

• 综述 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.15.021

脓毒症休克早期去甲肾上腺素当量的研究价值

齐力格¹, 樊秉玲¹综述, 刘晓琴^{2△}审校

1. 青海大学临床医学院, 青海西宁 810000; 2. 青海省人民医院重症医学科, 青海西宁 810000

摘要:脓毒性休克作为脓毒症最危重的类型,其病死率居高不下,维持循环稳定是救治的核心,血管活性药物是普遍应用的支持手段。临床上惯用去甲肾上腺素(NE)剂量衡量支持强度,但此方法存在制剂效价差异、剂量表达不一及多药联用时难以反映整体负荷等局限性。该文主要从增强血管活性药物支持强度评估的精准性与可比性角度出发,重点阐述了去甲肾上腺素当量(NEE)概念的提出背景、核心内涵及其临床价值。现有研究进展表明,NEE 水平与患者短期病死率、器官功能恢复及血管并发症发生风险相关,在预后评估、个体化治疗和临床研究设计中展现出重要潜力。NEE 的应用仍面临关键挑战,包括相关证据多基于回顾性研究,缺乏高级别循证医学支持,以及不同研究或临床实践中采用的药物等效换算系数尚未统一,导致结果可比性受限。综上所述,尽管 NEE 为量化血管活性药物支持强度提供了新思路并显示出应用前景,但其发展仍受限于证据等级不高、换算标准不统一及验证不足等关键问题。未来研究的重点方向应包括在大样本队列中建立并验证统一的 NEE 计算标准;开展多中心前瞻性研究以证明其预后价值及指导治疗的能力;探索将 NEE 与智能化监测技术或算法分析相结合,推动其从研究指标向可量化、可操作的临床决策工具转化,最终成为指导脓毒性休克循环支持管理的精准“支持尺度”。

关键词:脓毒性休克; 去甲肾上腺素当量; 血管活性药物; 循环支持; 预后评估

中图分类号:R459.7;R451

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2026)15-2151-06

The research value of norepinephrine equivalent in the early stage of septic shock

Qi Lige¹, Fan Bingling¹, Liu Xiaoqin^{2△}

1. Clinical College of Qinghai University, Xining, Qinghai 810000, China; 2. Department of Critical Care Medicine, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining, Qinghai 810000, China

Abstract: Septic shock is the most critical type of sepsis, with a high mortality rate. Maintaining stable circulation is the core of treatment, and vasoactive drugs are commonly used as supportive measures. Clinically, the dose of norepinephrine (NE) is used to measure the intensity of support, but this method has limitations such as differences in preparation potency, inconsistent dose expression, and difficulty in reflecting the overall load when multiple drugs are used. This article mainly focuses on the background, core connotation, and clinical value of the concept of norepinephrine equivalent dose (NEE) from the perspective of enhancing the accuracy and comparability of the assessment of vasoactive drug support intensity. Current research progress indicates that the level of NEE is related to the short-term mortality rate of patients, organ function recovery, and the risk of vascular complications. It shows significant potential in prognosis assessment, individualized treatment, and clinical research design. The application of NEE still faces key challenges, including evidence mostly based on retrospective studies, lack of high-level evidence-based medical support, and inconsistent drug equivalence conversion coefficients used in different studies or clinical practices, which limit the comparability of results. In conclusion, although NEE provides a new idea for quantifying the intensity of vasoactive drug support and shows promising application prospects, its development is still limited by issues such as low evidence level, inconsistent conversion standards, and insufficient verification. The focus of future research should include establishing and validating a unified NEE calculation standard in large sample cohorts; conducting multicenter prospective studies to prove its prognostic value and ability to guide treatment; exploring the combination of NEE with intelligent monitoring technologies or algorithm analysis to promote its transformation from a research indicator to a quantifiable and operational clinical decision-making tool, ultimately becoming a precise "support scale" for guiding the management of circulatory support in septic shock.

Key words: septic shock; norepinephrine equivalent dose; vasoactive drug; circulatory support; prognosis assessment

△ 通信作者, E-mail: lxq-0314@163.com。

引用格式: 齐力格, 樊秉玲, 刘晓琴. 脓毒症休克早期去甲肾上腺素当量的研究价值[J]. 检验医学与临床, 2026, 23(15): 2151-2155.

脓毒症是由机体对感染反应失调所导致的危重疾病^[1]。脓毒性休克是其最凶险的类型,每年累及数百万患者,全球 ICU 病死率仍维持在 30%~40%^[2-3]。尽管治疗手段不断进步,但脓毒症的病死率下降速度仍滞后于疾病复杂性的演变,这是重症医学科面临的主要难题之一,并造成沉重的社会与经济负担。在救治过程中,液体复苏与血管活性药物是维持循环稳定的核心措施。当补液仍无法纠正低血压时,指南建议首选去甲肾上腺素(NE),以维持平均动脉压(MAP)达目标水平^[4]。研究显示,早期使用 NE 可增加静脉回流、增强心肌收缩,并缩短低血压持续时间,从而改善循环动力学状态。这种做法往往能减少液体负荷,也与更好的预后相关^[5-6]。但 NE 的剂量并没有一个稳定的参照。不同制剂的效价不一(如酒石酸盐、重酒石酸盐、盐酸盐),在以 $\mu\text{g}/\text{min}$ 或 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 计量时,剂量可能相差 1.5~2.0 倍^[7]。Xu 等^[8]的多中心荟萃分析证明,单独使用 NE 虽能改善 MAP,但其中约 32% 的患者在早期仍需追加其他血管活性药物以维持循环稳定,同时 28% 的患者在 MAP 达标后仍存在组织灌注不足表现。因此,仅凭 NE 剂量评估升压效果,可能无法全面反映患者真实的血流动力学状态。随着联合使用升压药的研究深入,Mamede 等^[9]发现,早期联合使用血管加压素(AVP)与 NE 可使患者 28 d 病死率降低 17%,并减少 38% 的 NE 用量,休克逆转时间缩短近 6 h。该结果提示,联合用药有助于改善循环稳定性并减少儿茶酚胺负荷。在多药联合的治疗中,相同的 NE 剂量,在不同组合下,其意义也并不相同。再加上各研究中滴定方法不一致,使数据解释更加困难。单看 NE 的数值,难以准确反映整体血流动力学负荷,也不利于跨中心比较或个体化评估。

出于这种局限,研究者提出了去甲肾上腺素当量(NEE)的概念。它把不同的血管活性药物折算为等效 NE 剂量,使循环支持强度可以被量化、比较,也让研究结果更容易被统一解释。已有研究提示,NEE 与患者休克严重程度及预后相关,在多中心研究中也提升数据的可比性。

本文将回顾 NEE 的定义与发展历程,讨论其在脓毒性休克早期的应用价值与不足,并尝试提出可行的改进方向,为临床实践提供参考。

1 NEE

1.1 定义与临床价值 NEE 是一种将不同血管活性药物的剂量统一换算为 NE 等效剂量的方法。其核心目的是解决因药物种类多样、剂量单位不统一而导致的血管活性支持强度难以量化比较的问题,为临床研究与病情评估提供标准化工具。

NEE 的临床价值主要体现在以下方面:其一,标准化表述治疗方案中的联合用药,将不同机制、不同剂量单位的血管活性药物统一转化为可比较的数值,便于直观评价患者的总体血管活性药物暴露量;其

二,量化休克严重程度,较高的 NEE 通常提示更严重的血管麻痹及更强的药物支持需求,可作为脓毒性休克患者病情的连续动态评估指标;其三,指导血管活性药物的减量与撤药时机研究^[10]。因不同研究采用的血管活性药物方案各异,使用 NEE 可统一暴露剂量,提高研究之间结果的可比性与可解释性。例如,有研究通过将 AVP 剂量乘以 2.5 纳入 NEE 计算,用以量化 NE 与 AVP 联合治疗的整体支持强度^[11-12]。也有研究显示,提高 NE 剂量可改善舌下微循环参数(MFI)或心肺交互作用中的容量反应性的动态参数[灌注血管比例(PPV)、灌注血管密度(PVD)],但这一改善与 MAP 或心脏指数的变化并不一致,提示存在血流动力学失偶联现象^[13]。因此,单纯依赖 NE 绝对剂量或 MAP 指导脓毒性休克的早期治疗存在一定局限;在联合用药及规避高剂量儿茶酚胺不良反应方面,需引入 NEE 作为标准化指标,并结合微循环监测,以期更精准地指导治疗。近年来,有学者尝试将 NEE 与心率、乳酸清除率等参数结合,以期望更早识别对治疗反应不足的患者^[14]。

1.2 发展历程 从逻辑发展来看,NEE 的概念于 2013 年提出,旨在解决不同血管活性药物剂量不可比的问题^[15]。该阶段研究主要聚焦于概念定义与剂量换算,但缺乏系统性的临床验证。此后,有研究尝试将 NEE 作为量化指标以反映休克严重程度,并揭示了 NEE 与病死率的相关性,为其临床意义提供了初步证据^[16]。2020 年后,Kotani 等^[17]对既往 9 种 NEE 计算公式进行了系统比较,发现不同换算系数间差异明显。这说明 NEE 虽然具有临床研究潜力,但计算公式不统一限制了临床研究之间的可比性。目前研究焦点从“计算”转向“应用”,White 等^[18]通过目标试验发现,早期启动 AVP 可降低脓毒症休克患者病死率,而且在 $\text{NEE} < 0.25 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 时效果明显,体现了 NEE 在优化治疗方面的应用价值并为 NEE 的研究提供了高级证据。

1.3 技术与方法 在临床研究中,NEE 已成为衡量血管活性药物总负荷的常用指标。例如,在一项 AVP 早期应用的模拟研究中,研究者使用公认换算因子(AVP 剂量 $\times 2.5$)将其纳入 NEE 计算,以便统一评估血管支持强度^[18]。

NEE 的计算依赖换算因子:即将各药物剂量乘以对应的系数后相加。不同药物的换算因子来源并不统一:部分基于多中心随机对照试验(如肾上腺素、血管紧张素 II),而另一些仅来自小样本研究或专家意见(如间羟胺、去氧肾上腺素)。对于亚甲蓝等药物,目前仅有低等级证据支持其折算值。

除传统计算方式外,有研究正探索更动态与综合的应用模式。例如,将 NEE 与乳酸清除率、毛细血管再充盈时间等灌注指标结合,关注 NEE 的时间变化趋势,而非单点数值,以更好反映病程演进,提高公式在研究设计中的稳健性。

2 NEE 在脓毒性休克早期的应用

2.1 预测患者预后 NEE 及其衍生指标在预测脓毒性休克患者预后方面表现出重要价值。Thompson 等^[19]发现,早期高剂量 NEE 与 ICU 死亡率呈显著正相关,而其预测效能(曲线下面积=0.82)优于序贯器官衰竭(SOFA)评分(曲线下面积=0.73)及急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)评分(曲线下面积=0.69),提示 NEE 在反映血流动力学负荷及预后判断方面具有独特价值。Yang 等^[20]在多中心研究中提出,MAP/NEE 比值是休克严重程度和死亡风险的独立预测因子。多变量 Cox 分析结果显示,高 MAP/NEE 比值与较低死亡率独立相关,并呈 L 型关系^[21]。这一复合指标不仅反映药物负荷,还整合了血压反应,比单纯 NEE 剂量具有更强的生理解释力。

Sato 等^[10]研究进一步证明,休克早期 NEE 可预测院内病死率。最大 NEE 剂量每增加 1 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$,死亡风险增加 2.7 倍(95%CI:2.19~3.36);高 NEE 组($\geq 1.0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$)病死率显著高于低剂量组。除峰值外,24 h 累积 NEE 及其动态变化趋势亦具有预测价值:在维持血流动力学稳定的前提下,NEE 下降提示预后改善,持续升高则预示病情恶化。随着对疾病及病程认识的深入,动态评估的重要性不言而喻。Xiao 等^[22]在分析重症数据库时注意到,部分患者的血管活性—正性肌力药物评分(VIS)在早期虽不算高,但随后逐渐升高,并最终与较差的预后相关。这一发现提示,单一时间点的 NEE 数值可能不足以全面反映病情,而随时间的变化轨迹往往能提供更有价值的信息。

在解读 NEE 与预后的关系时需保持谨慎,因为结果容易受多种混杂因素影响,例如病情严重度(APACHE II、SOFA 评分)、液体复苏是否充分、联合用药情况及器官功能状态。如果这些因素未被校正,NEE 的升高往往更多反映病情本身的恶化,而不一定意味着治疗无效。因此,未来研究应在多变量模型中对这些因素进行严格控制,并对换算因子进行敏感性分析,以提高结论的稳健性。

2.2 指导治疗与改善患者预后 一项前瞻性研究表明,休克发作 1 h 内启动 NE 治疗可显著降低 28 d 病死率,缩短达标时间并减少液体需求^[23]。延迟使用 NE 则是患者死亡的独立危险因素($OR=4.564, 95\%CI:1.382\sim15.079$)。这一结果可以作为 NEE 临床应用的逻辑基础:既然早期干预有效,就需要量化工具来优化干预时机。

有研究发现,当 $NEE \geq 1.0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 时,患者病死风险显著上升,这一水平可能提示应考虑联合应用二线血管活性药物(如 AVP)^[10]。一项基于 MIMIC-IV 数据库的分析同样显示,在 NE 剂量 $< 0.25 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 时若提前加用 AVP,28 d 病死风险有明显下降^[24]。此外,一项分类回归树(CART)分析研究首次提出,肾上腺素的最佳启动窗口:当 NEE

为 $37\sim133 \mu\text{g}/\text{min}$ [$0.5\sim1.9 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$,按 70 kg 计算]时启动,与更佳的血流动力学稳定性相关,过早或过迟使用均难获益^[25]。

在临床试验中,NEE 常被用来衡量升压药的整体负荷,从而减少不同治疗策略间的差异。以 ATHOS-3 试验为例,研究者规定 $NEE > 0.2 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 作为入组标准,以保证患者群体的均质性,并将 NEE 作为主要结局指标之一,用于评估血管紧张素 II (Ang II) 在减少升压药需求方面的作用^[26-27]。这类设计说明,NEE 不只是一个描述性指标,它还能成为治疗决策的触发点——帮助医生判断何时调整方案。不过,NEE 的升高并不总意味着治疗无效。有研究发现,一部分“早期高 NEE”患者存在液体复苏不足,或本身病情更重^[28-29]。因此,解读 NEE 时需要结合具体病情与治疗阶段,不能孤立看数值。

2.3 临床研究 在科研场景中,NEE 为评估升压药总负荷提供了统一的度量方式,显著降低了不同用药策略间的异质性。ATHOS-3 试验同样采用 $NEE > 0.2 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 作为入组条件,以保证患者的可比性,并以 NEE 作为核心结局,评估 Ang II 在减少升压药依赖方面的效果^[26-28]。除此之外,NEE 也常被设为次要终点,用峰值、累积剂量或时间加权平均值反映药物负荷,从而增强不同研究结果间的可比性。

Shah 等^[30]使用机器学习方法重新分析多中心临床试验数据后发现,不同患者群体对目标导向治疗(EGDT)的反应差异显著,甚至在部分亚群中可能出现负向效果。这一结果表明,脓毒症治疗存在明显的个体差异,也提示像 NEE 这样能够量化循环支持强度的指标,或许能成为精准分型和个体化治疗模型的重要变量。目前的指南仍以 NE 绝对剂量作为主要参考,对 AVP 或 Ang II 的使用时机仅提供有限证据^[31]。随着更多高质量随机对照试验和真实世界研究的积累,NEE 的价值可能进一步被验证,并有机会被纳入未来的临床实践规范。

2.4 小结 综上所述,NEE 在脓毒性休克早期的应用主要体现出以下三方面价值:第一,无论是峰值、累积值还是动态变化趋势,均被证实与患者的病死率、ICU 住院时间及器官功能障碍独立相关。第二,NEE 为二线血管活性药物(AVP、Ang II)的启用提供了相对客观的量化阈值,有助于个体化干预并降低高剂量儿茶酚胺带来的潜在毒性。第三,在临床试验设计中,NEE 不仅提高了入组标准的可比性,还常作为“药物节省效应”的重要结局指标,因而已在多项研究中得到广泛应用。

3 NEE 的不足与未来发展方向

3.1 当前不足 在脓毒性休克的研究与临床实践中,NEE 是一个具有代表性工具,它能够用一个统一的数值去量化总的血管活性药物的强度,同时还能比较不同血管活性药物的支持强度,但真要走向科研常规及临床,它面临不少障碍。包括以下几个方面。

NEE 的计算公式大多来源于小样本试验、观察性研究甚至专家经验,不同文献对药物等效比率的差异明显。多巴胺、去氧肾上腺素等药物在不同研究中的折算结果并不一致,而一些新型药物(如亚甲蓝、米多君、羟钴胺)几乎完全依赖低级别证据。如果这些问题得不到解决,就很难在跨研究比较或临床决策中保持可信度^[17]。到目前为止血管活性药物的临床使用与研究大多根据指南进行,如二联 NE+AVP 或者 NE+Ang II,在二联模式下降压无效后可加用新型升压药物如亚加蓝等,在此情况下人工计算 NEE 同样较为低效。Kotani 等^[17]就曾在其文章中提到,当前人工换算方式复杂且缺乏统一标准。建议未来开发标准化或自动化的电子化计算系统,以提高临床应用的一致性和可操作性在。

NE 本身也存在混乱。它有不同的盐制剂存在,酒石酸盐、重酒石酸盐与碱基之间效价可相差 1.6~2.0 倍^[32]。实际使用中,有的国家以“盐制剂剂量”标注,有的以“碱基剂量”表示,而近一半的临床医生甚至不清楚本院用的是哪种制剂^[33]。这种差异不仅可能带来用药风险,也让研究数据之间失去了可比性。Morales 等^[34]分析 MIMIC-IV 数据库 4 000 余例脓毒症休克病例发现,当 NE 剂量从碱基转换为盐等效值时,预测模型出现明显偏差。证明“制剂差异”规范和统一何其重要,是血管活性药物及 NEE 等指标用于临床研究的基础。

NEE 的计算主要集中在血管收缩剂,正性肌力药物(如多巴酚丁胺)及机械循环支持,并未纳入考量。在合并心肌抑制或心源性休克的患者中,仅凭 NEE 很可能低估整体的循环负荷。此外,NEE 也无法反映微循环和组织灌注的复杂性,在复杂的临床背景下,NEE 应该被更加谨慎地解读。

不同国家或地区药物可及性存在差异,例如 AngII 和特利加压素在部分地区尚未普及,导致统一的 NEE 公式难以在大范围内应用。这不仅影响多中心试验的可比性,也限制了其在不同国家或地区的推广。

3.2 未来发展方向 在未来的研究与实践中如需要突破这些瓶颈,首先需要解决的是剂量报告的不统一问题。国际重症医学联盟已明确建议,无论科研还是临床应用,都应采用“NE 碱基 $[\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})]$ ”作为标准计量单位^[35]。Wieruszewski 等^[36]指出全球范围内存在碱基与盐制剂的混淆报告,这会直接影响 NEE 计算公式输入的准确性,文章提出不同盐制剂与碱基的换算系数(如 2 mg 酒石酸盐=1 mg 碱基)。在意大利进行的全国性调查进一步证实了上述观点^[35]。其次,还需要高质量的证据,依靠大规模、多中心随机对照试验,进一步明确主要血管活性药物的等效剂量关系,并补充新药的可靠数据,这样 NEE 计算公式才能更稳健^[37]。单纯依靠 NEE 仍难以全面反映循环功能,未来的发展方向应是与灌注相关指标相结合。近期提出的血管去甲肾上腺素反应性指数[血管去甲

肾上腺素反应性指数=舒张压(DAP)/(NE 剂量 $\times$ 心率)]在 ANDROMEDA-SHOCK 数据分析中显示出,比单一 NEE 能够更好地预测死亡率和器官支持依赖性的能力^[38],这说明把 NEE 和生理参数结合起来,它才能突破药物强度这一范围,成为一个更全面的工具。

4 结 论

在脓毒性休克的救治中,液体复苏和血管活性药物始终是两大支柱。随着研究的深入,人们越来越清楚地认识到——患者之间的差异巨大,治疗不能只靠“经验”,而应走向个体化和精细化。指南提供方向,但真正推动改变的,往往是临床与研究之间的相互印证。

NEE 正是在这样的背景下提出的。它把不同血管活性药物的剂量折算成统一的 NE 值,从而量化了循环支持的强度。已有研究表明,NEE 能在一定程度上预测预后,帮助判断治疗反应,并在药物减量或撤药过程中提供参考。在临床试验中,使用 NEE 也能提高研究结果之间的可比性。

但 NEE 的意义仍然有限。它更多反映的是药物剂量,而不是患者对这些药物的生理反应。换算系数的证据等级不一,部分药物仅来源于小样本或专家共识;正性肌力药物和机械循环支持尚未被纳入;甚至 NE 不同制剂的表达方式(酒石酸盐、盐酸盐等)都可能带来偏差。这些问题如果不解决,NEE 的应用就很难真正标准化。

未来理想的转化是能建一个从标准化到智能化的路线。目前最重要的是建立一个以“NE”为统一标准的 NEE 换算公式。在这个前提下才能确保无论在哪个医疗中心,NEE 数值都能够代表同样的治疗强度,也可以为对比临床研究和实践打下基础。之后可以在电子病历或重症监护系统中开发自动化模块,自动换算出 NEE 值,形成动态趋势图。同时在标准 NEE 换算公式下与平均动脉压、乳酸清除率等反映循环与灌注的核心指标进行整合,或与动态/静态的生命体征指数、实验室数据等构建综合评估模型。NEE 将不再是孤立的数字它能够更精准地判断患者所处的休克状态、治疗反应,做出符合个体化的治疗决策。最后可以结合人工智能算法,开发个体化治疗决策系统,让它成为临床医师和科研工作者手中利器。

总的来看,NEE 让血管活性药物的管理从“凭经验”迈向“可量化”。以减少因不同盐制剂和单位差异导致的偏倚它为精准治疗提供了方向,同时看到标准化与个体化并行的可能。但今后仍需大量的临床数据验证其实用性,以更好地统一和量化血管活性药物在临床诊疗过程中的运用和评估。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献 齐力格:研究构思、资料整理、论文撰写;樊秉玲:文献查阅、资料汇总;刘晓琴:论文修改与审校。

参考文献

- [1] Evans L, Rhodes A, Alhazzani W, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021 [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(11):1181-1247.
- [2] Wang L, Cao Y, Wu Y, et al. Necroptosis in sepsis: mechanisms and therapeutic potential [J]. *Cytokine Growth Factor Rev*, 2025, 84:74-86.
- [3] Collaborators G 2 G S. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990 — 2021: a systematic analysis [J]. *Lancet Glob Heal*, 2025, 13(12):e2013-e2026.
- [4] Singer M, Deutschman C S, Seymour C W, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (sepsis-3) [J]. *JAMA*, 2016, 315(8):801-810.
- [5] Hernández G, Teboul J L, Bakker J. Norepinephrine in septic shock [J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45(5):687-689.
- [6] Permpikul C, Tongyoo S, Viarasilpa T, et al. Early use of norepinephrine in septic shock resuscitation (CENSER): a randomized trial [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(9):1097-1105.
- [7] Kattan E, Ibarra-Estrada M, Jung C. Knowing the ropes of vasopressor dosing: a focus on norepinephrine [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50(4):587-589.
- [8] Xu Q Y, Jin Y H, Fu L, et al. Application of norepinephrine in the treatment of septic shock: a Meta-analysis [J]. *Ir J Med Sci*, 2025, 194(1):361-369.
- [9] Mamede I, Arêa L, Carvalhal G, et al. Early vasopressin plus norepinephrine versus delayed or no vasopressin in septic shock: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Am J Emerg Med*, 2026, 99:225-231.
- [10] Sato R, Duggal A, Sacha G L, et al. The relationship between norepinephrine equivalent dose of vasopressors within 24 hours from the onset of septic shock and in-hospital mortality rate [J]. *Chest*, 2023, 163(1):148-151.
- [11] Melchers M, De Smet V, Rooijackers C, et al. Hemodynamic effects of adjunct arginine vasopressin to norepinephrine in septic shock: insights from a prospective multicenter registry study [J]. *Ann Intensive Care*, 2025, 15(1):59.
- [12] Busse L W, ten Lohuis C, Xu H, et al. Angiotensin II, conventional vasopressor therapy, and mortality in shock: a large, multicenter, propensity score-weighted analysis [J]. *Ann Intensive Care*, 2025, 15(1):104.
- [13] Fiorese C K T, De Freitas F G R, Bafi A T, et al. Effect of increasing blood pressure with noradrenaline on the microcirculation of patients with septic shock and previous arterial hypertension [J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(8):1033-1040.
- [14] Bosch N A, Teja B, Wunsch H, et al. Characterization and validation of a novel measure of septic shock severity [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(1):135-137.
- [15] Brown S M, Lanspa M J, Jones J P, et al. Survival after shock requiring high-dose vasopressor therapy [J]. *Chest*, 2013, 143(3):664-671.
- [16] Goradia S, Sardaneh A A, Narayan S W, et al. Vasopressor dose equivalence: a scoping review and suggested formula [J]. *J Crit Care*, 2021, 61:233—240.
- [17] Kotani Y, Di Gioia A, Landoni G, et al. An updated "norepinephrine equivalent" score in intensive care as a marker of shock severity [J]. *Crit Care*, 2023, 27(1):29.
- [18] White K C, Costa-Pinto R, Blank S, et al. Effect of early adjunctive vasopressin initiation for septic shock patients: a target trial emulation [J]. *Crit Care*, 2025, 29(1):188.
- [19] Thompson H A, Brinkman H M, Kashani K B, et al. Early high-dose vasopressors in refractory septic shock: a cohort study [J]. *J Crit Care*, 2025, 86:155004.
- [20] Yang J, Zou X, Wang R, et al. Mean arterial pressure/norepinephrine equivalent dose index as an early measure for mortality risk in patients with shock on vasopressors [J]. *Shock*, 2024, 61(2):253-259.
- [21] Chen Y, Jiang H, Wei Y, et al. Blood pressure response index and clinical outcomes in patients with septic shock: a multicenter cohort study [J]. *eBioMedicine*, 2024, 106:105257.
- [22] Xiao S, Zhuang Q, Li Y, et al. Longitudinal vasoactive inotrope score trajectories and their prognostic significance in critically ill sepsis patients: a retrospective cohort analysis [J]. *Clin Ther*, 2024, 46(9):711-716.
- [23] Li Y, Zhang D, Li H, et al. Effect of timing of norepinephrine administration on prognosis of patients with septic shock: a prospective cohort study [J]. *J Intensive Med*, 2025, 5(2):160-166.
- [24] Tong X, Xue X, Duan C, et al. Early administration of multiple vasopressors is associated with better survival in patients with sepsis: a propensity score-weighted study [J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28(1):249.
- [25] Ammar M A, Limberg E C, Lam S W, et al. Optimal norepinephrine-equivalent dose to initiate epinephrine in patients with septic shock [J]. *J Crit Care*, 2019, 53:69-74.
- [26] Khanna A, English S W, Wang X S, et al. Angiotensin II for the treatment of vasodilatory shock [J]. *N Engl J Med*, 2017, 377(5):419-430.
- [27] Leisman D E, Handisides D R, Busse L W, et al. ACE inhibitors and angiotensin receptor blockers differentially alter the response to angiotensin II treatment in vasodilatory shock [J]. *Crit Care*, 2024, 28(1):130.
- [28] Wang H, He H, Shen F. Early vasopressor initiation increases mortality in patients with septic shock: less intensive intervention or more critically ill patients? [J]. *Crit Care Med*, 2022, 50(4):e402-e403.
- [29] Yeo H J, Lee Y S, Kim T H, et al. Vasopressor initiation within 1 hour of fluid loading is associated with increased mortality in septic shock patients: analysis of national registry data [J]. *Crit Care Med*, 2022, 50(4):e351-e360.
- [30] Shah F A, Talisa V B, Chang C H, et al. Heterogeneity in the effect of early goal-directed therapy for septic shock: a secondary analysis of two multicenter international trials [J]. *Crit Care Med*, 2025, 53(1):e4-e14.

• 医学教育研究 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.15.022

基于 ATR 模式的教学查房在临床微生物学专业住院医师规范化培训中的实践与探索^{*}

顾 敏^{1,2,3},倪 芳^{1,2,3},夏文颖^{1,2,3},刘根焰^{1,2,3},王 宏^{1,2,3},王 婷^{1,2,3},张晓慧^{1,2,3△}

1. 南京医科大学第一附属医院检验学部,江苏南京 210029;2. 南京医科大学第一临床医学院医学检验学系,江苏南京 210029;3. 国家医学检验临床医学研究中心分中心,江苏南京 210029

摘 要:为应对人工智能(AI)赋能医学教育的发展趋势,解决临床微生物学住院医师规范化培训中教学情境脱离临床、学员主观能动性不足、专业技能培养难度大等问题,该研究将 ATR[AI-团队学习(TBL)-研究(RBL)]教学模式融入临床微生物学教学查房,构建以检验医师为主体、AI 辅助支撑、临床病例为导向的互动式学习框架。选取 2023—2025 年间分批进入该培训基地的 12 名检验医师作为研究对象,通过教学查房评分、出科考核及学员问卷进行效果评价。结果表明,该模式可提升学员实践操作能力、逻辑思辨与团队协作能力,有效激发主动学习意识,提高教学查房质量与学员满意度。ATR 教学模式可有效优化住院医师规范化培训教学质量、强化学员综合素养,为培养检验医学复合型人才提供创新方向。

关键词:人工智能-团队学习-研究; 教学模式; 教学查房; 临床微生物学; 检验医师; 规范化培训
中图分类号:G424.1;R446.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9455(2026)15-2156-05

Practice and exploration of teaching ward round based on ATR model in the standardized training of clinical microbiology residents^{*}

Gu Min^{1,2,3}, Ni Fang^{1,2,3}, Xia Wenyong^{1,2,3}, Liu Genyan^{1,2,3}, Wang Hong^{1,2,3}, Wang Ting^{1,2,3}, Zhang Xiaohui^{1,2,3△}

1. Department of Laboratory Medicine, the First Affiliated Hospital with Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 2. Department of Laboratory Medicine, the First School of Clinical Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 3. Branch of National Clinical Research Center for Laboratory Medicine, Nanjing, Jiangsu 210029, China

Abstract: To cope with the development trend of artificial intelligence (AI) in medical education, solve problems such as teaching separated from clinical practice, lack of subjective initiative of students, and difficulty in professional skills training in the standardized training of clinical microbiology residents. In this study, ATR [AI-team-based learning (TBL) -research-based learning (RBL)] teaching model was integrated into the clinical microbiology teaching ward round, and an interactive learning framework with laboratory physicians as the main body, AI assistance, and clinical cases as the guidance was constructed. A total of 12 laboratory physicians who entered the training base in batches from 2023 to 2025 were selected as the research objects, and the effect was evaluated by teaching ward round score, department examination and student questionnaire. The results show that this model can improve students' practical operation ability, logical thinking and team cooperation ability, effectively stimulate active learning awareness, and improve the quality of teaching ward rounds and students' satisfaction. ATR teaching model can effectively optimize the teaching quality of standardized residency training, strengthen the comprehensive quality of students, and provide an innovative direction for the training of compound talents in laboratory medicine.

Key words: artificial intelligence-team-based learning-research-based learning; teaching model; teaching ward round; clinical microbiology; laboratory physician; standardized training

^{*} 基金项目:江苏省“十四五”医学重点学科/实验室建设单位项目(ZDXK202239);江苏省高等教育质量保障与评价研究课题项目(2023-Z10);南京医科大学教育研究课题项目(2023YJS-ZD011)。

[△] 通信作者, E-mail: 15195968763@163.com。

引用格式:顾敏,倪芳,夏文颖,等. 基于 ATR 模式的教学查房在临床微生物学专业住院医师规范化培训中的实践与探索[J]. 检验医学与临床, 2026, 23(15): 2156-2160.