

# 用眼动数据验证模拟飞行课程对提升初始驾驶技术的重要作用

王有坤 李秀易 董锐 赵巍巍 王子豪

中国民用航空飞行学院 四川广汉 618307

**摘要:** 本文通过课前课后两次采集被试班级学员眼动数据和飞行分数,从仪表熟悉和飞行技能两个角度研究了模拟飞行课程对学员提升初始飞行技能的帮助作用。从两项指标的改善情况来看,模拟飞行课程对本班学员产生了显著的积极影响。学员在程序操作上的反应时间明显缩短,反映出其对操作流程的熟练度增强,注意力分配趋于优化,能够更高效地执行任务;同时,飞行得分的显著提高,进一步证实了课程在提升操作速度之外,还有效改善了操作的精准性与综合飞行品质。上述发现共同表明,该课程能够有效提升学员的程序熟练度、飞行技术水平及注意力管理能力,为后续优化课程内容与改进训练策略提供了实证支持。

**关键词:** 注意力分配; 眼动特征; 眼动仪; 飞行绩效

## 引言

对于一名志在蓝天的飞行学员而言,初始驾驶技术的养成阶段,无疑是其整个职业生涯中最关键、最具塑造力的时期。这不仅仅是学习如何“操纵”飞机,更是关于飞行理念、安全习惯的奠基工程。模拟飞行在飞行员技能培养的全周期中均扮演着重要角色,尤其对于初始及进阶阶段基本驾驶术的锤炼助益显著。在训练的起步时期,学员常因时间有限且对驾驶舱生疏,导致在真机或飞行训练器(FTD)上的训练成效不彰。航校训练阶段作为飞行员操作技能发展的源头,无疑是学员夯实基础、精通基本驾驶术的黄金时期,其牢固程度至关重要。近年来,眼动追踪技术因其能够有效揭示个体的视觉注意与认知负荷,在飞行训练与航空安全领域受到广泛关注。飞行任务要求操作者高度协同感知、判断与操作,而飞行员的眼动数据能直观反映其注意力分配、仪表界面扫视效率及实时的任务认知状态。当前,国内外学者正不断深化该技术在模拟飞行、技能评估与训练优化等方面的应用研究,这为本研究的开展奠定了扎实的理论与技术基础。

多项眼动研究揭示了飞行绩效与视觉注意模式的内在关联。吴林等<sup>[1]</sup>对比资深飞行员与学员发现,前者在目视进近时能均衡分配舱内外注意力,而学员常过度关注外景。这印证了于桂花<sup>[2]</sup>的发现,即绩效优组能灵活切换注视模式,而差组存在注意固着问题。在认知负荷方面,王庆敏等<sup>[3]</sup>测得飞行员在着陆阶段的瞳孔直径显著大于180°转弯

阶段,表明高阶任务带来更大脑力负荷,并据此提出建立特定任务眼动范式(如着陆时规律扫视迎角与跑道)。此外,李莹<sup>[4]</sup>的对照实验证明,基于眼动仪的针对性训练能显著提升操作精度,使学员在转弯爬升的高度控制误差降低60.2%,直线飞行航向偏差减少36.4%。以上研究共同表明,飞行员的视觉注意模式与其技能熟练度和操作表现密切相关,直接影响飞行安全与任务执行效率。借助眼动参数的客观量化,传统上主要依赖教员主观判断的技能评估方式,得以转化为具备可测量、可干预特性的标准化流程。

## 1. 实验设计

### 1.1 实验对象

为评估模拟飞行训练对飞行学员操作能力的影响,本研究选取中国民用航空飞行学某教学班32名养成学员作为实验对象。所有入选学员均掌握MFS2020平台的基本操作技能,能够独立完成起落航线飞行、私照科目训练及标准程序操作等任务。

本研究采用前后测对比的实验方法。在开展模拟飞行课程前,首先对学员的反应时间、飞行操作得分及注意力分配状况进行初始测评;完成课程训练后,再次对相同指标进行测量。通过分析学员前后两次测评数据的变化,探究模拟飞行课程对学员驾驶技术水平和仪表熟悉程度的影响效果。

### 1.2 实验设备

本实验采用Tobii Glasses 3眼动仪采集眼动数据,如图

1 所示。该设备以其高精度、高采样率及良好的佩戴舒适性，尤其适用于动态任务场景。实验通过记录飞行员在飞行任务中的注视点坐标、注视时长与运动轨迹，为研究其注意力分配模式及仪表熟悉度提供了关键的数据支持。每次实验结束后每个被试的试验数据都将被保存记录，再用软件对采集的数据进行分析对比，得出实验结果。每个被试课前课后采集两次眼动数据，然后导入专业软件匹配并分析。



图 1 Tobii Glasses 3 眼动仪

实验通过 MFS2020 飞行模拟器构建标准化的飞行任务环境，用于完成起落航线等训练内容。MFS2020 (Microsoft

Flight Simulator 2020) 是一款基于真实地理与气象数据构建的高保真飞行模拟平台。该软件实现了全球地形与气象条件的实时模拟，具备极高的场景真实度和物理交互精度。其高度开放的机模系统与航电仿真能力，为飞行训练提供了良好的实验条件，广泛应用于飞行程序练习、情境意识培养与航空决策研究等领域。

### 1.3 实验过程

选取某教学班全体学生作为被试，课前课后各进行一次眼动数据采集，并分别通过模拟飞行评分软件记录整个起落航线飞行过程并评分，通过对比课前课后实验数据分析得出课程对于学生的帮助效果。评分标准包括从起飞爬升、每个转弯坡度和航迹的保持、到着陆偏差效果的整个过程。

## 2. 数据处理

### 2.1 描述性统计分析

对该教学班课前课后两次数据统计分析，见图 2 所示。

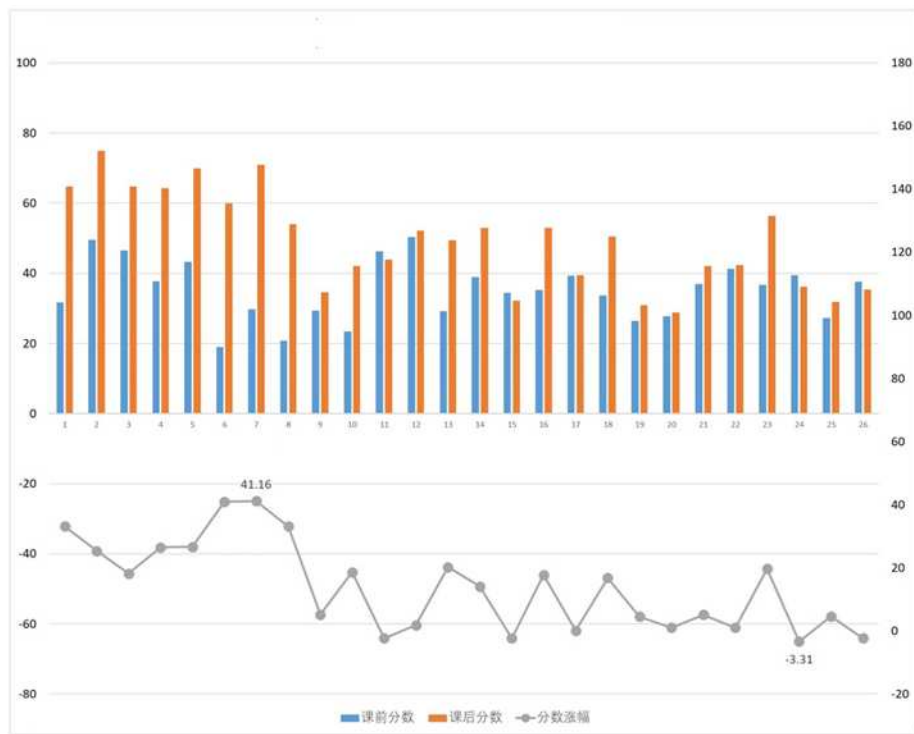


图 2 教学班课前课后分数对比

在数据预处理后，对学员的程序操作反应时间、飞行得分进行描述性统计分析，以了解课前与课后的变化情况。统计指标包括均值和标准差，结果如表 1 所示。

表 1 教学班课前课后程序操作反应时间及飞行得分统计

指标	课前均值 ± 标准差	课后均值 ± 标准差	Δ (课前 - 课后) 均值 ± 标准差
程序操作反应时间 (s)	1.8230 ± 0.468	1.2900 ± 0.375	0.5330 ± 0.409
飞行得分 (分)	35.41 ± 9.01	52.93 ± 16.82	17.52 ± 16.17

从表 1 可知,在程序操作反应时间方面,课前平均为 1.82 秒,课后下降至 1.29 秒,平均缩短约 0.53 秒;标准差由 0.47 下降至 0.38,说明整体操作时间显著缩短,个体差异减小,学员操作更加熟练且稳定;在飞行得分方面,课前平均为 35.41 分,课后提升至 52.93 分,平均提高约 17.52 分;整体飞行技术水平显著提升,同时个体差异依然存在,表明课程干预有效提升了仪表熟悉度与飞行驾驶技术。综上,被试在完成课程后,在程序操作速度、飞行表现两个维度均表现出明显改善。这为后续配对样本 t 检验提供了可靠的数据基础,也为进一步分析课程干预效果的统计学意义奠定了前提。

### 2.2 显著性检验

本研究采用 SPSS 软件对学员的课前与课后数据进行显著性检验,以分析模拟飞行课程干预对学员操作反应时间、飞行得分及注意力分配的影响。检验方法采用配对样本 t 检验,对每位学员的课前与课后数据进行比较。

#### 2.2.1 程序操作反应时间

对被试班学员课前与课后的程序操作反应时间进行了配对样本 t 检验,以分析模拟飞行课程干预对学员操作熟悉度和飞行技能的影响。检验结果如表 2 所示。

表 2 程序操作反应时间配对样本 t 检验结果

指标	平均值差	标准差	标准误	差值 95% 置信区间	t	df	p
反应时间(课前-课后)	0.533	0.409	0.085	0.356~0.710	6.252	22	0.000

由表 2 的结果可知,课前平均反应时间为 1.82 秒,课后下降至 1.29 秒,平均缩短 0.53 秒;标准差由 0.47 下降至 0.38,说明个体间差异有所减小,表现趋于一致; $t = 6.252$ ,  $p < 0.001$ ,达到极显著水平;置信区间(0.356 ~ 0.710)不跨零,结果可靠。这一结果表明,经过课程干预后,学员在程序操作上的熟悉度显著提升,能够更快速地完成操作,表现出程序记忆和注意力资源分配能力的改善。

#### 2.2.2 飞行得分

对被试班学员课前与课后的飞行得分进行了配对样本 t 检验,以检验模拟飞行课程对飞行技术水平和整体操作表现的提升效果。检验结果如表 3 所示。

由表 3 的结果可知,课前平均飞行得分为 35.41 分,课后提升至 52.93 分,平均提高 17.52 分;标准差由 9.01 增至 16.82,显示学员整体成绩提高的同时,个体差异依然存在;

$t = -5.198$ ,  $p < 0.001$ ,达到高度显著性;置信区间(-24.511 ~ -10.530)完全为负,说明得分提升的效应稳定。这一结果说明,模拟飞行课程对飞行技术水平的提升具有明显效果。

表 3 飞行得分配对样本 t 检验结果

指标	平均值差	标准差	标准误	差值 95% 置信区间	t	df	p
飞行得分(课前-课后)	-17.521	16.166	3.371	-24.511 ~ -10.530	-5.198	22	0.000

### 3. 结论与建议

本研究以飞行学员的程序操作反应时长与飞行任务得分为核心观测指标,在模拟飞行课程中实施专项训练干预,并结合眼动参数进行综合分析,系统评估课程教学对学员操作熟练度与整体飞行表现的影响。研究主要结论如下:

3.1 课程干预有效提升程序操作熟练程度  
配对样本 t 检验结果表明,实验组学员在课后程序操作反应时间平均缩短 0.53 秒( $p < 0.001$ ),标准差亦同步下降,反映出学员操作反应整体加快,且个体差异缩小。该结果说明,模拟飞行课程有助于增强学员对驾驶舱操作流程的熟悉度及其对程序逻辑的掌握水平。

#### 3.2 课程干预促进飞行任务表现改善

实验组学员在课后飞行任务得分平均提高 17.52 分( $p < 0.001$ ),表明其在任务执行准确性、完成效率及综合飞行表现方面均有显著进步。由此可见,课程训练不仅加快了学员的操作反应速度,也切实提升了其飞行任务完成质量。

综上所述,本研究表明,模拟飞行课程训练能够有效提高飞行学员的程序操作熟练度、飞行任务表现及注意力配置效率,为优化飞行训练课程体系提供了有力的数据支持。

### 参考文献:

- [1] 吴林,叶宗华,刘小东.眼动数据分析在飞行培训中的应用研究[J].价值工程,2020,39(25):189-191.
- [2] 于桂花.模拟单发失效情境中的眼动行为分析[D].中国民航大学,2019.
- [3] 王庆敏,李科华,戴圣龙,等.模拟进近着陆飞行学员眼动模式的研究[J].人类工效学,2020,26(06):1-5.
- [4] 李莹.眼动仪对提升基础模拟飞行能力的量化研究[J].天津科技,2021,48(12):31-33.

基金项目:国家自然科学基金民航联合基金重点项目(编号:U2133209)。