

氧合评估在严重急性呼吸系统综合征中的价值

巴根^{1,2} 石齐芳^{1,2} 张劲松^{1,2}

¹ 南京医科大学第一附属医院急诊中心, 南京 210029; ² 南京医科大学中毒研究所, 南京 210029

通信作者: 张劲松, Email: zhangjs@njmu.edu.cn

基金项目: 2020 年省财政支持临床重点专科项目【苏财政(2020)155 号】; 2021 年专科能力建设项目【苏财政(2021)79 号】

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.02.025

严重急性呼吸系统综合征(severe acute respiratory syndromes, SARS)是一种急性呼吸系统疾病, SARS 主要是源于病毒的传染病, 其特点是传染性高、传播速度快、发病率高。最具有代表性的为 2002 年 11 月在广东和 2019 年 12 月在武汉爆发的两次疫情, 对世界范围内的医疗保健体系提出了严峻的挑战, 对人们的生活、经济的稳定等都产生了重大的影响。SARS-CoV 是 2002 年 SARS 暴发的病因^[1], 而 2019 冠状病毒疾病(corona virus disease 2019, COVID-19)是一种主要由新型冠状病毒感染(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-COV-2)引起的呼吸道传染病, 主要影响呼吸系统, 严重可至呼吸衰竭^[2]。根据世界卫生组织(WHO)的数据显示, 自 COVID-19 以来全球累计报告确诊 SARS-CoV-2 型病例超过 7.53 亿, 死亡病例超过 700 万。SARS 的高传染性是其病死率增加的重要因素之一, 这也导致了各个国家患者入院人数超过了医疗系统的能力^[3-7]。

1 严重急性呼吸系统综合征简述

1.1 致病机制

SARS 的致病机制十分复杂, 可能的机制是病毒对靶细胞的直接伤害和免疫系统功能障碍介导的间接伤害。SARS 对呼吸系统的损害使一部分重症患者发展为新型严重急性呼吸综合征, 血管紧张素转换酶 2 受体是其功能宿主受体^[8], 存在于肺部和其他器官中, 病毒入侵后, II 型肺泡细胞的复制诱导宿主免疫反应失调, 进而导致肺泡损伤和急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS), 从而需要有创机械通气(invasive mechanical ventilation, IMV)、入住重症监护病房(intensive care unit, ICU)等相关治疗^[9]。

1.2 临床分型

在临床工作中通常以患者的临床表现、实验室检查及影像学检查为评估病情严重程度的主要依据。根据“新型冠状病毒感染诊疗方案(试行第十版)”, 其临床分型分为

轻、中、重、危重 4 型。不同分型的治疗方案和预后有差别^[10], 重型及危重型的患者病死率高^[11]。而重型、危重型早期预警指标就显得尤为重要, 研究表明传统的早期预警评分, 如改良早期预警评分和快速序贯器官衰竭评分, 不足以准确预测 SARS-CoV-2 患者的呼吸衰竭。组织氧合指标(如指氧饱和度、氧合指数)无创监测等手段对低氧血症的早期预警有至关重要的作用^[12]。

1.3 SARS 大流行期间的特点

由于大流行期间患者数量在短期内急剧增加, 绝大多数医疗机构无法应对该庞大的数量, 同时需要氧疗的群体远远超过现有的氧疗设备。所以早期、快速、有效地识别、评估、干预患者病情变化, 减少病情进一步发展尤为重要。而此产生的各项评估工具也为上述情况提供了重要的依据。目前尚未有针对 SARS 患者病情及预后完整的评估体系, 早期对危重症状态 SARS 患者进行识别和分诊至关重要, 其中体内氧含量是管理 SARS 导致的呼吸衰竭重要的指标, 所以在在大流行期间评估 SARS 患者的体内的氧合状态是目前主要挑战之一。遂本文作者对 SARS 氧合评估工具在疾病进程中的作用进行总结叙述。

2 氧合评估工具

2.1 氧饱和度与吸入氧体积分数比

SARS 是一种特殊的疾病, 大多数情况下在 ARDS 的柏林定义范围内, 其显著特点是严重的低氧血症与呼吸系统顺应性相关^[13], PaO₂/FiO₂ 是测量 ARDS 患者低氧血症严重程度的重要指标, 由于需要动脉血气分析的结果去计算 PaO₂/FiO₂ 受限其复杂性, 且当时 SARS-CoV-2 患者数量激增, 超过了个别医疗系统承载的能力。有研究显示氧饱和度与吸入氧体积分数比(SpO₂/FiO₂)可以替代 PaO₂/FiO₂ 评估 ARDS 严重程度^[14]。同时 SpO₂/FiO₂ 是 ARDS 高危患者早期发病和住院死亡的重要预测因子, 是入院时氧合受损的标志^[15]。此外, 与入院 SpO₂/FiO₂ 值较高的患者相比,

SpO₂/FiO₂ 值较低的患者会更早发生 ARDS, 并有更早死亡的趋势。入院 6 h 内测定的 SpO₂/FiO₂ 是预测 ARDS 危重症患者早期发现的重要指标。故 SpO₂/FiO₂ 可作为 ARDS 高危患者早期发生呼吸衰竭的预警指标。尽管 ARDS 标准要求测量动脉血氧分压与吸入氧体积分数的比值, 但 SpO₂/FiO₂ 也证明对预防和早期治疗 ARDS 有重要意义。

无创辅助通气 (noninvasive ventilation, NIV) 和经鼻高流量氧疗 (high-flow nasal cannula, HFNC) 是气管插管前合理的初始干预措施, 可以改善患者病情的严重程度^[16]。NIV 和 HFNC 作为治疗 SARS-CoV-2 的关键治疗已得到广泛认可。但仍有一部分 NIV 失败的患者, 需要及时启动 IMV, 但延迟启动 IMV 的患者预后较差^[17]。因此, 临床上迫切需要 NIV 失败的指标, 尽早、及时、有效地对病情进行评价, 以便发现潜在的危重症患者, 避免因未意识到病情的变化而导致的气管插管, 一方面可以减轻患者病痛, 另一方面一定程度上保证病情的稳定状态, 并且不合理的气管插管也一直是新冠肺炎患者病死率上升的主要原因^[18]。

在疾病大流行的高峰期, 实验室检验耗时且在资源短缺的情况下, 使用简单的床旁参数将更容易和更经济的获取患者的信息。其次脉氧饱和度的无创性避免了血气分析导致的动脉血管牵拉, 与间歇性采集动脉血气相比, 脉氧饱和度可以间接代替并连续监测血氧饱和度。Lu 等^[19]通过连续监测 SpO₂/FiO₂ 联合信息模型证明了 SpO₂/FiO₂ 对 SARS-CoV-2 重症监护患者的预后价值, 其下降程度与死亡风险增加密切相关, 可作为重症监护 SARS-CoV-2 患者的无创预后标志物。在评估 SARS-CoV-2 患者病情时, 与 PaO₂/FiO₂ 相比 Catoire 等^[20]将阈值 370 和 450 分别作为对 PaO₂/FiO₂<300 mmHg 的阳性诊断和排除 PaO₂/FiO₂<400 mmHg 的阳性诊断, 结果无明显差异, 表明 SpO₂/FiO₂ 可用于急诊 (Emergency Department, ED) 入院时低氧血症程度的评估, 允许在确诊病毒感染之前评估患者病情严重程度。在无其他呼吸窘迫征象 (包括呼吸功增加或精神状态改变) 时, SpO₂/FiO₂ 大于 450 可作为门诊就诊的决策阈值, SpO₂/FiO₂ 低于 370 建议转诊至重症监护室, 而 SpO₂/FiO₂ 在 370 ~ 450 之间需要进一步的临床评估并进行动脉血气分析等。后有学者^[21]进一步将 SpO₂/FiO₂ 通过风险分级将患者分为 3 组: 低危 (SpO₂/FiO₂ 427 ~ 476)、中危 (SpO₂/FiO₂ 101 ~ 426) 和高危 (SpO₂/FiO₂ 50 ~ 100)。进一步细化了比值, 为临床医务工作者又增添了一强有力的决策依据。

2.2 ROX 指数

ROX 指数 (respiratory oxygenation index) 起初作为早期肺炎患者进行 HFNC 评判条件^[22], 为 SpO₂/FiO₂ 与呼吸频率比值。在 HFNC 治疗的肺炎合并急性呼吸衰竭 (ARF) (低氧型) 患者中, ROX 可以作为帮助评估气管插管风险的指标。同时 ROX 可以作为预测指标, 在 HFNC 使用后 2、6、12 h,

若 ROX 均大于或等于 4.88, 意味 HFNC 成功率高。若在 2 h 小于 2.85、6 h 小于 3.47 或 12 h 小于 3.85, 那么 HFNC 失败, 需要进一步高级气道支持治疗。如果在对应的时间节点的中间范围, 建议根据患者的情况做出相应的调整^[23]。

HFNC 已在临床中应用一段时间, 研究证实在 ARF 患者中使用 HFNC 是安全有效的^[24-25]。在 SARS-CoV-2 流行期间 HFNC 被广泛应用, 启动 HFNC 6 h 后的 ROX 指数对 HFNC 结局有较好的预测能力^[26]。Gianstefani 等^[27]通过单中心研究在其国家第一次使用 ROX 评分对 ED 的 SARS-CoV-2 患者进行评分。发现 ROX 指数值小于 26 的患者与病毒性肺炎的影像学表现相关, 考虑 ROX 指数是区分 SARS-CoV-2 感染患者出、入 (ROX 指数 <25.7) 院的有效工具。对于 ≥ 65 岁的患者, ROX 指数的截断值为 23.3。虽然该研究依据于单中心, 而且患者样本量少、局限、且参数的变量大 [年龄: (46.7 ± 14.8) 岁 vs. (61.5 ± 19) 岁], 但对后续的研究有重要的借鉴意义, 关于 ROX 值与其他研究相差较大文中作者也做出了分析, 考虑大多数人群未接受呼吸支持治疗和 FiO₂ 并没有被真实测量, 所以截断值不同。研究显示 ROX 指数在入院 24 h 内预测 HFNC 失败的最佳截断值可能接近 5^[28], Chandel 等^[29]通过一项多中心研究, 指出 ROX 指数在第 12 小时测量时的诊断准确性最高, 随着治疗时间的延长, 准确性也随之增加。ROX-12 能够区分 SARS-CoV-2 患者行 HFNC 的成功与失败, 4.99 作为阈值提升了 ROX 指数预测的准确性^[30]。总体来说通过对比其他评分工具 (全国预警评分 /NEWS2), 使用 ROX 评分在预测不良事件的发生方面优势较大^[31]。研究^[32-35]表明 ROX 在 SARS-CoV-2 患者中可以作为其评价是否需要氧疗及高级气道管理的依据。

为了进一步提升 ROX 的准确率, 以便为临床工作者有效评估患者的疾病状态, 各种 ROX 改良评分也相继出现, Goh 等^[36]将心率 (HR) 纳入 ROX 指标中 [(SpO₂ × 100) / (FiO₂ × RR × HR)] 并评价其结果, ROX-HR 对于 ROX 在 2、4、8 和 18 h 对 HFNC 成功和失败有一定的区分能力。但同时我们也应该注意到影响心率的因素例如: 心脏方面的基础疾病、服用影响心率的药物, 都会影响其指数的判断。另一项衍生 VOX [SpO₂/FiO₂ 与潮气量 (VT) 的比率] 指数被用作评判 ARF 患者早期使用 HFNC 的预测指标, 但其尚未应用于 SARS-CoV-2 患者研究中。所以 VOX 还需要进一步验证在 SARS-CoV-2 患者中的价值^[37]。Nova 等^[38]又定义 PROX: SpO₂/FiO₂ 评估的氧合参数与呼吸频率 (RR) 和 PEEP 乘积的比值, 发现 PROX 与 ROX 指数相比在区分 NIV 成功和失败的患者方面基本相同, PROX 和 ROX 的 ROC-AUC 之间差异无统计学意义。也再次证明了 ROX 指数可以帮助临床医生识别感染 SARS-CoV-2 行 NIV 失败的患者, 可以及时治疗, 避免进一步插管。

但需要指出的是 ROX 指数没有包括的氧流量, 流量的变化可能会影响治疗结果, 因为它可以在气道中产生持续的压力, 无效腔增大, 降低呼吸速率和呼吸做工。但是由于其非侵入性且易于在床边应用而被广泛使用, 甚至可以随时、快速、重复性评估, 即使是非医疗卫生专业人员也可以进行。

2.3 OI 和 OSI 指数

“氧合指数 [OI : (PaO₂/FiO₂) × 平均气道压 (MAP) × 100]”最初作为一种简单评估新生儿呼吸衰竭严重程度的床旁评分工具, 后有学者将其预测成人 ARDS 的病死率^[39]。氧饱和度指数 [OSI : (SpO₂/FIO₂) × 平均气道压 × 100] 在预测病死率方面与 OI 有线性关联^[40], 尽管之前 OI 和 OSI 在 ARDS 中的临床和预后已得到很好的证实。Nozari 等^[41]的一项回顾性分析探讨了 OI 和 OSI 对于需要机械通气的肺损伤和急性呼吸衰竭 SARS-CoV-2 患者的生存关系。OI 在第 3 天和第 7 天 ROC 下 AUC 为 0.684 和 0.808, OSI 在第 3 天和第 7 天的 AUC 为 0.655 和 0.828, 考虑 OI 和 OSI 可以作为 SARS-CoV-2 患者插管后病死率的预测因子, 且 OI 和 OSI 可以将氧流量产生的气道压作为变量分析以减少因气道压力对结果的准确性。

2.4 HACOR 指数

2017 年 Duan 等^[42]创建了 HACOR 评分工具, 为心率、酸中毒、意识状态、氧合和呼吸频率 (RR) 的缩写, 用于预测 NIMV 失败, 并表明 HACOR 评分 >5 分的低氧性呼吸衰竭患者发生 NIV 失败的风险非常高, 早期插管可能降低住院病死率。后有学者证明 HACOR 在第 1 小时内可以准确预测 NIMV 失败^[43]。当 HFNC 开 1 h 时的阈值为 8 时, 肺炎合并 ARDS 患者 NIMV 失败的 AUROC 大于 0.9。而 HACOR 评分未在严重特殊传染性肺炎患者中得到验证。考虑 HACOR 指数和 ROX 指数对 HFNC 失败率具有中等程度的预测能力

^[44], 可以与其他评分工具一起应用于 SARS 患者, 以便于准确、多角度、全面的评估哪些患者可能需要有创机械通气。

3 总结与展望

目前有多项氧合评分工具用于 SARS 患者的治疗和预后评估, 这些评分工具备受关注并富有争议, 需要进一步的验证和改进。Alberdi-Iglesias 等^[45]通过比较 SpO₂/FIO₂ 和 ROX 指数预测 SARS-CoV-2 患者行 IMV 的预后结局。证明 SpO₂/FIO₂ 的区分效度优于 ROX 指数。在大流行期间, 沉默性低氧血症^[46]受到了极大的重视, 其特征是 SpO₂ 和通气动力学的不一, 临床上表现为通气-灌注障碍^[2], 部分学者^[47]将其与病毒的神经侵袭潜能联系起来, 患者表现出严重的动脉低氧血症, 但没有任何呼吸窘迫的临床迹象, 这种独特的病理生理学将导致 ROX 指数与 SpO₂/FIO₂ 诊断准确性的降低。同时, SpO₂ 测量的准确性可能受到一些其他因素的影响: 皮肤色素沉着^[48]、低灌注、血红蛋白异常、严重贫血或使用血管升压药等。但值得肯定的是: ① SpO₂/FIO₂、ROX 指数、ROX-HR 指数、VOX 指数、OSI 指数检测的无创性, 并且有些患者进入急诊不能立即得到血样标本。它们可能比有创的检测具有更大的临床价值^[49]。②分诊护士可以在 ED 预检分诊直接分诊到对应的 ED 诊疗区域进行分级管理。将病情严重的患者置于适当的优先级。③进入病区管理后可以结合 OI 指数、PROX 指数和 HACOR 指数等评分工具进行辅助评分, 以便于临床工作者对病情的判断更加稳定化。④有创血氧监测 (动脉血气分析等) 是一个痛苦、昂贵、费时的检查, 同时也避免了因动脉血管牵拉而造成的医源性损伤。见表 1。

传染性疾病大流行期间由于患者数量激增, 医疗系统承受重压、超负荷运转, 医疗资源面对挑战, 简单快速的

表 1 各指数的优缺点

指标	优点	缺点
SpO ₂ /FIO ₂	①易于获取和计算 ②可以快速评估氧合状态 ③无创	①严重通气障碍的患者该指标可能过高估计实际的氧合状态 ②准确性受多种因素影响
ROX 指数	①评估氧合且可以辅助高级气道的管理 ②计算方法相对简单, 可用于常规监测 ③无创	在肺部氧合功能严重受损的情况下, 该指标可能无法准确反映实际的氧合状态
OI 和 OSI 指数	①可以评估通气障碍或肺部氧合受损的氧合状态 ②可以将氧流量产生的气道压作为变量分析以减少因气道压力对结果的准确性	需监测气道压
HACOR 指数	①可以同时评估肺部的通气、氧合和酸碱平衡状态 ②对于存在严重通气障碍或肺部氧合受损的情况, 该指标可以更准确地反映实际的氧合状态	计算方法复杂

评分工具更适合于当时的局面。但不可否认的是血液标本的直接检测一定程度上可能更接近于患者体内真实的氧合, 简易的评分工具在临床中是否能进一步应用还值得商榷, 未来需要有更多的研究 (特别是使用临床标准: 如病死率、

住院时间、是否需要重症监护或常规护理) 去评估上述评分在严重急性呼吸系统综合征患者中的功能。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Zhong NS, Zheng BJ, Li YM, et al. Epidemiology and cause of severe acute respiratory syndrome (SARS) in Guangdong, People's Republic of China, in February, 2003[J]. *Lancet*, 2003, 362(9393): 1353-1358. DOI: 10.1016/s0140-6736(03)14630-2.
- [2] Camporota L, Cronin JN, Busana M, et al. Pathophysiology of coronavirus-19 disease acute lung injury[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2022, 28(1): 9-16. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000911.
- [3] Xie JF, Tong ZH, Guan XD, et al. Critical care crisis and some recommendations during the COVID-19 epidemic in China[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(5): 837-840. DOI: 10.1007/s00134-020-05979-7.
- [4] Carenzo L, Costantini E, Greco M, et al. Hospital surge capacity in a tertiary emergency referral centre during the COVID-19 outbreak in Italy[J]. *Anaesthesia*, 2020, 75(7): 928-934. DOI: 10.1111/anae.15072.
- [5] Lemos DRQ, D' Angelo SM, Farias LABG, et al. Health system collapse 45 days after the detection of COVID-19 in Ceará, Northeast Brazil: a preliminary analysis[J]. *Rev Soc Bras Med Trop*, 2020, 53: e20200354. DOI: 10.1590/0037-8682-0354-2020.
- [6] Palamim CVC, Marson FAL. COVID-19 - the availability of ICU beds in Brazil during the onset of pandemic[J]. *Ann Glob Health*, 2020, 86(1): 100. DOI: 10.5334/aogh.3025.
- [7] Bandara NA, Jhauj R, Fernando J, et al. Overlapping public health crises during the coronavirus disease pandemic[J]. *World J Emerg Med*, 2021, 12(2): 151-153. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2021.02.011.
- [8] Guo Y, Korteweg C, McNutt MA, et al. Pathogenetic mechanisms of severe acute respiratory syndrome[J]. *Virus Res*, 2008, 133(1): 4-12. DOI: 10.1016/j.virusres.2007.01.022.
- [9] Grasselli G, Greco M, Zanella A, et al. Risk factors associated with mortality among patients with COVID-19 in intensive care units in Lombardy, Italy[J]. *JAMA Intern Med*, 2020, 180(10): 1345-1355. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.3539.
- [10] 孙健, 罗悦, 邵勉, 等. 精准分型指导 ARDS 临床精准救治 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2022, 31(8): 1005-1009. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.08.001.
- [11] Guo W, Ran LY, Zhu JH, et al. Identifying critically ill patients at risk of death from coronavirus disease[J]. *World J Emerg Med*, 2021, 12(1): 18-23. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2021.01.003.
- [12] 乔莉, 张劲松, 张华忠, 等. 氧合指数对有创机械通气治疗急性呼吸窘迫综合征患者预后的评估 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2014, 23(3): 257-260. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2014.03.005.
- [13] Force A D T, Ranieri V M, Rubenfeld G D, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. *JAMA*, 2012, 307(23): 2526-33. <http://doi.org/10.1001/jama.2012.5669>.
- [14] Brown SM, Grissom CK, Moss M, et al. Nonlinear imputation of Pao₂/Fio₂ from Spo₂/Fio₂ among patients with acute respiratory distress syndrome[J]. *Chest*, 2016, 150(2): 307-313. DOI: 10.1016/j.chest.2016.01.003.
- [15] Festic E, Bansal V, Kor DJ, et al. SpO₂/FiO₂ ratio on hospital admission is an indicator of early acute respiratory distress syndrome development among patients at risk[J]. *J Intensive Care Med*, 2015, 30(4): 209-216. DOI: 10.1177/0885066613516411.
- [16] Apigo M, Schechtman J, Dhliwayo N, et al. Development of a work of breathing scale and monitoring need of intubation in COVID-19 pneumonia[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 477. DOI: 10.1186/s13054-020-03176-y.
- [17] Dobler CC, Murad MH, Wilson ME. Noninvasive positive pressure ventilation in patients with COVID-19[J]. *Mayo Clin Proc*, 2020, 95(12): 2594-2601. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.10.001.
- [18] Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Noninvasive strategies in COVID-19: epistemology, randomised trials, guidelines, physiology[J]. *Eur Respir J*, 2021, 57(2): 2004247. DOI: 10.1183/13993003.04247-2020.
- [19] Lu X, Jiang L, Chen T, et al. Continuously available ratio of SpO₂/FiO₂ serves as a noninvasive prognostic marker for intensive care patients with COVID-19[J]. *Respir Res*, 2020, 21(1): 194. DOI: 10.1186/s12931-020-01455-4.
- [20] Catoire P, Tellier E, de la Rivière C, et al. Assessment of the SpO₂/FiO₂ ratio as a tool for hypoxemia screening in the emergency department[J]. *Am J Emerg Med*, 2021, 44: 116-120. DOI: 10.1016/j.ajem.2021.01.092.
- [21] Martín-Rodríguez F, López-Izquierdo R, Del Pozo Vegas C, et al. Association of prehospital oxygen saturation to inspired oxygen ratio with 1-, 2-, and 7-day mortality[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(4): e215700. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.5700.
- [22] Roca O, Messika J, Caralt B, et al. Predicting success of high-flow nasal cannula in pneumonia patients with hypoxemic respiratory failure: the utility of the ROX index[J]. *J Crit Care*, 2016, 35: 200-205. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.05.022.
- [23] Roca O, Caralt B, Messika J, et al. An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(11): 1368-1376. DOI: 10.1164/rccm.201803-0589OC.
- [24] Colombo SM, Scaravilli V, Cortegiani A, et al. Use of high flow nasal cannula in patients with acute respiratory failure in general wards under intensivists supervision: a single center observational study[J]. *Respir Res*, 2022, 23(1): 171. DOI: 10.1186/s12931-022-02090-x.
- [25] Bruni A, Garofalo E, Procopio D, et al. Current practice of high flow through nasal Cannula in exacerbated COPD patients[J]. *Healthcare*, 2022, 10(3): 536. DOI: 10.3390/healthcare10030536.
- [26] Hu M, Zhou Q, Zheng RQ, et al. Application of high-flow nasal cannula in hypoxemic patients with COVID-19: a retrospective

- cohort study[J]. *BMC Pulm Med*, 2020, 20(1): 324. DOI: 10.1186/s12890-020-01354-w.
- [27] Gianstefani A, Farina G, Salvatore V, et al. Role of ROX index in the first assessment of COVID-19 patients in the emergency department[J]. *Intern Emerg Med*, 2021, 16(7): 1959-1965. DOI: 10.1007/s11739-021-02675-2.
- [28] Prakash J, Bhattacharya PK, Yadav AK, et al. ROX index as a good predictor of high flow nasal cannula failure in COVID-19 patients with acute hypoxemic respiratory failure: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Crit Care*, 2021, 66: 102-108. DOI: 10.1016/j.jcrc.2021.08.012.
- [29] Chandel A, Patolia S, Brown AW, et al. High-flow nasal Cannula therapy in COVID-19: using the ROX index to predict success[J]. *Respir Care*, 2021, 66(6): 909-919. DOI: 10.4187/respcare.08631.
- [30] Vega ML, Dongilli R, Olaizola G, et al. COVID-19 Pneumonia and ROX index: time to set a new threshold for patients admitted outside the ICU[J]. *Pulmonology*, 2022, 28(1): 13-17. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2021.04.003.
- [31] Prower E, Grant D, Bisquera A, et al. The ROX index has greater predictive validity than NEWS2 for deterioration in Covid-19[J]. *EClinicalMedicine*, 2021, 35: 100828. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.100828.
- [32] Zaboli A, Ausserhofer D, Pfeifer N, et al. The ROX index can be a useful tool for the triage evaluation of COVID-19 patients with dyspnoea[J]. *J Adv Nurs*, 2021, 77(8): 3361-3369. DOI: 10.1111/jan.14848.
- [33] Colaianni-Alfonso N, Montiel GC, Castro-Sayat M, et al. ROX index to predict CPAP outcome in hypoxemic respiratory failure due to COVID-19[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(12): 1818-1819. DOI: 10.1007/s00134-022-06913-9.
- [34] Leszek A, Wozniak H, Giudicelli-Bailly A, et al. Early measurement of ROX index in intermediary care unit is associated with mortality in intubated COVID-19 patients: a retrospective study[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(2): 365. DOI: 10.3390/jcm11020365.
- [35] 笪伟, 何媛媛, 王晓波, 等. ROX 指数对新型冠状病毒肺炎患者经鼻高流量湿化氧疗疗效的评估价值[J]. *中华急诊医学杂志*, 2021, 30(5): 588-592. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.05.014.
- [36] Goh KJ, Chai HZ, Ong TH, et al. Early prediction of high flow nasal cannula therapy outcomes using a modified ROX index incorporating heart rate[J]. *J Intensive Care*, 2020, 8: 41. DOI: 10.1186/s40560-020-00458-z.
- [37] Chen DY, Heunks L, Pan C, et al. A novel index to predict the failure of high-flow nasal Cannula in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a pilot study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2022, 206(7): 910-913. DOI: 10.1164/rccm.202203-0561LE.
- [38] Nova A, Rezoagli E, Eronia N, et al. Role of PEEP on the prognostic performance of the ROX index in hypoxemic respiratory failure due to COVID-19: any further gain in outcome prediction?[J]. *Intensive Care Med*, 2023, 49(3): 355-356. DOI: 10.1007/s00134-022-06965-x.
- [39] Balzer F, Menk M, Ziegler J, et al. Predictors of survival in critically ill patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS): an observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1): 108. DOI: 10.1186/s12871-016-0272-4.
- [40] Chen WL, Lin WT, Kung SC, et al. The value of oxygenation saturation index in predicting the outcomes of patients with acute respiratory distress syndrome[J]. *J Clin Med*, 2018, 7(8): 205. DOI: 10.3390/jcm7080205.
- [41] Nozari A, Mukerji S, Vora M, et al. Postintubation decline in oxygen saturation index predicts mortality in COVID-19: a retrospective pilot study[J]. *Crit Care Res Pract*, 2021, 2021: 6682944. DOI: 10.1155/2021/6682944.
- [42] Duan J, Han XL, Bai LF, et al. Assessment of heart rate, acidosis, consciousness, oxygenation, and respiratory rate to predict noninvasive ventilation failure in hypoxemic patients[J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43(2): 192-199. DOI: 10.1007/s00134-016-4601-3.
- [43] Carrillo A, Lopez A, Carrillo L, et al. Validity of a clinical scale in predicting the failure of non-invasive ventilation in hypoxemic patients[J]. *J Crit Care*, 2020, 60: 152-158. DOI: 10.1016/j.jcrc.2020.08.008.
- [44] Valencia CF, Lucero OD, Castro OC, et al. Comparison of ROX and HACOR scales to predict high-flow nasal cannula failure in patients with SARS-CoV-2 pneumonia[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 22559. DOI: 10.1038/s41598-021-02078-5.
- [45] Alberdi-Iglesias A, Martín-Rodríguez F, Ortega Rabbione G, et al. Role of SpO₂/FiO₂ ratio and ROX index in predicting early invasive mechanical ventilation in COVID-19. A pragmatic, retrospective, multi-center study[J]. *Biomedicine*, 2021, 9(8): 1036. DOI: 10.3390/biomedicine9081036.
- [46] Bickler PE, Feiner JR, Lipnick MS, et al. "silent" presentation of hypoxemia and cardiorespiratory compensation in COVID-19[J]. *Anesthesiology*, 2021, 134(2): 262-269. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003578.
- [47] Tavčar P, Potokar M, Kolenc M, et al. Neurotropic viruses, astrocytes, and COVID-19[J]. *Front Cell Neurosci*, 2021, 15: 662578. DOI: 10.3389/fncel.2021.662578.
- [48] Wiles MD, El-Nayal A, Elton G, et al. The effect of patient ethnicity on the accuracy of peripheral pulse oximetry in patients with COVID-19 pneumonitis: a single-centre, retrospective analysis[J]. *Anaesthesia*, 2022, 77(2): 143-152. DOI: 10.1111/anae.15581.
- [49] Pinzón DAP, Gomez CCV, Gamica JAB, et al. Usefulness of non-invasive methods for the monitoring of oxygenation parameters in patients with COVID-19 associated acute respiratory distress syndrome (ARDS)[J]. *Eur J Intern Med*, 2022, 98: 113. DOI: 10.1016/j.ejim.2022.01.033.

(收稿日期: 2023-07-21)

(本文编辑: 何小军)