

无创血流动力学 - 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术临床应用专家共识

天津医科大学总医院 天津市医学会围术期重症分会

天津市围术期医学研究会重症医学分会

作者单位: 300052 天津, 天津医科大学总医院重症医学科

通信作者: 谢克亮, Email: mzk2011@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2025.04.001

【摘要】 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术是无创血流动力学监测技术的联合应用,既能精准捕捉血管硬度与弹性的细微改变,还可从血流动力学角度对心功能核心要素进行全方位、精准化的评估。目前,临床中尚缺少脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的应用专家共识。为规范脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术在临床中的应用,邀请来自临床医学、循证医学等领域的 25 名专家组成专家组共同讨论,确定当前该技术在应用过程中亟需规范统一的临床问题,进一步参考国内外文献,结合专家临床经验,经专家组讨论修改,最终形成了《无创血流动力学 - 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术临床应用专家共识》,为临床无创血流动力学管理提供循证依据,并将随证据积累持续更新。

【关键词】 血流动力学; 脉搏波传播速度; 脉搏轮廓分析技术; 专家共识

基金项目: 天津市科技计划项目(25YFKFYS00890);天津市医学重点学科建设项目(TJYXZDXK-3-006C)

Expert consensus on clinical application of non-invasive hemodynamics – pulse wave velocity and pulse contour analysis technology

Tianjin Medical University General Hospital, Perioperative Intensive Care Branch of Tianjin Medical Association, Intensive Care Medicine Branch of Tianjin Perioperative Medical Research Association. Department of Intensive Care Medicine, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China

Corresponding author: Xie Keliang, Email: mzk2011@126.com

【Abstract】 Pulse wave velocity and pulse contour analysis technology is a joint application of non-invasive hemodynamic monitoring technology, which can accurately capture subtle changes in blood vessel hardness and elasticity, and conduct a comprehensive and accurate assessment of core elements of cardiac function from a hemodynamic perspective. At present, there is a lack of expert consensus on the application of pulse wave velocity and pulse contour analysis technology in clinical practice. In order to standardize the clinical application of pulse wave velocity and pulse contour analysis technology, 25 experts from clinical medicine, evidence-based medicine and other fields were invited to form an expert group to discuss and determine the current clinical issues that urgently need to be standardized and unified in the application process of this technology. By referring to relevant domestic and foreign literature, combined with expert clinical experience, and revised after discussion by an expert group, the "Expert consensus on clinical application of non-invasive hemodynamics – pulse wave velocity and pulse contour analysis technology" was finally formed, which provides evidence-based basis for clinical non-invasive hemodynamic management and will be continuously updated as evidence accumulates.

【Key words】 Hemodynamics; Pulse wave velocity; Pulse contour analysis technology; Consensus of experts

Fund Program: Tianjin Science and Technology Plan Project (25YFKFYS00890); Tianjin Key Medical Discipline Construction Project (TJYXZDXK-3-006C)

血流动力学监测是评估心血管系统功能状态,指导危重症患者循环管理及优化慢性心血管疾病诊疗的核心环节^[1],其主要监测指标包括血压、中心静脉压、心输出量(cardiac output, CO)等,这些指标能反映机体的生理及病理变化,为制定临床治疗方案提供指导,从而有效进行液体管理。随着医疗技术的快速进步,越来越多的无创监测技术应用于临床,包括脉搏波传播速度分析技术、脉搏轮廓分析

技术、多普勒血流测量技术、生物电阻抗技术等,其中脉搏波传播速度分析技术通过测量动脉脉搏波在两点间的传播时间直接反映动脉僵硬度,是评估大动脉弹性以及预测心血管事件风险的强有力的独立指标^[2]。脉搏轮廓分析技术通过分析外周动脉压力波形的形态特征及其随心动周期的变化,结合特定的生理模型和算法,能够连续、无创地推导出 CO、每搏输出量(stroke volume, SV)等关键血流动力学参

数^[3]。理想的血流动力学监测系统具有的特征应包括数据准确、操作简单、无创伤、性价比高,且在各种生理状态下性能可靠、响应迅速^[4]。然而单一技术常受限于血管弹性变化、血管充盈状态或心脏泵血功能等,且相关适应证、禁忌证、操作规范等尚未形成共识。本共识邀请临床医学、循证医学等领域的 25 名专家成立共识团队,对脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术在危重症患者临床应用中的适应证、禁忌证及监测指标、液体复苏、药物疗效等问题进行讨论,以期为准血流动力学管理提供循证依据。

1 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术原理

1.1 脉搏波传播速度分析技术原理

脉搏波传播速度分析技术根据脉搏波传播速度建立人体血压与脉搏波速度(pulse wave velocity, PWV)的关系模型^[5],患者需取仰卧位,确定两个目标动脉搏动最明显部位,将压力感受器探头置于该处,测量两点间的体表距离及传导时间。该技术对脉搏波的不规则变化进行矫正,提高了监测精准性,可以在无创伤、不施加外部压力的情况下进行连续无创血压测量,但对选择部位(颈-股、肱-桡或臂-踝等动脉搏动强烈位置)及动脉压信号波形要求严格。

1.2 脉搏轮廓分析技术原理

脉搏轮廓分析技术是通过放置在皮肤浅表动脉上的压力传感器间接获取脉搏波轮廓特征,对脉搏波轮廓进行综合分析,结合数学模型计算得到准确的 SV 及 CO。该方法可全面了解患者的血流动力学状态,包括血管张力、前负荷和心脏功能^[6]。脉搏轮廓分析技术的研究历史至今已超过 20 年,包括微创和无创技术两类,微创技术中相对成熟的监测设备包括 PiCCO™ 和 FloTrac™;无创技术中相对成熟的监测设备包括 CNAP™ 和 Nexfin™^[7]。该技术的优点是无需动脉血管插管,重复性好,更符合血流动力学发展趋势,且能够满足医生对患者血流动力学状态进行实时、连续监测的需求。但该技术所用设备需进行外部校准,从而使估测的 CO 更准确可靠,且当血管张力发生改变或者调整治疗措施时需要再校准。

1.3 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术原理

脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的工作机制如下。首先,通过精确测量同一心动周期内脉搏波从近心端的耳后动脉传播到远心端的足背动脉所需的时间差(Δt),并结合预设的血管路径长度(L),依据公式 $PWV=L/\Delta t$ 计算出 PWV;由于 PWV 与动脉血管壁的僵硬程度密切相关,而血管壁僵硬程度又直

接受到血压水平的调节^[8],因此可通过建立的生理模型连续推导出收缩压和舒张压数值。与此同时,该技术所用设备对采集到的光电容积脉搏波(photo plethysmo graphy, PPG)波形进行深入的轮廓分析,解析其局部血容量变化幅度、上升支斜率(映射心肌收缩力)、下降支形态及特征点等关键时域和频域特征;综合心率数据,并应用修正模型或机器学习算法,即可实时计算出 CO,并进一步衍生出 SV、外周血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)、每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)等重要的血流动力学指标。脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的同步协同运用,不仅能够精准捕捉血管硬度与弹性的细微改变,为动脉硬化等血管疾病的早期诊断提供关键依据,还可从血流动力学角度出发,对心功能核心要素进行全方位、精准化评估,从而为临床诊疗决策提供更为全面、可靠的参考。

2 共识制定方法

2.1 文献检索

本共识文献检索以中国知网、万方、维普、PubMed、Embase、Web of Science 数据库内容为基础,查询已发表的关于无创血流动力学监测技术的综述、共识、指导意见和临床应用研究。采用自由词和关键词相结合的方式进行搜索,检索时间为建库至 2025 年 7 月 1 日,中文检索词包括“无创”“血流动力学”“血流动力学监测”“脉搏波传播速度”“脉搏轮廓分析技术”“连续无创血压监测”;英文检索词包括“hemodynamics”“non-invasive hemodynamics”“hemodynamic monitoring”“pulse wave velocity”“continuous non-invasive arterial pressure”。对纳入的文献进一步追溯其参考文献。对上述检索结果进行双人核对,排除以下两项:① 与检索内容无相关性;② 动物实验研究。

2.2 共识形成

专家小组根据目前有限的研究证据和临床应用经验初步形成共识意见,经核心专家审核并修改后一致通过,初步形成 14 条专家共识。采用名义组法经 25 名专家进行论证,“推荐意见”采用 GRADE 网格计票规则^[9],分为 5 格,相关推荐的强度分级标准见表 1。当“不确定”选项以外的任一选项得票率超过 50% 时,即视为达成共识,可直接确定推荐方向及强度;若“不确定”选项相邻两个选项的总得票率超过 70%,虽可确定推荐方向,但推荐强度需标注为“弱推荐”。最终达成了 14 条共识条目,无未达成共识的条目(具体投票情况见表 2)。

表 1 推荐意见强度及定义

推荐强度	强推荐	弱推荐	不确定	弱不推荐	强不推荐
定义	明显利大于弊	可能利大于弊	利弊相当或不确定	可能弊大于利	明显弊大于利

3 临床适用建议

3.1 实现血流动力学参数的精准、全面和动态监测 脉搏波传播速度分析技术是通过测量 PWV 进行连续无创血压监测,目的在于量化血管硬度,推算中心血压、脉压增强、血管弹性及外周阻力变化,从而在血流动力学监测中提供“血管侧”的关键信息,通过测量不同节段动脉的脉搏波传播速度,可以得到不同部位动脉的硬化程度。脉搏轮廓分析技术可获得动脉压、每搏指数(stroke volume index, SVI)、SVV、脉压变异、脉搏连续心排血指数、系统血管阻力指数、左心室收缩力指数,这 7 个指标共同反映心脏泵血功能与血管系统之间的动态平衡状态,即整体循环是否足够、高效,是否还有容量反应空间,以及心脏面对的负荷大小。因此,脉搏波传播速度联合脉搏轮廓分析技术的同步使用可实现宏观监测

血管硬度与弹性,微观评估心功能的整体目标,从而更好地评价患者的血流动力学变化。首先,因心房颤动(房颤)时心率会大幅高于脉率,若此时采用心率计算 CO 必然导致严重高估,而该技术用脉率取代心率进行计算,能够有效规避此类问题,确保准确反映患者 CO 水平。其次,该技术采用耳后动脉波形计算 SV。耳后动脉(颈动脉分支)比起外周动脉更接近主动脉,其波形也与主动脉波形非常相似,从而避免了外周血管病变和血管活性药物的不利影响,能够更好地反映 CO。同时,该技术采用趾背动脉波形计算 SVV,规避了呼吸和体位对 SVV 准确性的不利影响。综上,该技术在无创的前提下实现了对动脉血压和 CO 的实时、全面、精准监测,为临床提供了重要的血流动力学信息。

该技术在临床验证中与有创监测技术测得的血流动力学数据具有良好的相关性^[10]。对于危重患者、休克状态或需要精准血流动力学评估的患者,有创监测提供的绝对精准数据至关重要。但在稳定患者、术后恢复或低风险手术中,无创监测因其卓

表 2 推荐意见概要

序号	共识条目	投票结果	推荐强度
1	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术可用于实时监测 CO 及动脉血压的变化趋势。	强推荐 17 票,弱推荐 6 票,不确定 2 票	强推荐
2	脉搏波传播速度分析技术倾向于需监测血管硬度的疾病,而脉搏轮廓分析技术更倾向于需监测 CO、心脏泵血功能的疾病。	强推荐 14 票,弱推荐 8 票,不确定 2 票,弱不推荐 1 票	弱推荐
3	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术在无穿刺条件或穿刺失败的前提下应用,但不能完全替代有创监测,尤其在血流动力学急剧波动时。	强推荐 15 票,弱推荐 7 票,不确定 2 票,弱不推荐 1 票	强推荐
4	脉搏轮廓分析技术通过 CI、SVI 的变化趋势评估患者的心功能状态,通过 TFC 评估患者的容量状态,通过 MAP 综合评估患者的心功能与容量状态。	强推荐 10 票,弱推荐 14 票,不确定 1 票	弱推荐
5	目标导向液体治疗在术中液体优化管理中可提升组织灌注和氧合水平,并降低术后并发症发生率及缩短住院时间。	强推荐 18 票,弱推荐 6 票,不推荐 1 票	强推荐
6	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术通过无创连续监测核心血流动力学参数(CO、SVR、SVV、LVSW),动态量化血管活性药物对循环及心功能的影响,避免过度补液。	强推荐 17 票,弱推荐 7 票,不确定 1 票	强推荐
7	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术提供的血流动力学参数,可间接用于氧输送、氧消耗以及组织灌注的评估。	强推荐 12 票,弱推荐 9 票,不确定 4 票	弱推荐
8	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术通过连续监测心泵功能与微循环灌注参数实时反映不同器官的局部灌注状态。当联合参数持续异常时,可提示器官衰竭风险显著升高。	强推荐 14 票,弱推荐 8 票,不确定 2 票,弱不推荐 1 票	弱推荐
9	临床医务人员应谨慎掌握适应证和禁忌证,且在使用脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术前应详细评估患者身体状况。	强推荐 23 票,弱推荐 1 票,不确定 1 票	强推荐
10	脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术需要一定的学习曲线,建议由经验丰富的医务人员团队实施。	强推荐 21 票,弱推荐 3 票,不确定 1 票	强推荐
11	血流动力学监测技术因方法学和监测目的不同分为多种,明确哪种监测用途,需临床医生结合治疗目的的综合评估。	强推荐 18 票,弱推荐 6 票,不确定 1 票	强推荐
12	特殊情况且在相关干扰因素消除后血压测量应当清除之前的校准或再次校准。	强推荐 22 票,弱推荐 1 票,不确定 2 票	强推荐
13	在初始监测、状态剧变、数据存疑的关键节点须基于外部设备提供的 CO/CI 值手动校准。	强推荐 20 票,弱推荐 2 票,不确定 3 票	强推荐
14	开展脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术前应建立标准化的操作程序并须由经规范培训的麻醉师和临床医生指导下护士操作。	强推荐 22 票,弱推荐 2 票,不确定 1 票	强推荐

注:CO 为心输出量,CI 为心脏指数,SVI 为每搏指数,TFC 为胸腔内总容量,MAP 为平均动脉压,SVR 为外周血管阻力,SVV 为每搏量变异度,LVSW 为左心室每搏功

越的安全性、便捷性、舒适耐受性和提供趋势数据的能力,发挥出了巨大优势。

推荐意见 1: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术可用于实时监测 CO 及动脉血压的变化趋势。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 2: 脉搏波传播速度分析技术倾向于需监测血管硬度的疾病,而脉搏轮廓分析技术更倾向于需监测心输出量、心脏泵血功能的疾病。(推荐强度:弱推荐)

推荐意见 3: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术在无穿刺条件或穿刺失败的前提下应用,但不能完全替代有创监测,尤其在血流动力学急剧波动时。(推荐强度:强推荐)

3.2 患者容量状态及心功能状态的评估指标 监测心功能及动脉血压可指导实施目标导向液体治疗^[11]。相较于中心静脉压(central venous pressure, CVP)通过 SVV 指导术中液体管理,脉搏轮廓分析技术能够实现更为精准和个性化的调整^[12-13],其核心价值在于同步评估心脏功能与容量状态。自由式补液和限制式补液争议已久,而目标导向液体治疗理念的提出为术中补液管理提供了新的思路。该理念强调基于患者的实时血流动力学参数来指导液体输注,如心脏指数(cardiac index, CI)反映心脏整体泵血能力是否满足机体需求;每搏指数(stroke volume index, SVI)反映每次心搏的泵血效率,提示心肌收缩功能;平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)反映组织灌注;胸腔内总容量(thoracic fluid content, TFC)反映血管内容量状态,指导容量反应性评估。通过上述指标的实时整合,在避免容量过负荷与低灌注风险的同时,优化患者围术期血流动力学,实现真正个体化、精准化的液体治疗。

此外有研究表明,在中老年患者手术及妇产科手术等不同手术中,目标导向液体治疗理念的应用已得到明显获益^[14-15]。通过实时监测患者的血流动力学参数,医生能够更准确地评估患者的液体需求^[16],从而制定出更合理的液体治疗方案,有助于降低并发症的发生风险^[17]。无创血流动力学监测通过快速获取 CO、CI、SVR 等参数差异,联合 TFC 与脑钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)可加速心衰诊断^[18]。持续追踪上述指标的动态变化,可及时识别液体反应不良或后负荷突增等异常情况,为早期干预赢得时间。

推荐意见 4: 脉搏轮廓分析技术通过 CI、SVI 的变

化趋势评估患者的心功能状态,通过 TFC 评估患者的容量状态,通过 MAP 综合评估患者的心功能与容量状态。(推荐强度:弱推荐)

推荐意见 5: 目标导向液体治疗在术中液体优化管理中可提升组织灌注和氧合水平,并降低术后并发症发生率及缩短住院时间。(推荐强度:强推荐)

3.3 指导血管活性药物的疗效评估 休克本质上是机体氧供与氧耗失衡导致的器官功能障碍,液体复苏是其治疗基石。当液体治疗无法恢复足够动脉压和器官灌注时,需启动血管活性药物干预。这类药物通过调节血管张力(血管加压药/扩张剂)或增强心肌收缩力(正性肌力药)来改善微循环灌注与大循环功能。然而,评估药物疗效面临关键挑战:血管加压药的目标是恢复动脉压,但血压不能完全等同于组织血流量;正性肌力药旨在提升 CO,但如何精准判定“足够”的 CO 仍需客观依据。此时,脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的无创、连续大循环监测功能至关重要——该技术可实时获取 CO、SV、SVV、SVR 及左心室每搏功(left ventricular-stroke work, LVSW)等核心参数^[19],为疗效评价提供动态数据支撑。前期研究已证实 PPG 衍生的血流动力学参数能敏感捕捉循环状态变化^[20],而该技术所用设备通过无创、连续监测构建了完整的血流动力学画像,使医生能:① 序贯评估休克病因与治疗反应^[21-22];② 精准量化血管活性药物对大循环(如 CO、SVR)与心功能(LVSW)的影响;③ 依据 SV、SVV 等参数优化液体与药物配伍方案。因此,在休克管理的精细滴定阶段,该技术不仅是疗效判定的“标尺”,更是实现个体化循环支持的决策基石。

推荐意见 6: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术通过无创连续监测核心血流动力学参数(CO、SVR、SVV、LVSW),动态量化血管活性药物对循环及心功能的影响,避免过度补液。(推荐强度:强推荐)

3.4 器官个体化灌注的多参数评估 器官灌注不足导致组织缺氧是影响外科和重症监护病房(intensive care unit, ICU)患者不良预后的重要原因,可导致患者伤口延迟愈合,吻合口破裂、感染,器官功能障碍甚至死亡^[23]。MAP 是评估宏观循环的常用指标,体现了血液向各组织器官的分配状况。CO 则是宏观循环的另一重要指标,作为向外周组织输送氧气的关键因素,它提供了对宏观循环最直接的判断依据。

脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术是一种

基于无创心输出量监测技术,整合血流动力学核心参数,如 CO、SVR 与组织氧合指标〔如经皮氧分压(transcutaneous partial pressure of oxygen tension, PtcO₂)〕的创新技术。在脓毒性休克、心功能不全等危重病症中,该技术能识别器官特异性灌注不足,为隐匿性组织低灌注提供早期预警。当联合参数持续异常时,可提示器官衰竭风险显著升高。值得注意的是,该技术需结合器官特异性代谢指标〔如乳酸(lactic acid, Lac)〕梯度以排除局部代谢干扰,通过动态容量反应性试验优化灌注目标的个体化设定。尽管单一参数(如 CO)可直接对整体循环进行评估,但该技术的多维整合模式更精准揭示了器官灌注异质性,为个体化血流动力学管理提供闭环决策支持。

血流动力学大循环改变和微循环功能障碍都与多器官功能障碍相关^[24-25]。因此积极采取预防、减少和逆转器官损伤的治疗策略至关重要。常规实施“个体化”液体治疗时,应将大循环与微循环进行匹配,最终实现器官和组织灌注的改善。

推荐意见 7: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术提供的血流动力学参数,可间接用于氧输送、氧消耗以及组织灌注的评估。(推荐强度:弱推荐)

推荐意见 8: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术通过连续监测心泵功能与微循环灌注参数实时反映不同器官的局部灌注状态。当联合参数持续异常时,可提示器官衰竭风险显著升高。(推荐强度:弱推荐)

3.5 适应证与禁忌证

3.5.1 脉搏波传播速度分析技术适应证

① 健康筛查与体检人群:a) 普通成年人常规体检;b) 有早发心血管病家族史、吸烟、肥胖、缺乏运动等危险因素的健康人群。

② 高血压及相关人群^[2, 26]: a) 原发性或继发性高血压患者的初筛与随访;b) 接受降压、降脂、降糖等治疗后,需要动态评估疗效及血管获益的患者。

③ 代谢与内分泌疾病人群^[27-28]: a) 2 型糖尿病、代谢综合征、肥胖、血脂异常患者;b) 慢性肾病及终末期肾病血液/腹膜透析患者,用于监测“加速动脉硬化”风险。

④ 动脉粥样硬化及心脑血管事件高危人群^[29-30]: a) 已确诊冠心病、脑卒中、外周动脉疾病、颈动脉斑块者;b) 家族性高胆固醇血症或早发心血管病家族史携带者。

3.5.2 脉搏轮廓分析技术适应证

① 休克的管理与鉴别^[31]: 帮助鉴别脓毒性休克、心

源性休克、低血容量性休克和梗阻性休克,并通过动态趋势评估治疗反应(如补液、升压药、强心药的效果)。

② 术后监护^[32-33]: 手术后(如剖宫产、主动脉瓣置换、神经外科手术等)转入 ICU 的患者,持续监测可及早发现并处理低血容量、心功能不全等问题。

③ 慢性心功能不全^[34]: a) 心力衰竭;b) 机械通气患者。

④ 凝血功能障碍或合并高出血风险的患者。

⑤ 对于普通病房中病情出现波动,存在潜在循环风险(如脓毒症早期、心力衰竭失代偿前期、不明原因低血压等)的患者。

3.5.3 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术禁忌证

① 皮肤严重破损(如烧伤、创伤等)或严重肿胀、过度肥胖导致传感器接触不良。

② 严重外周血管病变,包括因外伤、下肢严重血管畸形、坏疽、血栓等,无法建立动脉通路。

③ 严重循环衰竭、严重心脏疾病或出现严重心律失常〔如房颤、心室颤动(室颤)〕。

④ 谵妄、癫痫持续状态、极度烦躁等无法配合的患者。

推荐意见 9: 临床医务人员应谨慎掌握适应证及禁忌证,且在使用脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术前应详细评估患者身体状况。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 10: 脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术需要一定的学习曲线,建议由经验丰富的医务人员团队实施。(推荐强度:强推荐)

3.6 监测用途的选择 一些血流动力学监测技术的设计旨在提高准确性和精确度,主要“用于诊断”;另一些监测技术旨在跟踪血流动力学的趋势变化,主要用于早期监测血流动力学不稳定和/或评估短期治疗。因此,需要明确新的血流动力学监测技术的设计用途为诊断还是监测,这有助于将新的血流动力学监测技术与临床实践中已被接受的监测技术进行比较,但不应根据任意临界值来接受或拒绝新的血流动力学监测技术。除非与已知可改善结果的治疗方案相结合,否则血流动力学监测不会改善结果。因此,临床研究人员应该更多地关注基于血流动力学参数的特定治疗方案的评估,而不是比较研究。同时一项前瞻性观察研究显示,比较了多种利用无创血流动力学监测技术的设备在同步追踪 CO 方面的准确性,结果显示,几种设备显示出相似的平均 CO 值,但对治疗的反应通常呈不同趋势^[35]。因

此,仅使用一种 CO 设备的效用和验证研究可能无法推断为使用另一种类似设备的等效性。综上,脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术使用需结合治疗目的,将技术工具紧密嵌入临床诊疗思维中,以解决具体问题、实现特定目标为导向,避免盲目监测和数据驱动的无效干预,以确保高级血流动力学监测有效、高效且安全应用。

推荐意见 11: 血流动力学监测技术在临床应用中,因方法学与监测目的不同分为多种,明确监测用途需结合治疗目的由临床医生综合评估。(推荐强度:强推荐)

3.7 校准参考数据值时机 特殊体型(腹主动脉受到压迫时,特别是孕妇、巨大腹腔肿瘤或子宫肌瘤、腰腹过于肥胖等被测对象);特殊体位(耳朵或脚趾的传感器不在心脏齐平位置:例如头高脚低位、头低脚高位);特殊疾病(轻度动脉硬化、轻度血管病变或畸形、糖尿病累及下肢血管导致上下肢血压出现差异者);特殊手术操作(人工气腹导致腹主动脉受压、下腔静脉回流受阻;全肝血流量阻断法的手术操作将腹主动脉、下腔静脉阻断)影响了胸腹主动脉或上下腔静脉的回流。当以上所述的动脉压迫的情况消失时,或传感器恢复到与心脏齐平的位置时,或特殊手术干扰消失后,血压测量应当清除之前的校准或再次校准。

通过外部设备(如超声)将外部参考值输入到利用脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的系统中,系统以此为依据匹配特定患者,并调整其计算模型。手动校准时间为:① 初始监测启动时(进行首次校准,为获取相对可靠的连续监测数据奠定基础);② 患者状态发生显著变化时(如血流动力学急剧波动,使用大剂量血管活性药物,重大操作或事件后);③ 对监测数据存疑时(系统显示 CO/CI 值与临床表现或其他监测指标如尿量、Lac 等明显不符);④ 更换主要监测部位后。综上,将校准纳入临床决策流程:在初始监测、状态剧变、数据存疑的关键节点,主动考虑并执行校准,是提升脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术临床价值的关键措施。通过引入外部参考值,克服无创设备通用算法的局限性,实现个体化、精准化的血流动力学监测。

推荐意见 12: 特殊情况且在相关干扰因素消失后血压测量应当清除之前的校准或者再次校准。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 13: 在初始监测、状态剧变、数据存疑的

关键节点须基于外部设备提供的 CO/CI 值手动校准。(推荐强度:强推荐)

3.8 人员资质 保障患者安全是核心的出发点,规范操作人员资质可有效降低因设备使用不当引起医疗差错、纠纷甚至事故风险的重要防线。如可制定明确的资质认证流程(开展培训课程、考核与授权、授权人员名单管理)、强化医生主导全流程、加强操作人员的持续教育、完善记录与追溯、落实监督与质控。该技术操作具有专业性和风险性,要求必须由具备足够知识、技能和授权的人员来执行。严格执行人员资质准入,特别是明确护士在医生指导下操作的界限,是落实该意见、防范医疗风险的重中之重。且必须通过完善的培训认证体系、清晰的操作规程、严格的监督机制来确保这一要求得到有效贯彻。

推荐意见 14: 开展脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术前应建立标准化的操作程序并须由经规范培训的麻醉师、临床医生指导下的护士操作。(推荐强度:强推荐)

本共识对脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术的适应证、工作原理、临床适用建议等进行了系统梳理,形成了 14 项推荐意见,目的在于为医务人员推荐新方法学的同时充分解读该技术特点。

在实际临床应用中,无创血流动力学监测技术还将面临诸多问题,期待未来有更多的学者参与到该项目的研究中。本共识仅代表参与编写讨论专家的观点,不具备法律效力。随着相关研究及循证医学证据的不断增多,《无创血流动力学-脉搏波传播速度与脉搏轮廓分析技术专家共识》也将不断修改与完善。

执笔者: 刘海迎(天津医科大学总医院重症医学科);沈悦好(天津医科大学总医院重症医学科);张永强(天津医科大学总医院老年医学科);王兵(天津市第一中心医院重症医学科);翁亦奇(天津市第一中心医院麻醉科);阚济伟(天津康汇医院麻醉科);王双林(天津医科大学总医院空港院区重症医学科);申昊(天津市北辰医院)
共识制定专家组成员:(按姓名汉语拼音字母表顺序排序): 鲍滨(天津市西青医院重症医学科);丁梅(天津市第一中心医院麻醉科);丁巍(天津市中心妇产科医院重症医学科);窦晓婧(天津市第一中心医院重症医学科);杜诗涵(天津市南开医院麻醉科);董建光(天津市中心妇产科医院重症医学科);阚济伟(天津康汇医院麻醉科);贾莉莉(天津市第一中心医院麻醉科);李财峰(天津医科大学总医院重症医学科);李香云(天津市南开医院麻醉与重症医学科);李亚丹(天津市环湖医院颅脑创伤与重症医学科);李媛(天津市肿瘤医院麻醉科);刘海迎(天津医科大学总医院重症医学科);刘冲(天津市第四中心医院麻醉科);马攀峰(天津康汇医院创伤中心);孟宇(天津医科大学总医院重症医学科);潘建华(天津市人民医院重症医学科);任莹慧(天津市第一中心医院麻醉科);沈悦好(天津医

科大学总医院重症医学科);王兵(天津市第一中心医院重症医学科);王双林(天津医科大学总医院空港院区重症医学科);王文娇(天津大学中心医院重症医学科);王伟(天津泰达国际心血管病医院重症医学科);王心怡(天津大学中心医院麻醉科);翁亦齐(天津市第一中心医院麻醉科);谢克亮(天津医科大学总医院重症医学科);徐绸(联勤保障部队第九八三医院重症医学科);闫东来(天津医科大学总医院麻醉科);杨涛(天津市人民医院麻醉科);张永强(天津医科大学总医院老年医学科);张桢铭(天津医院重症医学科);庄欣琪(天津医科大学第二医院麻醉科)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- SADRAWI M, LIN Y T, LIN C H, et al. Non-invasive hemodynamics monitoring system based on electrocardiography via deep convolutional autoencoder [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21 (18): 6264. DOI: 10.3390/s21186264.
- 阮敏, 郑伊颖, 杨方权. 阻塞性夜间呼吸暂停综合征相关高血压与脉搏波传播速度的关系 [J]. *黑龙江医学*, 2020, 44 (11): 1527-1529. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5775.2020.11.017.
- 滕永欣. NiCaS 在急诊急性心力衰竭患者应用的临床价值分析 [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2025.
- QUAN X, LIU J, ROXLO T, et al. Advances in non-invasive blood pressure monitoring [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21 (13): 4273. DOI: 10.3390/s21134273.
- MA Y, CHOI J, HOURLIER-FARGETTE A, et al. Relation between blood pressure and pulse wave velocity for human arteries [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115 (44): 11144-11149. DOI: 10.1073/pnas.1814392115.
- MARTIN-PUIG S, MENENDEZ-MONTES I. Cardiac metabolism [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2024, 1441: 365-396. DOI: 10.1007/978-3-031-44087-8_19.
- 朱华栋. 影响经肺热稀释法测定血流动力学参数因素的研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2017.
- BJORNFOT C, GARPEBRING A, QVARLANDER S, et al. Assessing cerebral arterial pulse wave velocity using 4D flow MRI [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2021, 41 (10): 2769-2777. DOI: 10.1177/0271678X211008744.
- 王振涛, 王佑华, 陆曙, 等. 扩张型心肌病中西医结合诊疗指南 [J]. *中华中医药学刊*, 2025, 43 (9): 248-258. DOI: 10.13193/j.issn.1673-7717.2025.09.047.
- 黄红, 邱强, 刘强, 等. 维持性血液透析患者透析前后血流动力学特征及临床意义 [J]. *中国血液净化*, 2025, 24 (6): 452-456. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2025.06.003.
- MUHLBACHER J, LUF F, ZOTTI O, et al. Effect of intraoperative goal-directed fluid management on tissue oxygen tension in obese patients: a randomized controlled trial [J]. *Obes Surg*, 2021, 31 (3): 1129-1138. DOI: 10.1007/s11695-020-05106-x.
- GIUSTINIANO E, PROCOPPIO F, RUGGIERI N, et al. Impact of the FloTrac/VigileoTM monitoring on intraoperative fluid management and outcome after liver resection [J]. *Dig Surg*, 2018, 35 (5): 435-441. DOI: 10.1159/000481406.
- 吴洁, 马艳辉, 张瑛, 等. 每搏变异度指导目标导向液体管理在幕上肿瘤切除术中的应用 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2017, 33 (5): 425-429. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5805.2017.05.002.
- 刘洋, 田丹丹, 张超凡, 等. 目标导向液体治疗对妇科腹腔镜手术中血流动力学及脑氧饱和度的影响 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36 (4): 349-353. DOI: 10.12089/jca.2020.04.009.
- 肖玮, 段庆芳, 福文雅, 等. 目标导向液体治疗对子痫前期孕妇行腰麻剖宫产手术中血流动力学的影响 [J]. *北京医学*, 2015, 37 (8): 731-735. DOI: 10.15932/j.0253-9713.2015.8.006.
- 虞意华, 严静, 戴海文, 等. 功能性血流动力学监测指导老年重度脓毒症患者液体治疗的评价 [J]. *解放军医学杂志*, 2009, 34 (5): 602-604. DOI: 10.3321/j.issn:0577-7402.2009.05.032.
- 夏迪, 许力, 李旭, 等. 目标导向液体治疗优化老年腰椎手术患者术中血流动力学降低术后并发症 [J]. *基础医学与临床*, 2021, 41 (2): 178-183. DOI: 10.3969/j.issn.1001-6325.2021.02.005.
- 兰雪丽, 申南. 无创血流动力学在产科危急重症方面的应用 [J]. *中国临床医生杂志*, 2025, 53 (3): 277-281. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2025.03.003.
- 张弘, 叶志澄, 李敏, 等. 基于无创血流动力学参数的脓毒症预测模型构建 [J]. *岭南急诊医学杂志*, 2024, 29 (3): 223-226. DOI: 10.3969/j.issn.1671-301X.2024.03.004.
- BABCENKO A, DAVIDSON E, GINOSAR Y, et al. Photoplethysmographic measurement of changes in total and pulsatile tissue blood volume, following sympathetic blockade [J]. *Physiol Meas*, 2001, 22 (2): 389-396. DOI: 10.1088/0967-3334/22/2/310.
- HOLLENBERG S M. Vasoactive drugs in circulatory shock [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 183 (7): 847-855. DOI: 10.1164/rccm.201006-0972CI.
- CECCONI M, De BACKER D, ANTONELLI M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine [J]. *Intensive Care Med*, 2014, 40 (12): 1795-1815. DOI: 10.1007/s00134-014-3525-z.
- PARKER T, BREALEY D, DYSON A, et al. Optimising organ perfusion in the high-risk surgical and critical care patient: a narrative review [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123 (2): 170-176. DOI: 10.1016/j.bja.2019.03.027.
- 马渝. 休克患者的血流动力学监测现状与展望 [J]. *实用休克杂志(中英文)*, 2019, 3 (3): 137-141.
- STROBEL H A, MOSS S M, HOYING J B. Methods for vascularization and perfusion of tissue organoids [J]. *Mamm Genome*, 2022, 33 (3): 437-450. DOI: 10.1007/s00335-022-09951-2.
- 斯波. 老年原发性高血压患者动脉脉搏传播速度异常的相关性因素分析 [J]. *全科医学临床与教育*, 2017, 15 (5): 565-567. DOI: 10.13558/j.cnki.issn1672-3686.2017.05.027.
- 李悦, 夏俊, 张敏, 等. 代谢综合征患者臂踝脉搏波传播速度与颈动脉粥样硬化的关系 [J]. *现代临床医学*, 2021, 47 (6): 408-411. DOI: 10.11851/j.issn.1673-1557.2021.06.003.
- WIDYA R L, de MUTSERT R, WESTENBERG J J M, et al. Is hepatic triglyceride content associated with aortic pulse wave velocity and carotid intima-media thickness? The Netherlands epidemiology of obesity study [J]. *Radiology*, 2017, 285 (1): 73-82. DOI: 10.1148/radiol.2017160916.
- 程雨欣, 王臻, 梁潇, 等. 超声多普勒技术和压力波法测量肱-踝脉搏波传播速度一致性研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2024, 40 (8): 893-897. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0101.2024.08.017.
- 孙雪航, 李本森, 卢意成, 等. 颈动脉狭窄病症对脉搏波传播特性的影响分析 [J]. *医用生物力学*, 2024, 39 (S1): 73.
- 薛贻敏, 陈美琪, 黄廷烽, 等. 每搏连续无创血压监测系统结合被动抬腿试验对脓毒性休克患者容量反应性的预测价值 [J]. *解放军医学杂志*, 2021, 46 (11): 1112-1117. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2021.11.08.
- 孙丽, 马明仁, 靳鹏, 等. 微创和无创血流动力学监测在重症监护中的应用进展 [J]. *中国心血管病研究*, 2024, 22 (6): 528-533. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5301.2024.06.005.
- FLICK M, HOPPE P, MATIN MEHR J, et al. Non-invasive measurement of pulse pressure variation using a finger-cuff method (CNAP system): a validation study in patients having neurosurgery [J]. *J Clin Monit Comput*, 2022, 36 (2): 429-436. DOI: 10.1007/s10877-021-00669-1.
- 薛贻敏, 吴畏, 陈明光, 等. 每搏连续无创血压监测系统评估机械通气重症患者血流动力学状态的临床研究 [J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31 (10): 1231-1235. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-4352.2019.10.010.
- HADIAN M, KIM H K, SEVERYN D A, et al. Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of LiDCO, PiCCO, FloTrac and pulmonary artery catheters [J]. *Crit Care*, 2010, 14 (6): R212. DOI: 10.1186/cc9335.

(收稿日期: 2025-09-28)

(本文编辑: 邵文)