·协和麻醉毕业后教育探索专栏·

面向自助式模拟教学的麻醉诱导过程性指标设计与可行性探索

特日格勒　朱波　张秀华　陈绍辉
中国医学科学院　北京协和医学院　北京协和医院麻醉科，北京　100730
通信作者：朱波，Email：zhubo@pumch.cn

【摘要】 目的　探究应用于自助式模拟教学系统的麻醉诱导过程性指标设计及其可行性，旨在为提高麻醉医师的自主学习和培训质量提供高效的信息化教学工具。**方法**　利用电子病历大数据中麻醉诱导前后收缩压、舒张压和心率这3组血流动力学特征的变异系数，设计麻醉诱导过程性指标，旨在刻画麻醉管理的质量效果。设计调查问卷，并邀请了23位主治及以上级别的麻醉医师对30组案例进行麻醉效果评价，以探讨所设计指标的可行性及其可能的未来应用。数据分析采用SPSS 24.0软件，进行了ANOVA方差分析与相关性分析，检验水准设定为α=0.05。**结果**　根据麻醉诱导过程性指标值所在区间，划分为稳定组、较稳定组、一般稳定组、较不稳定组、不稳定组共5个组别。麻醉医师的评分在组间差异具有统计学意义（F=250.66，P<0.001），这表明综合变异系数（integrated coefficient of variation，ICV）组别对于平稳程度的刻画具有区分性。设计的指标值与麻醉医师的平均评分显著相关，二者的皮尔逊相关系数达到0.886（P<0.05），这进一步说明了指标与麻醉医师的判断具有高度一致性。**结论**　本文设计的麻醉诱导过程性指标是评估麻醉效果稳定性的有效指标，能够应用于自助式模拟教学系统，为促进麻醉医师的培训和学习提供了新的思路和方法。

【关键词】 麻醉医师；　模拟教学；　麻醉诱导；　麻醉质量；　变异系数
【中图分类号】 R614.2
基金项目：国家社会科学基金教育学青年课题（面向围术期精细化质量控制的麻醉病历大数据重构与医师自助式模拟教学研究，CCA220321）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240219-01901

A study of design of a process indicator for anesthesia induction and its feasibility in self-directed simulation-based teaching

Te Rigele, Zhu Bo, Zhang Xiuhua, Chen Shaohui
Department of Anesthesiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China
Corresponding author: Zhu Bo, Email: zhubo@pumch.cn

【Abstract】 Objective　To investigate the design of a process indicator for anesthesia induction and its feasibility for a self-directed simulation-based teaching system, and to provide an efficient information technology-based teaching tool that enhances the quality of independent learning and training for anesthesiologists. **Methods**　Big data derived from electronic medical records were used for the design of the process indicator. Specifically, the design incorporated the coefficients of variations for three hemodynamic features, namely, systolic pressure, diastolic pressure, and heart rate after anesthesia induction. This approach aimed to characterize the quality of anesthesia management. A survey questionnaire was designed and administered to 23 anesthesiologists-in-charge or those with higher positions. These anesthesiologists evaluated the outcomes of anesthesia in 30 cases, thereby investigating the feasibility of the proposed indicators and potential future applications. Analysis of variance and correlation analysis were performed using SPSS 24.0 software, with a significance level set at α=0.05. **Results**　Based on the range of values for the process indicator of anesthesia induction, five groups were defined: stable, relatively stable, moderately stable, relatively unstable, and unstable. There were significant intergroup differences in the anesthesiologists' ratings, with an F value of 250.66 (P<0.001), indicating that the integrated coefficient of variation (ICV) effectively discriminated stability levels between groups. The designed indicator showed a significant correlation with the average ratings of the anesthesiologists, with a Pearson correlation coefficient of 0.886 (P<

0.05). This further indicated the great consistency between the proposed indicator and anesthesiologists' judgments. **Conclusions** The process indicator for anesthesia induction proposed in this study serves as a feasible measure for assessing the stability of anesthesia. It can be applied in a self-directed simulation-based teaching system, offering new insights and methods for promoting the training and learning of anesthesiologists.

【**Key words**】 Anesthesiologists; Simulation-based teaching; Anesthesia induction; Anesthesia quality; Coefficient of variation

Fund program: National Social Science Fund of China for Education Research, Youth Project (Research on big data reconstruction of anesthetic medical records and self-reliant simulative teaching of anesthesiologists for perioperative precise quality control, CCA220321)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240219-01901

面对日益增长的临床医疗服务需求与麻醉医师数量严重不足的困境，麻醉医师的教学和培训过程日益受到重视，形成了包括病例分析教学、教师标准化病人教学、不良事件回顾分析教学等在内的多种方法。统计学研究已证实，病例分析教学法与常规理论授课相结合，能够有效提升麻醉教学质量及学生的理论实践能力，在基础知识掌握、学习兴趣激发、自学能力增强、知识范围拓展、分析问题能力提升等多个维度均产生了积极影响[1]。教师标准化病人教学方法，通过培训标准化病人，能够更逼真地模拟麻醉临床工作的各类场景，促使学生主动培养临床思维，解决遇到的临床问题，从而显著提升麻醉科临床教学的效果，尤其是在提高临床实践能力方面成效显著[2]。不良事件回顾分析教学模式对实习生在防范不良事件发生及强化实际操作能力培养方面具有一定价值。研究指出，采用该教学模式的试验组在评价成绩和操作考试成绩上均明显优于对照组[3]。然而，临床麻醉业务对知识储备的要求高，经验积累速度相对较慢，加之相关临床教学工具支持不足，导致麻醉医师的学习曲线较长。尽管以往的教学方法，如通过分析、模拟、回顾麻醉病历等，已取得了一定的教学效果，但受限于学员可获取的麻醉病历数量和质量，麻醉医师难以开展系统性、连续性的自主学习。

随着大数据时代的到来，电子病历数据逐渐普及并广泛应用于临床手术风险评估中[4]，这对贯穿整个手术过程的麻醉围术期管理尤为重要。例如，麻醉信息系统的应用，使得麻醉相关医疗差错发生率从 0.94% 下降至 0.02%，有效避免了医师的用药错误，极大地提升了麻醉安全管理质量[5]。充分运用麻醉信息管理系统提供的数字化资源，使得临床麻醉质量控制的信息化、数字化、智能化精准管理成为可能[6]，特别是在麻醉权限质控、围术期不良事件上报及国家卫健委麻醉质量控制中心 17 项质控指标数据的提取方面，已取得了显著成效。

然而，尽管当前麻醉数据库已逐步建立[7]，但大多数仍停留在纸质文件的电子化阶段，或仅利用麻醉结束后的相关指标从整体上对医院麻醉质量进行考核与评估，而针对每台手术记录的详细麻醉过程数据却未能充分应用于教学过程。相对于较为成熟的术后评价体系，目前仍缺乏有效的术中评价指标[8]，这在一定程度上限制了麻醉过程质量管理及相关教学体系的发展。而电子病历大数据的引入，则能为这些指标的构建及预测分析提供强有力的支撑。

因此，设计并提炼麻醉诱导过程性指标，并构建相应的教学系统，对于系统化地提供麻醉安全管理指导[9]，增强医师学习效果，具有重要的研究意义和应用价值。本研究旨在设计麻醉诱导过程性指标，并分析其可行性，以期为后续的麻醉医师自助式模拟教学研究提供可靠的案例数据标签资源。在此基础上，通过强化术中麻醉质量管理意识，为提高麻醉医师的自主学习和培训质量提供高效的信息化教学工具。

1 研究方法

1.1 伦理审核

本研究已通过中国医学科学院北京协和医院伦理审查，伦理批件号为 I-23PJ746。本文所涉及的基础数据均源自北京协和医院麻醉信息管理系统，问卷数据则由北京协和医院麻醉医师提供。所有数据均已通过匿名化处理，以确保参与者的身份信息得到保护。

1.2 麻醉诱导过程性指标设计

在麻醉诱导过程中，患者插管后的收缩压、舒张压、心率等生理指标的变化，能够在一定程度上反映麻醉质量。高质量的麻醉管理旨在维持血流动力学稳定性，以避免对患者造成不必要的风险，以及由此引发的麻醉用药频繁调整和循环的持续波动。因此，本研究采用插管前后血流动力学特征的变异系数（coefficient of variation，CV），设计并构建了麻醉诱导过程性指标，具体如公式（1）所示。

$$y = \sum_{i=1}^{N} w_i \left(x_i^{SD} / x_i^{\text{Mean}} \right) \quad (1)$$

其中，y 为所设计的麻醉诱导过程性指标值；x_i^{Mean} 与 x_i^{SD} 为第 i 个血流动力学特征序列的均值与标准差；w_i 为第 i 个血流动力学特征的权重；N 为血流动力学特征数量，本文中取 3，即收缩压、舒张压和心率。

针对每台手术插管前后的时间范围，收集并存储患者的收缩压、舒张压和心率数据，每分钟测量 6 次，从而形成 3 组血流动力学特征序列。通过计算这些序列相对于各自平均值的变异程度，CV 能够消除不同序列中因尺度和维度差异导致的不利影响。为了全面整合不同血流动力学特征的 CV 值，本文基于信息熵理论设置不同血流动力学参数的权重，使得在序列集更均匀时生成较小的权重。接下来，将 3 个血流动力学特征序列中计算得到的 CV 值进行合并，并经过标准化处理，得到综合变异系数（integrated coefficient of variation，ICV）值。该 ICV 值被用作麻醉诱导过程性指标，以刻画麻醉管理的质量效果。

1.3　麻醉效果分组

为验证麻醉诱导过程性指标 ICV 的可行性，研究者设计调查问卷，并邀请了 23 位主治及以上级别的麻醉医师对 30 组案例进行麻醉效果评价。根据 ICV 值的不同区间，这 30 组案例被划分为 5 个组别：稳定组（0.0~0.2]、较稳定组（0.2~0.4]、一般稳定组（0.4~0.6]、较不稳定组（0.6~0.8]、不稳定组（0.8~1.0]。每个组别包含 6 个案例。麻醉医师需基于血压和心率在插管前后的波动情况，对麻醉效果的稳定程度进行 5 级评价。

如图 1 所示为麻醉诱导过程性指标示例。其中，案例 1 在插管前后的血流动力学特征更为平稳，计算得到的 ICV 指标值为 0.079，属于稳定组；而案例 2 的 ICV 指标值为 0.988，其血流动力学特征呈现出显著的波动性，属于不稳定组。

1.4　统计学方法

本文采用 SPSS 24.0 软件对收集的数据进行处理，检验水准 α=0.05。采用 ANOVA（方差分析）方法，分析不同 ICV 组别对每位麻醉医师评分情况的影响，旨在判断麻醉医师对不同组别的评分是否存在显著差异。每位麻醉医师对 30 组案例的评分构成一个评分序列。本文进一步通过 Kappa 系数分析 ICV 评价与人工评价之间的一致性，并针对不同麻醉医师的评分序列、平均分序列及 ICV 值序列进行了皮尔逊相关性分析。

2　结果

2.1　方差分析结果

麻醉医师的评价结果如图 2 所示，其中案例所归属的 ICV 组别随案例编号的增大而增大，不同颜色代表医师对相应案例的评分情况。麻醉医师评分方差分析结果如表 1 所示。结果显示，针对不同 ICV 组别，麻醉医师的评分在组间的差异有统计学意义（F=250.66，P<0.001），这表明 ICV 组别对于平稳程度的刻画具有区分性。表 2 列出了各组别间两

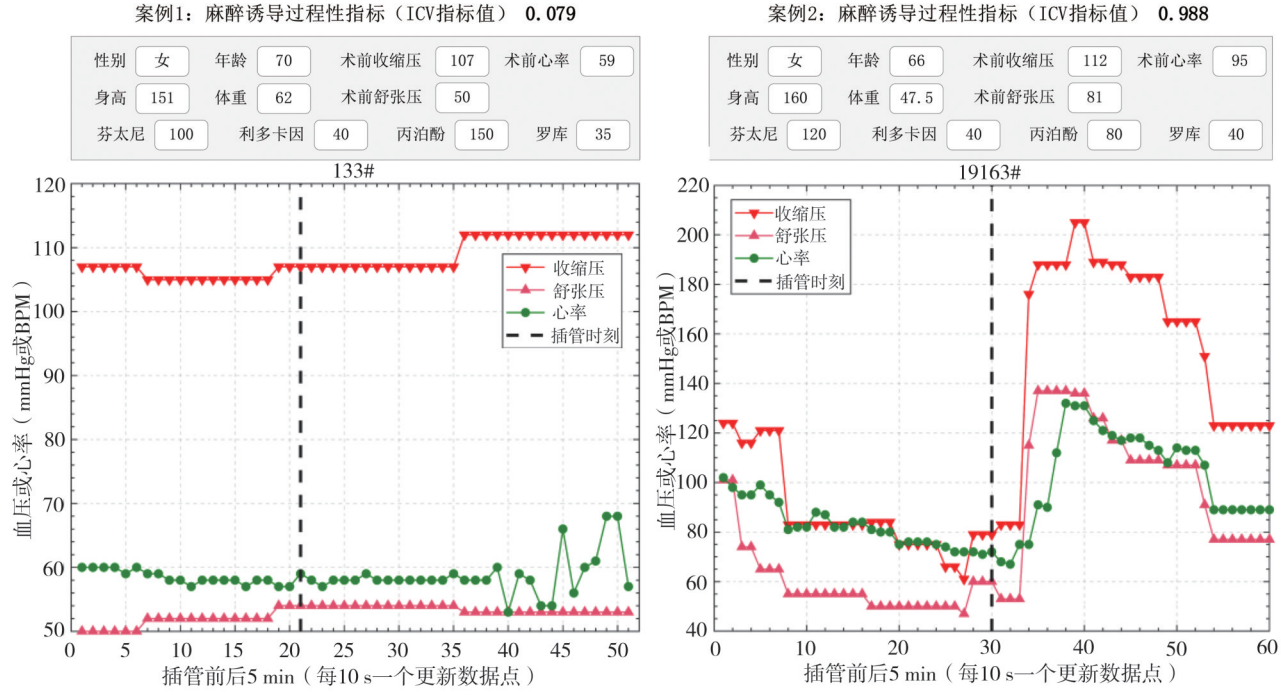


图 1　麻醉诱导过程性指标示例

两比较的结果，其中仅组别4（较不稳定组）和组别5（不稳定组）之间的差异比较无统计学意义，这反映出麻醉医师在评价不稳定程度较高的组别时存在一定的模糊性。

表1　麻醉医师评分方差分析结果

项目	稳定组	较稳定组	一般稳定组	较不稳定组	不稳定组
评分均值	1.48	2.46	3.83	4.13	4.21
评分标准差	0.66	0.93	0.92	0.94	0.97
*F*值（*P*值）	250.66（<0.001）				

表2　麻醉医师评分多重比较结果

组间对比	平均值差值	*P*值	95%CI下限	95%CI上限
组别1-组别2	-0.986[a]	<0.001	-1.196	-0.775
组别1-组别3	-2.348[a]	<0.001	-2.559	-2.137
组别1-组别4	-2.652[a]	<0.001	-2.863	-2.441
组别1-组别5	-2.732[a]	<0.001	-2.943	-2.521
组别2-组别3	-1.362[a]	<0.001	-1.573	-1.152
组别2-组别4	-1.667[a]	<0.001	-1.878	-1.456
组别2-组别5	-1.746[a]	<0.001	-1.957	-1.536
组别3-组别4	-0.304[a]	0.005	-0.515	-0.094
组别3-组别5	-0.384[a]	<0.001	-0.595	-0.173
组别4-组别5	-0.080[a]	0.458	-0.131	0.291

注：a，平均值差值的显著性水平为0.05；组别1：稳定组，组别2：较稳定组，组别3：一般稳定组，组别4：较不稳定组，组别5：不稳定组。

2.2　相关性分析结果

对ICV划分组别与医师评价组别进行Kappa系数分析，获得的Cohen's kappa系数为0.293（95%CI为0.246~0.340），*P*<0.001，表明二者之间存在一定的一致性。鉴于当前基于连续变量ICV值划分组别存在主观性，且相较于精确划分平稳程度类别，把握其趋势显得更为重要，因此进一步进行了相关性分析。

麻醉医师评分与ICV值的相关性分析结果如图3所示。其中，N1~N23代表不同麻醉医师的评分，Mean表示评分平均值。从图中可以看出，尽管不同麻醉医师间的评分存在一定差异，但整体上呈现出较好的相关性。同时，本研究设计的麻醉诱导过程性指标ICV值与麻醉医师的平均评分显著相关，ICV与平均评分之间的皮尔逊相关系数高达0.886（*P*<0.05）。这表明，所设计的指标与麻醉医师的判断具有一致性的趋势，是评估麻醉效果稳定性的一个可行且有效的指标。

2.3　模拟教学系统

如图4所示，患者的基本情况[性别、年龄、身高、体重、体质指数（body mass index，BMI）、过往病史等]、生理状态指标（术前收缩压、术前舒张压、术前心率等）、医师初始用药量（芬太尼、利多卡因、丙泊酚、罗库溴铵等）均可能导致患者插管后生理状

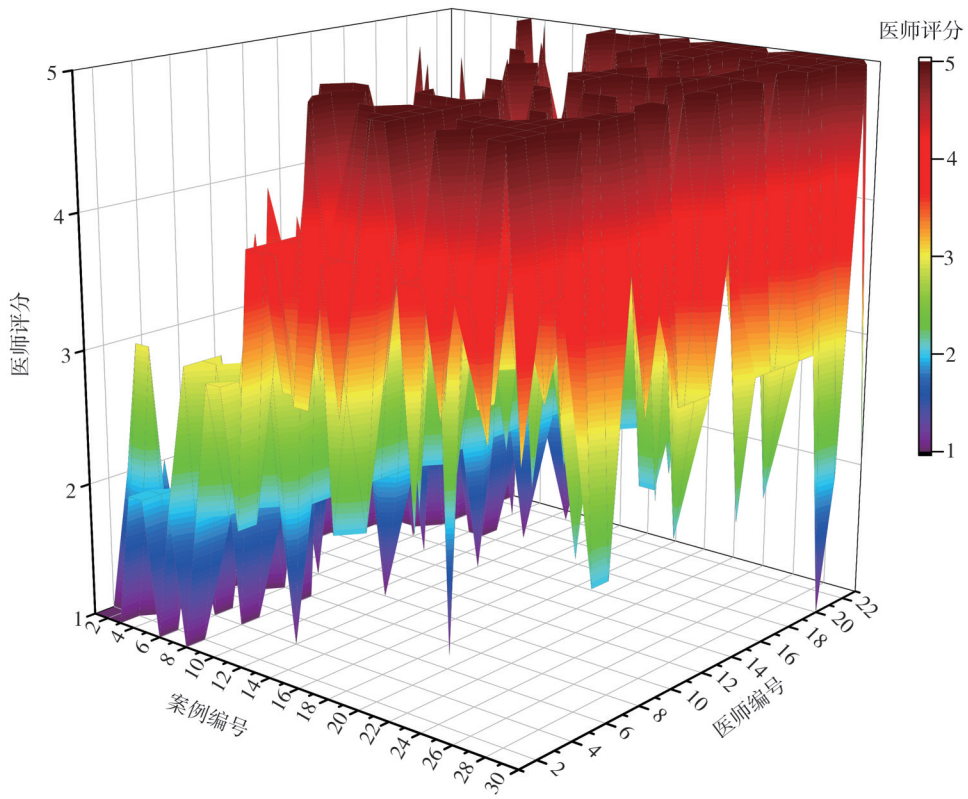


图2　麻醉医师评价结果

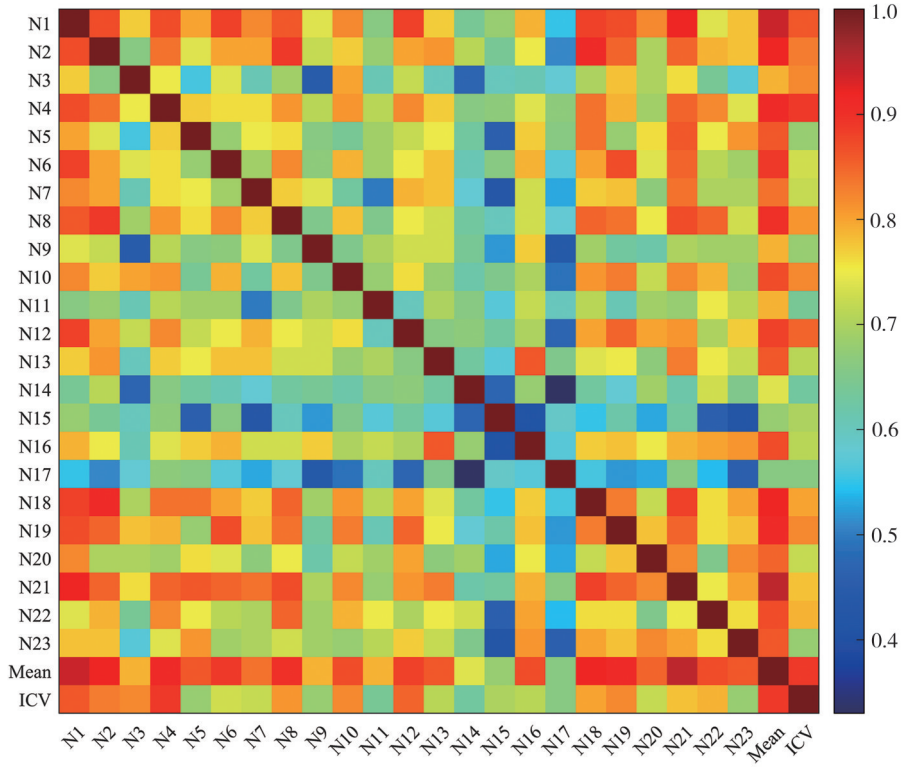


图3　麻醉医师评分与ICV值相关性分析

态变化的差异，从而影响麻醉过程的质量。因此，将上述多维度要素作为输入，以麻醉诱导过程性指标作为输出，能够建立可靠的预测模型。麻醉医师可通过自定义案例输入相关信息，获得搭载该预测模型的自助式模拟教学系统对麻醉效果的即时反馈。该系统能够为麻醉医师的业务能力自主学习培训及快速迭代提升提供信息化的教学工具，从而支持教学系统范式的革新和完善。

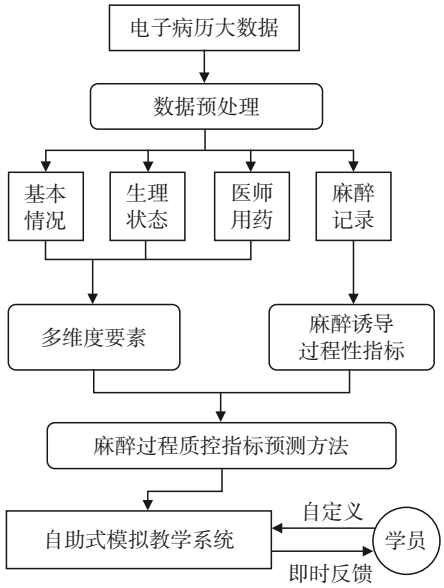


图4　自助式模拟教学系统实施框架

3　讨论

3.1　量化指标支撑教学系统革新

针对电子病历大数据在教学工作中缺乏充分应用、麻醉医师业务经验积累速度较慢、围术期质量管理意识仍有待提升等现状，本文设计了表征麻醉过程质量管理的过程性量化指标，并验证了其可行性。这些麻醉诱导过程性指标不仅能够为自助式模拟教学系统提供可靠的案例数据标签资源，还为基于数据驱动的数据库重构与预测模型构建奠定了坚实基础。

在以往研究中，研究者已通过手术患者数据信息的有效训练，建立了随机森林模型，对围术期手术麻醉患者的手术风险及并发症进行了良好的预测，准确率达到87.00%[10]。随着机器学习[11]、人工智能[12]及深度学习方法[13]的应用，相关指标的预测准确率仍有进一步提升的空间。因此，本文提出的模型在有效量化麻醉诱导过程性指标的基础上，可支撑基于数据驱动的评估和预测模型的搭建，进而构建面向精细化麻醉过程质量管理的自助式模拟教学系统，以增强麻醉教学的临床适用性与自主学习的便捷性。

3.2　量化指标赋能高质量临床教学

在实际的临床工作中，低年资住院医师在获得

患者基本信息和生理状态信息后，可根据自身经验或在上级医师的指导下，输入合适的药物剂量。利用本文所设计的指标及预测方法，可有效评估预设的药物剂量是否会对患者生命体征引起较大波动，从而及时调整药物剂量或给药策略，在临床实际操作中具有重要的指导和参考作用。

作为教学软件，教学人员可以根据住院医师的成长曲线，提供特定的病例信息，并考查住院医师在了解患者基本信息的情况下，给予的麻醉诱导剂量及围术期处理是否合理、是否具有逻辑性和有效性。本文所述的自助式模拟教学系统，基于真实的电子病历大数据构建，能够模拟给予一次药物干预后的指标变化效果，学员可根据即时反馈对同一病例反复进行解析、复盘和调整，从而为强化训练和提升学员的麻醉管理水平提供个性化方案。

在麻醉管理质量方面，通过在术前向系统输入预定的麻醉诱导剂量，可以预先评估可能发生的不良事件，如诱导后血压过高或过低等不稳定状态。特别是在面对老年病例、罕见病例及特殊病例时，基于不断完善的电子病历大数据，本文提出的模型方法能够为临床医师提供前瞻性的警示，进而“以教促改”，提高麻醉过程的质控意识。

3.3 局限性及未来展望

基于本文设计的麻醉诱导过程性指标，研究者不仅可以充分利用电子病历大数据[14]，为学员提供真实且海量的麻醉效果评估案例，同时能够支撑以数据驱动的方式构建相关指标的预测模型，并建立麻醉医师自助式模拟教学系统，以此促进麻醉医师业务能力的自主学习、培训及快速迭代提升。

本文研究中收集的专业医师评估问卷数量相对有限，未来可通过自助式模拟教学系统的实际电子化应用和推广，迅速增加多中心样本量，以进一步提升研究结果的可靠性。此外，目前所涉及的案例主要以美国麻醉医师协会（American Society of Anesthesiologists，ASA）评分为1~2级的病人为主，也缺乏对不同手术类型可能带来的潜在影响的充分考量。在后续研究中，可以进一步扩展多样化案例，并细化影响因素的分析，从而推动研究成果在教学系统和临床实践中的有效落地与应用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 特日格勒、朱波：提出论文构思、撰写论文；朱波、张秀华、陈绍辉：项目指导、审订论文

参考文献

[1] 邓雪峰，邓明瑞. 病例分析教学法联合常规教学在麻醉教学中的应用效果及对理论、实践能力的影响研究[J]. 中国高等医学教育，2020(10)：104-105. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2020.10.056.

[2] 滕文娇，吴秀英. 教师标准化病人在麻醉临床教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2020，19(3)：324-328. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20190714-00076.

[3] 马海平，侯天亮，郭海，等. 不良事件回顾性分析在麻醉科实习生教学中的实践与探索[J]. 麻醉安全与质控，2021，5(2)：93-96. DOI: 10.3969/j.issn.2096-2681.2021.02.006.

[4] Hill BL, Brown R, Gabel E, et al. An automated machine learning-based model predicts postoperative mortality using readily-extractable preoperative electronic health record data [J]. Br J Anaesth, 2019, 123(6): 877-886. DOI: 10.1016/j.bja.2019.07.030.

[5] 唐国民. 利用麻醉信息系统提高麻醉质量安全[J]. 中医药管理杂志，2020，28(3)：77-78. DOI: 10.16690/j.cnki.1007-9203.2020.03.036.

[6] 章蔚，柴小青，谢言虎. 麻醉信息管理系统在围术期质量控制中的作用[J]. 麻醉安全与质控，2019，3(1)：7-13. DOI: 10.3969/j.issn.2096-2681.2019.01.002.

[7] 黑子清，陈柄城，刘子锋，等. 麻醉科围术期专科数据库的建设和应用[J]. 中国数字医学，2021，16(1)：13-16，22. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7571.2021.01.003.

[8] Sanders RD, Hughes F, Shaw A, et al. Perioperative Quality Initiative consensus statement on preoperative blood pressure, risk and outcomes for elective surgery [J]. Br J Anaesth, 2019, 122(5): 552-562. DOI: 10.1016/j.bja.2019.01.018.

[9] Patriarca R, Di Gravio G, Costantino F, et al. Systemic safety management in anesthesiological practices [J]. Saf Sci, 2019, 120: 850-864. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.08.021.

[10] 范双炽. 基于大数据挖掘技术建立围手术期风险评估系统[J]. 中国卫生标准管理，2020，11(21)：11-15. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9316.2020.21.004.

[11] Gambus PL, Jaramillo S. Machine learning in anaesthesia: reactive, proactive... predictive! [J]. Br J Anaesth, 2019, 123(4): 401-403. DOI: 10.1016/j.bja.2019.07.009.

[12] van der Ven WH, Veelo DP, Wijnberge M, et al. One of the first validations of an artificial intelligence algorithm for clinical use: the impact on intraoperative hypotension prediction and clinical decision-making [J]. Surgery, 2021, 169(6): 1300-1303. DOI: 10.1016/j.surg.2020.09.041.

[13] Fritz BA, Cui Z, Zhang M, et al. Deep-learning model for predicting 30-day postoperative mortality [J]. Br J Anaesth, 2019, 123(5): 688-695. DOI: 10.1016/j.bja.2019.07.025.

[14] 杨鑫禹，牟冬梅，彭浩，等. 基于数据特征的电子病历数据驱动临床决策模型研究[J]. 情报理论与实践，2022，45(5)：181-188. DOI: 10.16353/j.cnki.1000-7490.2022.05.023.

（收稿日期：2024-02-19）

（本文编辑：邬小梅）