

Исследование остроты зрения у лиц молодого возраста в зависимости от спектрального состава искусственного освещения

А.А. РЯБЦЕВА¹, А.С. АНДРЮХИНА¹, А.А. КОВРИЖКИНА¹, В.А. ЛАПИНА²,
Н.Н. ТРОФИМОВА³, П.П. ЗАК².

¹ ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского.

² ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва.

³ ГНУ Институт физики НАН Беларуси им. Б.И. Степанова, Минск, Республика Беларусь.

E-mail: pavelzak@mail.ru

Аннотация.

Работа посвящена исследованию различительной способности глаз лиц молодого возраста в зависимости от спектрального состава источников освещения. Исследования проводились на 2-х группах молодых людей: школьниках 12–14 лет и студентах 20–24 лет. Острота зрения школьников составляла, но не превышала 1.0; в студенческой группе острота зрения была не меньше 2.0. Различительную способность оценивали по количеству ошибок в различении колец Ландольта на таблицах Головина-Сивцева. Сравнивались эффективности стандартной лампы накаливания с $T_{\text{ц}}$ 2500 К, светодиодной лампы тёплого белого света с $T_{\text{ц}}$ 2500 К и светодиодной лампы холодного белого света с $T_{\text{ц}}$ 6500 К при одной и той же освещённости 450 ± 3 лк. Было найдено, что у школьников при использовании светодиодной лампы холодного белого света, количество ошибок в различении колец Ландольта (строки таблицы 7–9) в 1,5–2 раза выше, чем при использовании источников тёплого белого света. При этом светодиодная лампа тёплого белого света давала несколько лучшие показатели, чем лампа накаливания. В студенческой группе количество ошибок было минимальным, они имели случайный характер и не зависели от спектра излучения использовавшихся ламп. Предполагается, что полученные результаты обусловлены тем, что светодиодные лампы тёплого белого света обладают наиболее узкой спектральной полосой излучения в жёлто-оранжевой области, и таким образом формируют на сетчатке более чёткое изображение с минимальными хроматическими абберациями глаза. Полученные данные свидетельству-

ют в пользу применения в школьных учреждениях источников освещения тёплого белого света.

Ключевые слова: спектральное распределение энергии, острота зрения, зрительная работоспособность, освещение светодиодами, цветовая температура, школьники, студенты.

1. Введение.

В последние годы в светотехнической и медико-биологической литературе широко обсуждаются вопросы светогигиеничности освещения светодиодами (СД). Наибольшие сомнения в этом плане вызывают СД холодного белого света с высоким уровнем излучения в синей области спектра и коррелированной цветовой температурой ($T_{\text{ц}}$) свыше 6000 К. Основные замечания к таким СД связаны с повышенной фотобиологической опасностью синего света для сетчатки глаза, а также с нарушениями суточных ритмов выработки мелатонина, приводящими к сбоям работы всех обменных процессов организма [1, 3, 5]. В дополнение к этому, в последние два года появились статьи о том, что нормальное постнатальное формирование оптики глаза экспериментальных животных (цыплята, детёныши морских свинок и обезьян) зависит от спектрального состава освещения [6–8]. В целом, несформировавшееся детское зрение имеет повышенную чувствительность к негативным свойствам синей области спектра, и предполагается, что повседневное СД освещение с избыточной синей компонентой может иметь непредсказуемые отдалённые последствия для формирования зрительной системы и общего состояния организма. В связи с тем, что в настоящее время в школах России допускается использова-

ние шадящего освещения светодиодами нейтрального белого света с $T_{\text{ц}}$ не более 4000 К, на повестку дня выходят менее изученные вопросы зрительной работоспособности детского зрения при разных видах освещения СД [2]. Настоящее исследование, поставленное на 2-х группах молодых людей (школьники 12–14 лет и студенты 22–24 лет) имеет постановочный для этого экспериментального научного направления характер. При проведении исследований были использованы осветительные светодиодные лампы (СДЛ) с крайними значениями $T_{\text{ц}}$: от самой низкой (2500 К) до предельно высокой (6500 К), с тем, чтобы оценить важность спектрального состава освещения для обеспечения различительной способности глаза.

2. Методы

В работе использованы бумажные таблицы Головина-Сивцева для измерения остроты зрения. Согласно утверждённому в 1994 г. международному стандарту по измерению остроты зрения, в качестве основного оптического оценивалось кольцо Ландольта [9]. Измеряемым параметром было количество ошибок в распознавании колец Ландольта. Исследования были проведены на школьниках 12–14 лет (22 человека) и студентах 22–24 лет (15 человек).

2.1. Источники освещения

Измерения остроты зрения проводили в затемнённом офтальмологическом кабинете с подсветкой таблиц Головина-Сивцева по стандартной методике с расстояния 5 м. Были использованы три аппарата Рота, каждый со своим типом лампы: аппарат со стандартной лампой накаливания (ЛН) мощностью 60 Вт и два аппарата с филаментными СДЛ мощностью 3 Вт компании *Madix* (Китай), модель *MD-NEO-A60*, с заявленными номинальными значениями $T_{\text{ц}} = 3000$ К для СДЛ тёплого белого света (СДЛТ) и с $T_{\text{ц}} = 6400$ К для СДЛ холодного белого света (СДЛХ), эквивалентным ЛН мощностью 60 Вт. Согласно результатам измерений, проведённых при помощи 2-х спектрометров (*Avantes 1020*, Голландия и *UPRtec 350*, Тайвань), реальные $T_{\text{ц}}$ использовавшихся ламп имели значения около 2500 К у ЛН и СДЛТ и чуть больше

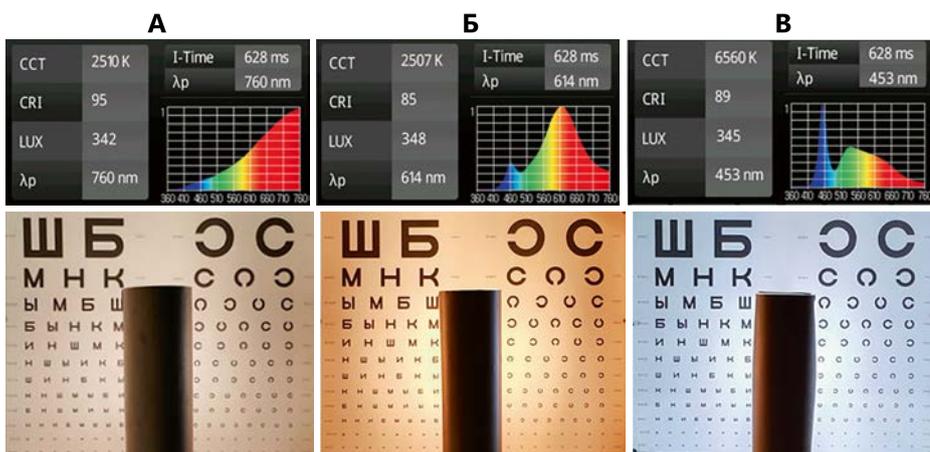


Рис. 1. Спектральные характеристики света, отражённого от поверхности таблиц по остроте зрения. А – ЛН; Б – СДЛТ; В – СДЛХ. Цветные графики – спектральное распределение энергии излучения, отн. ед. По осям: X – длина волны, нм, Y – спектральная плотность энергии излучения, отн. ед. CCT – коррелированная цветовая температура, К; CRI – общий индекс цветопередачи; LUX – освещённость поверхности таблицы опто типов, лк

чем 6500 К у СДЛХ. Освещённость таблиц составляла 345 ± 3 лк. При этом у ламп всех трёх типов полная энергия излучения в диапазоне 400–650 нм оказалась практически одинаковой с разбросом $\pm 5\%$. На рис. 1 приведены данные по характеру освещения использовавшихся аппаратов Рота. Как следует из рисунка, каждая из использовавшихся ламп имеет свою спектральную специфику. Так, ЛН имеет преобладающее излучение в красной области спектра, приходящееся на длинноволновую часть V_λ . Спектр СДЛТ занимает центральное положение на оси длин волн, близкое к максимуму V_λ . У СДЛХ значительная часть излучения смещена в коротковолновую синюю область по отношению к максимуму V_λ .

2.2. Измерения остроты зрения

Определение остроты центрального зрения проводилось для каждого глаза последовательно, монокулярно, используя окклюдер на парном глазу. В каждой из 12 строк таблицы, начиная с первой, фиксировали количество непрочитанных опто типов (кольца Ландольта) в абсолютных числах и в процентах от числа представленных в данной строке опто типов. Как реальную остроту зрения, которая в ряде случаев была выше 1,0, отмечали ряд с наименьшими по размеру знаками, которые испытуемый смог правильно узнать. Таблица с опто типами фиксировалась с помощью аппарата Рота на высоте глаз сидящего испытуемого.

Таблица 1

Количество ошибочных ответов (%) детской группы 12–14 лет по различению колец Ландольта начиная с 6-ой строки таблицы Головина-Сивцева ($n = 44$, $M \pm m$, $P < 0,05$) (V – острота зрения)

Строка таблицы	Тип лампы		
	ЛН	СДЛТ	СДЛХ
Строка 6, $V = 0,6$	$0,83 \pm 0,047$	$1,25 \pm 0,033$	$1,67 \pm 0,041$
Строка 7, $V = 0,7$	$2,92 \pm 0,068$	$2,08 \pm 0,051$	$3,33 \pm 0,061$
Строка 8, $V = 0,8$	$4,64 \pm 0,093$	$3,57 \pm 0,060$	$6,43 \pm 0,077$
Строка 9, $V = 0,9$	$5,71 \pm 0,130$	$4,29 \pm 0,084$	$10,36 \pm 0,243$
Строка 10, $V = 1,0$	$6,87 \pm 0,179$	$7,19 \pm 0,132$	$11,25 \pm 0,163$
Строка 11, $V = 1,5$	$95,94 \pm 0,882$	$96,25 \pm 0,856$	$96,56 \pm 0,855$
Строка 12, $V = 2,0$	$100,00 \pm 0,983$	$100,00 \pm 0,978$	$100,00 \pm 0,977$

3. Результаты исследований.

В целом, среднестатистическая острота зрения школьников была равна 1,0, но не выше, в то время как острота зрения студенческой группы была не менее 2,0. Ниже дана развёрнутая справка по общим офтальмологическим характеристикам обследованных групп испытуемых.

3.1. Характеристика обследованных групп.

Детская группа (12–14 лет) состояла из 22-х пациентов (44 глаза), 18-ти мальчиков (36 глаз) и 4-х девочек (8 глаз). Из них 38 здоровых глаз, 2 случая с миопией высокой степени без изменений на глазном дне и 4 случая миопии слабой степени.

Группу молодых людей (20–24 года) составили 15 пациентов (29 глаз), в том числе 6 мужчин (11 глаз) и 9 женщин (18 глаз). Из них 20 здоровых глаз, 4 случая гиперметропии слабой степени, 1 случай миопии высокой степени, 1 случай миопии средней степени и 3 случая миопии слабой степени.

Нарушения рефракции были полностью компенсированы очковой коррекцией.

3.2. Оценка эффективности источников света по количеству ошибок в различении опто типов

При исследовании остроты зрения школьников 12–14 лет было найдено, что крупные кольца Ландольта 1–5-ой строк различаются при всех 3-х источниках света практически без ошибок, а мельчайшие кольца 11-ой и 12-ой строк (острота зрения 1,5–2,0) полностью неразличимы. Строки с 6-ой по 10-ю (острота зрения 0,6–1,0) распознавались с ошибками, причём количество ошибок систематически возрастало с уменьшением размеров колец Ландольта. В табл. 1 приведены данные по относительному количеству зрительных ошибок детей школьной группы при использовавшихся источниках света. Как следует из таблицы, наибольший процент ошибок в распознавании опто типов наблюдается при освещении таблиц лампой СДЛХ, а наименьший – при использовании СДЛТ. В случае ЛН результаты были несколько хуже, чем в случае СДЛТ. Более наглядно эти различия показаны

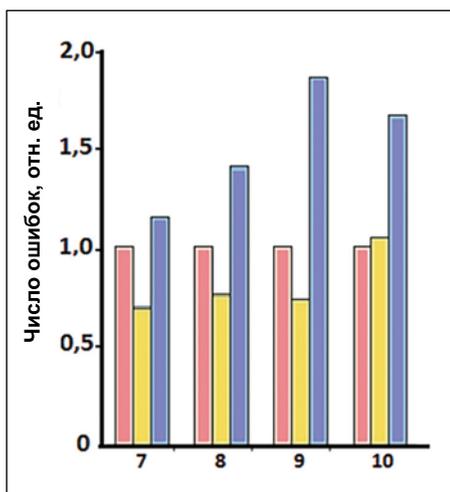


Рис. 2. Диаграммы распределения количества ошибок в различении оптоотипов у детей 12–14 лет в зависимости от вида источника света, нормированные относительно показателей в случае ЛН. Розовые столбики – ЛН, жёлтые столбики – СДЛТ, синие столбики – СДЛХ. Цифры под диаграммами – номера строк таблицы Головина-Сивцева

ны на диаграмме рис. 2. В целом, эти данные, представленные в таблице и на диаграммах, указывают на то, что в детском возрасте источники тёплого белого света позволяют в полтора-два раза лучше решать зрительные задачи по распознаванию чёрно-белых изображений на бумажных носителях.

Точно такие же эксперименты, проведённые при участии студенческой группы (22–24 года), не выявили какой-либо заметной зависимости зрительного различения от спектральных характеристик использовавшихся ламп. Результаты этих измерений представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, у лиц молодого возраста (22–24 года), независимо от размеров колец Ландольта и от спектрального состава излучения источника света, ошибки зрительного различения минимальны и носят случайный характер.

4. Обсуждение

Основным результатом проведённых исследований является выявление зависимости различения и распознавания чёрно-белых изображений на бумажных носителях от спектрального состава искусственного освещения у детей школьного возраста. Согласно полученным данным, наибольшее число ошибок в различении оптоотипов наблюдалось при использовании СДЛХ: примерно в 1,5–2

Количество ошибочных ответов (%) студенческой группы 22–24 года по различению колец Ландольта, начиная с 6-ой строки таблицы Головина-Сивцева ($n = 29$, $M \pm m$, $P < 0,05$) (V – острота зрения)

Строка таблицы	Тип лампы		
	ЛН	СДЛТ	СДЛХ
Строка 10, $V = 1,0$	$0,12 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,03$
Строка 11, $V = 1,5$	$0,45 \pm 0,09$	$0,33 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,07$
Строка 12, $V = 2,0$	$0,88 \pm 0,15$	$0,85 \pm 0,14$	$0,84 \pm 0,14$

раза больше, чем при использовании источников тёплого белого света. При этом ЛН обеспечила почти такие же, хотя и несколько худшие, офтальмо-эргономические показатели, как и СДЛТ. Вероятной причиной этих различий является разная фокусировка синего, жёлтого и красного излучений на структурах глазного дна, определяемая хроматической аберрацией глаза. Так, согласно известным зависимостям [4], синий пик с длиной волны 450 нм расфокусирован по отношению к жёлто-оранжевому излучению с длиной волны 580 нм на 1–1,5 дптр.; для красной области спектра эта же расфокусировка составляет около 0,3 дптр. В соответствии с этим, можно ожидать, что, из использовавшихся источников света, жёлто-оранжевое излучение СДЛТ обеспечивает наилучшую фокусировку изображения на глазном дне. ЛН, с её преобладающим в красной области спектра излучением, должна несколько проигрывать по сравнению с СДЛТ. И наконец, СДЛХ с избыточным синим излучением создают наименее сфокусированное сдвоенное сине-жёлтое изображение с нечётким обозначением разрыва в кольце Ландольта. Ещё одной причиной худших результатов в части разрешающей способности глаза при свете СДЛХ может быть наиболее высокое в синей области спектра рассеяние света в оптических средах глаза, смазывающее контуры изображения на сетчатке. В реальных условиях аудиторного освещения с освещённостью порядка 400 лк, т.е. при достаточно расширенных зрачках, эффекты хроматической аберрации и рассеяния света могут иметь ощутимый характер. В случае детского зрения паразитные оптические эффекты синей области спектра оказываются более ощутимыми вследствие повышенной прозрачности детских

хрусталиков в синей области спектра, а также более широкого диапазона зрачковой реакции детского глаза. Полученные нами количественные зависимости различительной способности глаза от спектрального состава излучения источников света могут показаться несущественными, однако надо иметь в виду, что при длительной зрительной работе они могут сказаться на её точности и на устойчивости зрения к утомлению. Различия между данными, полученными при освещении ЛН и СДЛТ, имеющими одинаковые T_c , но различные спектры излучения, ещё раз указывают на то, что T_c источника света не может служить показателем офтальмоэргономичности источника света. Опыт настоящей работы свидетельствует о том, что анализ спектров излучения источников света в сочетании с известными фундаментальными механизмами физиологической оптики позволяет производить предварительную оценку светогигиеничности тех или иных источников света. Методический подход, предложенный в данном исследовании, представляется перспективным для массового обследования состояния зрения в образовательных учреждениях. Следует подчеркнуть, что безошибочная зрительная работа является основой восприятия учебного материала и устойчивости к развитию утомления зрительного анализатора в целом.

5. Заключение

В целом, полученные данные свидетельствуют о том, что из тестированных источников света заметно более эффективными для зрительного различения являются светодиодные лампы тёпло-белого света. Представляется перспективным дальнейшее развитие сравнительных исследова-

ний действия других видов источников света на разрешающую способность детского глаза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16–53–00141 Бел_а. и БРФФИ № Ф16Р-077.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зак П.П., Островский М.А.* Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. – 2012, – № 3. – С. 4–6.

2. *Зак П.П., Трофимова Н.Н.* Зависимости зрительных функций от спектрального состава освещения в сопоставлении с характеристиками белых светодиодов // Светотехника. – 2012, № 5–6, С. 31–34.

3. *Закгейм А.Л.* Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) // Светотехника. – 2012, – № 3. – С. 12–21.

4. *Хартридж Г.* Современные успехи физиологии зрения. – М.: ИЛ, 1952. – 328 с

5. *Behar-Cohen, F. et al.* Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? // Progress in Retinal and Eye Research. – 2011. – Vol. 30. – P. 239–257.

6. *Foulds, W., Barathi, V., Luu, D.* Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – December 2013. – Vol.54. – P. 8004–8012. doi:10.1167/iovs.13–12476

7. *Liu, R. et al.* The Effects of Monochromatic Illumination on Early Eye Development in Rhesus Monkeys // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – March 2014. – Vol.55. – P. 1901–1909. doi:10.1167/iovs.13–12276.

8. *Qian, Y-F et al.* Transfer from blue light or green light to white light partially reverses changes in ocular refraction and anatomy of developing guinea pigs // Journal of Vision. – September 2013. – Vol.13. – P. 16. doi:10.1167/13.11.16.

9. International standart. ISO 8597. Optics and Optical Instruments – Visual acuity testing – Geneve, 1994.



Рябцева Алла Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РФ. Офтальмолог, руководитель офтальмологического отделения МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского,

главный офтальмолог МЗ Московской области и ЦФО России, член редакционных советов журналов «Российский офтальмологический журнал», «Российская педиатрическая офтальмология», «Альманах клинической медицины».



Андрюхина Анна Сергеевна. Окончила Российский национальный исследовательский университет имени Н.И. Пирогова (2016 г.). Офтальмолог, врач-интерн МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского



Коврижкина Алина Алексеевна. Окончила медицинский факультет ГКА им. Маймонида (2014 г.). Офтальмолог, младший научный сотрудник МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского



Лапина Виктория Алексеевна, кандидат химических наук. Биофизик, ведущий научный сотрудник Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, лауреат Государственной

Премии РБ 2000 г. за цикл работ «Механизмы развития, методы и средства лечения глаукомы, катаракты, фотоповреждений сетчатки глаза»



Трофимова Наталья Николаевна, кандидат биологических наук. Биофизик, научный сотрудник Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

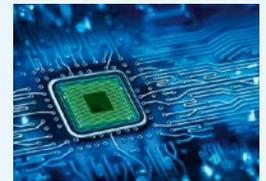


Зак Павел Павлович, доктор биологических наук, профессор. Биофизик, ведущий научный сотрудник Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, лауреат Государственной

Премии РФ 2006 г. за «Научное обоснование, разработку и внедрение в офтальмологическую практику искусственных хрусталиков с естественной спектральной характеристикой», член редколлегии журналов «Светотехника» и «Сенсорные системы»

Найден новый способ эффективного отвода и рассеивания тепла в электронике

Международная группа, возглавляемая учёными из Калифорнийского университета в Риверсайде (*University of California, Riverside*), разработала новый способ эффективного отвода и рассеивания тепла, выделяющегося во время функционирования полупроводниковых электронных приборов.



Высокой эффективности учёные добились путём принудительного изменения энергетического спектра акустических фононов – квазичастиц, состоящих из упорядоченных волнообразных тепловых колебаний атомов материала в кристаллической решётке. А распространение и параметры этих фононов регулировались и ограничивались структурами нанометрового масштаба, изготовленными из полупроводникового материала определённого вида.

В качестве ограничительных наноструктур выступали нанопроводники из арсенида галлия (GaAs), синтез которых выполнила группа исследователей из Финляндии, которая, кроме того, использовала метод спектроскопии Мандельштама-Бриллюэна (*Brillouin-Mandelstam light scattering spectroscopy, BMS*) для изучения движения фононов через прозрачные наноструктуры.

Изменяя форму и размеры наноструктур из GaAs, учёные смогли добиться изменений энергетического спектра, дисперсии, акустических фононов так, что эти фононы обеспечили максимально эффективный перенос тепла от места его выделения к месту его рассеивания. Такая возможность является ключевым моментом в деле разработки наноразмерных электронных устройств, ведь зачастую большое количество выделяющегося тепла не даёт инженерам возможности дальнейшего сокращения размеров устройства. Помимо этого, управление фононами позволяет направлять их в области термоэлектрических преобразователей, которые будут превращать его назад в электрическую энергию, которую можно будет использовать повторно.

«В течение нескольких лет единственным методом изменения удельной теплопроводности электронных устройств заключался в использовании наноструктур проводников фононов, имеющих определённые границы и интерфейсы. Мы же экспериментально продемонстрировали возможность изменения параметров фононов, которые передвигаются быстрее и которые могут двигаться в заданном направлении без дополнительных элементов-теплоотводов» – рассказывает Александр Баландин, профессор из Калифорнийского университета. – «Наша работа может стать основой для технологий, позволяющих создавать полупроводниковые материалы, имеющие заранее заданные тепловые и электронные свойства, которые, в свою очередь, станут основой электронных приборов нового поколения».

www.dailyinfo.org
19.11.2016