

光环境对不同视力者视觉绩效的影响

陈剑政^{1,2}, 陈涛¹, 苏玉婷¹, 江川¹, 许馨月¹, 张作明¹

引用: 陈剑政, 陈涛, 苏玉婷, 等. 光环境对不同视力者视觉绩效的影响. 国际眼科杂志 2022;22(7):1163-1167

基金项目: 国家军用标准研究项目 (No. BKJ19B044); 空军军医大学飞行人员作战效能提升航空医学重大问题科技攻关项目 (No. 2020ZTB01)

作者单位: ¹(710032) 中国陕西省西安市, 空军军医大学航空航天医学系 教育部航空航天医学重点实验室; ²(266000) 中国山东省青岛市, 海军青岛特勤疗养中心

作者简介: 陈剑政, 毕业于第四军医大学, 在读硕士研究生, 主治医师, 研究方向: 视觉功能鉴定与防护。

通讯作者: 张作明, 毕业于第四军医大学, 博士, 主任医师, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 视觉功能鉴定与防护、视觉电生理. zhangzm@fmmu.edu.cn

收稿日期: 2021-12-26 修回日期: 2022-06-07

摘要

目的: 研究不同模拟光环境下不同视力者视觉绩效的变化, 为修订飞行人员视力标准提供试验依据。

方法: 随机对照研究。招募 24 名志愿者, 根据右眼/左眼视力分为 1.0/1.0、0.8/0.8、0.6/0.6 和 0.4/0.4 (小数视力) 4 组, 每组 6 人, 分别在模拟日光、曙暮光和云上光环境下检测双眼静态远视力、动态视力、色觉和深径觉误差及视觉搜索时间, 比较不同光环境对不同视力者视觉绩效指标影响的变化。

结果: 不同光环境下双眼静态远视力、动态视力、色觉误差、深径觉误差和视觉搜索时间存在主效应差异 (均 $P < 0.01$)。日光下双眼静态远视力、色觉辨别、深径觉和视觉搜索能力均高于曙暮光和云上光。在 0.4/0.4 视力组, 曙暮光、云上光环境下动态视力显著低于日光环境 ($P < 0.01$)。不同视力者双眼静态远视力、动态视力、深径觉误差和视觉搜索时间存在主效应差异 (均 $P < 0.05$)。与 1.0/1.0 视力组比较, 0.6/0.6、0.4/0.4 视力组动态视力、深径觉和视觉搜索能力显著下降 (均 $P < 0.05$)。

结论: 不同光环境对视力低于正常者视觉绩效存在明显影响, 对飞行安全构成潜在的威胁。

关键词: 视力; 光环境; 视觉绩效; 视觉功能; 飞行人员

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.7.19

Effects of luminous environments on visual performance of people with different vision

Jian-Zheng Chen^{1,2}, Tao Chen¹, Yu-Ting Su¹, Chuan Jiang¹, Xin-Yue Xu¹, Zuo-Ming Zhang¹

Foundation items: National Military Standard Research Project (No. BKJ19B044); Air Force Military Medical University Key Scientific and Technological Research Project of Aviation Medicine

to Improve Flight Personnel Combat Effectiveness (No.2020ZTB01)

¹Ministry of Education Key Laboratory of Aerospace Medicine; School of Aerospace Medicine, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi Province, China; ²Qingdao Special Servicemen Recuperation Center of PLA Navy, Qingdao 266000, Shandong Province, China

Correspondence to: Zuo-Ming Zhang. Ministry of Education Key Laboratory of Aerospace Medicine; School of Aerospace Medicine, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi Province, China. zhangzm@fmmu.edu.cn

Received: 2021-12-26 Accepted: 2022-06-07

Abstract

• AIM: To study the effects of the specific simulated luminous environment on the visual performance of people with different vision, so as to provide an experimental basis for revising pilots' vision standards.

• METHODS: A controlled randomized trial was conducted. Twenty-four volunteers were recruited and divided into four groups (1.0/1.0, 0.8/0.8, 0.6/0.6 and 0.4/0.4, decimal vision) according to right/left eye visual acuity, with six subjects in each group. Each subject was tested for static distant vision, kinetic visual acuity, color vision, depth perception error and visual search time under the simulated luminous environments of sunlight, twilight, and on-cloud, respectively, to compare changes in the impact of distinctive luminous surroundings on the visual performance indicators of human beings with different vision.

• RESULTS: There were main effect differences in static distant vision, kinetic visual acuity, color error, depth perception error and visual search time under different light environments (all $P < 0.01$). The binocular static distant visual acuity, abilities of color discrimination, depth perception and visual search in simulated sunlight environment were higher than those in simulated twilight and on-cloud environments. In the 0.4/0.4 vision group, kinetic vision in simulated twilight and on-cloud environments were significantly lower than that in simulated sunlight environment ($P < 0.01$). There were main effect differences in binocular static distant vision, kinetic visual acuity, depth perception error and visual search time among subjects with different vision (all $P < 0.05$). Compared with 1.0/1.0 vision group, those with 0.6/0.6 and 0.4/0.4 vision had significant decrease in kinetic visual acuity, depth perception ability and visual search ability (all $P < 0.05$).

• CONCLUSION: Different luminous environments have a great impact on the visual performance of people with low vision, which poses a potential threat to flight safety.

• KEYWORDS: visual acuity; luminous environment; visual performance; visual function; aircrew

Citation: Chen JZ, Chen T, Su YT, *et al.* Effects of luminous environments on visual performance of people with different vision. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(7):1163-1167

0 引言

人类感知的外界信息 80% 来自视觉系统,而飞行主要是在视觉引导下的活动^[1],为此民航或外军要求飞行员在飞行时视力(裸眼、戴镜或手术矫正)必须 ≥ 1.0 ^[2-3](小数视力)。按照目前我军的《飞行人员体格检查标准》,飞行人员的视力标准低于 1.0,轰炸机、运输机飞行人员可以降到 0.6 甚至 0.4^[1]。但是,随着全天候、全空域作战方式的转变,飞行光学环境从正午阳光到曙暮光和云上光,复杂的光照变化可能对飞行员尤其是视力低于正常飞行员的视觉绩效产生明显的影响。因此,深入验证并分析光环境对于不同视力者视觉绩效的影响,有利于优化我军飞行人员视力检查标准,对于保障飞行安全、提高战斗力具有十分重要的现实意义。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为随机对照研究。招募 24 名志愿者,男性,年龄 19~34(平均 25.84±4.31)岁,排除屈光不正手术史、色盲、色弱、青光眼和糖尿病视网膜病变等眼部器质性疾病。其中 6 名受试者单眼裸眼远视力 ≥ 1.0 ,另 18 名受试者单眼裸眼远视力 < 1.0 ,根据军队飞行人员视力检查标准,所有受试者满足近视度数 $\leq -2.00D$,远视度数 $\leq +2.50D$,散光度数 $\leq 1.00D$ 且最佳矫正视力 ≥ 1.0 。本研究经空军军医大学西京医院伦理委员会审核批准,所有受试者均知情同意并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 试验环境 课题组试验室通过标准化灯光照明系统,可完成日光(1500lx、5000K)、曙暮光(15lx、3000K)和云上光(750lx、5000K)等全光谱飞行光学环境的模拟(照度和色温为受试者眼前 5cm 处测得)。受试者座位前方放置 2 块 55cm×55cm 的全光谱灯模拟云上光环境。

1.2.2 试验仪器 采用自动验光仪(TOPCON KR-8100PA)验光,采用无背光标准对数远视力表(人民卫生出版社)检测静态远视力,采用深度觉计和视觉测试软件系统(空军军医大学航空航天临床医学中心)检测深径觉误差、动态视力(kinetic visual acuity, KVA)和视觉搜索时间,采用 Farnsworth-Munsell 100 色棋检测色觉误差。

1.2.3 试验设计 本试验的目的是通过模拟 3 种飞行光学环境,比较不同视力和光学环境对视觉绩效的影响。采用两因素多水平试验设计,因素一为 4 种不同视力(组间因素),因素二为 3 种不同的光学环境(组内因素)。因变量为双眼最佳静态远视力、动态视力、色觉误差、深径觉误差和视觉搜索时间。

1.2.4 试验方法 受试者验光后在 350lx 均匀标准照度下检查视力,通过配镜将单眼视力 < 1.0 受试者的右眼/左眼视力就近矫正为 0.8/0.8、0.6/0.6 和 0.4/0.4。将 24 名受试者根据右眼/左眼视力分为 1.0/1.0、0.8/0.8、0.6/0.6 和 0.4/0.4 共 4 组,每组 6 人,分别在日光、曙暮光和云上光 3 种模拟光环境下依次进行以下视觉指标的检测。受试者在每种模拟光环境下适应 5min 后开始试验。在曙暮光

环境试验前,受试者需额外完成 10min 暗适应。所有试验由同一主试者完成,试验前让受试者进行充分练习以消除学习效应。每种光学环境下的动态视力、色觉和深径觉误差各测量 3 次,取平均值。

1.2.5 观察指标

1.2.5.1 双眼静态远视力 受试者矫正为相应视力后,在 3 种光环境下检测双眼最佳静态远视力。检测结果转换为最小分辨角对数(LogMAR)视力进行统计分析。

1.2.5.2 动态视力 视标“E”始终在 75cm×121cm 大小的屏幕中心,尺寸由小变大,模拟物体从 50m 距离以 15km/h 的运动速度向受试者飞近,受试者在距离屏幕 5m 处判断视标开口方向并做出反应,判断正确的最小视标对应受试者的动态视力。检测结果转换为 LogMAR 视力进行统计分析。

1.2.5.3 色觉误差 将 Farnsworth-Munsell 100 色棋分为蓝、紫、绿、红 4 组颜色并随机排列,受试者座位距色棋 70cm,主试者根据随机数表随机抽取 1 个色棋,受试者观察后选择颜色与其最接近的色棋,两色棋的序号差值为色觉误差。

1.2.5.4 深径觉误差 深度觉计上的 2 根滑杆初始水平位置相同,主试者根据随机数表控制 1 号杆随机纵向移动一定距离,要求受试者坐于 5m 远处移动 2 号杆到同一水平位置,两杆间的纵向距离差即为深径觉误差。

1.2.5.5 视觉搜索时间 视标“E”在屏幕任意位置出现 28 次,间隔时间随机,受试者在 2m 远处于 75cm×121cm 的屏幕上寻找 0.2908cm×0.2908cm 大小的视标(相当于 1.0 视力)并且判断视标开口方向。记录受试者做出正确判断的平均反应时间。

统计学分析:采用 SPSS 21.0 软件对数据进行统计分析。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,运用两因素多水平重复测量方差分析方法进行数据分析,满足球形检验则使用单变量方差分析方法,不满足球形检验则使用多变量方差分析方法,进一步两两比较采用 LSD-*t* 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同视力者在不同光环境下双眼静态远视力的变化 不同光环境下静态远视力的主效应差异具有统计学意义($F_{组内} = 189.71, P_{组内} < 0.001$),不同视力者静态远视力的主效应差异有统计学意义($F_{组间} = 67.290, P_{组间} < 0.001$),视力与光环境之间不存在交互作用($F_{交互} = 0.385, P_{交互} = 0.938$)。不同光环境下双眼静态远视力两两比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中日光下双眼静态远视力最高,标准照度高于云上光,曙暮光下最低。不同视力组间双眼静态远视力两两比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中 1.0/1.0 组双眼静态远视力最高,0.8/0.8 组高于 0.6/0.6 组,0.4/0.4 组最低,见表 1。

2.2 不同视力者在不同光环境下动态视力的变化 不同光环境下 KVA(15km/h)的主效应差异具有统计学意义($F_{组内} = 7.287, P_{组内} = 0.004$),不同视力者 KVA(15km/h)的主效应差异有统计学意义($F_{组间} = 24.301, P_{组间} = 0.003$),视力与光环境之间存在交互作用($F_{交互} = 3.940, P_{交互} = 0.003$),表明不同视力者 KVA 在不同光环境下变化的趋势不同。在 3 种光环境下,与 1.0/1.0 组、0.8/0.8 组比较,0.6/0.6 组、0.4/0.4 组 KVA 显著降低,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。在 0.4/0.4 视力组,与日光环境相比,曙暮

表 1 不同视力者在不同光环境下双眼静态远视力的变化

($\bar{x} \pm s, \text{LogMAR}$)

视力分组	光环境				合计
	标准照度	日光	曙暮光	云上光	
1.0/1.0 组	-0.12±0.10	-0.18±0.08	0.10±0.06	0.03±0.08	-0.04±0.14
0.8/0.8 组	0.00±0.00	-0.03±0.05	0.25±0.08	0.17±0.08	0.10±0.13 ^g
0.6/0.6 组	0.15±0.05	0.07±0.05	0.38±0.08	0.30±0.09	0.22±0.14 ^{g,i}
0.4/0.4 组	0.30±0.00	0.23±0.05	0.53±0.08	0.48±0.08	0.39±0.14 ^{g,i,k}
合计	0.08±0.17	0.02±0.16 ^a	0.32±0.18 ^{a,c}	0.25±0.19 ^{a,c,e}	0.17±0.21

注:^a $P < 0.05$ vs 标准照度;^b $P < 0.05$ vs 日光;^c $P < 0.05$ vs 曙暮光;^d $P < 0.05$ vs 1.0/1.0 组;^e $P < 0.05$ vs 0.8/0.8 组;^f $P < 0.05$ vs 0.6/0.6 组。

光、云上光环境下 KVA 显著降低,差异均有统计学意义 ($P < 0.01$),见图 1。

2.3 不同视力者在不同光环境下色觉误差的变化 不同光环境下蓝色、紫色、绿色、红色色觉误差的主效应差异有统计学意义 ($F_{\text{组内}} = 43.979, 13.833, 43.706, 22.450$, 均 $P_{\text{组内}} < 0.001$),不同视力者蓝色、紫色、绿色、红色色觉误差的主效应差异均无统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 1.173, 2.278, 0.439, 1.012$, 均 $P_{\text{组间}} > 0.05$),光环境与视力也均不存在交互作用 ($F_{\text{交互}} = 0.241, 0.580, 0.491, 2.453$, 均 $P_{\text{交互}} > 0.05$),见图 2。与日光环境相比,曙暮光、云上光下蓝色、紫色色觉误差显著增大,差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。不同光环境下绿色、红色色觉误差两两比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),其中日光下绿色、红色色觉误差最小,云上光次之,曙暮光最大,见图 3。

2.4 不同视力者在不同光环境下深径觉误差的变化 不同光环境对深径觉误差的主效应差异有统计学意义 ($F_{\text{组内}} = 13.892, P_{\text{组内}} < 0.001$),不同视力者深径觉误差的主效应差异有统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 7.935, P_{\text{组间}} = 0.001$),视力与光环境之间不存在交互作用 ($F_{\text{交互}} = 1.803, P_{\text{交互}} = 0.123$)。不同光环境下深径觉误差两两比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),其中日光下深径觉误差最小,云上光次之,曙暮光最大。与 1.0/1.0 组和 0.8/0.8 组比较,0.6/0.6 组、0.4/0.4 组深径觉误差显著增大,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),见表 2。

2.5 不同视力者在不同光环境下视觉搜索时间的变化 不同光环境下视觉搜索时间的主效应差异有统计学意义 ($F_{\text{组内}} = 6.103, P_{\text{组内}} = 0.005$),不同视力者视觉搜索时间的主效应差异有统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 6.905, P_{\text{组间}} = 0.002$),视力与光环境之间不存在交互作用 ($F_{\text{交互}} = 0.900, P_{\text{交互}} = 0.504$)。与日光环境相比,曙暮光、云上光下视觉搜索时间显著增加,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。与 1.0/1.0 组相比,其余各组视觉搜索时间均增加,且 0.6/0.6 组、0.4/0.4 组视觉搜索时间显著增加,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$);与 0.4/0.4 组相比,0.8/0.8 组、0.6/0.6 组视觉搜索时间显著减少,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),见表 3。

3 讨论

现代空战是全天候、全空域作战,飞行员必须具备昼间、夜间及各种复杂气象条件下起飞作战的能力。在不同的气象条件,飞机外部光照变化范围可以相差 10~12 个数量级^[4]。目前研究表明,光线环境会对注意力、学习和工作表现造成影响^[5-6],光源的照度及色温会对视觉舒适度、知觉和认知表现产生影响^[7-11]。但是,既往研究多集

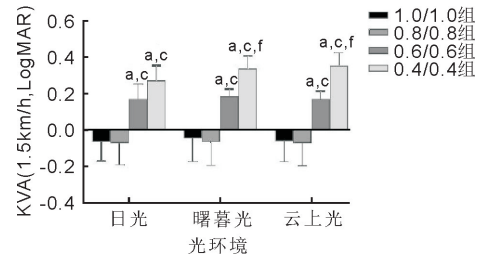


图 1 不同光环境下的动态视力变化 ^a $P < 0.05$ vs 相同光环境下 1.0/1.0 组;^b $P < 0.05$ vs 相同光环境下 0.8/0.8 组;^c $P < 0.01$ vs 0.4/0.4 组日光环境。

中于室内办公或学习的光线环境,本课题组选取并模拟了 3 种具有代表性的飞行光学环境,即日光、曙暮光和云上光环境。从试验结果分析得知,日光下的双眼静态远视力、深径觉能力、绿色及红色辨别能力最高,云上光次之,曙暮光最低。与日光环境相比,曙暮光、云上光下蓝色及紫色辨别能力和视觉搜索能力显著下降。在 0.4/0.4 视力组,曙暮光、云上光环境下动态视力显著低于日光环境。可见,在曙暮光、云上光环境飞行时,人眼的视觉功能、视觉绩效有所下降,影响飞行安全和作战效能。有研究表明,不利的光环境会造成飞行员的不安全行为,使飞行员判读、操作的错误率提高^[12]。国外飞行事故资料统计分析显示,“人为差错”造成的事故占全部事故的 40%,直升机达 70%,而不利光环境引起的视觉功能下降是造成“人为差错”的直接原因之一^[13]。本试验模拟的云上光环境下双眼静态远视力显著低于日光环境。因为云上飞行时,大量光线由下向上反射,使人产生“上暗下亮”的感觉,同时影响视网膜成像而使视力下降^[1]。飞行人员进入云上飞行后,应集中注意力以减少错觉的发生,多借助雷达搜索以减少目视搜索时间,同时配戴好护目镜,避免长时间的云上飞行和注视下方云层,防止产生眩光^[14]。与日光环境相比,曙暮光环境下色觉辨别能力下降明显。在日光环境,只有视锥细胞起作用,而曙暮光环境处于中间视觉亮度水平,人眼的视锥和视杆细胞相互作用,有文献表明视杆细胞作用的增加会降低颜色的辨别能力^[15],这与本研究结果相符。

视力是选拔飞行员的首要条件,良好的视力对于飞行安全的重要性不言而喻^[16-17]。但是,近年来,我国近视患病率居高不下^[18],屈光不正已成为我军飞行人员停飞最常见的眼科疾病^[19-20]。从起飞到着陆的整个飞行过程中,飞行员要随时观察仪表的变化情况和舱外的各种目标,如天地线、地形、地貌及地标等。着陆时,视力好的飞行员可以在较远的地方看清跑道,较早建立目视参考,而

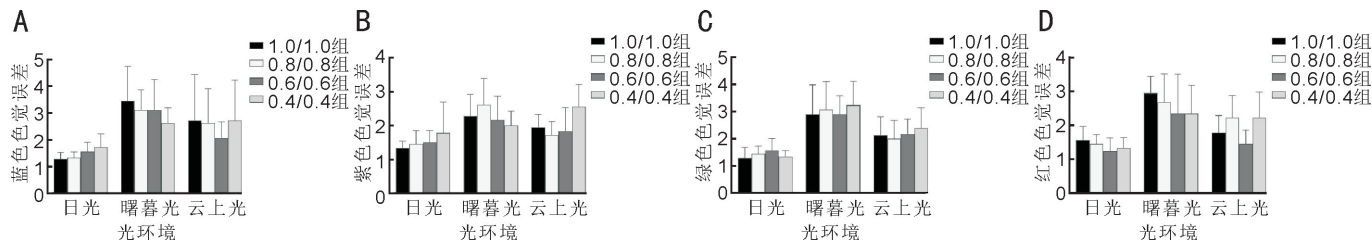


图2 不同光环境下的色觉误差变化 A:蓝色色觉误差;B:紫色色觉误差;C:绿色色觉误差;D:红色色觉误差。

表2 不同视力者在不同光环境下深径觉误差的变化

($\bar{x} \pm s$, mm)

视力分组	光环境			合计
	日光	曙暮光	云上光	
1.0/1.0组	9.55±7.15	18.06±9.01	18.03±10.53	15.21±9.41
0.8/0.8组	13.41±1.19	22.88±7.49	22.09±5.92	19.46±6.84
0.6/0.6组	26.19±13.27	49.95±26.49	28.28±10.82	34.81±20.37 ^{c,§}
0.4/0.4组	28.18±6.70	57.04±29.16	40.5±17.16	41.91±22.31 ^{c,§}
合计	19.33±11.24	36.98±25.72 ^a	27.23±14.01 ^{a,c}	27.85±19.28

注:^a $P < 0.05$ vs 日光;^c $P < 0.05$ vs 曙暮光;^c $P < 0.05$ vs 1.0/1.0组;[§] $P < 0.05$ vs 0.8/0.8组。

表3 不同视力者在不同光环境下视觉搜索时间的变化

($\bar{x} \pm s$, ms)

视力分组	光环境			合计
	日光	曙暮光	云上光	
1.0/1.0组	968.33±38.26	989.67±57.39	977.67±64.07	978.56±51.84
0.8/0.8组	1055±71.18	1129.83±40.89	1094.33±36.44	1093.06±57.98
0.6/0.6组	1106.5±114.33	1138.17±199.95	1137.33±178.21	1127.33±158.67 ^c
0.4/0.4组	1229.5±137.15	1327±226.12	1330.67±188.92	1295.72±182.73 ^{c,§}
合计	1089.83±132.96	1146.17±189.45 ^a	1135±180.89 ^a	1123.67±168.98

注:^a $P < 0.05$ vs 日光;^c $P < 0.05$ vs 1.0/1.0组;^c $P < 0.05$ vs 0.8/0.8组;[§] $P < 0.05$ vs 0.6/0.6组。

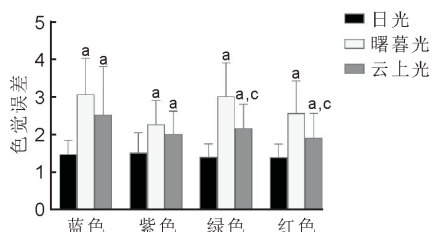


图3 不同颜色的色觉误差变化 ^a $P < 0.05$ vs 日光;^c $P < 0.05$ vs 曙暮光。

视力差的飞行员其看清跑道的距离就大大缩短。由于视觉运动反应时间的生理限制和操纵飞机的时间限制而对迎面物体来不及看清或回避的空间距离,称为“空中盲距”^[1]。飞机飞行的速度越快,空中盲距越大,尤其对视力低于正常的飞行员,而不利的的环境会延长视觉运动反应时间,进一步加大空中盲距,发生事故的风险也会成倍增加。因此,外军要求飞行人员飞行时的裸眼或矫正视力 $\geq 20/20$ (相当于小数视力1.0)。如美国空军要求飞行学员裸眼视力不得低于20/70(矫正视力 $\geq 20/20$),领航学员的裸眼视力不得低于20/200(矫正视力 $\geq 20/20$);陆军直升机飞行员裸眼视力不得低于20/50(矫正视力 $\geq 20/20$);海军陆战队飞行员的裸眼视力不得低于20/40(矫正视力 $\geq 20/20$)^[2]。然而,我军飞行人员的视力标准低于1.0,有的放宽到0.6甚至0.4,且目前并未允许戴镜飞行或可通过手术矫正屈光不正的相关规定。

本研究结果显示,同1.0/1.0视力组比较,0.6/0.6、0.4/0.4视力组双眼静态远视力、深径觉能力、视觉搜索能力和动态视力显著下降。深径觉亦称“立体知觉”或“距离知觉”,是对物体的立体或不同物体远近的知觉,是用眼辨别物体空间方位、深度、凸凹等相对位置的能力。飞行人员在飞机着陆、编队飞行和空中加油等操作过程中均涉及距离的判断,而屈光不正可造成深径觉功能下降^[21],威胁飞行安全。视觉搜索能力是自由空战尤其近距空战胜负的关键因素,直接影响飞行员的战斗力。动态视力是指辨识移动物体细微部分的一种运动视觉能力,对涉及快速移动物体的视觉运动表现(如飞行)至关重要,直接影响运动状态下工作任务的完成质量。Palidis等^[22]在对棒球队员(视力正常或矫正视力正常)的动态视力研究中发现,当物体以50°/s的角速度运动时,静态视力与动态视力显著相关。与之不同的是,本研究发现与正视眼人群相比,近视人群动态视力下降明显,并会受到周围光环境的叠加影响。

综上所述,飞行人员的视力下降会严重影响飞行时搜索敌机、辨别目标和判断距离的能力,危及飞行安全,降低作战效能。据此,建议我军飞行人员应该在保持正常视力情况下执行作训任务,即应该提高目前我军飞行人员现行的视力标准以满足战机在复杂多变的光环境下作训飞行的客观需求。对于不能满足正常视力标准的,应该尽快出台允许飞行人员配戴矫正眼镜或通过屈光手术矫正视力

的政策。当然,本研究存在一定的局限性:(1)试验模拟的光学环境与真实的飞行环境存在一定差异;(2)受试者的左右眼矫正视力相同,而飞行人员的左右眼视力可能存在不同或差异较大的情况。因此,尚需进一步加强环境模拟和丰富试验对象,完善研究。

参考文献

- 1 张作明,李松林. 航空航天临床医学. 西安:第四军医大学出版社 2013; 176-180
- 2 Manual of civil aviation medicine 2012. <https://www.afeonline.com/shop/icao-doc-8984.html>
- 3 张凌,邹志康,赵蓉,等. 外军飞行人员屈光不正矫治的文献荟萃分析. 空军医学杂志 2014; 30(1): 15-21, 43
- 4 余涛. 光环境对飞机座舱显示工效的影响机理研究. 南京航空航天大学 2016
- 5 Mott MS, Robinson DH, Walden A, et al. Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning. *SAGE Open* 2012; 2(2):215824401244558
- 6 潘玲玲. 飞机座舱光环境对视觉工效的影响研究. 南京航空航天大学 2017
- 7 Yang W, Jeon JY. Effects of correlated colour temperature of LED light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment. *Sustainability* 2020; 12(10): 4051
- 8 Wang YJ, Huang HJ, Chen G. Effects of lighting on ECG, visual performance and psychology of the elderly. *Optik* 2020; 203: 164063
- 9 Liu Q, Huang Z, Li Z, et al. A field study of the impact of indoor lighting on visual perception and cognitive performance in classroom. *Appl Sci* 2020; 10(7436): 7436
- 10 O'Connor DA, Davis RG. Lighting for the elderly: the effects of light

source spectrum and illuminance on color discrimination and preference. *LEUKOS* 2005; 2(2): 123-132

- 11 Rea MS. Lighting simply made better: providing a full range of benefits without much fuss. *Build Environ* 2018; 144: 57-65
- 12 刘瑞萑. 影响飞行员不安全行为的内外因素及其作用机理研究. 中国民航大学 2019
- 13 姚其. 民机驾驶舱 led 照明工效研究. 复旦大学 2012
- 14 Nakagawara VB, Montgomery RW, Wood KJ. Aircraft accidents and incidents associated with visual effects from bright light exposures during low-light flight operations. *Optometry* 2007; 78(8): 415-420
- 15 Zele AJ, Cao DC. Vision under mesopic and scotopic illumination. *Front Psychol* 2015; 5: 1594
- 16 王雪峰,奇铁男,詹思延. 飞行学员视力变化情况追踪研究. 中华航空航天医学杂志 2017; 28(3): 203-204
- 17 Garcia-Rojo M, Bonnin-Arias C, Chamorro E, et al. Development of a method to potentially substitute direct evaluation of mesopic visual acuity in drivers. *Int J Env Res Pub He* 2021; 18(9): 4733
- 18 慕璟玉,王雁,刘梦,等. 近视的病因研究新进展. 国际眼科杂志 2021; 21(10): 1746-1750
- 19 王涵月,于东睿,郑军,等. 2015-2019 年歼(强)击机飞行员医学停飞对比分析. 空军医学杂志 2021; 37(1): 23-26, 36
- 20 王恩普,刘勇,茹海霞. 空军飞行员近 10 年眼科停飞疾病回顾性分析. 中华航空航天医学杂志 2013; 24(3): 168-172
- 21 齐林嵩,姚璐,邹志康,等. 视觉功能评价在空军招飞中的意义及方案探讨. 空军医学杂志 2019; 35(1): 20-24
- 22 Palidis DJ, Wyder-Hodge PA, Fookan J, et al. Distinct eye movement patterns enhance dynamic visual acuity. *PLoS One* 2017; 12(2): e0172061