http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202611.00042
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

人工智能辅助气管插管系统在麻醉科规培医师气管插管培训中的应用效果分析[1]

董麦娟，朱耀民
西安交通大学第一附属医院麻醉科，陕西西安 710061

[摘要]目的 探讨人工智能（artificial intelligence，AI）辅助气管插管系统在麻醉科规培医师气管插管教学中的应用效果。**方法** 选取2025年7月至2026年6月在西安交通大学第一附属医院麻醉科接受住院医师规范化培训的60名一年级专业学位硕士研究生，采用随机数字表法分为试验组（E组）和对照组（C组），每组30名。两组接受相同的理论授课和教师示范，E组采用AI气管插管系统进行训练，C组在常规模拟人上训练并接受教师指导。比较两组理论考核、实践操作考核及教学效果问卷评价结果。**结果** 两组学员性别构成和年龄比较差异均无统计学意义（$P>0.05$）。两组理论考核选择题、问答题及总分成绩比较差异均无统计学意义（$P>0.05$）。E组实践操作评分高于C组（$P<0.01$）。E组对教学方法满意及认为学习兴趣提升、知识点掌握和实操能力提升的学员比例均高于C组（均$P<0.01$）。**结论** AI辅助气管插管系统用于麻醉科规培医师培训，可提高即时模拟操作成绩，改善教学满意度和学习体验，可作为传统带教的补充。
[关键词]人工智能；麻醉学；住院医师规范化培训；气管插管；模拟教学
[中图分类号] R614.2　　[文献标识码] A

10.12201/bmr.202611.00042V1

住院医师规范化培训是衔接医学教育与临床实践的重要环节。气管插管是建立人工气道、维持氧合与通气的关键操作，也是麻醉科规培医师必须掌握的核心技能。该技术要求学员在有限时间内完成气道评估、喉镜置入、声门显露、导管置入及位置确认等连续步骤，操作不当可能造成牙齿及气道损伤，甚至危及患者安全。传统教学主要依赖教师示范、常规模拟训练和临床带教，容易受到临床操作机会、带教资源及反馈及时性的限制。AI辅助模拟教学在不增加患者风险的前提下可提供反复练习机会，已在医学教学中显示出较好的应用价值与教学效果[1-2]。近年来，AI与虚拟现实、增强现实及传感技术逐步融合，为临床技能教学提供了可视化引导、过程监测和即时反馈等新型手段[3-5]。然而，其在麻醉科规培医师气管插管教学中的应用价值仍待验证。本研究将AI辅助气管插管系统应用于麻醉科初学规培医师的气管插管培训，评价其教学效果，为优化麻醉科技能培训提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2025年7月至2026年6月在西安交通大学第一附属医院麻醉科接受住院医师规范化培训的60名学员。所有学员均为一年级专业学位硕士研究生，此前未接受过系统的气管插管知识与技能培训。采用随机数字表法将学员分为试验组（E组）和对照组（C组），每组30名。所有入选学员均知悉研究内容并签署知情同意书。为兼顾教学公平，本研究全部考核结束后，C组学员接受与E组相同内容和课时的AI气管插管系统补充培训。

1.2 教学方法

两组教学均包括理论授课与实践操作。带教教师均具有10年以上临床工作经验和3年以上带教经验，均于授课前统一备课。

1.2.1 理论授课

两组理论教学内容与课时相同，共4课时，主要包括气道解剖、气管插管适应证与禁忌证、插管前评估、操作流程及注意事项等。

1.2.2 实践操作

实践训练前，带教教师分别在相应训练系统上完成2例规范示范：E组的示范在AI气管插

1**通信作者：**朱耀民，电子信箱：251163955@qq.com

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202611.00042
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

管系统上进行，C 组的示范在常规模拟人上进行，随后两组按各自教学方式训练，两组教学时长均为 4 课时。E 组采用 AI 气管插管系统进行训练：学员使用智能化气管插管喉镜在智能实体模型上操作，虚拟画面与实操过程实时同步，同步显示气道内部结构、气道剖面及导管行进路径；系统动态标注挑起会厌和显露声门的过程，在关键步骤提供专业操作视频、透明化解剖动画以及语音、文字和图标提示。实体模型内置传感器，可模拟不同组织的阻力，并识别食管插管及牙齿、口唇受压或损伤等不当操作，触发相应报警。学员还可选择特定步骤进行分步、反复练习。C 组在常规模拟人上进行操作训练，进行常规操作训练：学员依次在模拟人上完成气管插管全程操作，带教教师现场观察，围绕气道评估、体位摆放、喉镜置入、声门显露、导管置入及位置确认等关键步骤逐一讲解，发现不规范操作立即纠正并示范；学员可针对薄弱环节在教师指导下分步反复练习，训练过程中教师全程答疑，每组训练结束后集中点评并总结。

1.3 培训质量评价

全部课程结束后，由培训考核组对两组学员进行统一考核，内容包括理论知识、实践操作和教学效果评价。

1.3.1 理论知识考核

理论试卷由科室 2 名高级职称医师命题，满分 100 分，题型包括选择题和问答题，各占 50 分，内容涵盖气道解剖、操作前准备、插管技术、气管导管置入与固定以及插管后处理等。选择题按标准答案评分；问答题按统一评分细则由 2 名高级职称医师独立评分，取平均分作为问答题成绩。

1.3.2 实践操作考核

操作培训结束后，由同一考核组在气管插管仿真考核模块上对所有学员进行统一评分，考核组不知晓分组情况。评分标准由考核组参考客观结构化临床技能考核的理念讨论制定，并在正式考核前经预考核统一评分尺度。评分采用 5 分制：1 分为极差或操作失败，包括插管失败、导管误入食管、粗暴操作、明显的牙齿或气道损伤动作、操作逻辑混乱或未完成导管位置确认；2 分为不合格，关键步骤存在明显缺陷，需 2 次及以上尝试方可成功，或存在喉镜使用错误、声门显露不良、组织损伤动作、位置确认不完善、明显超时等安全隐患；3 分为合格，基本步骤完整并可完成插管，允许轻微调整或二次尝试，存在 1～2 处明显不规范操作，但无严重损伤且导管最终位置正确；4 分为良好，一次插管成功，操作整体规范，仅有轻微瑕疵，无明显组织损伤，导管位置确认方法正确且完成较快；5 分为优秀，操作流畅、思路清晰，预充氧、体位、喉镜手法、声门显露、导管置入及位置确认均规范，一次插管成功，无牙齿及口唇损伤动作，操作时间＜30 s，并体现患者关怀和无菌观念，可通过呼气末二氧化碳波形监测、听诊等方法确认导管位置。

1.3.3 教学效果评价

采用匿名问卷调查两组学员对教学方法的反馈。问卷共 4 个条目，分别为教学方法满意、学习兴趣提升、知识点掌握和实操能力提升。各条目均采用 4 级评价：‘教学方法满意’分为非常满意、较满意、一般、不满意；‘学习兴趣提升’和‘实操能力提升’分为非常明显、较明显、一般、无提升；‘知识点掌握’分为完全掌握、基本掌握、一般、未掌握。统计时将非常满意（非常明显、完全掌握）与较满意（较明显、基本掌握）合并，计算满意（提升、掌握）率。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。计量资料先经 Shapiro-Wilk 检验判断其正态性，符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以例数（百分数）［n（%）］表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。均采用双侧检验，P＜0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组规培学员一般资料比较

本研究共纳入规培学员 60 名，E 组和 C 组各 30 名。两组性别构成和年龄比较差异均无统计学意义（P＞0.05），具有可比性。见表 1。

表 1 两组规培学员一般资料比较

组别	性别（例）		年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）
	男	女	
E 组（n=30）	17	13	22.2±3.5

10.12201/bmr.202611.00042V1

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202611.00042
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

C 组（*n*=30）	19	11	22.4±3.2
χ^2/t 值	0.278		0.231
P 值	0.598		0.818

2.2 两组规培学员考核成绩比较

两组理论考核的选择题、问答题及总分成绩比较差异均无统计学意义（$P>0.05$），E 组实践操作评分高于 C 组，差异有统计学意义（$P<0.01$）。见表 2。

表 2 两组规培学员考核成绩比较（分，$\bar{x}\pm s$）

组别	理论考核			实践操作
	选择题	问答题	总分	
E 组（*n*=30）	47.00±2.20	43.63±2.20	90.60±3.20	4.57±0.68
C 组（*n*=30）	46.50±2.60	43.37±2.30	90.13±3.40	3.57±0.97
t 值	0.804	0.447	0.551	4.624
P 值	0.425	0.656	0.584	＜0.01

2.3 两组学员教学效果评价比较

E 组对教学方法满意及认为学习兴趣提升、知识点掌握和实操能力提升的学员比例（均为较满意或较明显及以上者所占比例）均高于 C 组，差异均有统计学意义（均 $P<0.01$）。见表 3。

表 3 两组规培学员教学效果评价比较

评价内容	组别	非常满意	较满意	一般	不满意	满意率［*n*（%）］	χ^2 值	*P* 值
教学方法满意	E 组（*n*=30）	18	11	1	0	29（96.67）	11.882	＜0.01
	C 组（*n*=30）	5	13	9	3	18（60.00）		
学习兴趣提升	E 组（*n*=30）	16	12	2	0	28（93.33）	12.273	＜0.01
	C 组（*n*=30）	4	12	11	3	16（53.33）		
知识点掌握	E 组（*n*=30）	15	12	3	0	27（90.00）	11.429	＜0.01
	C 组（*n*=30）	4	11	12	3	15（50.00）		
实操能力提升	E 组（*n*=30）	20	10	0	0	30（100.00）	12.000	＜0.01
	C 组（*n*=30）	6	14	8	2	20（66.67）		

注：各项数值为学员人数；满意率=（非常满意+较满意）人数占本组人数的百分数。“学习兴趣提升”和“实操能力提升”条目的 4 级评价分别为非常明显、较明显、一般、无提升，“知识点掌握”条目为完全掌握、基本掌握、一般、未掌握。

3 讨论

气管插管是一项复杂的临床操作，要求学员在短时间内将外部器械运动与内部解剖结构变化准确对应。传统教学中，初学者可观察的气道视野有限，对会厌位置、声门显露和导管方向的理解较为抽象，同时受临床病例数量限制，难以在短期内熟练掌握该技能。本研究中，在理论授课内容、课时及考核标准完全一致的情况下，应用 AI 辅助气管插管系统培训的 E 组学员实践操作考核得分高于采用常规模拟人训练的 C 组［（4.57±0.68）分比（3.57±0.97）分，$P<0.01$］，而两组理论考核成绩比较差异均无统计学意义，提示 AI 系统较单纯模拟人训练具有明确优势，有助于提升规培医师的实践操作能力，促进气管插管理论知识向操作技能转化。与常规模拟人相比，该系统可同步呈现实体操作、气道剖面和导管行进路径，使操作过程更加直观，有助于学员建立“外部手法—内部结构—操作结果”的空间联系，将理论知识转化为操作时的视觉线索，提高动作的规范性和连贯性。Sun 等[6]的分析证实了技术增强型气道模拟教学在知识与技能培养方面的价值；Zhao 等[7]研发的智能增强现实训练框架以及 Ryason 等[8]的虚拟气道模拟研究，也分别从实时可视化和技能迁移角度支持了此类技术的应用前景。此外，与依赖教师现场观察、反馈相对滞后的传统模拟训练不同，该系统内置传感器可识别食管插管以及牙齿、口唇受压等不当操作并进行即时警示，使学员在关注插管成功的同时重视组织保护和动作轻柔。相关模拟研究提示，应关注插管过程中器械对口腔结构施加的作用力[9]，持续、反复训练则有助于初学者逐步掌握气管插

10.12201/bmr.202611.00042V1

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202611.00042
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

管技能[10]。Shah 等[11]的研究显示，模拟气道管理培训所获技能可有效迁移至临床实际操作，上述证据与本系统的传感和报警设计相符，提示“可视化观察与实时风险识别”有助于学员形成规范、细致的操作习惯。

及时、具体的反馈是操作技能习得的重要条件。So 等[12]指出，有效反馈与反复练习是模拟教学取得实效的重要条件；Burgess 等[13]强调反馈应基于观察表现与既定标准的比较，并服务于后续改进；Jug 等[14]则提出，高质量反馈应指向具体行为、明确目标并制定下一步行动计划。与操作结束后的概括性评价相比，训练过程中的即时提示更有利于学员及时识别偏差、调整动作，减少不规范操作的重复强化。本系统通过报警、文字、语音和动画等方式反馈食管插管、组织受压等问题，并配合关键步骤视频和解剖动画提供修正依据，形成“操作—识别—反馈—纠正—再操作”的训练闭环。这一设计与刻意练习和掌握学习的原则相符。相关荟萃分析显示，针对薄弱环节开展练习的模拟医学教育优于传统临床教育[15]，明确标准与充分练习有助于操作能力达成[16]；国际临床模拟与护理学习协会（INACSL）模拟教学最佳实践标准也将目标设定、即时反馈与效果评价列为模拟教学设计的核心要素[17]。因此，E 组较高的操作评分可能是即时反馈、可视化解释与针对性练习共同作用的结果。

本研究中，E 组较高的教学满意度和学习兴趣反映了学员对多模态交互和自主练习方式的认可。视频、动画、实时路径及错误提示提供了多种理解操作的信息通道，分步训练则允许学员按照自身节奏强化薄弱环节，并在安全环境中观察改进效果，有助于增强参与感和学习信心。两组理论考核成绩均处于较高水平，说明统一理论授课为操作训练提供了良好基础；AI 系统在此基础上进一步发挥其技能训练优势。其他研究从操作流程规范、知识技能和学员信心等方面显示了模拟与可视化气管插管培训的教学价值[18-19]，与本研究观察到的操作成绩和教学体验改善相互补充。本研究的价值在于，在同等理论教学条件下证实了 AI 辅助气管插管系统较传统模拟人训练可提高规培医师的即时操作成绩与教学满意度，教学质量得到改善；该系统不占用患者资源、可反复使用、反馈标准统一，有助于缓解临床带教资源紧张、带教水平参差不齐的问题，具备在医学院校及住院医师规范化培训基地推广应用的价值。

本研究存在一定局限性：①为单中心、小样本对照研究，结果的外推性有限；②仅评价即时教学效果，尚未评估技能保持及临床迁移效果。后续应开展多中心、大样本研究，并通过随访及监督下的临床操作评价进一步验证研究结论。

综上所述，AI 辅助气管插管系统为麻醉科气管插管教学提供了新的辅助手段，可提高规培医师培训后的即时模拟操作成绩，改善教学满意度与学习体验，可作为传统教师带教的补充。

参考文献

[1] Roach V A, Traina D J, Hananel D M, et al. Endotracheal intubation performance in novices: comparing the training effect resulting from two airway management training simulators[J]. Mil Med, 2024, 189(Suppl 3): 431-438.

[2] Mitchell A A, Ivimey-Cook E R. Technology-enhanced simulation for healthcare professionals: a meta-analysis[J]. Front Med (Lausanne), 2023, 10: 1149048.

[3] Preiksaitis C, Rose C. Opportunities, challenges, and future directions of generative artificial intelligence in medical education: scoping review[J]. JMIR Med Educ, 2023, 9: e48785.

[4] Gordon M, Daniel M, Ajiboye A, et al. A scoping review of artificial intelligence in medical education: BEME Guide No. 84[J]. Med Teach, 2024, 46(4): 446-470.

[5] Duffy C C, Bass G A, Yi W, et al. Teaching airway management using virtual reality: a scoping review[J]. Anesth Analg, 2024, 138(4): 782-793.

[6] Sun Y, Pan C, Li T, et al. Airway management education: simulation based training versus non-simulation based training-a systematic review and meta-analyses[J]. BMC Anesthesiol, 2017, 17(1): 17.

[7] Zhao S, Xiao X, Wang Q, et al. An intelligent augmented reality training framework for neonatal endotracheal intubation[C]//2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). Piscataway: IEEE, 2020: 672-681.

[8] Ryason A, Xia Z, Jackson C, et al. Validation of a virtual simulator with haptic feedback for endotracheal intubation training[J]. Simul Healthc, 2024, 19(2): 122-130.

[9] Nakanishi T, Shiga T, Homma Y, et al. Comparison of the force applied on oral structures during intubation attempts by novice physicians between the Macintosh direct laryngoscope, Airway Scope and C-MAC PM: a high-fidelity simulator-based study[J]. BMJ Open, 2016, 6(5): e011039.

10.12201/bmr.202611.00042V1

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202611.00042
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

[10] Takeuchi S, Shiga T, Koyama Y, et al. Longitudinal acquisition of endotracheal intubation skills in novice physicians[J]. PLoS One, 2017, 12(11): e0188224.

[11] Shah R T, Makaryus M R, Kumar R, et al. Simulation training for critical care airway management: assessing translation to clinical practice using a small video-recording device[J]. Chest, 2020, 158(1): 272-278.

[12] So H Y, Chen P P, Wong G K C, et al. Simulation in medical education[J]. J R Coll Physicians Edinb, 2019, 49(1): 52-57.

[13] Burgess A, van Diggele C, Roberts C, et al. Feedback in the clinical setting[J]. BMC Med Educ, 2020, 20(Suppl 2): 460.

[14] Jug R, Jiang X S, Bean S M. Giving and receiving effective feedback: a review article and how-to guide[J]. Arch Pathol Lab Med, 2019, 143(2): 244-250.

[15] Mazzone E, Puliatti S, Amato M, et al. A systematic review and meta-analysis on the impact of proficiency-based progression simulation training on performance outcomes[J]. Ann Surg, 2021, 274(2): 281-289.

[16] Vermylen J H, Cohen E R, Cook D A, et al. Competency-based simulation training for procedural skills: a systematic review and meta-analysis[J]. Simul Healthc, 2026, 21(4): 231-240.

[17] INACSL Standards Committee, Watts P I, McDermott D S, et al. Healthcare simulation standards of best practice: simulation design[J]. Clin Simul Nurs, 2021, 58: 14-21.

[18] 陶芳芳, 赵普, 奚晓红, 等. 虚拟现实技术提高新生儿气管插管技能培训质量的效果[J]. 中华围产医学杂志, 2026, 29(2): 156-162.

[19] Moussa A, Luangxay Y, Tremblay S, et al. Videolaryngoscope for teaching neonatal endotracheal intubation: a randomized controlled trial[J]. Pediatrics, 2016, 137(3): e20152156.

10.12201/bmr.202611.00042V1