

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Осиков М.В.<sup>2</sup>, Гизингер О.А.<sup>1</sup>, Телешева Л.Ф.<sup>2</sup>, Долгушин И.И.<sup>1</sup>, Огнева О.И.<sup>2</sup>, Федосов А.А.<sup>3</sup>, Кудряшов А.В.<sup>4</sup>, Вахитов М.Г.<sup>4</sup>, Калинина А.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт иммунологии,

<sup>2</sup>Научно-образовательный центр «Проблемы фундаментальной медицины»,

<sup>3</sup>ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России (454092, Челябинск, ул. Воровского, 64), e-mail: [kanc@chelsma.ru](mailto:kanc@chelsma.ru), [prof.osikov@yandex.ru](mailto:prof.osikov@yandex.ru),

<sup>4</sup>ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) (454080, Челябинск, пр. Ленина, 76), e-mail: [admin@susu.ac.ru](mailto:admin@susu.ac.ru)

Объектом исследования были выбраны светодиодные источники света и их воздействие на состояние зрительного анализатора, функциональное состояние нервной системы и здоровье человека в целом. Цель работы – провести исследования в области биобезопасности светодиодных источников света и оценить влияние светодиодного освещения на состояние аккомодационно-мышечного аппарата органа зрения, состояние хрусталика, способность сетчатки к восприятию яркостей, разработать комплексную схему рационального использования светодиодных источников освещения при проектировании светового среды обитания человека. Для достижения поставленной цели был проведён аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы по проблеме выбора оптимальных методов исследования зрительного анализатора. Были изучены офтальмологические показатели, контрастная чувствительность, пропускная способность зрительного анализатора волонтеров-добровольцев, принимавших участие в эксперименте, проведён корреляционный анализ между экспертной и объективной оценками состояния органа зрения и организма в целом. Проведено комплексное офтальмологическое и нейро-физиологическое исследование с дальнейшей качественной и количественной оценкой влияния светодиодных источников на функциональное состояние нервной системы. В результате исследования выявлено, что функциональное состояние зрения обследуемых при тождественной зрительной нагрузке на фоне светодиодного освещения отличалось повышенной стабильностью, по сравнению с референсными условиями освещения. Анализ результатов исследования показал, что спланированная с учётом физиологических особенностей человека система освещения с использованием светодиодных источников излучения, не приводит к выраженным нарушениям физиологических процессов нервной системы и в работе зрительного анализатора. Результаты исследования могут быть использованы при формировании нормативных документов и нормирования уровней освещенности для работ малой, средней, высокой точности с учетом требований к светодиодам, применимым для общего и местного освещения, требований к яркости и цветовой температуре.

Ключевые слова: свет, светодиодные источники, люминесцентные лампы, психофизиологический статус, адаптация.

## STUDY OF LED LIGHT SOURCE EFFECTIVENESS AND HEALTH SAFETY

Osikov M.V.<sup>2</sup>, Gizinger O.A.<sup>1</sup>, Telesheva L.F.<sup>2</sup>, Dolgushin I.I.<sup>1</sup>, Ogneva O.I.<sup>2</sup>, Fedosov A.A.<sup>3</sup>, Kudryashov A.V.<sup>4</sup>, Vakhitov M.G.<sup>4</sup>, Kalinina A.S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Immunology,

<sup>2</sup>Research and Education Center of Basic Medicine Issues,

<sup>3</sup>State Funded Educational Institution of Higher Professional Education "South Ural State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation (454092, Chelyabinsk, Vorovskogo str., 64), e-mail: [kanc@chelsma.ru](mailto:kanc@chelsma.ru), [prof.osikov@yandex.ru](mailto:prof.osikov@yandex.ru),

<sup>4</sup>Federal State Funded Educational Institution of Higher Professional Education "South Ural State University" (National Research University), Department of Life Safety, Department of Control Instrumentation

The study investigates LED light sources and their influence on the visual analyzer, nervous system and human health in general. The objectives are to conduct research on LED biosafety and assess the LED lighting influence on the optical system accommodation, the lens state, the brightness perception of retina, to develop a scheme of LED rational use for light-color design of human environment. To achieve this goal up-to-date scientific, technical, regulatory, methodological literature on the choice of the suitable study methods of the visual analyzer was reviewed, the volunteers' visual acuity was checked, the contrast sensitivity, the capacity of the visual analyzer were examined, correlation analysis of the expert and objective assessments of the vision system and the body in general was performed. Integrated ophthalmologic and neurophysiological studies with qualitative and

quantitative assessment of the LED influence on the nervous system were performed. Ophthalmic, psychophysiological, electrophysiological and statistical methods were used. The study revealed an increased stability of subjects' functional state, irrespective of sex, with an identical visual load in LED lighting environment compared with reference light conditions. The study showed LED lighting within optical radiation range designed according to human physiology not to result in nervous system and visual analyzer impairment. The findings can be used for working out regulations and illumination rate setting for low, medium, high-accuracy operation taking into account LED requirements for general and local lighting and requirements for illuminance and color temperature.

Keywords: light, LED light sources, fluorescent lamps, psychophysiological status, adaptation.

Свет, генерируемый искусственными источниками оптического диапазона длин волн, является непосредственным и адекватным раздражителем органа зрения, поэтому проведение фундаментальных исследований влияния искусственного света на состояние зрительного анализатора с учётом факторов гигиенического нормирования имеет первостепенное значение для поддержания его оптимального состояния и, следовательно, для профилактики зрительных расстройств [1]. Медико-биологическая и гигиеническая оценка при осуществлении гигиенического нормирования должна быть направлена на определение безвредности, а не степени вредности того или иного фактора внешней среды. Вышеперечисленные обстоятельства делают приоритетным выбор тех искусственных источников, влияние которых на состояние зрительного анализатора и организм человека в целом не отличается или близко к естественному освещению, поскольку именно природный видимый свет, воздействуя на зрительный анализатор человека, вызывает специфическое зрительное ощущение, позволяющее визуально воспринимать окружающие предметы и происходящие в этом окружении явления, является главным регулятором, своеобразным информационным пусковым механизмом биологических ритмов многочисленных физиологических функций [6]. С видимым светом связано биологическое и социальное развитие человека как биологического вида. Анализ последних исследований и публикаций выявил необходимость эффективной оценки искусственной цветоцветовой среды, что обуславливает проведение большого объема научных исследований по выявлению параметров цветоцветовой среды, влияющих на организм человека [9]. Условно эти исследования можно разделить по трем направлениям: зрительное, биологическое и психофизиологическое воздействие. Следует отметить недостаточность и крайнюю противоречивость информации относительно современных и перспективных источников света [2]. Для определения этих характеристик необходимо использовать комплексные методы, определяющие устойчивость ясного видения, устойчивость зрения по временному порогу адиспаропии, видимость, контрастную и цветовую чувствительности [6]. При нормировании освещения пользуются функцией световой эффективности для дневного зрения, а также функцией световой эффективности для сумеречного зрения, разработанные для стандартного наблюдателя [7]. Корректировки для визуального восприятия среды вносят

исходя из параметров конкретной моделируемой ситуации [3,8]. В последнее тридцатилетие исследователи получают все больше доказательств того, что свет, попадающий в глаз человека, относительно независимо от зрения и зрительных рефлексов может являться также биологическим и поведенческим стимулом для человека [5]. Эти исследования основаны на методах определения латентного периода зрительно-моторной реакции, критической частоты слияния мелькания, ритмов мозговой активности [4]. Попытки формирования эффективного комплексного воздействия световой среды уже предпринимались в 60-70-х годах прошлого века, однако решение данной задачи было затруднено недостаточностью знаний о психофизиологическом и биологическом аспектах воздействия света и ограниченным набором функций и технических средств систем автоматического управления освещения, невозможностью реализовать требуемые параметры источника света. Профессором В. Ван Бельдом высказана идея о необходимости разработки новых критериев освещения с учетом влияния динамики физиологических параметров на нормирование световой среды. Такой комплексный подход позволит значительно повысить производительность труда, улучшить эмоциональное состояние работников, чьи рабочие места лишены естественного света, что подтверждено экспериментами [4]. Кроме того, большинство ученых, занимающихся этой проблемой, единогласно заявляют о необходимости проведения дальнейших исследований, для более глубокого понимания этого вопроса, перед внедрением результатов в практику [8]. Развитие модели функционирования зрения в условиях светодиодного освещения позволит более глубоко рассмотреть функции не только зрительных, но и психофизиологических, биологических процессов действия света на организм и скорректировать производственные мощности и нормативные документы с учётом полученных результатов. Вышеперечисленные обстоятельства обусловили **цель работы** – провести исследования в области биобезопасности светодиодных источников света и оценить влияние светодиодного освещения на состояние аккомодационно-мышечного аппарата органа зрения, состояние хрусталика, способность сетчатки к восприятию яркостей, разработать комплексную схему рационального использования светодиодных источников при проектировании светоцветовой среды обитания человека.

**Материалы и методы исследования.** В соответствии с поставленной целью на базе НИИ иммунологии, научно-образовательного центра «Проблемы фундаментальной медицины» ГБОУ ВПО ЮУГМУ Минздрава России проведена оценка влияния искусственного освещения с использованием светодиодов и люминесцентных разрядных источников света на психофизиологический статус и функциональное состояние зрительного анализатора у 60 добровольцев в возрасте от 20 до 25 лет с нормальным зрением или с его очковой коррекцией. План исследования соответствовал положениям Хельсинской

декларации Всемирной медицинской ассоциации (ВМА) последнего пересмотра (Сеул, 2008) с учетом разъясняющего примечания к параграфу 29, внесенного Генеральной Ассамблеей ВМА (Вашингтон, 2002), и был одобрен этическим комитетом ГБОУ ВПО ЮУГМУ Минздрава России. От всех участников исследования было получено письменное информированное согласие в соответствии с основами законодательства РФ «Об охране здоровья граждан, правил проведения клинической практики в РФ» (приказ МЗ РФ № 266 от 19.07.03 г.; приказ Росздравнадзора № 2325-Пр/06 от 17.10.06 г.). Все участники были случайным образом разделены на 2 группы: контрольную (n=30), находящуюся под влиянием люминесцентного освещения, и опытную (n=30) – светодиодное освещение. Всем добровольцам, вошедшим в обследование, было проведено комплексное офтальмологическое обследование: проверка остроты зрения ( $\text{vis}$ ) с использованием таблиц Сивцева – Головина, бесконтактная тонометрия (Тn) в автоматическом режиме, проведённая троекратно с выбором среднего значения на тонометре «Торсон СТ-80» (Япония). Определение контрастной чувствительности, быстроты различения объекта, пропускной способности зрительного анализатора было проведено с помощью компьютерного аппаратно-программного комплекса и рутинных методов исследования. В программе аппаратно-программного комплекса «ZEBRA» для IBM совместимого компьютера с монитором SVGA (ООО «Астроинформ») в стандартных условиях. Расстояние от экрана 2 м, размер изображения 18 см, поле стимуляции 5 градусов, реализованы традиционные для офтальмологии тесты определения характера зрения. Контрастная чувствительность и пропускная способность зрительного анализатора (бит/с) была оценена компьютерным методом экспресс-диагностики с помощью таблиц контрастных опто типов. Быстрота различения объекта (скорость зрительного восприятия) определялась наименьшим временем, необходимым для выполнения процессов зрительного контроля. Состояние хрусталика и сетчатки выполнено методом электроретинограммы (ЭРГ), представляющей собой графическое отображение изменений биоэлектрической активности клеточных элементов сетчатки в ответ на световое раздражение.

Экспериментальная осветительная установка представляет собой устройство с габаритными размерами 1200x600x100 мм, включающее 120 светодиодных излучателей с цветовой температурой 4000К-4500К, а также 5 источников тока ИТСК-9008.02.00.P5M для питания светодиодных излучателей с защитой последних от перегрева и с интегрированным приемным устройством «ФОРА-СПИ» (ООО «РАСТОН», Москва). Для управления режимами работы светодиодных излучателей использовалась система передачи информации «ФОРА» (ООО «РАСТОН», Москва), формирующая информационные сообщения методом фазовой манипуляции начальных углов полупериодов питающего напряжения. Контрольное

и экспериментальное помещения (соответственно люминесцентное освещение и светодиоды) оборудованы рабочими местами для размещения добровольцев, выполняющих зрительную работу с умственной компонентой. Условия освещения помещений соответствовали требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: освещенность 400 лк, показатель дискомфорта менее 15 отн. ед., коэффициент пульсаций светового потока менее 10 %, коррелированная цветовая температура 3500К – 4500К.

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакетов прикладных программ «StatisticaforWindows 6.0» и «SPSS for Windows 13.0». Для анализа нормальности распределения данных применяли критерий Шапиро – Уилка. Проведённый статистический анализ показал, что большинство выборок имеют распределение, отличное от нормального, поэтому проверку статистических гипотез в группах проводили с использованием непараметрических критериев Манна – Уитни, Краскела – Уоллиса. При построении графиков исследуемых показателей проводили операцию сглаживания с помощью программы «Mathcad 2000». Отличия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ .

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В процессе проведения эксперимента было установлено, что показатели остроты зрения и объёма аккомодации за время проведения эксперимента (1 и 5 день эксперимента) не изменились как между собой, так и по отношению к референсным значениям: острота зрения на момент окончания 1-го дня исследований составила  $Vis_{OI}=1,0$ . На заключительный день исследования составила  $Vis_{OI}=1,0$ . Объём аккомодации составил  $9,7 \pm 0,02$  дптр в начале исследования и  $9,6 \pm 0,04$  дптр в конце исследования. Внутриглазное давление, измеренное методом бесконтактной тонометрии ( $T_n$ ), до начала исследования  $17,35 \pm 1,1$  мм рт. ст. и после его завершения  $17,67 \pm 1,1$  мм рт. ст. Анализ показателей измерения внутриглазного давления не выявил достоверно значимых изменений ( $p < 0,05$ ) с референсными значениями  $17,4 \pm 2,7$  мм рт.ст. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии установленной разницы между величинами внутриглазного давления у добровольцев, находящихся в экспериментальных условиях воздействия светодиодного освещения и естественного освещения. Коэффициент утомления (КУ) в исследуемой выборке  $0,17 \pm 0,05$  %.

Результаты проведённых исследований показали повышение абсолютного объёма аккомодации и положительной части относительного объёма аккомодации («резервная часть») при работе под светодиодным источником света в первый день, что может свидетельствовать о более комфортной работе зрительного анализатора и меньшем его напряжении. При дальнейшем исследовании отмечено постепенное достоверное снижение

положительной части относительного объема аккомодации в сравнении с первым днем исследований, однако полученные данные достоверно не отличались от контрольной группы до начала испытаний.

Динамическое наблюдение над испытуемыми показало, что независимо от характера освещения объем аккомодации (ОА) у испытуемых не изменился. Коэффициент утомления цилиарной мышцы (КУ) после проведенных экспериментов в оба периода исследований был отрицательным, что свидетельствует об адекватности световой среды, объема и характера зрительной нагрузки аккомодационной способности зрительного анализатора как на фоне традиционного (референсного), так и на фоне светодиодного освещения. Динамика показателей аккомодационного аппарата зрительного анализатора испытуемых, находящихся в условиях светодиодного освещения, представлена в таблице 3.

Таблица 3. Динамика показателей аккомодационного аппарата зрительного анализатора испытуемых, находящихся в условиях действия света разных источников освещения

Показатели аккомодации	Референсные значения (ЕО) (Кучма В.Р., Текшева Л.М.,2013)		Светодиодное освещение (СДО) (n=15)		Люминесцентное освещение (ЛО) (n=15)		Освещение лампами накаливания (ЛН) (n=15)	
	1й день	5й день	1й день	5й день	1й день	5й день	1й день	5й день
Ближайшая точка ясного видения, дптр	10,61 ±0,24	12,80 ±0,24 **	10,70±0,44*	11,50±0,36 **	10,65±0,4	12,4±0,28 **	10,6±0,24	12,6±0,24 **
Объем аккомодации, дптр	9,47±0,02	10,16±0,12	9,70±0,22	9,63±0,04	9,6±0,34 *	9,86±0,24#	9,5±0,10	9,8±0,26
Коэффициент утомления (КУ) цилиарной мышцы, %	10,2±3,8	10,7 ±4,8	7,99±4,39*	7,40±4,37 *	8,2±0,24 *	8,34±0,36	10,0±0,34	10,6±0,44
Примечание:* различия достоверны при p<0.05 по отношению к референсным значениям, ** – различия достоверны при p<0.05 по отношению к 1-му дню испытаний.								

Определение пространственно-контрастной чувствительности проведено с использованием компьютерной программы «ZEBRA» (разработчик Шамшинова А. М., Москва). Исследование начинали с низкой частоты (0,5 цикл/градус) и высоким уровнем контраста. На каждой из исследуемых частот контрастность изображения постепенно снижали до того момента, когда испытуемый переставал различать полосы на экране.

Значение пороговой контрастной чувствительности на данной пространственной частоте «запоминалось» компьютером, а на экране появлялась решетка с более высокой пространственной частотой. По результатам исследования строилась кривая пороговой частотно-контрастной характеристики для всех предъявляемых решеток и кривая сохранности зрительных функций. Уровень контрастной чувствительности определялся в децибелах. Время измерения контрастной чувствительности во многом зависело от реакции пациентов. Для получения дополнительной информации о контрастной чувствительности и чувствительности к ослеплению, а также о времени реадaptации при «засвете» проводили исследования на контрастомере ВА-4, фирмы «VKG MedizinTechnikBayereuth» (Германия). Предъявляемым оптоотипом в данном приборе является кольцо Ландольта, контрастность которого с окружающим фоном постепенно увеличивается, степень контрастности, при которой пациент определяет разрыв в кольце Ландольта, соответствует его индивидуальному порогу контрастной чувствительности. Степень контраста в приборе выражается в процентах (от 0 до 500). До 100 % контраста – варианты нормальной контрастной чувствительности, более 100 % – это область повышенной контрастности с усиленной окружающей яркостью, когда прибор работает в расширенном достижимом диапазоне, что даёт возможность исследования контрастной чувствительности с различной глазной патологией. Тест на контрастную чувствительность проводится без ослепления и с ослеплением, когда рядом с объектом постоянно горит источник света. Тест на скорость восстановления (время реадaptации) проводится после засвета в течение 5 секунд. В результате исследования добровольцев, находившихся в условиях искусственного освещения светодиодными лампами, не зарегистрировано достоверное изменение показателей контрастной чувствительности на низких частотах, на средних и на высоких частотах. Данные исследований пространственной контрастной чувствительности, проведённые с помощью компьютерной программы «ZEBRA» с очковой и контактной коррекцией, приведены в таблице 4.

Исследование пропускной способности зрительного анализатора показало отсутствие значимых изменений данного показателя за период динамического наблюдения. До начала исследования величина пропускной способности зрительного анализатора составила  $2,2 \pm 0,2$  бит/с, на 5 день эксперимента данный показатель увеличился на 10 %.

Таблица 4. Динамика пространственной контрастной чувствительности, проведённой с помощью компьютерной программы «ZEBRA» с очковой и контактной коррекцией, в условиях действия света разных источников освещения

Частоты	Референсные значения (ЕО)	Освещение светодиодами (СДО)	Люминесцентные лампы (ЛЛ)	Лампы накаливания (ЛН)
---------	---------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------

низкие	33,6±6,3	32,6±4,33	33,4±5,24	33,67±4,26
средние	37,0±6,7	38,10±5,17	38,3±6,24	37,6±5,40
высокие	27,0±5,4	27,90±5,24	27,8±5,22	27,2±5,24
Примечание: различия недостоверны при $p > 0,05$ по отношению к референсным значениям				

Результаты исследования пропускной способности зрительного анализатора представлены в таблице 5.

Таблица 5. Динамика показателей пропускной способности зрительного анализатора в условиях действия света разных источников освещения

Время воздействия	Референсные значения (ЕО)	Освещение светодиодами (СДО)	Люминесцентные лампы (ЛЛ)	Лампы накаливания (ЛН)
первый день исследований	2,4±0,3 бит/с	2,2±0,12 бит/с	2,46±0,12 бит/с	2,42±0,20 бит/с
пятый день исследования	2,39±0,25 бит/с	2,11±0,15 бит/с	2,42±0,22 бит/с	2,40±0,16 бит/с
Примечание: различия недостоверны при $p > 0,05$ по отношению к референсным значениям				

Состояние хрусталика и сетчатки было исследовано с помощью биомикроскопии на щелевой лампе. Биомикроскопия – это прижизненная микроскопия тканей глаза, метод, позволяющий исследовать передний и задний отделы глазного яблока. Исследование было проведено с помощью щелевой лампы, что позволило уточнить состояние различных зон хрусталика (передний и задний полюсы, коркового вещества, ядра), нарушение прозрачности хрусталика, локализацию патологических изменений хрусталика и стекловидного тела. Результаты исследования не выявили изменений кровеносных сосудов в сетчатке на момент проведения контрольных исследований.

Для исследования состояния сетчатки и хрусталика был использован метод электроретинографии (ЭРГ), представляющий собой графическое отображение изменений биоэлектрической активности клеточных элементов сетчатки в ответ на световое раздражение. В ходе проведения исследования ЭРГ регистрировалась в условиях световой адаптации (фототопическая ЭРГ) и темновой адаптации (скототопическая ЭРГ). При скототопической ЭРГ был зарегистрирован смешанный палочковый и колбочковый ответ на белую вспышку высокой яркости по динамике показателей: а-волна – первое негативное отклонение от изолинии, источником которого служат фоторецепторы, б-волна – положительное отклонение, которое генерируется клетками Мюллера и отражает биоэлектрическую активность биполярных клеток. Референсные значения ЭРГ составили для а-волны:  $-43,8 \pm 15,2$  мкВ, для б-волны:  $162,8 \pm 28,2$  мкВ. У обследуемых в 1 день воздействия искусственного света, генерируемого светодиодами а-волна составила  $-49,2 \pm 13,2$  мкВ, б-волна  $166,8 \pm 25,2$  мкВ. У обследуемых в 5 день воздействия искусственного



света, генерируемого светодиодами а-волна  $-49,2 \pm 13,9$  мкВ, в-волна:  $165,8 \pm 25,9$  мкВ. При проведении фототопической ЭРГ в первый день исследования в-волна составила  $78,5 \pm 10,5$  мкВ, при референсных значениях в-волны  $86,2 \pm 8,4$  мкВ. При проведении исследований на 5 день референсные значения в-волны в фототопической ЭРГ составили  $149,5 \pm 25,3$  мкВ, после воздействия светодиодов  $168,1 \pm 28,1$  мкВ. Таким образом, по результатам фототопической и скототопической ЭРГ достоверных различий (критерий Манна – Уитни,  $p > 0,05$ ) между референсными и полученными в результате исследований показателями выявлено не было.

Наиболее демонстративными показателями, характеризующими функциональное состояние органа зрения в условиях естественного и различных вариантов искусственного освещения, при выполнении работы, требующей напряжения зрительного анализатора (чтение с бумажных и электронных носителей, письмо на бумаге, набор текста на клавиатуре компьютера и др.) являются возможности аккомодации и напряжение цилиарной мышцы. Нами при оценке воздействия светодиодного освещения на функциональное состояние органа зрения были исследованы объем аккомодации и последующий расчёт коэффициента утомления (КУ) цилиарной мышцы. Результаты динамических наблюдений от 1 к 5 суткам показали, что независимо от характера освещения объем аккомодации (ОА) у испытуемых не изменился. В частности, в конце первого дня работы под светодиодным освещением комфортную работу зрительного анализатора и меньшее его напряжение, о чем свидетельствуют повышение абсолютного объема аккомодации и положительной части относительного объема аккомодации («резервная часть»). К 5 суткам наблюдения отмечено постепенное снижение положительной части относительного объема аккомодации в сравнении с первым днем исследований, однако полученные данные достоверно не отличались от значений до начала испытаний. Коэффициент утомляемости цилиарной мышцы (КУ) после проведенных экспериментов в оба периода исследований был отрицательным, что свидетельствует об адекватности световой среды, объема и характера зрительной нагрузки аккомодационной способности зрительного анализатора как на фоне традиционного (референсного), так и на фоне светодиодного освещения. Для ответа на вопрос о соответствии полученных экспертных оценок состояния зрительного анализатора собственным оценкам испытуемых о комфортности нахождения и возможности выполнения функциональной нагрузки с участием зрительного анализатора в условиях светодиодного освещения (самооценка, объективная оценка) был использован корреляционный анализ. В качестве объективной оценки испытуемые должны были дать ответ о динамике ощущений цветоцветового восприятия и комфорта при выполнении функциональной нагрузки с участием зрительного анализатора, в случае положительной динамики ответу присваивалась

категория «1», в случае отрицательной – категория «0». Для оценки статистической значимости и характере связи между экспертными и объективными оценками состояния зрительного анализатора использована ранговая корреляция по Кэндаллу, именно этот метод рекомендуется использовать для оценки взаимосвязи количественного и порядкового признаков в медико-биологических исследованиях. Из 15 волонтеров, участвующих в исследовании под действием света светодиодных источников освещения, 13 отметили, что после работы в условиях светодиодного освещения их восприятие предметов, текста на бумаге и электронных носителях не ухудшилось, их ответу присвоена категория «1». 2 человека отметили незначительное ухудшение свето- и цветовосприятия в конце проведенного исследования, их ответам присвоена категория «0». Результаты корреляционного анализа между экспертными и объективными оценками состояния зрительного анализатора представлены в таблице 6. Представленные данные свидетельствуют о статистической значимости связей между экспертными и объективными оценками состояния зрительного анализатора в условиях светодиодного освещения, значения коэффициентов корреляции соответствуют средней силе связи.

Таблица 6. Результаты корреляционного анализа между экспертными и объективными оценками состояния зрительного анализатора в условиях светодиодного освещения

Показатели	Коэффициент корреляции Кэндалла	Значимость связи
Объем аккомодации, дптр	0,53	$p < 0,05$
Коэффициент утомления цилиарной мышцы, %	0,66	$p < 0,05$

Таким образом, установлен достаточный уровень взаимосвязи между оценками экспертов с использованием инструментальных методов исследования и самооценками состояния зрительного анализатора в условиях светодиодного освещения волонтеров. Однако следует учитывать, что наличие корреляции любой силы между двумя признаками не может интерпретироваться как доказательство причинно-следственной связи этих признаков. Наличие значимой корреляции свидетельствует о влиянии одного признака на другой как в прямом, так и в обратном направлении, а также может свидетельствовать о влиянии на эти признаки третьего фактора. В связи с данным фактом, а также результатами корреляционного анализа полагаем, что при оценке влияния светодиодного освещения на состояние зрительного анализатора должны учитываться как данные лабораторно-инструментальных исследования экспертов, так и самооценка испытуемых. Физиологическая динамика состояния нервной системы при использовании светодиодного

освещения показала, что взаимодействие утомления и улучшения работоспособности нервной системы отражают показатели лабильности зрительного анализатора, силы нервных процессов и погрешности переключения внимания.

При обосновании нормируемых уровней освещённости для зрительных работ разной точности выявлено некоторое повышение абсолютного объема аккомодации и положительной части относительного объема аккомодации («резервная часть») при работе под светодиодным источником света с уровнем освещенности от 300 лк до 1000 лк при выполнении работы высокой точности, относительно уровней освещенности от 200 лк до 100 лк, что указывает на более комфортную работу аккомодационно-мышечного аппарата и меньшем напряжении зрительного анализатора при данных уровнях освещенности. При уровнях освещенности от 100 лк до 200 лк с выполнением работы высокой точности и 100 лк с выполнением работы средней точности отмечается достоверное снижение положительной части относительного объема аккомодации в сравнении с остальными уровнями освещенности, что может свидетельствовать о процессе избыточного напряжения аккомодационно-мышечного аппарата зрительного анализатора и уменьшения его резервных возможностей. Значения коэффициента утомления цилиарной мышцы (КУ) после проведенных экспериментов при уровнях освещенности от 100 лк до 200 лк были повышены по сравнению с остальными уровнями освещенности, при выполнении работы высокой точности, что указывает на усиленную работу цилиарной мышцы глаза в данных условиях. В условиях выполнения работ средней точности значения КУ повышены в условиях освещения 100 лк. При уровнях освещенности от 300 лк до 1000 лк его значения снижены, что указывает на отсутствие перенапряжения цилиарной мышцы глаза и свидетельствует об адекватности световой среды, объема и характера зрительной нагрузки аккомодационной способности зрительного анализатора при выполнении работ в данных условиях. Из полученных результатов выполнения работ малой точности видно, что значения абсолютного объема аккомодации несколько снижены при уровне освещенности 100 лк. При остальных уровнях освещенности имеется повышение «резервной части» относительной аккомодации. Сравнивая значения коэффициента утомления цилиарной мышцы, отмечается незначительное повышение его значения при уровне освещенности 100 лк. При анализе полученных данных видно, что для выполнения работ различной точности имеется определенный диапазон уровня освещенности, способствующий более комфортной работе зрительного анализатора. Рекомендуемые значения освещенности светодиодных источников освещения для выполнения работ различной точности приведены в таблице 7.

Таблица 7. Рекомендуемые значения освещенности при использовании светодиодных источников освещения для выполнения работ различной точности

Характеристика зрительной работы	Минимальная освещенность, лк
----------------------------------	------------------------------

высокой точности	300
средней точности	200
малой точности	200

Суммируя полученные результаты, можно констатировать, что для выполнения работы высокой точности наиболее комфортной является цветовая температура светодиодных источников освещения от 300 лк. При работе малой точности значения цветовой температуры не влияют на комфортную работу аккомодационно-мышечного аппарата.

Исследования зрительного анализатора и психофизиологического воздействия светодиодного освещения на организм человека подтверждают возможность и целесообразность использования светодиодов для освещения различных помещений. Выявлено, что функциональное состояние зрения обследуемых, независимо от пола, при тождественной экспериментальной нагрузке на фоне светодиодного освещения отличалось повышенной стабильностью по сравнению с воздействием других источников света (естественном освещении, освещении люминесцентными лампами и лампами накаливания). При этом динамика показателей состояния органа зрения под воздействием светодиодов при выполнении зрительной нагрузки отсутствовала или имела положительную направленность, т.е. состояние аккомодационного аппарата глаза у обследуемых обоего пола улучшалось. Анализ результатов проведенных исследований позволил сформулировать рекомендации по внесению дополнений и изменений в Свод правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». В ходе проведенных данных исследований выявлено некоторое повышение абсолютного объема аккомодации и положительной части относительного объема аккомодации («резервная часть») при работе под светодиодным источником света с уровнем освещенности от 300 лк до 1000 лк при выполнении работы высокой точности, относительно уровней освещенности от 200 лк до 100 лк, что указывает на более комфортную работу аккомодационно-мышечного аппарата и меньшем напряжении зрительного анализатора при данных уровнях освещенности. При уровнях освещенности от 100 лк до 200 лк с выполнением работы высокой точности и 100 лк с выполнением работы средней точности отмечается достоверное снижение положительной части относительного объема аккомодации в сравнении с остальными уровнями освещенности, что может свидетельствовать о процессе избыточного напряжения аккомодационно-мышечного аппарата зрительного анализатора и уменьшения его резервных возможностей. Значения коэффициента утомления цилиарной мышцы (КУ) после проведенных экспериментов при уровнях освещенности

от 100 лк до 200 лк были повышены по сравнению с остальными уровнями освещенности, при выполнении работы высокой точности, что указывает на усиленную работу цилиарной мышцы глаза в данных условиях. В условиях выполнения работ средней точности значения КУ повышены в условиях освещения 100 лк. При уровнях освещенности от 300 лк до 1000 лк его значения снижены, что указывает на отсутствие перенапряжения цилиарной мышцы глаза, что свидетельствует об адекватности световой среды, объема и характера зрительной нагрузки аккомодационной способности зрительного анализатора при выполнении работ в данных условиях. Из полученных результатов выполнения работ малой точности видно, что значения абсолютного объема аккомодации несколько снижены при уровне освещенности 100 лк. При остальных уровнях освещенности имеется повышение «резервной части» относительной аккомодации. Сравнивая значения коэффициента утомления цилиарной мышцы, отмечается незначительное повышение его значения при уровне освещенности 100 лк. При анализе полученных данных видно, что для выполнения работ различной точности имеется определенный диапазон уровня освещенности, способствующий более комфортной работе зрительного анализатора. Авторами исследований предлагается, согласно полученным данным, установить для зрительных работ высокой точности нормативный уровень минимальной освещенности рабочей поверхности 300 лк. Для зрительных работ средней и малой точности оставить в силе требования нормативных документов к уровням освещенности. Несмотря на то, что СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» не содержат требований к цветовой температуре светодиодных источников света, показывают целесообразность включения таких требований в нормативные документы.

На основании проведенных исследований сформулированы рекомендации для создания установок искусственного освещения, безопасных для зрительной системы и общего состояния организма человека:

1. С целью создания условий комфортной работы зрительного анализатора при выполнении зрительных работ высокой точности цветовую температуру светодиодных источников освещения установить в пределах от 4000 К до 5000 К. При выполнении зрительных работ малой и средней точности установление требований к цветовой температуре светодиодных источников света нецелесообразно.
2. При проектировании осветительных установок для зрительных работ высокой точности ориентироваться на нормативный уровень минимальной освещенности рабочей поверхности, равный 300 лк.

3. Для устранения слепящего эффекта необходимо, чтобы яркость излучающей поверхности не превышала  $2000 \text{ Кд/м}^2$ , что может быть достигнуто применением вторичной оптики или промежуточного рассеивателя, например, листа поликарбоната.
4. Для равномерной освещенности в помещениях необходимо, чтобы угол распространения светового потока был не менее  $120^\circ$ , что позволяет устранить эффект темных зон и избавиться от областей рабочих поверхностей с избыточными уровнями освещенности.
5. При выборе корпуса светодиодного светильника необходимо учитывать особенности режимов его эксплуатации. При использовании светодиодного светильника необходимо использовать тип корпуса не ниже IP 54. Степень защиты светильников, работающих в помещении, зависит от эксплуатационных условий и может достигать IP67. Для устранения возможности поражения электрическим током необходимо осуществлять обязательное заземление токопроводящих поверхностей.
6. Для устранения стробоскопического эффекта при построении светильников следует использовать электронные преобразователи, имеющие минимальные пульсации выходного тока, не превышающие 5 % номинальной величины.
7. Для создания комфортных условий освещения необходимо осуществлять регулирование интенсивности светового потока, а также его спектрального состава. Для этого могут использоваться, с одной стороны, системы передачи информации по питающей сети или по радиоканалу, с другой стороны – светоизлучающие диоды с различными значениями цветовой температуры.

Проведенный выше анализ показывает необходимость дальнейших исследований как зрительных, так и биологических, психофизиологических процессов влияния света, генерируемого светодиодными источниками на организм и разработки комплексной системы параметров и критериев для их оценки.

*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 14.516.11.0091 от 01.07.2013 г.).*

### **Список литературы**

1. Айзенберг Ю. Б. Современные проблемы энергоэффективного освещения / Ю.Б. Айзенберг // Энергосбережение. – 2009. – № 1. – С. 42 – 47.
2. Бокова О.Р. Стратегии исследований в области безопасности освещения / О.Р. Бокова, О.А. Гизингер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 26–29.

3. Брейнард Г.К. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека./ Г.К. Брейнард, И. Провенцио // Светотехника. – 2008. – № 1. – С.6-12.
4. Бурняшев А.Б. Современные мощные светодиоды и их оптика / А.Б. Бурняшев // Современная электроника. – 2006. – С. 24-27.
5. Вайтцель Р. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений (взгляд изготовителей ламп) / О.Р. Вайтцель, Р.А. Ваккер // Светотехника. – 2005. – № 5. – С.12-16.
6. Гизингер О.А. Методология исследований в области безопасности освещения / О.А. Гизингер, М.В. Осиков, Е.Л. Куренков, О.И. Огнева, М.О. Матвеев, О.Р. Бокова // Современная медицина: актуальные вопросы. – 2013. – № 19. – С. 46-51.
7. Ковальзон В.М. Мелатонин – без чудес / В.М. Ковальзон // Природа. – 2004. – № 2. – С.12–19.
8. Кучма В.Р. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников в системах общего искусственного освещения / В.Р. Кучма, Л.М. Текшева, Д.С. Надеждин, И.В. Звездина // Гигиена и санитария. – 2011. – № 2. – С.41-45.
9. Осиков М.В. Медико-биологические и санитарно-гигиенические аспекты инновационных технологий уличного, интерьерного и промышленного освещения / М.В. Осиков, Л.Ф. Телешева, О.А. Гизингер, О.И. Огнева и др. // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2012. – № 4. – С.181-187.

**Рецензенты:**

Колесников О.Л., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой биологии ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Челябинск.

Цейликман В.Э., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой биологической химии ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Челябинск.