

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20220382

· 论 著 ·

不同飞行光环境对飞行人员对比度视力的影响

陈剑政^{1,2}, 陈涛¹, 谭榕祯³, 江川¹, 苏玉婷¹, 张作明^{1*}

1. 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, 西安 710032

2. 海军青岛特勤疗养中心航空生理训练科, 青岛 266071

3. 空军军医大学基础医学院学员四大队, 西安 710032

[摘要] **目的** 研究不同模拟飞行光环境下不同视力受试者对比度视力的差异, 为保障飞行安全提供试验依据。

方法 通过测量双眼视力, 将24名受试者按照小数视力分为1.0/1.0、0.8/0.8、0.6/0.6和0.4/0.4组, 每组6人, 分别在模拟日光、迎光、背光、曙暮光和云上光环境下检测100%、80%、60%、40%、20%和10%对比度的视力。运用具有2个重复测量因素的三因素设计方差分析, 比较不同光环境对不同视力者对比度视力的影响。**结果** 光环境、视力和对比度3个因素间存在交互作用($P<0.05$)。进一步行两因素交互作用检验, 光环境和对比度均与视力间存在交互作用(P 均 <0.01), 而光环境和对比度间不存在交互作用($P>0.05$)。在相同对比度下, 与日光环境相比, 各视力组在曙暮光和云上光的对比度视力下降(P 均 <0.05); 在80%、60%、40%对比度下, 0.6/0.6和0.4/0.4组在迎光环境下的对比度视力低于日光环境(P 均 <0.05); 在20%、10%对比度下, 各视力组在迎光环境下的对比度视力均低于日光环境(P 均 <0.05)。在相同对比度下, 与1.0/1.0组相比, 0.6/0.6、0.4/0.4组在5种光环境下的对比度视力均下降(P 均 <0.05); 在20%、10%对比度下, 0.8/0.8组在日光、迎光、曙暮光、云上光环境下的对比度视力均低于1.0/1.0组(P 均 <0.05); 在相同的光环境和对比度下, 0.4/0.4组的对比度视力低于其余视力组(P 均 <0.05)。**结论** 光环境、对比度和视力水平对对比度视力的作用相互影响。近视飞行人员在不利光环境(如迎光、云上光和曙暮光)下观察低对比度目标时对比度视力严重下降, 对飞行安全构成潜在的威胁, 故应重视近视飞行人员的对比度视力检查。

[关键词] 视力; 光环境; 对比度视力; 飞行人员

[中图分类号] R 821.9; R 770.421

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-1338(2023)01-0045-07

Effects of different flight luminous environments on contrast vision of pilots

CHEN Jian-zheng^{1,2}, CHEN Tao¹, TAN Rong-zhen³, JIANG Chuan¹, SU Yu-ting¹, ZHANG Zuo-ming^{1*}

1. Ministry-of-Education Key Laboratory of Aerospace Medicine, School of Aerospace Medicine, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China

2. Department of Aviation Physiological Training, Qingdao Special Servicemen Recuperation Center of PLA Navy, Qingdao 266071, Shandong, China

3. The Fourth Student Team, College of Basic Medical Sciences, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China

[Abstract] **Objective** To study the differences in contrast vision of subjects with different visions under different simulated flight luminous environments, so as to provide experimental basis for flight safety. **Methods** Twenty-four subjects were recruited and divided into 1.0/1.0, 0.8/0.8, 0.6/0.6 and 0.4/0.4 (decimal vision) groups by measuring binocular vision, with 6 subjects in each group. Each subject was tested for 100%, 80%, 60%, 40%, 20% and 10% contrast visions in simulated luminous environments of sunlight, facing light, backlight, twilight and on-cloud light. Using a 3-factor design analysis of variance with 2 repeated measurement factors, we compared the effects of different luminous environments on the contrast vision of people with different visions. **Results** There were interactions among the 3 factors (luminous environment, vision, and contrast) ($P<0.05$). A further 2-factor interaction test showed that there were interactions between luminous environment and vision and between contrast and vision (both $P<0.01$), but there was no interaction between luminous environment and

[收稿日期] 2022-05-07

[接受日期] 2022-08-29

[基金项目] 空军军医大学航空医学提升项目(2020ZTB01)。Supported by Aerospace Medicine Promotion Project of Air Force Medical University (2020ZTB01).

[作者简介] 陈剑政, 硕士生. E-mail: jianzhengpla@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 029-84774817, E-mail: zhangzm@fmmu.edu.cn

contrast ($P>0.05$). At the same contrast, compared with the sunlight environment, the contrast vision of twilight and on-cloud light was decreased in each vision group (all $P<0.05$). For 80%, 60% and 40% contrast, the contrast visions of the 0.6/0.6 and 0.4/0.4 groups in the facing light environment were lower than those in the sunlight environment (all $P<0.05$). For the contrast of 20% and 10%, the contrast vision of each vision group in the facing light environment was worse than that in the sunlight environment (all $P<0.05$). Compared with the 1.0/1.0 group for the same contrast, the contrast visions of the 0.6/0.6 and 0.4/0.4 groups were decreased in the 5 simulated luminous environments (all $P<0.05$). For 20% and 10% contrast, the contrast visions of the 0.8/0.8 group were lower than those of the 1.0/1.0 group in sunlight, facing light, twilight and on-cloud light (all $P<0.05$). For the same light environment and contrast, the contrast vision of the 0.4/0.4 group was worse than those of the other vision groups (all $P<0.05$). **Conclusion** The effects of the luminous environment, contrast and vision on contrast visual acuity interact with each other. When myopic flight personnel observe low-contrast targets in unfavorable luminous environments (such as facing light, on-cloud light, and twilight), their contrast vision is severely decreased, posing a potential threat to flight safety. Attention should be paid to the contrast vision examination of myopic flight personnel.

[**Key words**] vision; luminous environment; contrast vision; flight personnel

[Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(1): 45-51]

现代空战是全空域、全天候作战, 飞行人员必须具备夜间、低能见度及各种复杂气象条件下起飞作战的能力。不同的气象条件下, 飞机外部光照变化范围可以相差 10~12 个数量级^[1], 势必会对飞行人员的视觉功能造成影响。常规视力是我军飞行人员视觉功能检查最常用的指标, 但是常规视力仅能反映眼睛在高对比度水平下分辨细节的能力, 并不能全面、准确地评估形觉功能。对比度视力作为一个更全面的形觉功能定量检查指标, 检查的是人眼对不同对比度目标的分辨能力, 与实际日常活动(如驾驶、运动和阅读等)的关系更密切^[2]。部分常规视力正常的眼病患者在高对比度条件下视力仍正常, 但是对低对比度目标的辨别却存在困难, 为此, 低对比度视力已逐渐代替常规视力成为评估多种眼病、视神经疾病和屈光不正手术的主要指标^[3-6]。在实际飞行任务及作战中, 飞行员常需在迎光、背光、云上光及曙暮光等特殊光环境下进行作业, 其观察目标也多呈现隐蔽化、低对比度等特点, 这就要求他们不仅能分辨高对比度目标, 而且还要能在各种光环境下快速、准确地定位低对比度目标^[7]。

临床上对比敏感度视力检查主要有对比敏感度和对比度视力 2 种检查方法, 前者是在保持空间频率不变的条件下通过改变视标对比度来测得对比度阈值, 后者则是在保持对比度不变的条件下通过改变空间频率来测定视力。对比度视力与常规视力检查方式相同, 只是通过切换对比度来实现不同对比度视力的测量, 故更易被受检者理解和接受。由于试验需要外部光线照射在不同对比度的目标上, 所

以本研究采用无背光对比度视力表。根据我军现行飞行人员体格检查标准, 不同机型飞行人员的视力标准主要包括 1.0、0.8、0.6 和 0.4 (小数视力)。本研究以 1.0/1.0、0.8/0.8、0.6/0.6 和 0.4/0.4 视力者为对象, 探讨光环境、视力和对比度三者之间的关系, 研究不同视力者在不同飞行光学环境下对比度视力的变化规律, 为保障飞行安全提供试验依据。

1 对象和方法

1.1 研究对象 从空军军医大学招募 24 名在校学员, 均为男性, 年龄 20~35 岁, 平均(26.58±4.50)岁。根据军队飞行人员视力检查标准设定纳入标准: 球镜度数-2.00~2.50 D, 柱镜度数-1.00~1.00 D, 最佳矫正视力 ≥ 1.0 (小数视力)。排除标准: 有屈光不正手术史; 患有中枢神经系统疾病, 或青光眼和糖尿病视网膜病变等眼部器质性疾病者。将 18 名近视受试者的视力通过配镜随机矫正为 0.8/0.8、0.6/0.6 或 0.4/0.4。24 名受试者分为 4 组: 1.0/1.0、0.8/0.8、0.6/0.6 和 0.4/0.4, 每组 6 人。本研究经空军军医大学西京医院伦理委员会审批(KY20213088-1), 所有受试者在试验前均知悉所有试验步骤并签署知情同意书。

1.2 检测方法

1.2.1 试验环境 本试验在视觉功能鉴定与训练实验室中实施, 采用标准化灯光照明系统(北京明目科技有限责任公司)进行日光(1 500 lx、5 000 K)、迎光(23 000 lx、5 000 K)、背光(23 000 lx、5 000 K)、曙暮光(15 lx、3 000 K)和云上光(750 lx、5 000 K)等全光谱飞行光学环境的模拟(照度和色温为距受

试者眼前 10 cm 处测得)。迎光和背光灯模拟太阳光源。迎光灯位于灰度视力表上方 20 cm, 光源照向受试者; 背光灯位于受试者座位正上方 70 cm, 照向视力表。受试者座位前下方放置 2 块全光谱灯 (55 cm×55 cm) 模拟云上光环境。

1.2.2 试验仪器 采用全自动验光仪 (KR-8100PA, 日本拓普康自动角膜状态验光仪) 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, 采用光谱闪烁照度计 (OHSP-350F, 杭州虹谱光色科技有限公司) 测量环境的照度和色温。采用多灰度视力表检测对比度视力。

根据国家视力表标准 (GB 11533-2011), 以滕琴等^[8]设计的多灰度视力表为基础, 按照字体不变、背景改变的原理设计字体灰度为 100% 不变, 同时背景灰度逐渐变深, 使背景与视标的对比度分别为 100%、80%、60%、40%、20% 和 10%, 并以视标大小的变化表示空间频率的变化 (图 1)。该视力表由计算机软件绘制, 所有视标和背景均由密度相同的、同式点阵分布的点组成, 仅以点的大小变化改变背景的灰度, 用聚氯乙烯材料进行专业写真印刷。

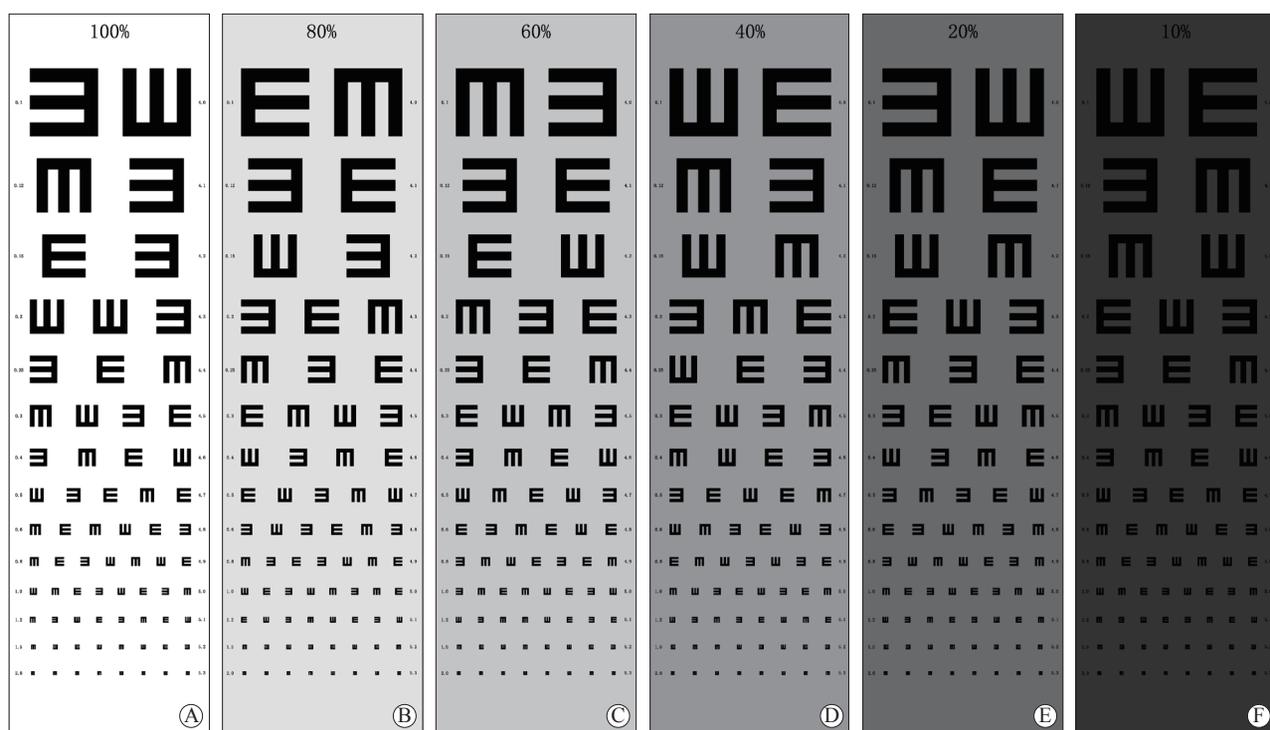


图 1 不同对比度的多灰度视力表

Fig 1 Visual chart of changing gray degrees with different contrasts

A: 100% contrast; B: 80% contrast; C: 60% contrast; D: 40% contrast; E: 20% contrast; F: 10% contrast.

1.2.3 试验步骤 受试者验光后在 350 lx 均匀标准照度下检查并矫正为相应视力, 依次在日光、迎光、背光、曙暮光和云上光 5 种模拟光环境下检测双眼对比度视力。受试者双眼高度与视力表 1.0 视标行平齐, 检测距离为 5 m。受试者在每种模拟光环境下适应 3 min 后开始试验。在曙暮光环境试验前, 受试者需再完成 10 min 的暗适应。每次光环境转换间歇, 受试者休息 5 min 以缓解视疲劳。所有试验由同一主试者完成, 鼓励受试者尽量识别每个视标, 以每行识别的视标数超过本行的 70% 即为达到该行视力。

1.3 统计学处理 测得的对比度视力均转化为最小分辨角的对数 (logarithm of the minimum angle of resolution, logMAR) 视力, 以便于统计学处理。采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 运用具有 2 个重复测量因素的三因素多水平重复测量方差分析, 因素一为 4 种不同视力 (组间因素), 因素二为 5 种不同的光学环境 (组内因素), 因素三为 6 种不同的对比度 (组内因素)。因变量为对比度视力。如满足球形检验的条件则使用单变量方差分析方法, 如不满足球形检验的条件则使用多变量方差分析方法。两两比较采用最小显

著性差异法。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 光环境、视力和对比度的交互作用 光环境、视力和对比度 3 个因素间存在交互作用 ($F=3.90, P<0.05$)，即其中 2 个因素的交互作用在第 3 个因素的不同水平上对对比度视力的影响不同。进一步行两因素交互作用检验，光环境和对比度与视力间均存在交互作用 ($F=3.06、3.71, P$ 均 <0.01)，而光环境与对比度间不存在交互作用 ($F=201.82, P>0.05$)。

2.2 光环境对对比度视力的影响 在相同对比度

下，各视力组在曙暮光和云上光的对比度视力均低于日光环境 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，下降幅度随着视力的降低而增大。在 80%、60%、40% 对比度下，与日光环境相比，所有视力组在迎光环境下的对比度视力均下降，并且 0.6/0.6 和 0.4/0.4 组下降明显 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)；在 20%、10% 对比度下，各视力组在迎光环境下的对比度视力均低于日光环境 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，并且对比度和视力越低下降幅度越大。在 60%、40%、20% 对比度下，0.4/0.4 视力组在背光环境下的对比度视力高于日光环境 (P 均 <0.05)。见图 2。

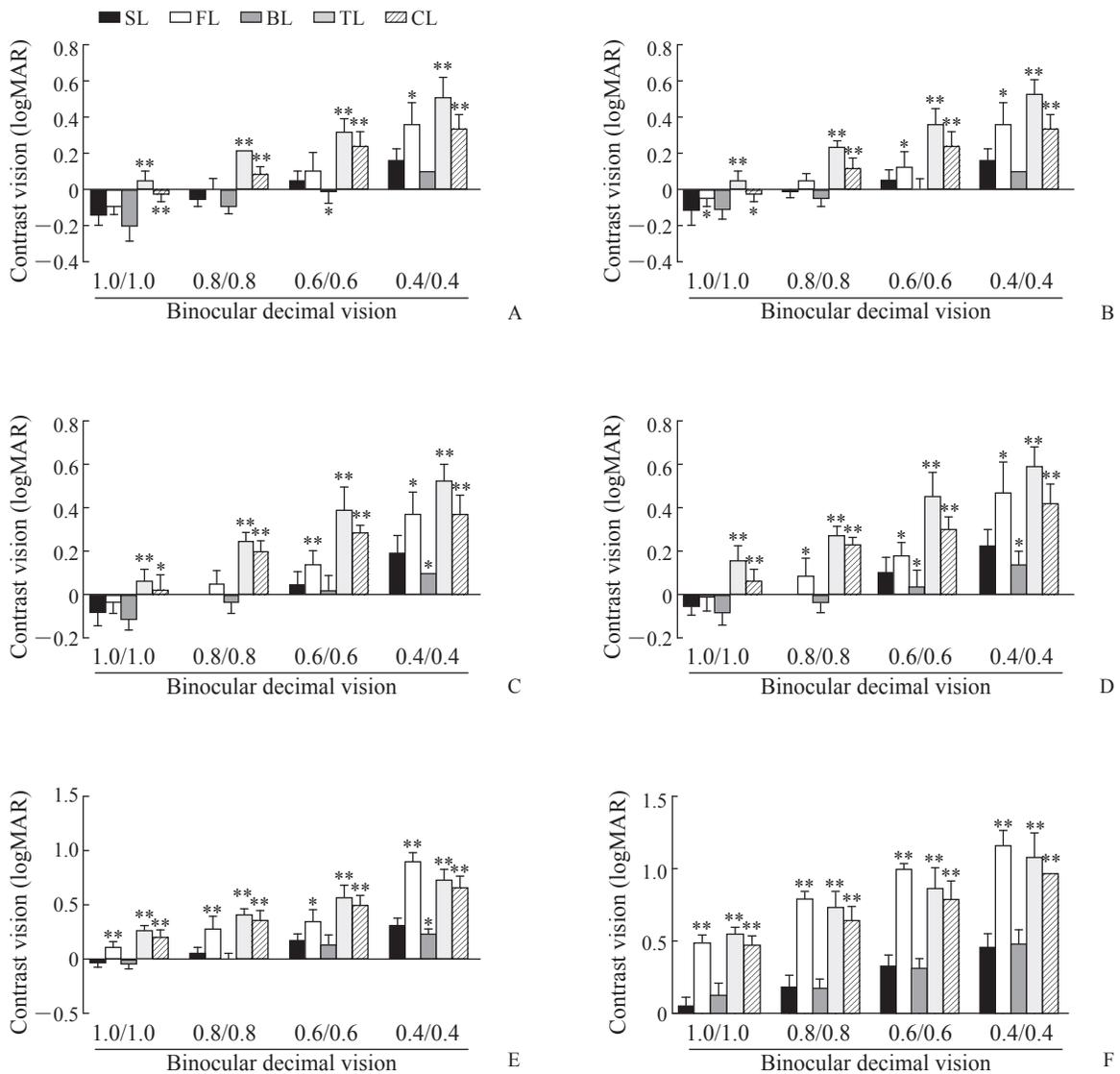


图 2 不同光环境下的对比度视力变化

Fig 2 Changes in contrast vision in different luminous environments

A: 100% contrast; B: 80% contrast; C: 60% contrast; D: 40% contrast; E: 20% contrast; F: 10% contrast. Within the same vision group at the same contrast, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ vs SL. $n=6, \bar{x}\pm s$. SL: Sunlight; FL: Facing light; BL: Backlight; TL: Twilight; CL: On-cloud light; logMAR: Logarithm of the minimum angle of resolution.

2.3 视力对对比度视力的影响 在同一种光环境和对比度下, 随着视力的降低对比度视力存在下降趋势, 并且 0.4/0.4 组的对比度视力低于其他 3 个视力组 (P 均 < 0.05), 0.6/0.6 组的对比度视力

低于 1.0/1.0 组 ($P < 0.05$)。在 20%、10% 对比度下, 0.8/0.8 组在日光、迎光、曙暮光、云上光环境下的对比度视力均低于 1.0/1.0 组 (P 均 < 0.05), 且下降幅度随着对比度的下降而增大。见图 3。

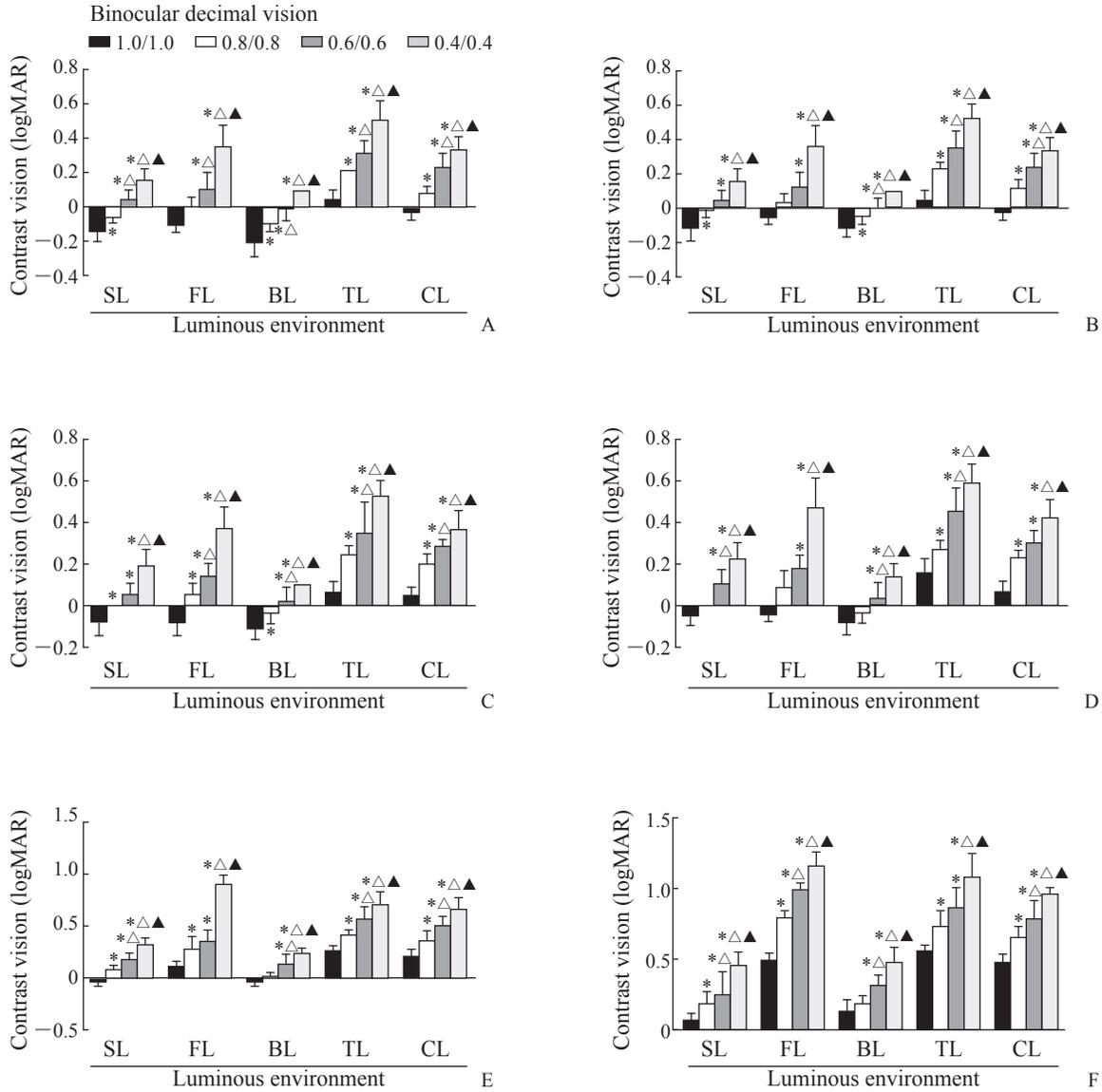


图 3 不同视力的对比度视力变化

Fig 3 Changes in contrast vision in different visions

A: 100% contrast; B: 80% contrast; C: 60% contrast; D: 40% contrast; E: 20% contrast; F: 10% contrast. In the same luminous environment at the same contrast, * $P < 0.05$ vs 1.0/1.0 group, $\Delta P < 0.05$ vs 0.8/0.8 group, and $\blacktriangle P < 0.05$ vs 0.6/0.6 group. $n = 6, \bar{x} \pm s$. SL: Sunlight; FL: Facing light; BL: Backlight; TL: Twilight; CL: On-cloud light; logMAR: Logarithm of the minimum angle of resolution.

3 讨论

视力是视觉功能的基础, 良好的视力对于保障飞行安全和完成飞行任务的重要性不言而喻^[9]。但是常规视力检查存在一定的局限性, 并不能全面反映飞行人员的视觉分辨能力^[10]。Eramudugolla 等^[11]研究表明, 视力对驾驶的影响取决于对比度视力、

周边视野及视力丧失的原因等, 高对比度视力测试不能可靠地识别高危老年司机。该研究证实了对比度视力的重要性。对比度视力与视觉功能和日常活动密切相关, 对生活质量和工作效率的影响可能比常规视力更大^[2,12], 尤其是飞行时各种复杂的光环境可能会对飞行员的对比度视力有影响。因此, 本研究通过分析光环境、视力和对比度之间的关系,

探讨光环境对不同视力者对比度视力的影响。

从本试验结果可知,光环境、视力和对比度3个因素间存在交互作用,光环境和对比度均与视力存在交互作用,而光环境与对比度不存在交互作用。对比度视力受年龄、目标亮度和周围光照的影响较大^[13]。当低视力飞行人员在不利的光环境(如迎光、曙暮光和云上光等)下观察低对比度目标时,对比度视力会大幅度下降,严重影响飞行安全和作战效能。本研究发现各视力组在曙暮光和云上光的对比度视力均低于日光环境,视力随着对比度的降低而降低。这与之前研究发现的随着亮度和对比度降低对比度视力渐趋下降^[14]的结果一致。曙暮光环境属于中间视觉亮度,Sivak和Olson^[15]认为低亮度/低对比度视力下降是导致驾驶表现不佳的主要原因。Baier等^[16]认为黄昏开车或区分不同光照下的物体时都会受到对比度视力降低的影响,人眼在昏暗的光线下可能有低对比度视力损害,而高对比度视力或视野并未受到明显影响。本研究还发现在80%、60%、40%对比度下,0.6/0.6和0.4/0.4视力组受试者在迎光环境下的对比度视力低于日光环境,当对比度降至20%以下时对比度视力下降的范围扩大到所有视力组,并且对比度和视力越低下降的幅度越大。原因可能是迎光和云上光环境容易产生眩光,影响了视网膜成像,使人眼图像识别率下降^[13],观察目标的对比度越低对屈光不正影响的效果越显著,下降的趋势也越明显。例如,直升机低视力飞行人员在向阳飞行、执行海上搜救任务时,海面反光强烈且海上目标的对比度较低,致飞行人员的对比度视力严重下降,难以完成搜救任务。背光环境与日光环境对对比度视力的影响差别主要体现在低视力组,在60%、40%、20%对比度下,0.4/0.4视力组在背光环境下的对比度视力高于日光环境,原因可能是背光环境亮度的提升对较低视力人群的影响比较明显。

国内学者对特勤人员的对比度视力做了大量研究。赵瑞华等^[7]研究了军事直升机飞行学员在亮环境下的对比度视力,发现视力随对比度下降而下降,对比度越低视力波动越明显。姜黎等^[17]研究发现,不同机种的飞行员在暗环境下的对比度视力和反应速度不同,直升机组优于歼击机组。史胜等^[18]发现正常视力的陆勤人员在亮背景下的视力检查结

果优于暗背景,对比度视力随着亮度和对比度的降低而下降。黄达等^[19]研究了飞行学员在暗环境下的对比度视力及其影响因素,发现暗环境下的对比度视力变化比常规视力更早、更敏感。与之前的研究侧重于正视眼的单眼视力和亮、暗2种环境不同,本研究针对正视眼和轻度近视眼人群在5种不同的模拟飞行光环境下对比度视力的变化,更贴近于真实的飞行环境和用眼状态,真实反映出对比度视力在飞行活动中的重要作用。本研究结果表明,与1.0/1.0视力组相比,0.6/0.6组、0.4/0.4组在5种光环境下的全对比度视力均下降,而在20%、10%对比度下,0.8/0.8组在日光、迎光、曙暮光、云上光环境下的对比度视力低于1.0/1.0组。值得注意的是,在任一相同光环境和对比度下,0.4/0.4组的对比度视力均低于其余3个视力组,且下降幅度随着对比度的下降而增大。由此可知:(1)目标对比度越低,受影响的视力范围越大;(2)视力越低,对比度视力受光环境和对比度的影响越明显,下降幅度也越大。其原因可能是低视力组受试者的眼部主要表现为轻度屈光不正,存在离焦、散光和水平慧差等波前像差,导致对比度视力下降^[20-21],不利的光环境和低对比度目标将会进一步增大下降趋势。

本研究存在一些局限性。首先,模拟的光环境(光源强度、方位等)与真实的飞行环境存在差异;其次,受试者均为青年男性,下一步可以纳入不同年龄层的人群和女性受试者,分析年龄、性别对对比度视力的影响。

综上所述,对比度视力在反映视觉感知方面比常规视力更加准确,光环境、对比度和视力水平对对比度视力的影响存在交互作用。近视飞行人员在不利光环境(如迎光、云上光和曙暮光)下观察低对比度目标时对比度视力严重下降,对飞行安全构成潜在的威胁,故应重视近视飞行人员的对比度视力检查。

[参 考 文 献]

- [1] 余涛. 光环境对飞机座舱显示工效的影响机理研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2016.
- [2] WAI K M, VINGOPOULOS F, GARG I, KASETTY M, SILVERMAN R F, KATZ R, et al. Contrast sensitivity function in patients with macular disease and good visual acuity[J]. Br J Ophthalmol, 2022, 106: 839-844.

- [3] BALCER L J, RAYNOWSKA J, NOLAN R, GALETTA S L, KAPOOR R, BENEDICT R, et al. Validity of low-contrast letter acuity as a visual performance outcome measure for multiple sclerosis[J]. *Mult Scler*, 2017, 23: 734-747.
- [4] WOOD L J, JOLLY J K, ANDREWS C D, WILSON I R, HICKEY D, CEHAJIC-KAPETANOVIC J, et al. Low-contrast visual acuity versus low-luminance visual acuity in choroideremia[J]. *Clin Exp Optom*, 2021, 104: 90-94.
- [5] WEN Y, CHEN Z D, ZUO C G, YANG Y F, XU J G, KONG Y, et al. Low-contrast high-pass visual acuity might help to detect glaucoma damage: a structure-function analysis[J/OL]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 680823. DOI: 10.3389/fmed.2021.680823.
- [6] PARK S H, PARK C Y, SHIN Y J, JEONG K S, KIM N H. Low contrast visual acuity might help to detect previous optic neuritis[J/OL]. *Front Neurol*, 2020, 11: 602193. DOI: 10.3389/fneur.2020.602193.
- [7] 赵瑞华, 陈乾, 赵蓉, 王恩普, 姜彩辉. 亮环境下军事直升机飞行学员不同对比度视力的分布特征[J]. *解放军医学院学报*, 2015, 36: 42-45.
- [8] 滕琴, 徐华斌. 多灰度视力表的设计及对对比度视力的测量研究[J]. *上海第二工业大学学报*, 2011, 28: 318-324.
- [9] 王雪峰, 奇铁男, 詹思延. 飞行学员视力变化情况追踪研究[J]. *中华航空航天医学杂志*, 2017, 28: 203-204.
- [10] 齐林嵩, 姚璐, 王雪峰, 杨庆红, 吴腾云, 赵晨, 等. 招飞医学选拔边缘视力学生的视觉对比度阈值分析[J]. *空军医学杂志*, 2020, 36: 185-187, 195.
- [11] ERAMUDUGOLLA R, LAIRD M, BLACK A A, CAMERON I D, WOOD J M, ANSTEY K J. Inability of the Mini-Mental State Exam (MMSE) and high-contrast visual acuity to identify unsafe drivers[J/OL]. *Accid Anal Prev*, 2022, 168: 106595. DOI: 10.1016/j.aap.2022.106595.
- [12] WEST S K, RUBIN G S, BROMAN A T, MUÑOZ B, BANDEEN-ROCHE K, TURANO K. How does visual impairment affect performance on tasks of everyday life? The SEE Project. Salisbury Eye Evaluation[J]. *Arch Ophthalmol*, 2002, 120: 774-780.
- [13] HOHBERGER B, LAEMMER R, ADLER W, JUENEMANN A G, HORN F K. Measuring contrast sensitivity in normal subjects with OPTEC 6500: influence of age and glare[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2007, 245: 1805-1814.
- [14] 史胜, 柳林, 周行涛, 鲍兰, 肖其瑞. 正常人亮暗背景下不同对比度的视力变化[J]. *第二军医大学学报*, 2007, 28: 714-717.
- SHI S, LIU L, ZHOU X T, BAO L, XIAO Q R. Changes of visual acuity different contrast levels under bright and dark backgrounds in healthy adults[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2007, 28: 714-717.
- [15] SIVAK M, OLSON P L. Nighttime legibility of traffic signs: conditions eliminating the effects of driver age and disability glare[J]. *Accid Anal Prev*, 1982, 14: 87-93.
- [16] BAIER M L, CUTTER G R, RUDICK R A, MILLER D, COHEN J A, WEINSTOCK-GUTTMAN B, et al. Low-contrast letter acuity testing captures visual dysfunction in patients with multiple sclerosis[J]. *Neurology*, 2005, 64: 992-995.
- [17] 姜黎, 熊婧, 吴金桃, 李新蓉, 沈政伟, 薛林平, 等. 不同机种飞行员暗环境下对比度视力和反应时间[J]. *华南国防医学杂志*, 2014, 28: 103-106, 116.
- [18] 史胜, 原源, 肖其瑞, 姚佩君. 陆勤人员不同对比度视力和反应时间的研究[J]. *中国眼耳鼻喉科杂志*, 2012, 12: 372-374, 378.
- [19] 黄达, 赵晨, 许晴, 姜彩辉, 黄美良, 黄玉明, 等. 某航空大学飞行学员对比度远视力的影响因素分析[J]. *国际眼科杂志*, 2020, 20: 874-877.
- [20] 程振英, 褚仁远, 周行涛. 正视眼波前像差与低对比度视力相关性研究[J]. *中国眼耳鼻喉科杂志*, 2008, 8: 18-20.
- [21] 程振英, 褚仁远, 周行涛. 中低度近视眼高阶像差与低对比度视力相关性研究[J]. *眼科新进展*, 2008, 28: 46-48.

[本文编辑] 尹 茶