

• 论著 •

手持式简化静脉淤血超声分级在重症患者床旁静脉淤血评估中的应用价值

商林¹ 崔馨月² Tan Cia Vei³ 翟姗姗⁴ 张勇¹ 王慧⁴

¹成都市新都区第三人民医院重症医学科,成都 610000; ²四川全球众森坦课科技有限公司国际学术部门,成都 610000; ³马来亚大学医学院临床全科,吉隆坡 50603; ⁴中日友好医院重症医学科,北京 100029

通信作者:王慧, Email: wanghui83217@163.com

【摘要】 目的 探讨手持式简化静脉淤血超声(VExUS)分级在普通重症监护病房(ICU)重症患者床旁静脉淤血评估中的应用价值,并分析其关键组成参数与病情严重程度评分及容量负荷指标的关系。**方法** 本研究为基于单中心前瞻性观察性ICU队列数据库数据的二次分析。数据来源于中日友好医院重症医学科既有ICU队列数据库。原始研究纳入2024年6月14日至8月21日中日友好医院ICU收治的重症患者,均完成手持式超声与常规超声VExUS相关检查,并同步收集人口学资料、病情严重程度评分、实验室指标、液体平衡及支持治疗信息。主要超声变量包括手持式简化VExUS分级及其关键组成参数(下腔静脉短长径比值、肝静脉S/D比值和门静脉搏动分数)。采用描述性分析评价手持式简化VExUS指标总体分布;采用Spearman秩相关分析评估手持式简化VExUS分级及其关键组成参数与急性生理学与慢性健康状况评分II(APACHE II)、序贯器官衰竭评分(SOFA)、N末端脑钠肽前体(NT-proBNP)和入ICU后24 h内液体平衡的关系;比较不同手持式简化VExUS分级患者临床指标的差异,连续型超声参数主分析采用两位操作者独立测量值的事后平均值,并分别以两位操作者原始测量值进行敏感性分析;采用Benjamini-Hochberg错误发现率(FDR)对主要相关性分析进行多重比较校正。**结果** 原始研究共纳入80例重症患者,本研究排除2例未成年患者后,最终共78例成人患者纳入总体分析。78例成人ICU患者整体疾病严重程度为中等水平[APACHE II评分为20.0(15.3, 25.0)分,SOFA评分为7.0(4.0, 11.0)分]。手持式简化VExUS分级以0级和1级为主,其中0级48例(占62%),1级26例(占33%),2级4例(占5%);下腔静脉短长径比值、肝静脉S/D比值和门静脉搏动分数平均值分别为0.763(0.668, 0.809)、1.358(1.252, 1.571)、0.243(0.180, 0.303)。原始相关性分析显示,下腔静脉短长径比值平均值与APACHE II评分及SOFA评分呈正相关信号(r 值分别为0.302、0.252,原始 P 值分别为0.007、0.026),门静脉搏动分数平均值与24 h液体平衡呈正相关信号($r=0.290$,原始 P 值为0.010);而手持式简化VExUS分级与病情严重程度评分及容量负荷指标均未见显著相关性。经Benjamini-Hochberg FDR校正后,下腔静脉短长径比值平均值与APACHE II评分及SOFA评分的相关性均未达到统计学意义(FDR校正 P 值分别为0.080和0.139),门静脉搏动分数平均值与24 h液体平衡的相关性亦未保持统计学意义(FDR校正 P 值为0.080)。按照手持式简化VExUS分级分层后,不同分级患者在APACHE II评分、SOFA评分、NT-proBNP水平及24 h液体平衡方面差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。采用两位操作者的原始测量值对主分析中出现原始相关性信号的核心配对进行敏感性分析,结果与主分析基本一致;但经Benjamini-Hochberg FDR校正后,上述原始相关性信号均未保持统计学意义。**结论** 在普通ICU患者中,手持式简化VExUS分级与病情严重程度评分及容量负荷指标的相关性有限;部分关键组成参数在原始相关性分析中显示出与病情严重程度或液体平衡相关的探索性信号,但经FDR校正后未保持统计学意义。

【关键词】 重症监护病房;手持式超声;静脉淤血超声分级;下腔静脉;门静脉

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260326-00141

Exploratory evaluation of handheld simplified venous excess ultrasound grades for bedside assessment of venous congestion in intensive care unit patients

Shang Lin¹, Cui Xinyue², Tan Cia Vei³, Zhai Shanshan⁴, Zhang Yong¹, Wang Hui⁴

¹Department of Intensive Care Unit, The Third People's Hospital of Xindu District, Chengdu 610000, China; ²Department of Academic Research, Sichuan Global Zhongheng Tanke Technology Co., LTD, Chengdu 610000, China; ³Department of Clinic, University Malaysia, Kuala Lumpur 50603, Malaysia; ⁴Department of Intensive Care Unit, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China

Corresponding author: Wang Hui, Email: wanghui83217@163.com

【Abstract】 Objective To explore the value of handheld simplified venous excess ultrasound (VExUS) grades in bedside venous congestion assessment in general intensive care unit (ICU) patients and to examine its associations with disease severity scores and fluid overload indicators. **Methods** This study was a secondary analysis based on data from a single-center prospective observational ICU cohort database. The data were derived from the existing ICU cohort

database of the ICU of China-Japan Friendship Hospital. The original study included critically ill patients admitted to the ICU of China-Japan Friendship Hospital from June 14 to August 21 in 2024, all of whom underwent handheld ultrasound and conventional ultrasound VExUS-related examinations. Demographic data, severity of illness scores, laboratory indicators, fluid balance, and supportive treatment information were also collected simultaneously. The main ultrasound variables included the handheld simplified VExUS grading and its key component parameters (inferior vena cava short-to-long axis ratio, hepatic vein S/D ratio, and portal vein pulsatility fraction). Descriptive analysis was used to evaluate the overall distribution of handheld simplified VExUS indicators. Spearman rank correlation analysis was employed to evaluate the relationship between the handheld simplified VExUS grading and its key component parameters with the Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II (APACHE II) score, Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) score, N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP), and fluid balance within 24 hours after ICU admission. The differences in clinical indicators among patients with different handheld simplified VExUS grading were compared, and the primary analysis of continuous ultrasound parameters employed the post-hoc mean values of independent measurements taken by two operators, and sensitivity analysis was conducted separately using the original measurements of the two operators. Multiple comparison correction for the primary correlation analysis was performed using the Benjamini-Hochberg false discovery rate (FDR). **Results** The original study included a total of 80 critically ill patients. After excluding 2 minor patients from this study, a total of 78 adult patients were finally included in the overall analysis. The overall disease severity of the 78 adult ICU patients was moderate, with an APACHE II score of 20.0 (15.3, 25.0) and a SOFA score of 7.0 (4.0, 11.0). The handheld simplified VExUS grading was mainly at grades 0 and 1, with 48 cases (62%) at grade 0, 26 cases (33%) at grade 1, and 4 cases (5%) at grade 2. The average values of the inferior vena cava short-to-long axis ratio, hepatic vein S/D ratio, and portal vein pulsatility fraction were 0.763 (0.668, 0.809), 1.358 (1.252, 1.571), and 0.243 (0.180, 0.303), respectively. In the primary correlation analyses, the mean inferior vena cava short-to-long axis ratio was positively correlated with APACHE II score and SOFA score (r values were 0.302 and 0.252, with unadjusted P values of 0.007 and 0.026, respectively), while portal vein pulsatility fraction was positively correlated with 24-hour fluid balance ($r=0.290$, unadjusted P value was 0.010). However, no significant correlation was observed between the handheld simplified VExUS grading and either the severity of illness scores or the volume overload indices. After Benjamini-Hochberg FDR correction, the correlation between the mean inferior vena cava short-to-long axis ratio and both the APACHE II score and the SOFA score did not reach statistical significance (FDR-corrected P values were 0.080 and 0.139, respectively). Similarly, the correlation between the mean portal vein pulsatility fraction and 24-hour fluid balance also failed to maintain statistical significance (FDR-corrected P value was 0.080). After stratification by the simplified handheld VExUS grading, there were no statistically significant differences in APACHE II score, SOFA score, NT-proBNP level, and 24-hour fluid balance among patients with different grades (all $P>0.05$). A sensitivity analysis was conducted using the original measurements from two operators on the core pairs with original correlation signals in the main analysis, and the results were largely consistent with the main analysis. However, the previously observed associations did not remain statistically significant after Benjamini-Hochberg FDR correction. **Conclusions** In general ICU patients, the handheld simplified VExUS grade showed limited associations with disease severity scores and volume overload indicators. Some key component parameters showed exploratory signals related to disease severity or fluid balance in the original correlation analysis, but did not maintain statistical significance after FDR correction.

【Key words】 Intensive care unit; Handheld ultrasound; Venous excess ultrasound grading; Inferior vena cava; Portal vein

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260326-00141

静脉淤血是危重症患者器官灌注受损和液体管理失衡的重要病理生理基础之一,但临床实践中常被低估^[1]。传统中心静脉压(central venous pressure, CVP)等指标具有侵入性,且对静脉淤血的动态评估能力有限^[2],因此,基于床旁超声的非侵入性评估方法正在逐渐受到关注。静脉淤血超声(venous excess ultrasound, VExUS)分级可通过整合下腔静脉、肝静脉、门静脉及肾静脉多普勒信息,对全身静脉淤血进行分级评估,被认为是较有前景的床旁工具^[3-4]。

既往 VExUS 相关研究大多集中于心外科、心力衰竭、脓毒症等特定高风险人群,而在普通重症监护病房(intensive care unit, ICU)异质人群中应用的证据相对有限。一项普通 ICU 多中心前瞻性研究显

示,一般 ICU 患者中,中重度静脉淤血发生率较低,入 ICU 早期 VExUS 分级与急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)的发生及 28 d 死亡并未显示出稳定关联,提示其在普通 ICU 异质人群中的临床意义仍需进一步评价^[5]。同时,既往研究也提示,门静脉血流波动、肾内静脉血流异常及其他静脉多普勒参数可能与静脉淤血相关不良结局有关^[6-7]。国内亦有研究关注 VExUS 在危重症患者中的应用。一项前瞻性研究显示, VExUS 分级与脓毒症患者 ICU 住院期间 AKI 的发生相关,并与液体平衡量、外周体征评分及脑钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)呈正相关^[8]。

在普通 ICU 场景中,患者疾病谱复杂,静脉淤血程度和血流动力学状态差异较大,复合 VExUS 分级

能否充分反映轻中度或局部血流动力学变化仍需进一步评价。相比之下,部分连续型组成参数,如下腔静脉形态指标、门静脉搏动分数及肝静脉多普勒参数,可能从不同侧面反映静脉回流、右心负荷及容量状态变化^[6,9-11]。因此,在普通 ICU 患者中同时评价手持式 VExUS 分级及其关键组成参数,有助于进一步明确简化床旁评估的潜在应用边界。

随着便携式和手持式超声设备的发展, VExUS 的床旁普及成为可能。本课题组前期研究证实,应用手持式超声在 ICU 进行 VExUS 分级评估具有较好的一致性和较高的图像获取成功率,且检查耗时较短,提示其具备进一步开展临床应用研究的基础^[12]。基于此,本研究拟在普通 ICU 患者中,基于既有数据库进一步分析手持式简化 VExUS 的床旁应用价值,重点探讨其分级及关键组成参数与病情严重程度和容量负荷相关临床指标的关系,以期对普通 ICU 人群的简化静脉淤血床旁评估提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究设计和数据来源:本研究为基于既有单中心前瞻性观察性 ICU 队列数据库数据的二次分析。原始研究为中日友好医院的单中心前瞻性观察性一致性研究,主要评价手持式超声在 ICU 患者中进行 VExUS 评估的一致性与时间效率^[12]。原始研究纳入 2024 年 6 月 14 日至 8 月 21 日中日友好医院 ICU 收治的重症患者,由经统一培训的两名重症医学住院医师按照标准入科流程完成手持式超声与常规超声 VExUS 相关检查,同步收集人口学资料、病情严重程度评分、实验室指标、液体平衡、支持治疗信息。

1.2 伦理学:原始研究已获中日友好医院伦理委员会批准(审批号:2024-KY-193),所有受试者均签署知情同意书。本研究为基于去标识化既有数据库的二次分析,符合《赫尔辛基宣言》相关伦理原则,并获得成都市新都区第三人民医院伦理委员会批准(审批号:XDSYY-XY-2026-002)。

1.3 研究对象及缺失值处理:原始研究排除了妊娠、肝硬化、肝移植术后、终末期肾病及拒绝签署知情同意书者,共纳入 80 例重症患者。本研究仅纳入成人患者,因此进一步排除 2 例未成年患者,最终成人分析样本为 78 例。

本研究采用变量可得病例分析。总体描述及主要超声指标分布分析基于全部成人患者进行。涉及特定临床指标的相关性分析,根据相关变量完整性采用可得病例数完成。其中, N 末端脑钠肽前体

(N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP) 缺失 2 例, 24 h 液体平衡缺失 1 例,因此不同分析的样本量略有差异。鉴于本研究样本量有限,且普通 ICU 患者原发疾病构成存在异质性,因此未进一步按照入 ICU 原因或原发疾病类型开展正式亚组推断分析。为进一步描述普通 ICU 队列的疾病异质性,本研究对不同手持式 VExUS 分级患者入 ICU 主要原因构成进行描述性汇总。鉴于样本量有限且部分类别病例数较少,该分析不进行组间统计检验,仅作为疾病构成的补充描述。

1.4 主要变量

1.4.1 主要超声变量:主要超声变量包括手持式简化 VExUS 分级及其关键组成参数(下腔静脉短长径比值、肝静脉 S/D 比值和门静脉搏动分数)。HH1 与 HH2 分别代表两位操作者独立完成的手持式超声测量结果,原始数据库中保留了两位操作者的各自测量值。为降低单次测量波动对主分析的影响,本研究事后计算两位操作者连续测量值的平均值作为主分析变量;同时,分别采用 HH1 和 HH2 原始测量值进行敏感性分析,以评估操作者间测量差异对主要相关性结果的影响。

本研究中“手持式简化 VExUS 分级”是基于手持式超声床旁应用场景建立的简化评估方案^[12],主要纳入下腔静脉形态、肝静脉血流和门静脉血流相关参数,而未将肾内静脉多普勒纳入本次简化分级。下腔静脉异常以下腔静脉最大内径 ≥ 20 mm 或下腔静脉短长径比值 ≥ 0.80 作为判定条件;门静脉搏动分数按照“(最大流速-最小流速)/最大流速”计算, $\geq 50\%$ 定义为重度门静脉异常;肝静脉 S 波反向定义为重度肝静脉异常^[4, 6, 8, 12]。手持式简化 VExUS 分级定义^[4, 8, 11]:0 级为未达到下腔静脉异常判定条件;1 级为达到下腔静脉异常判定条件,但无重度肝静脉或门静脉异常;2 级为达到下腔静脉异常判定条件,并存在至少 1 项重度静脉多普勒异常,即肝静脉 S 波反向或门静脉搏动分数 $\geq 50\%$ 。该简化方案主要用于探索普通 ICU 场景下快速床旁静脉淤血评估的可行性及临床关联,并不等同于完整标准的 VExUS 分级方案,也不旨在替代常规超声综合评估。

1.4.2 主要临床指标:主要临床指标包括急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、序贯器官衰竭评分(Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)、NT-proBNP、入 ICU 后 24 h 内液体平衡;年龄、性别、

体质量指数 (body mass index, BMI)、心率、基线血肌酐 (serum creatinine, SCr) 和基线估算肾小球滤过率 (estimated glomerular filtration rate, eGFR) 作为基线描述变量; 机械通气、去甲肾上腺素、连续性肾脏替代治疗 (continuous renal replacement therapy, CRRT)、体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)、俯卧位治疗等变量仅用于描述性分析, 不纳入主分析模型。

1.5 统计学分析: 应用 JASP 软件 (Version 0.19.3) 完成统计学分析。连续变量经正态性分布检验, 均呈偏态分布, 以中位数 (四分位数) [$M(Q_1, Q_3)$] 表示; 分类变量以例数和百分比表示。手持式简化 VExUS 指标总体分布采用描述性分析。手持式简化 VExUS 指标与病情严重程度评分 (APACHE II 评分、SOFA 评分) 及容量负荷指标 (NT-proBNP、24 h 液体平衡) 的相关性采用 Spearman 秩相关分析。不同手持式简化 VExUS 分级患者之间的临床指标的比较采用 Kruskal-Wallis 检验。为评估主分析结果的稳健性, 进一步开展两项敏感性分析: ① 针对主分析中出现原始相关性信号的核心配对, 分别采用 HH1 和 HH2 的原始测量值进行敏感性分析, 以评估不同操作者测量结果对相关性方向和原始 P 值的影响; ② 考虑到本研究中手持式简化 VExUS 分级 2 级患者数量较少, 故将手持式简化 VExUS 分级二分类为 0 级与 ≥ 1 级, 并采用 Mann-Whitney U 检验比较两组患者 APACHE II 评分、SOFA 评分、NT-proBNP、24 h 液体平衡的差异。

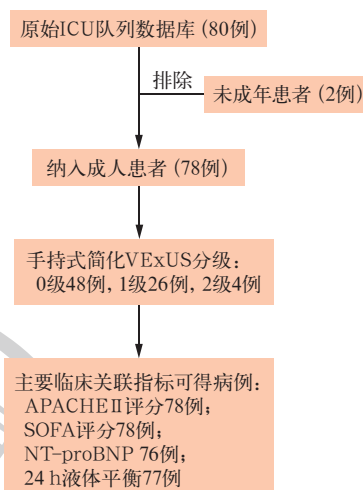
鉴于本研究为探索性二次分析, 相关性检验同时报告原始 P 值和 Benjamini-Hochberg 错误发现率 (false discovery rate, FDR) 校正 P 值。原始 P 值用于描述未经多重比较校正的相关性信号, FDR 校正 P 值用于评价多重比较校正后的统计学意义。所有检验均为双侧检验, 原始 $P < 0.05$ 视为未经校正的统计学信号, FDR 校正 $P < 0.05$ 视为多重比较校正后仍具有统计学意义。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 临床资料: 原始数据库共纳入 80 例重症患者, 排除 2 例未成年患者后, 共 78 例成人患者进入本次总体分析。研究对象筛选流程见图 1。

2.2 队列整体表现 (表 1): 纳入的 78 例成人重症患者以老年男性为主, 整体疾病严重程度为中等水平, 基线肾功能差异较大, 入 ICU 后 24 h 液体平衡总体接近轻度正平衡; 近半数患者接受了机械通

气, 约 1/3 使用了去甲肾上腺素, 少数接受了 CRRT、ECMO 或俯卧位治疗。NT-proBNP 缺失 2 例, 24 h 液体平衡缺失 1 例, 其他主要基线变量完整。



注: ICU 为重症监护病房, VExUS 为静脉淤血超声, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体

图 1 手持式简化静脉淤血超声分级在重症患者床旁静脉淤血评估中的应用价值研究对象纳入流程

表 1 78 例普通 ICU 中重症患者总体临床特征

变量	数值
年龄 [岁, $M(Q_1, Q_3)$]	68.0 (55.5, 77.8)
男性 [例 (%)]	53 (68)
BMI [kg/m^2 , $M(Q_1, Q_3)$]	23.0 (20.7, 24.9)
APACHE II 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$]	20.0 (15.3, 25.0)
SOFA 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$]	7.0 (4.0, 11.0)
基线 SCr [$\mu\text{mol}/\text{L}$, $M(Q_1, Q_3)$]	68.5 (50.5, 123.0)
基线 eGFR [$\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$, $M(Q_1, Q_3)$]	90.0 (46.3, 103.5)
24 h 输入量 [mL , $M(Q_1, Q_3)$]	1 505.0 (1 185.0, 2 275.0)
24 h 输出量 [mL , $M(Q_1, Q_3)$]	1 380.0 (745.0, 2 170.0)
24 h 液体平衡 [mL , $M(Q_1, Q_3)$]	236.0 (-270.0, 571.0)
基线乳酸 [mmol/L , $M(Q_1, Q_3)$]	1.3 (0.9, 1.8)
最高乳酸 [mmol/L , $M(Q_1, Q_3)$]	2.2 (1.5, 3.4)
NT-proBNP [ng/L , $M(Q_1, Q_3)$]	547.0 (143.5, 2 548.8)
机械通气 [例 (%)]	36 (46)
去甲肾上腺素 [例 (%)]	27 (35)
CRRT [例 (%)]	13 (17)
ECMO [例 (%)]	3 (4)
俯卧位治疗 [例 (%)]	3 (4)

注: ICU 为重症监护病房, BMI 为体质量指数, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, SCr 为血肌酐, eGFR 为估算肾小球滤过率, NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体, CRRT 为连续性肾脏替代治疗, ECMO 为体外膜肺氧合; NT-proBNP 缺失 2 例, 24 h 液体平衡缺失 1 例

2.3 手持式简化 VExUS 指标总体分布特征 (表 2): 手持式简化 VExUS 分级以 0 级和 1 级为主, 其中 0 级 48 例 (占 62%), 1 级 26 例 (占 33%), 2 级 4 例 (占 5%), 提示本队列中高等级静脉淤血患者比例较低。在连

续型参数方面,下腔静脉短长径比值整体接近,但多数未明显超过异常判定阈值;肝静脉 S/D 比值总体以 S 波相对保留为主;门静脉搏动分数总体处于较低至轻度搏动范围。

表 2 78 例普通 ICU 中重症患者手持式简化 VExUS 指标总体分布特征	
变量	数值
手持式简化 VExUS 分级〔例(%)〕	
0 级	48(62)
1 级	26(33)
2 级	4(5)
下腔静脉短长径比值〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	0.763(0.668, 0.809)
肝静脉 S/D 比值〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	1.358(1.252, 1.571)
门静脉搏动分数〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	0.243(0.180, 0.303)

注:ICU 为重症监护病房,VExUS 为静脉淤血超声;连续型参数为两位手持式超声操作者测量结果的平均值

2.4 手持式简化 VExUS 指标与病情严重程度评分的相关性(表 3):原始 Spearman 相关性分析显示,下腔静脉短长径比值平均值与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈正相关信号(均 $P<0.05$);手持式简化 VExUS 分级、肝静脉 S/D 比值平均值及门静脉搏动分数平均值与 APACHE II 评分和 SOFA 评分未见显著相关性。经 Benjamini-Hochberg FDR 校正后,下腔静脉短长径比值平均值与 APACHE II 评分、SOFA 评分的相关性未达到统计学意义(FDR 校正 P 值均 >0.05)。

表 3 普通 ICU 中重症患者手持式简化 VExUS 指标与病情严重程度评分的相关性			
超声指标	APACHE II 评分		
	r 值	原始 P 值	FDR 校正 P 值
手持式简化 VExUS 分级	0.037	0.750	0.923
下腔静脉短长径比值平均值	0.302	0.007	0.080
肝静脉 S/D 比值平均值	-0.007	0.951	0.987
门静脉搏动分数平均值	0.089	0.436	0.872
超声指标	SOFA 评分		
	r 值	原始 P 值	FDR 校正 P 值
手持式简化 VExUS 分级	0.044	0.704	0.923
下腔静脉短长径比值平均值	0.252	0.026	0.139
肝静脉 S/D 比值平均值	-0.027	0.812	0.928
门静脉搏动分数平均值	0.107	0.352	0.805

注:ICU 为重症监护病房,VExUS 为静脉淤血超声,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II,SOFA 为序贯器官衰竭评分,FDR 为错误发现率

2.5 手持式简化 VExUS 指标与容量负荷指标的相关性(表 4):原始 Spearman 相关性分析显示,门静脉搏动分数平均值与 24 h 液体平衡呈正相关信号($P<0.05$);而手持式简化 VExUS 分级、下腔静脉短长径比值平均值及肝静脉 S/D 比值平均值与 24 h 液体平衡均未见显著相关性。手持式简化 VExUS 指

标与 NT-proBNP 均未见显著相关性。经 Benjamini-Hochberg FDR 校正后,门静脉搏动分数平均值与 24 h 液体平衡之间的相关性未保持统计学意义(FDR 校正 P 值 >0.05)。

表 4 普通 ICU 中重症患者手持式简化 VExUS 指标与容量负荷指标的相关性			
超声指标	24 h 液体平衡		
	r 值	原始 P 值	FDR 校正 P 值
手持式简化 VExUS 分级	0.050	0.664	0.923
下腔静脉短长径比值平均值	0.054	0.639	0.923
肝静脉 S/D 比值平均值	0.068	0.559	0.923
门静脉搏动分数平均值	0.290	0.010	0.080
超声指标	NT-proBNP		
	r 值	原始 P 值	FDR 校正 P 值
手持式简化 VExUS 分级	0.188	0.104	0.352
下腔静脉短长径比值平均值	0.163	0.160	0.427
肝静脉 S/D 比值平均值	0.185	0.110	0.352
门静脉搏动分数平均值	0.002	0.987	0.987

注:ICU 为重症监护病房,VExUS 为静脉淤血超声,NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体,FDR 为错误发现率

2.6 不同手持式简化 VExUS 分级患者的临床特征比较:表 5 显示,按照手持式简化 VExUS 分级分层后,不同分级患者在 APACHE II 评分、SOFA 评分、NT-proBNP 水平及 24 h 液体平衡方面差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。这提示在普通 ICU 队列中,VExUS 分级对临床严重程度和容量负荷状态的区分能力有限。表 6 显示,在不同手持式简化 VExUS 分级患者入 ICU 主要原因分布方面,本研究队列入 ICU 原因较为分散,且 2 级患者数量较少,因此未进一步开展疾病亚组推断分析。

表 5 普通 ICU 中不同手持式简化 VExUS 分级重症患者临床特征比较〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕		
手持式简化 VExUS 分级	APACHE II 评分(分)	SOFA 评分(分)
0 级	20.0(15.8, 24.3)(48)	7.0(4.0, 10.0)(48)
1 级	21.0(17.3, 25.0)(26)	7.0(4.3, 11.8)(26)
2 级	20.5(14.0, 29.3)(4)	7.5(2.5, 12.5)(4)
H 值	0.104	0.357
P 值	0.949	0.836
手持式简化 VExUS 分级	NT-proBNP (ng/L)	24 h 液体平衡 (mL)
0 级	433.5(131.3, 1 924.8)(48)	212.5(-270.3, 601.3)(48)
1 级	1 669.5(143.5, 6 577.5)(24)	303.0(-262.0, 571.0)(25)
2 级	1 360.0(461.0, 4 704.3)(4)	444.0(219.3, 479.5)(4)
H 值	2.656	0.211
P 值	0.265	0.900

注:ICU 为重症监护病房,VExUS 为静脉淤血超声,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II,SOFA 为序贯器官衰竭评分,NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体;括号内为病例数

表 6 普通 ICU 中不同手持式简化 VExUS 分级重症患者入 ICU 主要原因分布 [例 (%)]

入 ICU 主要原因	全体 (78 例)	不同 VExUS 分级患者分布		
		0 级 (48 例)	1 级 (26 例)	2 级 (4 例)
择期手术	24 (31)	14 (29)	8 (31)	2 (50)
急诊手术	11 (14)	7 (15)	3 (12)	1 (25)
脓毒性休克	11 (14)	7 (15)	4 (15)	0 (0)
急性胰腺炎	3 (4)	0 (0)	3 (12)	0 (0)
急性心力衰竭	4 (5)	2 (4)	2 (8)	0 (0)
急性肾衰竭	1 (1)	0 (0)	1 (4)	0 (0)
ARDS	17 (22)	11 (23)	5 (19)	1 (25)
神经系统疾病	7 (9)	7 (15)	0 (0)	0 (0)

注: ICU 为重症监护病房, VExUS 为静脉淤血超声, ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; 入 ICU 主要原因根据病历记录进行唯一归类; 当患者存在多个临床问题时, 以主要入 ICU 原因或主要治疗目的进行归类

2.7 操作者原始测量值的敏感性分析 (表 7): 由于原始数据库中保留了两位操作者独立完成的手持式超声测量值, 故本研究分别采用 HH1 和 HH2 原始测量值对主分析中出现原始相关性信号的核心配对进行敏感性分析。对于下腔静脉短长径比值, HH1 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈正相关趋势, 但未达到统计学意义; HH2 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈现原始 P 值 < 0.05 的正相关信号。对于门静脉搏动分数, HH1 与 24 h 液体平衡呈正相关趋势, HH2 与 24 h 液体平衡呈现原始 P 值 < 0.05 的正相关信号。整体而言, 敏感性分析结果方向与主分析基本一致, 但不同操作者测量结果的原始 P 值存在差异, 提示操作者间变异可能影响小样本相关性分析的稳定性。

表 7 普通 ICU 中重症患者手持式简化 VExUS 指标与病情严重程度评分和容量负荷指标相关性的敏感性分析

指标	r 值	P 值
下腔静脉短长径比值 (HH1) 与 APACHE II 评分	0.210	0.065
下腔静脉短长径比值 (HH2) 与 APACHE II 评分	0.357	0.001
下腔静脉短长径比值 (HH1) 与 SOFA 评分	0.160	0.162
下腔静脉短长径比值 (HH2) 与 SOFA 评分	0.295	0.009
门静脉搏动分数 (HH1) 与 24 h 液体平衡	0.208	0.069
门静脉搏动分数 (HH2) 与 24 h 液体平衡	0.333	0.003

注: ICU 为重症监护病房, VExUS 为静脉淤血超声, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分; HH1 与 HH2 分别代表两位操作者独立完成的手持式超声测量结果

2.8 手持式简化 VExUS 分级二分类敏感性分析: 考虑到本研究手持式简化 VExUS 分级 2 级患者较少, 故将手持式简化 VExUS 分级二分类为 0 级与 ≥ 1 级, 并比较了两组患者主要临床指标的差异。结果显示 (表 8), 0 级与 ≥ 1 级患者在 APACHE II 评分、SOFA 评分、NT-proBNP 及 24 h 液体平衡方面差异无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。其中, ≥ 1 级患者 NT-proBNP

高于 0 级患者, 但差异未达到统计学意义。该结果与三分类分析结果基本一致, 进一步提示在本次普通 ICU 队列中, 手持式简化 VExUS 分级对病情严重程度及容量负荷的区分能力有限。

表 8 普通 ICU 中手持式简化 VExUS 分级 0 级与 ≥ 1 级重症患者临床指标比较 [$M(Q_1, Q_3)$]

手持式简化 VExUS 分级	APACHE II 评分 (分)	SOFA 评分 (分)
0 级	20.0 (15.8, 24.3) (48)	7.0 (4.0, 10.0) (48)
≥ 1 级	21.0 (15.5, 25.0) (30)	7.0 (4.0, 12.0) (30)
U 值	689.000	676.000
P 值	0.754	0.654
手持式简化 VExUS 分级	NT-proBNP (ng/L)	24 h 液体平衡 (mL)
0 级	433.5 (131.3, 1 924.8) (48)	212.5 (-270.3, 601.3) (48)
≥ 1 级	1 669.5 (170.3, 6 577.5) (28)	380.0 (-262.0, 550.0) (29)
U 值	523.000	657.000
P 值	0.110	0.686

注: ICU 为重症监护病房, VExUS 为静脉淤血超声, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体

2.9 多重比较校正分析: 原始相关性分析中下腔静脉短长径比值与 APACHE II 评分、SOFA 评分, 以及门静脉搏动分数与 24 h 液体平衡的相关性在 FDR 校正后均未达到统计学意义。考虑到本研究样本量有限且分析目的为探索性, 上述结果更适合解释为具有生理学合理性的潜在相关信号, 而非确认性结论。

3 讨论

本研究显示, 在普通 ICU 的重症患者中, 手持式简化 VExUS 分级与 APACHE II 评分、SOFA 评分、NT-proBNP 及 24 h 液体平衡均未见稳定相关性。在原始 Spearman 相关性分析中, 下腔静脉短长径比值平均值与 APACHE II 评分及 SOFA 评分呈显著正相关, 门静脉搏动分数平均值与 24 h 液体平衡呈显著正相关; 但上述关联在 Benjamini-Hochberg FDR 多重比较校正后均未保持统计学意义。因此, 本研究结果更适合解释为普通 ICU 床旁静脉淤血评估中的探索性相关信号, 而非确认性证据。

研究显示, VExUS 分级在脓毒症相关性 AKI 患者中具有一定的临床应用价值, 可用于评估静脉淤血程度及肾损伤的发生风险^[13]。然而, 本研究中, 手持式简化 VExUS 分级未显示出与病情严重程度评分或容量负荷指标存在稳定相关性, 这一结果与既往普通 ICU 队列研究存在一定一致性。现有普通 ICU 多中心前瞻性研究提示, 在一般 ICU 患者中, 中重度静脉淤血比例较低, VExUS 分级与 AKI 的发生

及 28 d 死亡未表现出稳定关联^[5]。近期一项针对脓毒症急诊患者的研究亦提示, VExUS 分级与 AKI 的发生及短期死亡未见显著相关, 但与部分临床严重程度指标存在一定联系^[14]。与心外科、心力衰竭、脓毒症等特定高风险人群相比, 本研究纳入的是普通 ICU 患者, 入 ICU 原因较为分散, 患者疾病谱和治疗背景更复杂。不同疾病状态下, 静脉回流、右心负荷、机械通气、液体复苏、肾脏替代治疗等对 VExUS 分级组成参数的影响不完全一致, 因此部分疾病亚群的静脉淤血信号可能在总体分析中被稀释。此外, 本研究中手持式简化 VExUS 分级 0 级和 1 级患者占绝大多数, 2 级仅 4 例, 提示中重度静脉淤血比例较低。VExUS 分级依赖多个静脉信号达到一定异常阈值后进行等级划分, 此时复合分级可能存在一定“阈值效应”, 降低了对轻中度或局部血流动力学变化的敏感性。本研究二分类敏感性分析将 VExUS 分级 1 级和 2 级合并为 ≥ 1 级后, 主要临床指标与 0 级差异仍无统计学意义, 也支持 VExUS 分级在普通 ICU 队列中区分能力有限。关于 VExUS 应用边界的讨论亦指出, VExUS 反映的是心功能、充盈压力与容量状态的复杂相互作用, 而非单纯容量负荷指标^[15]。

原始相关性分析中, 下腔静脉短长径比值平均值与 APACHE II 评分及 SOFA 评分呈显著正相关, 提示其可能携带与病情严重程度相关的探索性信息。下腔静脉短长径比值反映下腔静脉横断面形态由塌陷或椭圆形向相对扩张、圆形改变的程度。与单纯测量某一方向直径相比, 短长径比值在一定程度上可减少个体体型、探头切面及绝对血管大小差异的影响, 更侧重于描述下腔静脉形态变化。既往研究显示, 下腔静脉短长径比值与 CVP 估计相关, 为本研究中该指标与 APACHE II 评分及 SOFA 评分的原始相关性提供了一定形态学和血流动力学依据^[9]。然而, 下腔静脉形态不仅受容量状态的影响, 也可能受到右心功能、胸腔内压、机械通气、腹内压等因素影响; 且该关联在 FDR 校正后未保持统计学意义。因此, 本研究不能据此判断该指标优于其他超声参数或 VExUS 分级。既往研究也提示, 不同静脉淤血替代指标在预测临床结局时表现并不完全一致, 提示各组成参数可能具有不同的临床信息^[16]。

门静脉搏动分数平均值在原始相关性分析中与 24 h 液体平衡呈显著正相关, 而与 APACHE II 评分、SOFA 评分、NT-proBNP 未见显著相关性。门静脉搏动分数反映门静脉血流随心动周期波动程度, 其升

高可能提示静脉系统压力波动向腹腔静脉系统传导增强^[6,10]。理论上, 液体正平衡、右心负荷增加或静脉回流受限可能增加门静脉血流搏动性。心外科多中心研究表明, 异常门静脉搏动与更长的器官支持时间及更高的术后并发症发生风险相关^[17]。另有病例研究提示, 门静脉搏动可用于识别高容量状态, 并可随去容量治疗改善而发生变化^[18]。因此, 本研究中心门静脉搏动分数与 24 h 液体平衡的原始相关性具有一定生理学合理性, 但在 FDR 校正后未保持统计学意义, 应解释为探索性发现, 而非确认性结论。

本研究结果与国内脓毒症合并 AKI 患者的研究既有一致之处, 也存在差异。国内相关研究显示, VExUS 分级动态变化与 AKI 缓解及液体平衡变化有关, 而与 CVP 及左右心功能无显著相关性^[13]。本研究中虽然未观察到手持式简化 VExUS 分级与容量负荷指标存在明确相关性, 但门静脉搏动分数在原始相关性分析中与 24 h 液体平衡呈正相关, 提示部分连续型参数可能保留与近期液体平衡相关的信息。造成差异的原因可能在于研究对象不同: 前者为脓毒症合并 AKI 的特定高风险人群, 后者则为普通 ICU 异质人群; 同时, 前者强调 VExUS 分级的动态变化, 而后者主要基于入 ICU 后首次手持式超声参数进行分析。因此, 本研究结果不应被理解为对 VExUS 动态评估价值的否定, 而是提示在普通 ICU 异质人群中, 单次手持式简化 VExUS 分级的解释需更加谨慎。

本研究基于中日友好医院重症医学科既有 ICU 队列数据库中的研究开展二次分析, 具有一定的临床意义。首先, 结果提示在普通 ICU 患者中, 单次手持式简化 VExUS 分级可能不足以单独表征病情严重程度及容量负荷状态。其次, 下腔静脉短长径比值和门静脉搏动分数在原始相关性分析中分别与病情严重程度评分及 24 h 液体平衡显示出一定相关性, 提示在手持式超声场景下, 关注 VExUS 分级连续型关键组成参数可能为床旁评估提供补充信息。然而, 由于本研究未进行不同相关系数之间的统计学比较, 且多重比较校正后上述关联未保持统计学意义, 因此不能据此判断某一参数优于复合分级。

从临床应用角度看, 手持式简化 VExUS 的潜在优势在于设备便携、检查耗时较短, 并可在普通 ICU 场景中快速获取部分静脉淤血相关信息。结合前期研究已证实, 在 ICU 应用手持式超声进行 VExUS 评估具有较好的一致性和较高的图像获取成功率^[12], 本

研究进一步提示,手持式简化 VExUS 可以作为普通 ICU 床旁评估的补充工具。然而,该简化方案不应被视为完整标准 VExUS 或常规超声综合评估的替代方法,其结果需要结合病情严重程度评分、液体平衡、心功能、机械通气状态、升压药的使用及其他床旁超声信息进行综合判断。

本研究亦存在一定局限性。首先,本研究为针对既有数据库中研究的二次分析,样本量相对有限,且高等级静脉淤血患者比例较低,可能降低了 VExUS 分级分析的统计效能。此外,本研究纳入普通 ICU 异质人群,未进一步按照原发疾病、入 ICU 原因、心功能状态或主要治疗措施进行亚组分析,因此,不同疾病状态及治疗背景对静脉淤血超声表现的影响仍不能完全排除。但考虑到本研究样本量有限,2 级患者数量较少,若进一步分层可能导致各亚组例数不足,降低结果解释的可靠性。其次,本研究主要基于入 ICU 后首次手持式超声结果进行分析,未开展连续动态监测,因此,无法进一步评估参数变化趋势与临床状态演变之间的关系。再次,尽管敏感性分析显示与主分析结果方向总体一致,但不同操作者测量结果的统计学意义仍存在一定差异,提示操作者间变异可能对小样本研究结果产生影响。最后,本研究重点关注相关性而非预后模型构建,未进行复杂多因素建模,因此结论更适合解释为床旁应用和参数筛选层面的探索性发现。

综上所述,在普通 ICU 的重症患者中,手持式简化 VExUS 分级与病情严重程度评分及容量负荷指标未显示出稳定相关性。下腔静脉短长径比值与 APACHE II 评分及 SOFA 评分、门静脉搏动分数与 24 h 液体平衡在原始相关性分析中显示出一定的相关性,但在多重比较校正后未保持统计学意义。因此,本研究结果更适合解释为普通 ICU 床旁静脉淤血评估中的探索性发现,提示部分关键组成参数可能提供补充参考信息,仍需更大样本、分层设计及动态监测研究进一步验证。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 商林: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章; 崔馨月: 分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析; Tan Cia Vei: 分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、指导、支持性贡献; 翟珊珊: 酝酿和设计实验,分析/解释数据,对文章的知识性内容作批评性审阅、行政、技术或材料支持、指导; 张勇: 实施研究、采集数据、对文章的知识性内容作批评性审阅; 王慧: 酝酿和设计实验,分析/解释数据,对文章的知识性内容作批评性审阅、行政、技术或材料支持、指导、支持性贡献

参考文献

- [1] Deschamps J, Zeleznak W, Sarebanha M, et al. Ultrasound-guided goal-directed therapy in the critically ill patient[J]. *Curr Anesthesiol Rep*, 2024, 14(2): 209–222. DOI: 10.1007/s40140-024-00614-3.
- [2] Giangregorio F, Centenara E, Mazzocchi S, et al. Assessing venous congestion in acute and chronic heart failure: a review of splanchnic, cardiac and pulmonary ultrasound: part 1: conventional B-mode, color Doppler, and vena protocol[J]. *J Clin Med*, 2025, 14(22): 8147. DOI: 10.3390/jcm14228147.
- [3] Longino AA, Martin KC, Leyba KR, et al. Reliability and reproducibility of the venous excess ultrasound (VExUS) score, a multi-site prospective study: validating a novel ultrasound technique for comprehensive assessment of venous congestion[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 197. DOI: 10.1186/s13054-024-04961-9.
- [4] Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K, et al. Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system[J]. *Ultrasound J*, 2020, 12(1): 16. DOI: 10.1186/s13089-020-00163-w.
- [5] Andrei S, Bahr PA, Nguyen M, et al. Prevalence of systemic venous congestion assessed by Venous Excess Ultrasound Grading System (VExUS) and association with acute kidney injury in a general ICU cohort: a prospective multicentric study[J]. *Crit Care*, 2023, 27(1): 224. DOI: 10.1186/s13054-023-04524-4.
- [6] Deschamps J, Denault A, Galarza L, et al. Venous Doppler to assess congestion: a comprehensive review of current evidence and nomenclature[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(1): 3–17. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2022.07.011.
- [7] Beaubien-Souligny W, Benkreira A, Robillard P, et al. Alterations in portal vein flow and intrarenal venous flow are associated with acute kidney injury after cardiac surgery: a prospective observational cohort study[J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(19): e009961. DOI: 10.1161/JAHA.118.009961.
- [8] 陈工泽, 宋佳, 陈文玮, 等. 静脉淤血超声评分与脓毒症患者急性肾损伤的相关性研究[J/CD]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2024, 17(6): 465–472. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2024.06.005.
- [9] Seo Y, Iida N, Yamamoto M, et al. Estimation of central venous pressure using the ratio of short to long diameter from cross-sectional images of the inferior vena cava[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(5): 461–467. DOI: 10.1016/j.echo.2016.12.002.
- [10] Abou-Arab O, Beyls C, Moussa MD, et al. Portal vein pulsatility index as a potential risk of venous congestion assessed by magnetic resonance imaging: a prospective study on healthy volunteers[J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 811286. DOI: 10.3389/fphys.2022.811286.
- [11] Critical Care Ultrasound Study Group (CCUSG). Hepatic vein Doppler in critically ill patients: a reflection of central venous pressure or right ventricular systolic function?[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 332. DOI: 10.1186/s12871-022-01872-6.
- [12] Zhai SS, Shang L, Ren DZ, et al. Portable handheld ultrasound for VExUS assessment in critical care: reliability and time efficiency in resident-led examinations[J]. *J Crit Care*, 2026, 91: 155224. DOI: 10.1016/j.jcrc.2025.155224.
- [13] 宣伟, 朱甜甜, 王晓波, 等. VExUS 评分在脓毒症合并急性肾损伤患者中的应用价值[J]. *中华急诊医学杂志*, 2024, 33(3): 312–316. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.03.009.
- [14] Hajanajumudin MH, Azhar MN, Bustam A, et al. Correlation between venous excess ultrasound and acute kidney injury in patients with sepsis: a pilot study[J]. *Turk J Emerg Med*, 2026, 26(1): 37–44. DOI: 10.4103/tjem.tjem_173_25.
- [15] Pierre-Grégoire G. VExUS score: optimizing its use in perioperative and critical care management[J]. *Crit Care*, 2025, 29(1): 472. DOI: 10.1186/s13054-025-05687-y.
- [16] Li ZT, Huang DB, Zhao JF, et al. Comparison of various surrogate markers for venous congestion in predicting acute kidney injury following cardiac surgery: a cohort study[J]. *J Crit Care*, 2024, 79: 154441. DOI: 10.1016/j.jcrc.2023.154441.
- [17] Denault A, Couture EJ, De Medicis É, et al. Perioperative Doppler ultrasound assessment of portal vein flow pulsatility in high-risk cardiac surgery patients: a multicentre prospective cohort study[J]. *Br J Anaesth*, 2022, 129(5): 659–669. DOI: 10.1016/j.bja.2022.07.053.
- [18] Singh G, Rachoin JS, Chien C, et al. The use of portal vein pulsatility to differentiate hypervolemic and hypovolemic hyponatremia[J]. *Case Rep Crit Care*, 2019, 2019: 9591823. DOI: 10.1155/2019/9591823.

(收稿日期: 2026-03-26)

(本文编辑: 孙茜)