显。随着三支冠状动脉狭窄程度增加, NT-proBNP 水平也随之升高, 说明 NT-proBNP 水平与心肌缺血缺氧有关。当心肌缺血时, 首先是生化水平发生改变, 随后才出现功能障碍^[20]。相关分析显示, 狭窄率 50% ~ 75% 组、狭窄率 $\geq 75\%$ 组 RASRs 与 NT-proBNP 水平呈负相关, RASRe、RASRa 与 NT-proBNP 水平呈正相关, 表明 NT-proBNP 与 2D-STI 在评价右心房功能方面具有一致性。同理, Gensini 评分结果与 RASRs 呈负相关, 与 RASRe 及 RASRa 呈正相关, 表明 2D-STI 能较好地评估无心肌梗死的 TVCAD 患者右心房功能。

本研究存在一定局限性: (1) 右心房变形能力强且形态不规则, 心房壁太薄, 不能从胸骨旁短轴切面计算心房纵向应变, 测量容积为单平面, 容积大小和应变可能会存在一定误差; (2) 样本数量较少, 需要扩大样本数; (3) 目前还没有针对右心房的

二维应变和三维超声心动图分析软件,本研究所采用技术更适用于分析心室。

综上所述,三支冠状动脉严重狭窄时右心房储存、管道功能及泵功能均有不同程度减低,2D-STI联合 RT-3DE 可以有效评估右心房功能,为临床医生早期诊断无心肌梗死的 TVCAD 患者提供了重要依据。

[参考文献]

- [1] 许丹,王华,霍换换,等.应用二维斑点追踪技术评估阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患者右心室功能[J].中国临床医学影像杂志,2024,35(2):96-99.
XU D, WANG H, HUO H H, et al. Evaluation of right ventricular function in patients with obstructive sleep apnea syndrome by two-dimensional speckle tracking imaging[J]. J Chin Clin Med Imaging, 2024, 35(2): 96-99.
- [2] GÜREL E, VEZİR D, GÜÇTEKİN T, et al. The impact of cystic fibrosis- and noncystic fibrosis-bronchiectasis on pulmonary artery wall thickness and right heart functions assessed by speckle-tracking echocardiography[J]. Anatol J Cardiol, 2023, 27(6): 319-327.
- [3] DE BOSSCHER R, CLAEYS M, DAUSIN C, et al. Three-dimensional echocardiography of the athlete's heart: a comparison with cardiac magnetic resonance imaging[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2023, 39(2): 295-306.
- [4] GAO Y, PU C, LI Q, et al. Assessment of right atrial function measured with cardiac MRI feature tracking for predicting outcomes in patients with dilated cardiomyopathy[J]. Radiology, 2024, 310(3): e232388.
- [5] YAN P, SUN B, SHI H, et al. Left atrial and right atrial deformation in patients with coronary artery disease: a velocity vector imaging-based study[J]. PLoS One, 2012, 7(12): e51204.
- [6] MONTALESCOT G, SECHTEM U, ACHENBACH S, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the task force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology[J]. Eur Heart J, 2013, 34(38): 2949-3003.
- [7] RAMPIDIS G P, BENETOS G, BENZ D C, et al. A guide for gensini score calculation[J]. Atherosclerosis, 2019, 287: 181-183.
- [8] TAKEUCHI M, WU V C. Application of left ventricular strain to patients with coronary artery disease[J]. Curr Opin Cardiol, 2018, 33(5): 464-469.
- [9] 韩霏,禹子清,秦胜梅,等.无心肌梗死的严重三支血管病变患者心功能不全与其心电图指标的相关性分析[J].中国循环杂志,2018,33(5):441-445.
HAN F, YU Z Q, QIN S M, et al. Analysis on the correlation between ECG parameters and cardiac function in severe triple coronary vessel disease patients without myocardial infarction[J]. Chin Circ J, 2018, 33(5): 441-445.
- [10] WANG B, LI T, HAN X, et al. The level of circulating microparticles in patients with coronary heart disease: a systematic review and Meta-analysis[J]. J Cardiovasc Transl Res, 2020, 13(5): 702-712.
- [11] BADANO L P, KOLIAS T J, MURARU D, et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/industry task force to standardize deformation imaging[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(6): 591-600.
- [12] 朱慧,左后娟,马飞,等.二维斑点追踪超声心动图评价非缺血性心肌病和缺血性心肌病的左心室功能[J].中国动脉硬化杂志,2021,29(7):595-599.
ZHU H, ZUO H J, MA F, et al. Evaluation of left ventricular function in patients with non-ischemic cardiomyopathy and ischemic cardiomyopathy by two-dimensional speckle tracking echocardiography[J]. Chin J Arterioscler, 2021, 29(7): 595-599.
- [13] VÎJÎAC A, VĂTĂȘESCU R, ONCIUL S, et al. Right atrial phasic function and outcome in patients with heart failure and reduced ejection fraction: insights from speckle-tracking and three-dimensional echocardiography[J]. Kardiol Pol, 2022, 80(3): 322-331.
- [14] POULSEN S H, JENSEN S E, EGSTRUP K. Longitudinal changes and prognostic implications of left ventricular diastolic function in first acute myocardial infarction[J]. Am Heart J, 1999, 137(5): 910-918.
- [15] 郭园园,王雲雲,李海龙.三维超声心动图右心室特征对急性左心室下壁心肌梗死患者 PCI 术后心力衰竭的预测价值[J].中国动脉硬化杂志,2024,32(2):149-154.
GUO Y Y, WANG Y Y, LI H L. Predictive value of right ventricular features on three-dimensional echocardiography for heart failure after PCI in patients with inferior wall myocardial infarction[J]. Chin J Arterioscler, 2024, 32(2): 149-154.
- [16] LISIN R, BALAKIN A, MUKHLYNINA E, et al. Differences in mechanical, electrical and calcium transient performance of the isolated right atrial and ventricular myocardium of guinea pigs at different preloads (lengths)[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(21): 15524.
- [17] EISVAND M, MOHSENI-BADALABADI R, HOSSEINSABET A. Evaluation of the right atrial phasic functions in patients with anterior ST-elevation myocardial infarction: a 2D speckle-tracking echocardiography study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2022, 22(1): 102.
- [18] OUYANG Y, HU S, CHANG M, et al. Catecholamines-based myocardial injury after acute ischemic stroke and effects of Naioxintong capsule therapy[J]. Phytomedicine, 2024, 132: 155697.
- [19] CHRYSOHOOU C, KONSTANTINOU K, TSIIOFIS K. The role of NT-proBNP levels in the diagnosis and treatment of heart failure with preserved ejection fraction: it is not always a hide-and-seek game[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2024, 11(7): 225.
- [20] AZOZ A, YOUSSEF A, ALSHEHRI A, et al. Correlation between ST segment shift and cardiac diastolic function in patients with acute myocardial infarction[J]. J Electrocardiol, 2018, 51(4): 592-597.

(此文编辑 文玉珊)