

太空锻炼区人机界面色彩环境舒适度设计研究

毛建贇^{1,2}, 姚湘^{1*}, 霍世宇¹, 许活鹏¹, 王美琪¹

(1.湘潭大学, 湖南 湘潭 411105; 2.湖南国防工业职业技术学院, 湖南 湘潭 411207)

摘要: **目的** 研究载人航天器锻炼区在不同色彩环境下对运动锻炼的色彩环境舒适度、运动欲望及心率上升率的影响。**方法** 36 名受试者分为头低位组(实验组)和立位组(对照组), 实验要求被试者进行主观问卷评价, 同时采集实验中的客观数据。对主观评价结果进行方差分析, 并对心率信号进行心率上升率换算, 分析不同色彩下主观评价和心率数据的差异。最后以航天器锻炼区的色彩搭配为例进行设计验证。**结果** 主观评价显示, 不同颜色对心理状态都有显著性差异; 在色彩环境舒适度上, 通过研究冷暖色调对运动色彩环境舒适度均值的影响后发现, 无色彩环境相对于其他颜色表现出显著差异性; 在运动欲望上, 通过分析色彩的冷暖色调对运动欲望均值的影响发现, 暖色环境相对于冷色表现出显著差异性。客观数据显示, 不同色彩下心率波动均在正常范围内, 而不同色彩环境下心率上升率差异不大, 无统计学意义。在不同状态下心率上升率有显著差异。**结论** 在狭小、密闭的锻炼空间中, 暖色环境相比冷色环境和无色彩环境更容易影响人的运动欲望, 其中黄色环境表现较为明显, 而相比有色彩环境下, 在无色彩环境下的运动则更为舒适。最后依据实验结论开展设计实践。

关键词: 色彩; 运动色彩环境舒适度; 运动欲望; 心率上升率

中图分类号: TB472 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)04-0067-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.04.007

Comfort Design of Man-machine Interface Color Environment in the Exercise Area of Manned Spacecraft

MAO Jianyun^{1,2}, YAO Xiang^{1*}, HUO Shiyu¹, XU Huopeng¹, WANG Meiqi¹

(1. Xiangtan University, Hunan Xiangtan 411105, China;

2. Hunan Defense Industry Polytechnic, Hunan Xiangtan 411207, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of different color environments on color environment comfort, exercise desire and heart rate increase in the exercise area of manned spacecraft. 36 subjects were divided into two groups: the head down group (experimental group) and the standing group (control group). Subjective evaluation was carried out, and objective data were collected from the experiment. Variance analysis was conducted to the subjective evaluation results and heart rate increase conversion was carried out to heart rate signal. The difference between subjective evaluation and heart rate data under different colors was analyzed. Finally, the color matching of the spacecraft exercise area was taken as an example to verify the design. Subjective evaluation showed that different colors had significant differences in mental state. In terms of the comfort degree of color environment, the effect of warm and cold tones on the average comfort degree of sports color environment was studied, indicating that the achromatic environment showed significant differences compared with other colors. In terms of exercise desire, by analyzing the effect of the cold and warm tones of color on the mean value of exercise desire, it was found that the warm color environment showed significant differences compared with the cold color. The objective data showed that the fluctuation of heart rate under different colors was within the normal range, and the increase of heart rate under different color schemes had little difference, which was not statistically

收稿日期: 2023-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(52375269); 国家社会科学基金艺术学一般项目(20BG115); 湖南省教育厅科学研究
优秀青年项目(23B0962)

*通信作者

significant. There were significant differences in the increase of heart rate in different states. In a narrow and closed exercise space, warm environment is more likely to affect people's desire to exercise than cold environment and achromatic environment, in which yellow environment is more obvious, while achromatic environment is more comfortable than color environment. Finally, the reliability of the experimental results is verified by a case design.

KEY WORDS: color; comfort of sports color environment; exercise desire; heart rate increase

工作环境直接影响人-机-环境系统的整体效率和人的健康状态^[1]。运动锻炼是载人航天中保障航天员生理及心理健康的重要一环。太空环境中,航天员会经历一系列生理适应过程,其中最显著的变化表现为心血管系统的调整、肌肉组织的萎缩,以及骨密度的减少。在无重力条件下,随着飞行时间的延长,这些问题会进一步加剧。在轨锻炼就是帮助航天员减少肌肉萎缩和骨量丢失不可或缺的方法。然而研究表明,现阶段的在轨锻炼还存在一定问题,不足以保障航天员长期在轨时健康状态的任务要求^[2]。因此,载人航天器锻炼区健康保障的建设和发展,要从饮食、失重生理效应防护、医监医保、心理健康维护等方面综合开展^[3-7]。而色彩的运用能以较低成本提高所处环境的色彩环境舒适度,运用适当的色彩对锻炼空间的整个环境进行装饰,以提高锻炼时的整体效能。相关研究表明,不同的色彩对人的生理及心理影响是不同的,运用适当的色彩能有效提高人的工作效能,排除不良影响^[1]。因此色彩作为系统中的重要内容,开展锻炼区色彩设计研究是载人航天器人机界面设计的重要课题^[8-10]。

1 色彩环境舒适度与运动体验

航天器内设置锻炼区对保障航天员的健康至关重要。目前,航天器内锻炼区与工作区的环境色彩相同,缺乏针对锻炼空间心理需求的考虑。区域划分模糊及单调的空间可能导致舒适度下降和疲劳,从而影响载人航天任务。在这样的封闭环境下,束缚感将不可避免地导致宇航员生理和心理状态的变化^[11]。因此,现有的锻炼预防措施还不能满足人类长期驻留或登陆火星的需求^[12]。

心理学理论认为,不同颜色会对人产生不同的心理影响,积极的(或主动的)色彩能够产生积极、进取的态度,消极的(被动的)色彩则会表现不安或焦虑的心理状态^[13-16]。暖色系和明度高的色彩具有向前、凸出、拉近的效果,而冷色系和明度较低的色彩则具有向后、凹进、推远的效果^[17]。在地面健身房色彩设计中,往往通过调整色彩主次之间的协调与对比关系以达到美化室内空间的目的^[17-18]。航天器内部色彩设计旨在为环境中的人员提供心理的舒适感并确保其心理及生理的稳定。因此,在航天器内部色彩设计时,同样需要通过平衡主次色彩的协调与对比,以创造一个舒适的空间。

色彩环境舒适度是指在指定环境与条件下,个体

在心理与生理方面的满足程度。色彩环境、舒适度与运动欲望之间的关系源于人与环境色彩的互动效应。在不同色彩下,个体主观感受存在差异,而舒适度和运动欲望实质上是个体对特定色彩环境感受的反映与表达。在空间环境中的运动锻炼无可避免地受到色彩环境的影响,只有准确把握色彩环境对人的影响,并据此规划合理的色彩空间,才能达到空间的舒适感受及改善锻炼的效能^[19-24]。因此,本研究重点探索三个问题:(1)在什么色彩下运动锻炼的感受更舒适;(2)在什么色彩下能够提升运动的欲望;(3)不同色彩下心理与生理的关联。以此为载人航天运动锻炼色彩空间设计提供参考依据,进而改善航天员在锻炼过程中的整体舒适度感受和运动效能,并提高长期失重环境下的生理和心理预防措施效果。

2 研究程序及方法

本研究旨在探讨不同色彩环境及模拟航天环境因素对主观评价和客观生理信号的影响。试图探究在不同色彩环境和不同状态下,舒适度和运动欲望的变化和联系。

在微重力环境下,人体将面临诸多挑战,航天员长期在太空逗留会引发一系列生理问题。头低位卧床实验(Head-Down Tilt Bed Rest, HDBR)所引发的生理变化与微重力环境的影响具有相似性,因此其已成为研究地面失重生理效应的主要方法之一^[25]。长期以来,头低位卧床实验一直被用于模拟地面失重效应的研究,以便深入了解在这种特殊环境中身体生理机能的变化^[26-29]。NASA和中国航天员科研训练中心也广泛使用头低位卧床实验来模拟太空失重环境^[26-28]。本研究通过采用短时头低位方法,用于在地面模拟太空微重力环境。

研究从主观的层面上运用色彩影响人的主观情绪,消除主观疲劳,以获得良好的锻炼情绪。在完成各类色彩环境测试之后,本次实验要求被试者填写运动时的色彩环境舒适度及运动欲望的主观评价。

同时,本研究选取心率上升率作为生理信号研究的指标,旨在评估不同色彩环境和状态下的影响。心率信号作为一种在运动生理领域广泛应用的测量指标,可以有效地反映个体运动负荷的强度^[30-32]。通过对心率上升率进行客观的数据分析,从而探讨在运动过程中采用色彩刺激是否能够调节个体的锻炼状态,以进一步提高运动表现。

2.1 实验人员

从学校招募 36 名志愿者学生, 其中实验组 18 人, 对照组 18 人, 年龄为 (22.5±2.5) 岁, 所有参与者均无心脑血管疾病及精神病史。为确保太空微重力环境模拟的准确性, 笔者对受试者进行了一系列的身体检查, 包括头低位实验及眼科检查等。经检查, 所有受试者均符合实验要求, 具备健康的身体状况、正常的视力及色觉功能。为确保实验结果的可靠性, 本研究要求受试者在实验前充分休息, 保持情绪稳定。在研究开始前一天, 受试者避免过量饮酒、使用处方药、吸烟, 以及摄入对身体具有刺激作用的饮料 (如咖啡或能量饮料)。此外, 受试者被要求在实验前 3 h 内避免剧烈运动, 确保身体不会过度兴奋或疲劳。实验前, 笔者向受试者详细介绍了实验过程及注意事项, 所有受试者均签署了知情同意书。

2.2 色彩样本

图片样本来源于互联网调查。本研究通过网络爬

虫程序对中国健身房的环境图片进行色彩图片爬取。在经过筛选和处理之后, 共收集到 360 张符合要求的图片。这种数据采集方法旨在确保研究样本具有广泛的代表性和多样性, 为研究提供可靠的支持。本研究根据健身房实际环境选取具有针对性的四种颜色的色彩样本: 红色 (R); 黄色 (Y); 绿色 (G); 蓝色 (B)。

通过采用 K-means 聚类分析方法, 为每幅图像设定五个颜色簇, 从而提取了各种颜色在健身房的主要色相, 并将这些主要色相作为该幅图像的调色板, 提取图像颜色结果, 然后进行实验, 见图 1。

鲜艳与高明度的颜色有助于提高物体的辨识度和可见性, 从而增强运动反应和敏捷性。基于此原则, 在各色相中选取一种色彩, 共计得到四种色彩样本。此外, 目前航天器内部主要采用白色, 由于色彩图片及提取原因, 纯白色样本未被提取, 故增加纯白色样本。通过以上图像颜色提取, 共计得到五种色彩样本, 见表 1。

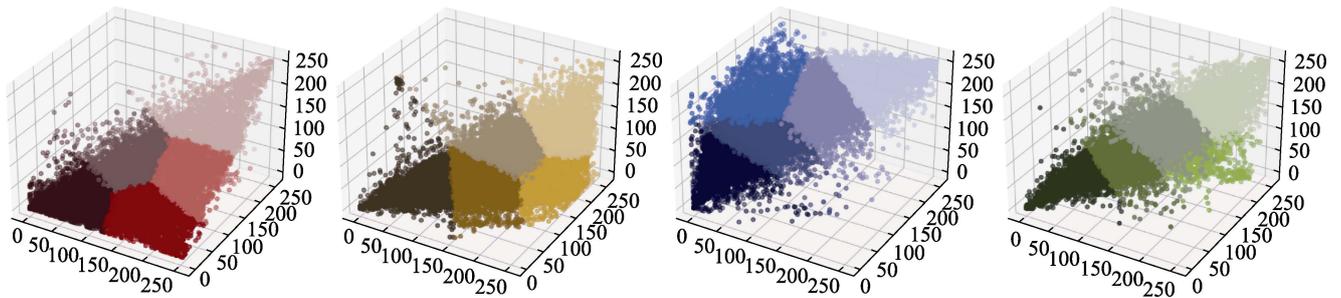


图 1 K-means 聚类色彩可视化
Fig.1 K-means clustering color visualization

表 1 环境色彩样本
Tab.1 Environmental color samples

序号	颜色	样本	红 (R)	绿 (G)	蓝 (B)	明度 (L)	a	b
1	红		206	93	90	54	46	25
2	黄		216	164	41	71	12	66
3	蓝		50	107	205	46	8	-57
4	绿		206	212	183	84	-6	14
5	白		255	255	255	100	0	0

2.3 运动环境搭建

参考现有空间站的环境结构和锻炼区域布局, 本实验在工程训练中心实验室进行。该实验室环境安静、空间相对较小, 并确保了温度控制和充足的采光条件, 以满足相关实验需求。实验选用 KT 板和彩色喷绘的 PP 纸搭建模拟环境, 在独立区域内构建 1.2 m×2 m×2 m 的微密闭空间。通过三面封闭的方式排除其他因素干扰, 以更好地模拟实验环境。将锻炼区环境色作为变量, 照明等其他条件则是定量。实验环境见图 2。实验房间布局中灰色区域是色彩环境锻炼区, 其余区域是头低位等候区、心率测量等候区。

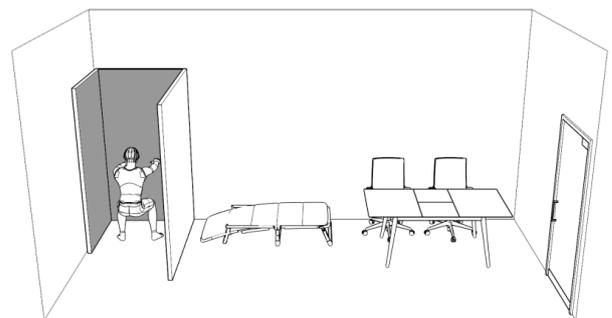


图 2 实验环境
Fig.2 Experimental environment

2.4 实验流程

2.4.1 实验程序

实验前向受试者详细介绍实验过程及注意事项。记录每位受试者的年龄、身高、体重等生理数据。实验分为两组：实验组（头低位）与对照组（立位组）。人数和性别作为定量指标。受试者进入搭建好的空间环境中，保持静坐 5 min 以达到平稳状态。随后，连续测量受试者的心率（共 3 次，每次持续 10 s），当其中两次测量结果相同且与第三次测量结果相差不

超过 1 次时，认定受试者处于安静状态，可开始实验。头低位组则在 -30° 模拟微重力 30 min 之后进行实验。受试者进入色彩环境并开始蹲起运动共 2 min，运动强度控制在最大心率的 64%~76% 的低强度运动区间，期间佩戴心率表并记录相关生理信息（0 s、30 s、60 s、90 s）。运动结束后让受试者填写主观评价问卷。主观量表采取 9 分制，对在色彩空间中运动时的舒适度及对运动的欲望进行评分，然后让受试者休息 30 min 以进行下一轮色彩实验。见图 3。

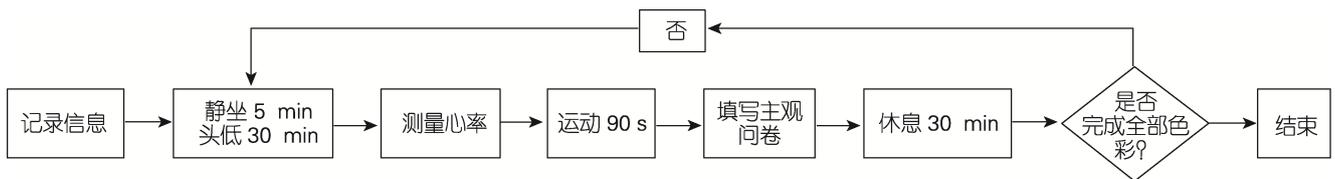


图 3 实验流程
Fig.3 Experimental process

2.4.2 运动设置

动作标准及幅度参考：受试者做平行蹲起，即要求受试者尽可能地在下蹲最底端处保持大腿平行于地面，使不同受试者及相同受试者不同重复次数之间的动作幅度标准尽量保持一致，并且在正式实验之前已经提前熟悉了锻炼动作。实验采用 Polar OH1 型号心率带记录心率。

本实验的生理层面旨在探讨色彩对心率上升率的干预作用。为了控制变量，实验仅选择在低强度范围内进行观测。运动强度区间的设定是为了确保在进行实验时，达到预设的运动强度要求^[33-35]，从而验证实验设置的有效性。运动强度指标见表 2。

表 2 运动强度指标
Tab.2 Exercise intensity index

强度指标	低强度	中强度	高强度
谈话测试	可以舒适谈话	不确定谈话是否舒适	无法舒适谈话
自感用力度 (描述)	中等至有点难	困难	非常困难
摄氧量	40%~59%	60%~84%	≥85%
储备心率百分比	40%~59%	60%~84%	≥85%
最大心率百分比	64%~76%	77%~93%	≥94%

3 数据分析

3.1 主观问卷评价结果

3.1.1 色彩对心理状态的影响分析

在对色彩环境与状态两个自变量进行方差分析时，在不同色彩环境下对心理状态的影响方面，结果

显示具有显著性差异 ($P=0.000<0.05$)。然而，其他自变量及各项之间的交互作用均未表现出显著性差异 ($P>0.05$)。针对色彩环境变量，通过对各组均值之间的多重比较分析发现，白色环境与其他颜色之间存在显著性差异 ($P<0.05$)，见图 4。

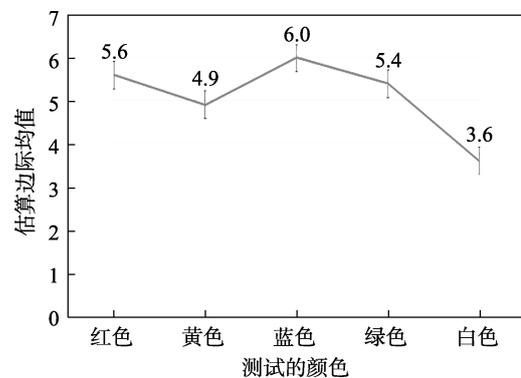


图 4 不同色彩环境下对运动心理的均值影响
Fig.4 Average influence of different color environments on sports psychology

3.1.2 色彩对运动欲望的影响分析

对色彩环境变量进行各组均值之间的多重比较后发现，黄色环境相对蓝色 ($P=0.000<0.05$) 和白色 ($P=0.047<0.05$) 呈现显著性差异，而与红色和绿色之间无显著性差异 ($P>0.05$)。蓝色环境相对其他各颜色都呈现出显著性差异性 ($P\leq 0.05$)，各色彩环境对运动欲望均值的影响见图 5a。

通过分析冷暖色调对运动欲望均值的影响，发现暖色环境相对冷色表现出显著差异性 ($P=0.011<0.05$)，对无色彩没有表现出差异性 ($P>0.05$)，冷暖色彩环境下对运动欲望的均值影响见图 5b。

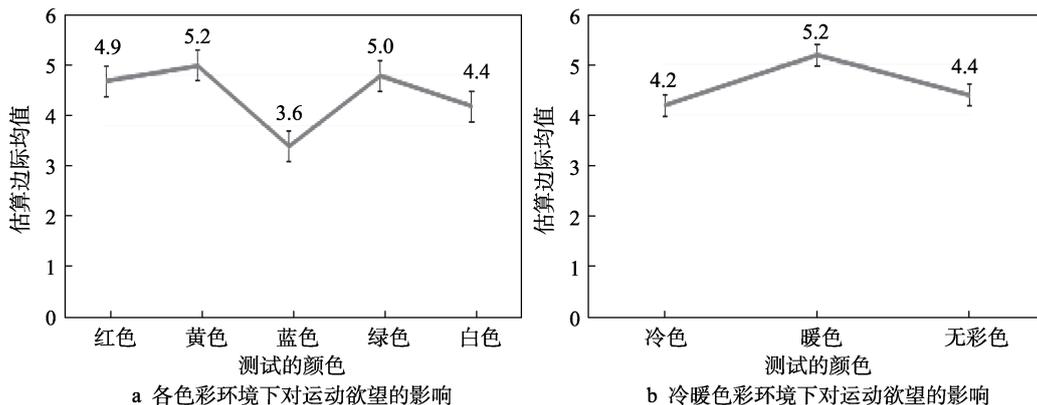


图 5 颜色环境下对运动欲望的影响
Fig.5 Influence of color environment on exercise desire

3.1.3 色彩对运动色彩环境舒适度的影响分析

对色彩环境变量进行各组均值之间的多重比较发现, 黄色对红色 ($P=0.000<0.05$) 和蓝色 ($P=0.000<0.05$) 呈现出显著性差异, 而黄色对白色和绿色无显著性差异 ($P>0.05$), 各色彩环境对运动色彩环境舒适度均值的影响见图 6a。通过分析色彩的冷暖色调对运动色彩环境舒适度均值的影响研究发现, 无

色彩环境相对其他颜色呈现出显著差异性 ($P<0.05$), 冷暖色彩环境下对运动色彩环境舒适度的均值影响见图 6b。在不同状态下头低位组 (实验组) 和立位组 (对照组) 呈现出显著性差异 ($P=0.014<0.05$), 在不同颜色、不同状态下头低位组 (实验组) 和立位组 (对照组) 无显著性差异 ($P>0.05$), 如图 7 所示。

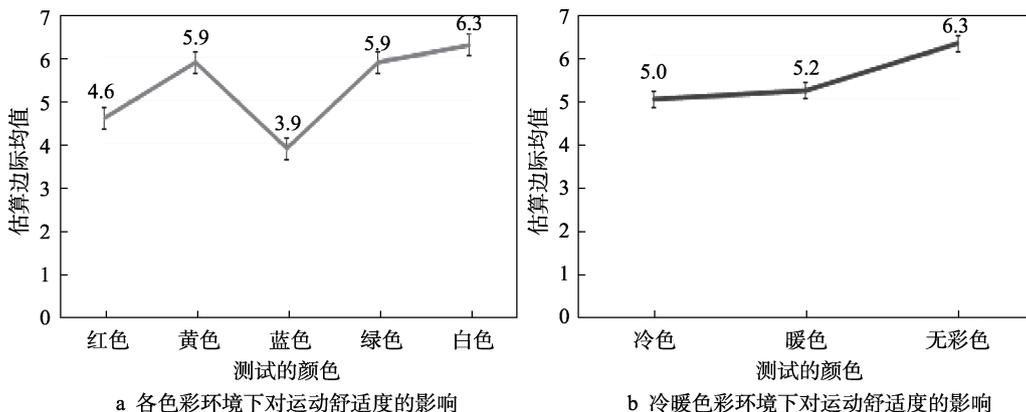


图 6 色彩环境下对运动舒适度的影响
Fig.6 Influence of color environment on sports comfort

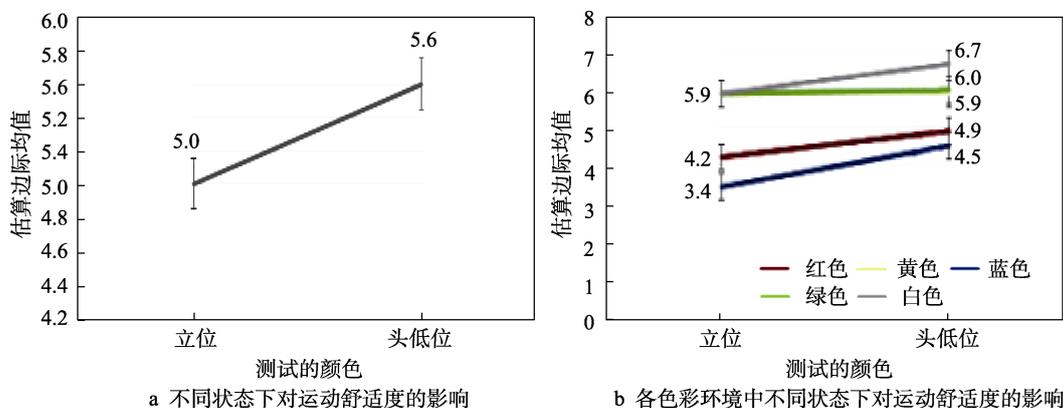


图 7 不同色彩与不同状态下运动色彩环境舒适度的影响
Fig.7 Influence of different colors and different states on the comfort of sports color environment

3.1.4 主观问卷评价分析结论

研究选取了不同色彩作为环境,让被试者在其中进行运动并从色彩是否影响心理状态、色彩环境舒适度、运动欲望三个角度对主观情绪进行评分。

研究结果表明,不同颜色对心理状态具有一定的影响。在本研究中,白色对心理状态的影响最为微弱,而蓝色对心理状态产生了最显著的影响。实验结果显示,在不同颜色及状态间,心理状态未出现显著差异。然而,相较于白色环境,具有颜色的环境对心理状态产生了更为明显的影响。

在运动欲望方面,黄色所得分值最高,与蓝色和白色的差异相对较大,而与红色和绿色的差异较小。因此可以推断,黄色环境更有利于激发个体的运动欲望。同时,暖色系(如黄色和红色)相较于冷色系(如蓝色和绿色)及无色环境(如白色)所获得的分值较高,表明在暖色系环境中,人们的运动欲望较冷色系和无色环境更为强烈。

在运动色彩环境舒适度方面,黄色、绿色和白色所得分值较红色和蓝色高,表明黄色、绿色和白色更适宜作为运动场所的色彩设计选择。同时,无色环境相对有色环境具有更高的舒适度。此外,实验组(头低位组)与对照组(立位组)相比,感受到的舒适度更高。综合考虑,有色环境更容易对被试者的情绪产生影响,暖色系(以黄色为代表)所得分值较高,而在运动环境舒适度评价中,无色环境(如白色)则表现为更舒适。

3.2 运动生理数据结果

在平静状态下,健康成人的心率大约在 60~100

次/min,一般平均为 75 次/min 左右,心率的波动受多种因素影响,如年龄、情绪、体温等。心率上升通常可以归因于三个主要原因:(1)生理原因,如运动、情绪波动、体温变化等;(2)药物作用,如兴奋剂、特定药物等;(3)疾病影响,如心脏疾病、贫血等^[36]。此外,不同个体之间存在一定差异,因此不同人群的平均心率也会有所不同。

为了在本研究中准确反映受试者的心率变化,笔者首先排除了药物和疾病两个因素的潜在干扰。同时,笔者邀请受试者提前熟悉实验环境,以降低情绪变化对实验结果的影响。因此,在本研究中,笔者选择了某时刻的心率变化率,即心率上升率作为评估标准,以分析不同色彩环境对不同受试者心率的影响,其中心率上升率的计算,见式(1)^[37]。

$$d = \frac{h(t) - \bar{h}}{\bar{h}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: d 代表的某时刻的心率增长率; $h(t)$ 表示某时刻的实际心率值; \bar{h} 表示安静状态下的心率均值。

3.2.1 运动生理数据分析与结论

不同色彩方案下心率上升率见图 8a,可见不同色彩下心率波动均在正常范围内,不同色彩方案下心率上升率差异不大,无统计学意义($P>0.05$)。不同状态下心率上升率有显著差异($P=0.048<0.05$)如图 8b 所示,可见头低位与正常位(立位)之间心率上升率有显著差异,头低位心率上升速率均高于正常位,具体表现为,在运动时的第 0 s、第 30 s、第 120 s 相比第 90 s 有显著性差异。其余自变量及其各项之间的交互作用均无显著性差异($P>0.05$)。

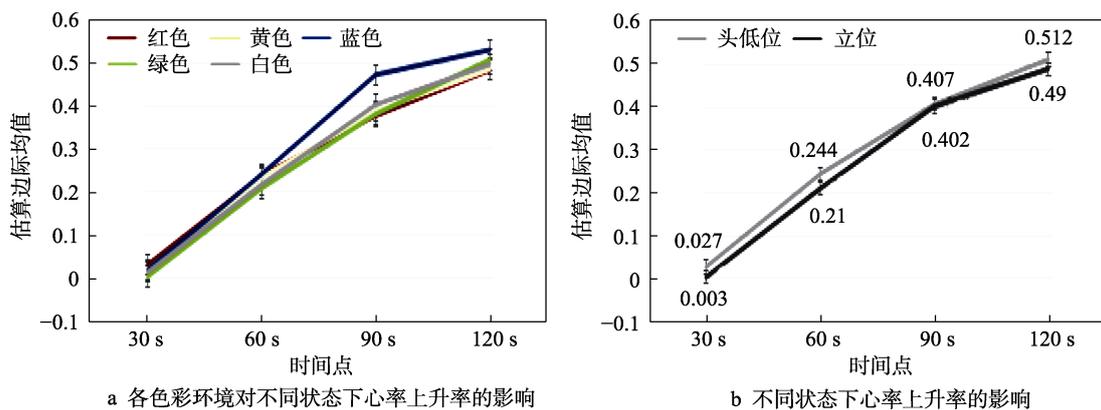


图 8 不同色彩方案与不同状态心率上升率的影响

Fig.8 Influence of different color schemes and different states on heart rate increase

通过分析可知,在本次不同色彩下的运动实验中包含:暖色调(红色、黄色);冷色调(蓝色、绿色);无彩色(白色)。在这些色彩方案中,相较于其他颜色,蓝色对心率上升的影响更为显著。在不同状态下,对照组(立位)的心率上升率显著低于实验组(头低

位)的心率上升率,表明头低位模拟的太空环境下心率上升率与对照组模拟的地面环境存在显著差异。

3.3 讨论

本次实验旨在探讨不同色彩环境下站立位与头

低位之间的差异。根据生理数据分析,发现色彩对实验组和对照组的心率并无显著影响,表明色彩对心率没有明显的干预作用。这一结论与部分研究成果是一致的^[24]。尽管不同色彩环境对心率上升率的影响未表现出显著性差异,但这并不意味着所有颜色的心理生理效应完全相同。实际上,颜色对人的心理状态和生理状态的影响会受到其他因素的影响,如试验环境、光照条件、个体差异等。在后续研究中,可以进一步考虑这些影响因素,并设定针对性的实验条件来揭示颜色对应的生理效应。

另一方面,研究发现在头低位组与正常位组之间,心率上升率存在显著差异。这可能与运动时头低位环境对心血管系统产生较大负荷有关^[38-39]。在头低位状态下,心脏需要克服重力,使血液返回到心脏,从而导致心率上升,并消耗更多的能量。

然而,从主观数据分析来看,色彩对受试者的心理具有显著影响。尽管如此,不同实验组别之间的交互性作用并没有显著影响,说明头低位与立位条件下受试者对颜色的感受是相似的。此外,在运动色彩环境舒适度这个方面,实验结果显示头低位组(实验组)比站立位组(对照组)感受到更高的舒适度。本研究还发现,在锻炼空间中,暖色系(如红色、黄色)更容易调动人的运动欲望和积极性。这与许多关于色彩对锻炼影响的研究结果是一致的^[15-17]。

综合以上分析,可以得出以下结论:虽然色彩对心率并无显著影响,但在锻炼空间中,它确实能够显著地影响人的心理状态、舒适度,以及运动意愿。因此,在设计锻炼空间时,应充分考虑色彩环境的选择,特别是暖色调,以提高运动者的舒适度和积极性。同时,针对不同的锻炼环境,也应提供适宜的色彩方案来提高使用者的体验舒适度。

4 设计实践

4.1 空间站锻炼区色彩设计策略与方法

通过实验分析得知白色在空间内能够显著提升运动的色彩环境舒适度,黄色对运动的欲望有显著影响,故锻炼区的色彩环境营造将以实验得到的结果作为色彩设计的依据,即色彩设计的来源。在色彩布局与规划中,遵循一般性原则与方法进行研究。实验收集了健身房图片和现有空间站图片作为设计参考,来指导色彩设计风格与规划。本研究旨在实现理论色彩、设计原则与设计参考的有机整合,进而提高空间站锻炼区的色彩环境舒适度并激发运动欲望,以实现设计实践目标。色彩设计策略如图 9 所示。

4.2 锻炼区构成与布局

同样的空间环境条件下,设备设施空间布局的不同,给人的视觉感受也会不同^[1]。所以健身区设计应尽可能地创造出功能最全面、空间利用最合理、环境

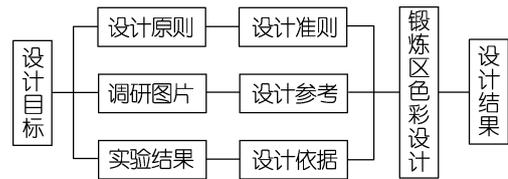


图 9 锻炼区色彩设计策略
Fig.9 Color design strategy of exercise area

最宜人的健身环境。结合形式美的一般性法则对健身区进行布置设计以满足功能需求、美学要求、心理需求、身体需求。同时,考虑航天员在静态时和动态时的尺寸,以安全距离和最小距离进行综合考量布置。安全距离是为了防止碰到某物,而最小距离是为了避免空间的浪费及考虑健身时所必须的最小范围。

健身区作为航天员太空活动的重要一环,其活动内容也较为丰富,主要有:空间环境、灯光组件、硬件设施、各类标识、装饰元素等。通过对锻炼区环境、运动器械、锻炼需求等分析,将设计元素一一罗列布局,首先考虑将不同功能的器械进行整合^[40-44]。如图 10 所示,将舱室空间一分为二,分别为左右两部分的锻炼空间,并将健身器材整合到了一个单独的空间,通过腰部的柔索固定设备将人固定于中间开展运动,运动包括了:自行车有氧锻炼、上肢力量锻炼、跑步有氧锻炼、蹲起下肢力量锻炼等。

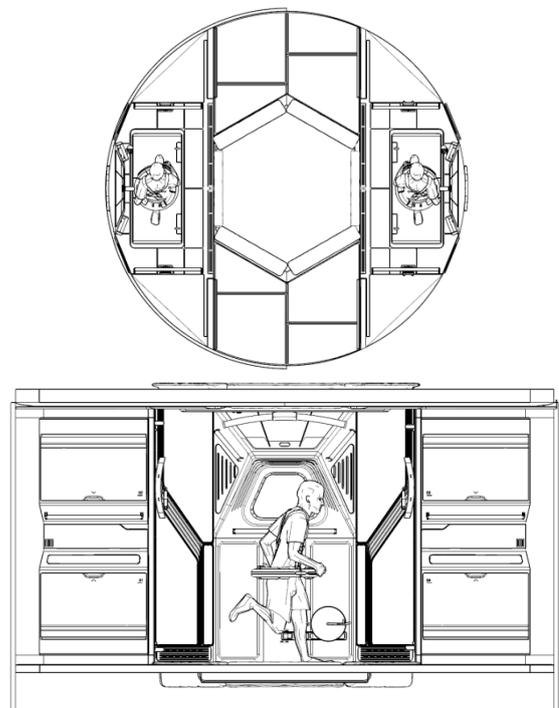


图 10 空间布局
Fig.10 Space layout

4.3 在轨锻炼区色彩设计方案

锻炼区色彩方案设计的主要目的在于营造健身氛围,提供良好的健身空间视觉环境,以提升运动积

极性、效率等。结合实验取得的色彩及色彩设计原则（如色彩的和谐性、功能性、色彩与照明的协调性等）。鉴于黄色对运动欲望有较大的影响，因此将其作为空间装饰的点缀色以提升运动空间的色彩功能需求。白色对运动色彩环境舒适度有较大影响，更适合作为大面积的空间环境色，以提升整体的空间运动

色彩环境舒适度并带来明亮通畅的视觉效果。通过这样的搭配方案，以达到营造舒适的健身氛围、提供良好的健身空间视觉环境、提升运动积极性及运动效率的目的。

故本次案例将选取实验暖色环境中的黄色和无彩色的白色进行深入设计。最终的色彩方案见图 11。



图 11 锻炼区方案最终效果展示
Fig.11 Final effect display of exercise area scheme

5 总结

自载人航天时代起，对太空失重环境的生理与心理效应防护始终是航天员健康保障的重心。尽管在轨防护的锻炼设备与设施逐步完善，其他辅助锻炼设备也得到补充，但仍无法充分满足综合防护效果的需求。本研究通过实验手段，探讨了运动色彩环境对舒适度、运动意愿和心理影响的关系，提炼了适用于航天特殊环境的锻炼区色彩设计及优化路径，并通过案例应用验证了其可靠性。研究成果有助于增强航天员在轨锻炼时的色彩环境舒适度、激发运动意愿、提高空间可视性，从而获得优质的运动锻炼空间环境和效能提升。

本文由于客观因素的影响，研究仍有一些不足，受试者样本数量有限，在实验时没有考虑到不同性别之间的个体差异。也未充分考虑人体生理生态学差异，即使在相同性别、年龄、背景的受试者中，仍存在不同的生理反应和生态适应性。实验主要关注短期反应，未能充分评估长期生理和心理影响。基于实验时长及色彩样本影响，实验色彩范围局限于地面商业健身房的主流色彩，缺乏现有空间站及相关密闭隔离环境的色彩样本。色彩样本主要采取网络爬取和聚类的方式，未对聚类后每个色彩的明度、饱和度和对比度进行进一步论证。因此在后续的研究中将会把这些因素考虑在内并继续优化及完善。

参考文献：

[1] 王子莹, 巴剑波, 王川. 工作环境色彩对人体心理、生理和作业绩效的影响[J]. 人类工效学, 2021, 27(3):

76-82.

WANG Z Y, BA J B, WANG C. The Impact of Work Environment Color on Human Psychology, Physiology and Job Performance[J]. Ergonomics, 2021, 27(3): 76-82.

[2] GOPALAKRISHNAN R, GENC K O, RICE A J, et al. Muscle Volume, Strength, Endurance, and Exercise Loads during 6-month Missions in Space[J]. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 2010, 81(2): 91-104.

[3] HARGENS A R, BHATTACHARYA R, SCHNEIDER S M. Space Physiology VI: Exercise, Artificial Gravity, and Countermeasure Development for Prolonged Space Flight[J]. European Journal of Applied Physiology, 2013, 113(9): 2183-2192.

[4] 秦有年, 李志利, 王林杰. 耐力性锻炼在载人航天飞行中的应用与发展[J]. 航天医学与医学工程, 2014, 27(6): 458-462.

QIN Y N, LI Z L, WANG L J. Application and Development of Endurance Exercise in Manned Space Flight[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2014, 27(6): 458-462.

[5] 李志利, 姜世忠. 长期失重生理效应体育锻炼防护措施研究进展[J]. 载人航天, 2011, 17(1): 23-27.

LI Z L, JIANG S Z. Research Progress on Physical Exercise Protection Measures for Long-term Weightlessness Physiological Effects[J]. Manned Space, 2011, 17(1): 23-27.

[6] 李莹辉. 航天医学研究现状与趋势[J]. 航天医学与医学工程, 2013, 26(6): 421-425.

LI Y H. Current Status and Trends of Aerospace Medicine Research[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2013, 26(6): 421-425.

[7] 张可盈, 张冰, 刘书娟, 等. 航天在轨失重环境条件

- 下的体能训练[J]. 解放军医学杂志, 2017, 42(10): 925-929.
ZHANG K Y, ZHANG B, LIU S J, et al. Physical Fitness Training under Microgravity Conditions in Space Orbit[J]. Chinese Journal of Medicine, 2017, 42(10): 925-929.
- [8] 刘伟波, 刘朝霞, 陈金盾, 等. 航天员长期驻留面临的问题与对策[J]. 载人航天, 2015, 21(6): 545-552.
LIU W B, LIU C X, CHEN J D, et al. Problems and Countermeasures Faced by Long-term Staying of Astronauts[J]. Manned Space, 2015, 21(6): 545-552.
- [9] 陈善广, 邓一兵, 李莹辉. 航天医学工程学主要研究进展与未来展望[J]. 航天医学与医学工程, 2018, 31(2): 79-89.
CHEN S G, DENG Y B, LI Y H. Main Research Progress and Future Prospects of Aerospace Medical Engineering[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2018, 31(2): 79-89.
- [10] 王虹卉. 色彩在健身空间中的设计应用研究[D]. 长春: 吉林体育学院, 2017.
WANG H H. Research on the Application of Color in the Design of Fitness Spaces[D]. Changchun: Jilin University of Physical Education, 2017.
- [11] 周前祥, 姜国华, 钟浩, 等. 载人航天器乘员舱内颜色匹配工效学设计虚拟现实仿真系统的研究[C]// 中国体视学学会图像分析专业、中国体视学学会仿真与虚拟现实专业、中国航空学会信号与信息处理专业第一届联合学术会议论文集. 北京: 航天医学工程研究所, 2000.
ZHOU Q X, JIANG G H, ZHONG H, et al. Research on Ergonomic Design of Color Matching in the Crew Cabin of Manned Spacecraft and Virtual Reality Simulation System [C]// Proceedings of the First Joint Academic Conference of Image Analysis, Simulation and Virtual Reality, and Signal and Information Processing of the Chinese Society of Aeronautics and Astronautics. Beijing: Institute of Aerospace Medical Engineering, 2000.
- [12] 王子牛, 李小涛, 吕松泽, 等. 高强度运动锻炼在载人航天飞行失重防护中的应用与展望[J]. 当代体育科技, 2021, 11(33): 235-242.
WANG Z N, LI X T, LYU S Z, et al. Application and Outlook of High Intensity Sports Exercise in Weightlessness Protection in Manned Space Flight[J]. Contemporary Sports Technology, 2021, 11(33): 235-242.
- [13] 汤盈, 侯天德. 色彩在体育运动中的应用[J]. 南京体育学院学报(自然科学版), 2006(2): 20-23.
TANG Y, HOU T D. The Application of Color in Sports[J]. Journal of Nanjing Sport University (Natural Science Edition), 2006 (2): 20-23.
- [14] 巫朝辉, 许春华. 红、绿色对运动后心率变化影响的实验研究[J]. 体育函授通讯, 2001(1): 24-25.
WU C H, XU C H. Experimental Study on the Effects of Red and Green on Post Exercise Heart Rate Changes[J]. Sports Correspondence Communication, 2001(1): 24-25.
- [15] 江宇, 张力为, 陈荔. 颜色对人的温度感的影响——对运动员心理调节的启示[J]. 北京体育大学学报, 2006(10): 1348-1350.
JIANG Y, ZHANG L W, CHEN L. The Influence of Color on Human Temperature Perception and Its Inspiration on Athlete Psychological Regulation[J]. Journal of Beijing Sport University, 2006(10): 1348-1350.
- [16] AKERS A, BARTON J, COSSEY R, et al. Visual Color Perception in Green Exercise: Positive Effects on Mood and Perceived Exertion[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(16): 8661-8666.
- [17] 王文超. 城市公共空间人性化规划设计探析——以健身房空间色彩效应为例[J]. 美与时代(城市版), 2020(1): 59-60.
WANG W C. Analysis of Humanized Planning and Design of Urban Public Space: Taking the Color Effect of Gym Space as an Example[J]. Beauty and Era (Urban Edition), 2020(1): 59-60.
- [18] OHNO H, KOIZUMI N. Mood Perception of Interior Colors in a Gym[J]. Otemae Univ, 2002(4421): 404-408.
- [19] 刘沁, 张乘风. 视觉舒适度的理论模型及其图像研究[J]. 激光杂志, 2010, 31(3): 28-29.
LIU Q, ZHANG C F. Theoretical Model of Visual Comfort and Its Image Research[J]. Laser Journal, 2010, 31(3): 28-29.
- [20] 王首一, 李贤, 冯华. 基于视觉舒适度的高校体育馆夜间照明环境预测模型研究[J]. 城市建筑, 2021, 18(7): 29-31.
WANG S Y, LI X, FENG H. Research on the Prediction Model of Nighttime Lighting Environment in University Gymnasiums Based on Visual Comfort[J]. Urban Architecture, 2021, 18(7): 29-31.
- [21] 闫静茹, 岳东林. 光环境视觉舒适度及光环境对人体健康影响研究综述[J]. 光源与照明, 2021(9): 47-49.
YAN J R, YUE D L. Review of Research on Visual Comfort of Light Environment and the Impact of Light Environment on Human Health[J]. Light Source and Lighting, 2021(9): 47-49.
- [22] 袁枝亭. 基于眼动追踪技术的卫浴空间色彩视觉舒适度研究[D]. 景德镇: 景德镇陶瓷大学, 2021.
YUAN Z T. Research on Visual Comfort of Bathroom Color Based on Eye Tracking Technology[D]. Jingdezhen: Jingdezhen Ceramic University, 2021.
- [23] 黄璞. 色彩美学在船舶舱室设计中的应用[J]. 包装工程, 2022, 43(12): 273-277.
HUANG P. Application of Color Aesthetics in Ship Cabin Design[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(12): 273-277.
- [24] 李中付, 时粉周, 丁猛, 等. 船舶舱室色彩搭配对人体生理指标的影响研究[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2014, 21(3): 168-173.
LI Z F, SHI F Z, DING M, et al. Research on the Effect of Color Matching in Ship Cabins on Human Physiological Indicators[J]. Chinese Journal of Naval Medicine

- and Hyperbaric Medicine, 2014, 21(3): 168-173.
- [25] 李莹辉, 万玉民, 白延强, 等. “地星” 1 号——60d 头低位卧床实验研究概况[J]. 航天医学与医学工程, 2008(3): 291-294.
LI Y H, WAN Y M, BAI Y Q, et al. Overview of Experimental Research on "Earth Star" 1: 60 Day Head Down Bed Rest[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2008(3): 291-294.
- [26] SHEHAB R L, SCHLEGEL R E, SCHIFLETT S G, et al. The NASA Performance Assessment Workstation: Cognitive Performance During Head-down Bed Rest[J]. Acta Astronautica, 1998, 43(3-6): 223-233.
- [27] DAYAL D, JESUDASEN S, SCOTT R, et al. Effects of Short-term-12° Head-down Tilt on Cognitive Performance[J]. Acta Astronautica, 2020, 175: 582-590.
- [28] 王笃明, 韩奇沛. 短时头低位模拟失重对于运动方向判断的影响[C]// 第二十届全国心理学学术会议——心理学与国民心理健康摘要集. 重庆: 中国心理学会, 2017: 1001-1003.
WANG D M, HAN Q P. The Impact of Short-term Head Low Simulated Weightlessness on Motor Direction Judgment[C]// 20th National Psychological Academic Conference: Summary of Psychology and National Mental Health. Chongqing: Chinese Psychological Society, 2017: 1001-1003
- [29] 于洪强, 蒋婷, 王春慧. 体位改变 30 min 对眼内压和视觉能力影响研究[J]. 航天医学与医学工程, 2016, 29(3): 195-200.
YU H Q, JIANG T, WANG C H. Study on the Effects of 30 Minute Postural Changes on Intraocular Pressure and Visual Ability[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2016, 29(3): 195-200.
- [30] 赵宝椿. 心率变化及其在运动实践中的应用[J]. 赣南师范学院学报, 1993(S2): 83-90.
ZHAO B C. Heart Rate Changes and Their Application in Exercise Practice[J]. Journal of Gannan Normal University, 1993(S2): 83-90.
- [31] 苏志雄, 郝选明. 心率监测在运动训练中的作用及影响因素[J]. 成都体育学院学报, 2002(2): 89-91.
SU Z X, HAO X M. The Role and Influencing Factors of Heart Rate Monitoring in Sports Training [J]. Journal of Chengdu Sport University, 2002(2): 89-91.
- [32] 马毅明. 浅谈运动生理指标在训练中的应用[J]. 辽宁体育科技, 1999(3): 29-30.
MA Y M. Discussion on the Application of Sports Physiological Indicators in Training[J]. Liaoning Sports Science and Technology, 1999(3): 29-30.
- [33] 顾正秋, 徐飞, 魏佳, 等. 说话测试作为血流限制运动强度评价指标的可行性[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(8): 1154-1159.
GU Z Q, XU F, WEI J, et al. Feasibility of Using Speech Tests as an Evaluation Index for Blood Flow Restriction Exercise Intensity[J]. China Tissue Engineering Research, 2022, 26 (8): 1154-1159.
- [34] 李伟, 李勇奇, 林彦山. 运动强度的分类与比较[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1999(1): 102-106.
LI W, LI Y Q, LIN Y S. Classification and Comparison of Exercise Intensity[J]. Journal of Natural Science, Harbin Normal University, 1999(1): 102-106.
- [35] 范利君, 陈学伟, 安改红, 等. 不同运动强度下摄氧量、心率、通气量随时间的变化特征[C]// 2018 年中国生理学会运动生理学专业委员会会议暨“科技创新与运动生理学”学术研讨会论文集. 天津: 环境医学与作业医学研究所及天津体育学院, 2018.
FAN L J, CHEN X W, AN G H, et al. The Characteristics of Changes in Oxygen Uptake, Heart Rate, and Ventilation Over Time under Different Exercise Intensities[C]// Proceedings of the 2018 Chinese Physiological Society Sports Physiology Professional Committee Meeting and the "Science and Technology Innovation and Sports Physiology" Academic Seminar. Tianjin: Institute of Environmental Medicine and Occupational Medicine and Tianjin Institute of Physical Education, 2018.
- [36] 许铁, 张劲松, 燕宪亮. 急救医学[M]. 南京: 南京东南大学出版社, 2019.
XU T, ZHANG J S, YAN X L. Emergency Medicine[M]. Nanjing: Nanjing Southeast University Press, 2019.
- [37] 宋平. 山区公路驾驶员心率变化规律研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
SONG P. A Study on the Changes in Heart Rate of Mountain Road Drivers[D]. Jilin: Jilin University, 2012.
- [38] 吕松泽. 短期模拟失重对人体运动能力的影响及经皮穴位电刺激的防护研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2023.
LYU S Z. A Study on the Impact of Short-term Simulated Weightlessness on Human Sports Ability and the Protection of Percutaneous Acupoint Electrical Stimulation[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2023.
- [39] 邢文娟, 邢长洋, 凌树宽, 等. 长期航天飞行心血管保护: 问题与挑战[J]. 中国科学: 生命科学, 2022, 52(2): 190-203.
XING W J, XING C Y, LING S K et al. Cardiovascular Protection in Long-term Space Flight: Issues and Challenges[J]. Chinese Science: Life Science, 2022, 52(2): 190-203.
- [40] 胡凌云. 空间飞行器布局优化方法研究[J]. 航天器工程, 1997(4): 46-58.
HU L Y. Research on Optimization Methods for Space Vehicle Layout[J]. Spacecraft Engineering, 1997(4): 46-58.
- [41] 周前祥, 姜国华. 载人航天器乘员舱结构布局工效学的研究进展[J]. 航天医学与医学工程, 2001(2): 144-148.
ZHOU Q X, JIANG G H. Research Progress in Ergonomics of Structural Layout of Manned Spacecraft Crew Compartments[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2001(2): 144-148.