

# 冠状动脉内心电图的临床应用研究进展

麦兆康<sup>1</sup> 周滔<sup>1,2</sup>

(1. 南方医科大学, 广东 广州 510000; 2. 南方医科大学第三附属医院心血管内科, 广东 广州 510000)

**【摘要】**心电图是心血管疾病的一项重要诊断手段,其中冠状动脉内心电图具有敏感性好、特异性高、实时性等优势,在介入治疗中具有评估心肌缺血、心肌活性、侧支循环功能等作用,然而其临床应用仍然不够广泛,是一项未充分利用的廉价的工具,但它的性能以及实用的潜能使其具有很大的应用前景。

**【关键词】**冠状动脉内心电图;心肌缺血;心肌活性;冠状动脉侧支循环

**【DOI】**10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2020.08.009

## Clinical Application of Intracoronary Electrocardiogram

MAI Zhaokang<sup>1</sup>, ZHOU Tao<sup>1,2</sup>

(1. Southern Medical University, Guangzhou 510000, Guangdong, China; 2. Department of Cardiology, The Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510000, Guangdong, China)

**【Abstract】**Electrocardiogram is an important diagnostic method for cardiovascular diseases, including intracoronary electrocardiogram (I. C. ECG). I. C. ECG, with good sensitivity, high specificity, real-time advantages, has a good ability to evaluate myocardial ischemia, myocardial viability and collateral circulation function during the interventional treatment. However, its clinical application is still not extensive enough. Since it is an underutilized cheap tool, its performance and practical potential has the great application prospect.

**【Key words】**Intracoronary electrocardiogram; Myocardial ischemia; Myocardial viability; Coronary collateral circulation

心电图作为一项记录心脏的电活动变化图形的无创检查技术,已经应用了 100 余年,是心血管疾病诊断的重要辅助工具,但这种传统检查手段提供局部的精细的电活动信息的能力有限。冠状动脉内心电图 (intracoronary electrocardiogram, I. C. ECG) 自 1984 年起用于导管室中获取患者心外膜心电图,因为其电极更贴靠心肌,是一种比体表心电图更准确更敏感的心电检测方法,而且操作方法简单、实用,还可以在导管室中实时获得心电信息。虽然 I. C. ECG 具有上述优势,但其临床应用仍然不够广泛,是一项未充分利用的廉价的工具<sup>[1]</sup>,现就 I. C. ECG 的临床应用研究进展做综述。

### 1 I. C. ECG 的测定方法及部分波段的应用研究

I. C. ECG 的测定方法是导管室中,以被覆绝缘导管的不绝缘导引导丝作为单电极送入各支冠状动脉内,绝缘导管常使用微导管,将导丝头端送至冠状动脉病变心外膜位置的远端,导丝近端则通过无菌双鰐

鱼夹连接器与电生理仪端线路连接,设定走纸速度 25 mm/s,信号强度 10 mm/mV,滤波条件 30 ~ 500 Hz,增益 2 500 mV,记录心电。目前 I. C. ECG 的研究重点是对心肌缺血的评估,在实践中记录球囊扩张前的 I. C. ECG,随后再记录一次球囊扩张后 2 min 的 I. C. ECG,以 QRS 波群以前的 T-P 段为等电位线,ST 段则以 J 点后 80 ms 为标准,分析连续 3 个 QRS 波群,测量并计算出 ST 段改变的平均值,球囊扩张后较前者改变  $\geq 1$  mm (0.1 mV) 则可判断为心肌损伤。另一方面,QT 间期、T 波峰末间期 (T<sub>peak</sub>-T<sub>end</sub>, T<sub>p</sub>-T<sub>e</sub>) 等可作为心血管疾病的具有重要参考价值的心电图指标<sup>[2-3]</sup>。Maeda 等<sup>[4]</sup>的临床研究中,在球囊扩张诱导短暂心肌缺血的患者中,I. C. ECG 的 QT 间期缩短与心肌活性、室性心律失常的出现和患者预后密切相关。Elitok 等<sup>[5]</sup>的一项纳入急性心肌梗死患者的研究中,经皮冠脉介入术 (percutaneous coronary intervention, PCI) 后 I. C. ECG 的 T<sub>p</sub>-T<sub>e</sub> 较术前明显缩短,提示心肌

梗死后再灌注成功,也是早期室性心律失常和心律失常死亡率的独立预测因子,这些结果与体表心电图相关研究结果类似,I. C. ECG可作为 PCI 评估预后的可靠工具。

## 2 I. C. ECG 评估心肌缺血的价值

如前所述,精确反映心肌缺血是目前 I. C. ECG 研究最广泛的也是应用较多的,跟体表心电图相比,I. C. ECG就像配备了“放大镜”,即使是小面积小范围的心肌损伤也可以监测出来<sup>[1]</sup>。Uetani 等<sup>[6]</sup>的研究表明,I. C. ECG 的 ST 段抬高是 PCI 相关心肌损伤的独立预测因子,比体表心电图有更高的敏感性。Hishikari 等<sup>[7]</sup>在行 PCI 的非 ST 段抬高心肌梗死患者中监测 I. C. ECG 并随访 28 ~ 40 个月,PCI 后即出现 ST 段抬高者较不抬高者心脏生物标志物明显升高,主要心脏不良事件发生率也更高,Cox 风险比达 2.54。

### 2.1 I. C. ECG 评估介入相关性心肌损伤的价值

PCI 是冠心病血运重建的重要手段,部分 PCI 成功的患者仍然可以观察到围手术期心肌生物标志物的升高,发生 PCI 相关心肌损伤,对患者心脏功能及预后影响重大。目前围手术期评估心肌缺血损伤常常参考患者的缺血性胸痛症状、心肌生物标志物的持续升高、体表心电图的 ST-T 段动态改变。上述参考或是模糊的,或是滞后的,而 I. C. ECG 则提供给导管室术中准确、快速、简易的监测 PCI 相关心肌损伤的方法。Balian 等<sup>[8]</sup>的研究证明,单支血管病变即使影像学上显示支架置入成功,而 I. C. ECG 的 ST 段较基线上抬  $\geq 1$  mm 者反映围术期心肌损伤和预测不良心脏事件。Vassilev 等<sup>[9]</sup>对冠状动脉分叉病变患者进行 PCI 术程中记录靶血管区域的 I. C. ECG,得出结论为分叉病变介入治疗中 I. C. ECG 预测肌钙蛋白 I 升高的敏感性达 82%,特异性达 81%,并可利用其判断残余缺血区域。因此,I. C. ECG 能作为介入治疗相关心肌损伤的灵敏的评估工具,并能提示不良预后,及时给予此类患者额外的处理或延长患者住院观察时间,可能有更多获益。

I. C. ECG 实时评估心肌缺血的功能被中国学者应用于肥厚型梗阻性心肌病室间隔酒精消融术(alcohol septal ablation, ASA)。心肌坏死的部位及数量是左室流出道压力阶差下降从而判断 ASA 术疗效的关键,而肌酸激酶和肌酸激酶同工酶的升高对术中判断并无帮助。Meng 等<sup>[10]</sup>的研究证实 I. C. ECG 可帮助术中判断室间隔局部心肌是否已经发生损伤或坏死,决定术中注入酒精的量与速度,并判断手术疗

效。因此,I. C. ECG 作为一项实时评估心肌缺血的工具在导管室的应用潜力仍待人们更深入地挖掘。

### 2.2 I. C. ECG 在冠状动脉临界病变中的应用研究

冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)是诊断冠心病的金标准,然而,仅通过 CAG 判读狭窄范围为 50% ~ 70% 的临界病变,难以评估是否影响供血区域血流动力学以及是否存在心肌缺血,导致临床医生对临界病变是否需要置入支架陷入困惑<sup>[11]</sup>。冠状动脉血流储备分数(fraction flow reserve, FFR)可以评价狭窄病变对血管功能的影响<sup>[12]</sup>,是临界病变是否行支架置入术的金标准<sup>[13-14]</sup>,但是因监测 FFR 值使用压力导丝产生了高昂的费用其应用受限。Balian 等<sup>[15]</sup>的临床研究中,对 48 例冠状动脉临界病变且临床稳定的冠心病患者静脉内注入腺苷使冠状动脉扩张充血,记录 I. C. ECG 的 ST 段改变并测量 FFR 值,得出 I. C. ECG 的 ST 段改变预测异常 FFR 值( $\leq 0.8$ )的敏感性为 81%,特异性为 86%,阳性和阴性的预测准确率分别为 88% 和 79%,表明 I. C. ECG 可作为临界病变的血管功能评价的灵敏可靠工具,而且费用较低。

### 2.3 I. C. ECG 在冠状动脉分叉病变中的应用研究

冠状动脉分叉病变的介入治疗需面对分支血管闭塞等问题,主要涉及手术策略的选择,研究证明,分叉病变的处理宜遵循简单化原则,简单处理与双支架处理相比院内和随访期内心肌梗死的发生率更低,长期预后更好<sup>[13,16]</sup>。“Y”型病变单支架术时在主支支架植入后,容易造成斑块移位从而累及边支开口导致分支血管闭塞,因此术中监测分支血管缺血有助于术中决策,而血管造影往往有低估分支血管区域缺血的局限性。Vassilev 等<sup>[17]</sup>的另一研究证明,在分叉病变主支支架植入后,边支监测 I. C. ECG 的 ST 段抬高与  $\text{FFR} \leq 0.8$  高度相关,即 I. C. ECG 可作为分叉病变边支缺血的诊断工具,有助于分叉病变手术策略的选择。部分学者也提出了冠状动脉分叉病变中邻近病变血管可能会对缺血区域互相影响,I. C. ECG 对各支病变支配区域的缺血判断可能缺乏特异性。Aslanger 等<sup>[18]</sup>通过一个“Y”型分叉病变的病例研究阐明,I. C. ECG 不受邻近血管支配区域影响对罪犯血管的判断,但目前证据力度尚不足,有待更进一步的研究以证实。

### 2.4 I. C. ECG 在冠状动脉微血管阻塞评估中的应用研究

微血管阻塞(microvascular obstruction, MVO)是急性心肌梗死患者再灌注治疗后常见的病理现象,可能

为缺血相关或再灌注相关的损伤,也可能归因于手术过程机械挤压和损伤导致斑块碎屑或血栓形成,栓塞远端微小动脉所致,与不良左心室重塑、主要不良心血管事件等密切相关。微血管从体量上占树的 95%,是主要调节心肌血液供应的血管,导管室中具备评估 MVO 的条件可大大提高再灌注治疗疗效<sup>[19]</sup>。Ikenaga 等<sup>[20]</sup>在行择期支架植入术患者中以 I. C. ECG 监测围术期心肌损伤,以频域光学相干断层成像评估植入血管的斑块形态,结果表明植入血管的斑块形态表现为易损斑块者(薄纤维帽、斑块破裂、斑块富含脂质)术后 ST 段比术前抬高( $\geq 1$  mm)显著较对照组多,随访 1 年内的主要心血管不良事件亦显著增加,此研究表明斑块形态及 I. C. ECG 的 ST 段改变与微血管循环受损有关,可预测患者 PCI 术后预后。Wong 等<sup>[21]</sup>的研究表明 I. C. ECG 的 ST 段改变为 ST 段抬高心肌梗死(ST segment evaluation myocardial infarction, STEMI)微血管阻塞的强预测因子,STEMI 患者中 I. C. ECG 的 ST 段较基线回落 $\geq 1$  mm 者,术后 3 个月心脏磁共振检查梗死面积及失活较小,预后更良好。相比 I. C. ECG 在导管室中的实时信息,依据术后心肌酶等实验室指标来判断 MVO 则显得滞后,心脏磁共振检查在空间上和时间上都不具备优势。

### 3 I. C. ECG 在心肌活性评估中的应用研究

由于有时介入治疗的时间紧迫性,尤其是对 STEMI 的治疗,常常无法在术前或术中评估心肌活性从而判断患者剩余心脏功能及预后, I. C. ECG 提供了一种选择。Yajima 等<sup>[22]</sup>的临床研究中,在对 STEMI 患者行急诊手术时,于球囊扩张前后监测 I. C. ECG,考虑到急性心肌梗死患者病况下可能出现基线不稳的因素,导致很难人工检测到 0.1 mV 以下 ST 段的变化,选取 ST 段进一步抬高 $>2$  mm (0.2 mV) 为有意义的切点。患者于罪犯血管再通后及随访 4 周后行心肌核素显像,前后比较提示 ST 段进一步抬高者心肌摄取 $>50\%$ 的铊更多,表明患者慢性期梗死区域心肌存活面积更大。另一方面,Abaci 等<sup>[23]</sup>的研究中也表明 I. C. ECG 可以评估近期心肌梗死患者的罪犯血管支配的心肌区域是否仍有活性,纳入 71 例近期发病的伴有病理性 Q 波急性心肌梗死患者,行低剂量多巴酚丁胺负荷超声心动图评估心肌活性,PCI 术中监测 I. C. ECG,送入球囊至罪犯血管并扩张球囊以闭塞病变血管,发现 I. C. ECG 的 ST 段抬高与患者描述心绞痛症状相比评估心肌活性的特异性(75%)相仿,但敏感性(94.5%)、阳性预测值(92.9%)及阴性预测值

(80%)则远高于对照组。即使是陈旧性心肌梗死的患者,伴有心肌功能失调但心肌仍有活性者,一旦支配的冠状动脉血运成功重建,心脏功能可部分或完全恢复正常,是有助于患者长期预后的,因此判断心肌活性对于指导手术决策有重要的意义。Petrucchi 等<sup>[24]</sup>的临床研究中,纳入急性心肌梗死后 6~8 周的症状稳定的患者,在择期行非罪犯血管的 PCI 术前均接受心脏磁共振检查评估,PCI 术中监测 I. C. ECG 的峰峰电压值评估所测量的心肌区段是否存活,根据振幅的高低分辨出电压值最低的疤痕组织、部分活性的心肌以及正常心肌,与心脏磁共振检查结果对照,提示其敏感性、特异性均较高。

### 4 I. C. ECG 在侧支循环功能评估中的应用研究

冠状动脉侧支循环是连接冠状动脉不同分支或同一分支不同部位的血管网络,有助于减轻冠心病患者的心绞痛症状,保护缺血心肌,缩小梗死心肌范围,改善左心室功能和长期预后<sup>[25]</sup>。CAG 存在低估侧支循环数目,不能反映侧支循环灌注情况,不能定量评估侧支血管的代偿能力的缺点,对冠状动脉侧支循环所提供的信息十分有限<sup>[26]</sup>。研究表明, I. C. ECG 可作为有效评估冠状动脉侧支循环的新技术。de Marchi 等<sup>[27]</sup>的研究中,纳入 765 例慢性冠心病患者,PCI 术中送入球囊并扩张球囊以闭塞病变血管,观察球囊闭塞 1 min 内 I. C. ECG 的 ST 段变化,并测量侧支血流压力指数,结果表明 I. C. ECG 的 ST 段抬高或压低 $>0.1$  mV 的患者生存率明显低于 $<0.1$  mV 的患者,后者有更高的侧支血流压力指数,侧支功能也更好。Meier 等<sup>[28]</sup>也通过侧支血流压力指数及 I. C. ECG 直接和间接评估侧支循环功能,论证了在慢性冠脉综合征患者中,置入金属裸支架的患者比置入药物洗脱支架的患者侧支循环血管的功能更好,可能与药物洗脱支架对细胞因子、血管生长因子和趋化蛋白的抑制作用有关。

### 5 总结与展望

综上所述, I. C. ECG 在心血管介入治疗中具有评估心肌缺血、心肌活性、侧支循环功能等作用,并可以通过评估心肌缺血来评价介入性心肌损伤、STEMI 患者微血管阻塞及应用复杂病变的手术策略指导等等,其临床应用潜能较大,而且实用廉价、操作简单,有望成为导管室治疗的良好辅助工具,将来仍需要更进一步的研究、探索,提高 PCI 的成功率,改善接受介入治疗患者的长期预后。



## 参考文献

- [1] Meier B. Intracoronary electrocardiogram: a free and underexploited diagnostic tool in angioplasty [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(9): 997-999.
- [2] Ozbek SC, Sokmen E. Usefulness of Tp-Te interval and Tp-Te/QT ratio in the prediction of ventricular arrhythmias and mortality in acute STEMI patients undergoing fibrinolytic therapy [J]. *J Electrocardiol*, 2019, 56: 100-105.
- [3] Trinkley KE, Page RL 2nd, Lien H, et al. QT interval prolongation and the risk of torsades de pointes: essentials for clinicians [J]. *Curr Med Res Opin*, 2013, 29(12): 1719-1726.
- [4] Maeda T, Saikawa T, Niwa H, et al. QT interval shortening and ST elevation in intracoronary ECG during PTCA [J]. *Clin Cardiol*, 1992, 15(7): 525-528.
- [5] Elitok A, Ikitimur B, Onur I, et al. The relationship between T-wave peak-to-end interval and ST segment recovery on intracoronary ECG during primary PCI [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2015, 19(6): 1086-1091.
- [6] Uetani T, Amano T, Kumagai S, et al. Intracoronary electrocardiogram recording with a bare-wire system: perioperative ST-segment elevation in the intracoronary electrocardiogram is associated with myocardial injury after elective coronary stent implantation [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2009, 2(2): 127-135.
- [7] Hishikari K, Kakuta T, Lee T, et al. ST-segment elevation on intracoronary electrocardiogram after percutaneous coronary intervention is associated with worse outcome in patients with non-ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 87(4): E113-E121.
- [8] Balian V, Galli M, Marcassa C, et al. Intracoronary ST-segment shift soon after elective percutaneous coronary intervention accurately predicts periprocedural myocardial injury [J]. *Circulation*, 2006, 114(18): 1948-1954.
- [9] Vassilev D, Dosev L, Rigatelli G, et al. Prediction of troponin elevation by means of intracoronary electrocardiogram during percutaneous coronary intervention of coronary bifurcation lesions (from CO coronary Side Branch Residual Ischemia and COLLateralization Assessment Study; COSIBRIA & Co Study [J]. *Kardiol Pol*, 2016, 74(9): 943-953.
- [10] Meng J, Qu X, Huang H, et al. Intracoronary electrocardiogram during alcohol septal ablation for hypertrophic obstructive cardiomyopathy predicts myocardial injury size [J]. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 2016, 43(1): 75-80.
- [11] di Serafino L, Scognamiglio G, Turturo M, et al. FFR prediction model based on conventional quantitative coronary angiography and the amount of myocardium subtended by an intermediate coronary artery stenosis [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 223: 340-344.
- [12] Fearon WF, de Bruyne B, Pijls NHJ. Fractional flow reserve in acute coronary syndromes [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(11): 1192-1194.
- [13] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(2): 87-165.
- [14] 王申, 姚道阔, 李东宝. 侵入性生理学指标评估冠状动脉狭窄功能意义的研究方法及其进展 [J]. *心血管病学进展*, 2019, 40(1): 1-5.
- [15] Balian V, Marcassa C, Galli M, et al. Intracoronary electrocardiogram ST segment shift evaluation during intravenous adenosine infusion: a comparison with fractional flow reserve [J]. *Cardiol J*, 2011, 18(6): 662-667.
- [16] Behan MW, Holm NR, de Belder AJ, et al. Coronary bifurcation lesions treated with simple or complex stenting: 5-year survival from patient-level pooled analysis of the Nordic Bifurcation Study and the British Bifurcation Coronary Study [J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(24): 1923-1928.
- [17] Vassilev D, Dosev L, Collet C, et al. Intracoronary electrocardiogram to guide percutaneous interventions in coronary bifurcations – a proof of concept: the FIESTA (Ffr vs. IcEcGSTA) study [J]. *EuroIntervention*, 2018, 14(5): e530-e537.
- [18] Aslanger E, Simsek MA, Cabbar AT, et al. Is the intracoronary electrocardiogram lesion specific? [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2017, 10(23): e217-e218.
- [19] Niccoli G, Scalone G, Lerman A, et al. Coronary microvascular obstruction in acute myocardial infarction [J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(13): 1024-1033.
- [20] Ikenaga H, Kurisu S, Nakao T, et al. Predictive value of plaque morphology assessed by frequency-domain optical coherence tomography for impaired microvascular perfusion after elective stent implantation: the intracoronary electrocardiogram study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(3): 310-318.
- [21] Wong DT, Leung MC, Das R, et al. Intracoronary ECG during primary percutaneous coronary intervention for ST-segment elevation myocardial infarction predicts microvascular obstruction and infarct size [J]. *Int J Cardiol*, 2013, 165(1): 61-66.
- [22] Yajima J, Saito S, Honye J, et al. Intracoronary electrocardiogram for early detection of myocardial viability during coronary angioplasty in acute myocardial infarction [J]. *Int J Cardiol*, 2001, 79(2-3): 293-299.
- [23] Abaci A, Oguzhan A, Topsakal R, et al. Intracoronary electrocardiogram and angina pectoris during percutaneous coronary interventions as an assessment of myocardial viability: comparison with low-dose dobutamine echocardiography [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2003, 60(4): 469-476.
- [24] Petrucci E, Balian V, Bocchieri A. Real-time assessment of myocardial viability in the catheterization laboratory using the intracoronary electrograms recorded by the PTCA guidewire in patients with left ventricular dysfunction: comparison with delayed-enhancement magnetic resonance imaging [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(9): 988-996.
- [25] Meier P, Seiler C. The coronary collateral circulation – past, present and future [J]. *Curr Cardiol Rev*, 2014, 10(1): 1.
- [26] Antoniucci D, Valenti R, Moschi G, et al. Relation between preintervention angiographic evidence of coronary collateral circulation and clinical and angiographic outcomes after primary angioplasty or stenting for acute myocardial infarction [J]. *Am J Cardiol*, 2002, 89(2): 121-125.
- [27] de Marchi SF, Streuli S, Haefeli P, et al. Determinants of prognostically relevant intracoronary electrocardiogram ST-segment shift during coronary balloon occlusion [J]. *Am J Cardiol*, 2012, 110(9): 1234-1239.
- [28] Meier P, Zbinden R, Togni M, et al. Coronary collateral function long after drug-eluting stent implantation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 49(1): 15-20.

收稿日期: 2020-01-19