

# 细胞外容积预测慢性冠状动脉完全闭塞患者血运重建后的心肌收缩功能恢复

郑信德<sup>1</sup> 金航<sup>1</sup> 曾蒙苏<sup>1</sup> 任道元<sup>2</sup> 杨姗<sup>1</sup> 恽虹<sup>1</sup> 陈翎翎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>复旦大学附属中山医院放射科 上海市影像医学研究所 复旦大学上海医学院影像学系 200032; <sup>2</sup>复旦大学附属中山医院心内科 200032

通信作者: 陈翎翎, Email: chen.yinyin@outlook.com

**【摘要】目的** 前瞻性研究细胞外容积(ECV)定量能否预测慢性冠状动脉完全闭塞(CTO)血运重建6个月后的局部收缩功能恢复。**方法** 2014年4月到2015年3月,前瞻性纳入复旦大学附属中山医院30例CTO患者,于基线及经皮冠状动脉介入治疗(PCI)血运重建术后6个月行心脏MR检查。扫描序列包括电影、对比剂增强前后纵向弛豫时间定量成像(T<sub>1</sub> mapping)和延迟增强。商用CVI 42软件计算射血分数(EF)和节段室壁增厚率(SWT),SWT<45%定义为节段运动功能障碍。按照美国心脏学会(AHA)16分段法,将位于CTO血管供血区且术前存在运动功能障碍的心肌节段纳入后续分析,分别计算每一节段的细胞外容积(ECV)、梗死透壁程度(TEI)和未强化心肌的厚度(RIM)。依据冠状动脉造影的Rentrop分级法评估侧支循环形成情况,将心肌节段分为两组:侧支循环形成良好和侧支循环形成不良。采用Wilcoxon符号秩检验比较基线和随访SWT的差别;配对t检验比较基线和随访射血分数的差别。以SWT较基线水平增加>10%作为节段性功能恢复的参考标准,ROC分析比较各基线MR参数预测心肌局部功能恢复的诊断效能。采用混合线性模型分析侧支循环形成情况与SWT的关系。二元logistic回归分析确定预测节段性功能恢复的独立预测因子。**结果** PCI术后,运动功能障碍的心肌节段的平均SWT从基线的21.6%(9.7%, 33.3%)上升至38.4%(19.0%, 51.2%),差异具有统计学意义( $Z=-6.869, P<0.001$ ),EF较基线有明显增加(分别为 $54.5\pm 8.5\%$ 和 $50.7\pm 6.6\%$ ,  $t=-5.706, P<0.001$ )。ECV预测节段性功能恢复的截断值、ROC下面积、敏感度和特异度分别为34.7%、0.86、91%和66%;ECV的ROC下面积高于TEI和RIM(ROC下面积分别为0.75和0.73,  $P$ 值均<0.01)。侧支循环形成良好较侧支循环形成不良的心肌节段具有更高的随访SWT[46.6%(36.6%, 64.2%) 和 33.5%(12.8%, 47.8%)],  $F=5.791, P=0.02$ ]。logistic回归分析显示节段ECV值是评价局部收缩功能恢复的独立预测因子(OR=0.83, 95%置信区间0.77~0.89,  $P<0.001$ )。**结论** 在CTO患者中,ECV是预测血运重建后局部收缩功能恢复的可靠指标。基线侧支循环形成情况与血运重建术后的局部收缩功能相关。

**【关键词】** 磁共振成像; 细胞外容积; 慢性冠状动脉完全闭塞

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金(81701643)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.005

## Extracellular volume fraction for the assessment of myocardial functional outcome after revascularization in the patients with coronary chronic total occlusion

Zheng Xinde<sup>1</sup>, Jin Hang<sup>1</sup>, Zeng Mengsu<sup>1</sup>, Ren Daoyuan<sup>2</sup>, Yang Shan<sup>1</sup>, Yun Hong<sup>1</sup>, Chen Yinyin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Shanghai Institute of Medical Imaging, Department of Medical Imaging, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China; <sup>2</sup>Department of Cardiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: Chen Yinyin, Email: chen.yinyin@outlook.com

**【Abstract】 Objective** Myocardial functional outcome after revascularization of coronary chronic total occlusion (CTO) was prospectively predicted using extracellular volume fraction (ECV) based on

cardiovascular magnetic resonance (CMR). **Methods** Thirty patients with CTO underwent CMR before and 6 months after percutaneous coronary intervention (PCI) were enrolled. The CMR scan protocol included cine, pre-contrast and post-contrast  $T_1$  mapping and late gadolinium enhancement (LGE). Ejection fraction (EF) and segmental wall thickening (SWT) were calculated using CVI 42 software. SWT less than 45% indicated myocardial segment dysfunction. According to the American Heart Association (AHA) scientific statement, the dysfunctional segments assigned to CTO vessel were selected, and three baseline imaging markers, ECV, transmural extent of infarction (TEI) and unenhanced rim thickness (RIM) were respectively evaluated. The myocardial segments were divided into two subgroups, group with well-developed collaterals and group with poorly-developed collaterals, based on the collateral circulation using Rentrop classification. Baseline and follow-up values of SWT and EF were evaluated using paired Student's *t*-test. Using an increase in SWT>10% as standard reference, ROC analysis was conducted to describe the predictive performance of baseline markers. A mixed linear model was used to probe the relationship between collateral circulation and SWT. Stepwise logistic regression analysis was used to determine the independent predictors of regional functional recovery. The differences of EF between poorly-developed and well-developed collaterals were compared by Student *t* test. **Results** The baseline mean segmental wall thickening (SWT) of the dysfunctional segments increased from 21.6% (9.7%, 33.3%) to 38.4% (19.0%, 51.2%) after PCI ( $Z=-6.869, P<0.001$ ), and EF was also significantly higher compared with baseline ( $54.5\pm 8.5\%$  vs.  $50.7\pm 6.6\%$ ,  $t=-5.706, P<0.001$ ). ECV showed good performance in predicting functional recovery with cutoff value 34.7%, area under ROC curve (AUC) 0.86, sensitivity 91%, and specificity 66%. The AUC of ECV was superior to TEI and RIM (AUC: 0.75 and 0.73, all  $P$  value<0.01). The segments with well-developed collaterals were associated with a higher SWT at follow-up [46.6% (36.6%, 64.2%) vs. 33.5% (12.8%, 47.8%),  $F=5.791, P=0.02$ ]. Logistic regression analysis demonstrated that mean segmental ECV was the only independent predictors of regional functional outcome after PCI (OR=0.83, 95% confidence interval: 0.77—0.89;  $P<0.001$ ). **Conclusions** ECV by CMR may provide incremental value for the prediction of regional functional recovery in CTO patients, and baseline collateral circulation correlates with the regional systolic function after revascularization.

**【Key words】** Magnetic resonance imaging; Extracellular volume; Coronary chronic total occlusion

**Fund program:** Youth National Natural Science Foundation of China (81701643)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.005

慢性冠状动脉完全闭塞(chronic coronary total occlusion, CTO)为冠状动脉造影时显示冠脉动脉闭塞,闭塞远端无前向对比剂通过,且病变时间超过3个月<sup>[1]</sup>。术前评价患者能否通过血运重建改善心肌收缩功能具有重大临床指导价值。采用心脏MR延迟增强技术计算梗死透壁程度(transmural extent infarction, TEI)是目前最常用的预测心肌收缩功能恢复的参数<sup>[2]</sup>。基于心肌纵向弛豫时间定量成像( $T_1$  mapping)技术的细胞外容积(extracellular volume, ECV)定量能够反映细胞外间质容积占整个心肌容积的百分比,文献证实其为评估心肌损伤程度的有效手段<sup>[3-4]</sup>。既往研究报道病理学上功能障碍心肌的变性程度可决定血运重建后其功能恢复情况<sup>[5]</sup>。鉴于此,笔者假设ECV可用作预测心肌收缩功能恢复的基线影像学指标,探讨节段ECV值能否预测CTO患者血运重建6个月后局部收缩功能恢复情况;同时分析侧支循环形成对局部和整体室壁运动的影响。

## 资料与方法

### 一、临床资料

2014年4月到2015年3月,前瞻性纳入30例成功行经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI),并同时完成基线和随访两次心脏MR扫描的CTO患者。纳入标准为:冠状动脉造影显示冠状动脉完全闭塞,远端血流心肌梗死溶栓试验(TIMI)0~1级;成功行PCI血运重建术,术后CTO血管TIMI血流3级;同意随访并完成基线和随访两次心脏MR扫描。排除标准包括冠状动脉造影证实冠状动脉不完全闭塞(95%~99%),预估或实际病程<3个月,冠状动脉支架或搭桥术后,心律失常,慢性肾功能不全,既往有严重对比剂过敏史及MR检查禁忌证。男24例、女6例,年龄34~81( $57\pm 12$ )岁;11例为左前降支CTO,3例为左回旋支CTO,13例为右冠状动脉CTO,另有3例为双血管CTO。所有患者于心脏MR检查前留取静脉血标本获取血细胞比容值。本研究已获伦

理委员会批准(项目批准号:B2013-146),所有入组受试者均签署知情同意书。

## 二、心脏 MR 检查

患者于基线及 PCI 血运重建后(6±1)个月行心脏 MR 检查。MR 检查采用 1.5 T MR 扫描仪(MAGNETOM Area, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany)及 18 通道相控阵线圈。扫描序列包括电影、对比剂增强前后 T<sub>1</sub> mapping 和延迟增强扫描。电影序列使用稳态自由进动(SSFP)序列回顾性心电图门控进行采集,成像参数:TR 35.5 ms, TE 1.1 ms, 反转角 80°, 层厚 8 mm。增强前、后 T<sub>1</sub> mapping 采用改良运动校正 Look-Locker 反转恢复(modified motion-correction Look-Locker inversion-recovery, MOLLI)序列,于注射对比剂前后 15 min 采集图像。增强前 MOLLI 序列的采样策略为 5(3)3,即第 1 次反转脉冲后获取 5 幅舒张末期图像,间隔 3 个心动周期,而后第 2 次反转脉冲后再获取 3 幅图像;增强后以 4(1)3(1)2 模式采集,第 1 次反转脉冲后获取 4 幅图像,间隔 1 个心动周期,第 2 次反转脉冲获取 3 幅图像,再次间隔 1 个心动周期后施加第 3 次反转脉冲并获取 2 幅图像。扫描范围包含左心室基底层至心尖层在内的左心室短轴,具体扫描参数如下:single-shot SSFP 读出梯度,TR 2.3 ms, TE 1.1 ms, 反转角 35°, FOV 360 mm×360 mm,层厚 8 mm,最小反转时间(TI)120 ms,反转时间增量 80 ms,并行采集加速因子 2。延迟增强扫描采用相位敏感反转恢复(PSIR)序列,于注射对比剂后 10 min 行左心室短轴位和 3 个标准长轴位的扫描。主要参数:TR 11 ms, TE 3 ms, FOV 340 mm×340 mm,反转角 25°, TI 300 ms,像素大小 1.3 mm×1.3 mm×8.0 mm。

## 三、图像分析

30 例 CTO 患者的基线及随访图像传送至 CVI 42 软件(Circle Cardiovascular Imaging, Inc, Alberta, Canada)进行分析处理。描画电影序列上的心内、外膜边界,分别得出左心室容积、射血分数(EF)及节段室壁增厚率(segmental wall thickening, SWT)。SWT=(收缩末期室壁厚度-舒张末期室壁厚度)/舒张末期室壁厚度×100%。

1. 心肌节段分析模型及纳入节段:基于心肌节段水平的数据分析采用美国心脏协会(AHA)17 节段法,摒除心尖部,共 16 个心肌节段<sup>[6]</sup>。纳入节段为位于 CTO 血管供血区并于 PCI 术前存在运动功能障碍的心肌节段。运动功能障碍的节段定义为

该节段 SWT<45%<sup>[7]</sup>。

2. 基线 MR 参数的测量:每个纳入分析的心肌节段分别测量梗死透壁程度(TEI)、未强化心肌的厚度(RIM)以及细胞外容积(ECV)。以高于远处心肌平均信号强度 5 个标准差的方法定义延迟增强区域,软件计算得出每一心肌节段内延迟增强(LGE)的面积与整个节段的面积之比即 TEI,生成相对应的牛眼图,并评分如下:1 分,0~25% LGE;2 分,26%~50% LGE;3 分,51%~75% LGE;4 分,76%~100% LGE。RIM 定义为一个节段内未强化区域的平均室壁厚度,公式为(100-增强区域的面积比)×EDWT/100,其中 EDWT 为舒张末期室壁厚度<sup>[8]</sup>。节段 ECV 的计算由软件通过增强前后的 T<sub>1</sub> mapping 生成 ECV map 得出(图 1~3)。公式如下<sup>[9]</sup>:ECV(%)=ΔR1<sub>心肌</sub>/ΔR1<sub>血池</sub>×(100-血细胞比容),其中 ΔR1<sub>心肌</sub>=1/T<sub>1心肌增强后</sub>-1/T<sub>1心肌增强前</sub>,ΔR1<sub>血池</sub>=1/T<sub>1血池增强后</sub>-1/T<sub>1血池增强前</sub>。

3. 节段性功能恢复的参考标准:SWT 较基线水平增加>10%<sup>[7]</sup>。

## 四、冠状动脉造影

所有患者于心脏 MR 检查结束后 12~48 h 内行冠状动脉造影。两名造影经验丰富的内科医师盲法独立评估 CTO 病变的侧支血管,意见不一致时协商决定。评定侧支循环的形成情况采用 Rentrop 分级法<sup>[10]</sup>:0 级,未见确切的侧支血管;1 级,闭塞动脉远端见细小分支;2 级,闭塞动脉远端冠状动脉部分充盈;3 级,闭塞动脉远端冠状动脉完全充盈。Rentrop 3 分提示侧支循环形成良好,0~2 分则为侧支循环形成不良。

## 五、统计学分析

采用 IBM SPSS V20.0 软件进行统计分析。患者心肌节段的 ECV、RIM、舒张末期室壁厚度和增强前、后的 T<sub>1</sub> 值,患者射血分数均为计量资料,符合正态分布,以  $\bar{x} \pm s$  表示;心肌节段的 SWT、TEI 不符合正态分布,以中位数(下、上四分位数)来表示。侧支循环的形成情况、心肌节段的功能恢复和 CTO 病变的位置均为计数资料,以数值形式表示。采用 Wilcoxon 符号秩检验比较基线和随访 SWT 的差别;配对 *t* 检验比较基线和随访射血分数的差别。采用 Spearman 秩相关分析不同 TEI 的心肌节段与 SWT 改善间的关系。采用混合线性模型比较节段性功能恢复和未恢复的心肌节段中各基线 MR 参数的差异,随后 ROC 分析各参数预测心肌局部功能恢复的诊断效能。根据冠状动脉造影评估的侧支循环形成情况,将纳入分析的心肌节段分为两组:侧支循环形

成良好和侧支循环形成不良,而后采用混合线性模型分析比较两组间各心肌节段参数的差异。二元 logistic 回归分析确定预测节段心功能恢复的独立预测因子。 $P < 0.05$  认为差异具有统计学意义。

## 结 果

本研究 30 例患者共 480 个心肌节段,其中 177 个节段位于 CTO 血管的供血区,126 个存在心肌收缩功能障碍。55 个节段出现延迟强化(图 4, 5),74 个节段 PCI 术后局部收缩功能恢复(图 6~9)。左心室射血分数 PCI 术后( $54.5\% \pm 8.5\%$ )较基线( $50.7\% \pm 6.6\%$ )有明显增加( $t = -5.706, P < 0.001$ )。

### 一、节段性功能恢复

冠状动脉 PCI 血运重建后 6 个月随访,所有运动功能障碍的心肌节段的平均 SWT 从基线的 21.6% (9.7%, 33.3%) 上升至 38.4% (19.0%, 51.2%), 差异具有统计学意义 ( $Z = -6.869, P < 0.001$ )。SWT 的改善与 TEI 的增加呈负相关 ( $r = -0.46, P = 0.005$ )。

### 二、心脏 MR 参数预测节段性功能恢复

比较心肌局部收缩功能恢复和未恢复的心肌节段,各基线参数的差异均具有统计学意义(表 1)。采用血运重建后 SWT 较基线水平增加  $> 10\%$  为参考标准,ROC 分析得出各参数预测节段性功能恢复的临界值及各自诊断的敏感度、特异度,详见表 2。比较 ROC 下面积,ECV 预测节段性功能恢复的诊断效能高于 TEI 和 RIM ( $P$  值均  $< 0.01$ , 图 10)。

表 1 各基线参数在节段性功能恢复和未恢复的心肌节段中的比较

参数	节段功能恢复 ( $n=74$ )	节段功能未恢复 ( $n=52$ )	F 值	P 值
ECV (%)	26.6 $\pm$ 5.8	38.0 $\pm$ 8.8	41.473	<0.001
TEI	1(1,1)	2(1,3)	30.747	<0.001
RIM (mm)	8.0 $\pm$ 2.4	5.3 $\pm$ 3.1	22.601	<0.001

注:ECV:细胞外容积;TEI:梗死透壁程度;RIM:未强化心肌的厚度;TEI 以中位数(下、上四分位数)表示;ECV、RIM 以  $\bar{x} \pm s$  表示

### 三、侧支循环对局部室壁运动的影响

从表 3 中可知,侧支循环形成良好的心肌节段具有更高的随访 SWT 和更低的梗死透壁程度。侧支循环形成良好的心肌节段 ECV 值低于侧支循环形成不良的 ECV,但尚未达统计学意义 ( $P = 0.06$ )。

表 2 各基线参数预测血运重建后节段性功能恢复的诊断效能

参数	临界值	曲线下面积 (95% 置信区间)	敏感度 (%)	特异度 (%)	P 值
ECV	34.7%	0.86(78~92)	91	66	<0.001
TEI	1	0.75(65~83)	81	63	<0.001
RIM	5.0 mm	0.73(63~82)	89	58	<0.001

注:ECV:细胞外容积;TEI:梗死透壁程度;RIM:未强化心肌的厚度

预测局部功能恢复方面,单变量及多变量 logistic 回归分析均显示节段 ECV 值,独立于侧支循环分级及其他基线参数,可预测节段收缩功能的恢复 ( $OR = 0.83, 95\%$  置信区间:  $0.77 \sim 0.89, P < 0.001$ )。

## 讨 论

### 一、ECV 预测局部收缩功能恢复的价值

CTO 目前仍是心血管介入治疗的难点,需理性评估 PCI 手术的获益和风险,术前通过影像学手段预测 PCI 血运重建后的功能预后具有重要的临床指导价值。通过延迟增强(LGE)评估 TEI 是最常用的功能预后指标<sup>[11-12]</sup>。本研究结果显示随着心肌节段 TEI 的增加,术后 SWT 改善递减,与之前的研究相同<sup>[13-14]</sup>。其原因为 TEI 评估心肌节段中坏死心肌所占的百分比,坏死心肌越多,术后恢复功能的概率越低。LGE 作为一种最广泛应用的心脏 MR 技术在预测收缩功能恢复方面主要具有以下缺陷:当心肌节段表现为非透壁梗死时,其血运重建后的节段功能恢复率文献报道差异较大<sup>[12, 15-17]</sup>,难以准确预测;此外,LGE 能够评价坏死心肌的范围;但无法对坏死心肌的损伤程度做出定量<sup>[18]</sup>,更无法区分心外膜下未强化心肌的病理状态<sup>[19]</sup>。

ECV 定量组织中细胞外间隙的大小,可用作一种无创性检查方法来评价局灶或弥漫性心肌损伤的程度<sup>[20]</sup>。ECV 可预测节段性功能恢复的报道已见于急性心肌梗死<sup>[18]</sup>,慢性缺血性疾病鲜有报道。本研究中,ECV 可预测局部收缩功能的恢复,阈值为 34.7%。ECV 越高,提示心肌变性/损伤程度越明显,更不易于出现心肌功能的恢复。同时本研究进一步分析比较了 3 个基线影像学参数的 ROC 曲线,结果显示 ECV 的预测效能优于 TEI 和 RIM。其原因可归结为不同的成像机制,TEI 无法定量坏死心肌和心外膜下未强化心肌的损伤程度,RIM 仅仅考虑了未强化心肌的厚度这一个因素;而节段 ECV

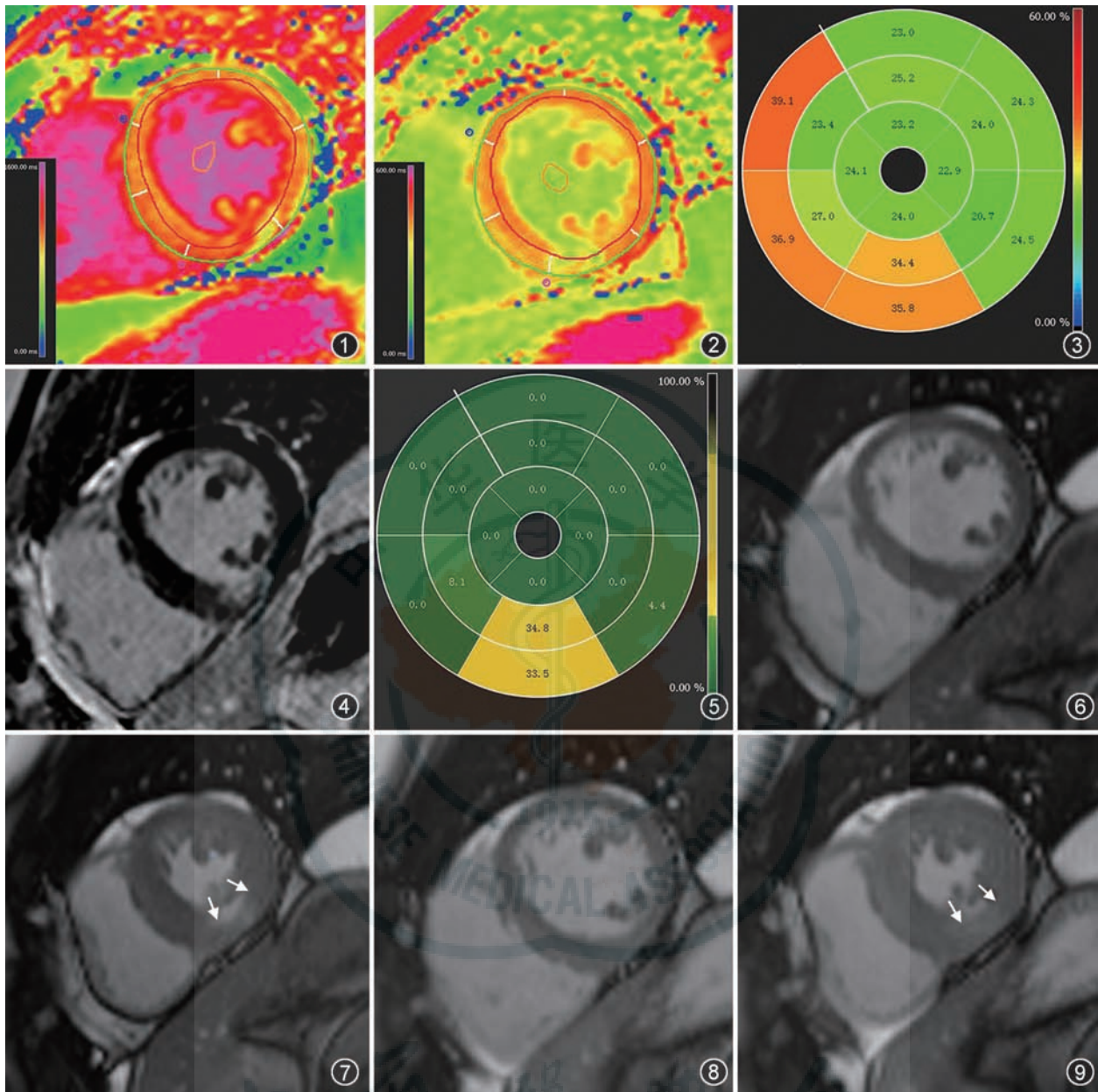


图1~9 为同一患者,男,46岁,右冠状动脉(RCA)慢性冠状动脉完全闭塞(CTO)。图1~3分别为左心室乳头肌层面增强前T<sub>1</sub> mapping图(图1)、增强后T<sub>1</sub> mapping图(图2)和CVI 42软件生成的美国心脏学会(AHA)-16节段细胞外容积(ECV)牛眼图(图3),可见左心室下壁(AHA 4段和10段)ECV明显增高,与右冠状动脉供血区域相符(AHA 2段和3段位于左心室流出道,ECV不准确)。图4,5为基线的延迟强化图像和梗死透壁程度(TEI)牛眼图。图6,7为基线乳头肌层面舒张末期及收缩末期图像,可见局部室壁运动功能障碍(AHA 10段,图7↑);图8,9为经皮冠状动脉介入治疗(PCI)后6个月的舒张末期和收缩末期图像,血运重建后局部收缩功能恢复(图9↑)。该局部收缩功能恢复的节段(AHA 10段)TEI=34.8%(>截断值25%),ECV=34.4%(<截断值34.7%),节段ECV值预测局部室壁运动恢复的价值优于TEI

值全面反映心外膜下未强化心肌和坏死心肌的损伤程度<sup>[18]</sup>,因此在预测节段性功能恢复方面优于其他两个参数。另外,ECV在不同冠脉供血区的心肌节段中具有相近的预测价值,因此笔者认为ECV可作为预测局部收缩功能恢复的可靠指标。

二、侧支循环对血运重建后室壁运动的影响  
侧支循环的形成对CTO血管下游的供血心肌

起到保护作用。本研究结果显示良好的侧支循环与更低的梗塞透壁程度和更高的室壁增厚率有关,与既往研究报道相符<sup>[21-22]</sup>。目前多数文献关注侧支循环与基线室壁运动的关系,对于侧支循环对PCI后的室壁运动是否产生影响尚不明确。本研究中显示,侧支循环形成良好的心肌节段表现出更高的随访SWT,侧支循环形成良好的患者则具有更

表3 侧支循环形成情况与局部室壁运动及基线MR参数间的关系

参数	侧支循环形成不良(n=86)	侧支循环形成良好(n=40)	F值	P值
心肌节段(个)			1.372	0.26
恢复功能	47	27		
未恢复	39	13		
CTO病变位置			2.088	0.16
LAD	43	29		
非LAD	43	11		
舒张末期室壁厚度(mm)	8.4±1.9	8.9±1.8	0.441	0.51
TEI	1(1,3)	1(1,1)	4.970	0.04
RIM (mm)	6.4±3.2	7.9±2.2	2.704	0.11
初始T <sub>1</sub> 值(ms)	1 060±85	1 031±86	0.962	0.34
增强后T <sub>1</sub> 值(ms)	388±64	408±80	0.543	0.47
ECV (%)	32.8±9.7	27.9±6.6	3.966	0.06
基线SWT (%)	19.3(7.5, 30.0)	27.8(16.2, 34.7)	3.425	0.08
随访SWT (%)	33.5(12.8, 47.8)	46.6(36.6, 64.2)	5.791	0.02
SWT改善 (%)	11.2(4.2, 22.6)	18.2(6.4, 39.3)	3.335	0.08

注:CTO:慢性冠状动脉完全闭塞;LAD:左前降支;TEI:梗死透壁程度;RIM:未强化心肌的厚度;ECV:细胞外容积;SWT:节段室壁增厚率;TEI、SWT以中位数(下、上四分位数)的形式表示,正态分布数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示

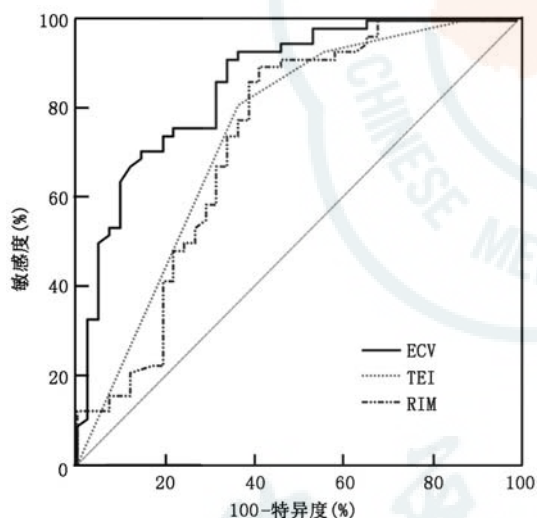


图10 基线影像学参数细胞外容积(ECV)、梗死透壁程度(TEI)和未强化心肌的厚度(RIM)预测节段性功能恢复的ROC。ECV的ROC下面积为0.86,TEI的ROC下面积为0.75,RIM的ROC下面积为0.73

高的随访EF。心肌损伤的愈合过程与微血管功能密切相关<sup>[23]</sup>,因此笔者推测可能的原因为良好的侧支循环有助于心肌损伤的有效愈合,导致血运重建后6个月心肌变性和功能障碍程度较轻,故而具有较高的局部室壁增厚率和射血分数。尽管本研究中侧支循环无法作为预测节段性功能恢复的独立指标,但术前评价侧支循环的形成情况能够早期评价血运重建术后的局部室壁运动情况。

### 三、本研究的局限性

第一,样本量相对较小;第二,随访时间点单一,仅随访PCI术后6个月,血运重建后长期的功能恢复情况未予评估;第三,未将ECV值与评估心肌收缩储备的多巴酚丁胺负荷试验做比较研究,有待进一步研究。

综上所述,节段ECV值优于延迟增强技术,可独立预测血运重建后心肌局部收缩功能的恢复。ECV这一价值有望早期预测和识别能够从血运重建中获益的患者。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Brilakis ES, Karpaliotis D, Vo MN, et al. Advances in the management of coronary chronic total occlusions[J]. J Cardiovasc Transl Res, 2014, 7(4): 426-436. DOI: 10.1007/s12265-014-9556-6.
- [2] Romero J, Xue X, Gonzalez W, et al. CMR imaging assessing viability in patients with chronic ventricular dysfunction due to coronary artery disease: a meta-analysis of prospective trials [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2012, 5(5): 494-508. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.02.009.
- [3] 李松南, 赵蕾, 董建增, 等. 3.0 T MR测量正常人左心室心肌纵向弛豫时间和细胞外容积比率[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(12): 929-934. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.005.
- [4] Thuny F, Lovric D, Schnell F, et al. Quantification of myocardial extracellular volume fraction with cardiac MR imaging for early detection of left ventricle involvement in systemic sclerosis[J]. Radiology, 2014, 271(2): 373-380. DOI: 10.1148/radiol.13131280.

- [5] Knuesel PR, Nanz D, Wyss C, et al. Characterization of dysfunctional myocardium by positron emission tomography and magnetic resonance: relation to functional outcome after revascularization[J]. *Circulation*, 2003, 108(9): 1095-1100. DOI: 10.1161/01.CIR.0000085993.93936.BA.
- [6] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2002, 105(4):539-542.
- [7] Kirschbaum SW, Rossi A, Boersma E, et al. Combining magnetic resonance viability variables better predicts improvement of myocardial function prior to percutaneous coronary intervention[J]. *Int J Cardiol*, 2012, 159(3): 192-197. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.02.048.
- [8] Rassaf T, Nolte J, Heussen N, et al. Quantitation of the thickness of the non-enhanced myocardial rim predicts recovery of territorial myocardial function in chronic ischemic heart disease: a cardiac magnetic resonance imaging study[J]. *Clin Res Cardiol*, 2010, 99(5): 293-300. DOI: 10.1007/s00392-010-0117-y.
- [9] Moon JC, Messroghli DR, Kellman P, et al. Myocardial T<sub>1</sub> mapping and extracellular volume quantification: a Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) and CMR Working Group of the European Society of Cardiology consensus statement[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013, 15: 92. DOI: 10.1186/1532-429X-15-92.
- [10] Choi JH, Chang SA, Choi JO, et al. Frequency of myocardial infarction and its relationship to angiographic collateral flow in territories supplied by chronically occluded coronary arteries[J]. *Circulation*, 2013, 127(6): 703-709. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.112.092353.
- [11] Shah BN, Khattar RS, Senior R. The hibernating myocardium: current concepts, diagnostic dilemmas, and clinical challenges in the post-STICH era[J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(18): 1323-1336. DOI: 10.1093/eurheartj/ehi018.
- [12] Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction[J]. *N Engl J Med*, 2000, 343(20): 1445-1453. DOI: 10.1056/NEJM200011163432003.
- [13] Krittayaphong R, Laksanabunsong P, Maneesai A, et al. Comparison of cardiovascular magnetic resonance of late gadolinium enhancement and diastolic wall thickness to predict recovery of left ventricular function after coronary artery bypass surgery[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2008, 10: 41. DOI: 10.1186/1532-429X-10-41.
- [14] Bondarenko O, Beek AM, Twisk JW, et al. Time course of functional recovery after revascularization of hibernating myocardium: a contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance study[J]. *Eur Heart J*, 2008, 29(16):2000-2005. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn266.
- [15] Glaveckaite S, Valeviciene N, Palionis D, et al. Value of scar imaging and inotropic reserve combination for the prediction of segmental and global left ventricular functional recovery after revascularisation[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2011, 13: 35. DOI: 10.1186/1532-429X-13-35.
- [16] Pegg TJ, Selvanayagam JB, Jennifer J, et al. Prediction of global left ventricular functional recovery in patients with heart failure undergoing surgical revascularisation, based on late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2010, 12: 56. DOI: 10.1186/1532-429X-12-56.
- [17] Baks T, van Geuns RJ, Duncker DJ, et al. Prediction of left ventricular function after drug-eluting stent implantation for chronic total coronary occlusions[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47(4):721-725. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.10.042.
- [18] Kidambi A, Motwani M, Uddin A, et al. Myocardial extracellular volume estimation by CMR predicts functional recovery following acute MI[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(9):989-999. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.06.015.
- [19] 李燕, 陆敏杰, 王丽, 等. 心脏MR延迟增强成像联合核素显像评价缺血性心肌病患者的存活心肌[J]. *中华放射学杂志*, 2015, (6): 425-429. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2015.06.007.
- [20] 相里伟, 赵世华. MRI评估心肌细胞外容积的现状与进展[J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48(11):966-968. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.11.024.
- [21] Chen YY, Zhang WG, Yang S, et al. Extracellular volume fraction in coronary chronic total occlusion patients[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(6): 1211-1221. DOI: 10.1007/s10554-015-0680-4.
- [22] Zhang J, Li Y, Li M, et al. Collateral vessel opacification with CT in patients with coronary total occlusion and its relationship with downstream myocardial infarction[J]. *Radiology*, 2014, 271(3): 703-710. DOI: 10.1148/radiol.13131637.
- [23] Liu D, Borlotti A, Viliani D, et al. CMR Native T<sub>1</sub> mapping allows differentiation of reversible versus irreversible myocardial damage in ST-segment-elevation myocardial infarction: an OxAMI study (Oxford Acute Myocardial Infarction) [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(8): pii: e005986. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005986.

(收稿日期:2018-06-12)

(本文编辑:张琳琳)