

【航空管理与安全】

直升机模拟机飞行训练中眼动与
飞行动作关系研究

盛 浩, 贺 强

(中国民用航空飞行学院 航空工程学院, 四川 广汉 618307)

摘 要:模拟机飞行训练是赋予直升机飞行学员安全飞行能力的重要手段。利用眼动数据研究飞行训练中的人为因素,并据此制定更有效的训练策略成为提升飞行训练质量的重要手段。针对这一需求,基于飞行学员成长周期中的训练初期和训练后期这两个不同技能水平阶段,设计实验并采集眼动数据,进而分析典型飞行动作与眼动特征之间的关系,以及这些关系随技能水平变化而产生的演变规律。研究表明:在训练初期,飞行学员的注视时间、注视次数和扫视次数均较为集中,且低于教员;在训练后期,这些指标有所增加,飞行学员之间的指标分布也开始出现差异,且随着训练深入,飞行学员的扫视峰值速度分布更趋集中,幅度减小,脑力负荷降低,注意力分配模式逐步建立。上述研究为进一步生成更具针对性的飞行训练策略提供了依据。

关键词:飞行训练;眼动;飞行动作;直升机;模拟机

中图分类号: V 328 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2025.02.003

0 引言

据中国航空工业集团有限公司预测,到 2027 年,中国民用直升机机队规模将达到 1 449 架;截至 2032 年,机队规模将超过 2 000 架^[1]。直升机机队规模高速增长导致了对大量直升机飞行员的需求愈发迫切。模拟机飞行训练是飞行员获取安全飞行能力的关键环节。直升机飞行任务可以拆解为多个飞行动作,飞行员在执行这些飞行动作时,既要靠细致的注视来实现精确控制,又要靠眼球对环境的快速扫视来建立飞行情景意识。因此,从人为因素角度出发,充分利用训练中的眼动数据,揭示眼动规律,进而辅助生成更有效的飞行训练策略,具有重要研究意义。

眼动在评估高负荷任务中操作人员心理负荷、注意力状态及疲劳水平等方面效果显著,为制定有效的飞行训练策略提供了关键依据。Di Stasi 等^[2]通过对驾驶员扫视峰值速度的研究,指出眼动能够有效反映心理负荷。王庆敏等^[3]研究表明平均注视时间、瞳孔直径可间接反映飞行学员注意力分配规律和脑力负荷。陈斌等^[4]研究表明,在高负荷任务下,飞行员注视频率和扫视速度的显著变化能够体现出注意力分配和绩效水平的波动。Yu 等^[5]发现在任务不同阶段战斗机飞行员瞳孔大小与注视百分比的变化规律,为训练优化提供了实证支持。同时 Di Stasi 和 Naeri 等^[6-7]研究验证了扫视速度和瞳孔大小作为疲劳预测指标的可靠性,进一步拓展了眼动在疲劳监测领域的应用。此外,Liu 等^[8]研究揭示了着陆飞行过程中教

收稿日期:2024-10-29

基金项目:民航飞行技术与飞行安全重点实验室自主研究项目(FZ2022ZZ01)

第一作者简介:盛 浩(2000—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事人因工程研究。E-mail:w3541778671@163.com

通信作者简介:贺 强(1985—),男,重庆铜梁人,教授,博士,主要从事飞行器适航研究。E-mail:heqiang@cafuc.edu.cn

员和飞行学员注视模式的差异,发现教员在扫视速度、扫视频率和扫描区域上显著优于飞行学员,为理解不同经验水平的飞行员在扫视策略上的差异提供了依据。Rainieri 和 Robinski 等^[9-10]进一步指出,不同的飞行条件和任务需求对扫视行为有着深刻影响。这些研究结果都表明,眼动不仅能够反映操作人员的当前状态,还为训练中扫视模式的优化提供了参考。多模态生理和心理监测手段也为飞行员的状态评估和训练优化提供了支撑。例如,Zhang 等^[11]借助非侵入功能性近红外光谱记录飞行员在不同任务条件下的脑电活动,并使用支持向量机模型分析工作负荷;Li Volsi 等^[12]研究了心率变异性与飞行任务之间的关系,发现紧急情况下 RR 间期趋于低值,心脏总功率下降;Saputra 等^[13]采用主观负荷评估法在不同天气条件下测量飞行员的认知负荷。此外,通过对飞行训练过程建模分析风险因素来优化飞行训练策略已取得一定成效。Majumdar 等^[14]基于 HFACS 框架分析了飞行员行为与飞行安全的关系;Wojcik 等^[15]使用需求资源评估分数(DRES)发现 DRES 与高绩效显著相关;Hsu 等^[16]通过模糊层次分析法识别出飞行训练中的 16 个风险因素,并提出相应改进建议;Sun 等^[17-18]通过全息建模和风险过滤评级管理法优化了飞行训练中的风险识别与评估,并利用 VENN 模型开发出基于行为指标的飞行训练能力考核标准。这些研究表明,眼动、脑电、心电等多模态生理心理数据与建模分析等方法能够为飞行训练效果的优化提供数据支持。

综上所述,在飞行训练中,利用眼动、脑电等手段研究人为因素以提升训练质量已成为一种趋势。然而,针对直升机飞行学员成长周期中,随技能水平变化的典型飞行动作与眼动模式演化的研究相对较少,限制了训练质量的进一步提升。为此,本文基于飞行学员成长周期中的训练初期和训练后期这两个技能水平阶段,设计模拟机飞行实验流程,分阶段开展模拟机飞行实验,采集眼动数据,研究直升机飞行学员在不同训练阶段典型飞行动作与眼动特征之间的关系及其随技能水平变化的演化规律,为制定更有效的训练策略奠定基础。

1 直升机模拟机飞行实验

1.1 被试

被试由某高校某分院 4 名直升机飞行学员(平均年龄 23 岁)和 2 名教员组成,2 名教员均拥有 7 000 h 以上的飞行经历。4 名飞行学员在完成为期三个月的理论培训后开展第一阶段模拟机飞行实验;该批飞行学员完成为期三个月的模拟机和真机飞行训练后开展第二阶段模拟机飞行实验。2 名教员均参与这两次实验。

1.2 研究工具

1.2.1 直升机模拟机

飞行实验于 TRU Simulation+Training 公司所生产的罗宾逊 R44/莱康明发动机 IO-540 直升机模拟机上开展。该模拟机具备真实的驾驶舱布局以及操作控制部件,包括飞行仪表、操纵杆、脚踏板和驾驶员座椅等。飞行学员能够借助模拟机进行起飞、平飞、盘旋、导航、进场和着陆等各个飞行剖面的训练。此外,模拟机还可模拟多种气象条件、机械故障和紧急情况,且满足 CCAR60 部 5 级要求。

1.2.2 眼动仪

在模拟机飞行过程中,被试的眼动行为通过 Tobii Glasses 2 眼动仪予以实时记录。Tobii Glasses 2 属于超轻且坚固的非侵入式眼动追踪设备,其头戴模块有效保障了被试者佩戴的舒适度以及行为的自由度。被试者佩戴该眼镜后,借助内置的眼动传感器与相机,能够对眼球运动轨迹和注视点进行实时且精准的追踪。在模拟机飞行实验里,利用这一设备记录下每位被试的注视次数、注视时间、扫视时间、扫视次数以及左右瞳孔直径等眼动数据。

1.3 实验流程

飞行学员成长周期的两个阶段实验具体定义如下:飞行学员在完成时长为三个月的理论培训后,开展

第一阶段模拟机飞行实验;之后,在完成为期三个月的模拟机与真机飞行训练后,开展第二阶段模拟机飞行实验。这种时间节点划分的依据是飞行技能形成的理论与实践经验,同时考虑飞行技能的渐进性和阶段性特点。三个月的理论培训时间能够为飞行学员提供基础的航空知识和操作原理,为实际飞行训练奠定理论基础。而在理论培训后的三个月模拟机与真机飞行训练,则进一步强化了飞行学员的实践操作能力,帮助其在初步掌握飞行原理后逐步形成对飞行设备的操作习惯和任务执行能力。

在第一阶段模拟机飞行实验中,首先,实验管理人员向被试详细介绍实验流程及相关细节。接着,被试在实验管理人员的协助下佩戴眼动仪,随后进入模拟机舱为起飞做准备。同时,教员统一设置模拟机舱的环境参数,包括良好的气象条件、相同的飞行任务复杂度、设备校准,以确保实验条件一致。被试依次启动起飞程序,待到达预定高度后,开始执行平飞任务(动作 1),之后执行右盘旋任务(动作 2)。完成这些任务后,进行进近着陆操作,最后恢复直升机座舱状态。此外,为控制被试状态的干扰,每名飞行学员的实验安排在其充分休息后进行,实验管理人员会记录飞行学员的精神状态和休息情况,确保其能够专注完成实验。在本阶段实验中,4 名飞行学员(编号为 0~3)和 2 名教员(编号为 4~5)依次参与实验,相应的实验数据记录为 I 组。

参与第一阶段模拟机飞行实验的所有飞行学员和教员均参与第二阶段模拟机飞行实验。第二阶段模拟机飞行实验流程与第一阶段一致,任务顺序一致,任务同样包括平飞(动作 1)和右盘旋(动作 2)。实验中同样严格控制环境变量,如模拟机参数设置及飞行学员状态监控。该实验数据记录为 II 组。

模拟机飞行实验严格按照如图 1 所示的流程进行。

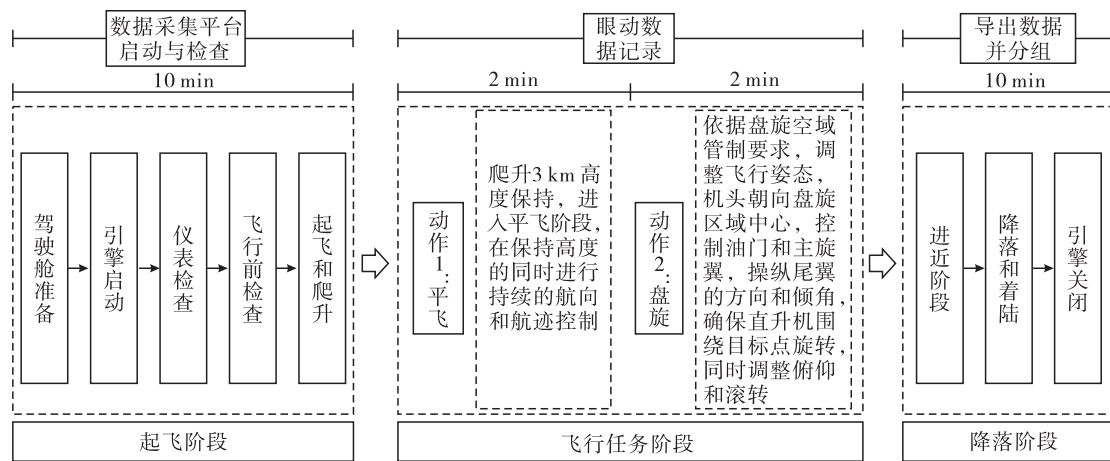


图 1 模拟机飞行实验流程

1.4 数据处理

借助 Tobii Pro Lab 软件导出被试者在任务飞行过程中的眼动数据,并将这些数据划分为平飞和盘旋两个任务段。接着,在每个任务段中,以 5 s 作为时间间隔来计算均值,进而组成预处理数据集。5 s 间隔兼顾了时间分辨率与数据稳定性,既能避免过短间隔引发数据波动,掩盖眼动指标的总体变化趋势,又能捕捉任务执行过程中的细节变化。在此基础上,对眼动指标(例如注视时间、注视次数、扫视次数等)进行统计,并且进一步计算复合型眼动指标,如平均注视时间、平均扫视峰值速度、平均扫视幅度以及瞳孔直径均值等。然后,针对眼动指标数据,依据不同的任务阶段和被试组别展开时序对比,从中筛选出那些在任务阶段以及飞行训练前后存在显著差异的眼动指标,并对其进行深入分析。

为确保分析结果基于可靠的眼动数据,数据采集与处理过程中实施了严格的质量控制措施。在实验开始前,使用 9 点校准法校准眼动仪,确保校准误差控制在 0.5° 以内,超出范围则重新校准。初次校准在实验正式开始前完成,并在任务切换(如平飞与盘旋)前再次校准。若单次实验持续时间超过 20 min,则增加中途校准频率,以防设备漂移或被试位置变化影响数据精度。数据清洗方面,剔除了因眨眼、头部运

动过大或设备限制导致的无效数据点。眨眼数据通过软件内置算法检测并移除瞳孔丢失或记录值为零的时段;头部运动数据则依据眼动仪追踪范围剔除超范围记录。对于缺失比例较小的数据段,采用线性插值法补充;若缺失比例超过 10%,则直接剔除该时间段数据。最后,利用 Tobii Pro Lab 软件生成每个飞行任务的注视热点图。

2 结果与分析

2.1 眼动指标相关性分析

采用上述数据处理方法提取的眼动指标如表 1 所示。

表 1 眼动指标序列

编号	眼动指标	指标表征	单位
1	注视时间	描述观察者在一段时间跨度内注视目标 AOI 的总时间	毫秒
2	注视次数	描述观察者在一段时间内在目标 AOI 中发生的注视次数	次
3	平均注视时间	平均描述了构成注视点的每个注视点序列中第一个注视点和最后一个注视点之间的时间	毫秒
4	瞳孔直径均值	描述观察者每次注视时的平均瞳孔直径	毫米
5	扫视次数	描述观察者在一段时间内在目标感兴趣区域(AOI)中出现的扫视次数	次
6	平均扫视峰值速度	描述观察者进行扫视时达到的平均峰值速度。峰值速度:扫视过程中测得的最高速度	度/秒
7	最小扫视峰值速度	描述观察者扫视期间达到的最小峰值速度	度/秒
8	最大扫视峰值速度	描述观察者扫视期间达到的最大峰值速度	度/秒
9	扫视峰值速度标准差	描述观察者在扫视过程中峰值速度的变化程度	度/秒
10	平均扫视幅值	描述观察者每次扫视时离眼球注视中心点的平均振幅。振幅:扫视之前的注视中心点到扫视之后的注视中心点之间的距离	度
11	最小扫视幅值	描述观察者的在扫视过程中离眼球注视中心点的最小振幅	度
12	最大扫视幅值	描述观察者的在扫视过程中离眼球注视中心点的最大振幅	度
13	总扫视幅度	描述观察者的在扫视过程中离眼球注视中心点的总振幅	度
14	首次扫视方向	描述观察者在目标 AOI 第一次扫视时眼睛移动的方向。从扫视起点到终点的直线与从扫视起点沿屏幕水平轴(或活动显示区域)的直线之间的绝对角度。使用单位圆作为坐标系,其中 0 度处于右侧,角度逆时针增长	度
15	首次扫视峰值速度	描述观察者在目标 AOI 第一次扫视时达到的最大峰值速度。峰值速度:在眼球移动过程中测得的最高速度	度/秒
16	首次扫视平均速度	描述观察者在目标 AOI 第一次扫视时眼睛移动的平均速度	度/秒
17	首次扫视幅度	描述观察者第一次扫视时离眼球注视中心点的振幅	度

对眼动指标展开相关性与相关性系数的显著性分析。相关性是评估不同变量间关联程度的一种定量度量,鉴于本研究重点在于探究不同眼动指标之间的相关性,所以,相关性数据序列应涵盖飞行学员与教员在两个模拟机飞行实验阶段的眼动数据。依据眼动指标的相关性矩阵以及对应的相关系数的显著性水平 p 值,并结合眼动指标在不同任务、不同实验组别(教员与飞行学员)以及实验批次基于时序的趋势变化情况,发现注视时间、注视次数、扫视次数之间的相关性系数分别达到 0.68、0.59、0.87,呈现出较高的相关性,且其 p 值均小于 0.01,如图 2 所示。

在时序趋势分析中还发现,随着训练的深入,扫视峰值速度出现了变化幅度降低、分布更为集中的显著差异现象。

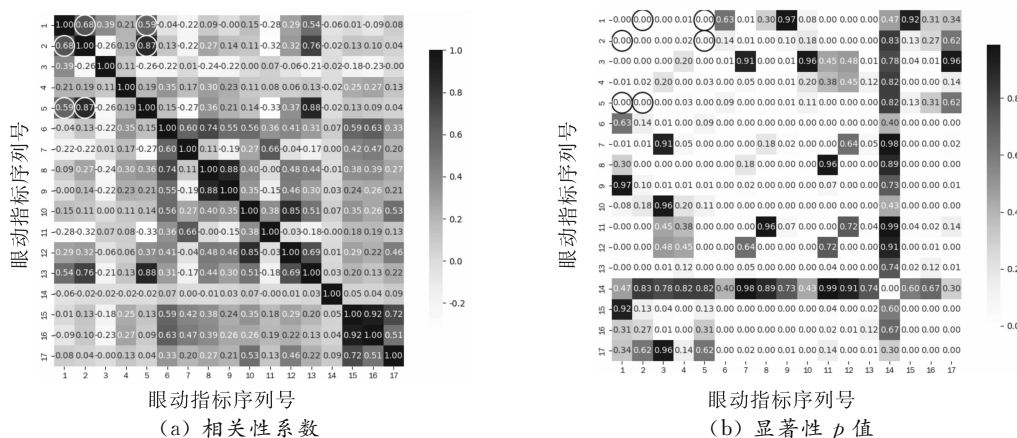


图 2 相关性与显著性分析

2.2 眼动指标的时序趋势分析

扫视次数变化趋势如图 3 所示,注视次数指标时序趋势如图 4 所示(每张子图左侧为 I 组,右侧为 II 组)。飞行学员在平飞任务阶段(动作 1)与盘旋任务阶段(动作 2)的扫视次数和注视次数在 I 组(训练初期的模拟机飞行实验)与 II 组(训练后期的模拟机飞行实验)之间存在显著差异,如图 3(a)、图 3(c)、图 4(a)和图 4(c)所示。I 组数据中,飞行学员的扫视次数和注视次数分布集中,且均低于教员;II 组数据中,飞行学员的注视次数和扫视次数有所增加。两次实验中,教员之间没有显著差异,如图 3(b)、图 3(d)、图 4(b)和图 4(d)所示。执行同一飞行动作的 II 组飞行学员的扫视次数和注视次数呈现从上到下的分层现象,依次为 1 号、2 号、3 号、0 号飞行学员,如图 3(a)、图 3(c)、图 4(a)和图 4(c)所示。同时,执行盘旋飞行动作的 II 组飞行学员在扫视次数和注视次数上的分层现象比执行平飞的 II 组飞行学员更为显著,如图 3(c)和图 4(c)所示。这可能与盘旋动作的难度较平飞动作更高有关。

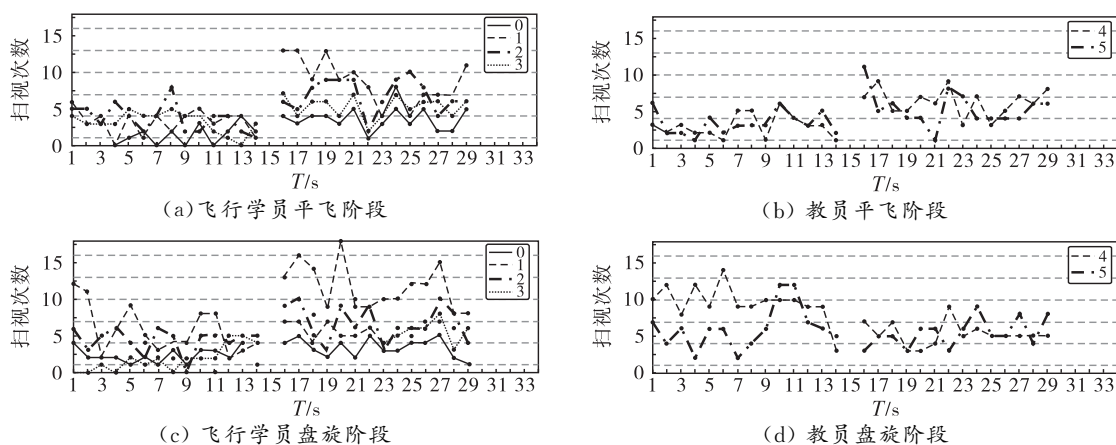


图 3 扫视次数指标时序趋势

注视次数能够体现飞行学员在飞行训练期间对信息源的关注程度^[19],其数值的差异可反映出被试者在飞行训练逐步推进过程中扫视模式所发生的变化。并且,注视次数在同一飞行动作里往往会展现出较为统一的增减态势,具体情形如图 4 所示。例如,II 组飞行学员在盘旋阶段的 16~17 s,其注视次数呈现出一致的上升情况,而在随后的 17~18 s 则出现了一致的下降态势,如图 4(c)所呈现。借助这种信息源重要程度的差异,在制定训练策略时,能够有针对性地突出飞行学员的训练重点。比如,在实施盘旋动作时,当飞行学员注视速度表区域之后,其注视姿态仪表的次数有所增加,那么在优化训练策略之际,便可着重针对对飞行员对姿

态仪表区域的关注开展强化训练。通过参考教员的扫视策略,能够切实有效地避免在不同飞行动作过程中,尤其是在非常规动作(诸如单发失效、复飞等)执行过程中,对关键信息源的忽视现象。

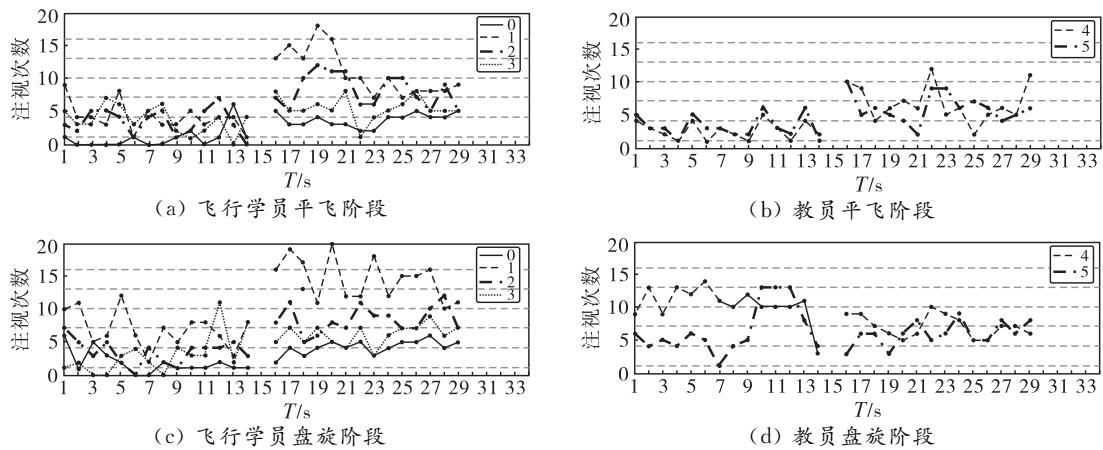


图 4 注视次数指标时序趋势

飞行学员在平飞任务与盘旋任务的注视时间在 I 组与 II 组之间存在显著差异。从图 5 中可以看出, II 组的注视时间明显长于 I 组。这一现象说明经过训练的飞行学员注意分配更为合理,减少了大量非必要的短时注视,获取信息更加高效。

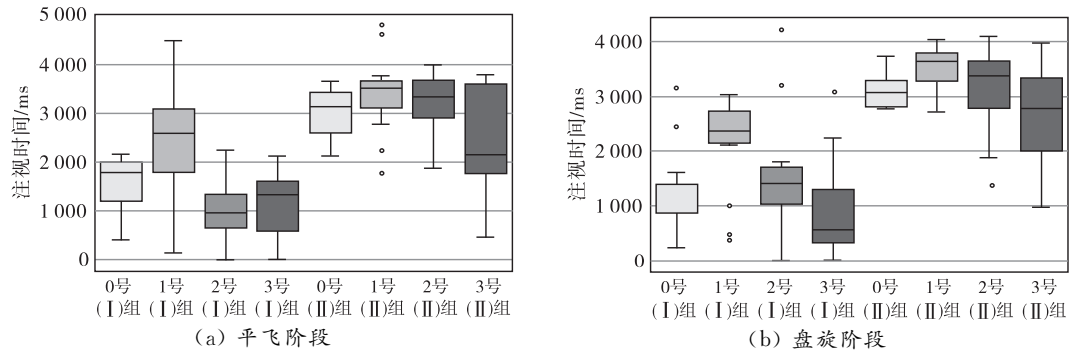


图 5 注视时间差异性

飞行学员于平飞任务阶段和盘旋任务阶段的平均扫视峰值速度,在 I 组与 II 组之间呈现出显著差异,如图 6 所示,图中 Q 为扫视峰值速度。

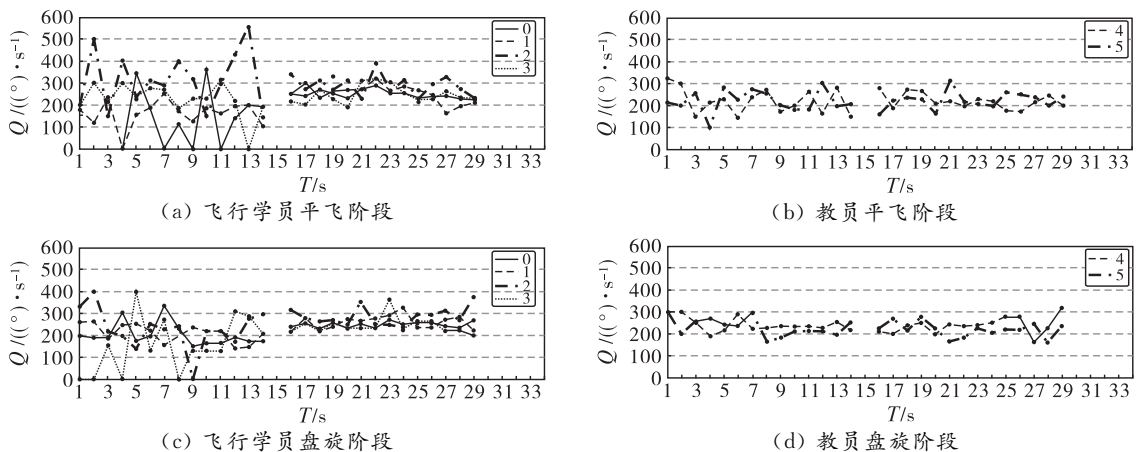


图 6 平均扫视峰值速度变化趋势

I 组的平均扫视峰值速度总体变化幅度较为明显,相较而言,II 组的平均扫视峰值速度趋势则较为稳

定集中,具体情形可参照图 6(a)与图 6(b)。而教员的平均扫视峰值速度在这两组之中均表现得较为集中,详情可见图 6(b)和图 6(d)。

I 组在扫视峰值速度方面所展现出的较大变化幅度,是由于扫视峰值速度对脑力工作量的变化具备敏感性^[20]。这一现象充分表明飞行学员在训练初始阶段呈现出较高的脑力工作量,并且采用的是较为低效的扫视策略。随着飞行训练的逐步深入,II 组飞行学员在平飞与盘旋阶段的扫视峰值速度变化幅度均有所减小,分布态势相对集中,且逐渐呈现出与教员相似的趋势,如图 6 所示。由此可见,飞行学员历经飞行训练之后,脑力工作量显著下降,同时成功构建起了更为高效的扫视模式。毕竟,平均扫视峰值速度在一定程度上能够体现飞行学员扫视模式的效率高低。

2.3 注视热点图差异性分析

在两次飞行实验中,相同飞行动作的注视热点如图 7 所示。依据注视次数逐渐叠加,注视热点图的颜色由白色向内部逐渐过渡为黑色。图 7 呈现了飞行学员每个飞行动作的两幅具有代表性的注视热点图,以及教员每个飞行动作的注视热点图。

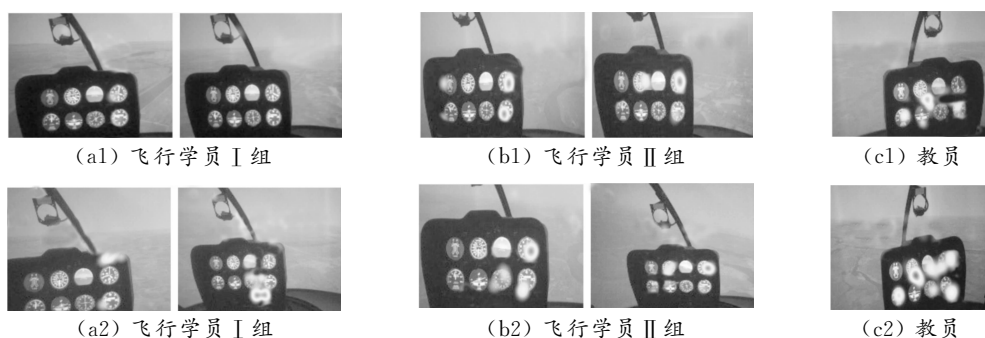


图 7 动作 1 与动作 2 中注视热点

在执行飞行任务期间,飞行员针对外景和仪表盘会采用不同的扫视模式与注意力分配策略。为体现这种差异,将视觉信息源划分成座舱仪表兴趣区域和外部视景兴趣区域。从这些注视热点图能够清晰地看出,大部分 I 组飞行学员的注视热点分布相对较为集中,其注视点主要集中于外部视景兴趣区域,而在座舱仪表兴趣区域的分布比例偏低。这意味着飞行学员还未形成在飞行过程中查看飞行仪表的习惯,也未能构建起有效的注意力分配模式。经过模拟机与真机飞行训练后,II 组飞行学员的注视点在座舱仪表兴趣区域和外部视景兴趣区域均有分布,并且在座舱仪表兴趣区域的分布较为均衡,与教员在座舱仪表兴趣区域的注视热点分布较为相近。这显示出随着飞行训练的推进,飞行学员逐步建立起了有效的注意力分配模式。不过,与教员相比,飞行学员在构建与飞行动作变化相匹配的眼动模式方面仍存在一定差距。总体而言,随着飞行训练的深入,被试者在座舱仪表兴趣区域出现了更多的注视点,这与文献^[21]的结论相互矛盾,原因在于通用航空飞行员和军机飞行员在信息获取策略上存在显著差别,通用航空飞行员一般更侧重于从仪表获取信息,对外景的视觉依赖程度相对较低。

3 结束语

本文针对不同技能水平阶段的飞行学员开展了直升机模拟飞行实验。实验获得了不同训练阶段学员的典型眼动特征指标,同时采集了飞行教员的数据作为对照组。结果显示:

(1) 训练后期的飞行学员在实验中的注视时间、注视次数和扫视次数增加,表明飞行学员对飞行仪表和环境的注意力投入逐渐增加。(2) 训练后期的飞行学员在实验中的扫视次数和注视次数出现分层现象,且盘旋动作阶段的分层比平飞动作阶段更为明显。注视次数反映了飞行学员在飞行过程中对不同信息源的重视程度,训练中可以根据这一差异有针对性地调整侧重点。(3) 表征注意力分配的注视热点图在飞行学员成长周期中的两个典型阶段呈现出显著差异。训练后期的飞行学员的注视热点与教员的表现趋于—

致。这说明飞行学员在训练过程中逐步建立了有效的注意力分配模式。

本研究的被试样本量较少,可能在一定程度上限制了结果的普适性和代表性。因此,未来研究将进一步扩大样本规模,以提高研究结论的外部效度。此外,在数据处理过程中,本研究采用了5 s作为时间间隔,这一固定的时间窗口可能无法完全适应某些操作频率较高或持续时间较短的任务情境,从而对结果的精确性产生一定影响。为此,后续研究将尝试引入更为灵活和细化的动态时间窗口。

参考文献:

- [1] 胡萌伟.民用直升机机队将达1449架[N].天津日报,2023-09-15(3).
- [2] DI STASI L L,RENNER R,STAEHR P,et al. Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload[J]. Aviation,space,and environmental medicine,2010,81(4):413-417.
- [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(6):1-5.
- [4] 陈斌,曹博书,于桂花.单发失效情境下飞行员的眼动特征分析[J].安全与环境学报,2019,19(4):1282-1287.
- [5] YU C,WANG E M,LI W C,et al. Pilots' visual scan patterns and situation awareness in flight operations[J]. Aviation,space,and environmental medicine,2014,85(7):708-714.
- [6] DI STASI L L,MCCAMY M B,MARTINEZ-CONDE S,et al. Effects of long and short simulated flights on the saccadic eye movement velocity of aviators[J]. Physiology & behavior,2016,153:91-96.
- [7] NAEERI S,KANG Z,MANDAL S,et al. Multimodal analysis of eye movements and fatigue in a simulated glass cockpit environment[J]. Aerospace,2021,8(10):283.
- [8] LIU W,LIU C K,ZHUANG D M,et al. Comparison of expert and novice eye movement behaviors during landing flight[J]. Advanced materials research,2012,383:2556-2560.
- [9] RAINIERI G,FRABONI F,RUSSO G,et al. Visual scanning techniques and mental workload of helicopter pilots during simulated flight[J]. Aerospace medicine and human performance,2021,92(1):11-19.
- [10] ROBINSKI M,STEIN M. Tracking visual scanning techniques in training simulation for helicopter landing[J]. Journal of eye movement research,2013,6(2):1-17.
- [11] ZHANG C Y,YUAN J J,JIAO Y B,et al. Variation of pilots' mental workload under emergency flight conditions induced by different equipment failures;a flight simulator study[J]. Transportation research record,2024,2678(4):365-377.
- [12] LI VOLSI G,MONTE I P,ARUTA A,et al. Heart rate variability indices of student pilots undergo modifications during flight training [J]. Aerospace medicine and human performance,2023,94(11):835-842.
- [13] SAPUTRA A D,MUTHOHAR I,PRIYANTO S,et al. Pengaruh kondisi cuaca penerbangan terhadap beban kerja mental pilot[J]. Jurnal transportasi,2015,15(3):159-168.
- [14] MAJUMDAR N,MARAIK. A survey of pilots' experiences of inflight loss of control incidents and training[C]. AIAA Aviation 2022 Forum. 2022:3778.
- [15] WOJCIK D Z,MOULIN C J A,FERNANDEZ A. Assessment of metacognition in aviation pilot students during simulated flight training of a demanding maneuver[J]. Applied ergonomics,2021,95:103427.
- [16] HSU W K K,SHU M H,LIU Y C,et al. Risk management of safety for flight training in air forces[J]. Aerospace,2022,9(10):558.

- [17] SUN H, YANG F Q, ZHANG P W, et al. Flight training risk identification and assessment based on the HHM-RFRM model[J]. Sustainability, 2023, 15(2): 1693.
- [18] SUN H, YANG F Q, ZHANG P W, et al. Behavioral indicator-based initial flight training competency assessment model[J]. Applied sciences, 2023, 13(10): 6346.
- [19] LIU Z Q, YUAN X G, LIU W, et al. Analysis on eye movement indices based on simulated flight task[J]. China safety science journal, 2006, 16(2): 47-51.
- [20] YANG X N, WANG S, NIU H W, et al. Research status and prospects of key technologies of eye-based interaction[J]. Computer integrated manufacturing system, 2024, 30(5): 1595.
- [21] DI STASI L L, MARCHITTO M, ANTOLÍ A, et al. Saccadic peak velocity as an alternative index of operator attention: a short review[J]. European review of applied psychology, 2013, 63(6): 335-343.

A probe into the relationship between eye-gaze pattern and maneuver during helicopter flight-training phase

SHENG Hao, HE Qiang

(College of Aviation Engineering, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: Simulator flight training is crucial for helicopter pilots to develop safe flight skills. Utilizing eye movement data to study human factors in flight training and to develop more effective training strategies has become an important means to improve the quality of flight training. To address this need, an experiment was designed to collect eye-movement data from the initial and later skill training stages in the growth cycle of flight students, and then analyze the relationships between typical flight maneuvers and eye-movement characteristics, as well as the evolutionary patterns of these relationships with the changes in skill levels. The findings of the study show that in the early stage of training, the total duration of fixations, the number of fixations and the number of saccades of the flight students were more concentrated and lower than that of the instructors. While in the later stage of training, these metrics increased, and the distribution of the metrics among the flight students began to show differences. With the deepening of the training, the distribution of the peak velocity of the saccade of the flight students became more concentrated, the amplitude and the cerebral load decreased, and the distribution pattern of the attention was gradually built up. The above findings provide a basis for generating more targeted flight training strategies.

Keywords: flight training; eye movements; maneuvers; helicopter; simulator

(责任编辑:唐立平)

引用格式 盛浩,贺强. 直升机模拟机飞行训练中眼动与飞行动作关系研究[J]. 山东航空学院学报, 2025, 42(2): 18-26.
SHENG H, HE Q. A probe into the relationship between eye-gaze pattern and maneuver during helicopter flight-training phase[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2025, 42(2): 18-26.