

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГЕРМООБЪЕКТА

А. Е. Смолеевский, О. М. Манько, Ю. А. Бубеев, Т. А. Смирнова

ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, г. Москва, Россия

PSYCHOPHYSIOLOGICAL EFFECTS OF LED LIGHTING IN CONDITIONS OF THE HERMETIC OBJECTS

A. E. Smoleevskiy, O. M. Man'ko, Yu. A. Bubeev, T. A. Smirnova

Institute of biomedical problems of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

Резюме

Цель: исследование психофизиологических эффектов светодиодного освещения с различными спектрально-энергетическими характеристиками для обоснования целесообразности применения светодиодных источников света в гермообъектах.

Материалы и методы. Произведена оценка психической работоспособности, психоэмоционального состояния, субъективных показателей качества сна человека-оператора и функциональной активности его зрительного анализатора в условиях светодиодного освещения с постоянными и варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками (моделирующими естественную суточную динамику). Проведены четыре гермокамерных эксперимента длительностью 11,5–12 сут.

Результаты. Показано, что психическая работоспособность операторов при апробированных режимах светодиодного освещения сохранялась на высоком уровне в течение всего периода воздействия. Интегральный показатель настроения вырос в условиях динамического освещения на 78,9%, а в условиях постоянного освещения — на 14,1% по сравнению с фоном. Негативного влияния экспериментальных световых режимов на субъективные показатели качества сна и состояние после пробуждения не выявлено. Динамическое светодиодное освещение не оказало значимого негативного влияния на функциональную активность зрительного анализатора в условиях гермообъема.

Заключение. Результаты исследования указывают на возможность применения светодиодов на борту пилотируемых космических аппаратов и других гермообъектов без вреда для психической работоспособности, психоэмоционального состояния и качества сна членов экипажа (библ.: 6 ист.).

Ключевые слова: динамическое освещение, зрительный анализатор, оператор, психическая работоспособность, светодиодное освещение.

Статья поступила в редакцию 22.06.2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших систем, обеспечивающих эффективное функционирование человека-оператора в условиях гермообъекта, окруженного агрессивной внешней средой (космос, морские глубины, условия Крайнего Севера и т. п.), является система освещения. Наиболее перспективными источниками света для применения в таких гермообъектах могут стать светодиоды, обладающие рядом технических достоинств: высокой надежностью, долговечностью, экономичностью, низким энергопо-

Summary

Objective: research of psychophysiological effects of LED lighting with different spectral and energy characteristics to justify the advisability of using LED light sources in hermetic objects.

Materials and methods. An assessment was made of mental performance, psycho-emotional state, subjective indicators of the quality of sleep of the human operator and the functional activity of his visual analyzer under the conditions of LED lighting with constant and time-varying spectral and energy characteristics (simulating natural diurnal dynamics). Four hermetic chambers with duration of 11.5–12 days were carried out.

Results of the study. It is shown that the mental performance of operators in the approved LED lighting modes remained at a high level throughout the exposure period. The integral indicator of mood increased under the conditions of dynamic lighting by 78.9%, and in conditions of constant illumination by 14.1% compared to the background. The negative influence of experimental light regimes on subjective indicators of the quality of sleep and the state after awakening was not revealed. Dynamic LED lighting did not have a significant negative effect on the functional activity of the visual analyzer under the conditions of the hermetic volume.

Conclusion. The results of the research indicate the possibility of using light-emitting diodes on board manned spacecraft and other hermetic objects without harm to mental performance, psychoemotional state and sleep quality of crew members (bibliography: 6 refs).

Key words: dynamic lighting, LED lighting, mental performance, operator, visual analyzer.

Article received 22.06.2018.

треблением, пожарной, ударной, вибрационной и экологической безопасностью [1, 2].

Однако при всех неоспоримых преимуществах светодиодов неравномерность спектрального состава их света (преобладание синего компонента и сниженная доля зеленого) способна прямо или косвенно повлиять на психическую работоспособность оператора, являющуюся основой надежности, качества и безопасности его профессиональной деятельности. Прямое действие света на психическую работоспособность реализуется за счет изменения функциональной активности зрительного

анализатора и отражается на качестве и продуктивности выполнения сенсомоторных операторских задач. Незрительные эффекты световой среды проявляются в изменениях психоэмоционального состояния человека-оператора, структуры и качества его сна, уровня дневной активности, свойств внимания и в конечном счете определяют точность и продуктивность выполнения абстрактно-логических задач.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью обоснования целесообразности применения светодиодных источников света в космических летательных аппаратах и других гермообъектах на базе государственного научного центра Российской Федерации «Институт медико-биологических проблем» Российской Академии наук (ГНЦ РФ-ИМБП РАН) в рамках договора № 14-04-735 с ЗАО «НПЦ “НИИ микроприборов”» от 27.03.2014 г. было проведено комплексное исследование особенностей психической работоспособности оператора в условиях светодиодного освещения с различными спектрально-энергетическими характеристиками. Работа выполнялась в глубоководном водолазном комплексе (ГВК-250) с контролируемыми параметрами среды обитания на связанных выборках, состоящих из здоровых добровольцев-мужчин (в возрасте от 25 до 43 лет).

Было проведено 2 эксперимента продолжительностью 12 сут в условиях светодиодного освещения с постоянными спектрально-энергетическими характеристиками (постоянного светодиодного освещения) (коррелированная цветовая температура (КЦТ) 4000 К, $n = 10$) и 2 эксперимента продолжительностью 11,5 сут в условиях светодиодного освещения с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками (динамического светодиодного освещения), моделирующими естественный суточный цикл (КЦТ от 2200 К до 8000 К, $n = 8$). Фоновые значения психофизиологических показателей регистрировались в условиях люминесцентного освещения (КЦТ = 4000 К) при том же уровне освещенности.

Психическая работоспособность оценивалась с помощью методик «Корректирующая проба», «Адаптивная модель операторской деятельности» (АМОД) и «Реакция на движущийся объект» (РДО). Психоэмоциональное состояние, субъективные показатели качества сна и выраженность дневной сонливости оценивались соответственно с помощью опросников: Профиль настроения, Leeds Sleep Evaluation Questionnaire (LSEQ) и Karolinska Sleepiness Scale (KSS). Также оценивались: суммарная граница поля зрения (СПЗ) на синий и зеленый цвета, критическая частота слияния мельканий (КЧСМ) и запас относительной аккомодации (ЗОА) по методу Аветисова. Статистическая обработка результатов выполнялась методами непараметрической статистики

в программе Statistica 10. Статистическая значимость различий проверялась с помощью парного критерия Т-Вилкоксона. Программа экспериментальных исследований по уровню научной обоснованности и обеспечению безопасности была признана соответствующей нормам биомедицинской этики и одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ-ИМБП РАН (протокол № 367 от 31.07.2014 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование показало, что оба режима светодиодного освещения в условиях гермообъекта способны обеспечить сохранение высокой работоспособности оператора на протяжении 12-суточной изоляции. В условиях постоянного светодиодного освещения продуктивность тестовой деятельности (корректирующая проба) увеличилась на 14,2–27,8% (по медиане) по сравнению с фоном ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона, $n = 10$). Качество счета (АМОД) имело тенденцию к росту и, начиная с 9-х сут, значительно ($p < 0,05$, $n = 10$) превышало фоновые значения (на 26,6–31,5% по медиане).

Отмечены косвенные признаки позитивного влияния динамического светодиодного освещения на баланс процессов возбуждения и торможения в центральной нервной системе (по данным РДО). В фоне у всех операторов преобладали запаздывающие реакции на движущийся объект, а среднее отклонение РДО было смещено вверх от нулевой линии. В условиях динамического светодиодного освещения количество и выраженность запаздывающих ответов существенно сократились, а среднее отклонение РДО уменьшилось на 22–75,6% (по медиане) по сравнению с фоном и приблизилось к оптимальной области. Также показано, что светодиодное освещение с изменяемыми спектрально-энергетическими характеристиками оказало более выраженное активирующее влияние на психоэмоциональное состояние операторов, чем постоянное светодиодное освещение. «Интегральный показатель настроения» (Профиль настроения) вырос в условиях динамического светодиодного освещения на 78,9% (по медиане), а в условиях постоянного светодиодного освещения — на 14,1% (по медиане) по сравнению с фоновым значением ($p = 0,063$, критерий Вилкоксона, $n = 8$).

Апробированные режимы светодиодного освещения не оказали значимого влияния ($p > 0,05$) на субъективную оценку сна по показателям «Засыпание», «Качество сна», «Пробуждение», «Состояние после пробуждения» (LSEQ), а также на дневную активность и сонливость (KSS, LSEQ) операторов.

Светодиодное освещение с изменяемыми спектрально-энергетическими характеристиками в целом не оказало негативного влияния на функциональную активность зрительного анализатора в

условиях 11,5-суточной изоляции. Однако отмечено снижение отдельных функциональных показателей: ЗОА — на 14,3% по медиане ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона, $n = 8$), СГПЗ на синий (–6,3% по медиане) и зеленый (–9,1% по медиане) цвета ($p < 0,01$, критерий Вилкоксона, $n = 16$). В то же время КЧСМ — наиболее чувствительный показатель развития астенопии — практически не изменился по сравнению с фоном. Аналогичные исследования эффектов светодиодного освещения вне гермообъекта не выявили ухудшения функциональной активности зрительного анализатора [2–4]. Это дает основание полагать, что обнаруженное снижение ЗОА и сужение СГПЗ могут быть обусловлены пребыванием в замкнутом объеме, а не спектральным составом освещения. Субъективной симптоматики, указы-

вающей на развитие патологии зрительного анализатора, а также морфофункциональных изменений сетчатки (по данным оптической когерентной томографии и электроретинографии) в условиях динамического светодиодного освещения также выявлено не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы в целом согласуются с мнением экспертного сообщества и могут быть положены в основу дальнейшей оптимизации и внедрения светодиодных источников света с целью решения задач эргономики труда в условиях искусственной среды обитания [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Brainard G. C., Coyle W., Ayers M., Kemp J., Warfield B., Maida J., Bowen C., Bernecker C., Lockley S. W., Hanifin J. P. Solid-state lighting for the International Space Station: Tests of visual performance and melatonin regulation. *Acta Astronautica*. 2013; 92 (1): 21–8.
2. Bolekhan V. N., Ganapol'skiy V. P., Shchukina N. A., Bazyleva L. V. A comprehensive study of the effect of LED light sources on the functional state of the human body. *Meditsina i zdravookhraneniye*. In: *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Materials of the V International Scientific Conference)*. Kazan; 2017: 85–8. Russian (Болехан В. Н., Ганapol'skiy В. П., Щукина Н. А., Базылева Л. В. Комплексное исследование влияния светодиодных источников света на функциональное состояние организма человека. Медицина и здравоохранение. В кн.: Материалы V Международной научной конференции. Казань; 2017: 85–8).
3. Gizinger O. A., Osikov M. V., Teleshova L. F., Dolgushin I. I., Ogneva O. I., Fedosov A. A., Kudryashov A. V., Vakhitov M. G., Kalinina A. S. Research of efficiency and safety for health of LED light sources. *Scientific review. Meditsinskiye nauki*. 2014; 1:

- 84–5. Russian (Гизингер О. А., Осиков М. В., Телешева Л. Ф., Долгушин И. И., Огнева О. И., Федосов А. А., Кудряшов А. В., Вахитов М. Г., Калинина А. С. Исследование эффективности и безопасности для здоровья светодиодных источников света. Научное обозрение. Медицинские науки. 2014; 1: 84–5).
4. Kuchma V. R., Sukhareva L. M., Teksheva L. M., Stepanova M. I., Sazanyuk Z. I. Hygienic aspects of the use of LED light sources for general lighting in schools. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 5: 27–31. Russian (Кучма В. Р., Сухарева Л. М., Текшева Л. М., Степанова М. И., Сазанюк З. И. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников света для общего освещения в школах. Гигиена и санитария. 2013; 5: 27–31).
5. SCENIHR (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Health Effects of Artificial Light. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. European Commission. SCHEER. 2013. 115.
6. SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). European Commission. SCHEER. 2017. 84.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Смолевский Александр Егорович — научный сотрудник лаборатории «Психологических и психофизиологических исследований профессиональной деятельности, виртуальной реальности и компьютерных психотехнологий» отдела «Психология, нейрофизиология и психофизиология деятельности операторов», ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, 123007, Россия, г. Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А, конт. тел.: +7(906)7654781, e-mail: smoll13@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Smoleevskiy Alexander E. — scientific employee of the laboratory “Psychological and psychophysiological research of professional activity, virtual reality and computer psychotechnologies” of the “Psychology, Neurophysiology and Psychophysiology of Operators” Department, Institute of biomedical problems (IBMP) of the Russian academy of sciences, 76A, Khoroshevskoye hwy, Moscow, Russia, 123007, cont. phone: +7(906)7654781, e-mail: smoll13@mail.ru

Манько Ольга Михайловна — докт. мед. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель научной группы «Физиология и психофизиология зрения» отдела «Психология, нейрофизиология и психофизиология деятельности операторов», ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, 123007, Россия, г. Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А, конт. тел.: +7(968)7440881, e-mail: olgamanko@list.ru

Man'ko Olga M. — M. D., D. Sc. (Medicine), Leading Researcher, Head of the Scientific Group “Physiology and Psychophysiology of Vision” of the “Psychology, Neurophysiology and Psychophysiology of Operators” Department, Institute of biomedical problems (IBMP) of the Russian academy of sciences, 76A, Khoroshevskoye hwy, Moscow, Russia, 123007, cont. phone: +7(968)7440881, e-mail: olgamanko@list.ru

Бубеев Юрий Аркадьевич — докт. мед. наук, профессор, заведующий отделом «Психология, нейрофизиология и психофизиология деятельности операторов», ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, 123007, Россия, г. Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А, конт. тел.: +7(926)5936280, e-mail: aviamed@inbox.ru

Bubeev Yuriy A. — M. D., D. Sc. (Medicine), Professor, the Head of the “Psychology, Neurophysiology and Psychophysiology of Operators” Department, Institute of biomedical problems (IBMP) of the Russian academy of sciences, 76A, Khoroshevskoye hwy, Moscow, Russia, 123007, cont. phone: +7(926)5936280, e-mail: aviamed@inbox.ru

Смирнова Тамара Александровна — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник «Отделения ученых советов и аспирантуры», ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, 123007, Россия, г. Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А, конт. тел.: +7(916)1288712, e-mail: smirnova@imbp.ru

Smirnova Tamara A. — Ph. D. (Biology), the Leading Researcher of the Scientific Councils and Postgraduate Studies Department, Institute of biomedical problems (IBMP) of the Russian academy of sciences, 76A, Khoroshevskoye hwy, Moscow, Russia, 123007, cont. phone: +7(916)1288712, e-mail: smirnova@imbp.ru