

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ИМИТАЦИИ НЕВЕСОМОСТИ НА ЗРИТЕЛЬНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

С. В. Дмитриева¹, М. А. Грачева^{1, 2}, Н. Н. Васильева², А. Е. Смолеевский¹, О. М. Манько¹

¹ ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, г. Москва, Россия

² ФГБУН «Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича» РАН, г. Москва, Россия

SIMULATION OF WEIGHTLESSNESS AND ASSESSMENT OF ITS INFLUENCE ON VISUAL PERFORMANCE

S. V. Dmitriyeva¹, M. A. Gracheva^{1, 2}, N. N. Vasil'eva², A. E. Smoleevskiy¹, O. M. Man'ko¹

¹ Institute of biomedical problems of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

² A. A. Kharkevich Institute of problems of information transfer of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

Резюме

Цель: оценить влияние одного из факторов космического полета — невесомости — на зрительную работоспособность.

Материалы и методы. Исследование проводилось в рамках эксперимента с 5-дневным пребыванием испытуемых в условиях микрогравитации, имитирующих нахождение человека в невесомости. Для создания условий микрогравитации использовалась методика «сухой» иммерсии: испытуемые были погружены в ванну с теплой водой, будучи отделены от воды свободно плавающей водонепроницаемой эластичной пленкой. В исследовании приняли участие 10 испытуемых мужского пола в возрасте от 21 до 43 лет. Для оценки зрительной работоспособности использовали интерактивную компьютерную программу. Задача испытуемого состояла в зрительном поиске объекта, идентичного центральному тест-объекту (мишени), среди окружающих объектов того же типа. Тестирование каждого испытуемого проводили 4 раза: за 3 сут до погружения в иммерсионную среду, через 2 и 4 сут после погружения, через 7–9 сут после окончания периода иммерсии. В каждой серии были применены 3 режима тестирования, различающихся степенью краудинга: объекты, среди которых нужно было обнаружить тест-объект, предъявляли поодиночке, группами по 4 и группами по 7. Размеры объектов варьировали. Показателями качества выполнения работы являлись время поиска и число ошибок при идентификации.

Результаты. Выбранные параметры тестов и режимы тестирования позволили сделать предварительные количественные оценки влияния различных факторов на динамику зрительной работоспособности. Из анализа полученных данных следует, что на время зрительного поиска могли оказывать влияние следующие факторы: переход от офисных условий тестирования к условиям иммерсии и обратно; вработывание — выработка навыка работы с программой; размеры объектов; степень краудинга.

Заключение. В результате проведенного рекогносцировочного исследования установлено, что в случае достаточно сложных зрительных задач (например, поиска мелких мишеней в группах) переход от обычных условий работы к условиям иммерсии приводит к увеличению времени выполнения задания, т. е. к снижению зрительной работоспособности. При анализе данных необходимо учитывать эффекты адаптации и вработывания, вклад которых зависит от параметров объектов и режима тестирования (2 рис., библи.: 11 ист.).

Ключевые слова: влияние невесомости, зрительная работоспособность, иммерсия, микрогравитация.

Статья поступила в редакцию 22.06.2018 г.

Summary

Objective: to assess the influence of weightlessness on visual performance.

Materials and methods. The subjects were 10 men from 21 to 43 y. o. All subjects spend 5 days in conditions of microgravity (simulation of weightlessness). To create microgravity conditions, a dry immersion technique was used: the subjects were immersed in a bath of warm water, being separated from the water by a freely floating waterproof elastic film.

The characteristics of visual performance were assessed by means of interactive computer program.

The subject's task was to find an object, identical to the target shown at the display center, among several surrounding groups of similar objects. In each series, 3 types of operating conditions were used differing by the degree of crowding: the surrounding objects, among which it was necessary to detect the sought-for object, were presented singly, in groups of 4 objects and in groups of 7 objects. The sizes of the objects varied. Search time and number of identification errors were used to characterize visual performance.

Results. Preliminary quantitative assessment of the influence of various factors on the dynamics of visual performance was carried out. The analysis of the data obtained has shown that the following factors could influence visual search performance of the subjects: the transition from "office" testing conditions to immersion conditions and back; learning — development of the skill of working with the program; the sizes of objects; degree of crowding.

Conclusions. As a result of the experiment conducted, it was found that, in the case of rather complicated visual tasks (for example, searching for small target in groups), the transition from normal working conditions to immersion conditions led to an increase in the time for the task solving, i. e. to a decrease in visual performance. When analyzing data, it is necessary to take into account the effects of adaptation and learning, whose contribution depends on the parameters of the objects and the operating conditions (2 figs, bibliography: 11 refs).

Key words: immersion, influence of weightlessness, microgravity, visual performance.

Article received 22.06.2018.

ВВЕДЕНИЕ

Зрительная работоспособность является интегральной характеристикой зрительных возможностей человека, при повторных оценках она может отражать способность к адаптации и устойчивость при утомлении. Данный функциональный показатель исследовался в работах по физиологии, психологии, офтальмологии, в том числе в связи с потребностями военно-профессиональной и летной деятельности [1–4], оценкой влияния экстремальных нагрузок [5, 6], изучением возрастных аспектов в норме и при сенсорных нарушениях. При этом до сих пор актуальными остаются вопросы изменения функционального состояния зрительной системы космонавтов в условиях невесомости, воздействия на организм ограниченного пространства, влияния сенсорной депривации, монотонии, искусственно освещенности [7, 8].

Для исследования влияния факторов невесомости на функционирование зрительной системы целесообразно проведение наземных модельных экспериментов. Одним из методов экспериментальной имитации невесомости является «сухая» иммерсия — погружение человека в иммерсионную ванну [9]. Ранее было показано, что в условиях гравитационной разгрузки, создаваемой в иммерсионной среде, происходят значимые изменения в вестибулярной системе, снижаются показатели зрительного слежения, изменяется сенсомоторная оценка зрительных иллюзий [10, 11]. Можно предположить, что опорная разгрузка и минимизация мышечной активности в период пребывания человека в условиях иммерсии могут повлиять и на другие психофизиологические характеристики зрительной системы человека.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка влияния одного из факторов космического полета — невесомости — на зрительную работоспособность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для количественной оценки зрительной работоспособности была использована интерактивная компьютерная тестовая и тренировочная программа ЦВЕТОК. Название программы отражает дизайн тестов: рабочее поле на экране имеет вид цветка с сердцевинкой и шестью лепестками. Все задания, предлагаемые программой, построены по единой схеме: испытуемый должен найти объект, идентичный тест-объекту (мишени), предъявляемому в центре, среди объектов того же типа, предъявляемых на шести окружающих его лепестках. В качестве

тест-объектов были выбраны латинские буквы четырех размеров (высотой 2; 3,5; 5 и 7 мм). Трудность задачи поиска варьировали, меняя размеры и число окружающих букв, среди которых требовалось найти букву-мишень. Буквы предъявляли на лепестках в трех режимах, различающихся степенью краудинга: поодиночке (режим К1), группами по 4 (режим К4) и группами по 7 (режим К7). Для количественной оценки качества выполнения работы регистрировали время поиска и число ошибок при идентификации. Задания выполнялись в условиях обычной работы с дисплеем; расстояние наблюдения испытуемые подбирали сами, обеспечивая комфортность работы.

В экспериментах принимали участие 10 испытуемых в возрасте от 21 до 43 лет (средний возраст 31,2 года). Тестирование каждого испытуемого проводили 4 раза: за 3 сут до погружения в иммерсионную среду (фон 1), через 2 и 4 сут после погружения и через 7–9 сут после окончания периода иммерсии (фон 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выбранные параметры тестов и режимы тестирования позволили сделать предварительные количественные оценки влияния различных факторов на динамику зрительной работоспособности. Общий диапазон изменения индивидуального среднего времени поиска одной буквы в зависимости от параметров теста, режима тестирования, условий работы и особенностей испытуемых составил около 5 с: приблизительно от 0,8 до 5,8 с. Средние по всем испытуемым значения времени поиска были в диапазоне от 1,0 до 3,4 с (рис. 1).

Приведенные на рис. 1 данные — это полученные в четырех последовательных сериях измерений средние по всем испытуемым значения времени поиска для букв четырех размеров при трех режимах тестирования. Естественно, что самые большие значения времени поиска были зарегистрированы в случае самых мелких тест-объектов в режиме максимального краудинга К7 (рис. 1, в, верхняя кривая). Выраженность различных влияний у разных испытуемых варьировала, но общие закономерности прослеживались достаточно отчетливо. Для примера на рис. 2 показана динамика индивидуальных показателей у двух испытуемых. Зарегистрированные средние времена поиска представлены отдельно для букв трех размеров — 7 мм (а); 3,5 мм (б); 2 мм (в).

Как видно из рис. 2, задача поиска одиночных букв (режим К1) оказалась для обоих испытуемых очень простой: независимо от размера букв условия тестирования практически не сказывались на результатах. Лишь в случае самых мелких букв у испытуемого 2 наблюдалось общее увеличение

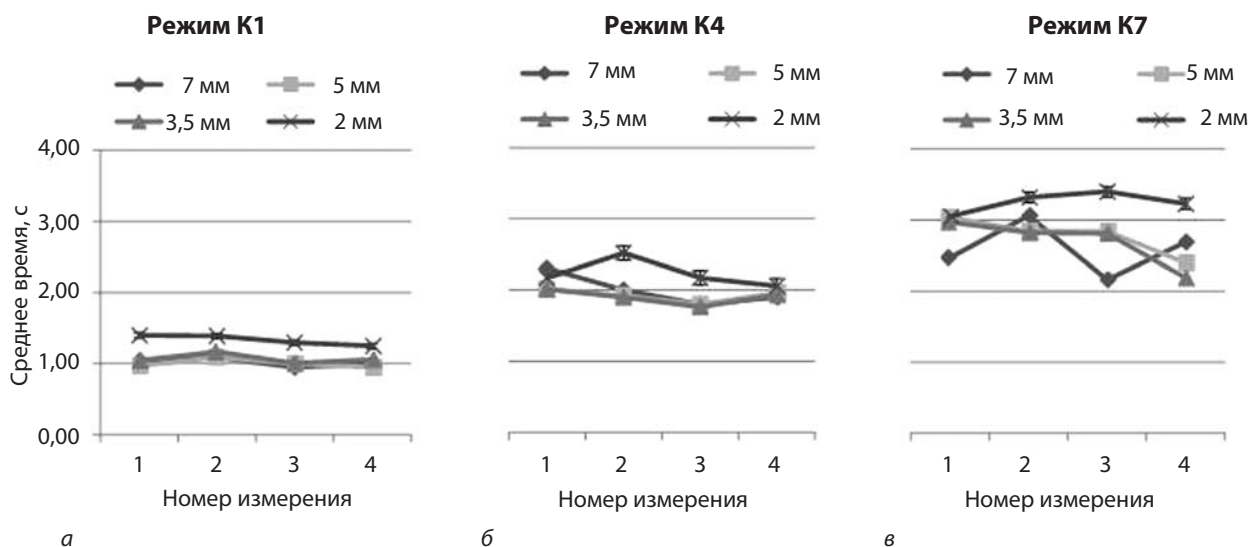


Рис. 1. Среднее по всем испытуемым время поиска для букв разного размера при тестировании до (1 — фон 1), во время (2 и 3) и после (4 — фон 2) иммерсии в условиях режимов тестирования: K1 (а), K4 (б) и K7 (в). По оси х — последовательные этапы проведения тестирования; по оси у — среднее время поиска одной буквы (с). Размеры букв (мм) указаны в легенде

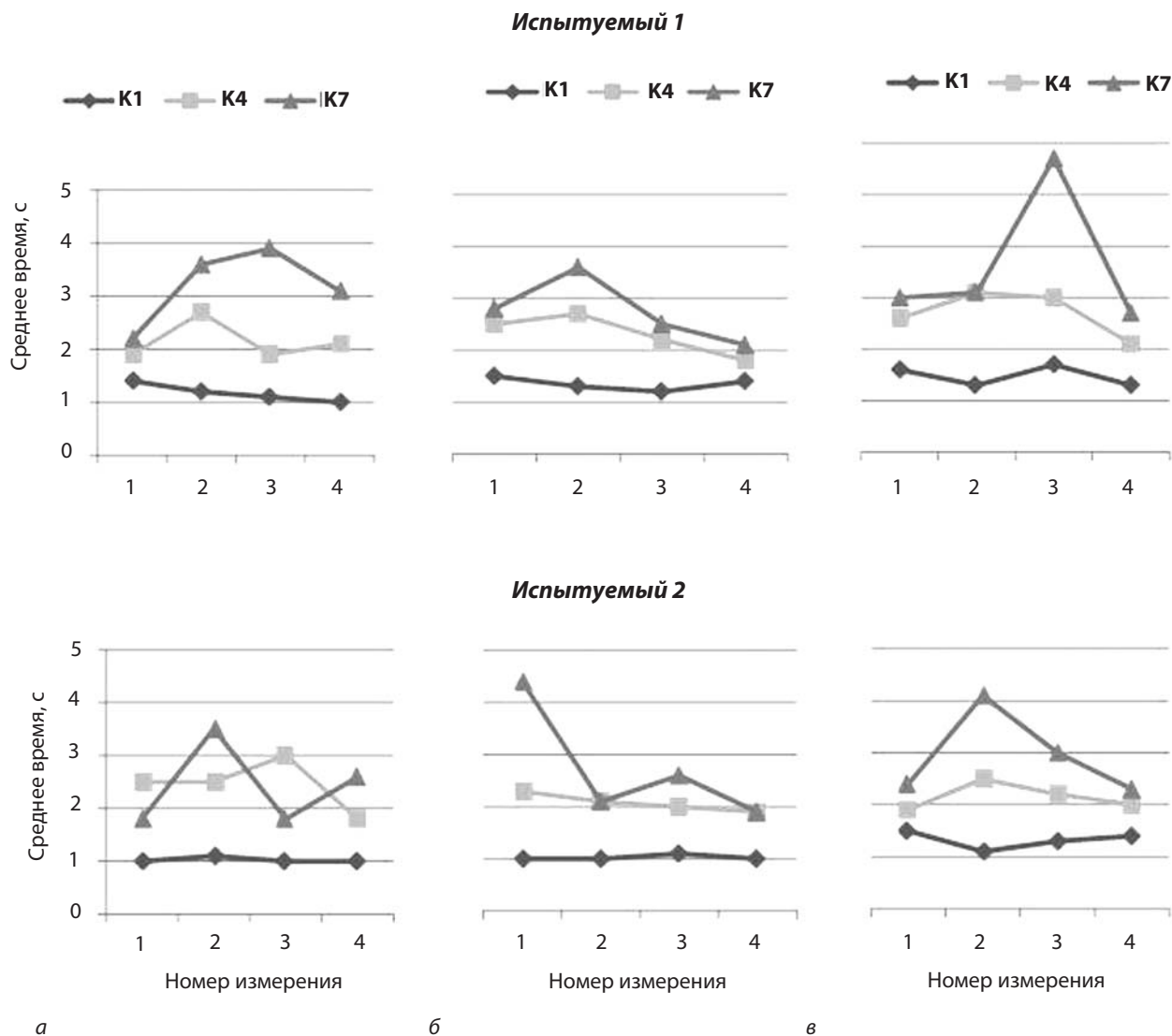


Рис. 2. Индивидуальные данные тестирования двух испытуемых в условиях предъявления букв разных размеров: 7 мм (а), 3,5 мм (б), 2 мм (в). По оси х — последовательные этапы проведения тестирования; по оси у — среднее время поиска одной буквы (с)

времени поиска. В режимах краудинга K4 и K7 было явно выражено негативное влияние перехода к условиям иммерсии. У испытуемого 1 данный эффект в той или иной мере проявлялся при всех размерах букв, а у испытуемого 2 — в случаях с самыми мелкими и самыми крупными. Отличие результатов для букв размером 3,5 мм может объясняться позитивным эффектом вработывания (научения), так как серия таких букв была промежуточной и предъявлялась после двух других серий (7 и 5 мм).

Анализ данных, приведенных на рис. 1 и 2, позволяет предположить, что на время поиска могли оказывать влияние следующие факторы: переход от офисных условий тестирования к условиям иммерсии и обратно; научение (вработывание) — выработка навыка работы с программой по мере ее освоения и ускорение выполнения заданий по мере их повторения; параметры тест-объектов; режимы краудинга; порядок предъявления серий букв разного размера.

Наряду с негативным влиянием иммерсии на выполнение трудных заданий (размер букв 2 мм; режим K7) в ряде случаев отмечалось сокращение времени поиска при выполнении более легких заданий (размеры букв 3,5; 5; 7 мм; режим K4) в период пребывания в иммерсионной ванне и его увеличение при обратной смене условий — от иммерсионных к офисным. Возможно, это связано с

особенностями индивидуальной рабочей нагрузки, которую было трудно контролировать до и после иммерсии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное рекогносцировочное исследование выявило снижение показателей работоспособности при переходе от офисных условий к «сухой» иммерсии, имитирующей состояние невесомости, а также эффекты адаптации и вработывания (научения).

Сравнение результатов, полученных при варьировании параметров тестов и режимов тестирования, позволило определить установки, наиболее благоприятные для выявления исследуемых эффектов. Выяснилось, что наряду со сложными заданиями целесообразно давать аналогичные простые задания, так как негативные влияния могут более отчетливо проявиться не в изменениях абсолютных значений показателей работоспособности, а в изменении их отношений для разных режимов.

Общий анализ результатов исследования указывает на необходимость проведения дополнительных контрольных экспериментов для оценки вклада побочных факторов, которые могли маскировать эффект микрогравитации или создавать видимость его наличия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Aleksandrov A. S., Golosov S. Yu., Davydov V. V., Lapa V. V., Minakov A. A., Sukhanov V. V., Chistov S. D.* Evaluation of condition and factors affecting activity effectiveness and visual performance of pilots who use night vision goggles during the helicopter flights. *Military Medical Journal*. 2014; 7: 39–43. Russian (*Александров А. С., Голосов С. Ю., Давыдов В. В., Лапа В. В., Минаков А. А., Суханов В. В., Чистов С. Д.* Оценка условий и факторов, влияющих на эффективность деятельности и зрительную работоспособность летчика в полетах на вертолете ночью с использованием очков ночного видения. *Военно-медицинский журнал*. 2014; 7: 39–43).
2. *Gornostaeva E. A.* Evaluation of the functional state of the visual sensory system of military cadets. Ph. D. thesis. Saratov; 2007. 23. Russian (*Горностаева Е. А.* Оценка функционального состояния зрительной сенсорной системы курсантов военного вуза. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов; 2007. 23).
3. *Danilichev S. N.* Visual acuity and contrast sensitivity: assessment of the adaptive reserves of the astronaut's visual system. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016; 50 (5): 215. Russian (*Даниличев С. Н.* Визоконтрастометрия в оценке адаптационных резервов зрительной системы космонавта. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2016; 50 (5): 215).
4. *Quant J. R.* The effect of sleep deprivation and sustained military operations on near visual performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 1992; 63 (3): 172–6.
5. *Bogomolov V. V., Pochuev V. I., Danilichev S. N., Man'ko O. M.* Risk factors for the development of the pathology of the visual system in long-term space flight. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016; 50 (5): 158. Russian (*Богомолов В. В., Почуев В. И., Даниличев С. Н., Манько О. М.* Факторы риска развития патологии зрительной системы в условиях длительного космического полета. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2016; 50 (5): 158).
6. *Halfina R. R., Akhadeev R. R.* Psychophysiological features of reaction of visual system at action tranzitornykh of extreme loadings. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013; 1: 328–30. Russian (*Халфина Р. Р., Ахадеев Р. Р.* Психофизиологические особенности реакции зрительной системы при действии транзиторных экстремальных нагрузок. *Современные проблемы науки и образования*. 2013; 1: 328–30).
7. *Neroev V. V., Ushakov I. B., Zueva M. B., Tsapenko I. V., Bubeev Yu. A., Man'ko O. M., Smoleevskiy A. E.* Functional changes in the visual system under the conditions of LED lighting. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016; 50 (5): 154–5. Russian (*Нероев В. В., Ушаков И. Б., Зуева М. В., Цапенко И. В., Бубеев Ю. А., Манько О. М., Смолеевский А. Е.* Функциональные изменения зрительной системы в условиях светодиодного освещения. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2016; 50 (5): 154–5).
8. *Smoleevskiy A. E., Man'ko O. M., Bubeev Yu. A.* The effect of LED lighting on visual analyzer functions and mental performance. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016; 50 (5): 210. Russian (*Смолеевский А. Е., Манько О. М., Бубеев Ю. А.* Влияние светодиодного освещения на функ-

ции зрительного анализатора и психическую работоспособность. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2016; 50 (5): 210.

9. *Tomilovskaya E. S.* Experiment with Five-Day Dry Immersion: Objectives, Content, Structure of the Investigations, and Specific Methods. *Human Physiology*. 2013; 39 (7): 756–61.
10. *Kornilova L. N., Naumov I. A., Glukhikh D. O., Khabarova E. V., Kozlovskaya I. B.* The effects of support-proprioceptive deprivation on visual-manual tracking and vestibular function. *Fiziologiya cheloveka*. 2013; 39 (5): 13–24. Russian (*Корнилова Л. Н., Наумов И. А., Глухих Д. О., Хабарова Е. В., Козловская И. Б.* Влияние опорно-проприоцептивной депривации на зрительно-мануальное слежение и вести-

булярную функцию. *Физиология человека*. 2013; 39 (5): 13–24).

11. *Karpinskaya V. Yu., Sosnina I. S., Lyakhovetskiy V. A., Zelenskiy K. A., Tomilovskaya E. S.* The influence of gravitational unloading on the sensorimotor evaluation of visual illusions. In: *Vserossiyskaya konferentsiya po kognitivnoy nauke: sb. nauchnykh trudov* (All-Russian conference on cognitive science: collection of scientific papers). Kazan'; 2017: 420–6. Russian (*Карпинская В. Ю., Соснина И. С., Ляховецкий В. А., Зеленский К. А., Томиловская Е. С.* Влияние гравитационной разгрузки на сенсомоторную оценку зрительных иллюзий. В сб.: *Всероссийская конференция по когнитивной науке: сб. научных трудов*. Казань; 2017: 420–6).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Светлана Викторовна — канд. психол. наук, старший научный сотрудник, отдел «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(916)3914869, e-mail: svetdm@mail.ru

Грачева Мария Александровна — канд. биол. наук, старший научный сотрудник, отдел «Психология, нейрофизиология и психофизиология деятельности операторов», ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, 123007, Россия, г. Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А, научный сотрудник, лаборатория 11 «Зрительные системы», ФГБУН «Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича» РАН, 127051, Россия, г. Москва, пер. Каретный Б., д. 19, стр. 1, конт. тел.: +7(906)7598598, e-mail: mg.iitp@gmail.com

Васильева Надежда Николаевна — докт. биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, лаборатория 11 «Зрительные системы», ФГБУН «Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича» РАН, 127051, Россия, г. Москва, пер. Каретный Б., д. 19, стр. 1, конт. тел.: +7(927)8416465, e-mail: nn_vasilyeva@mail.ru

Смолевский Александр Егорович — научный сотрудник, отдел «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

Манько Ольга Михайловна — докт. мед. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель научной группы «Физиология и психофизиология зрения экстремальных условий», отдел «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

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dmitriyeva Svetlana V. — Ph. D. (Psychological), senior researcher 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(916)3914869, e-mail: svetdm@mail.ru.

Gracheva Maria A. — Ph. D. (Biology), Senior researcher 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, Researcher of the “Vision Systems” laboratory, A. A. Kharkevich Institute of problems of information transfer of the Russian academy of sciences, 19-1, Karetnyi alleyway, Moscow, Russia, 127051, cont. phone: +7(906)7598598, e-mail: mg.iitp@gmail.com

Vasilyeva, Nadezhda N. — D. Sc. (Biology), Assistant professor, Leading researcher at the “Vision Systems” laboratory, A. A. Kharkevich Institute of problems of information transfer of the Russian academy of sciences, 19-1, Karetnyi alleyway, Moscow, Russia, 127051, cont. phone: +7(927)8416465, e-mail: nn_vasilyeva@mail.ru.

Smoleevsky Alexander E. — Researcher 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.

Man'ko Olga M. — M. D., D. Sc. (Medicine), Leading researcher, Leader of the scientific group “Physiology and psychophysiology of vision in extreme conditions” 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.