

超声监测用于预测中心静脉压的研究进展

郭 阳, 魏 珂*

重庆医科大学附属第一医院麻醉科, 重庆

收稿日期: 2025年9月14日; 录用日期: 2025年10月8日; 发布日期: 2025年10月15日

摘 要

目前, 尚缺乏一种有效且侵入性较低的替代方法用于预测中心静脉压(Central Venous Pressure, CVP)。本综述旨在探讨超声技术作为CVP测定的潜在替代手段。近年来, 多项研究评估了采用替代性或微创方法测定CVP的可行性, 包括外周静脉压测量、静脉多普勒血流分析及超声心动图等。尽管这些方法与侵入性CVP测量具有一定相关性, 但由于其操作复杂、设备成本较高或观察者间差异较大, 目前尚无一种替代方法被广泛接受并纳入常规临床实践, 用于快速评估血管内容量状态。

关键词

中心静脉压, 超声, 下腔静脉, 颈内静脉

Research Progress of Ultrasound Monitoring in Predicting Central Venous Pressure

Yang Guo, Ke Wei*

Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: September 14, 2025; accepted: October 8, 2025; published: October 15, 2025

Abstract

At present, there is still a lack of an effective and less invasive alternative method for predicting Central Venous Pressure (CVP). The purpose of this review is to explore the use of ultrasound techniques as a potential alternative for CVP measurement. In recent years, a number of studies have evaluated the feasibility of using alternative or minimally invasive methods to measure CVP, including peripheral venous pressure measurement, venous Doppler flow analysis, and echocardiography.

*通讯作者。

文章引用: 郭阳, 魏珂. 超声监测用于预测中心静脉压的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 1478-1486.
DOI: 10.12677/acm.2025.15102910

Although these methods have some relevance for invasive CVP measurements, none of the alternatives have been widely accepted and incorporated into routine clinical practice for rapid assessment of intravascular volume status due to their complexity, high equipment cost, or large interobserver variability.

Keywords

CVP, Ultrasound, Inferior Vena Cava (IVC), Internal Jugular Vein (IJV)

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

床旁超声是一种潜在的无创辅助手段, 可通过测量血管直径等参数来估计血管内容量状态。中心静脉压(CVP)是指右心房及上、下腔静脉胸腔段的压力。它反映右心房压力, 是临床观察心功能与血容量的重要指标之一, 受心功能、循环血容量等方面因素的影响。在临床实践中, CVP 监测可用于评估患者血容量状态, 预测液体容量反应性, 并指导围术期液体管理[1]。尤其在肝叶切除手术、心血管手术、低血容量性休克、心力衰竭和心脏骤停等情况, CVP 监测至关重要[2] [3]。

从临床角度来看, CVP 水平通常定义为: ≤ 5 mmHg 为低、6~9 mmHg 之间可获得较优的临床预后[4]。然而, 术中 CVP 高于正常值已被证明与术后预后不良相关, 且可用于预测术后肾功能衰竭的风险及早期死亡率等[5]。

尽管 CVP 监测在围术期液体管理中具有重要作用, 但中心静脉导管(Central Venous Catheterization, CVC)置入并非没有风险。研究报道, 与 CVC 置入相关的并发症发生率为 5%至 19%, 包括气胸、感染、血栓栓塞、心律失常和出血等[6]-[9]。此外, CVC 置入是一项有创操作, 耗时较长, 且 CVP 监测的准确性易受多种因素影响。技术因素如传感器零点不准、管路堵塞或漏液; 患者因素如呼吸状态、胸腔压力、体位改变及心功能; 治疗因素如机械通气和 PEEP 应用、血管活性药物等。因此, 寻找其他与 CVP 具有良好相关性的监测手段和指标, 以更准确、客观地反映腔静脉压力及血流情况, 具有重要的临床价值。

静脉多普勒超声淤血评分(Venous Doppler ultrasound stasis score, VEXUS) (如表 1 所示)是利用床旁超声评估 CVP 升高(即静脉系统淤血)对器官(特别是肾脏)静脉回流的影响。这对于指导危重病人(尤其是心衰、休克、脓毒症、术后患者)的液体管理至关重要。

VEXUS 评分通过超声检查四条关键静脉的多普勒血流频谱:

- ① 下腔静脉(IVC): 评估中心静脉压的粗略指标。直径和呼吸变异度。
- ② 肝静脉(Hepatic Vein, HV): 观察血流频谱模式。正常为双相或三相波(代表心房收缩时的短暂反向血流)。静脉淤血时, 该反向血流会消失或发生异常改变。
- ③ 门静脉(Portal Vein, PV): 正常为连续、单相的入肝血流。静脉淤血时, 血流会变得不连续, 出现搏动性(“门静脉搏动”)。
- ④ 肾内静脉(Intrarenal Vein, IRV): 正常为连续的低速血流。静脉淤血时, 血流会变为不连续、搏动性(“双向”或“断流”模式), 这是肾脏灌注受损的非常敏感的指标。

Table 1. VEXUS scoring criteria (Grading)
表 1. VEXUS 评分标准(分级)

评分	下腔静脉(IVC)	肝静脉(HV)	门静脉(PV)	肾内静脉(IRV)	临床意义
0 分	直径 ≤ 2 cm 且随呼吸 塌陷 $> 50\%$	正常三相波	无搏动($<30\%$)	连续血流(低速连续频谱)	无淤血
1 分	直径 > 2 cm 或随呼吸 塌陷 $< 50\%$	双相波(心房反向波消失)	搏动性($\geq 30\%$)	双向血流(systolic-diastolic 双相)	轻度淤血
2 分	直径 > 2 cm 且随呼吸 塌陷 $< 50\%$	单相波(平坦, 无波动)	显著搏动	断流(间歇性消失)	中度淤血
3 分	(通常已满足 2 分标准)	(通常已满足 2 分标准)	(通常已满足 2 分标准)	完全无血流	重度淤血

VEXUS 0 分: 无显著静脉淤血。液体管理策略无需因淤血而调整。

VEXUS 1 分: 存在轻度静脉淤血。需警惕液体过负荷风险, 通常建议限制液体入量。

VEXUS 2 分: 存在显著静脉淤血。与急性肾损伤(Cute kidney Injury, AKI)高风险强相关。风险显著相关。强烈建议积极脱水(如使用利尿剂)。

VEXUS 3 分: 严重静脉淤血。器官衰竭风险极高。急需紧急处理, 如强力利尿或启动肾脏替代治疗(CRRT)脱水。急需紧急处理, 如强力利尿或启动肾脏替代治疗(CRRT)脱水。

2. 研究现状

2.1. 外周静脉与中心静脉压的相关性

1999 年, David Amar 研究发现, 在无明显心功能不全的患者中, 前臂无创外周静脉压(Non-invasive peripheral venous pressure measurement at the forearm, PVP)与围手术期 CVP 高度一致[10], PVP 始终比 CVP 平均高 2 mmHg, 95%置信区间 3 mmHg 以内(平均差), PVP 和 CVP 之间的差异可能与大静脉静脉回流的阻力有关。随着测量部位距离右心房越远, PVP 压力逐渐升高; 此外, 呼气末正压、肺动脉高压、静脉收缩、呼吸衰竭、心脏瓣膜狭窄和心力衰竭可能导致 CVP 读取或解释的偏差。当患者可能存在低血容量可能性时, 所有检查结果均错误地显示较高的 CVP。

2007 年, Christoph Thalhammer 采用高分辨率加压超声, 在 50 例重症监护病房患者中进行研究, 同样发现 PVP 与 CVP 具有良好的相关性[11]。此外, 在 10 名健康的受试者的实验性静脉高压研究中, 当侵入性外周静脉(PVPi)与非侵入性外周静脉(PVPn)静脉压范围在 10 至 70 mmHg 之间时, PVPi 与 PVPn 间表现出较强的相关性。研究还发现, 当患者前臂位于心脏水平以下或心脏水平时, PVP 测量仍与 CVP 相关。然而, 锁骨下静脉或中央静脉血栓形成可能导致 PVP 测量的假性升高, 这一因素需在临床实践中加以考虑。外周测量可能会高估 CVP, 而不会低估 CVP。因此, 外周静脉压正常或较低时, 可基本排除临床相关的 CVP 升高。

尽管通过受控加压超声进行的无创测量方法可能不适用于危重患者的持续监测, 但在需要可靠的 CVP 估算而侵入性技术不可行或非最佳选择的情况下, 该方法可为急诊室患者的评估提供一种具有吸引力的替代方案。

2.2. 下腔静脉(IVC)与 CVP 的相关性

健康人群中, 由于胸腔压在呼吸周期中的周期性变化(即一个呼吸周期内 IVC 直径的相对减少), IVC 直径可出现约 50%的变异度。IVC 的相关参数(如直径和塌陷指数)可以通过超声在床旁快速测量和计算,

并且与右心房压(Right Atrial Pressure, RAP)呈高度相关性[12][13]。2012年, Muller及其同事研究了下腔静脉直径(Inferior Vena Cava Diameter, IVCD)的呼吸变化, 探讨其是否作为可液体反应性的有效预测指标[14]。研究表明, 在一定条件下, Δ IVC 可用于指导液体治疗。那么下腔静脉相关参数与 CVP 之间是否有一定的关系呢? 自 1979 年初步研究发现 IVC 直径或塌陷度与 CVP 之间存在相关性以来, 众多研究已将 IVC 参数作为无创预测 CVP 的指标[15]。然而, 目前已提出多种 IVC 测量方法被提出, 但关于 IVC 测量在 CVP 评估中的效用及最佳测量方式仍存在一定争议。

2010年, Nagdev 等使用超声对 73 名未插管患者进行分析, 在患者正常呼吸周期内测量下腔静脉塌陷指数(Collapsibility Index, CI) $> 50\%$ 与较低的 CVP (< 8 mmHg)密切相关, CI $\geq 50\%$ 预测中心静脉压小于 8 mmHg 的敏感性为 91% (95%置信区间 71%~99%), 特异度为 94% (95%置信区间 84%~99%) [16]。Kircher 等的研究也得出类似结论, 即塌陷指数(CI) $> 50\%$ 与右心房压(Right Atrial Pressure, RAP) < 10 mmHg 相关, 而塌陷指数(CI) $< 50\%$ 表明 RAP 升高至 > 10 mmHg。在插管患者中, 吸气期下腔静脉直径(IVCD)被定义为用力吸气时的最大直径, 而呼气期下腔静脉直径(IVCD)则是用力吸气结束时的最小直径。低 IVC-CI 通常提示高血容量状态, 而高 IVC-CI 则提示血管内容量不足。因此, 当下腔静脉指数(IVC-CI) $\geq 50\%$, 临床医生可将其作为启动积极液体治疗的决策依据。

同年, Stawick 进一步分析了 79 例患者的超声下腔静脉塌陷指数(IVC-CI)和 CVP 的关系, 发现二者呈负相关, 每增加 1 mmHg CVP, 相应的 IVC-CI 中位数减少 3.3%。低 IVC-CI ($< 25\%$) 与正常血容量或高血容量状态一致, 而 IVC-CI $> 75\%$ 提示血管内容量不足[17]。然而, 研究发现, 呼气末正压通气(Positive End-expiratory Pressure, PEEP)的存在会影响 IVC-CI 和 CVP 之间的关系, 使 CVP 在 IVC-CI 幅度上增加 2~3.5 mmHg, 并且在低 CVP 下降时的低塌陷度。许多超声专家对 PEEP 影响下 IVC-CI 的可靠性表示担忧, 相关数据也表明 PEEP 对 IVC-CI 和 CVP 具有可量化的影响。然而, Rajacich 等的研究指出, 尽管 PEEP 水平较高, CVP 仍在评估左心房压力方面保持临床应用价值[18]。总体而言, PEEP 对 CVP 测量的影响较为有限, 在 10 mmHg 的 PEEP 水平下, CVP 估计值约增加 3 mmHg [19]。在 IVC-CI 和 CVP 之间在中塌陷范围内关系的行为可能反映 IVC 作为容量血管的作用, 旨在在各种标准血流动力学条件下“保持”一致的静脉回流。虽然这项研究代表了使用 IVC-CI 估计血管内容量领域的进步, 但由于一些方法学的局限性, 其发现必须谨慎应用。

Robert 通过超声分别在吸气末和呼气末测量了 IVC 在剑突下、上腹部和中腹部的横向和纵向直径。对于吸气末在剑突下、中腹部和上腹部纵向测量中, IVC 与 CVP 的相关系数分别为 0.49、0.51 和 0.50 [20]。其中剑突下是三种解剖位置中最可靠的, 然而, 尽管 IVC 的超声测量可用于评估 CVP, 但其相关性仍然较弱。此外, 该研究未采用多次测量取平均值, 也未记录和回顾静态图像以获取“最佳”视图, 这可能导致测量误差, 研究者指出, IVC 圆周(面积)测量或垂直轴上的双次测量可能比单一直径测量更精确, 而面积测量可能优于直径测量。

2016年, Ciozda 等回顾了 21 项研究(共计 1430 名患者), 探讨 IVC 直径超声测量与 CVP 或 RAP 之间相关性的研究, IVC 测量相关参数包括呼气末最大 IVC 直径、吸气末最小 IVC 直径、IVC 塌陷指数(IVC-CI)等。所有研究均提示仰卧位肋下视图中 IVC 测量与直接侵入性 CVP 或 RAP 测量之间的相关性[21]。然而, 不同研究在患者群体、PEEP 的使用、平均 CVP 或 RAP 水平以及 IVC 直径测量方法方面存在较大差异。总体而言, 这些研究支持使用 IVC 直径的超声测量来估计自主呼吸患者的 CVP 或 RAP。IVC 直径大小与 CVP 或 RAP 之间始终呈正相关, 而 IVC-CI 与 CVP 或 RAP 之间呈负相关。美国心脏超声学会(American Society of Echocardiography)在当前指南中建议: 当最大 IVC 直径 > 21 mm, 且 IVC-CI $< 50\%$ 时, 可预测 RAP ≥ 10 mmHg [22]。

然而超声监测 IVC 受解剖及病理因素、体表面积(Body Surface Area, BSA)及呼吸模式等因素的影响。

解剖及病理因素对 IVC 测量的影响：在 10%~15% 的患者中，由于肥胖、腹部手术敷料、腹腔内气体过多、胸腔内大量空气、外在结构压迫 IVC、腹内压升高、肺动脉压升高、三尖瓣或肺动脉瓣疾病等因素，可能无法准确测量 IVC [23]。此外，患者体位可能会影响 IVC 直径，因为当患者处于左侧卧位时，直径最小，而当处于右侧卧位时，直径最大[24]。因此，在超声测量过程中，充分了解这些变量对于准确采集和解释 IVC 参数至关重要。

体表面积(BSA)对 IVC 测量的影响：肥胖患者的 IVC 测量面临挑战，因为皮下脂肪较厚可能会削弱超声信号，此外，器官大小可能随体型变化，许多超声心动图参数与体表面积(BSA)密切相关。为了研究 BSA 对 IVC 参数的影响，Taniguchi 等人对 90 例接受右心导管插入术或中心静脉导管插入术的患者进行研究，并将其分为较高 BSA 组和较低 BSA 组。结果显示，男性患者的下腔静脉直径(IVCD)显著大于女性(19 ± 5 vs 17 ± 5 mm, $P = 0.0347$)，且 IVCD 与 BSA 呈弱相关性($r = 0.35$, $P = 0.0007$) [25]。目前，关于 BSA 和 IVC 直径之间关系研究数据有限。一些研究发现，采用 BSA 标准化后的 IVC 直径与侵入性测量的右心房压(RAP)之间具有良好的相关性。然而，这些研究未进一步验证 IVC 直径的归一化是否能提高 RAP 评估的准确性。

呼吸模式对 IVC-CI 的影响：IVC 在吸气时塌陷，因为吸气时胸腔内呈负压。与正常呼吸相比，嗅探动作产生更多的胸腔内负压，导致更显著的 IVC 塌陷。在一项实验研究中，利用可测量吸气工的设备发现，实现 85% IVC 塌陷所需的吸气工与 RAP 之间存在强线性相关性[26]。研究认为，当 $RAP \geq 10$ mm Hg，最佳预测的 IVC-CI 截断值为：自主呼吸时为 25.7%，主动嗅探期间为 49.0% [25]。Kircher 等人的研究发现，在嗅探过程中，IVC 塌陷指数 $< 50\%$ 是预测 $RAP \geq 10$ mmHg 的良好指标[13]。此外，其他研究表明， $RAP \geq 10$ mmHg 的最佳预测 IVC-CI 截断值为：自主呼吸时为 20%，主动嗅探时为 40% [27]。值得注意的是，与 IVC 直径不同，呼吸相关 IVC 变化的临界值不受 BSA 影响。因此，无论患者体型大小，IVC 塌陷指数均可作为评估 RAP 的可靠指标。这些结果表明，自主呼吸及嗅探吸气期间的呼吸力度不受体型影响，可用于 RAP 评估。

然而，在某些特殊情况下，如血管迷走性晕厥患者及职业运动员，其 IVCD 与 RAP 之间无明显相关性。研究发现，尽管年轻健康的职业运动员 RAP 处于正常范围，尤其是游泳运动员，IVC 仍可能出现扩张。一项研究显示，专业运动员的平均 IVC 直径为 2.31 ± 0.46 cm，而健康年轻人群仅为 1.14 ± 0.13 cm。此外，运动员的 IVC 塌陷指数(IVCCI)为 $58\% \pm 6.4\%$ ，而对照组为 $70.2\% \pm 4.9\%$ [28]。因此，IVC 扩张可能代表顶级运动员心外结构对长期剧烈运动的适应性变化。另一方面，血管迷走性晕厥患者的超声心动图未见明显心脏异常，但其 IVCD 及 BSA 标准化后的 IVC 直径均显著大于健康年轻人群(分别为 24.6 mm vs 21.3 mm, 14.4 mm/m² vs 12.6 mm/m², $P < 0.001$) [29]。这表明，在无其他心脏病史的年轻血管迷走性晕厥患者中，IVCD 可能增大，但这一变化并不反映心房压力的升高。因此，在健康年轻人群中，IVCD 扩张可能与 RAP 无关，而是受其他生理因素的影响。

2.3. 颈内静脉(IJV)与中心静脉压(CVP)的相关性

IVC 的超声评估受多种因素限制，例如培训、患者肥胖或肠道气体等干扰超声可视化，(IVC 的评估受超声技术培训、患者肥胖或肠道气体干扰可视化等多种因素限制)，且缺乏经过验证的参考数据和共识方案。既往研究表明，约 10%至 15% 的患者由于体型较大、腹腔内肠气过多或胸腔内空气积聚，无法进行 IVC 测量[27]。当 IVC 受肝病、腹部手术等因素影响而无法可靠评估时，可采用其他无创方法来估计 CVP。尽管许多临床医生通过目视评估颈静脉充盈度来推测颈静脉压(Jugular Venous Pulsation, JVP)，但这种方法的敏感性较低。

超声评估颈内静脉(IJV)已被证明是估计 CVP 的有效方法, 研究表明 IJV 相关参数与 CVP 具有显著相关性[30]-[32]。超声测量 IJV 可用于快速评估危重患者的血流动力学状态, 并能在不同体位下有效预测 CVP 水平[33]。与仰卧位相比, 在半卧位 30°测量的 IJV 参数被证明是更可靠的 CVP 间接预测因子[34]。此外, IJV 在所有半卧位和水平位的患者中均可见且易于识别。然而, 由于直立时静脉容易塌陷, 在直立位下进行 IJV 直径的单次测量可能低估 CVP。在水平位, 由于静脉回流增加, IJV 直径仅在 CVP 极低(<0 mmHg)时才会显著减少。因此, 使用 IJV 在评估 CVP 时, 需要结合患者体位, 以获得更准确的测量结果。

颈内静脉/颈总动脉(Common Carotid Artery, CCA) (IJV/CCA)横截面积比与 CVP 之间存在显著相关性[35][36], 研究表明, 该比率预测 CVP 的敏感性为 90%, 特异性为 86%。2012 年, 一项针对儿童烧伤患者的研究显示, 颈内静脉/颈总动脉(IJV/CCA) ≥ 2 与 CVP ≥ 8 mmHg 相关, 即当静脉的横截面积至少是动脉的两倍时, CVP 似乎为 ≥ 8 mmHg [37]。然而, CVP 与静脉几何形状之间的关系并不精确, 因此, 未来的研究应将 IJV/CCA 比值与更具生理相关性的测量方法(例如无创心输出量监测)进行比较。

Jaffe 等人在 2023 年的研究中发现, 仰卧塌陷力和颈静脉搏动高度是估计 CVP 的临床无创标准, 两者的线性相关系数为 $r^2 = 0.89$, 平均绝对差为 0.23 mmHg [38]。然而, 这项研究是基于 JVP 测量进行校准的, 仰卧塌陷力的结果并未显示比 JVP 更高的准确性。因此, 需要将仰卧塌陷力方法与侵入性 CVP 测量进行黄金标准比较, 以全面验证其有效性, 但目前尚无相关进一步研究。

3. 结论

自 1979 年首次研究以来, IVC、IJV 等参数已广泛作为评估 CVP 的非侵入性方法的前景。IVC、IJV 等参数在预测 CVP 方面确实具有一定的准确性, 但各种指数的精确临界值尚未确定。尽管超声测量颈内静脉和下腔静脉参数已被广泛应用, 但超声测量操作技术要求较高, 且容易受到人为误差影响, 且目前测量方法尚未标准化, 包括超声轴的选择、IJV 和 IVC 测量的精确位置以及获得 IVC 和 IJV 直径的方法上都存在一定差异。此外, 高强度运动训练、重度三尖瓣反流、血管迷走性晕厥史、肝纤维化/肝硬化、腔静脉阻塞以及孤立性左心或右心衰竭等因素均会影响 IVC 直径。尽管超声测量 IVC、IJV 等目前仍存在缺陷, 但大量研究显示, 当需要可靠的 CVP 估计而侵入性技术不适用时, 超声技术确实为急诊患者 CVP 评估提供了一种有吸引力的替代方案。

4. 展望

超声心动图估计心输出量(Cardiac Output, CO)是危重患者血流动力学评估的基础, 但由于超声心动图视图困难, 其评估可能会受到限制。2022 年, Kenny 等人通过颈总动脉多普勒超声检查推断每搏输出量变化, 发现颈动脉最大速度时间积分和校正流量时间分别增加 18%和 4%, 准确捕捉到了 10%的每搏输出量变化[39]。该方法使用了一种便携式超声设备(CADFlow), 将设备粘附在颈部, 保持恒定的超声角度, 能够准确测量多个心肺周期的心跳变化。基于此, 我们是否可以用类似方法连续监测颈内静脉, 并在围术期获取颈内静脉的动态数据, 以指导危重患者的补液治疗, 这似乎是一个值得探索的方向。之前已经证明, 维持低中心静脉压(LCVP)结合肝外控制静脉流出可减少肝脏大切术期间的总失血量。使用 LCVP 进行大切术允许在实质横切之前和期间轻松控制肝静脉。这种麻醉技术旨在在肝切除术的关键阶段维持 LCVP, 不仅有助于最大限度地减少失血和死亡率, 还有助于保留肾功能[40]。每搏变异度(Stroke Volume Variation, SVV)可以安全地用作肝切除术期间 CVP 监测的替代方法, 在失血和实质横切时间方面具有同等结果[41]。因此使用 SVV 作为液体状态的预测指标可能被证明是有利的, 因为它避免 CVC 插入的需要, 从而消除了接受肝切除术的患者发生 CVC 相关并发症的风险。那是否能用可便携式超声连续监测颈内静脉, 作肝切除术期间 CVP 监测的替代方法, 目前还没有此方面的研究。未来研究应聚焦以下

方向: 建立多中心队列验证 IVC/IVJ 参数的普适性; 探索超声指标与 SVV(每搏量变异度)的联合应用, 替代肝切除术等高风险手术中的 CVC 置入; 开发自动化算法减少操作者依赖性。

人工智能(Artificial Intelligence, AI)在医学领域发挥着越来越重要的作用, 尤其是在医学影像领域。它可用于诊断疾病并预测某些状态和可能发生的事件。近年来, 人工智能超声为了减少超声诊断的主观性, 提高超声诊断的效率, 在临床中得到越来越多的应用。许多研究证实了 AI 在超声评估甲状腺结节、乳腺病变和肝脏病变分类中的价值。除了这些应用之外, 超声波领域的其他 AI 应用也可以得到了探索。因此未来可以在卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的帮助下, 通过完成超声下各种血管视图数据收集、迁移学习、增强数据、训练、验证和独立测试、验收测试、临床前测试和用户培训等过程, 将超声 CVP 评估融入血流动力学管理流程。如果开发、验证和实施得当, 可以预期来自计算机辅助诊断(Computer Aided Diagnosis, CAD)或 AI 工具的高效数据分析可以补充临床医生的人类智能, 从而提高准确性和工作流程, 更快速地评估血管内容量状态。

基金项目

卫生部国家临床重点专科建设项目(卫生部部属(管)医疗机构临床学科重点项目建设专项资金); 基于多组学解析肥胖加重 ARDS 的关键分子及其机制研究重庆市自然科学基金重点项目(2024NSCQ-KJFZZDX0006); “加速肥胖患者术后肺康复”重庆市中青年医学高端人才工作室(2023GDRCGZS-20)。

参考文献

- [1] Cecconi, M., Hofer, C., Teboul, J., Pettila, V., Wilkman, E., Molnar, Z., *et al.* (2015) Fluid Challenges in Intensive Care: The FENICE Study: A Global Inception Cohort Study. *Intensive Care Medicine*, **41**, 1529-1537. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-3850-x>
- [2] Dellinger, R.P., Levy, M.M., Carlet, J.M., Bion, J., Parker, M.M., Jaeschke, R., *et al.* (2008) Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Severe Sepsis and Septic Shock: 2008. *Critical Care Medicine*, **36**, 296-327. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000298158.12101.41>
- [3] Stevenson, L.W. (1989) The Limited Reliability of Physical Signs for Estimating Hemodynamics in Chronic Heart Failure. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, **261**, 884-888. <https://doi.org/10.1001/jama.1989.03420060100040>
- [4] Kapoor, P., Kakani, M., Chowdhury, U., Choudhury, M., Lakshmy, R. and Kiran, U. (2008) Early Goal-Directed Therapy in Moderate to High-Risk Cardiac Surgery Patients. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, **11**, 27-34. <https://doi.org/10.4103/0971-9784.38446>
- [5] Williams, J.B., Peterson, E.D., Wojdyla, D., Harskamp, R., Southerland, K.W., Ferguson, T.B., *et al.* (2014) Central Venous Pressure after Coronary Artery Bypass Surgery: Does It Predict Postoperative Mortality or Renal Failure? *Journal of Critical Care*, **29**, 1006-1010. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2014.05.027>
- [6] Kusminsky, R.E. (2007) Complications of Central Venous Catheterization. *Journal of the American College of Surgeons*, **204**, 681-696. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2007.01.039>
- [7] Sprung, C.L., Pozen, R.G., Rozanski, J.J., Pinero, J.R., Eisler, B.R. and Castellanos, A. (1982) Advanced Ventricular Arrhythmias during Bedside Pulmonary Artery Catheterization. *The American Journal of Medicine*, **72**, 203-208. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(82\)90811-7](https://doi.org/10.1016/0002-9343(82)90811-7)
- [8] Harvey, S., Harrison, D.A., Singer, M., Ashcroft, J., Jones, C.M., Elbourne, D., *et al.* (2005) Assessment of the Clinical Effectiveness of Pulmonary Artery Catheters in Management of Patients in Intensive Care (Pac-Man): A Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **366**, 472-477. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)67061-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)67061-4)
- [9] Akmal, A., Hasan, M. and Mariam, A. (2007) The Incidence of Complications of Central Venous Catheters at an Intensive Care Unit. *Annals of Thoracic Medicine*, **2**, 61-63. <https://doi.org/10.4103/1817-1737.32232>
- [10] Amar, D., Melendez, J.A., Zhang, H., Dobres, C., Leung, D.H.Y. and Padilla, R.E. (2001) Correlation of Peripheral Venous Pressure and Central Venous Pressure in Surgical Patients. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **15**, 40-43. <https://doi.org/10.1053/jcan.2001.20271>
- [11] Thalhammer, C., Aschwanden, M., Odermatt, A., Baumann, U.A., Imfeld, S., Bilecen, D., *et al.* (2007) Noninvasive Central Venous Pressure Measurement by Controlled Compression Sonography at the Forearm. *Journal of the American*

- College of Cardiology*, **50**, 1584-1589. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.07.022>
- [12] Ommen, S.R., Nishimura, R.A., Hurrell, D.G. and Klarich, K.W. (2000) Assessment of Right Atrial Pressure with 2-Dimensional and Doppler Echocardiography: A Simultaneous Catheterization and Echocardiographic Study. *Mayo Clinic Proceedings*, **75**, 24-29. <https://doi.org/10.4065/75.1.24>
 - [13] Kircher, B.J., Himelman, R.B. and Schiller, N.B. (1990) Noninvasive Estimation of Right Atrial Pressure from the Inspiratory Collapse of the Inferior Vena Cava. *The American Journal of Cardiology*, **66**, 493-496. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(90\)90711-9](https://doi.org/10.1016/0002-9149(90)90711-9)
 - [14] Muller, L., Bobbia, X., Toumi, M., Louart, G., Molinari, N., Ragonnet, B., et al. (2012) Respiratory Variations of Inferior Vena Cava Diameter to Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients with Acute Circulatory Failure: Need for a Cautious Use. *Critical Care*, **16**, R188. <https://doi.org/10.1186/cc11672>
 - [15] Natori, H., Tamaki, S. and Kira, S. (1979) Ultrasonographic Evaluation of Ventilatory Effect on Inferior Vena Caval Configuration. *American Review of Respiratory Disease*, **120**, 421-427.
 - [16] Nagdev, A.D., Merchant, R.C., Tirado-Gonzalez, A., Sisson, C.A. and Murphy, M.C. (2010) Emergency Department Bedside Ultrasonographic Measurement of the Caval Index for Noninvasive Determination of Low Central Venous Pressure. *Annals of Emergency Medicine*, **55**, 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2009.04.021>
 - [17] Stawicki, S.P.A., Adkins, E.J., Eiferman, D.S., Evans, D.C., Ali, N.A., Njoku, C., et al. (2014) Prospective Evaluation of Intravascular Volume Status in Critically Ill Patients: Does Inferior Vena Cava Collapsibility Correlate with Central Venous Pressure? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, **76**, 956-964. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000000152>
 - [18] Rajacich, N., Burchard, K.W., Hasan, F.M. and Singh, A.K. (1989) Central Venous Pressure and Pulmonary Capillary Wedge Pressure as Estimates of Left Atrial Pressure: Effects of Positive End-Expiratory Pressure and Catheter Tip Malposition. *Critical Care Medicine*, **17**, 7-11. <https://doi.org/10.1097/00003246-198901000-00003>
 - [19] Magder, S. (2006) Central Venous Pressure Monitoring. *Current Opinion in Critical Care*, **12**, 219-227. <https://doi.org/10.1097/01.ccx.0000224866.01453.43>
 - [20] De Lorenzo, R.A., Morris, M.J., Williams, J.B., Haley, T.F., Straight, T.M., Holbrook-Emmons, V.L., et al. (2012) Does a Simple Bedside Sonographic Measurement of the Inferior Vena Cava Correlate to Central Venous Pressure? *The Journal of Emergency Medicine*, **42**, 429-436. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2011.05.082>
 - [21] Ciozda, W., Kedan, I., Kehl, D.W., Zimmer, R., Khandwalla, R. and Kimchi, A. (2015) The Efficacy of Sonographic Measurement of Inferior Vena Cava Diameter as an Estimate of Central Venous Pressure. *Cardiovascular Ultrasound*, **14**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s12947-016-0076-1>
 - [22] Rudski, L.G., Lai, W.W., Afilalo, J., Hua, L., Handschumacher, M.D., Chandrasekaran, K., et al. (2010) Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **23**, 685-713. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>
 - [23] Wachsberg, R.H., Sebastiano, L.L.S. and Levine, C.D. (1998) Narrowing of the Upper Abdominal Inferior Vena Cava in Patients with Elevated Intraabdominal Pressure. *Abdominal Imaging*, **23**, 99-102. <https://doi.org/10.1007/s002619900295>
 - [24] Nakao, S., Come, P.C., McKay, R.G. and Ransil, B.J. (1987) Effects of Positional Changes on Inferior Vena Caval Size and Dynamics and Correlations with Right-Sided Cardiac Pressure. *The American Journal of Cardiology*, **59**, 125-132. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(87\)80084-x](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(87)80084-x)
 - [25] Taniguchi, T., Ohtani, T., Nakatani, S., Hayashi, K., Yamaguchi, O., Komuro, I., et al. (2015) Impact of Body Size on Inferior Vena Cava Parameters for Estimating Right Atrial Pressure: A Need for Standardization? *Journal of the American Society of Echocardiography*, **28**, 1420-1427. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.07.008>
 - [26] Simonson, J.S. and Schiller, N.B. (1988) Sonospirometry: A New Method for Noninvasive Estimation of Mean Right Atrial Pressure Based on Two-Dimensional Echographic Measurements of the Inferior Vena Cava during Measured Inspiration. *Journal of the American College of Cardiology*, **11**, 557-564. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(88\)91531-8](https://doi.org/10.1016/0735-1097(88)91531-8)
 - [27] Brennan, J.M., Blair, J.E., Goonewardena, S., Ronan, A., Shah, D., Vasaiwala, S., et al. (2007) Reappraisal of the Use of Inferior Vena Cava for Estimating Right Atrial Pressure. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **20**, 857-861. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2007.01.005>
 - [28] Goldhammer, E., Mesnick, N., Abinader, E.G. and Sagiv, M. (1999) Dilated Inferior Vena Cava: A Common Echocardiographic Finding in Highly Trained Elite Athletes. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **12**, 988-993. [https://doi.org/10.1016/s0894-7317\(99\)70153-7](https://doi.org/10.1016/s0894-7317(99)70153-7)
 - [29] Styczynski, G., Jaltuszewska, M., Kosiorowska, N., et al. (2009) Dilated Inferior Vena Cava in Young Adults with Vasovagal Syncope. *Archives of Internal Medicine*, **169**, 1633-1638. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.271>
 - [30] Lipton, B. (2000) Estimation of Central Venous Pressure by Ultrasound of the Internal Jugular Vein. *The American*

- Journal of Emergency Medicine*, **18**, 432-434. <https://doi.org/10.1053/ajem.2000.7335>
- [31] Siva, B., Hunt, A. and Boudville, N. (2012) The Sensitivity and Specificity of Ultrasound Estimation of Central Venous Pressure Using the Internal Jugular Vein. *Journal of Critical Care*, **27**, 315.e7-315.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2011.09.008>
- [32] Kumar, A., Kumar, S., Kumar, A., Bharti, A.K. and Hussain, M. (2024) Correlation of Internal Jugular Vein and Inferior Vena Cava Collapsibility Index with Direct Central Venous Pressure Measurement in Critically-Ill Patients: An Observational Study. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **28**, 595-600. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-24741>
- [33] Hilbert, T., Ellerkmann, R.K., Klaschik, S., Putensen, C. and Thudium, M. (2016) The Use of Internal Jugular Vein Ultrasonography to Anticipate Low or High Central Venous Pressure during Mechanical Ventilation. *The Journal of Emergency Medicine*, **50**, 581-587. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2015.11.033>
- [34] Chawang, H.J., Kaeley, N., Bhardwaj, B.B., Chauhan, U., Baid, H., Asokan, R., *et al.* (2022) Ultrasound-Guided Estimation of Internal Jugular Vein Collapsibility Index in Patients with Shock in Emergency Department. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, **22**, 206-212. <https://doi.org/10.4103/2452-2473.357352>
- [35] Hossein-Nejad, H., Mohammadinejad, P. and Ahmadi, F. (2016) Internal Jugular Vein/Common Carotid Artery Cross-sectional Area Ratio and Central Venous Pressure. *Journal of Clinical Ultrasound*, **44**, 312-318. <https://doi.org/10.1002/jcu.22339>
- [36] Bano, S., Qadeer, A., Akhtar, A., Attaur-Rehman, M., Munawar, K., Hussain, S.W., *et al.* (2018) Measurement of Internal Jugular Vein and Common Carotid Artery Diameter Ratio by Ultrasound to Estimate Central Venous Pressure. *Cureus*, **10**, e2277. <https://doi.org/10.7759/cureus.2277>
- [37] Bailey, J.K., McCall, J., Smith, S. and Kagan, R.J. (2012) Correlation of Internal Jugular Vein/Common Carotid Artery Ratio to Central Venous Pressure: A Pilot Study in Pediatric Burn Patients. *Journal of Burn Care & Research*, **33**, 89-92. <https://doi.org/10.1097/bcr.0b013e318234d965>
- [38] Jaffe, A., Goryachev, I., Sodini, C. and Anthony, B.W. (2023) Central Venous Pressure Estimation with Force-Coupled Ultrasound of the Internal Jugular Vein. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 1500. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22867-w>
- [39] Kenny, J.S., Barjaktarevic, I., Mackenzie, D.C., Elfarnawany, M., Yang, Z., Eibl, A.M., *et al.* (2022) Carotid Artery Velocity Time Integral and Corrected Flow Time Measured by a Wearable Doppler Ultrasound Detect Stroke Volume Rise from Simulated Hemorrhage to Transfusion. *BMC Research Notes*, **15**, Article No. 7. <https://doi.org/10.1186/s13104-021-05896-y>
- [40] Melendez, J.A., Arslan, V., Fischer, M.E., Wuest, D., Jarnagin, W.R., Fong, Y., *et al.* (1998) Perioperative Outcomes of Major Hepatic Resections under Low Central Venous Pressure Anesthesia: Blood Loss, Blood Transfusion, and the Risk of Postoperative Renal Dysfunction. *Journal of the American College of Surgeons*, **187**, 620-625. [https://doi.org/10.1016/s1072-7515\(98\)00240-3](https://doi.org/10.1016/s1072-7515(98)00240-3)
- [41] Dunki-Jacobs, E.M., Philips, P., Scoggins, C.R., McMasters, K.M. and Martin, R.C.G. (2014) Stroke Volume Variation in Hepatic Resection: A Replacement for Standard Central Venous Pressure Monitoring. *Annals of Surgical Oncology*, **21**, 473-478. <https://doi.org/10.1245/s10434-013-3323-9>