·住院医师规范化培训·

基于危机管理的屏幕模拟对麻醉住院医师非技术性技能培训效果的探索

叶健鸿[1]　郭隽英[1]　贺秋兰[1]　刘宽智[1]　杜徐航[1]　杨璐[1]　张昆松[2]　周芹[1]

[1]中山大学附属第一医院麻醉科，广州 510080；[2]中山大学附属第一医院肝胆胰外科中心，广州 510080

通信作者：周芹，Email：zhouqin5@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 目的 比较基于结构化反馈的屏幕模拟（screen-based simulation，SBS）与高仿真模拟（high-fidelity simulation，HFS）对麻醉住院医师非技术性技能（anaesthetists' non-technical skills，ANTS）培训的效果。**方法** 将2022年6月至2024年6月在中山大学附属第一医院麻醉专业基地的48名住院医师随机分为SBS组与HFS组（各24名）。2组均接受每周1次、连续3周的危机案例培训及导师结构化反馈。于培训后第4周及第3个月进行原位模拟考核；由3名盲法评价员评定ANTS总分、4个维度（态势感知、团队合作、任务管理、决策制定）得分、关键行为完成率及团队协作次数，并进行满意度调查。借助SPSS 26.0分析数据，采用单侧95%置信区间法进行非劣效性检验。**结果** 培训后第4周，2组ANTS总分及4个维度得分均较基线显著提升（$P<0.001$），其中SBS组总分为11.81 ± 2.18，HFS组总分为12.02 ± 1.54，组间差异无统计学意义（$t=-0.39$，$P=0.702$，Cohen's $d=-0.11$），4个维度得分差异也无统计学意义（均$P>0.05$）。培训后第3个月评估，2组ANTS总分维持稳定，SBS组（11.70 ± 1.90）与HFS组（11.90 ± 1.80）差异仍无统计学意义（$t=-0.42$，$P=0.710$，$d=-0.11$）。2组关键行为完成率的组间差异无统计学意义（$P>0.05$），但HFS组团队协作次数显著高于SBS组（$P<0.001$）；2组均认同培训有效，尽管62.50%的学员更偏好HFS体验，但该偏好未转化为客观技能优势。**结论** 基于结构化反馈的屏幕模拟能有效提升并维持麻醉住院医师危机处理的非技术性技能，效果不劣于HFS，且具备低成本、易推广的优势，可作为常态化临床模拟培训的补充。

【关键词】 非技术性技能；　屏幕模拟；　结构化反馈；　危机管理；　麻醉专业住院医师规范化培训

【中图分类号】 R-0；R-4；R614

基金项目：全国医学教育发展中心医学模拟教育研究项目（2021MNZC12）

DOI：10.3760/cma.j.cn116021-20260414-02318

Screen-based simulation for crisis management training in anesthesiology residents: evaluation of non-technical skills development

Ye Jianhong[1], Guo Junying[1], He Qiulan[1], Liu Kuanzhi[1], Du Xuhang[1], Yang Lu[1], Zhang Kunsong[2], Zhou Qin[1]

[1]Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China; [2]Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China

Corresponding author: Zhou Qin, Email: zhouqin5@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the effect of screen-based simulation (SBS) with structured feedback versus high-fidelity simulation (HFS) in anesthetists' non-technical skills (ANTS) training. **Methods** A total of 48 residents at the anesthesiology training base of The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University were randomly assigned to the SBS group or HFS group ($n=24$ each) from June 2022 to June 2024. Both groups received weekly crisis scenario training and structured feedback from instructors for

3 consecutive weeks. At the 4th week and 3 months post-training, trainees were assessed via *in situ* simulations using new cases. Three blinded raters evaluated the total ANTS score and the scores of four dimensions (situation awareness, team working, task management, and decision making), key behavior completion rate, and team collaboration frequency. Trainee satisfaction was surveyed. SPSS 26.0 was used for data analysis, and non-inferiority was assessed using a one-sided 95% confidence interval. **Results** At the 4th week post-training, the total ANTS score and scores of the four dimensions improved significantly from baseline in both groups (P<0.001), with no significant difference between the SBS group and the HFS group for the total score (11.81 ± 2.18 vs. 12.02 ± 1.54, t=−0.39, P=0.702, Cohen's d=−0.11) or any of the four dimensions (P>0.05). At 3 months post-training, the total ANTS score remained stable with no significant difference between the SBS group and the HFS group (11.70 ± 1.90 vs. 11.90 ± 1.80, t=−0.42, P=0.710, d=−0.11). The key behavior completion rate was not significantly different between the two groups (P>0.05), but the HFS group had significantly more team collaborations than the SBS group (P<0.001). All trainees found the training effective; although 62.50% preferred HFS, this did not translate into objective skill advantages. **Conclusions** SBS with structured feedback can effectively enhance and maintain ANTS during crisis management, and is non-inferior to HFS. With its cost-effectiveness and scalability, SBS with structured feedback can serve as a supplementary approach for routine clinical simulation training.

【**Key words**】 Non-technical skill; Screen-based simulation; Structured feedback; Crisis management; Standardized residency training in anesthesiology

Fund program: Medical Simulation Education Research Project of the National Center for Medical Education Development (2021MNZC12)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20260414-02318

麻醉医师常面临突发危急事件，其妥善处理高度依赖非技术性技能（non-technical skills，NTS）[1-2]。既往研究表明，约70%的围术期严重不良事件源于沟通障碍、任务优先级误判、核查疏漏及决策延迟等NTS缺陷，而非单纯的技术操作失误[3-4]。NTS现已被纳入麻醉医师核心胜任力范畴[5-6]。然而，真实临床危机不可试错。高仿真情境模拟（high-fidelity simulation，HFS）虽可有效提升NTS[7-9]，却因过度依赖昂贵设备、专用场地与大量师资，难以在住院医师规范化培训中实现常态化普及。近年来，研究发现屏幕模拟（screen-based simulation，SBS）不仅能动态地虚拟再现临床危机过程，提升麻醉住院医师危机处理和临床思维能力，更因低成本、高可及性备受关注[10]。研究提示，即使SBS缺乏物理沉浸感，高质量结构化反馈的促发效应仍能跨越物理保真度的限制[11-12]。但在同等反馈下，SBS的NTS培训效果能否比肩HFS尚缺实证。为此，本研究拟采用前瞻性随机对照试验，在统一结构化反馈框架下，比较SBS与HFS对麻醉住培医师NTS的实际培训效果，并在此基础上验证SBS的非劣效性，旨在为临床构建低成本、易推广的常规NTS培训模式提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象及样本量估算

本研究为前瞻性单盲随机对照试验，采用非劣效性检验设计。主要评价指标为麻醉住院医师非技术性技能（anaesthetists' non-technical skills，ANTS）总分。参考预实验及相关文献[13]，设定标准差σ=2.5，非劣效界值Δ=−1.5。取单侧α=0.025，检验效能1−β=0.80，经PASS 15.0软件测算每组需22例，计44例。在实际招募阶段，初步纳入2022年6月至2024年6月期间中山大学附属第一医院麻醉专业基地住院在培一、二年级医师56名。依据入排标准规范筛选，剔除不合格及无法全程参与者8名，最终入组48名（每组24名）。入选标准：①已完成麻醉科内轮转≥6个月；②通过基础生命支持（basic life support，BLS）与高级气道管理理论与技能考核；③未接受过任何形式的情景模拟培训（含SBS或HFS）；④自愿参与并完成全部干预与评估流程，所有参与者均签署知情同意书。排除标准：①中途退出、缺培训≥1次或缺考≥1次；②课程前理论基线测试不合格（<80分）。采用计算机随机数字表法将研究对象均分为2组。SBS组：使用aneSIM虚拟模拟

系统进行屏幕模拟训练；HFS组：使用生理驱动高仿真模拟人实施现场模拟训练。

1.2　研究方法

本研究由6名具备5年以上主治医师资质的认证模拟导师实施教学。团队经标准化备课，统一制定3个培训案例（饱胃快速诱导、困难气道、张力性气胸）及2个考核案例（过敏性休克、羊水栓塞）。为控制带教偏倚，各组由固定导师按统一的GAS复盘框架（G：收集；A：分析；S：总结），聚焦NTS四维度的行为锚点进行同质化的结构化复盘，避免因带教师资及教学内容差异带来的结果偏倚。

课前发放相关学习资料，在病例开始前，均花费10 min进行介绍，让学员检查并熟悉模拟软件或模拟人功能后，运行病例20 min（SBS组或HFS组）；随后，学员接受导师15 min的反馈，该反馈针对其非技术性技能表现，且均采用统一的标准化反馈表格。每周开展1项案例培训，连续3周共计完成3项案例培训。培训后第4周及第3个月，在完成理论知识测试的基础上，分别在手术室内采用新的危机病例（如过敏性休克、羊水栓塞）实施原位模拟考核，并进行录音录像以备保存；后续评分采用单盲法（评分员盲），由3名已接受ANTS培训且不参与授课的资深医师对考核录像进行匿名评分。具体实验流程如图1所示。

1.2.1　SBS组教学

学员分为8组，每组3人，使用aneSIM麻醉危机管理虚拟培训系统V3.0进行教学。该系统的模拟病例源自临床真实数据，由美国华盛顿大学附属医院麻醉科主任及国内外麻醉学教授共同设计，符合国内外指南与共识。它能模拟患者生理参数和监

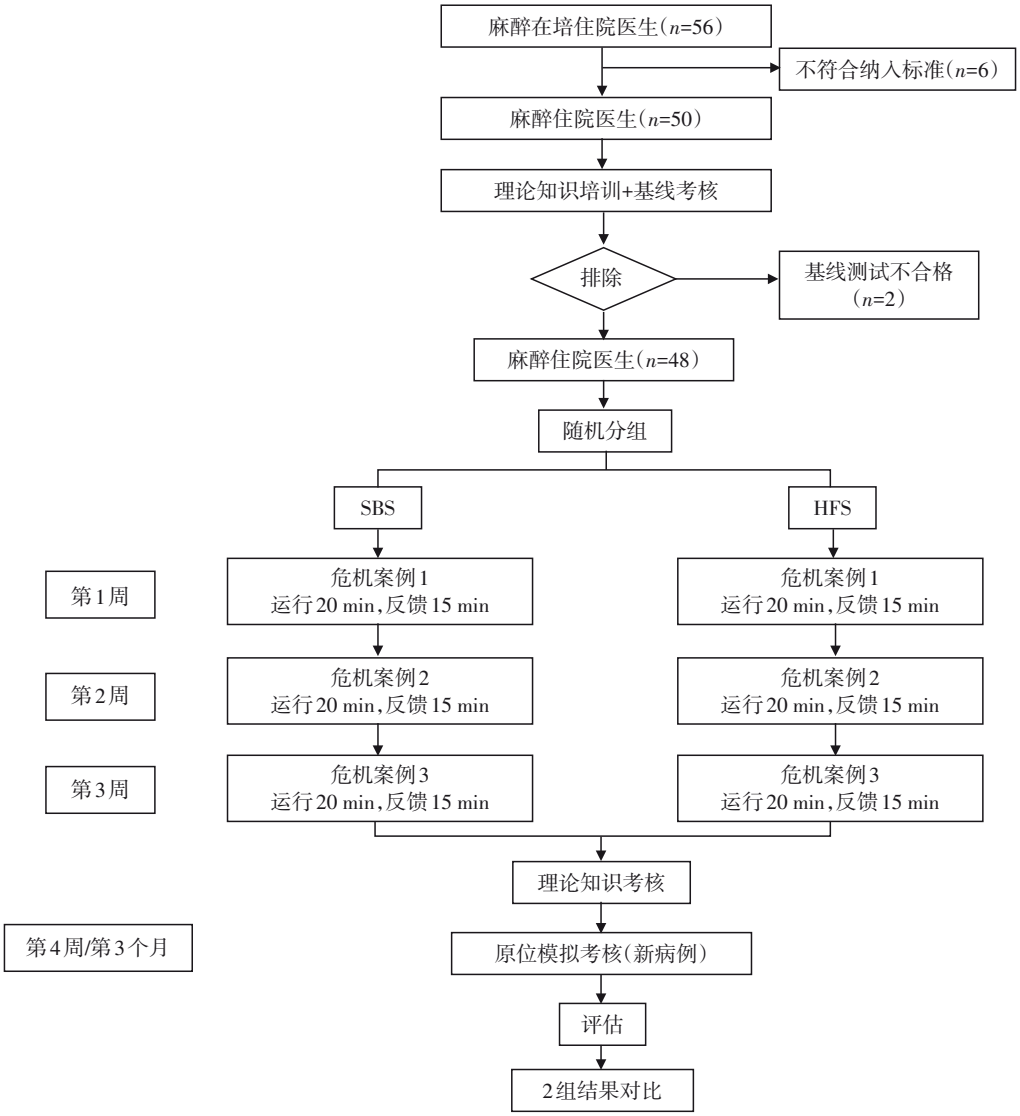


图1　麻醉住院医师非技术性技能培训随机对照试验流程图

测指标的动态变化，通过3D技术提供高度仿真的临床场景，供学员学习与训练（图2、图3）。教师选取上述3个病例（饱胃快速诱导、困难气道、张力性气胸）展开教学。住培医师通过客户端登录系统后，系统将教师指定的病例转化为需临床处置的麻醉危机场景，学员身临其境地进入该场景，通过综合分析症状、体征及相关辅助检查结果，对虚拟患者实施诊疗与处置，组内成员可随时展开讨论。



图2　屏幕虚拟病人模块（SBS组）



图3　培训管理模块（SBS组）

1.2.2　HFS组教学

学员分为8组，每组3人，使用生理驱动高仿真模拟人在技能中心实施现场情境模拟训练。运行病例内容同SBS组，助演包括主刀及巡回护士各1名，由固定模拟导师扮演，用于推动案例运行；并由指导医师后台控制模拟患者的生命体征变化，模拟临床实践的真实情境，但主要的危急情况及生命体征变化与aneSIM系统设定相一致。学员以团队形式处理临床危机事件，并根据其处理情况实时调控模拟患者的生命体征。

1.3　教学效果评价

1.3.1　主要评价指标

麻醉医生非技术性技能量表（anaesthetists' non-technical skills，ANTS）总分及四维分数（态势感知、团队合作、任务管理、决策制定），由3名已接受ANTS培训的盲法评价员独立评分，取平均值。ANTS量表（图4）已被多项研究证实具有良好信效度（Cronbach's α=0.87~0.92；ICC=0.81~0.89），适用于模拟场景下NTS量化评估[14-15]。

项目	要素	评级	表现	评级及反思讨论记录
任务管理	计划和准备			
	轻重缓急			
	执行/遵循标准			
	识别/利用资源			
团队合作	团队协作			
	互通信息			
	权威性/决断			
	评估能力			
	帮助他人			
态势感知	整合信息			
	识别/理解			
	预测判断			
决策制定	确认选项			
	平衡选项与风险			
	再次评估			

计分	描述
4—优	表现一直处于高标准，增进患者的安全；可以用作他人学习的典范
3—可接受	表现达到令人满意的标准，但还有提升的空间
2—及格	表现令人担忧，很多都需要改进
1—差	表现损害或可能损害到患者安全，需要认真地重新学习
0—未观察到	该状况下未观察到

图4　麻醉医生非技术性技能评分表

1.3.2　次要结局指标

关键临床行为完成率（如呼末CO_2监测启动、肾上腺素给药、动脉血气分析、胸外按压启动等核心操作）；发起协作/与团队交流的次数；学员满意度调查（Likert 5级量表：含整体满意度、了解危机处理原则、对临床工作帮助、向他人推荐课程等8个条目）。

1.3.3　评估时间点

基线：干预前1 d完成ANTS前测与理论知识考核；即刻效果：第4周进行新案例原位模拟考核；后

期效果：干预结束后3个月再次对新案例原位模拟进行考核。

1.4　统计学方法

数据分析使用SPSS 26.0。计量资料符合正态分布，以均数 ± 标准差描述；组间比较采用独立样本 t 检验，组内比较采用重复测量方差分析，并以Bonferroni 法进行事后两两比较；非正态分布的计量资料以中位数（M）± 四分位数间距（IQR）表示，其组间比较采用Mann-Whitney U 检验；分类资料用卡方检验或Fisher确切概率法。效应量以Cohen's d 判断：$|d|$<0.2 为无实际差异，0.2~0.5 为小效应，0.5~0.8 为中等效应；非劣效性检验采用单侧95%置信区间法，非劣效界值Δ设定为−1.5，依据经典分布估算法（以既往类似研究ANTS评分标准差均值的0.5倍作为MCID）[13]和ANTS量表评分特征（1.5分差异仅代表轻微波动，不构成实质性降级）[14,16]。若SBS组与HFS组ANTS总分及各维度差值（SBS−HFS）的单侧95%CI下限大于−1.5分，则非劣效成立。检验水准 α=0.05。

2　结果

2.1　2组住院医师一般情况及理论基线成绩比较

纳入研究的住院医师共48名，每组24人。SBS组包括男性13人、女性11人；年龄为（26.24 ± 1.42）岁；研究生22人、本科生2人；培训年限为（18.30 ± 3.20）个月；理论基线为（83.64 ± 4.73）分。HFS组男性14人、女性10人；年龄为（26.50 ± 1.60）岁；研究生22人、本科生2人；培训年限为（17.92 ± 3.54）个月；理论基线为（84.13 ± 5.02）分。2组学员在年龄（t=−0.69，P=0.487）、性别（χ^2=0.01，P=0.732）、学历（χ^2=0.170，P=0.876）、培训年限（t=0.41，P=0.876）、理论基线分数（t=−0.36，P=0.724）方面的组间比较，差异均无统计学意义。

2.2　非技术性技能评分

2.2.1　培训前后2组ANTS总分及各维度评分比较

培训前，SBS组与HFS组在任务管理、团队合作、态势感知、决策制定4个维度及ANTS总分上的差异均无统计学意义（P>0.05）。

重复测量方差分析结果显示，ANTS总分及各维度评分在时间维度上差异具有统计学意义（P<0.001）。事后两两比较显示，培训后第4周及第3个月评分均较培训前显著升高（P<0.001）；而培训后第4周与第3个月相比，差异无统计学意义（P>0.05），提示培训效果得到了良好的中期维持。同时2组间差异均无统计学意义（P>0.05），详见表1、图5。

2.2.2　SBS与HFS提升ANTS总分及各维度的非劣效性分析

将HFS组设为阳性对照，设定非劣效界值Δ=

表1　2组培训前后ANTS评分比较（n=24，分，$\bar{x} \pm s$）

ANTS项目	组别	培训前	培训后（第4周）	随访（第3个月）	F值（时间效应）	P值（组内）
任务管理	SBS组	1.97 ± 0.46	3.12 ± 0.79	3.15 ± 0.76	58.37	<0.001
	HFS组	2.08 ± 0.60	3.17 ± 0.75	3.18 ± 0.73	45.41	<0.001
	t值（组间）	−0.71	−0.23	−0.15		
	P值（组间）	0.481	0.823	0.890		
团队合作	SBS组	2.00 ± 0.54	3.51 ± 0.77	3.52 ± 0.75	125.95	<0.001
	HFS组	1.82 ± 0.62	3.56 ± 0.73	3.55 ± 0.72	97.75	<0.001
	t值（组间）	1.07	−0.23	−0.14		
	P值（组间）	0.289	0.818	0.888		
态势感知	SBS组	2.00 ± 0.44	3.04 ± 0.86	3.14 ± 0.82	91.23	<0.001
	HFS组	1.89 ± 0.67	3.28 ± 0.81	3.27 ± 0.79	96.96	<0.001
	t值（组间）	0.67	−1.02	−0.56		
	P值（组间）	0.505	0.325	0.579		
决策制定	SBS组	2.07 ± 0.64	2.97 ± 0.43	2.98 ± 0.84	40.66	<0.001
	HFS组	1.89 ± 0.83	3.02 ± 0.91	3.01 ± 0.88	34.24	<0.001
	t值（组间）	0.84	−0.23	−0.12		
	P值（组间）	0.405	0.809	0.904		
ANTS总分	SBS组	8.07 ± 1.05	11.81 ± 2.18	11.70 ± 1.90	73.12	<0.001
	HFS组	7.68 ± 1.37	12.02 ± 1.54	11.90 ± 1.80	164.38	<0.001
	t值（组间）	1.10	−0.39	−0.42		
	P值（组间）	0.274	0.702	0.710		

–1.5。结果显示，在培训后第4周（近期记忆），SBS组与HFS组ANTS总分的均值差异（SBS组减去HFS组）为–0.21分，95%置信区间（*CI*）为[–1.28，0.86]（Cohen's *d*=–0.11）。在培训后第3个月（中远期保持），2组总分均值差异为–0.20，95%*CI*为[–1.25，0.85]（Cohen's *d*=–0.11）。由于上述2个关键时间点的95%*CI*下界均大于设定的非劣效界值下限（–1.5），因此证实SBS在总分提升与保持效果上均不劣于HFS。进一步对任务管理、团队合作、态势感知及决策制定4个维度进行非劣效评价（表2）。由图6可知，在培训后第4周及第3个月节点，4个维度的组间均值差及其95%*CI*均完全落入预设的非劣效界值[–1.5，1.5]区间内。

2.3　次要观测指标分析

2.3.1　关键临床行为完成率及发起协作/与团队交流的次数

培训后第4周及3个月后的2次病例考核中，关键临床行为的完成率（如呼末CO_2监测启动、肾上腺素给药、动脉血气分析、胸外按压启动等核心操作），2组间差异无统计学意义（*P*>0.05），但发起协作或团队交流的次数HFS组比SBS组多，且差异有统计学意义（*P*<0.001），见表3。

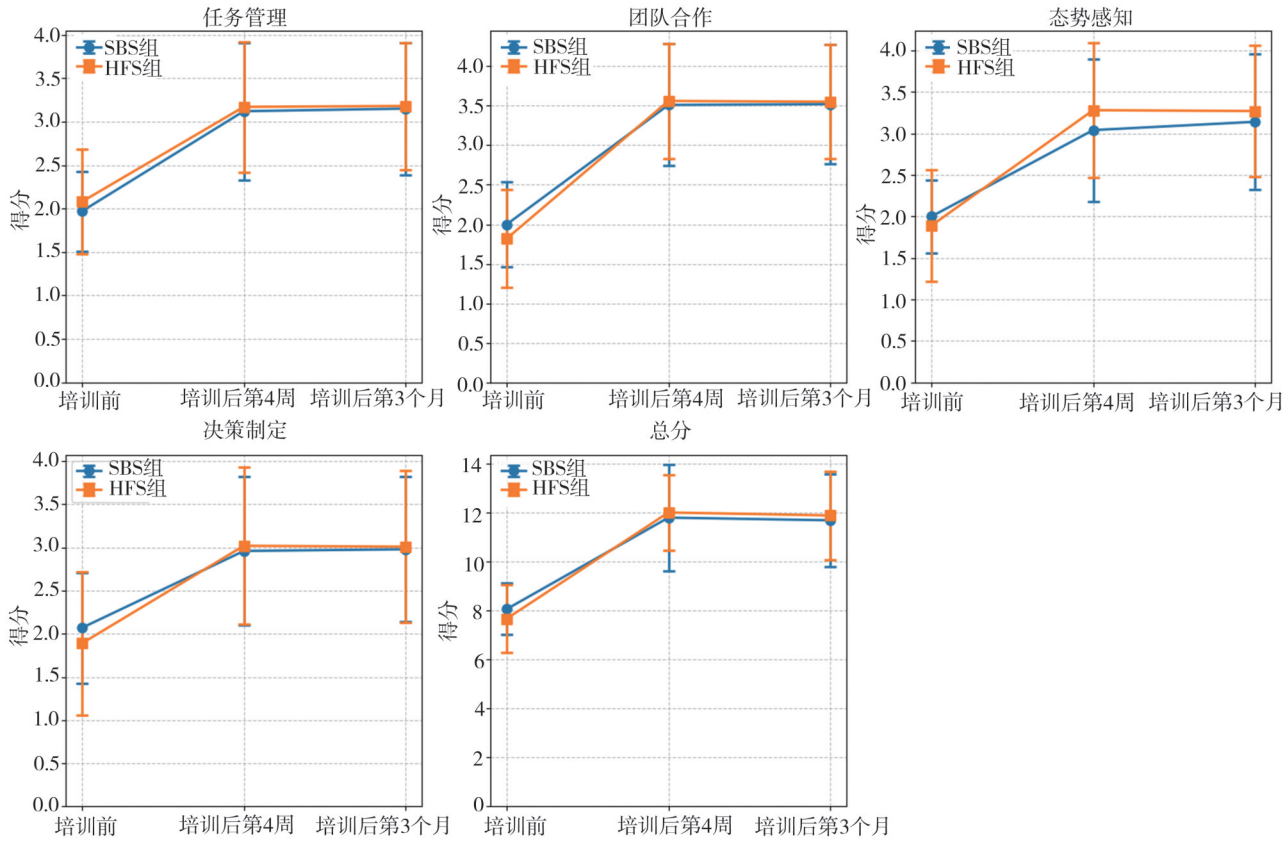


图5　2组培训前后ANTS各维度及总分变化

表2　培训后2组ANTS评分差异及非劣效性分析（95%*CI*）

评估时间点	ANTS评分维度	均值差异（SBS-HFS）	Cohen's *d*	95%*CI*	非劣效性结论
培训后第4周	任务管理	–0.05	–0.06	[–0.49，0.39]	通过
	团队合作	–0.05	–0.07	[–0.47，0.37]	通过
	态势感知	–0.24	–0.29	[–0.71，0.23]	通过
	决策制定	–0.06	–0.07	[–0.56，0.44]	通过
	ANTS总分	–0.21	–0.11	[–1.28，0.86]	通过
培训后第3个月	任务管理	–0.03	–0.04	[–0.45，0.39]	通过
	团队合作	–0.03	–0.04	[–0.45，0.39]	通过
	态势感知	–0.13	–0.16	[–0.59，0.33]	通过
	决策制定	–0.03	–0.03	[–0.52，0.46]	通过
	ANTS总分	–0.20	–0.11	[–1.25，0.85]	通过

2.3.2　学员满意度调查

本研究采用 Likert 5 级量表对整体满意度、危机处理原则理解、临床获益及课程推荐意向等 8 个条目进行评估，按满意度评分（如 1~5 分）。2 组学员对课程整体满意度均处于较高水平，且组间差异无统计学意义（P>0.05）。在学习偏好方面，针对“是否更倾向于现场情境模拟”的调查显示，全组 62.50%（30/48）的学员主观偏好 HFS；其中 SBS 组学员对 HFS 表现出更高的期待或认可，其中位数为 5.00（IQR=0.50），高于 HFS 组的 4.00（IQR=0.70），差异具有统计学意义（P<0.050），详见表 4。

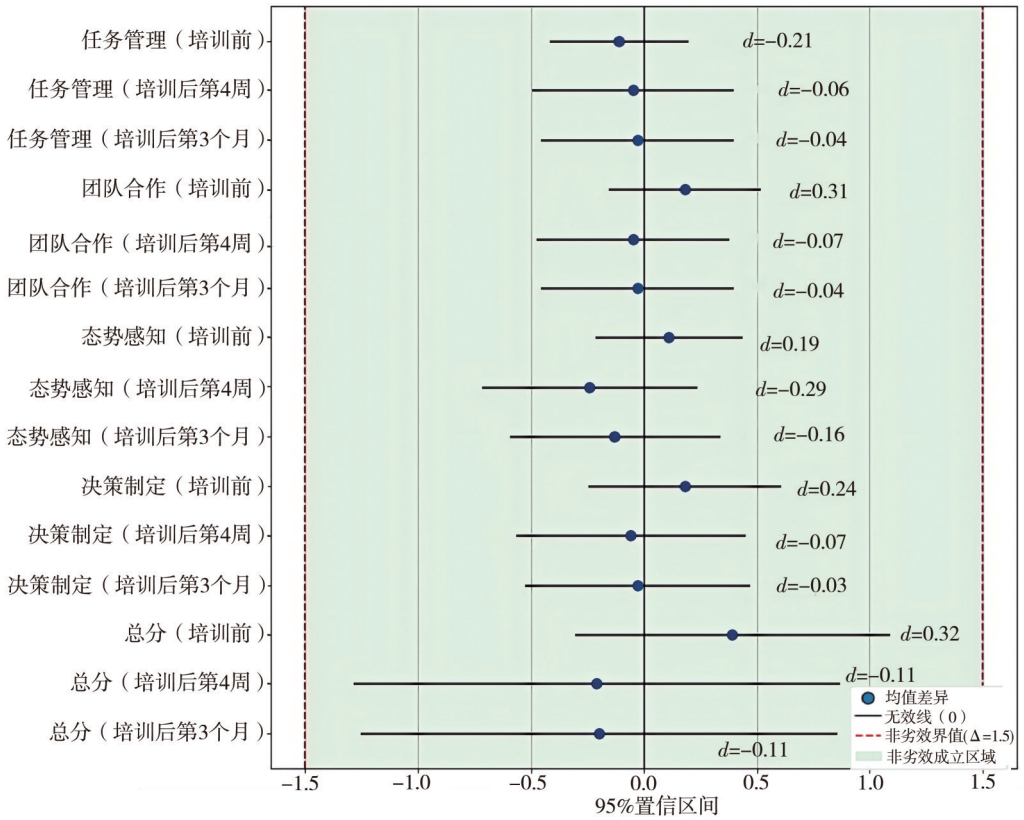


图 6　2 组培训前后 ANTS 各维度及总分变化量非劣效性检验森林图

表 3　2 组次要观察指标的比较（n=24，$\bar{x} \pm s$）

组别	关键医疗行为的完成率（%）		发起协作/团队交流的次数（次）	
	培训后第 4 周	培训后第 3 个月	培训后第 4 周	培训后第 3 个月
SBS 组	77.10 ± 3.57	76.71 ± 4.40	6.06 ± 0.91	6.11 ± 0.85
HFS 组	78.24 ± 2.92	77.02 ± 3.04	6.96 ± 0.36	7.06 ± 0.32
t 值	−1.22	−0.28	−4.54	−5.10
P 值	0.230	0.781	<0.001	<0.001

表 4　2 组学员课后满意度的比较（n=24，分，$M \pm IQR$）

项目	SBS 组	HFS 组	Z 值	P 值
课程整体满意度	5.00 ± 0.50	5.00 ± 0.50	0.39	0.676
帮助了解麻醉危机处理基本原则	5.00 ± 0.50	4.00 ± 0.50	1.19	0.186
对临床危机处理有帮助	4.00 ± 0.50	4.00 ± 0.70	0.22	0.842
与理论课相比，更愿意参与模拟课程	4.00 ± 0.50	4.00 ± 0.50	0.39	0.676
与个人学习相比，更喜欢小组学习方式	4.00 ± 0.50	4.00 ± 0.70	1.24	0.181
与屏幕模拟相比，更喜欢现场情境模拟	5.00 ± 0.50	4.00 ± 0.70	2.51	0.008
课程设置与实践安排满意度	5.00 ± 0.50	4.00 ± 0.30	1.59	0.059
向他人推荐本培训课程的意愿	5.00 ± 0.30	4.00 ± 0.70	1.24	0.128

3 讨论

3.1 屏幕模拟在非技术性技能培训中的有效性

既往研究证实，安醒（aneSIM）虚拟系统可提升麻醉住院医师在危机管理方面的理论知识与操作技能，同时有助于培养其临床思维能力[10-11]，但其在非技术性技能培训中的效用尚属空白。值得注意的是，本研究受试者的基线 ANTS 评分偏低，这与本项目纳入低年资学员的标准相符。这种“低起点”状态不仅印证了在住培早期引入结构化 NTS 培训的紧迫性，也增强了学员对教学干预的敏感性，使得 SBS 与 HFS 在短时间内均能产生显著的提升效应。本研究进一步证实，经结构化复盘后，SBS 组在 ANTS 总分及各维度的近期提升与远期维持上均非劣效于 HFS 组。HFS 是目前培训 ANTS 的主流方法，但也有研究表明 HFS 所需的复杂物理设备与环境可能增加规培新手的额外认知负荷，进而分散其对危机预警和团队沟通的注意力[12]。尽管 SBS 缺乏物理交互与环境沉浸，但其通过精准还原临床事件的时间轴、生理参数链及决策树逻辑，强调患者生命体征的动态演变和事件逻辑驱动（即心理与概念逼真度），使得学员能将有限的认知资源集中于决策制定与任务管理本身。本研究中四维度评分同步提升且组间无差异，印证了 SBS 对 NTS 核心成分的靶向训练效果。

3.2 结构化反馈是驱动非技术性行为改变的核心中介因素

本研究严格采用“反应—分析—总结”三段式反馈模型，并使用统一的反馈表格，确保 2 组学员获得同等质量的反馈。本研究发现，高质量的反馈能弥补 SBS 在物理仿真上的不足；同时也观察到，2 组的技能维持均表现出较好的耐久性，这进一步验证了复盘反馈在 NTS 培训中的决定性价值。正如相关研究指出，当资源受限时，高质量的结构化反馈比昂贵的硬件设备更能驱动学习转化[7,17]。这提示，导师在评估 NTS 表现时应深度参与并提供高质量的反馈，这才是将模拟场景转化为临床胜任力的关键环节；模拟工具仅起到提供体验、诱发错误与反思的“触发器”作用[18]。

3.3 HFS 与 SBS 学习体验与核心效能对比

尽管数据分析显示，2 组在 ANTS 总分及其各细分维度上均未呈现统计学显著性差异，但 HFS 组在态势感知维度表现出轻微优势（Cohen’s $|d|=0.29$）。此外，HFS 组的团队协作次数较 SBS 组更高。在满意度调查中，高达 62.50%（30/48）的参与者明确偏好 HFS 的现场感；然而，此种主观偏好并未转化为客观表现上的优势。这种情感认知与技能习得的分离现象，可通过柯氏（Kirkpatrick）培训评估模型得到解释：在反应层（Level 1：满意度），HFS 凭借极高的物理保真度还原了抢救室视听刺激，成功促发医生的生理应激[19]，其情感投入度带来极佳的体验认同；但在学习层（Level 2：ANTS 评分），这种沉浸感带来的偏好并不是掌握危机资源管理和核心临床技能的充分必要条件，因此并未带来技能内化的额外增益。

上述差异源于 2 种模拟环境对认知加工过程的不同塑造。HFS 中态势感知的建立依赖于学员在复杂多维的“实体噪声”中持续提取线索[20-21]，这种高压环境虽然优化了心理真实感，却也增加了外在认知负荷。相比之下，SBS 将环境“降维”为屏幕交互，虽剥夺了物理排故的空间感与时间压力，且容易诱发学员跳过权衡阻滞期的单向决策以及团队间交流的减少，但恰好过滤了冗余干扰，使焦点重回纯粹的信息提取与逻辑推演。因此，效果持平体现了 HFS 与 SBS 的互补：HFS 侧重高压应激适应与多模态感知，SBS 侧重认知逻辑内化。

3.4 SBS 与 HFS 的阶梯式整合是破解资源瓶颈的有效路径

医学教学正逐步向胜任力导向模式转变，要求评价与培训具有常态化、高频度。HFS 虽被证实有效，但其高昂成本严重制约了其普及。SBS 相比 HFS 具有显著成本效益优势。成本对比显示：①设备与场地：HFS 需高仿真模拟人、专用模拟室及控制室，维护成本高；SBS 仅需常规电脑和示教室，支持异地或多人自主练习。②版权与维护费：SBS 虽有软件版权费，但可高频使用，单次教学边际成本低。③师资成本：SBS 通过基于自动化脚本的病例运行及部分反馈机制，有效减轻了导师的工作负担，使其更易在资源有限的医院或基层基地推广。同时，本研究证实 SBS 与 HFS 具备同等的教学效力（Cohen’s d 分布在小效应量区间，且 95%CI 支持非劣效），这为解决临床教学面临的资源瓶颈提供了循证医学依据。SBS 摆脱了特定场地的限制，以更低的成本支持规培医师进行“刻意练习”，可作为 HFS 的补充或前置课程，两者形成阶梯式课程整合体系，从而加速核心临床思维与 NTS 融合培养的

普及。

3.5 局限性与展望

首先，本研究仅为单中心研究，样本量受限，未来可推广至多中心大样本研究加以验证；其次，虚拟团队协作（如鼠标点击分配任务）与真实抢救中面对面的肢体及语言交流仍存在差异，模拟评分的高低能否切实转化为临床不良事件发生率的降低，尚需后续研究验证；最后，本研究随访期仅为培训后 3 个月，未来还需开展 6~12 个月的长周期追踪，在剔除临床轮转暴露的自然增长效应后，进一步明确 SBS 培训的超远期效益。

综上所述，基于结构化反馈的屏幕模拟训练能有效提升麻醉住院医师在危机事件中的非技术性技能，效果不劣于高仿真模拟。其具有成本较低、实施频率高、易推广及可及性强等特点，可作为现场模拟培训的有益补充。两者融合的阶梯式体系将有力推动非技术性技能培训走向常态化。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　叶健鸿：教学设计与实施、资料收集、数据处理、论文撰写；郭隽英、贺秋兰、刘宽智、杜徐航：教学实施、资料收集；杨璐、张昆松：课程督导及质控、论文修改；周芹：研究指导、论文修改与审定

参考文献

[1] Larsson J, Holmström IK. How excellent anaesthetists perform in the operating theatre: a qualitative study on non-technical skills [J]. Br J Anaesth, 2013, 110(1): 115-121. DOI: 10.1093/bja/aes359.

[2] Crossingham GV, Sice PJA, Roberts MJ, et al. Development of workplace-based assessments of non-technical skills in anaesthesia [J]. Anaesthesia, 2012, 67(2): 158-164. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2011.06977.x.

[3] Burden A. The history of crises and crisis management in anesthesia: prevention, detection, and recovery [J]. Int Anesthesiol Clin, 2020, 58(1): 2-6. DOI: 10.1097/aia.0000000000000258.

[4] Makary MA, Daniel M. Medical error: the third leading cause of death in the US [J]. Bmj, 2016: i2139. DOI: 10.1136/bmj.i2139.

[5] 中国医师协会. 中国医师协会关于印发住培内容与标准、基地标准（2022 年版）的通知[EB/OL]. （2022-08-05）[2024-09-09]. https://www.ccgme-cmda.cn/news/15117/article.

[6] 中国住院医师培训精英教学医院联盟. 中国住院医师培训精英教学医院联盟住院医师核心胜任力框架共识[J]. 协和医学杂志, 2022, 13(1): 17-23. DOI: 10.12290/xhyxzz.2021-0755.

[7] Matos FM, Martins MR, Martins I. Non-technical skills progression during anesthesiology residency in Portugal: the impact of a National Pedagogical Plan [J]. Med Educ Online, 2020, 25(1): 1800980. DOI: 10.1080/10872981.2020.1800980.

[8] Havard C, Jouffroy V, Le Gouez A, et al. Use of an observer tool to enhance learning of anaesthesia resident's non-technical skills during high-fidelity simulation: a randomised controlled trial [J]. BMC Med Educ, 2025, 25(1): 97. DOI: 10.1186/s12909-024-06608-3.

[9] 于静, 李金兰, 郁丽娜, 等. 情景模拟围术期危机事件在麻醉科住院医师临床胜任力培养中的应用[J]. 中国毕业后医学教育, 2026, 10(2): 91-95. DOI: 10.3969/J.ISSN.1005-328X.2016.03.013.

[10] 罗佳佳, 吴志林. aneSIM 虚拟现实教学系统应用于麻醉专业临床危机思维培训的临床分析[J]. 现代医药卫生, 2021, 37(13): 2308-2310. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2021.13.043.

[11] Schwid HA, Rooke GA, Michalowski P, et al. Screen-based anesthesia simulation with debriefing improves performance in a mannequin-based anesthesia simulator [J]. Teach Learn Med, 2001, 13(2): 92-96. DOI: 10.1207/S15328015TLM1302_4.

[12] Massoth C, Röder H, Ohlenburg H, et al. High-fidelity is not superior to low-fidelity simulation but leads to overconfidence in medical students [J]. BMC Med Educ, 2019, 19(1): 29. DOI: 10.1186/s12909-019-1464-7.

[13] Norman GR, Sloan JA, Wyrwich KW. Interpretation of changes in health-related quality of life: the remarkable universality of half a standard deviation [J]. Med Care, 2003, 41(5): 582-592.

[14] Fletcher G, Flin R, McGeorge P, et al. Anaesthetists' non-technical skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system [J]. Br J Anaesth, 2003, 90(5): 580-588. DOI: 10.1093/bja/aeg112.

[15] Zwaan L, Tjon Soei Len L, Wagner C, et al. The reliability and usability of the anesthesiologists' non-technical skills (ANTS) system in simulation research [J]. Adv Simul, 2016, 1(1): 18. DOI: 10.1186/s41077-016-0013-2.

[16] Graham J, Hocking G, Giles E. Anaesthesia non-technical skills: can anaesthetists be trained to reliably use this behavioural marker system in 1 day? [J]. Br J Anaesth, 2010, 104(4): 440-445. DOI: 10.1093/bja/aeq032.

[17] Brown A, Kassam A, Paget M, et al. Exploring the global impact of the COVID-19 pandemic on medical education: an international cross-sectional study of medical learners [J]. Can Med Ed J, 2021, 12(3): 28-43. DOI: 10.36834/cmej.71149.

[18] Garden AL, Le Fevre DM, Waddington HL, et al. Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare: a systematic review of effective practice [J]. Anaesth Intensive Care, 2015, 43(3): 300-308. DOI: 10.1177/0310057x1504300303.

[19] Maran NJ, Glavin RJ. Low- to high-fidelity simulation: a continuum of medical education? [J]. Med Educ, 2003, 37(s1): 22-28. DOI: 10.1046/j.1365-2923.37.s1.9.x.

[20] Endsley MR. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems [J]. Hum Factors, 1995, 37(1): 32-64. DOI: 10.1518/001872095779049543.

[21] Beaubien JM. The use of simulation for training teamwork skills in health care: how low can you go? [J]. Qual Saf Health Care, 2004, 13(suppl_1): i51-i56. DOI: 10.1136/qshc.2004.009845.

（收稿日期：2026-04-14）
（本文编辑：兰明娟）