

无创心输出量监测仪 ICON[®] 在 CCU 中的应用进展

伍星 郎明健 刘波 冯楠 陈英杰

(成都市第五人民医院(成都中医药大学附属第五人民医院/第二临床医学院)心内科 成都市老年疾病研究所/成都市肿瘤防治所,四川 成都 611137)

【摘要】 随着重症医学的进步,无创血流动力学监测在 CCU 日益普遍。无创心输出量监测仪 ICON[®] 通过生物阻抗无创监测,可实现对心输出量、每搏输出量和周围血管阻力等血流动力学参数的实时测量,并给予心力衰竭或休克等重症患者定制化治疗。现回顾无创心输出量监测仪的技术原理、临床优势、临床证据与发展方向。

【关键词】 无创监测;血流动力学;冠心病监护病房;生物阻抗

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2025.12.003

Application of Non-Invasive Cardiac Output Monitoring ICON[®] in CCU

WU Xing, LANG Mingjian, LIU Bo, FENG Nan, CHEN Yingjie

(Geriatric Diseases Institute of Chengdu/Cancer Prevention and Treatment Institute of Chengdu, Department of Cardiovascular, Chengdu Fifth People's Hospital (The Second Clinical Medical College, Affiliated Fifth People's Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine), Chengdu 611137, Sichuan, China)

【Abstract】 With the advancement of intensive care medicine, non-invasive hemodynamics monitoring has become increasingly common in the CCU. The non-invasive cardiac output monitor ICON[®], utilizing bioimpedance-based non-invasive monitoring, allows for real-time measurement of hemodynamics parameters such as cardiac output, stroke volume, and systemic vascular resistance. It provides tailored treatment for critically ill patients, such as those with heart failure or shock. This review outlines the technical principles, clinical advantages, clinical evidence, and future directions of the non-invasive cardiac output monitoring device.

【Keywords】 Non-invasive monitoring; Hemodynamics; Coronary care unit; Bioimpedance

心脏重症患者血流动力学情况复杂多变,动态监测尤其重要。尽管传统的有创监测(如 Swan-Ganz 导管)仍被认为是目前评估血流动力学参数的金标准^[1],但由于感染风险大、操作难度大、费用昂贵等原因,它的临床应用受到了限制。近年来,越来越多无创监测工具出现,尤其是重症患者或在术后恢复阶段使用无创心输出量(cardiac output, CO)监测仪 ICON[®],具有良好的安全性和可重复性^[2]。该技术基于电生理心脏计量学,无需特殊通路,能提供包括 CO、每搏输出量(stroke volume, SV)等即时血流动力学数据,与传统有创监测相比,具有更好的实用性,能够用于多种临床环境^[3]。通过应用这种监测工具能够实时获取血流动力学数据,有助于更加精准地评估病情,调整治疗策略。

1 ICON[®] 系统的技术原理与优势

1.1 技术原理

基于电生理心脏计量学的 ICON[®] 系统,其依据是监测到血液流动引起的电导率改变,从而反映主动脉血流情况。它的测量原理是心脏周期中血液电导率的变化。在主动脉瓣开放的瞬间因红细胞重新排列导致电导率变化^[4]。在患者身体上放置 4 个电极,实时捕捉相关数据从而计算出患者的 CO、SV 等一系列血流动力学参数,操作简单容易。可以准确跟踪心脏周期内的生物阻抗改变,并给出循环系统功能相关的诊断数据,能对患者病情当前的状态做出最直接有效的反馈,包括重要器官供血和氧合等情况,实时获取系统性血管阻力(systemic vascular resistance, SVR),动态反映病情变化,及时调整治疗方案^[5]。

基金项目:四川省卫生健康委员会科技项目(24SYJS03)

通信作者:郎明健, E-mail: lmjian1976@163.com

1.2 监测指标

ICON® 系统可监测多种重要的血流动力学参数,主要包括 CO、SV、SVR 以及胸腔液体含量(thoracic fluid content, TFC)等^[6]。CO 反映心脏每分钟泵出的血液量,是评估心脏功能的关键指标;SV 代表心脏每次收缩射出的血量,能直观体现心脏单次泵血能力;SVR 反映血管系统对血流的阻力大小,与血压调节密切相关;TFC 用于评估肺部充血情况,对于判断心功能和指导液体管理具有重要意义^[7]。

1.3 材料

ICON® 系统的电极采用特殊的导电材料制成,具备良好的导电性和生物相容性,能够稳定地采集人体电信号,且对皮肤刺激性小,可长时间佩戴。其主机部分采用先进的微处理器和信号处理芯片,能够快速、准确地处理和分析采集到的电信号数据,确保监测结果的可靠性。整个系统的外壳采用高强度、轻量化的工程塑料,既保证了设备的耐用性,又便于携带和操作^[8]。

2 ICON® 在 CCU 中的临床应用进展

ICON® 监测可快速判断给予心血管疾病患者一定量静脉输液之后的反应,评估是否需要调整治疗方案,这对心力衰竭患者尤其重要(无论液体过多或过少都不利于心脏功能)^[9]。对于在 CCU 中持续监测的心血管疾病患者,ICON® 可以提供实时心功能数据,让医生能够对当前状况做出及时判断处理,并对治疗方案进行实时调整,从而提高了应对急性事件的能力。ICON® 参数的变化还辅助医生调整利尿剂和血管活性药等的剂量,优化患者的血流动力学状况^[10]。

2.1 急性心力衰竭的容量管理

TFC 能够有效评估肺部充血情况,它的变化可以指导利尿剂使用、液体平衡策略等。对急性心力衰竭患者来说,TFC 是调整容量管理的关键。临床研究^[11]表明,ICON® 监测 TFC,指导利尿剂的剂量调整,从而纠正不当的液体治疗。多中心研究^[12]显示 ICON® 指导下的容量策略降低了急性心力衰竭再住院率,这表明 ICON® 在容量管理中起着重要作用。

2.2 急性冠脉综合症的缺血评估

急性冠脉综合征发生时,冠状动脉供血急剧减少,可能因心肌缺血而出现收缩和舒张功能障碍^[13]。ICON® 监测 CO、SV 等,直接反映心脏泵血功能。如 CO 降低可能提示心肌缺血范围较广或程度较重^[14]。ICON® 可以及时发现患者心功能的细微变化。病情加重时,可能会出现 CO 进一步降低、心率加快等表现,有助于医生及时调整治疗方案。如果 CO 较低,需要适当增加强心药来增强心肌收缩力,改善心功能;

如果心脏前负荷过高,可使用利尿剂等药物来减轻心脏负担,优化心脏的血流动力学状态,从而改善心肌的供血供氧。如果 CO 逐渐恢复正常或保持稳定,提示心肌缺血得到较好的控制,心脏功能在逐渐恢复,预后相对较好;反之,则提示病情严重,预后不良^[14]。

2.3 心源性休克的早期识别与干预

一项研究^[15]指出 ICON® 系统在代偿期休克患者中的效能与有创监测的相关系数值达 0.92 (95% CI 0.85~0.96)。ICON® 结合心指数(cardiac index, CI)和 SVR,可以识别不同类型(如低动力学型和高阻力型)的休克,并帮助选择适当的药物(如强心药或血管扩张药)。另一项研究^[16]也发现,通过早期应用血流动力学管理,能较早发现急性心血管事件患者不稳定的血流动力学状态并及时纠正,可以显著提高患者的生存率。临床研究^[17]表明,通过 ICON® 的监测,可以及早了解到一些被忽视的、隐性低心排量症状,通过 ICON® 对血流动力学参数的实时监测,及时应用机械循环支持(如主动脉内球囊反搏),改善了患者的临床结局。

2.4 右心室梗死的监测

右心室梗死可能造成右心功能衰竭,使用强心药能够提升右心室的收缩功能并改善患者的血流动力学状态。ICON® 可监测患者 CO 和 SV 的变化,指导正确调整药物剂量,使强心药发挥最理想的效用^[18]。在 ICON® 指引下,有效掌握患者右心室的功能情况,在确定是由于右心室梗死引起了低 SV 的情况下,采取针对性措施,积极补液,动态实时地进行血流动力学监测,最终维持血流动力学稳定的良好状态^[19]。

2.5 预后评估与围手术期管理

2.5.1 预后评估

ICON® 系统进行血流动力学监测对于预后的预测具有极其重要的作用。出现低 CI ($CI < 2.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) 以及高 SVR ($SVR > 2000 \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5}$) 时,提示预后不良,患者可能存在器官衰竭或死亡风险,这常常代表着患者处于不稳定的血流动力学状态中^[20]。ICON® 监测这些参数可以为医生提供实时指导,及时有效处理,减少风险发生。针对不同的血流动力学情况进行不同的治疗也能更加精准地应对疾病阶段^[21]。

2.5.2 围手术期管理

ICON® 越来越多地应用于心脏相关手术中。有研究^[22]指出,借助 ICON® 可以实现对手术患者 CO 的连续监测,为麻醉管理、液体治疗提供更多指导和帮助,并有助于术后康复。在进行相关手术之前,可以利用 ICON® 评价患者的血流动力学基础状态;术后应用该系统亦可动态追踪和监测相关的血流动力学

变化情况,提前预警可能发生的并发症,降低术后发生并发症的风险,提高手术效果^[23]。

3 优势与局限性

3.1 优势

ICON[®] 对于血流动力学不稳定的快速筛查优势明显,且减少有创监测带来的伦理问题,尤其对老年和凝血功能异常的患者,其核心优势为无创、实时、简便,减少患者的不适及风险,优点是感染少、出血少,能及时捕捉血流动力学的变化,并提供即时反馈供救治人员及时调整相关治疗^[24]。ICON[®] 是无创监测仪器,极大程度地规避了因监测造成的感染、出血相关风险,并且具有实时监测的意义。ICON[®] 系统的操作难度较小,在各个场所均可实施,增加了使用的便利性^[25]。

3.2 局限性

ICON[®] 也有误差率,尤其是在严重心律失常、胸腔积液或肥胖患者中。肥胖者体重指数 $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 的误差率明显高于正常人群 ($P=0.032$),相应地增加了 12.7% 的误差率^[26]。因此,在解释 ICON[®] 结果时应结合相关临床背景,不要只依赖于某一项参数;并且在一些特定环境下(严重周围血管状况不良或心律失常),ICON[®] 并不能提供有用数据,且对 ICON[®] 维护和校准需投入较多的时间^[27]。此外,ICON[®] 不能监测肺动脉压及右心房压。这些都需要采用有创的方式监测(如将导管插入右心室)以获取相应数据^[28]。

4 未来发展方向

未来,ICON[®] 有望结合超声心动图、无创血压等多种监测手段,提升数据的可靠性和准确性。通过整合多种数据来源,能够更全面地了解患者的健康状态,从而为临床决策提供更精确的信息。此外,ICON[®] 还可与机器学习算法结合,利用如脑钠肽、乳酸等实验室指标,进行早期预警评分,帮助在疾病初期识别高风险患者并进行及时干预。利用大数据与人工智能,ICON[®] 可显著提升疾病管理效果,减少患者并发症的发生和降低死亡风险。

通过 5G 技术,ICON[®] 系统不仅限于医院内部,还能实现院外高危患者的远程监控和数据传输。5G 的高带宽、低延迟特性使得系统可以实时追踪患者健康状况,尤其适用于长期随访。这样的智能远程健康管理方式,不仅能提高患者的治疗依从性,减少就诊次数,还能提供个体化、精准的治疗方案,推动医疗服务向更高效、便捷的方向发展。

5 结语及展望

ICON[®] 系统为 CCU 提供了一种安全有效的血流

动力学监测工具,通过监测 CO 及 SVR 等指标的动态变化,使医生能够实时评估患者血流动力学状态及预后,并决定给予药物、液体治疗或机械循环支持,提高患者生存率。无创血流动力学监测作为一种重要的临床监测手段,近年来取得了显著的进展,准确性和稳定性不断提高,为临床医生提供了更可靠的患者循环功能信息,已广泛应用于重症监护、手术麻醉、急诊救治等多个领域,为患者的诊治提供了有力支持。当然,无创血流动力学监测技术目前仍有一些局限性。例如,部分技术在监测精度上与有创监测相比仍有差距,容易受到患者个体差异、生理状态以及外界环境等多种因素的干扰。对于一些病情复杂的患者,单一的非创监测参数可能无法全面反映真实情况,需要结合其他监测手段进行综合判断。

展望未来,随着科技的不断进步,无创血流动力学监测技术有望在多个方面取得突破。技术革新方面,新型传感器和算法的研发将进一步提高监测精度和拓展监测参数。临床应用上,将更加注重在慢性病管理、基层医疗和家庭医疗等领域的推广,以提高医疗服务的可及性和患者的生活质量。同时,多模态监测与数据整合的发展趋势将为临床医生提供更全面、精准的患者信息,助力实现个体化医疗。在不久的将来,无创血流动力学监测技术将在临床实践中发挥更为重要的作用,为患者的健康保驾护航。

参考文献

- [1] Diaz-Arocutipa C, Moreno G, Gil DG, et al. Effect of pulmonary artery catheterization in patients with non-ischemic cardiogenic shock: a nationwide analysis[J]. *Shock*, 2024, 62(2): 186-192.
- [2] Meng QL, Sun Y, He H, et al. Non-invasive thoracic electrical bioimpedance technique-derived hemodynamic reference ranges in Chinese Han adults[J]. *Chin Med J*, 2021, 134(20): 2515-2517.
- [3] Yang Y, Qian Q, Yang XY, et al. Measurement of non-invasive cardiac output during cycling exercise in ischemic stroke inpatients: a pilot study[J]. *Technol Health Care*, 2023, 32(1): 215-228.
- [4] Sel K, Asgar SAG, Osman D, et al. Wearable bioimpedance sensor characterization for blood flow monitoring[C]. 2023 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS); IEEE, 2023: 1-5.
- [5] Mahajan S, Gu J, Lu Y, et al. Hemodynamic phenotypes of hypertension based on cardiac output and systemic vascular resistance[J]. *Am J Med*, 2020, 133(4): e127-e139.
- [6] Kadafi KT, Latief A, Pudjiadi AH. Determining pediatric fluid responsiveness by stroke volume variation analysis using ICON[®] electrical cardiometry and ultrasonic cardiac output monitor: a cross-sectional study[J]. *Int J Crit Illn Inj Sci*, 2020, 10(3): 123-128.
- [7] Galas A, Krzesiński P, Gielerek G. Thoracic fluid content as a useful diagnostic marker of resting dyspnoea in patients hospitalised due to acute heart failure[J]. *Pediatr Med Rodz*, 2024, 20(1): 52-57.
- [8] Zakariás D, Marics G, Kovács K, et al. [Clinical application of the electric cardiometry based non-invasive ICON[®] hemodynamic monitor][J]. *Orv Hetil*, 2018, 159(44): 1775-1781.

- [9] Douglas I, Elwan M, Najarro M, et al. Dynamic monitoring tools for patients admitted to the emergency department with circulatory failure: narrative review with panel-based recommendations [J]. *Eur J Emerg Med*, 2024, 31(2): 98-107.
- [10] Shacham Y, Stern T, Stern T, et al. Using continuous electronic urine output monitoring for the management of acute cardio-renal syndrome in patients with acute decompensated heart failure [J]. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2024, 13(suppl 1): zuae036. 023.
- [11] Galas A, Krzesiński P, Banak M, et al. Thoracic fluid content as an indicator of high intravenous diuretic requirements in hospitalized patients with decompensated heart failure [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(8): 5625.
- [12] Cavusoglu Y, Altay H, Nalbantgil S, et al. Pre-discharge and post-discharge management and treatment optimization in acute heart failure [J]. *Turk Kardiyol Derneği Arsiv*, 2022, 50(5): 378-394.
- [13] Algoet M, Janssens S, Himmelreich U, et al. Myocardial ischemia-reperfusion injury and the influence of inflammation [J]. *Trends Cardiovasc Med*, 2023, 33(6): 357-366.
- [14] Stępnik P, Cacko A, Kołodzińska A, et al. Non-invasive methods of cardiac output measurement and their importance in everyday clinical practice: the current state of knowledge [J]. *Folia Cardiol*, 2021, 16(4): 237-241.
- [15] Rali A, Buechler T, van Gotten B, et al. Non-invasive cardiac output monitoring in cardiogenic shock: the NICOM study [J]. *J Cardiac Fail*, 2019, 26(2): 160-165.
- [16] Rao S, Lalitha A, Reddy M, et al. Electrocardiometry for hemodynamic categorization and assessment of fluid responsiveness in pediatric septic shock: a pilot observational study [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2021, 25(2): 185-192.
- [17] Karim HMR. Cardio circulatory and respiratory monitoring of mechanically ventilated critically ill patients [J]. *Anaesth Pain Intensive Care*, 2018, 22(suppl 1): S142-S149.
- [18] Vankar S, Sharma A, Dwivedi S, et al. Invasive assessment of fluid therapy in hypotensive patients of postinferior wall myocardial infarction complicated by right ventricular infarction [J]. *Heart India*, 2021, 9(2): 95-101.
- [19] Majella J, Chhabra S. Right heart catheterization-revisited [J]. *Indian J Cardiovasc Dis Women*, 2023, 9(1): 28-34.
- [20] Wu Y, Tian P, Liang L, et al. Afterload-related cardiac performance is a powerful hemodynamic predictor of mortality in patients with chronic heart failure [J]. *Ther Adv Chronic Dis*, 2023, 14: 20406223231171554.
- [21] Mukai A, Suehiro K, Kimura A, et al. Effect of systemic vascular resistance on the reliability of noninvasive hemodynamic monitoring in cardiac surgery [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 35(6): 1782-1791.
- [22] Soaida S, Hanna M, Mahmoud A, et al. Electrical velocimetry (ICON cardiometry) assessment of hemodynamic changes associated with different inflation pressures during pediatric thoracoscopic surgery: a pilot study [J]. *Egypt J Cardiothorac Anesth*, 2021, 15(1): 3-9.
- [23] Lorenzen U, Grünewald M. [Targeted hemodynamic monitoring in the operating theatre: what for and by what means?] [J]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 2022, 57(4): 246-262.
- [24] Capiga D, Czyżewski L. Non-invasive assessment of haemodynamic parameters in an emergency department [J]. *Disaster Emerg Med J*, 2020, 5(3): 142-149.
- [25] Eyeington C, Lloyd-Donald P, Chan M, et al. Non-invasive continuous haemodynamic monitoring and response to intervention in haemodynamically unstable patients during rapid response team review [J]. *Resuscitation*, 2019, 143: 124-133.
- [26] Patel K, Reddy R, Sau A, et al. Obesity as a risk factor for cardiac arrhythmias [J]. *BMJ Med*, 2022, 1(1): e000308.
- [27] González-Fajardo J, Ansuátegui M, Romero C, et al. Atrial fibrillation and surgical patients with peripheral arterial disease [J]. *Ann Vasc Surg*, 2020, 67: 411-416.
- [28] Szekeley Y, Brahmabhatt D, Scolari F, et al. Non-invasive assessment of right ventricular function and pulmonary pressures in cardiogenic shock remains challenging; don't pack away the PAC just yet [J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(suppl 2): ehac544. 1093.

收稿日期: 2025-03-31

投稿须知

1. 投稿请作者根据系统提示填写完整个人信息(基金项目及编号、单位、地址、邮编、手机号码、E-mail、研究方向等)。
2. 稿件请用 word 格式文件上传,格式参照系统首页 2024 投稿格式示例。
3. 文责自负,编辑部可对文稿做文字修改、删减或退请作者修改。投稿刊登后其版权归《心血管病学进展》编辑部。
4. 收到本刊回执 2 个月后未接到本刊录用通知,则稿件仍在审阅研究中,作者如需另投他刊,请先与本刊联系。请勿一稿多投。
5. 本刊已加入中国学术期刊光盘版及网络版等。凡在本刊发表的论文将自然转载其中,如作者有异议,请投稿时声明,否则本刊将视为作者同意。

本刊编辑部