·协和麻醉毕业后教育探索专栏·

使用累积和分析法描绘学习曲线在纤支镜模拟教学中的培训探索

张宁晨　孙琛　田园　于春华
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：于春华，Email：yuchh@pumch.cn

【摘要】 目的　分析并描绘麻醉科住院医师通过纤支镜定位技能的模拟训练学习曲线，探讨无操作经验的住院医师在接受模拟训练前后技能提升的情况。**方法**　记录2022年3月至5月期间，北京协和医院麻醉科的30名无纤支镜操作经验的住院医师，通过模拟器进行纤支镜定位技能的300次模拟训练学习经历。采用累积和分析法（cumulative sum analysis，CUSUM）来描绘学习曲线，旨在比较受试者培训前后在首次图像显示完成时间及完成全部6个图像所需时间上的变化，并探讨初步掌握该技能所需的操作例数。使用统计分析软件R（版本4.2.2）来对数据进行分析。计量资料用（均数±标准差）表示，采用Shapiro-Wilk法进行正态性检验。若数据服从正态分布，则使用独立样本t检验进行组间比较；服从偏态分布的计量资料组间比较采用Mann-Whitney U检验。学习曲线的拟合则通过CUSUM法完成。所有统计检验均设定为双侧检验，检验水准α=0.05。**结果**　在完成首个图像显示时间方面，达到CUSUM分界次数后，有5名受试者差异无统计学意义（P>0.05）。结合原始数据及CUSUM曲线分析，原因可能是其中4人在分界次数前后的操作时间波动较大，导致在分界次数上差异无统计意义；另外1人则可能因为在前3~4例中的学习时间较短，导致经过培训后提升不明显。在完成全部操作时间方面，达到CUSUM分界次数后，有4名受试者同样差异无统计学意义（P>0.05）。结合原始数据及CUSUM曲线分析，原因可能是其中3人在分界次数前后的操作时间波动较大，导致在分界次数上差异无统计学意义；另外1人也同样考虑在前3~4例中的学习时间较短，导致尽管经过培训但提升不明显。**结论**　综合考虑完成首个图像显示所需的时间及完成全部6个图像观察所需时间的变化，在经过模拟器进行纤支镜模拟训练后，无经验的麻醉科住院医师至少需进行4次操作，方可初步掌握纤支镜操作技能。

【关键词】 学习曲线；　模拟教学；　纤支镜操作；　气道管理
【中图分类号】 R614
基金项目：中央高水平医院临床科研业务费（2022-PUMCH-A-148）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240212-01910

An exploration of training using the CUSUM method for depicting learning curves in simulation-based training for fiberoptic bronchoscopy

Zhang Ningchen, Sun Chen, Tian Yuan, Yu Chunhua
Department of Anesthesiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China
Corresponding author: Yu Chunhua, Email: yuchh@pumch.cn

【Abstract】 Objective　To analyze and describe the learning curve of resident physicians in the Department of Anesthesiology during simulation-based training for positioning with fiberoptic bronchoscopy, and evaluate the improvement of skills after the simulation-based training of residents without operating experience. **Methods**　The learning records of 300 training sessions using a simulator for bronchoscopy-based positioning were retrieved from March to May 2022 for 30 residents without experience in bronchoscopy in the Department of Anesthesiology of Peking Union Medical College Hospital. Cumulative sum analysis (CUSUM) was employed to depict the learning curve, aiming to compare changes in the time required to display the first image and to complete all six images before and after training, as well as to explore the number of operations necessary for the initial acquisition of this skill. Data analysis was performed using R statistical software (version 4.2.2). For quantitative data, the Shapiro-Wilk test was used to

assess normality, and the data were expressed as mean ± standard deviation. If the data followed a normal distribution, an independent samples *t*-test was used for comparisons between groups. For data that followed a skewed distribution, the Mann-Whitney *U* test was employed for comparisons between groups. The learning curve was fitted using the CUSUM method. All statistical tests were two-sided with a significance level of 0.05. **Results** In terms of the time required for completing the first image display, after reaching the CUSUM inflection point of operation times, five subjects did not show a significant difference ($P>0.05$). Based on the analysis of the raw data and the CUSUM curve, the observed insignificant difference may be attributed to the significant fluctuations in operating times for four individuals around the inflection point, resulting in no statistically significant differences in the operation times at the inflection point. Additionally, the fifth individual exhibited insignificant improvement following training due to relatively short learning time during the initial three to four operations. In terms of time to complete all operations, after reaching the CUSUM inflection point of operation times, four subjects did not show a significant difference ($P>0.05$). Based on the analysis of the raw data and the CUSUM curve, the insignificant difference may be attributed to the significant fluctuations in operating times for three individuals around the inflection point, resulting in no statistically significant differences in the operation times at the inflection point. Moreover, the fourth individual exhibited insignificant improvement following training due to relatively short learning time during the initial three to four operations. **Conclusions** Considering the variations in the time required to complete the first image display and the overall time required to observe all six images, inexperienced anesthesiology residents can initially acquire skills in bronchoscopy after at least four operations during simulation-based training for fiberoptic bronchoscopy.

【**Key words**】 Learning curve; Simulation-based teaching; Bronchoscopy operation; Airway management

Fund program: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-A-148)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240212-01910

熟练操作纤维支气管镜是有效进行支气管镜气道管理的重要组成部分[1]。然而，学习这项操作并不容易，它要求一个多样化和多层次的组合学习过程，包括对气道解剖的理解、适应证和禁忌证的掌握、常见并发症的认识、设备准备及良好的手眼协调能力[2]。早期，初学者的纤支镜培训往往直接在患者身上进行，这种培训模式将患者及初学者均暴露于风险之中[3]。有研究证实，由初学者进行支气管镜检查会增加患者的并发症发生率，尤其是在培训的前3个月[4-5]。

很多研究报道了通过模拟教学来提升纤支镜操作能力[6]。但关于其教学目标设置、学习曲线描绘等方面的研究却鲜有报道。近年来，模拟教学在气道管理培训中得到了广泛应用，其在提高医学生气道管理基本技能、困难气道管理策略及危机管理能力的可靠性、有效性和优越性方面，均展现出了显著优势，为这类有创性技术的学习提供了良好的方法[7-8]。使用模拟教具进行模拟教学是目前纤支镜模拟教学中最为广泛采用的方式。尽管基于这种方式的模拟教学已经有所开展[9-10]，但在教学目标设置、学习曲线描绘等方面的研究仍缺乏系统性，而这些方面对于培训住院医师掌握该操作具有重要意义。CUSUM法描绘的学习曲线，通过描绘原始数据与平均值差异的累积和，来反映学习曲线的连续变化趋势[11]。通过CUSUM曲线，可以了解受试者何时呈现出快速的学习曲线及他们的持续表现，同时也有助于在早期阶段识别出表现不佳的受试者。

本研究拟回顾性分析并描绘无操作经验的麻醉科住院医师通过纤支镜定位的模拟训练学习曲线，探讨无操作经验的受试者在接受模拟训练前后技能的提升情况。

1　资料与方法

1.1　一般资料

北京协和医院麻醉科的30名住院医生在2022年3月至5月期间，完成了利用模拟器进行的纤支镜定位模拟训练，共计300次（每位受试者完成10次）。纳入标准：①在纤支镜培训数据库中可查询到相关训练记录；②受试者已学习过纤支镜引导操作的相关知识或观摩过临床操作，但在临床或模拟器上的纤支镜操作例数少于10例。排除标准：①无法完成培训前的评估；②无法完成全部培训课程；③既往在临床中使用纤支镜进行定位或插管操作，且成功次数大于或等于10例。所有受试者均已知晓本研究目的，并自愿参与本研究。

1.2 方法

本研究采用自身对照方法，受试者在达到分界例数操作前后进行对比。受试者使用UE STI-1型设备，该设备尺寸为758 mm×215 mm×440 mm。此模拟器是一种纤支镜灵活性训练系统，可用于训练初学者如何使用纤支镜。该系统包含非解剖模型、图片表及一份详细说明图片分布位置的用户手册（图1）。其中，包括图像位置、图片方向和难度级别在内的配置均可根据需要进行调整。非解剖模型由Y型模块、多个不同图像帽及配备可替换吊舱的组件构成。本模拟器的使用目的在于帮助无操作经验的麻醉科住院医师初步掌握气道解剖结构，并熟悉纤支镜的基本操作技能。



图1 UE STI-1型纤支镜操作模拟器

1.3 实验过程

实验设计者预先准备了3个该型号模拟器，每个模拟器预设了6个观察点，分别模拟隆突、左上、左下、右上、右中和右下肺开口。在每个观察点（图像帽）设置2张图片并记录相关数据。此外，每个模拟器还加装了一个Y型模块，用以模仿临床实践中难以直接观察到的右上肺开口的情况。

受试者在操作前观看纤支镜操作的教学短片，并熟悉纤支镜的结构及基本操作要领。每位受试者在一个模拟器上完成10次纤支镜定位的训练。每次操作中，受试者需要将所观察的图像放置于视野中央，并尽量减少调整次数，操作时计时并录像（表1、表2）。计时从受试者操作纤支镜进入模拟器开口时开始，首先观察模拟“隆突”位置的图片（首个图像），随后依次观察模拟“左上肺”“左下肺”“右中肺”“右下肺”及“右上肺”位置的图片（完成全部操作）。最后，由3位观察员进行简短的总结和点评指导。

1.4 观察指标

完成首个图像观察的时间：记录受试者观察到首个图像（模拟隆突）时的操作时间，即纤支镜从进入模拟器到完成第一个图像观察所需的时间，模拟临床中从口腔开始至观察到气管隆突的整个过程。鉴于临床实际情况中，麻醉医生插管操作多可在1 min内完成，因此将操作时间设定为1 min。分别记录每位受试者的操作时间。

完成全部6个图像观察所需的时间：记录受试者每次操作的完成时间，即从纤支镜进入模拟器开始，到完成6个观察点图像的观察时间，以此模拟胸科手术中行纤支镜定位检查所需的时间。鉴于临床实际情况中，正常成年人耐受缺氧的平均时间为3~5 min，因此设定操作时间上限为5 min。随后，分别记录每位受试者的操作时间。

1.5 统计学分析

学习曲线采用CUSUM法进行拟合，每位操作者每项观察指标的CUSUM分析采用Noyez[12]所描述的方法进行计算。CUSUM计算公式如下：

$$\mathrm{CUSUM}=\sum_{i=1}^{n}(X_i-\mu)$$

其中n代表操作例数，μ代表平均值；X_i代表该例操作的观察指标数值。对于计量资料，X_i为实际测得的数值；对于计数资料，则定义X_i=1为成功，否则X_i=0。

以操作例数为横坐标、CUSUM得分为纵坐标，绘制各个观察指标的散点图，并使用曲线拟合（curve fitting）技术来观测并分析各个观察指标与操作例数之间的关系。定义P<0.05为曲线拟合显著性的阈值，即认为在此条件下曲线拟合成功。进一步地，从所有候选模型中选取决定系数（R^2）最大的模型作为最佳拟合模型。

统计分析软件为R（Version 4.2.2）。计量资料

表1 纤支镜操作核对表

序号	核对内容	是	否
1	在操作过程中，是否时刻保持操作手的拇指位于纤支镜手柄的控制轮上	□	□
2	在操作过程中，是否时刻保持固定手轻置于模拟器面部，协助固定纤支镜	□	□
3	是否从模拟器口部中线位置引入纤支镜	□	□
4	纤支镜前端进入模拟器口咽腔后，是否及时前屈镜体以显示声门	□	□
5	暴露声门后，是否及时后屈镜体以协助镜体进入“主气管”	□	□
6	进入模拟器“主气管”后，是否保持纤支镜镜体在气管中央维持并逐渐深入	□	□
7	是否正确辨认“隆突”（第一个图像）	□	□
8	在整个操作过程中，是否能一直保持纤支镜镜体为一条直线（不弯曲镜体）	□	□
9	在整个操作过程中，操作者是否保持放松的体态	□	□

表2　纤支镜操作评估表

项目	非常不好		达标		非常好
纤支镜的操作	1 操作不熟练 不能调整镜头至正确方向 不能前进到需要到达的目标	2	3 使用达标 偶尔会出现问题	4	5 操作熟练 没有任何问题
动作流畅度	1 动作不流畅 来回反复寻找图片 从一个图片到下一个图片过渡困难 犹豫不决	2	3 流畅度满意 偶尔会出现问题	4	5 动作非常流畅 没有任何问题 没有多余的动作
纤支镜的保护	1 动作粗暴 压迫操纵杆到极限 撞击模拟器侧壁 取出镜子时操纵杆没回到中位	2	3 对光纤镜的使用小心 偶尔有问题	4	5 对光纤镜的使用非常小心
图像的维持	1 不能保持目标图片在视野中心 经常偏离目标 离图片太近,造成强烈反光 不能保持图片在视野中	2	3 达标 偶尔有问题	4	5 对图像的维持非常好
对解剖结构的熟悉度	1 对图片非常不熟悉 不认识结构 不知道下一个图片的位置 不知道用结构来定位 错误定位“隆突“	2	3 对解剖结构达标 偶尔有问题	4	5 对解剖结构非常熟悉
总体操作	1	2	3	4	5

采用Shapiro-Wilk法进行正态性检验,结果以(均数±标准差)表示。服从正态分布的计量资料,组间比较采用独立样本t检验;服从偏态分布的计量资料,组间比较则采用Mann-Whitney U检验。学习曲线的拟合采用CUSUM法。所有统计分析均采用双侧检验,检验水准α=0.05。

2　结果

2.1　CUSUM曲线拟合结果

30名受试者每人分别通过模拟器进行纤支镜模拟训练10次。由于每位受试者的操作时间存在差异,其CUSUM值也不尽相同。因此,本研究单独绘制每位操作者的拟合曲线。完成首个图像观察时间的CUSUM得分及最佳曲线拟合情况显示,30名受试者中有25名在累计操作次数达到4次时,R^2拟合值达到峰值。完成全部操作时间的CUSUM得分及最佳曲线拟合情况同样显示,30名受试者中有26名在累计操作次数达到4次时,R^2拟合值也达到了峰值。

2.2　30名受试者达到最佳操作例数前后完成首个图像观察时间比较

综合各位受试者在设定时间内完成操作的情况,当操作次数达到4次峰值后这30名受试者中另有25人完成首个图像显示的时间也明显短于达峰前(表3)。

2.3　30名受试者达到最佳操作例数前后完成全部操作时间的比较

综合各位受试者在设定时间内完成操作的情况,30名受试者中有26人完成全部操作的时间明显短于达峰前所需时间(表4)。

3　讨论

3.1　研究设计和训练模式对结果差异的影响

既往的研究已表明,无操作经验的住院医师在纤支镜操作方面,平均在第10次尝试时,可能初步掌握基本技能[13-14]。对于初学者而言,从最初的笨拙到逐渐熟练,这个过程往往需要经历大量的实践和尝试。值得一提的是,经过深入研究发现,相较于单纯的操作次数,当实际操作例数达到3至4次时,临床环境下相关并发症的风险会显著降低[15-16]。这一重要发现与本研究结果相契合,共同凸显了实际操作经验在提升纤支镜操作技能中的关键作用。

关于本研究与其他研究在结果上的差异[17-19],这可能是由于研究设计、训练模式及操作复杂度等多个方面的因素共同作用所致。在以往的研究中,研究者事先设定了达到“熟练”状态所需的操作时长,并采用了仿真度较高的3D打印气道模型或VR

表 3　30 名受试者达到最佳操作例数前后完成首个图像观察时间的比较

受试者	最佳操作例数前	最佳操作例数后	*Z*/*t* 值	*P* 值
1	1.10 ± 0.41	0.36 ± 0.19	3.86	0.005
2	0.62 ± 0.04	0.68 ± 0.08	−1.44	0.189
3	0.78 ± 0.09	0.68 ± 0.08	1.64	0.139
4	0.71 ± 0.28	0.31 ± 0.06	3.45	0.009
5	0.85 ± 0.15	0.57 ± 0.07	4.04	0.004
6	0.98 ± 0.12	0.77 ± 0.17	2.19	0.060
7	0.98 ± 0.12	0.72 ± 0.09	3.87	0.005
8	1.01 ± 0.12	0.79 ± 0.11	3.02	0.016
9	1.08 ± 0.36	0.45 ± 0.11	4.11	0.003
10	1.07 ± 0.34	0.47 ± 0.11	4.11	0.003
11	1.13 ± 0.31	1.38 ± 2.04	−1.71	0.088
12	0.80 ± 0.21	0.37 ± 0.08	4.69	0.002
13	0.93 ± 0.24	0.49 ± 0.09	4.17	0.003
14	0.98 ± 0.08	0.77 ± 0.11	3.40	0.009
15	1.10 ± 0.37	0.49 ± 0.09	4.01	0.004
16	0.76 ± 0.18	0.38 ± 0.12	4.10	0.003
17	0.95 ± 0.20	0.46 ± 0.16	4.50	0.002
18	1.00 ± 0.08	0.77 ± 0.15	2.81	0.023
19	0.81 ± 0.21	0.44 ± 0.08	3.94	0.004
20	0.94 ± 0.24	0.43 ± 0.11	4.72	0.001
21	0.97 ± 0.18	0.78 ± 0.14	1.95	0.087
22	1.08 ± 0.22	0.48 ± 0.15	5.28	0.001
23	1.05 ± 0.17	0.43 ± 0.16	5.81	<0.001
24	0.97 ± 0.18	0.39 ± 0.11	6.40	<0.001
25	0.94 ± 0.31	0.38 ± 0.10	4.13	0.003
26	0.92 ± 0.27	0.44 ± 0.06	4.45	0.002
27	1.00 ± 0.19	0.54 ± 0.15	4.32	0.003
28	0.77 ± 0.07	0.52 ± 0.08	5.14	0.001
29	0.85 ± 0.19	0.43 ± 0.13	4.32	0.003
30	0.92 ± 0.10	0.78 ± 0.08	2.45	0.040

注：高亮的指标服从偏态分布。

表 4　30 名受试者达到最佳操作例数前后完成全部操作时间的比较

受试者	最佳操作例数前	最佳操作例数后	*Z*/*t* 值	*P* 值
1	8.01 ± 1.07	4.36 ± 1.52	4.14	0.003
2	5.00 ± 0.16	4.71 ± 0.29	1.78	0.113
3	3.70 ± 0.13	3.45 ± 0.18	2.45	0.040
4	5.63 ± 0.86	3.56 ± 0.82	3.83	0.005
5	6.14 ± 0.11	5.86 ± 0.08	4.68	0.002
6	3.92 ± 0.10	3.69 ± 0.14	2.95	0.018
7	3.11 ± 0.10	2.98 ± 0.30	0.78	0.456
8	4.90 ± 0.12	4.93 ± 1.56	−1.28	0.201
9	6.61 ± 1.25	3.69 ± 0.67	4.85	0.001
10	6.99 ± 1.20	3.33 ± 1.12	4.92	0.001
11	7.46 ± 0.96	4.67 ± 1.00	4.39	0.002
12	6.78 ± 1.02	4.01 ± 0.98	4.33	0.003
13	7.59 ± 1.02	5.01 ± 1.01	3.94	0.004
14	5.01 ± 0.11	4.72 ± 0.09	4.73	0.001
15	8.05 ± 1.08	4.44 ± 1.02	5.36	0.001
16	5.35 ± 1.05	3.01 ± 0.95	3.67	0.006
17	6.85 ± 1.06	3.19 ± 0.57	7.18	<0.001
18	5.03 ± 0.11	4.68 ± 0.20	3.15	0.014
19	7.01 ± 0.87	4.36 ± 0.81	4.93	0.001
20	7.88 ± 1.06	3.93 ± 1.23	5.23	0.001
21	4.16 ± 0.15	4.11 ± 0.29	0.28	0.789
22	7.03 ± 1.37	3.89 ± 1.17	3.91	0.004
23	8.57 ± 0.85	4.94 ± 0.72	2.57	0.010
24	7.79 ± 1.34	4.01 ± 1.03	5.06	0.001
25	4.70 ± 0.81	3.01 ± 0.55	3.98	0.004
26	5.22 ± 0.98	3.54 ± 0.29	4.06	0.004
27	7.91 ± 0.74	4.40 ± 0.76	7.23	<0.001
28	5.75 ± 0.12	5.52 ± 0.04	4.41	0.002
29	6.27 ± 0.49	3.35 ± 0.89	5.88	<0.001
30	6.84 ± 0.17	6.54 ± 0.02	4.49	0.002

注：高亮的指标服从偏态分布。

模拟训练设备。这些高度仿真的训练器材无疑增加了操作的挑战性，使得缺乏操作经验的受试者在培训过程中需要投入更多的操作时间及经历更多的操作案例，方能达到一定的熟练水平。相较之下，本研究则更加注重为完全无经验的初学者提供灵活的熟练性训练。与临床镜下解剖结构辨识力的训练相比，这种训练方式在所需时间、设备等资源上更为便捷，也更符合初学者的学习特点。通过多次重复操作，初学者能够逐渐熟悉纤支镜的操作技巧，提高操作的准确性和效率。

本研究进一步强调了实际操作经验在技能提升过程中的重要性。诚然，理论学习在帮助医生掌握纤支镜操作的基本原理和技巧方面起着至关重要的作用。然而，实际操作经验才是衡量和巩固这些知识和技能的有效手段。唯有在真实的临床环境中，面对纷繁复杂的实际状况，医生才能更加得心应手地运用纤支镜进行精细操作，进而降低并发症的风险。

3.2　受试者操作时间波动与技能提升的多因素分析

经过对首个图像观察时间的 CUSUM 曲线进行描点分析，发现在完成 4 次操作后，大部分受试者达到了 CUSUM 分界次数。然而，值得注意的是，在这组受试者中，有 5 名个体在统计层面上差异无统计学意义（*P*>0.05）。此结果促使研究者进一步探索潜在的原因。通过详细审查原始数据，并结合 CUSUM 曲线的动态变化特征，注意到其中有 4 名受试者在

分界次数前后所展现出的操作时间存在显著波动。这种波动现象可能归因于他们在执行操作过程中受到的多重因素干扰，包括但不限于注意力的分散、身体疲劳或技能水平的波动。这些综合因素共同作用，使得他们在分界次数上未能展现出统计学上的显著差异。

同时，经过对实验数据的细致分析，观察到在这5名受试者中，有1名个体在初始的3至4次操作中所花费的学习时间相对较短。这在一定程度上表明，该受试者可能未能深入掌握相关操作技巧，或是对操作流程的认知尚显生疏。因此，即便接受了相应的培训，其技能提升的效果也并不显著。这一发现强调了在进行受试者操作表现评估时，必须充分考量其在初始学习阶段所付出的时间与努力。

在这项观察指标中发现，有4名受试者的数据差异并无统计学意义（P>0.05）。这一结果进一步证实了之前关于操作时间波动及学习时间不足的观点。通过深入分析原始数据与CUSUM曲线，进一步识别到，这4名受试者在操作次数达到分界点前后的操作时间波动幅度较大。其中，3名受试者的操作时间波动可能受到多重因素的共同影响，而剩余1名受试者则极有可能是因为初期学习时间较短，导致其技能提升不明显。随着时间的推移，对这些受试者进行进一步的系统评估将有助于研究者更精准地把握他们在不同时间节点及所需练习次数下达到熟练程度的能力。

同时，也需要对那些在分界次数前平均操作时间相对偏短的受试者保持关注。他们可能因观摩操作过程或受到先前操作经验的影响，在培训过程中表现出技能提升不显著的特点。然而，关于这一方面的具体成因，尚需后续研究进一步深入探讨。

另外，有同样使用CUSUM分析的研究表明，即便是在有经验的支气管镜医师中，学习曲线也是多变的，难以预测，可能比想象中的要长[20]。这意味着，即便是专业技能娴熟的医师，在掌握新知识或新技能时也可能面临较长的学习期和较大的挑战。因此，在评估受试者的操作表现时，应保持足够的耐心和开放的态度，同时密切关注他们在培训过程中的技能提升与变化。

综上所述，本研究发现部分受试者在首个图像显示时间和整体操作完成时间方面并未达到统计学上的显著差异。这可能与他们在操作时间上的波动、学习时间不足及观摩操作或先前操作经验的影响有关。为了更全面地了解受试者的技能提升状况，需要进一步对其在时间线和练习次数方面的表现进行深入评估，并关注可能影响其技能提升的各种因素。同时，也应认识到，即便是专业技能水平较高的医生，在掌握新技能时也可能遭遇困难和挑战。因此，在培训和评估过程中，应保持耐心和开放的心态，以更好地促进受试者的技能提升和发展。

3.3　量化评估纤支镜操作能力提升的CUSUM分析及其培训指导意义

本研究发现CUSUM分界值与累计操作次数之间存在显著关系，这一发现对于提升纤支镜操作能力具有积极的指导意义。本研究通过采用CUSUM方法对纤支镜操作进行量化评估，发现当达到一定的累计操作次数后，新手纤支镜操作能力得到了显著提升。这一结果为研究者制订针对新手的纤支镜培训计划提供了有力的依据。在制订培训计划时，可以依据这一分界值，合理安排新手进行纤支镜操作的次数，以达到最佳的学习效果。

同时，本研究结果显示，达到CUSUM分界值对应的累计操作次数后，纤支镜操作能力可得到明显提升。此外，针对新手纤支镜培训，应重点关注其熟练操作纤维支气管镜的能力。以往许多研究主要评估新手从口腔至隆突操作的熟练程度[1,10,18]，而本研究还模拟了辨认全部肺部解剖结构（即需观察的6个图像）所需操作时间的CUSUM值和最佳完成次数，这可为后续相关研究提供参考。

此外，本研究还深入剖析了新手在纤支镜操作过程中可能遇到的难点和挑战。例如，新手可能难以准确辨认肺部解剖结构，或在操作过程中容易出现误差。针对这些问题，可以采取针对性的培训措施，如加强理论知识的学习、提高操作技巧的训练等，以帮助新手更好地掌握纤支镜操作技巧。

总之，本研究通过采用CUSUM方法对纤支镜操作能力进行量化评估，发现了累计操作次数与操作能力提升之间的显著关系，为制订针对新手的纤支镜培训计划提供了有力支持。同时，本研究还进一步拓展了研究范围，深入剖析了新手在纤支镜操作中所面临的难点和挑战，为后续相关研究提供了宝贵的参考。

3.4　模拟训练在纤支镜操作技能提升中的局限性及未来研究方向

首先，本研究采用的是回顾性研究方法。这种方法虽然能够充分利用既有数据和资料进行分析，但受限于其固有特性，无法像前瞻性研究那样对实验变量进行直接控制，因此可能导致结果产生一定的偏差。在解读本研究结果时，需充分考量这一局限性。

其次，本研究中的模拟训练均依托模拟器进行，为初学者提供了一个安全、可重复的练习环境。

然而，模拟训练环境与临床纤支镜使用的实际场景仍存在一定差异。在临床实践中，纤支镜的使用常涉及更为复杂和困难的气道情况，这对初学者构成了更大的挑战。因此，即便在模拟器上观察到受训者的操作技能有所提升，也无法直接断定这种提升能够完全转化为实际临床技能的增长。尽管已有研究报告表明[21]，在模拟器上获得的技能提升与实际临床应用之间存在良好的相关性，但模型使用与临床表现之间的关系仍需在未来进行评估。

最后，本研究未涉及模拟训练后的技能保留问题。在实际临床工作中，技能的保持和巩固至关重要。然而，受临床实践频率、个体差异等多种因素影响，初学者在模拟训练后所掌握的技能可能随时间推移而逐渐减弱。因此，有必要进一步研究模拟训练后的技能保留问题，以探索如何有效保持和提升初学者的操作技能。

综上所述，本研究在探索初学者的学习曲线和操作趋势方面取得了一定成果，但也存在局限性和需要进一步研究的问题。未来，将继续深入探讨这些问题，以期为提高初学者的操作技能提供更加科学、有效的指导。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张宁晨、孙琛：论文构思、撰写论文；田园：审订论文；于春华：项目负责人

参考文献

[1] Marsland C, Larsen P, Segal R, et al. Proficient manipulation of fibreoptic bronchoscope to carina by novices on first clinical attempt after specialized bench practice [J]. Br J Anaesth, 2010, 104(3): 375-381. DOI: 10.1093/bja/aeq005.

[2] Ernst A, Wahidi MM, Read CA, et al. Adult bronchoscopy training: current state and suggestions for the future: chest expert panel report [J]. Chest, 2015, 148(2): 321-332. DOI: 10.1378/chest.14-0678.

[3] Gopal M, Skobodzinski AA, Sterbling HM, et al. Bronchoscopy simulation training as a tool in medical school education [J]. Ann Thorac Surg, 2018, 106(1): 280-286. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2018.02.011.

[4] Stather DR, MacEachern P, Chee A, et al. Trainee impact on procedural complications: an analysis of 967 consecutive flexible bronchoscopy procedures in an interventional pulmonology practice [J]. Respiration, 2013, 85(5): 422-428. DOI: 10.1159/000346650.

[5] Ouellette DR. The safety of bronchoscopy in a pulmonary fellowship program [J]. Chest, 2006, 130(4): 1185-1190. DOI: 10.1378/chest.130.4.1185.

[6] Kennedy CC, Maldonado F, Cook DA. Simulation-based bronchoscopy training systematic review and meta-analysis [J]. Chest, 2013, 144(1): 183-192. DOI: 10.1378/chest.12-1786.

[7] Kennedy CC, Cannon EK, Warner DO, et al. Advanced airway management simulation training in medical education: a systematic review and meta-analysis [J]. Crit Care Med, 2014, 42(1): 169-178. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31829a721f.

[8] Baker PA, Weller JM, Baker MJ, et al. Evaluating the ORSIM® simulator for assessment of anaesthetists' skills in flexible bronchoscopy: aspects of validity and reliability [J]. Br J Anaesth, 2016, 117(Suppl 1): i87-i91. DOI: 10.1093/bja/aew059.

[9] Dalal PG, Dalal GB, Pott L, et al. Learning curves of novice anesthesiology residents performing simulated fibreoptic upper airway endoscopy [J]. Can J Anaesth, 2011, 58(9): 802-809. DOI: 10.1007/s12630-011-9542-2.

[10] Melvin MT, Siddiqui NT, Wild E, et al. Achieving competency in fiber-optic intubation among resident physicians after higher- versus lower-fidelity task training: a randomized controlled study [J]. Anesth Analg, 2023, 137(1): 200-208. DOI: 10.1213/ANE.0000000000006283.

[11] Zhu D, Hong P, Zhu J, et al. Cumulative sum analysis of the learning curve for modified retroperitoneoscopic living-donor nephrectomy [J]. Urol Int, 2018, 101(4): 425-436. DOI: 10.1159/000493765.

[12] Noyez L. Cumulative sum analysis: a simple and practical tool for monitoring and auditing clinical performance [J]. Health Care: Current Reviews, 2014, 2(1): 113e5. DOI: 10.4172/hccr.1000113.

[13] Johnson C, Roberts JT. Clinical competence in the performance of fiberoptic laryngoscopy and endotracheal intubation: a study of resident instruction [J]. J Clin Anesth, 1989, 1(5): 344-349. DOI: 10.1016/0952-8180(89)90073-1.

[14] Latif RK, Bautista A, Duan X, et al. Teaching basic fiberoptic intubation skills in a simulator: initial learning and skills decay [J]. J Anesth, 2016, 30(1): 12-19. DOI: 10.1007/s00540-015-2091-z.

[15] Jiang G, Chen H, Wang S, et al. Learning curves and long-term outcome of simulation-based thoracentesis training for medical students [J]. BMC Med Educ, 2011, 11: 39. DOI: 10.1186/1472-6920-11-39.

[16] Parotto M, Jiansen JQ, AboTaiban A, et al. Evaluation of a low-cost, 3D-printed model for bronchoscopy training [J]. Anaesthesiol Intensive Ther, 2017, 49(3): 189-197. DOI: 10.5603/AIT.a2017.0035.

[17] 姜柏林，赵莹，鞠辉，等. 高仿真模拟训练在纤维支气管镜插管教学中的应用及学习曲线研究[J]. 中华医学教育杂志，2016，36(1)：93-97. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2016.01.025.

[18] 姜柏林，鞠辉，姚兰，等. 虚拟现实模拟装置和模拟气道在麻醉科纤支镜插管培训中的应用比较[J]. 中华医学教育探索杂志，2016，15(3)：291-295. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2016.03.019.

[19] 陈昌林，李洪琼，王艺铮，等. 虚拟现实模拟装置在纤支镜插管培训中的应用[J]. 继续医学教育，2023，37(6)：73-76. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2023.06.019.

[20] Medford AR. Learning curves for bronchoscopy and simulation [J]. Clin Med, 2013, 13(4): 418-419. DOI: 10.7861/clinmedicine.13-4-418.

[21] McSparron JI, Michaud GC, Gordan PL, et al. Simulation for skills-based education in pulmonary and critical care medicine [J]. Ann Am Thorac Soc, 2015, 12(4): 579-586. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201410-461AR.

（收稿日期：2024-02-12）

（本文编辑：邬小梅）