

全身麻醉诱导后低血压预测指标的研究进展

吴秋荣 王彬

【摘要】 全身麻醉诱导后低血压(PIH)在临床麻醉工作中十分常见。使用静脉麻醉药物后,患者心输出量减少、全身血管阻力降低,导致 PIH。PIH 与术后心肌损伤、肾损伤、脑卒中、住院时间延长甚至死亡等不良术后结局相关。因此,预测 PIH 并采取相应预防措施将会改善患者预后,然而有效预测 PIH 的方式目前仍存在争议。本文就 PIH 预测指标的研究进展进行综述,为临床识别高危患者、改善 PIH、减少不良术后结局提供参考。

【关键词】 全身麻醉;诱导;低血压;预测

Research progress on predictors of hypotension after induction of general anesthesia WU Qiurong, WANG Bin. Department of Anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

Corresponding author: WANG Bin, Email: 774935778@qq.com

【Abstract】 Post-induction hypotension (PIH) is very common in clinical anesthesia after induction of general anesthesia. Intravenous anesthetic drugs could decrease cardiac output and systemic vascular resistance and then lead to PIH. PIH is associated with adverse postoperative outcomes such as myocardial injury, renal injury, stroke, prolonged hospital stays, and even death. Therefore, predicting PIH and taking corresponding preventive measures will improve the prognosis of patients. However, the effective way to predict PIH is still controversial. This article reviews the research progress of PIH predictors in order to provide a reference for the clinical identification of high-risk patients, improvement of PIH, and reduction of adverse postoperative outcomes.

【Key words】 General anesthesia; Induction; Hypotension; Prediction

全身麻醉诱导后低血压(post-induction hypotension, PIH)是临床工作中的常见现象,被证实为非心脏手术患者发生术后不良结局的独立危险因素,可导致心肌损伤、心力衰竭、急性肾损伤、脑卒中、住院时间延长甚至死亡等不良结局^[1-2]。因此,早期预测 PIH 可针对性地进行目标导向液体治疗,指导麻醉药品及血管活性药物的使用,减少患者发生术后不良结局的风险。本文对 PIH 相关预测指标进行综述,旨在为临床预防 PIH 提供参考。

PIH 概述

PIH 通常是指从全身麻醉诱导后到手术切皮之前发生的术中低血压(intraoperative hypotension, IOH)。目前,对于 IOH 尚无统一定义,最常使用的 IOH 定义为 SBP<90 mmHg、MAP<60 mmHg 或 SBP

或 MAP 的降低幅度超过基线值的 20%。用绝对阈值来定义 IOH 更能预测不良术后结局的发生,因此推荐使用绝对阈值来定义 IOH,即 MAP<60 mmHg 或 SBP<100 mmHg^[3]。丙泊酚、舒芬太尼等静脉麻醉药物通过心血管抑制、血管阻力下降和外周交感神经张力降低导致 PIH 的发生,而此时缺乏手术刺激,易发生 PIH^[4]。

PIH 的常用预测指标

年龄≥50 岁、较低的 BMI、ASA III 或 IV 级、基线 MAP<70 mmHg、急诊手术、手术当天使用血管紧张素转换酶抑制剂及血管紧张素受体阻滞药、长期使用 β 受体阻滞药、使用丙泊酚进行麻醉诱导和增加芬太尼类药物的诱导剂量均与 PIH 发生相关^[5-8],若患者存在以上危险因素,可调整麻醉诱导用药或对患者进行容量治疗。同时可借助术前容量、自主神经系统功能及外周血管等相关指标对 PIH 进行更直观的预测,优化麻醉诱导过程管理,降低发生术后不良结局的风险。

DOI:10.12089/jca.2023.12.016

基金项目:重庆市自然科学基金(CSTB2022NSCQ-MSX0061)

作者单位:400016 重庆医科大学附属第一医院麻醉科

通信作者:王彬,Email: 774935778@qq.com

术前容量指标 术前容量不足是全身麻醉患者发生 PIH 的主要危险因素^[9]。患者术前容量状态可能因其基础情况、合并症和术前准备(禁食、禁饮和肠道准备)而不同,术前容量不足是 PIH 最易干预的危险因素,因此改善容量状态的液体治疗被认为是 PIH 管理的基石^[10]。中心静脉压和肺毛细血管楔压等传统的静态指标因侵入性和不准确性导致临床应用受限^[11],探索更加准确的术前容量状态预测指标成为近年来研究的热点。

1. 下腔静脉直径和下腔静脉塌陷指数。下腔静脉直径(inferiorvenacavadiameter, dIVC)和下腔静脉塌陷指数(inferiorvenacavacollapsibilityindex, IVC-CI)可通过超声测量和计算获得,是评估容量的简便、无创的方法^[12-13]。下腔静脉(inferior vena cava, IVC)主要收集下腹部及下肢静脉回流的静脉血,顺应性好,可以较好地反映血容量。下腔静脉易受呼吸影响,吸气时胸内压降低,下腔静脉中的血液回流至右心房,dIVC 缩小,并在吸气末达到下腔静脉最小径(dIVCmin),反之,在呼气末达到最大径(dIVCmax)。通过以上参数还可算出 IVC-CI, $IVC-CI = (dIVCmax - dIVCmin) / dIVCmax$ 。Zhang 等^[14]对 90 例使用依托咪酯进行全身麻醉诱导的患者进行分析,研究表明 IVC-CI 预测 PIH 的临界值为 43%,敏感性为 78.6%,特异性为 91.7%;dIVCmax 预测 PIH 临界值为 1.8 cm,敏感性为 73.8%,特异性为 70.8%,因此该研究认为诱导前超声测量 IVC 相关指标能够预测 PIH 的发生,并表明 IVC-CI 比 dIVCmax 更具预测性。Purushothaman 等^[15]研究中使用对血压影响更大的丙泊酚进行诱导,结果表明,IVC-CI 可以作为预测丙泊酚诱导的 PIH 的工具,预测临界值为 43%,敏感性为 86.67%,特异性为 94.29%。而 Rose 等^[16]研究表明,IVC-CI 能预测 PIH,临界值为 37%,敏感性为 94%,特异性为 84%,但 dIVCmax 对 PIH 的预测能力较弱。

超声测量 IVC 操作简单、无创、成本低、可重复操作、无放射性,是预测 PIH 的重要指标^[13,17]。然而,在实际应用时,该指标的准确性会受到一定影响。首先,麻醉诱导前,潮气量及胸内压的变化不稳定,可能对 IVC 的测量造成干扰;其次,超声测量 IVC 是一项依赖患者解剖结构和体位的操作技能,呼吸幅度变化也会引起 IVC 取样位置的移动,且目前 IVC 测量尚无标准流程,其准确性受到不同操作者的操作能力与习惯的影响;另外,右心功能不全、肥胖、肠梗阻及严重腹部外伤等情况也会影响 IVC

相关指标的测量^[12]。IVC-CI<43%可以作为 PIH 的筛查指标,但实际应用时应当结合患者具体情况综合考虑。

2. 锁骨下静脉塌陷指数。锁骨下静脉塌陷指数(subclavian vein collapsibility index, SCV-CI)可通过超声测量并计算获得。Kaptein 等^[18]研究表明,自主呼吸状态下 SCV-CI 与 IVC-CI 之间存在显著的相关性,而超声测量 IVC 可能会受到肥胖、过多的胃肠道气体、严重腹部外伤等因素影响,锁骨下静脉位于胸膜附近及上腔静脉的上游,使用线性探头很容易探及^[18-19],可以作为 IVC 测量受限时的辅助手段。Choi 等^[19]研究表明,在调整性别、年龄、ASA 分级、既往脑血管疾病和基线心率等混杂变量后,深吸气时的 SCV-CI 能有效预测 PIH($P < 0.001$)。Rose 等^[16]研究表明,深呼吸时 SCV-CI 临界值为 36%,敏感性为 90%,特异性为 87%。

超声测量 SCV-CI 保留了超声评估容量状态的便捷性、可靠性、可重复性和无创性。SCV-CI 与 IVC-CI 之间相关性好,可作为 IVC 测量受限时的替代方案,且 SCV-CI 比 IVC-CI 所需扫描时间更短,在紧急情况下进行容量评估时可能更具优势^[20]。然而 SCV-CI 的广泛应用受到一些挑战,由于目前相关研究有限,还需要更大样本量的临床研究确定 SCV-CI 预测 PIH 的最佳阈值。此外,应当在更多元的临床环境检验其应用价值,确定 SCV-CI 预测 PIH 的适用性。尽管如此,目前的研究表明 SCV-CI 有望成为传统容量状态测量的良好辅助手段,并且可以作为 IVC-CI 评估血管容量的辅助方法。

3. 脉压变异度。目前大多数血液动力学监测仪能够自动计算脉压变异度(pulse pressure variation, PPV),并连续显示其数值。PPV 反映通气引起的左、右心室负荷的周期性变化,机械通气时,PPV 可以准确体现患者的容量反应性^[21-22]。而麻醉诱导前,患者自主呼吸引起的潮气量及胸腔压力变化不能产生足够的左、右心室负荷的变化,因此即使是对液体有反应者,每搏输出量的周期性变化也不明显,从而影响对 PIH 的预测。

因此,可采用较深慢的呼吸模式,增加自主呼吸时的潮气量,从而使每搏量的周期性变化增加,测得此时的 PPV,即用力吸气期间的 PPV(PPV during forced inspiratory breathing, PPV_f),从而提高自主呼吸时 PPV 对容量预测的准确性^[23-24]。Hong 等^[23]对 96 例择期行胸外科手术患者进行研究,结果表明 PPV_f>13.7 预测容量反应性的敏感性为

89.7%, 特异性为 86.7%。Ali 等^[24] 分析了 231 例神经外科患者 PPV_{ri} 对 PIH 的预测价值, 结果表明, PPV_{ri}>14 可以预测 PIH 的发生, 敏感性为 86.0%, 特异性为 86.2%。然而, 刘阳等^[25] 研究表明, 在用力吸气期间, 对于深吸气的潮气量 (Vt during deep inspiration, Vt_{DI}) 缺乏有效的质量控制, 该研究以 Vt_{DI} 校正 PPV_{ri}, 结果表明经 Vt_{DI} 校正的 PPV_{ri} (PPV_{ri}/Vt_{DI}) 的受试者工作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 明显高于单独使用 PPV_{ri} (P=0.03), 为提高 PPV_{ri} 预测价值提供新思路。

PPV 是衡量机械通气患者容量状态的常用方法。PPV 也适用于自主呼吸患者, 深慢呼吸模式下测量的 PPV_{ri} 是预测 PIH 的良好预测指标, 且可通过 Vt_{DI} 校正以提高其准确性, 但上述方法的最佳阈值还有待更大样本的研究确定。另外, PPV 测量为有创操作, 需要动脉置管, 且 PPV 测量要求患者不合并低肺顺应性、心律失常、腹内高压等情况, 这些因素均限制了 PPV 在预测 PIH 的广泛应用, 临床上可结合患者基础情况与手术复杂程度综合考虑是否使用 PPV 及其衍生指标预测 PIH。

4. 每搏量变异度。每搏量变异度 (stroke volume variation, SVV) 是机械通气期间周期性胸内压力变化引起的每搏量的周期性变化, 是预测机械通气患者容量反应的重要指标, 可通过微创血流动力学监测设备进行测量与计算^[26]。与 PPV 类似, SVV 在自主呼吸患者中的应用也受到潮气量和胸腔压力变化不足的限制, 因此学者尝试通过用力吸气来增加 SVV 的周期性变化, 测得用力吸气时的 SVV (SVV_{ri})。Juri 等^[27] 要求患者以 6~8 次/分的呼吸频率进行深呼吸来增加自主呼吸的潮气量, 结果表明 SVV_{ri} 预测 PIH 的阈值为 12%, 敏感性为 73.1%, 特异性为 68.4%, 但该研究在测量 SVV_{ri} 时仅对每分钟的呼吸频率进行控制, 未监测每次呼吸的潮气量, 可能对研究结果的准确性造成一定影响。

SVV 是机械通气患者容量反应性的良好预测指标。在 PIH 的预测中, SVV 的限制与 PPV 相似, 都受到潮气量和胸腔压力变化不足的影响, 可通过测量 SVV_{ri} 来提高 SVV 测量的准确性。SVV 测量也要求患者不合并低肺顺应性、心律失常、腹内高压等, 这些因素均限制了其在临床的使用。SVV 预测 PIH 的研究有限, 但从目前研究看来, SVV 对 PIH 的预测能力不如 PPV, 未来应进行更深入、更严谨的研究探索 SVV 及其衍生指标预测 PIH 的最佳阈值, 提高 SVV 的预测能力。

5. 脉搏灌注变异指数。从脉搏血氧饱和度中获取光电容积描记信号并经软件计算可得到脉搏灌注变异指数 (pleth variability index, PVI), PVI 能够反映呼吸引起的脉搏容积描记波形的变化, 是一个动态评估容量状态的方法^[28]。

机械通气患者中, PVI 与 SVV 及 PPV 关联性好, 可以预测其容量反应性^[29], 但由于自主呼吸患者的心肺相互作用与机械通气患者不同, 且潮气量与呼吸频率也因呼吸而异, 因此 PVI 对 PIH 的预测价值仍然存在争议。Abdelhamid 等^[30] 研究表明, PVI>17% 对于 PIH 的发生具有中等预测能力, 敏感性为 82.2%, 特异性为 58.3%。Tsuchiya 等^[31] 研究表明, PVI>15% 时预测 PIH 的敏感性和特异性分别为 79% 和 71%。但吴跃等^[32] 研究表明, 平卧位 PVI 未发现对 PIH 有预测作用, 但麻醉前头高 30° 位时 PVI>16.5% 可以预测 PIH 发生, 其敏感性和特异性分别为 67% 和 62%, 其原因为头高 30° 位时, 重力引起器官组织血流分布的改变, 回心血流减少, 心排量减少, 导致外周血管弹性及阻力的改变, 从而造成 PVI 的改变。

PVI 是一项能够无创、连续监测患者容量状况的指标^[33]。与 PPV 和 SVV 相似, PVI 对 PIH 的预测能力一定程度受到自主呼吸的影响, 另外术前焦虑、寒冷、刺激等因素都将对 PVI 的准确性产生干扰。PVI 能够一定程度预测 PIH 的发生, 但其预测能力不及 SVV 等有创指标^[27], 同时由于其影响因素较多, 不同场景下使用 PVI 的阈值存在差异, 导致其预测价值有限^[29,32]。然而由于 PVI 监测简单无创, 可以考虑联合 PPV、SVV 等有创指标, 或联合超声相关容量指标共同监测患者的容量反应性, 为容量评估提供更充分的证据。

自主神经系统功能 自主神经系统在维持机体稳态方面发挥重要作用^[34]。自主神经系统功能障碍的患者不能代偿麻醉诱导造成的血管舒张以及静脉麻醉药物对心脏的直接作用而表现为 PIH。自主神经功能障碍不仅常见于糖尿病、高血压及使用慢性心血管药物等高危患者中, 也可发生于一般患者^[35], 因此对自主神经系统功能进行监测有助于术前筛查 PIH。

心率变异性 (heart rate variability, HRV) 反映相邻心搏之间的差异和自主神经对心脏的调节, 可用于评估自主神经系统功能^[36]。目前常用指标包括正常 R-R 间期标准差 (standard deviation of normal to normal interval, SDNN)、总功率 (total power, TP)、

高频功率(high frequency, HF)、低频功率(low frequency, LF)以及低频功率与高频功率的比值(LF/HF), HF 主要反映副交感系统的调节, LF 受交感系统及副交感系统的双重调节, 两者比值是对自主神经系统总体平衡性的评估。Frandsen 等^[37] Meta 分析表明, 低 TP 和低 HF 可以预测 PIH。Padley 等^[38] 研究中将 PIH 组与血压稳定组的平均 HRV 数据进行比较, 结果表明 PIH 组患者术前 SDNN 和 TP 较低, LF/HF 较高。Hanss 等^[34] 研究给出了具体的临界值, 即 $TP < 500 \text{ ms}^2/\text{Hz}$ 可预测 PIH, 敏感性为 81%, 特异性为 71%, 而 $LF/HF < 2.5$ 预测 PIH 的敏感性和特异性分别为 87% 和 28%。因此低 TP 能够预测 PIH 的发生, 而 LF/HF 未表现出满意的预测能力。

HRV 是一项简单无创, 可动态监测的指标。目前研究已表明 HRV 分析在 PIH 预测中的可行性和适用性, $TP < 500 \text{ ms}^2/\text{Hz}$ 可以作为预测 PIH 的参考, 但更准确的阈值仍有待大样本、多中心的临床研究进行确认, 利用 HRV 进行 PIH 的预测还有待更深入的研究。

外周血管相关指标 丙泊酚等静脉麻醉药通过对交感和副交感神经的影响以及对血管内皮的直接作用导致血管扩张。若患者在术前存在明显的外周血管收缩, 则麻醉诱导后更易出现 PIH。

脉搏氧灌注指数(perfusion index, PI) 来自脉搏血氧饱和度的光电容积描记信号, 定义为动脉脉动性变化和静脉及其他组织的非脉动性变化引起的恒定吸收和脉动吸收之间的比率, 可反映脉搏容积描记波形的振幅。PI 的变化源于血管管壁肌肉的收缩和舒张的变化, 随血管舒张而升高, 随血管收缩而降低^[32]。Abdelhamid 等^[30] 研究表明, PI 预测 PIH 临界值为 $PI < 3.03$, 敏感性为 77.8%, 特异性为 75.0%, 可能由于较低的 PI 代表低血容量及代偿的血管收缩, 使用麻醉药物后血管扩张, 导致 PIH 的发生。

限制 PI 广泛应用的原因在于引起交感神经激活各种原因如术前焦虑、刺激、呼吸状态、温度等都可改变血管弹性, 而 PI 对血管弹性敏感, 故多种因素都会影响 PI 预测 PIH 的准确性。实际应用时, 可通过播放轻音乐、嘱患者平静呼吸、保持室内温度适宜、入手术室后给予小剂量咪达唑仑等手段减轻患者精神焦虑, 一定程度上减小上述因素对 PI 监测的影响。另外由于 PI 监测简便无创, 可考虑与其他容量指标共同使用, 提高对 PIH 的预测能力。

小 结

目前, 预测 PIH 的方式多种多样, 尤其是容量相关预测指标的可靠性得到越来越多研究的证实。但由于不同研究对于 PIH 的定义不同, 不同指标预测 PIH 的准确性和特异性无法直接比较, 且不同指标的应用受到手术室环境、监测设备、监测条件、患者基础情况等因素的影响, 故相同 PIH 定义下各指标对 PIH 的预测价值有待更深入研究。另外, 不同 PIH 预测指标各具优劣, 未来可进一步研究其组合应用对提高 PIH 预测能力的临床价值, 以期进一步减少临床 PIH 的发生, 提高麻醉管理质量。

参 考 文 献

- [1] Cui Q, Che L, Zang H, et al. Association between preoperative autonomic nervous system function and post-induction hypotension in elderly patients: a protocol for a cohort study. *BMJ Open*, 2023, 13(1): e067400.
- [2] Park JY, Yu J, Kim CS, et al. Effect of pneumatic leg compression on post-induction hypotension in elderly patients undergoing robot-assisted laparoscopic prostatectomy: a double-blind randomised controlled trial. *Anaesthesia*, 2023, 78(6): 730-738.
- [3] Weinberg L, Li SY, Louis M, et al. Reported definitions of intraoperative hypotension in adults undergoing non-cardiac surgery under general anaesthesia: a review. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 69.
- [4] 吴天良, 张冯江, 周振, 等. 下腔静脉内径对高血压患者麻醉诱导后低血压的预测效果. *临床麻醉学杂志*, 2018, 34(2): 184-186.
- [5] 李旭泽, 赵志芳, 马淑贤, 等. 脉搏氧灌注指数预测老年全麻诱导期低血压的临床价值. *现代中西医结合杂志*, 2019, 28(36): 3999-4003, 4016.
- [6] 汤春艳, 陈洁, 汪小海, 等. 择期非心脏手术患者发生麻醉诱导后低血压的危险因素分析. *医药导报*, 2022, 41(10): 1518-1522.
- [7] Reich DL, Hossain S, Krol M, et al. Predictors of hypotension after induction of general anesthesia. *Anesth Analg*, 2005, 101(3): 622-628.
- [8] Südfeld S, Brechnitz S, Wagner JY, et al. Post-induction hypotension and early intraoperative hypotension associated with general anaesthesia. *Br J Anaesth*, 2017, 119(1): 57-64.
- [9] Zhang H, Gao H, Xiang Y, et al. Maximum inferior vena cava diameter predicts post-induction hypotension in hypertensive patients undergoing non-cardiac surgery under general anesthesia: a prospective cohort study. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 958259.
- [10] Mohammed S, Syal R, Bhatia P, et al. Prediction of post-induction hypotension in young adults using ultrasound-derived inferior vena cava parameters: an observational study. *Indian J Anaesth*, 2021, 65(10): 731-737.
- [11] Chaudhuri D, Herritt B, Lewis K, et al. Dosing fluids in early

- septic shock. *Chest*, 2021, 159(4): 1493-1502.
- [12] Millington SJ. Ultrasound assessment of the inferior vena cava for fluid responsiveness: easy, fun, but unlikely to be helpful. *Can J Anaesth*, 2019, 66(6): 633-638.
- [13] 许帅, 王凯, 张昊鹏, 等. 不同部位血管超声预测全身麻醉诱导后低血压的研究进展. *国际麻醉学与复苏杂志*, 2022, 43(5): 518-523.
- [14] Zhang J, Critchley LA. Inferior Vena Cava Ultrasonography before general anesthesia can predict hypotension after induction. *Anesthesiology*, 2016, 124(3): 580-589.
- [15] Purushothaman SS, Alex A, Kesavan R, et al. Ultrasound measurement of inferior vena cava collapsibility as a tool to predict propofol-induced hypotension. *Anesth Essays Res*, 2020, 14(2): 199-202.
- [16] Rose N, Chandra M, Nishanth CC, et al. Preoperative ultrasonographic evaluation of subclavian vein and inferior vena cava for predicting hypotension associated with induction of general anesthesia. *Anesth Essays Res*, 2022, 16(1): 54-59.
- [17] Goyal A, Pallavi K, Krishnakumar M, et al. Reliability of pre-induction inferior vena cava assessment with ultrasound for the prediction of post-induction hypotension in neurosurgical patients undergoing intracranial surgery. *Neurol India*, 2022, 70(4): 1568-1574.
- [18] Kaptein YE, Kaptein EM. Comparison of subclavian vein to inferior vena cava collapsibility by ultrasound in acute heart failure; a pilot study. *Clin Cardiol*, 2022, 45(1): 51-59.
- [19] Choi MH, Chae JS, Lee HJ, et al. Pre-anaesthesia ultrasonography of the subclavian/infraclavicular axillary vein for predicting hypotension after inducing general anaesthesia: a prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol*, 2020, 37(6): 474-481.
- [20] Kent A, Bahner DP, Boulger CT, et al. Sonographic evaluation of intravascular volume status in the surgical intensive care unit: a prospective comparison of subclavian vein and inferior vena cava collapsibility index. *J Surg Res*, 2013, 184(1): 561-566.
- [21] Teboul JL, Monnet X, Chemla D, et al. Arterial pulse pressure variation with mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(1): 22-31.
- [22] Michard F, Chemla D, Teboul JL. Applicability of pulse pressure variation: how many shades of grey? *Crit Care*, 2015, 19(1): 144.
- [23] Hong DM, Lee JM, Seo JH, et al. Pulse pressure variation to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients: tidal vs. forced inspiratory breathing. *Anaesthesia*, 2014, 69(7): 717-722.
- [24] Ali A, Aliparmak O, Tetik A, et al. Pulse pressure variation and weight-loss percentage predict hypotension after anesthesia induction in neurosurgery patients: a prospective, observational, blinded study. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2017, 29(3): 304-311.
- [25] 刘阳, 张鑫, 李小石, 等. 校正的脉搏压变异度对自主呼吸脓毒症患者液体反应性的评估. *中华急诊医学杂志*, 2021, 30(7): 841-847.
- [26] Chen PN, Ramachandran S, Kuo YR. Application of stroke volume variation for optimized hemodynamic monitoring in hand all otransplantation. *Microsurgery*, 2022, 42(1): 97-98.
- [27] Juri T, Suehiro K, Tsujimoto S, et al. Pre-anesthetic stroke volume variation can predict cardiac output decrease and hypotension during induction of general anesthesia. *J Clin Monit Comput*, 2018, 32(3): 415-422.
- [28] Fischer MO, Lemoine S, Tavernier B, et al. Individualized fluid management using the pleth variability index: a randomized clinical trial. *Anesthesiology*, 2020, 133(1): 31-40.
- [29] 沈雨希, 徐磊. 无创评估容量反应性的临床应用进展. *临床麻醉学杂志*, 2022, 38(12): 1312-1316.
- [30] Abdelhamid B, Yassin A, Ahmed A, et al. Perfusion index-derived parameters as predictors of hypotension after induction of general anaesthesia: a prospective cohort study. *Anaesthesiol Intensive Ther*, 2022, 54(1): 34-41.
- [31] Tsuchiya M, Yamada T, Asada A. Pleth variability index predicts hypotension during anesthesia induction. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2010, 54(5): 596-602.
- [32] 吴跃, 张冯江, 孙凯, 等. 灌注变异指数对手术患者全麻诱导后低血压预测作用的评估. *中华医学杂志*, 2014, 94(40): 3167-3170.
- [33] 朱建华, 嵇富海, 彭科, 等. 脉搏灌注变异指数在不同容量状态下预测容量反应的效果. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36(1): 26-29.
- [34] Hanss R, Renner J, Ilies C, et al. Does heart rate variability predict hypotension and bradycardia after induction of general anaesthesia in high risk cardiovascular patients? *Anaesthesia*, 2008, 63(2): 129-135.
- [35] 王钧, 江洪, 余锂镭. 心率变异性与冠心病关系的研究进展. *医学综述*, 2022, 28(6): 1139-1143.
- [36] Bishop DG, Cairns C, Grobbelaar M, et al. Heart rate variability as a predictor of hypotension following spinal for elective caesarean section: a prospective observational study. *Anaesthesia*, 2017, 72(5): 603-608.
- [37] Frandsen MN, Mehlsen J, Foss NB, et al. Preoperative heart rate variability as a predictor of perioperative outcomes: a systematic review without meta-analysis. *J Clin Monit Comput*, 2022, 36(4): 947-960.
- [38] Padley JR, Ben-Menachem E. Low pre-operative heart rate variability and complexity are associated with hypotension after anesthesia induction in major abdominal surgery. *J Clin Monit Comput*, 2018, 32(2): 245-252.

(收稿日期:2022-11-18)