

冠状动脉旁路移植术中应用瞬时血流测定评估 桥血管血流量的研究进展

赵勇杰¹ 马宪鲁² 张培喜²

(1. 济宁医学院临床医学院, 山东 济宁 272013; 2. 济宁市第一人民医院心脏大血管外科, 山东 济宁 272011)

【摘要】 冠状动脉旁路移植术是外科手术治疗终末期多支冠状动脉狭窄病变的重要方法。术中桥血管是否通畅直接影响患者的手术效果、术后安全及远期生活质量。瞬时血流测定(TTFM)具有易于操作、损伤小等优点常被用来评估术中桥血管的血运成效,判断异常的桥血管血流量,从而进一步反映桥血管通畅性,在一定程度上可提高手术质量,减少远期桥血管闭塞及改善患者预后。现通过对 TTFM 的临床应用进行详细描述,就冠状动脉旁路移植术中应用 TTFM 对评估桥血管血流量,进而反映桥血管通畅性的临床研究做一综述。

【关键词】 冠状动脉旁路移植术;瞬时血流测定;桥血管血流量;桥血管通畅性

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.12.005

Transit-Time Flow Measurement in Evaluating the Graft Vessel Blood Flow During Coronary Artery Bypass Grafting

ZHAO Yongjie¹, MA Xianlu², ZHANG Peixi²

(1. School of Clinical Medicine, Jining Medical University, Jining 272013, Shandong, China; 2. Cardiovascular Surgery Department of Jining NO. 1 People's Hospital, Jining 272011, Shandong, China)

【Abstract】 Coronary artery bypass grafting is a pivotal surgical intervention for the management of end-stage multi-vessel coronary artery disease. The intraoperative patency of the graft vessels is critical, as it directly influences the surgical outcome, postoperative safety, and long-term quality of life of the patient. Transit-time flow measurement (TTFM) has emerged as a valuable tool due to its ease of use and minimal invasiveness. TTFM is frequently employed to assess the efficacy of graft vessel perfusion during surgery, enabling the detection of abnormal graft vessel blood flow and providing an indication of graft patency. This, in turn, can enhance surgical quality, reduce the incidence of long-term graft occlusion, and improve patient prognosis. This review offers a comprehensive overview of the clinical application of TTFM in coronary artery bypass grafting, focusing on its utility in evaluating graft vessel blood flow and its implications for graft vessel patency.

【Keywords】 Coronary artery bypass grafting; Transit-time flow measurement; Graft vessel blood flow; Bypass graft vessel patency

冠状动脉性心脏病(coronary artery heart disease, CHD)是临床最常见的心血管疾病,已发展成为全球病死率最高的疾病之一^[1]。冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)是目前治疗终末期 CHD 且具有多支冠状动脉狭窄的主要外科方法。CABG 分为体外循环冠状动脉旁路移植术和非体外循环冠状动脉旁路移植术(off-pump coronary artery bypass grafting, OPCAB)。近年来,OPCAB 在肺功能差,合并肾功能不全等多种疾病的 CHD 患者中有一定优势,能显著减少术后并发症的发生,从而得到广泛的应用^[2-3]。然而,CABG 后桥血管的远期通畅率不仅和手术技术、心脏是否停跳等因素有关,还和靶血管

条件等因素相关^[4]。杨磊等^[5]研究结果表明,CHD 患者 OPCAB 后 5 年远期桥血管阻塞的发生率为 24%。因此,术中如何正确、科学、快速地评估桥血管血流量,评判桥血管通畅性,已成为主刀医师评价手术效果的关键。2010 年相关指南指出,瞬时血流测定(transit-time flow measurement, TTFM)通常用于 CABG 中桥血管血流量的评估^[6],其具有快速且可重复评估桥血管功能的特点,并能发现异常桥血管血流量,及时纠正,改善手术效果,受到心脏外科医师的青睐^[7]。多年来,不少研究学者对 TTFM 高度关注,对其常用参数指标、临床效果、应用价值以及患者预后等方面做了深入研究。现重点就 TTFM 在 CABG 中评估桥血管

基金项目:济宁市重点研发计划(2023YXNS194)

通信作者:张培喜, E-mail: zhangpeixi@163.com

血流量,进而反映桥血管通畅性的研究进展做一阐述。

1 TTFM 概述

1.1 TTFM 技术原理

TTFM 是基于超声波原理的技术,具有一个包括声波反射装置和换能装置的超声波探头^[8]。超声波束从换能装置通过反射装置在血流的上行和下行方向上传输,通过上下游超声波脉冲的传播时间差异,得出血流量,并对实时体积流量进行准确量化^[9-10]。当术中桥血管吻合成功后,将探头一端置于要测量血管的根部,另一端连接至主机,可绘制出血流量在不同时间点的流量-时间曲线^[11]。

1.2 TTFM 常用参数

1.2.1 平均桥血管流量

平均桥血管流量(mean graft flow, MGF)表示桥血管内每分钟通过的平均血流量,即 $MGF = Q_{mean}$ 。MGF 主要受桥血管及靶血管的质量和直径、冠状动脉的远端流量、吻合口质量等多种因素影响,从而影响桥血管通畅性。Lehnert 等^[12]对接受 TTFM 的 354 例患者研究发现,MGF 每增加 1 mL/min,单根乳内动脉桥和大隐静脉桥的移植失败风险分别降低 4% 和 2%,并建议 MGF 分别应至少为 20 mL/min 和 40 mL/min,桥血管可具有良好的通畅性。贾彦雄等^[13]采用 ROC 曲线分析结果显示 MGF 对桥血管通畅率的评价具有一定意义(曲线下面积 = 0.678)。

1.2.2 搏动指数

搏动指数(pulsatility index, PI)是桥血管内最大血流量和最小血流量之差与平均血流量的比值,即 $(Q_{max} - Q_{min})/Q_{mean}$,反映了整个心动周期内血流的阻力情况。PI 增大,表示血流阻力增大,血流量减少,桥血管移植失败率可能提高^[14]。郑居兵等^[15]研究结果显示,PI > 4.0 和 PI > 3.7 可分别预测左、右冠状动脉桥血管早期移植失败。但也有研究^[16]认为,PI 可视为桥血管通畅性的可靠指标。赵舟等^[17]对 46 根动脉桥血管、48 根静脉桥血管分析,PI 值对 CABG 后 1 年桥血管通畅率具有中等程度判断价值,且 PI = 2.45 是最佳判断切点,并认为术中 PI < 2.45 时,术后 1 年动脉桥血管均有较好通畅率。

1.2.3 舒张期充盈比

舒张期充盈比(diastolic filling, DF)是桥血管舒张期血流量与收缩期和舒张期血流量之和的比值,通常以百分比表示,即 $Q_{舒张期}/(Q_{舒张期} + Q_{收缩期}) \times 100\%$,代表舒张期桥血管血流量的比例。由于冠状动脉血流灌注主要在舒张期,DF 更能反映心脏的血流模式,对评估桥血管内的血流量,确保桥血管通畅更有优势。DF 通常会受到心率、血压、探头位置、桥血管吻合质量

的影响^[9]。研究^[18-19]认为,DF > 50% 时,桥血管通畅性良好,血流量更充盈。

2 TTFM 在评估桥血管通畅性中的应用

术中桥血管移植失败是影响桥血管通畅的主要因素之一。早期研究^[20]表明,5% ~ 11% 的患者在 CABG 中存在桥血管移植失败,影响预后。另外,术中桥血管材料也是影响桥血管通畅性的因素之一。目前,国内外主刀医师多选择将乳内动脉、桡动脉、大隐静脉等作为桥血管方案进行移植,研究结果表明左乳内动脉桥血管术后 10 年通畅率可达到 90%^[21],右乳内动脉桥血管与桡动脉桥血管术后 10 年通畅率相当,可为 90% 左右^[22],而大隐静脉桥血管术后 10 年通畅率为 40% ~ 50%^[23]。可见,应用不同的桥血管材料,患者术后桥血管的通畅率差别较大。而术后桥血管通畅性是评价 CABG 临床疗效与患者生存质量的可靠依据,TTFM 不仅可以通过对术中桥血管血流量的测量,评估桥血管通畅性,还可以及时发现并处理可能存在的血管阻塞或低流量等问题,从而避免或减少心肌梗死等严重并发症的发生,提高手术质量并改善患者预后^[24-25]。术中良好的桥血管血流量是桥血管通畅的早中期指标^[26],术中常规应用 TTFM 进行桥血管血流量评估,可进一步提高桥血管通畅性。Forcillo 等^[27]研究 TTFM 在复合和序贯 CABG 中的应用时,利用 TTFM 测量 MGF、DF 和 PI 等参数,进而评估桥血管的通畅性。当 MGF > 15 mL/min、DF > 50% 以及 PI < 3 或 5 时,被认为是桥血管通畅性的指标。这些指标为术者提供了桥血管是否能够有效满足心肌血运供应需求的直接信息。王东等^[28]曾在文章中提到,对术中不使用 TTFM 测量桥血管血流量的患者进行术后随访,接近 50% 的患者行冠状动脉造影时能发现桥血管出现慢性完全或者不完全闭塞病变。因此应用 TTFM 评估 CABG 术中及术后桥血管通畅性具有重要意义。

但是随着 TTFM 的技术发展成熟,其使用率并未提高,在 2017 年全球 80 万例 CABG 中,使用 TTFM 评估桥血管通畅性的手术占 30%^[29]。这可能与术中使用冠状动脉造影有关,因为冠状动脉造影能直观评估桥血管通畅程度,一度被临床医师认为是评估血管的“金标准”。Kim 等^[30]回顾了 3 083 例接受 CABG 的患者,其中 2 820 例接受了常规术后早期(< 7 d)血管造影,并比较了引入 TTFM 前后的桥血管通畅程度。研究表明,术中使用 TTFM 进行血流量测量和纠正异常桥血管血流量可改善早期动脉桥血管通畅性,根据术后早期血管造影结果,2.3% 的患者再次手术干预后可能进一步提高桥血管通畅性。但术后早期使用冠状动脉造影,患者再次接受对比剂甚至开胸修复血

管,对身体可造成伤害,且医疗费用昂贵,而使用 TTFM 仅是在一次手术中即可判断并纠正异常桥血管血流量,可使患者免受二次伤害。除此之外,其他评估手术质量及桥血管通畅性的技术也在临床使用。近年来,高频超声与 TTFM 在 CABG 中联合应用,可避免主动脉病变区域扩大,识别和纠正影响桥血管质量的不良技术问题,直观地减少围手术期不良事件,提高桥血管通畅性,改善手术结果^[31-32]。由此可见,在冠状动脉造影、高频超声等多种评估桥血管通畅性的技术外,TTFM 作为一种安全、有效的桥血管通畅性评估技术,其单独应用或与之联合应用的临床价值已得到大多数心外科医师的认可。随着技术的进一步发展和临床应用的普及,TTFM 有望在 CABG 中发挥更大的作用。

3 TTFM 应用的优势与局限性

3.1 优势

近些年,随着学者们对 TTFM 技术的认识逐渐加深,TTFM 被广泛应用于 CABG 中。2018 年《ESC/EACTS 心肌血运重建指南》^[33]肯定了 TTFM 在评估 CABG 中桥血管质量及通畅性方面的作用,并将其作为 II a 级推荐。与冠状动脉造影等其他评估桥血管通畅性的技术相比,TTFM 更具有优势。第一,TTFM 设备操作简单易行,主刀医师及手术室人员接受专业培训后即可使用。第二,TTFM 是基于超声波技术,采用 U 型探头在桥血管表面进行血流量测量,在不损伤桥血管的同时可快速、准确、实时记录桥血管血流动力学信息,术者可根据血流实时信息及波形变化来评估桥血管的通畅性^[34]。第三,TTFM 的使用有助于降低患者遭受二次伤害的风险。传统的术后评估方法,如冠状动脉造影需要患者再次接受有创操作,这不仅增加了患者的痛苦,还可能带来额外的风险。TTFM 提供了一种无创的替代方案,避免了患者再次接受对比剂注射甚至开胸手术,从而降低了患者的身体和经济负担。第四,TTFM 的应用还降低了医疗费用,由于 TTFM 能够提供即时的血流动力学信息,减少了术后早期冠状动脉造影的必要性,这不仅减轻了患者的经济压力,也提高了医疗资源的利用效率。第五,TTFM 对于提高桥血管的通畅性也起到了重要作用。研究^[35]表明,通过 TTFM 对桥血管血流量的评估和干预,可显著提高桥血管的通畅率。Quin 等^[36]在一项 ROOBY 试验的子分析中,比较了术中进行 TTFM 测量和未进行 TTFM 测量的患者在一年随访时的桥血管通畅率。研究结果发现,在一年随访期内,TTFM 组的桥血管完全通畅率为 83%,而非 TTFM 组的桥血管完全通畅率为 78%,差异具有统计学意义。他们认为进行

TTFM 评估与一年桥血管通畅性改善相关。因此,应积极推广 CABG 中使用 TTFM,使患者受益。

3.2 局限性

尽管 TTFM 存在诸多优势,但也有较多的影响因素,如术中血压、心率的波动,桥血管质量,操作者经验及探头使用频率和尺寸大小等都可对其测量桥血管血流量,评估桥血管通畅性造成影响。Amin 等^[8]研究报道,探头尺寸与桥血管直径不符或测量时探头与桥血管的角度不垂直,可导致 TTFM 对桥血管内血流量测量不准确,影响手术质量。其次,由于不同患者之间以及同一患者内的生物学差异很大,缺乏不同类型桥血管的标准流量曲线和流量值,难以对 TTFM 测量的结果进行统一量化,这可能造成术者评估桥血管通畅性时出现一定的误差^[7]。因此,需要对 TTFM 与桥血管通畅性之间的关系进行更加深入的研究与探讨,以便其更好用于临床,为患者获益。

4 总结与展望

目前,TTFM 是 CABG 中常用于测量桥血管血流量来评估桥血管通畅性的一种技术,通过术中快速、准确反映桥血管的血流动力学信息,分析其常用参数 PI、MGF、DF 等指标,及时纠正处理异常桥血管血流量,可为术者评价桥血管是否通畅提供依据,一定程度上提高手术效果,改善患者预后。但 TTFM 也存在仅在术中使用、测量结果尚未统一量化等不足。当前,基于 TTFM 的多个临床研究结果表明其对早期桥血管通畅性具有良好的评估效果,但对评估桥血管中远期通畅率的判断尚不确切。MGF、PI 等参数可否预测中远期桥血管通畅性,目前尚未有研究结果,未来还需更多的学者进行长期随访研究。

参考文献

- [1] Leal J,Becker F,Lim LL,et al. Health utilities in Chinese patients with coronary heart disease and impaired glucose tolerance (ACE): a longitudinal analysis of a randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. *J Diabetes*,2022,14(7): 455-464.
- [2] Liu Z,Yang Z,Ge Y,et al. The effect of off-pump coronary artery bypass grafting in patients on aspirin therapy until surgery day [J]. *Contrast Media Mol Imaging*,2022,2022:8674401.
- [3] Park S,Nam K,Kim TK. Association between preoperative fibrinogen-to-albumin ratio and all-cause mortality after off-pump coronary artery bypass grafting: a retrospective observational study [J]. *Anesth Analg*,2022,134(5):1021-1027.
- [4] Tzoumas A,Giannopoulos S,Kakargias F,et al. Repeat coronary artery bypass grafting: a meta-analysis of off-pump versus on-pump techniques in a large cohort of patients [J]. *Heart Lung Circ*,2021,30(9):1281-1291.
- [5] 杨磊,许田田,栗振坤. 非体外循环冠状动脉旁路移植术后远期桥血管阻塞风险预测模型构建及验证 [J]. *心脑血管病防治*,2023,23(9):20-23.
- [6] Wijns W,Kohl P,Danchin N,et al. Guidelines on myocardial revascularization [J]. *Eur Heart J*,2010,31(20):2501-2555.
- [7] Kim HH,Kim JH,Lee SH,et al. Transit-time flow measurement and outcomes in

- coronary artery bypass graft patients[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 35(2):217-227.
- [8] Amin S, Werner RS, Madsen PL, et al. Intraoperative bypass graft flow measurement with transit time flowmetry: a clinical assessment[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(2):532-538.
- [9] Gaudino M, Sandner S, di Giammarco G, et al. The use of intraoperative transit time flow measurement for coronary artery bypass surgery: systematic review of the evidence and expert opinion statements[J]. *Circulation*, 2021, 144(14):1160-1171.
- [10] Amin S, Pinho-Gomes AC, Taggart DP. Relationship of intraoperative transit time flowmetry findings to angiographic graft patency at follow-up[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(5):1996-2006.
- [11] Balacumaraswami L, Taggart DP. Intraoperative imaging techniques to assess coronary artery bypass graft patency[J]. *Ann Thorac Surg*, 2007, 83(6):2251-2257.
- [12] Lehnert P, Moller CH, Damgaard S, et al. Transit-time flow measurement as a predictor of coronary bypass graft failure at one year angiographic follow-up[J]. *J Card Surg*, 2015, 30(1):47-52.
- [13] 贾彦雄, 高杰, 顾松, 等. 术中瞬时血流测定对冠状动脉旁路移植术后桥血管质量的预测价值[J]. *中国医药*, 2023, 18(5):667-671.
- [14] Honda K, Okamura Y, Nishimura Y, et al. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(6):1622-1628.
- [15] 郑居兵, 刘韬帅, 李扬, 等. 术中即时流量测定预测冠状动脉旁路移植术早期移植失败研究[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2018, 32(7):684-687.
- [16] 高长青, 肖苍松, 李伯君, 等. 国人桥血流搏动指数的研究[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2004, 20(1):37-39.
- [17] 赵舟, 胡立宝, 张犁雪, 等. TTFM 参数预测 CABG 术后 1 年移植血管通畅性的研究[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2018, 34(1):40-42, 55.
- [18] Walker PF, Daniel WT, Moss E, et al. The accuracy of transit time flow measurement in predicting graft patency after coronary artery bypass grafting[J]. *Innovations (Phila)*, 2013, 8(6):416-419.
- [19] Takami Y, Takagi Y. Roles of transit-time flow measurement for coronary artery bypass surgery[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 66(6):426-433.
- [20] Fukui T. Intraoperative graft assessment during coronary artery bypass surgery[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 63(3):123-130.
- [21] Tasbulak O, Sahin A. The CHA₂DS₂-VAsC score as an early predictor of graft failure after coronary artery bypass surgery[J]. *Cureus*, 2022, 14(3):e22833.
- [22] Gaudino M, Audisio K, di Franco A, et al. Radial artery versus saphenous vein versus right internal thoracic artery for coronary artery bypass grafting[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(1):ezac345.
- [23] Ogawa S, Tsunekawa T, Hosoba S, et al. Bilateral internal thoracic artery grafting: propensity analysis of the left internal thoracic artery versus the right internal thoracic artery as a bypass graft to the left anterior descending artery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(4):701-708.
- [24] di Giammarco G, Canosa C, Foschi M, et al. Intraoperative graft verification in coronary surgery: increased diagnostic accuracy adding high-resolution epicardial ultrasonography to transit-time flow measurement[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 45(3):e41-e45.
- [25] Kuroyanagi S, Asai T, Suzuki T. Intraoperative fluorescence imaging after transit-time flow measurement during coronary artery bypass grafting[J]. *Innovations (Phila)*, 2012, 7(6):435-440.
- [26] Rosenfeld ES, Trachiotis GD, Napolitano MA, et al. Intraoperative transit-time flow measurement and high-frequency ultrasound in coronary artery bypass grafting: impact in off versus on-pump, arterial versus venous grafting and cardiac territory grafted[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 61(1):204-213.
- [27] Forcillo J, Noiseux N, Dubois MJ, et al. Intra-operative graft blood flow measurements for composite and sequential coronary artery bypass grafting[J]. *Int J Artif Organs*, 2014, 37(5):382-391.
- [28] 王东, 李辉, 左琳, 等. 术中应用即时血流测定方法评估非体外循环冠状动脉旁路移植术桥血管质量[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2020, 18(22):3854-3857.
- [29] Kieser TM, Taggart DP. The use of intraoperative graft assessment in guiding graft revision[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2018, 7(5):652-662.
- [30] Kim KB, Choi JW, Oh SJ, et al. Twenty-year experience with off-pump coronary artery bypass grafting and early postoperative angiography[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 109(4):1112-1119.
- [31] Taggart DP, Thuijs D, di Giammarco G, et al. Intraoperative transit-time flow measurement and high-frequency ultrasound assessment in coronary artery bypass grafting[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(4):1283-1292.
- [32] Wendt D, Shehada SE, Mourad F, et al. Transit time flow measurement and high frequency ultrasound epicardial imaging to guide coronary artery bypass surgery[J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2019, 60(2):245-250.
- [33] 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.
- [34] Tsuneyoshi H, Komiya T, Kadota K, et al. Coronary artery bypass surgery is superior to second generation drug-eluting stents in three-vessel coronary artery disease: a propensity score matched analysis[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52(3):462-468.
- [35] Thuijs D, Bekker M, Taggart DP, et al. Improving coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis on the impact of adopting transit-time flow measurement[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2019, 56(4):654-663.
- [36] Quin JA, Noubani M, Rove JY, et al. Coronary artery bypass grafting transit time flow measurement: graft patency and clinical outcomes[J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 112(3):701-707.

收稿日期:2024-06-06

欢迎投稿 · 欢迎订阅