

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 535.8+617–089

А.В. МАМОШИН, Е.С. СЕРЁГИНА, Е.В. ПОТАПОВА, А.И. ШЕПЕЛЕВА,
А.В. ДУНАЕВ, А.Л. АЛЪЯНОВ, А.Е. ИВАНОВ, А.В. АЛАДОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

***Аннотация.** Во время операции для хирурга важно определить оптимальные условия освещения для контрастной визуализации оперируемых объектов. В работе анализируются различные параметры управляемого цветно–динамического хирургического светильника на основе мощного светодиода при контрастировании отдельных органов и тканей модельных животных. Полученные результаты позволят разработать библиотеку цветовой гаммы и настроек освещения для широкого спектра хирургических операций.*

Ключевые слова: хирургический свет, смешивание цветов, контролируемые полупроводниковые источники света, светодиоды, контрастная визуализация биологических тканей.

Введение

В клинической практике получение достаточного и правильного с точки зрения цветопередачи освещения в операционных является важным, поскольку это оказывает влияние на успешное выполнение оперативного пособия. Хорошая цветопередача имеет жизненно важное значение для того, чтобы четко определить различные формы, размеры и текстуру трехмерных объектов и позволить хирургу избежать ошибок во время выполнения оперативного вмешательства [1–3].

Хорошее освещение операционного поля, в том числе глубоких операционных ран, позволяет корректно распознавать изменение цвета в кислородсодержащей крови для определения цианоза [4], лучше дифференцировать нормальные и воспаленные ткани [5], оценивать визуально жизнеспособность тканей при трансплантации [6]. Плохая световая обстановка в сочетании с высокой зрительной нагрузкой может явиться причиной зрительного и общего утомления врача, способствовать развитию близорукости, нистагма и некоторых других заболеваний, а также травм [7–9]. Освещение влияет не только на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, но и на психику человека, его эмоциональное состояние. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению, неверному восприятию состояния органов и тканей.

В настоящее время в практической медицине для освещения операционных применяются в основном источники искусственного освещения на основе ламп накаливания, галогенных и ксеноновых ламп. В последнее время многие ведущие производители хирургического освещения начали производить светодиодные операционные светильники. Их основные преимущества заключаются в долгом сроке службы, низком энергопотреблении, малых размерах для построения компактных конструкций осветительных систем. Наиболее важным достоинством светодиодного освещения с медицинской точки зрения является то, что они работают при чрезвычайно низких температурах по сравнению с галогеновыми источниками света, что означает больший комфорт для хирурга и отсутствие УФ–облучения, вызывающего высушивание открытой ткани. Однако, с целью улучшения качества визуализации операционного поля, контрастности восприятия различных биологических тканей необходимо разработать светодиодный хирургический осветитель с управляемыми цветовыми параметрами для

освещения операционного поля и отдельными режимами для возможности улучшения видимости различных тканей при операциях по системам (абдоминальные, торакальные, ортопедические и др.). Комбинирование сочетаний цветов, направленных на улучшение визуализации и детализации конкретных анатомических структур, позволяет оптимизировать освещение операционного поля применительно к определенной анатомической области и обеспечивает отличную четкость и лучшее восприятие операционного поля хирургом.

Целью настоящей работы являются предварительные исследования спектральных и цветовых показателей комбинированного светодиодного излучения для повышения контрастности биологических тканей с возможностью подбора оптимальных характеристик освещения при проведении лабораторных исследований и хирургических операций.

Материалы и методы

Экспериментальные измерения проводились с использованием специально разработанного управляемого цветодинамического хирургического осветителя на основе мощного RGBW светодиода Phlatlight CBM-360 Luminus Inc. Основные узлы прототипа собраны НТЦ микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН (г. Санкт-Петербург, Россия). Прототип цветодинамического хирургического осветителя обладает следующими характеристиками: выходной световой поток до 4000 лм, освещенность площадки 200x200 мм до 25000 лк (в белом свете), с однородностью распределения по цвету ~5% и по интенсивности не хуже 15%; область синтезируемых цветов составляет более 75% локуса реальных цветов по диаграмме цветности XYZ МКО 1931; количество синтезируемых различных цветов более 1000000; диапазон цветовых температур для белого света составляет 2500–1200 К при индексе цветопередачи 70–90. Одним из элементов конструкции является выходная оптическая система, которая позволяет выполнить эффективное смещение излучения различных цветов от дискретных источников и сформировать однородную по интенсивности и цвету освещаемую зону. Программное обеспечение данного светильника позволяет изменять интенсивность четырех типов светодиодов: холодный белый (5000 К), красный (630 нм), синий (460 нм) и зеленый (520 нм). Управление световыми параметрами хирургического осветителя во время проведения исследований осуществлялось с удаленного компьютера с использованием разработанного программного обеспечения, связанного с осветителем по радио интерфейсу Bluetooth класса 2 с дальностью до 30 м.

В лабораторных условиях, на базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», с помощью хирургического осветителя проведены тестовые исследования на животных. Экспериментальные исследования проводились на клинически здоровых крысах-самцах (n=5) линии Wistar (возраст 6 месяцев) в соответствии с принципами надлежащей лабораторной практики GLP (согласно ГОСТ 33647–2015). Работа была одобрена этическим комитетом Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева (протокол №10 от 16.10.2017). Животных содержали в контролируемых по температуре, влажности, чистоте условиях карантина в течение 2 недель. Во время исследования крысы были подвергнуты анестезии препаратом Золетил 100 (Vibrac, Франция) в стандартных дозировках. Животные размещались на специальной фиксирующей платформе. Исследования проводились на участке кожи после предварительной депиляции, подкожно-жировой клетчатке, тканях мышц органов брюшной полости (кишечнике, печени). После окончания исследования животных выводили из опыта в соответствии с правилами проведения экспериментов.

Цветодинамический хирургический осветитель устанавливался над специальным операционным столом для мелких лабораторных животных на расстоянии 70 см, что обеспечивало создание однородного светового пятна размером не менее 20x20 см (рисунок 1). Во время исследований в программном обеспечении светильника проводилось изменение параметров каждого светодиода. На основании субъективной зрительной оценки операционной бригады проводился подбор оптимального освещения операционного поля для каждого участка исследования. Спектральный состав испускаемого света контролировался мобильным спектрометром МК350.

При освещении каждого отдельно взятого органа производилось изменение спектральных составляющих источника света для увеличения контрастности визуализации конкретной ткани. Для выбора оптимального цвета освещения, обеспечивающего контрастную визуализацию, были проведены исследования спектров отражения $R(\lambda)$.

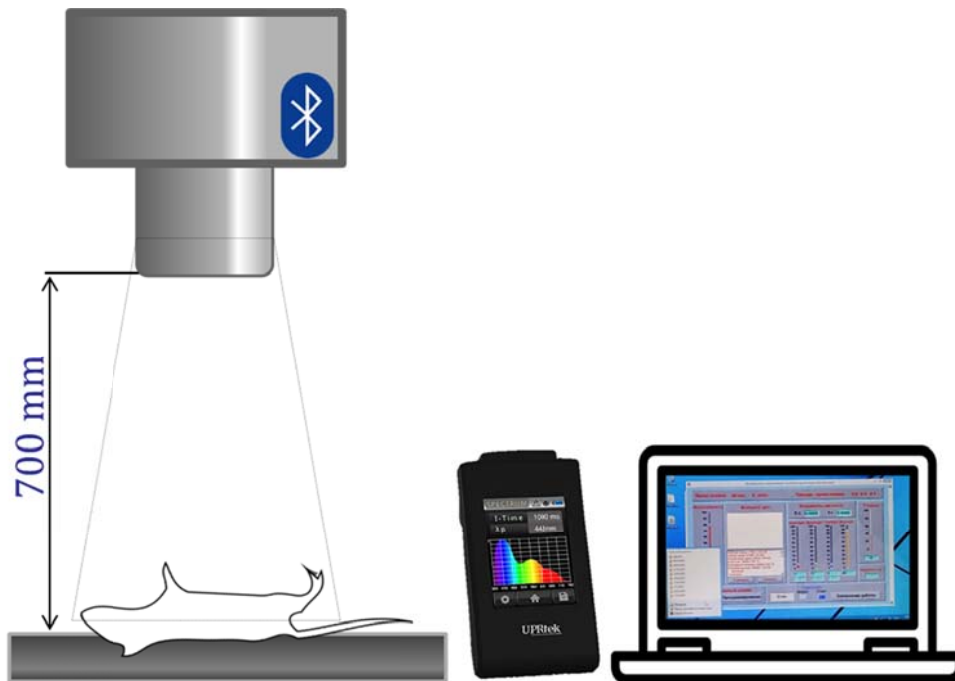


Рисунок 1 – Схема установки цветодинамического хирургического осветителя над специальным операционным столом для мелких лабораторных животных

Результаты и обсуждение

На рисунках 2–6 показаны результаты подбора наиболее комфортного и контрастного освещения хирургического поля при работе с разными видами тканей и органов.

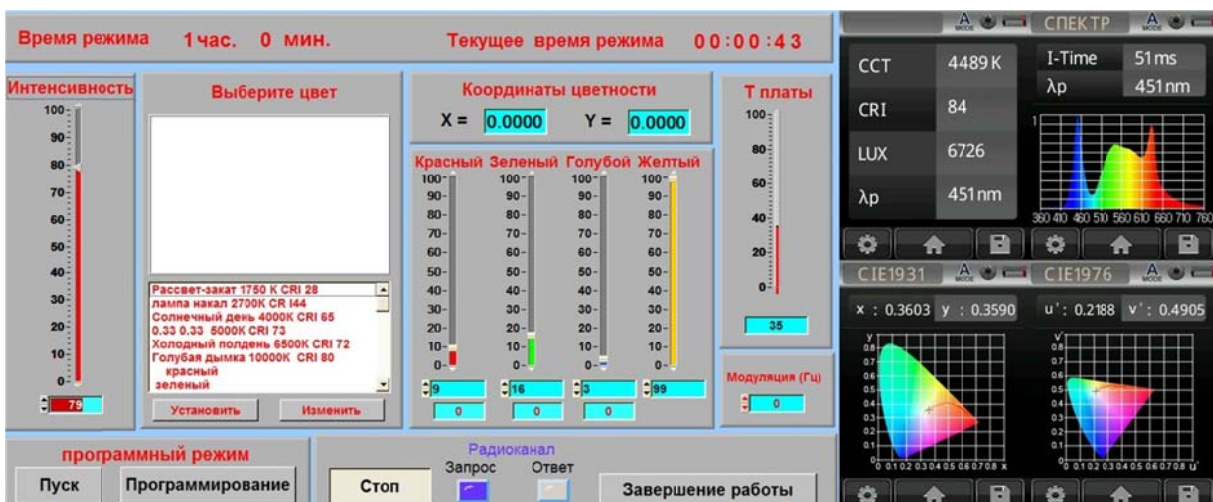


Рисунок 2 – Цветовая температура светового пятна при освещении кожи

Из параметров программы и данных спектрометра следует, что изменение комбинации сочетания цветов позволяет оптимизировать визуализацию и контрастность отдельных анатомических структур в рамках субъективной оценки их состояния и дифференциации отдельных органов и тканей. Так, например, для кожи и подкожно-жировой клетчатки параметры интенсивности красных светодиодов отличаются от

интенсивности для освещения остальной группы тканей, что связано с биологическими особенностями исследуемых областей.

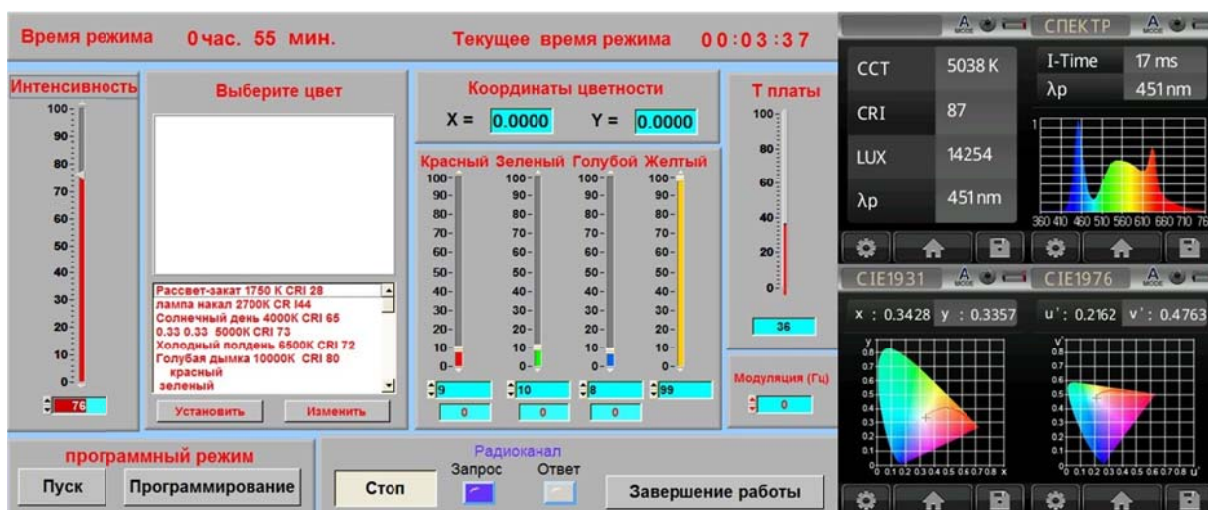


Рисунок 3 – Цветовая температура светового пятна при освещении подкожно-жировой клетчатки

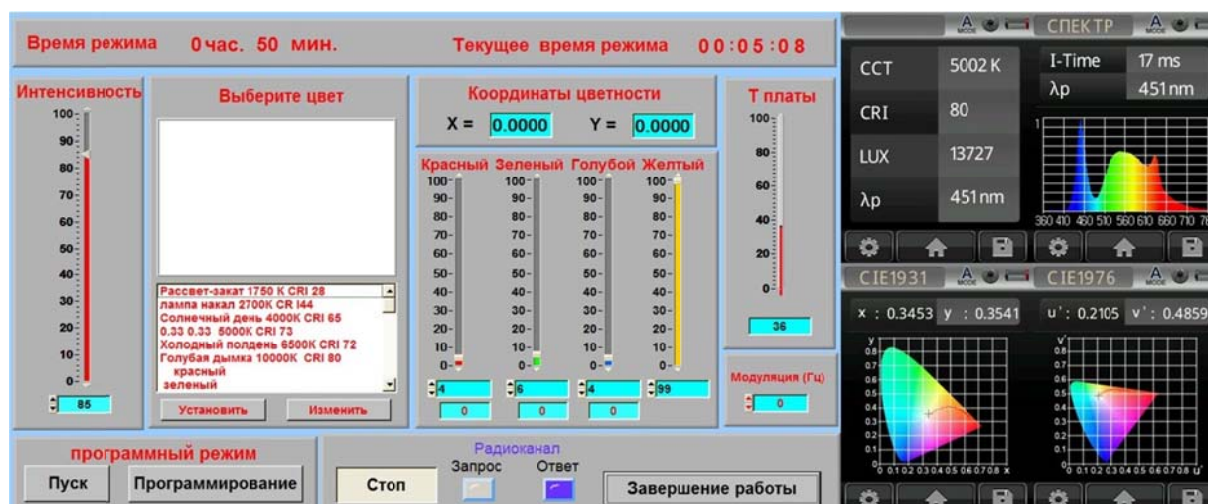


Рисунок 4 – Цветовая температура светового пятна при освещении мышц передней брюшной стенки

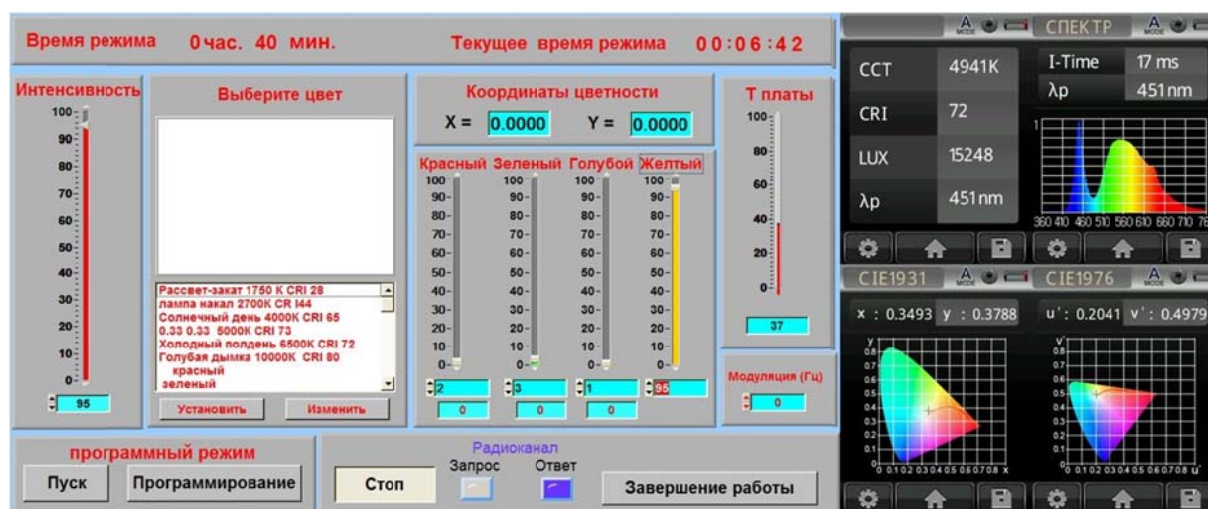


Рисунок 5 – Цветовая температура светового пятна при освещении серозной оболочки кишечника

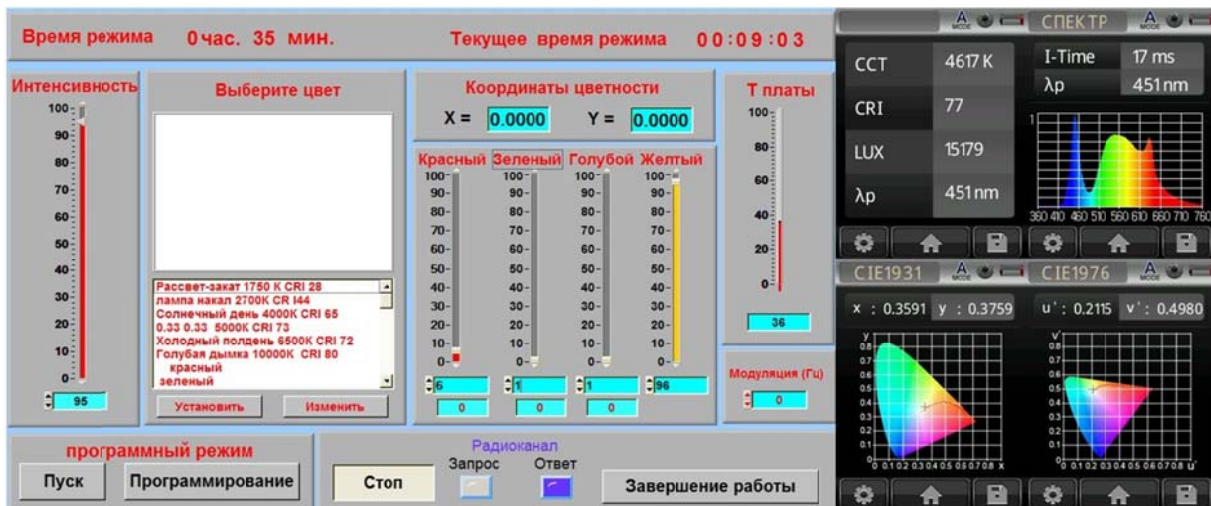


Рисунок 6 – Цветовая температура светового пятна при освещении серозной оболочки печени

Заключение

В целом, спектральная оценка операционного поля носит субъективный характер ввиду того, что оценка освещенности в визуализации биологических тканей обусловлена индивидуальными особенностями зрительного восприятия врача–хирурга. Результаты предварительных исследований позволяют сделать выводы о целесообразности использования хирургического осветителя с динамически управляемыми световыми и цветовыми параметрами для достижения максимального разрешения и оптимальной контрастной визуализации отдельных анатомических структур и тканей во время оперативного вмешательства.

Результаты данной работы показывают, что применение динамического управления световыми и цветовыми параметрами освещенности операционного поля имеет потенциал для контрастной визуализации и дифференциального подхода к освещению конкретных анатомических структур при проведении оперативного вмешательства. В настоящее время продолжается набор данных на расширенном круге биологических объектов, в том числе *in vivo* с целью разработки оптимальных алгоритмов освещения операционных при хирургических вмешательствах на различных системах органов. Однако, предполагается, что на визуализацию анатомических структур влияет ряд факторов, таких как состояние и вид изменений в тканях, фазовое развитие патологических процессов, их реакция на проводимое лечение, кровенаполнение ткани, присутствие других жидкостей и т.д. Появляется необходимость в проведении исследований по изучению вклада каждого фактора в визуализацию биологических тканей для корректной интерпретации интраоперационной ситуации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Федеральная целевая программа, грант № 14.604.21.0187 от 26.09.2017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аладов А.В. Динамически управляемая система освещения светодиодами с широким диапазоном цветовых температур (2800–10000 К) и высоким качеством цветопередачи ($RA > 90$) / Аладов А.В., Бирючинский С.Б., Валохов В.П., Загейм А.Л., Тальнишних Н.А., Черняков А.Е. // Светотехника. –2016.–№ 6. –С. 19–25
2. Knulst A.J. Choosing surgical lighting in the LED Era / Knulst A.J., Stassen L.P.S., Grimbergen C.A., Dankelman J. // Surgical Innovation – 2009.
3. Блинов Н.И. Ошибки, опасности и осложнения в хирургии / Н. И. Блинов, Б. М. Хромов –, 1972.– 213с.
4. Dain S. Color changes in cyanosis and the significance of congenital dichromasy and lighting / Dain S. // Color Research and Application – 2007.
5. Wang H.–C. Enhanced visualization of oral cavity for early inflamed tissue detection / Wang H.–C., Chen Y.–T., Lin J.–T., Chiang C.–P., Cheng F.–H. // Optics express – 2010.

6. Murai K. Improving color appearance of organ in surgery by optimally designed LED illuminant, 2013.
7. Fanning J. Illumination in the Operating Room / Fanning J. // Biomedical Instrumentation & Technology – 2005. – Т. 39 – № 5 – С.361–362.
8. Dianat I. Objective and subjective assessments of lighting in a hospital setting: Implications for health, safety and performance / Dianat I., Sedghi A., Bagherzade J., Jafarabadi M.A., Stedmon A.W. // Ergonomics – 2013.
9. Eisenbaum S.L. Facial Burns as a Complication of Office Surgery Lighting / Eisenbaum S.L. // Plastic and Reconstructive Surgery – 1989. – Т. 83 – № 1.

Мамошин Андриан Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат медицинских наук,
доцент, врач–хирург Орловской
областной клинической больницы;
старший научный сотрудник
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E–mail: dr.mamoshin@mail.ru

Серёгина Евгения Сергеевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Студент кафедры
приборостроения, метрологии и
сертификации, стажер–
исследователь научно–
технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E–mail: e.s.seryogina@gmail.com

Потапова Елена Владимировна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат технических наук,
доцент, старший научный
сотрудник научно–
технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E–mail: potapova_ev_ogu@mail.ru

Шепелева Анастасия Ивановна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Студент медицинского института
302028, г. Орёл, ул. Октябрьская,
25
Тел.: +79202802156
E–mail: nastena_shepeleva@mail.ru

Дунаев Андрей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат технических наук,
доцент, ведущий научный
сотрудник научно–
технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел.: +7–4862–41–98–06
E–mail: dunaev@bmccenter.ru

Альянов Александр Леонидович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат медицинских наук,
доцент, врач–хирург Орловской
областной клинической больницы;
заведующий кафедрой общей
хирургии и анестезиологии
302028, г. Орел, ул. Октябрьская,
д.25
Тел.: +7–4862–41–98–37
E–mail: tantoras@mail.ru

Иванов Антон Евгеньевич
ФГАОУ ВО «Санкт–
Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова
(Ленина)»
Студент кафедры микро– и
наноэлектроники
197376, Санкт–Петербург, ул.
Профессора Попова, дом 5а, 5–й
корпус
Тел.: +7 812 234–31–64
E–mail: kafedraMNE@mail.ru

Аладов Андрей Вальменович
ФГБУН "Научно–технологический
центр микроэлектроники и
субмикронных гетероструктур"
Российской академии наук.
Старший научный сотрудник
научно–технологического центра
микроэлектроники и
субмикронных гетероструктур
194021, Санкт–Петербург,
Политехническая ул., 26
Телефон: +7 (812) 292–79–22
E–mail: aaladov@mail.ioffe.ru

A.V. MAMOSHIN, E.S. SERYOGINA, E.V. POTAPOVA, A.I. SHEPELEVA,
A.V. DUNAEV, A.L. ALYANOV, A.E. IVANOV, A.V. ALADOV

OPTIMIZATION OF OPERATING FIELD LIGHTING USING DYNAMICALLY CONTROLLED SEMICONDUCTOR LIGHT SOURCES

Abstract. *During the operation, it is important for the surgeon to determine the optimal lighting conditions for contrast visualization of the operated objects. The paper analyzes various parameters of a controlled color–dynamic surgical lamp based on a powerful LED while contrasting individual organs and tissues of model animals. The results will allow to develop a library of colors and lighting settings for a wide range of surgical operations.*

Keywords: *surgical light, controlled semiconductor light sources, Imaging systems, Light emitting diodes, Light sources and illumination, contrast visualization of biological tissues, surgical operations.*

BIBLIOGRAPHY

1. Aladov A.V., Biryuchinsky S.B., Valyukhov V.P. et al. Dynamically controlled lighting system with LEDs with a wide range of color temperatures (2800–10000K) and high color quality (RA> 90) // Light engineering – 2016. – №6. – С.19–25.
2. Knulst A.J. Choosing surgical lighting in the LED Era / Knulst A.J., Stassen L.P.S., Grimbergen C.A., Dankelman J. // Surgical Innovation – 2009.
3. Blinov N.I., Khromov B.M. Errors, hazards and complications in surgery. Leningrad branch. Publisher "Medicine", 1972. – 213 c.
4. Dain S. Color changes in cyanosis and the significance of congenital dichromasy and lighting / Dain S. // Color Research and Application – 2007.
5. Wang H.–C. Enhanced visualization of oral cavity for early inflamed tissue detection / Wang H.–C., Chen Y.–T., Lin J.–T., Chiang C.–P., Cheng F.–H. // Optics express – 2010.
6. Murai K. Improving color appearance of organ in surgery by optimally designed LED illuminant, 2013.
7. Fanning J. Illumination in the Operating Room / Fanning J. // Biomedical Instrumentation & Technology – 2005. – T. 39 – № 5 – С.361–362.
8. Dianat I. Objective and subjective assessments of lighting in a hospital setting: Implications for health, safety and performance / Dianat I., Sedghi A., Bagherzade J., Jafarabadi M.A., Stedmon A.W. // Ergonomics – 2013.
9. Eisenbaum S.L. Facial Burns as a Complication of Office Surgery Lighting / Eisenbaum S.L. // Plastic and Reconstructive Surgery – 1989. – T. 83 – № 1.

Mamoshin Andrian Valerievich
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
M. D., associate professor, surgeon,
Orel Regional Clinical Hospital,
Senior Researcher of the Scientific
and Technological Center for
Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7–4862–41–98–37
E-mail: dr.mamoshin@mail.ru

Seryogina Evgeniya Sergeevna
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Student of the Department of
Instrument Engineering, Metrology
and Certification,
Trainee–researcher of Research and
Development Center of Biomedical
Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7–4862–41–98–37
E-mail: e.s.seryogina@gmail.com

Potapova Elena Vladimirovna
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., senior researcher of Research
and Development Center of
Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7–4862–41–98–37
E-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru

Shepeleva Anastasia Ivanovna
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Student of Medical Institute
302028, Orel, Oktyabrskaya street, 25
Ph.: +79202802156
E-mail: nastena_shepeleva@mail.ru

Dunaev Andrey Valerievich
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., leading researcher of Research
and Development Center of
Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7–4862–41–98–37
E-mail: dunaev@bmeccenter.ru

Alyanov Aleksandr Leonidovich
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
M. D., associate professor, surgeon,
Orel Regional Clinical Hospital,
Head of the Department of General
Surgery and Anesthesiology,
302028, Orel, Oktyabrskaya street, 25
Ph.: +7–4862–41–98–37
E-mail: tantoras@mail.ru

Ivanov Anton Evgenievich
Saint–Petersburg Electrotechnical
University ETU "LETI"
Student of the Department of Micro–
and Nanoelectronics
197376, Saint Petersburg, Professora
Popova St., 5a.
Ph.: +7 812 234–31–64
E-mail: kafedraMNE@mail.ru

Aladov Andrey Valmenovich
Submicron Heterostructures for
Microelectronics Research and
Engineering Center of the RAS.
Senior researcher of Submicron
Heterostructures for Microelectronics
Research and Engineering Center
194021, St. Petersburg, 26
Politekhnikeskaya St.,
E-mail: aaladov@mail.ioffe.ru