

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20210820

· 短篇论著 ·

冠状动脉慢性完全闭塞病变治疗后远期心脏磁共振右心室心肌应变的初步分析

李昕¹, 陈辉¹, 宋清伟¹, 刘爱连¹, 黄榕翀², 李晓帆³, 李智勇^{1*}

1. 大连医科大学附属第一医院放射科, 大连 116011
2. 大连医科大学附属第一医院心内科, 大连 116011
3. 加拿大圆心血管影像有限公司, 卡尔加里 T2P 3T6

【摘要】 **目的** 应用心脏磁共振 (CMR) 特征追踪技术定量评估冠状动脉慢性完全闭塞病变 (CTO) 患者临床治疗后远期随访期间右心室功能及心肌应变的变化。**方法** 纳入 2015 年 1 月至 2019 年 12 月于大连医科大学附属第一医院确诊为冠状动脉 CTO 并于治疗前后 2 次完成 CMR 检查的患者 13 例。采用 CVI42 5.10 软件测量左、右心室的结构和功能参数及右心室心肌应变参数, 比较治疗前后各项参数的差异。**结果** 13 例患者 2 次 CMR 检查的间隔时间为 259~1 168 d, 平均间隔时间为 (500.08±228.34) d。就左心室参数而言, 治疗后左心室舒张末期容积、左心室收缩末期容积均较治疗前增大, 左心室质量较治疗前降低 [148.35 (141.70, 181.66) mL vs 140.08 (116.42, 170.90) mL、77.78 (52.41, 100.24) mL vs 56.07 (47.59, 89.93) mL、(113.67±16.81) g vs (127.14±22.99) g, P 均<0.05], 其余左心室结构和功能参数在治疗前后比较差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。就右心室参数而言, 治疗后右心室舒张末期容积 (RVEDV)、右心室收缩末期容积 (RVESV)、右心室质量 (RVM) 均较治疗前增大 [(144.52±25.14) mL vs (118.46±28.08) mL、(71.51±14.59) mL vs (55.62±15.93) mL、(35.05±7.31) g vs (30.43±5.95) g, P 均<0.05], 右心室射血分数 (RVEF) 等右心室功能参数及各项心肌应变参数在治疗前后比较差异均无统计学意义 (P 均>0.05)。**结论** 在治疗后远期随访期间, 冠状动脉 CTO 患者的右心室功能参数 RVEF 及心肌应变保持稳定, 但结构参数 RVEDV、RVESV 及 RVM 均增大。

【关键词】 心脏磁共振成像; 冠状动脉慢性完全闭塞病变; 右心室; 心肌应变

【中图分类号】 R 543.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2097-1338(2022)05-0570-05

Preliminary analysis of long-term right ventricular myocardial strain of coronary artery chronic total occlusion after treatment by cardiac magnetic resonance

LI Xin¹, CHEN Hui¹, SONG Qing-wei¹, LIU Ai-lian¹, HUANG Rong-chong², LI Xiao-fan³, LI Zhi-yong^{1*}

1. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning, China
2. Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning, China
3. Circle Cardiovascular Imaging Inc, Calgary T2P 3T6, Alberta, Canada

【Abstract】 **Objective** To quantitatively evaluate the changes of right ventricular function and myocardial strain in patients with coronary artery chronic total occlusion (CTO) during long-term follow-up after treatment by cardiac magnetic resonance (CMR). **Methods** A total of 13 patients who were diagnosed as coronary artery CTO in The First Affiliated Hospital of Dalian Medical University from Jan. 2015 to Dec. 2019 and completed CMR scanning before and after treatment were enrolled. The left and right ventricular structural and functional parameters as well as right ventricular myocardial strain parameters were measured by CVI42 5.10 software, and the differences of these parameters were analyzed before and after treatment. **Results** The interval between 2 CMR examinations was 259 to 1 168 d in the patients, with an average of (500.08±228.34) d. In terms of left ventricular parameters, left ventricular end-diastolic volume and left ventricular end-systolic volume were significantly increased after treatment, while left ventricular mass was significantly decreased (148.35 [141.70, 181.66] mL vs 140.08 [116.42, 170.90] mL, 77.78 [52.41, 100.24] mL vs 56.07 [47.59, 89.93] mL, [113.67±16.81] g vs [127.14±22.99] g, all P <0.05); and there were no significant differences in other left ventricular structural or functional parameters before and after treatment (all P >0.05). In terms of right ventricular parameters, right ventricular

【收稿日期】 2021-08-20 **【接受日期】** 2021-10-26

【作者简介】 李昕, 硕士, 住院医师. E-mail: viclix@126.com

*通信作者 (Corresponding author). Tel: 0411-83635963, E-mail: zjy_lzy@126.com

end-diastolic volume (RVEDV), right ventricular end-systolic volume (RVESV), and right ventricular mass (RVM) were significantly increased after treatment ($[144.52 \pm 25.14]$ mL vs $[118.46 \pm 28.08]$ mL, $[71.51 \pm 14.59]$ mL vs $[55.62 \pm 15.93]$ mL, $[35.05 \pm 7.31]$ g vs $[30.43 \pm 5.95]$ g, all $P < 0.05$); and there were no significant differences in right ventricular function parameters such as right ventricular ejection fraction (RVEF) or myocardial strain parameters (all $P > 0.05$).

Conclusion During long-term follow-up after treatment, the right ventricular functional parameter RVEF and myocardial strain of coronary artery CTO patients are stable, while the structural parameters RVEDV, RVESV and RVM are increased.

[**Key words**] cardiac magnetic resonance imaging; coronary artery chronic total occlusion; right ventricle; myocardial strain

[Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(5): 570-574]

冠状动脉慢性完全闭塞病变 (chronic total occlusion, CTO) 是指冠状动脉管腔完全闭塞且闭塞时间 > 3 个月的病变^[1], 占有冠状动脉疾病的 15%~30%, 经皮冠状动脉介入 (percutaneous coronary intervention, PCI) 是最有效的冠状动脉血运重建方法之一, 但目前临床中关于 CTO 患者能否从血运重建中获益存在争议, 值得深入研究。

近年来, 右心室功能在疾病预后中的重要意义受到关注, 已有研究证明右心室功能障碍是影响缺血性心肌病患者运动耐量和预后的重要因素^[2], 也是心肌梗死及心力衰竭死亡率的独立预测因素^[3]。心肌应变被认为可较常规右心室射血分数 (right ventricular ejection fraction, RVEF) 更为灵敏地反映心脏收缩功能变化。心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 特征追踪技术 (feature tracking, FT) 利用常规电影序列图像, 无需额外特殊序列, 即可获得心肌应变参数, 目前已有研究对一些疾病的右心室心肌应变改变进行了初步分析^[4-6], 但关于冠状动脉 CTO 患者治疗后远期右心室功能及心肌应变的变化鲜有报道。本研究采用 CMR-FT 定量评估冠状动脉 CTO 患者在治疗后远期随访期间右心室功能及心肌应变的变化。

1 资料和方法

1.1 病例资料 收集 2015 年 1 月至 2019 年 12 月于大连医科大学附属第一医院心内科行冠状动脉造影确诊为冠状动脉 CTO 的 69 例患者 (男 50 例、女 19 例) 的资料。纳入标准: (1) 治疗前冠状动脉造影检查显示 1 支或 1 支以上冠状动脉血流完全中断, 即心肌梗死溶栓治疗 (thrombolysis in myocardial infarction, TIMI) 正向血流分级为 0 级; (2) 冠状动脉闭塞时间 > 3 个月; (3) 治疗前及治疗后随访时均行 CMR 检查。排除标准: (1) CMR

检查禁忌证; (2) 近 3 个月内因心力衰竭、心肌梗死或不稳定型心绞痛住院治疗; (3) NYHA 心功能分级为 IV 级; (4) 有肝、肾功能不全等严重影响心脏功能的疾病; (5) 有重症瓣膜性心脏病、原发性心肌病、先天性心脏病等病史;

(6) CMR 图像质量差影响图像分析。本研究通过大连医科大学附属第一医院伦理委员会审批 (LCKY2015-22), 检查前所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 所有入组 CTO 患者的 CMR 检查均采用 HDxt 型 1.5 T 磁共振仪 (美国 GE Healthcare 公司) 完成, 使用心脏专用 8 通道相控阵接收线圈, 在心电和呼吸门控下使用稳态进动快速采集电影序列完成扫描, 扫描标准协议符合 CMR 标准。扫描参数: 重复时间为 3.6 ms, 回波时间为 1.6 ms, 翻转角为 50° , 带宽为 125 Hz, 视野为 $350 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$, 矩阵为 192×224 , 层厚为 10 mm, 层间距为 0 mm。

1.3 图像分析与参数测量 本研究所有心脏参数均采用 CVI42 5.10 软件 (加拿大 Circle Cardiovascular Imaging 公司) 进行图像分析和后处理。在左心室短轴电影中确定收缩末期及舒张末期, 从心尖部至基底部分逐层手动勾画左、右心室心内、外膜界线 (乳头肌及肉柱部分排除在心肌之外), 得出左心室舒张末期容积 (left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)、右心室舒张末期容积 (right ventricular end-diastolic volume, RVEDV)、左心室收缩末期容积 (left ventricular end-systolic volume, LVESV)、右心室收缩末期容积 (right ventricular end-systolic volume, RVESV)、左心室每搏输出量 (left ventricular stroke volume, LVSV)、右心室每搏输出量 (right ventricular stroke volume, RVSV)、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、RVEF、左心室输出量 (left ventricular

cardiac output, LVCO)、右心室输出量(right ventricular cardiac output, RVCO)、心率、左心室质量(left ventricular mass, LVM)和右心室质量(right ventricular mass, RVM)。在四腔心、左心室短轴各层面舒张末期电影图像上手动勾画右心室心内、外膜界线,得出右心室整体径向应变(global radial strain, GRS)、整体收缩期径向应变率(global systolic radial strain rate, GRSR)、整体舒张期径向应变率(global diastolic radial strain rate, GDRSR)、整体圆周应变(global circumferential strain, GCS)、整体收缩期圆周应变率(global systolic circumferential strain rate, GCSR)、整体舒张期圆周应变率(global diastolic circumferential strain rate, GDCSR)、整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、整体收缩期纵向应变率(global systolic longitudinal strain rate, GSLSR)和整体舒张期纵向应变率(global diastolic longitudinal strain rate, GDLSR)。

1.4 统计学处理 应用SPSS 22.0软件进行统计学分析。呈正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,呈偏态分布的计量资料以中位数(下四分位数,上四分位数)表示。右心室心肌应变参数的组内及组间一致性分析采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)检验;冠状动脉CTO患者治疗前后2次CMR检查测得的各项心室结构和功能参数及右心室心肌应变参数的比较采用配对 t 检验或

Wilcoxon符号秩检验。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 冠状动脉CTO患者基本资料 69例患者中在治疗前后成功完成2次CMR检查的患者有21例,其中8例患者首次CMR检查在治疗后为避免血管开通影响患者基线心脏功能故未纳入,最终13例冠状动脉CTO患者入组。

13例冠状动脉CTO患者中10例接受PCI支架植入,3例接受保守药物治疗。13例患者均为男性,年龄为36~79岁,平均年龄为(61.62±11.62)岁。合并糖尿病患者6例、高血压10例,有吸烟史者8例。2次CMR检查间隔时间为259~1168d,平均间隔时间为(500.08±228.34)d。随访期间,10例接受PCI治疗的患者中3例发生主要心血管不良事件,其中2例为心绞痛再发,复查冠状动脉造影未见明显变化;1例患者术后未按时服药,反复心绞痛发作,复查冠状动脉造影见非责任血管病变加重。13例患者均未观察到右心室心肌梗死征象。

2.2 治疗前后左心室结构和功能参数分析 13例接受CMR复查的冠状动脉CTO患者中,治疗后LVEDV及LVESV均较治疗前增大($P=0.022$ 、 0.002),而LVM较治疗前降低($P=0.010$),其余结构和功能参数在治疗前后比较差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。见表1。

表1 冠状动脉慢性完全闭塞病变患者治疗前后左心室结构和功能参数分析

参数	治疗前	治疗后	统计值	P 值
LVEDV/mL, $M(Q_L, Q_U)$	140.08 (116.42, 170.90)	148.35 (141.70, 181.66)	$Z=2.630$	0.022
LVESV/mL, $M(Q_L, Q_U)$	56.07 (47.59, 89.93)	77.78 (52.41, 100.24)	$Z=3.830$	0.002
LVSV/mL, $\bar{x} \pm s$	74.76±16.13	77.65±17.15	$t=0.456$	0.656
心率/ min^{-1} , $M(Q_L, Q_U)$	75.00 (73.00, 82.50)	75.00 (75.00, 78.50)	$Z=0.000$	1.000
LVCO/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$), $\bar{x} \pm s$	5.71±1.25	5.93±1.33	$t=0.449$	0.661
LVEF%, $\bar{x} \pm s$	53.41±12.94	49.43±15.19	$t=-1.827$	0.093
LVM/g, $\bar{x} \pm s$	127.14±22.99	113.67±16.81	$t=-3.064$	0.010

LVEDV:左心室舒张末期容积;LVESV:左心室收缩末期容积;LVSV:左心室每搏输出量;LVCO:左心室输出量;LVEF:左心室射血分数;LVM:左心室质量; $M(Q_L, Q_U)$:中位数(下四分位数,上四分位数)。

2.3 治疗前后右心室结构、功能及心肌应变参数分析 13例接受CMR复查的冠状动脉CTO患者中,治疗后RVEDV、RVESV、RVM均较治疗前增大(P 均 <0.05),RVEF等右心室功能参数及各项心肌应变参数在治疗前后比较差异均无统计学意

义(P 均 >0.05)。见表2。

2.4 右心室心肌应变参数的组内、组间一致性分析 在初筛的69例冠状动脉CTO患者中随机选择46例进行右心室心肌应变参数的组内、组间一致性分析。ICC检验结果显示,除GSLSR的组间

ICC值(0.672)偏低外,其余参数的ICC值均>0.75,其中GRS、GCS、GLS的一致性均较好(组内及组间ICC值均>0.89)。

表2 冠状动脉慢性完全闭塞病变患者治疗前后右心室结构、功能及心肌应变参数分析

参数	治疗前	治疗后	统计值	P值
RVEDV/mL, $\bar{x} \pm s$	118.46 ± 28.08	144.52 ± 25.14	$t=3.506$	0.004
RVESV/mL, $\bar{x} \pm s$	55.62 ± 15.93	71.51 ± 14.59	$t=8.259$	<0.001
RVSV/mL, $\bar{x} \pm s$	62.85 ± 16.75	73.01 ± 17.71	$t=1.541$	0.149
心率/ min^{-1} , $M(Q_L, Q_U)$	75.00 (73.00, 82.50)	75.00 (75.00, 78.50)	$Z=0.000$	1.000
RVCO/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$), $M(Q_L, Q_U)$	4.63 (4.22, 5.56)	5.79 (4.36, 6.55)	$Z=1.446$	0.174
RVEF/%, $\bar{x} \pm s$	53.03 ± 7.48	50.27 ± 7.26	$t=-1.070$	0.306
RVM/g, $\bar{x} \pm s$	30.43 ± 5.95	35.05 ± 7.31	$t=2.261$	0.043
GRS/%, $\bar{x} \pm s$	19.57 ± 7.10	16.17 ± 4.35	$t=-1.801$	0.097
GCS/%, $\bar{x} \pm s$	-11.91 ± 4.07	-9.75 ± 2.49	$t=-2.049$	0.063
GLS/%, $\bar{x} \pm s$	-20.49 ± 2.69	-19.88 ± 7.21	$t=-0.384$	0.701
GSRSR/ s^{-1} , $\bar{x} \pm s$	1.57 ± 0.77	1.52 ± 0.40	$t=-0.272$	0.790
GSCSR/ s^{-1} , $\bar{x} \pm s$	-1.02 ± 0.49	-0.86 ± 0.28	$t=-1.216$	0.247
GSLSR/ s^{-1} , $M(Q_L, Q_U)$	-1.32 (-1.22, -1.51)	-1.34 (-1.00, -1.88)	$Z=-0.143$	0.889
GDRSR/ s^{-1} , $\bar{x} \pm s$	-0.94 ± 0.37	-0.86 ± 0.27	$t=-0.750$	0.468
GDCSR/ s^{-1} , $\bar{x} \pm s$	0.57 ± 0.20	0.55 ± 0.18	$t=-0.381$	0.710
GDLSR/ s^{-1} , $\bar{x} \pm s$	1.12 ± 0.29	1.17 ± 0.41	$t=0.388$	0.705

RVEDV:右心室舒张末期容积;RVESV:右心室收缩末期容积;RVSV:右心室每搏输出量;RVCO:右心室输出量;RVEF:右心室射血分数;RVM:右心室质量;GRS:整体径向应变;GCS:整体圆周应变;GLS:整体纵向应变;GSRSR:整体收缩期径向应变率;GSCSR:整体收缩期圆周应变率;GSLSR:整体收缩期纵向应变率;GDRSR:整体舒张期径向应变率;GDCSR:整体舒张期圆周应变率;GDLSR:整体舒张期纵向应变率; $M(Q_L, Q_U)$:中位数(下四分位数,上四分位数)。

3 讨论

CMR已被证实可以稳定、高重复性地评估心肌梗死和CTO患者的左心室功能^[7-8]。随着研究的深入,右心室对CTO患者心肌缺血的预后作用也越来越受到关注。心肌应变是一个能定量评估整体及节段心肌形变情况,反映心肌收缩状态的指标,多项研究证明在许多疾病早期常规RVEF等参数正常时,患者的右心室心肌应变已经发生改变,GLS更是缺血性心肌病、肺动脉高压等疾病预后不良的预测因素^[9-10]。

目前关于冠状动脉CTO患者右心室功能的研究多为短期观察,Ozkan等^[11]、田川等^[12]、庄晓晨^[13]运用超声斑点追踪技术对PCI术后1d、术后1~3个月的右心室功能变化进行观察,van Diemen等^[14]对54例右冠状动脉CTO患者行PCI术后CMR随访,其CMR检查间隔时间也仅为99(92,105)d。而本研究对冠状动脉CTO患者进行CMR随访观察,随访时间较长,复查时间为259~1168d,平均复查时间为(500.08±228.34)d,为远期随访,研究结果或许能为临床提供更深远的补充意义。

有研究观察到CTO患者PCI术后6、12个月时LVEF有所改善,认为PCI能帮助CTO患者提高心

功能、改善心肌重构^[7,15]。在本研究中,13例CTO患者治疗后LVEDV及LVESV均较治疗前增大,但LVEF未发生明显变化,表明复查时患者的左心室结构可能已经发生一些代偿改变,但左心室功能尚保持稳定,这可能是由于样本量造成的偏差,也提示CTO患者治疗后的远期疗效仍值得长期观察。

本研究在对冠状动脉CTO患者右心室结构与功能的分析中,观察到RVEDV、RVESV及RVM均较治疗前增大,提示CTO会引起右心室扩大,但治疗前后RVEF、右心室各应变参数均无明显变化。这一结果表明冠状动脉CTO患者的右心室功能可在治疗后较长时间内保持平稳,不会进一步发生较明显的损害。

本研究对冠状动脉CTO患者治疗后远期复查观察到的心肌应变情况与既往短期随访的研究结果不同。Ozkan等^[11]对41例右冠状动脉CTO患者进行复查发现,术后1d及1个月右心室GLS、GSLSR均增加[术前、术后1d及术后1个月GLS分别为(-19.7±3.9)%、(-23.6±4.1)%、(-24.9±4.3)%, $P<0.001$];田川等^[12]对31例CTO患者随访1d、1个月时复查也得到类似的结论;庄晓晨^[13]对冠心病患者PCI术后追踪观察3个月发现,右心室GLS、游离壁纵向应变、室间隔壁纵向

应变均有改善。这些研究的随访时间均较短,最长仅3个月。理论上冠状动脉CTO患者在血运重建后早期,冬眠心肌的血运供应能够恢复,心肌收缩力提高,心功能得以改善,但患者远期获益情况目前仍不明确。正如冠状动脉CTO患者在治疗后远期生存率和死亡率的研究结论与短期研究不同一样,治疗后远期右心室功能和心肌应变的变化情况及患者获益如何目前也无统一结论。本研究中,13例CTO患者平均随访了(500.08±228.34)d,右心室功能在复查时均保持在较稳定状态,但由于病例数较少,无法对其进行分组讨论以探索不同状态、不同治疗方法下患者的获益情况。后续研究将扩大样本量、进一步延长随访时间,并探索何种患者能从治疗中受益及不断优化治疗方案。

综上所述,本研究应用CMR对冠状动脉CTO患者在PCI或药物保守治疗后进行远期随访,观察到右心室功能参数RVEF及心肌应变在治疗后较长时间内保持稳定,但结构参数RVEDV、RVESV及RVM均增大。

[参 考 文 献]

- [1] LEVINE G N, BATES E R, BLANKENSHIP J C, BAILEY S R, BITTL J A, CERCEK B, et al. 2011 ACCF/AHA/SCAI guideline for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association task force on practice guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions[J/OL]. *Circulation*, 2011, 124: e574-e651. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.007.
- [2] TAJIMA M, NAKAYAMA A, UEWAKI R, MAHARA K, ISOBE M, NAGAYAMA M. Right ventricular dysfunction is associated with exercise intolerance and poor prognosis in ischemic heart disease[J]. *Heart Vessels*, 2019, 34: 385-392.
- [3] HOUARD L, BENAETS M B, DE MEESTER DE RAVENSTEIN C, ROUSSEAU M F, AHN S A, AMZULESCU M S, et al. Additional prognostic value of 2D right ventricular speckle-tracking strain for prediction of survival in heart failure and reduced ejection fraction: a comparative study with cardiac magnetic resonance[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12: 2373-2385.
- [4] HEERMANN P, FRITSCH H, KOOPMANN M, SPORNS P, PAUL M, HEINDEL W, et al. Biventricular myocardial strain analysis using cardiac magnetic resonance feature tracking (CMR-FT) in patients with distinct types of right ventricular diseases comparing arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC), right ventricular outflow-tract tachycardia (RVOT-VT), and Brugada syndrome (BrS)[J]. *Clin Res Cardiol*, 2019, 108: 1147-1162.
- [5] 涂春蓉,戴旭,刘婷,金士琪.心血管MR组织追踪技术定量评估肥厚型心肌病右心室心肌应变[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34: 1499-1503.
- [6] MAZURKIEWICZ Ł, PETRYKA J, SPIEWAK M, MIŁOZ-WIECZOREK B, WERYSK, MALEK Ł A, et al. Biventricular mechanics in prediction of severe myocardial fibrosis in patients with dilated cardiomyopathy: CMR study[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 91: 71-81.
- [7] CARDONA M, MARTÍN V, PRAT-GONZALEZ S, ORTIZ J T, PEREA R J, DE CARALT T M, et al. Benefits of chronic total coronary occlusion percutaneous intervention in patients with heart failure and reduced ejection fraction: insights from a cardiovascular magnetic resonance study[J/OL]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016, 18: 78. DOI: 10.1186/s12968-016-0287-5.
- [8] 陈辉,张晨,牟安娜,李昕,宋清伟,刘爱连,等.心脏磁共振心肌应变技术评价单支冠状动脉慢性完全闭塞的初步研究[J]. *实用放射学杂志*, 2019, 35: 1422-1427.
- [9] PARK J H, NEGISHI K, KWON D H, POPOVIC Z B, GRIMM R A, MARWICK T H. Validation of global longitudinal strain and strain rate as reliable markers of right ventricular dysfunction: comparison with cardiac magnetic resonance and outcome[J]. *J Cardiovasc Ultrasound*, 2014, 22: 113-120.
- [10] LI Y M, WANG T, HAINES P, LI M M, WU W Q, LIU M W, et al. Prognostic value of right ventricular two-dimensional and three-dimensional speckle-tracking strain in pulmonary arterial hypertension: superiority of longitudinal strain over circumferential and radial strain[J/OL]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33: 985-994.e1. DOI: 10.1016/j.echo.2020.03.015.
- [11] OZKAN B, URUMDAS M, ALICI G, ACAR G, ALIZADE E, KALKAN M E, et al. Echocardiographic evaluation of right ventricular functions after successful percutaneous recanalization of right coronary artery chronic total occlusions[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2013, 17: 917-922.
- [12] 田川,李玉宏,邢园园,葛丽丽,张佳怡.斑点追踪与组织多普勒成像评价右冠状动脉再通术前后右心室功能变化[J]. *中国医学影像学杂志*, 2014, 22: 41-44.
- [13] 庄晓晨.冠心病患者PCI术前后右室功能变化的三维研究[D].乌鲁木齐:新疆医科大学,2018.
- [14] VAN DIEMEN P A, STUIJFZAND W J, BIESBROEK S P, RAJMAKERS P G, DRIESSEN R S, SCHUMACHER S P, et al. Impact of right ventricular side branch occlusion during percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions on right ventricular function[J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2017, 18: 405-410.
- [15] 丁丹,王雪臣,李庆海.冠状动脉慢性完全性闭塞患者经皮冠状动脉介入治疗前后左心室功能和心脏重构指标的变化分析[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2019, 33: 343-346.