

УДК 629.7

СВЕТОИМПУЛЬСНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ В СИСТЕМЕ КОРРЕКЦИИ СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Чунтул А.В.¹, Козловский А.П.²

¹АО «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля»

²Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва

E-mail: creiscorp@yandex.ru

Статья посвящена проблеме сохранения зрительной работоспособности и предупреждения развития утомления в процессе ответственной профессиональной деятельности. Рассматривались возможности использования метода фотостимуляции мозговой активности в системе восстановления работоспособности авиационных специалистов. Проводилась стимуляция зрительного анализатора у специалистов авиационного профиля световыми импульсами красного, зеленого и синего цвета на частотах α -ритма головного мозга. Целью исследования явились оценка эффективности повышения зрительной работоспособности и улучшения общего психофизиологического состояния человека, а также определение продолжительности курса фотостимуляции органа зрения для получения значимого эффекта. Методика исследования заключалась в проведении сеансов электростимуляции продолжительностью 10 мин в течение нескольких дней. Оценка эффекта проводилась с использованием метода САН и альтернативной шкалы оценки состояния до и после сеанса. Показано улучшение психофизиологического состояния после курса воздействия на зрительный анализатор световых импульсов частотой 10–16 Гц синего, зеленого и красного цвета. Получены данные о кумуляции эффекта воздействия повторных сеансов фотостимуляции и значимом улучшении состояния всех участников исследования при продолжительности курса не менее 6 сеансов.

Ключевые слова: импульсная фотостимуляция, зрительный анализатор, утомление, психофизиология, α -ритм, самочувствие, активность, настроение.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 5. С. 47–52.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-5-47-52

Эффективность и надежность профессиональной деятельности во многом зависят от функционального состояния и работоспособности человека-оператора, особенно в экстремальных условиях [1]. При продолжительной или чрезмерной умственной либо физической работе развивается утомление, снижаются работоспособность и психофизиологическая надежность операторской деятельности. В результате создаются условия для неадекватной оценки

рабочей ситуации и совершения несвоевременных и ошибочных действий. В связи с этим разработка и внедрение методов и способов предупреждения развития утомления и снижения работоспособности с использованием простых и эффективных технологий в процессе работы или во время перерывов представляются актуальными [2]. Особую роль эти технологии играют в поддержании работоспособности лиц опасных профессий, в том числе авиационных специалистов, лиц группы управления беспилотными летательными аппаратами, летного состава и космонавтов при решении ими задач деятельности с повышенной нагрузкой на зрительный анализатор [3].

Светоимпульсная стимуляция (СИС) входит в систему методов, применяемых в практике терапевтического лечения и улучшения функционирования зрительного анализатора. К ним относятся инфракрасная лазерная терапия, вакуумный массаж, магнитотерапия, видеокомпьютерный аутотренинг и др. Однако по доступности, простоте и удобству использования, а также в целях профилактики не только зрительного, но и общего утомления наиболее перспективной представляется технология импульсной светостимуляции α -активности коры головного мозга [4].

Стимуляция заключается в поочередном воздействии на сетчатку глаз и активацию ее различных частей световыми сигналами зеленого, красного и синего цвета. Сигналы подаются в установленном ритме и в определенной последовательности с помощью специальных очков-аппаратов. Психофизиологическим механизмом воздействия является активация новых участков нейронных связей в головном мозге и улучшение работы зрительного анализатора [5]. Такое воздействие повышает амплитуду электроэнцефалографических сигналов в диапазоне 10–16 Гц, увеличивает площадь их распространения и улучшает характеристики зрения и зрительную работоспособность [6].

Эффекты светоимпульсной стимуляции взаимосвязаны и коррелируют с процессами оптимизации функционального состояния человека, и

в частности с повышением активности когнитивных функций, обеспечивающих информационную подготовку и принятие решений, в том числе человека-оператора в экстремальных условиях и ситуациях, а также с мозговыми проявлениями возникновения положительного психоэмоционального состояния человека [7]. В связи с воздействием импульсной стимуляции на психофизиологические механизмы активации мозговой активности имелись основания считать, что метод может использоваться не только для терапии и восстановительного лечения при нарушениях функции зрительного анализатора, но и для коррекции функционального состояния и повышения общей работоспособности при утомлении и чрезмерной умственной нагрузке.

Целью исследования явилось получение экспериментального доказательства положительного влияния светового импульсного стимулятора на психофизиологическое состояние человека.

При импульсной стимуляции применяются различные аппараты. В данном исследовании для светового импульсного фотостимулятора использовались очки-тренажеры «АСИСТ», запатентованные в качестве полезной модели А.П. Козловским в 2010 г. Спектр электромагнитных волн (ЭМВ) был в диапазоне 455–655 нм и включал импульсы красного, зеленого и синего цвета. При этом исключалась коротковолновая часть синего спектра (<455 нм), в которой интенсивно поглощаются небезопасные для сетчатки фотосенсибилизаторы. Фотостимуляция зрительного анализатора с помощью очков «АСИСТ» усиливала α -активность коры головного мозга, что выражалось в увеличении площади их распространения и повышении амплитуды электроэнцефалографических сигналов в диапазоне 10–16 Гц [8].

Методика

Исследование проводилось с участием летчиков-испытателей, эргономистов, авиационных врачей, инженерно-технических работников и других авиационных специалистов Московского вертолетного завода им. М.Л. Миля. В процессе работы они выполняли профессиональные обязанности, которые можно было отнести к деятельности авиационных специалистов, предполагающей различную степень умственного и физического напряжения, приводящего к возникновению ощущения усталости, утомлению и снижению работоспособности, особенно заметному в конце рабочего дня.

Особое внимание при формировании участников исследования уделялось учету противопоказаний к применению метода фотостимуляции. В качестве таких противопоказаний рассматривались лица с эпилепсией, новообразованиями в головном мозге или неустойчивой психикой. Наличие

противопоказаний для участия в исследовании при наличии других заболеваний и состояний здоровья определял офтальмолог. Проведение исследования с участием отобранных лиц было одобрено комиссией предприятия по этике с оформлением соответствующего протокола № 10 от 5 октября 2016 г.

Курсы фотостимуляции представляли собой индивидуальные схемы, корректируемые в соответствии с рекомендациями офтальмолога, результатами оценки состояния зрительного анализатора и ощущениями участников исследования в процессе стимуляции.

В исследовании участвовало 19 человек, с которыми в общей сложности проведено 105 сеансов фотостимуляции. Из рассмотрения материалов исследования исключили случаи, в которых его участники прошли курс фотостимуляции, состоящий из 1–3 сеансов. Такая продолжительность курса не обеспечивала получения достоверных оценок эффекта стимуляции в связи с периодом адаптации, как правило, характеризующегося разнонаправленными реакциями на светостимуляцию.

Участники исследований проходили курсы разной продолжительности. В течение рабочего дня проводилось не более 2 сеансов, каждый продолжительностью 10 мин. Циклы импульсов во время сеансов предъявлялись в диапазоне α -ритма с частотой от 10 до 16 Гц и были равной длительности. Воздействие проводилось поочередно на левый и правый глаз. Это обеспечивало своевременную регенерацию зрительного пурпура в клетках сетчатки в промежутках между воздействиями. Перед каждым сеансом стимуляции и непосредственно по его окончании проводился опрос по методике САН [9]. Для анализа результатов опроса использовали обобщенный показатель САН без разделения на компоненты. После каждого сеанса испытуемые оценивали его эффективность по альтернативной шкале (эффект есть – 1 балл, эффекта нет – 0 баллов) по следующим субъективным ощущениям: улучшение восприятия зрительной информации; ощущение отдыха, снижение напряженности, улучшение настроения, повышение остроты зрения и расширение полей зрения. Средние значения показателей оценки определялись по каждому участнику эксперимента, по всем участникам, по каждому сеансу и по всем сеансам фотостимуляции. Статистический анализ данных осуществляли с использованием программы IBM SPSS (версия 23). Для определения критериев статистической оценки на первом этапе анализировалось распределение изучаемых признаков с использованием параметрического теста и критерия Колмогорова – Смирнова (с поправкой Лиллиефорса). Решение о нормальности распределения принималось при уровне значимости $p > 0,05$. Правило о возможности использования параметрических методов оценки учитывалось только при

Таблица 1

Статистические показатели САН по результатам проведенного курса СИС

№ п/п	Обследованные	Кол-во сеансов	Средние величины обобщенного показателя САН		Динамика, %
			До сеанса стимуляции	После сеанса стимуляции	
1	Б.С.С.	9	4,38	4,16	-4,68
2	Б.В.А.	6	4,08	4,57	14,31
3	Г.Е.В.	6	5,92	6,18	5,93
4	З.Т.П.	5	5,50	6,50	19,23
5	К.А.М.	10	5,32	5,93	11,94
6	К.А.Д.	6	4,90	5,07	3,64
7	Л.А.В.	9	5,52	6,53	29,17
8	Л.Б.П.	4	5,38	6,03	14,54
9	Н.А.М.	6	5,55	5,78	4,46
10	Н.М.В.	5	5,84	5,86	0,38
11	Н.М.В.	6	5,12	5,12	0,36
12	П.И.А.	4	3,10	3,20	16,32
13	П.В.В.	15	5,61	5,94	7,11
14	Ч.А.В.	4	4,15	5,05	22
	Средние величины		5,03	5,42	10,34
	Медиана		5,35	5,82	9,53

Таблица 2

Результаты проверки нормальной формы распределения показателей САН

Этапы эксперимента	Тест Колмогорова – Смирнова*			Критерий Шапиро – Уилка		
	Показатель	N	Значимость, p	Показатель	N	Значимость, p
До стимуляции	0,213	14	0,086	0,876	14	0,051
После стимуляции	0,218	14	0,071	0,905	14	0,133

Примечание. * – коррекция значимости Лильефорса.

$p > 0,2$. Если нормальное распределение значений не подтверждалось (при $p < 0,2$) использовался непараметрический тест Уилкоксона.

Результаты и обсуждение

Анализ данных оценки состояния участников исследования показал, что после прохождения курса сеансов светоимпульсной стимуляции практически у всех авиационных специалистов (99,9 %) обобщенный показатель САН повысился (табл. 1).

Вместе с тем наблюдались существенные различия между величинами средних и медиан внутри выборки до и после сеанса фотостимуляции. Поэтому для выбора метода статистической оценки достоверности различий между показателями

САН до и после курса светоимпульсной стимуляции анализировался характер распределения данных с помощью теста Колмогорова – Смирнова с поправкой Лильефорса и с критерием Шапиро – Уилка (табл. 2).

Из представленных в табл. 2 значений показателей САН следует, что во всех случаях значимость (p) не превышает 0,2. Это означает, что полученные данные не подчиняются закону нормального распределения и для их анализа в этом случае необходимо использовать метод непараметрической статистики, в частности, тест Уилкоксона. Задачей теста являлось подтверждение или опровержение нулевой гипотезы об отсутствии различий между связанными выборками показателей САН до и после сеанса светоимпульсной стимуляции.

Сравнение показателей САИ до и после сеансов СИС в общей группе наблюдений с использованием теста Уилкоксона

Нулевая гипотеза	Критерий	Значение	Решение
Медиана разностей между показателями САИ до и после стимуляции равна нулю	Критерий знаковых рангов Уилкоксона для связанных выборок	0,004	Нулевая гипотеза отклоняется

В табл. 3 приведены результаты теста Уилкоксона, направленного на оценку полученных данных световой импульсной стимуляции в общей выборке.

Из представленных в табл. 3 данных сравнения показателей САИ до и после сеансов СИС с использованием теста Уилкоксона следует, что нулевая гипотеза об отсутствии статистически значимых различий в связанных показателях САИ до и после воздействия отклоняется. Это доказывает положительное влияние проведенных курсов на психофизиологическое состояние участников исследования по критерию, объединяющему их самочувствие, активность и настроение. Повышение средних значений обобщенного показателя САИ после всех сеансов фотостимуляции по всей выборке, как это показано в табл. 1, превысило 10 %.

Достоверно (с коэффициентом корреляции $R = 0,717$) установленная статистическая зависимость улучшения самочувствия в результате фотостимуляции от времени работы, а значит, и степени утомления участников исследования представлена на рис. 1.

Выявленная зависимость описывается уравнением линейной регрессии:

$$y = - 11,292 + 3,537 x,$$

где y – величина улучшения значений показателя САИ (в %); x – время проведения сеанса от начала работы (ч).

Наиболее заметно эффект улучшения состояния ощущался после 6-го часа работы. В случаях, когда фотостимуляция проводилась в конце рабочего дня или после его окончания, положительный эффект оценивался как еще более выраженный. Такая оценка эффекта сеансов фотостимуляции была обусловлена, прежде всего, развитием и нарастанием в процессе работы умственного и физического утомления и изменением психоэмоционального состояния к концу рабочего дня. На фоне исходного высокого уровня работоспособности в начале трудового дня эффект положительного воздействия фотостимуляции на функциональное состояние по показателям САИ значимо не ощущался. Но при развитии утомления, ухудшении самочувствия и ощущении усталости в конце рабочего дня положительное влияние фотостимуляции на восстановление функционального состояния отмечалось всеми участниками исследования.

Эффект фотостимуляции становился более заметным по мере увеличения количества проведенных сеансов. Обобщенные данные (по 9 участникам после 6 сеансов) зависимости улучшения значений показателя САИ от количества сеансов фотостимуляции представлены на рис. 2.

Заметным эффект фотостимуляции, по мнению участников исследования, становился после 5–6-го сеанса. В связи с этим можно говорить о кумуляции эффекта воздействия повторных сеансов фотостимуляции и значимом улучшении психофизиологического состояния при продолжительности курса не менее 6 сеансов.

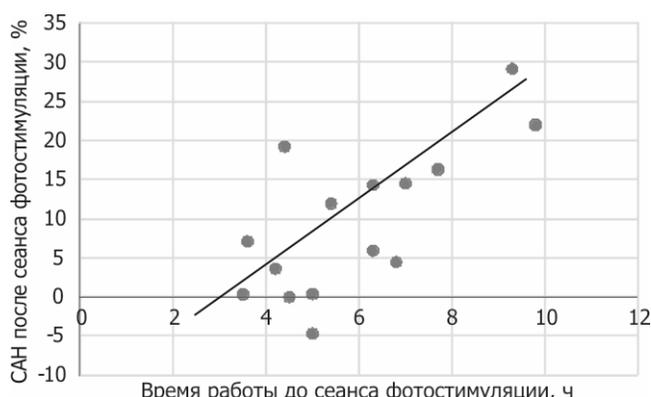


Рис. 1. Зависимость значений улучшения показателя САИ от времени проведения сеансов фотостимуляции от начала работы (в %)



Рис. 2. Изменение значений показателя САИ от продолжительности курса фотостимуляции (в %)

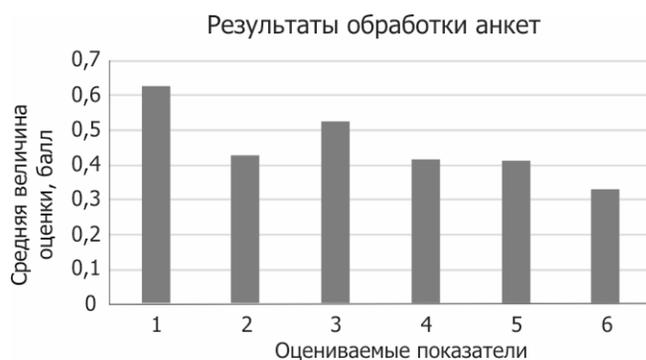


Рис. 3. Оценка эффективности фотостимуляции по отдельным характеристикам функционального состояния. Оцениваемые показатели: 1 – улучшение восприятия зрительной информации; 2 – ощущение отдыха; 3 – снижение эмоциональной напряженности; 4 – улучшение настроения; 5 – повышение остроты зрения; 6 – расширение полей зрения

Результаты исследования, полученные по методике САН, полностью согласовывались с данными анкетирования (рис. 3). Представленные на рис. 3 оценки участников исследования свидетельствуют о положительном влиянии фотостимуляции, прежде всего, на улучшение восприятия зрительной информации. В связи с тем что профессиональная деятельность авиационных специалистов, участвовавших в исследовании, была связана с восприятием показаний различных приборов и информации, отображаемой на цифровых и текстовых табло и электронных экранах, это способствовало повышению качества профессиональной деятельности. Данное обстоятельство с отмеченным выше снижением эмоциональной напряженности явилось дополнительным аргументом положительной оценки СИС и ее эффективности применения для поддержания и восстановления работоспособности при развитии утомления в процессе работы.

Таким образом, в результате исследования получены данные о положительном влиянии курса светоимпульсной стимуляции на психоэмоциональное состояние специалистов авиационного профиля в рабочее время. Учитывая полученные результаты, следует полагать, что метод импульсной фотостимуляции может использоваться для повышения работоспособности в условиях развития утомления не только авиационных специалистов, но и членов экипажей при продолжительных полетах.

Данные исследования согласуются с результатами ранее проведенных экспериментов, в которых отмечалось повышение не только зрительной работоспособности, но и общего психофизиологического состояния организма при активации α -ритма головного мозга в ответ на фотостимуляцию. Все это свидетельствует о практической целесообразности

использования метода СИС зрительного анализатора для улучшения психофизиологического состояния человека в интересах повышения работоспособности при выполнении профессиональной деятельности в условиях утомления и снижения ее психофизиологической надежности.

Проведенное исследование можно рассматривать в качестве апробации технологии использования фотостимуляции для поддержания работоспособности и психофизиологической надежности не только авиационных специалистов, но и лиц группы управления полетами в процессе продолжительных дежурств и членов экипажей при длительных полетах.

Выводы

1. Сеансы стимуляции зрительного анализатора световыми импульсами синего, зеленого и красного цвета с частотой 10–16 Гц в диапазоне электромагнитных волн длиной 455–655 нм оказывают положительное влияние на психофизиологическое состояние человека, о чем свидетельствуют показатели САН и результаты анкетирования участников экспериментального исследования.

2. Положительный эффект светоимпульсной стимуляции зрительного анализатора в использованном диапазоне частот и длин электромагнитных волн проявляется в большей степени при выраженном утомлении в процессе операторской деятельности авиационных специалистов.

3. В результате исследования влияния СИС на функциональное и эмоциональное состояния авиационных специалистов получены данные о кумуляции эффекта воздействия повторных сеансов фотостимуляции и значимом улучшении психофизиологического состояния всех участников исследования при продолжительности курса не менее 6 сеансов.

Авторы благодарят участников экспериментов и А.А. Меденкова за рекомендации по улучшению представления материалов экспериментального исследования для более полного раскрытия его содержания и перспектив использования полученных результатов.

Список литературы

1. Наумов И.А., Корнилова Л.Н., Глухих Д.О. и др. Влияние повторных космических полетов на зрительное слежение // *Авиакосм. и экол. мед.* 2016. Т. 50. № 1. С. 17–27.

Naumov I.A., Kornilova L.N., Glukhikh D.O. et al. Influence of repetitive spaceflight on visual tracking // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2016. V. 50. № 1. P. 17–27.

2. Макаров И.А., Воронков Ю.И. Влияние физических нагрузок в положении лежа на внутриглазное давление // Там же. 2017. Т. 51. № 2. С. 47–51.

Makarov I.A., Voronkov Yu.I. Effect of physical loads on human lying on intraocular pressure // Ibid. 2017. V. 51. № 2. P. 47–51.

3. Коваленко П.А., Пономаренко В.А., Чунтул А.В. Учение об иллюзиях полета: Основы авиационной делиологии. М., 2007.

Kovalenko P.A., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V. Study about illusions of flight: Basis of aviation deliology. Moscow, 2007.

4. Козловский А.П., Кузнецова Н.В. Перспектива применения фотостимуляции зрительного анализатора в спортивной медицине // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. № 8. С. 197–201.

Kozlovsky A.P., Kuznetsova N.V. Vista of photo stimulation application of visual analyzer in sports medicine // Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny. 2011. № 8. P. 197–201.

5. Осипова М.А., Арьков В.В., Тоневицкий А.Г. Модуляция альфа-ритма и вегетативного статуса человека с использованием цветовой фотостимуляции // Там же. 2010. № 6 (149). С. 699–703.

Osipova M.A., Ar'kov V.V., Tonevitsky A.G. Modulation of alpha rhythm and human vegetative status under using color photo stimulation // Ibid. 2010. № 6 (149). P. 699–703.

6. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Международный неврологический журнал. 2011. № 8 (46). С. 210–260.

Bazanova O.M. Modern interpretation of EEG alpha activity // Mezhdunarodny neurologicheskiy zhurnal. 2011. № 8 (46). P. 210–260.

7. Klimesch W. EEG alfa and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analyzes // Brain Res. Rev. 1999. V. 29. P. 169–195.

8. Козловский А.П., Арьков В.В., Кузнецова Н.В. и др. Фотостимуляция в спортивной медицине // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2011. № 10 (94). С. 16–21.

Kozlovsky A.P., Ar'kov V.V., Kuznetsova N.V. et al. Photostimulation in sports medicine // Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina. 2011. № 10 (94). P. 16–21.

9. Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Мирошников М.П., Шарай В.Б. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния // Вопросы психологии. 1973. № 6. С. 141–145.

Doskin V.A., Lavrent'eva N.A., Miroshnikov M.P., Sharai V.B. Test of differentiated self-evaluation of functional status // Voprosy psikhologii. 1973. № 6. P. 141–145.

Поступила 02.04.2018

PULSING LIGHT STIMULATION IN STATE CORRECTION OF AVIATION PERSONNEL

Chuntul A.V., Kozlovsky A.P.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 5. P. 47–52

The paper contemplates the topic of visual function support and fatigue prevention during responsible professional activities. Integration of brain photostimulation in the system of aviation personnel rehabilitation has been suggested following the investigation of visual analyzer stimulation by pulses of red, green and blue light in the α -rhythm range as a way to improve vision and general psychophysiological condition, and also to determine length of the photostimulation course for a reliable effect. Stimulation sessions in the investigation were 10 min and repeated several days. Their effectiveness was evaluated using the SAN questionnaire and an alternative psychophysiological scale before and after session. It was found that the course of visual analyzer stimulation by blue, green and red pulses at 10–16 Hz was favorable to the psychophysiological state of subjects. Repeated sessions had a cumulative effect and significant improvements were observed in all the subjects who had visited no less than 6 sessions.

Key words: pulsing photostimulation, visual analyzer, fatigue, psychophysiology, α -rhythm, general state, activity, mood.