

А.Н. Куликов, А.Н. Власенко, Д.С. Мальцев,
А.В. Коваленко, И.Ю. Коваленко

Клинические случаи повреждения глаз излучением лазерных указок

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. В настоящее время широко распространены портативные оптические квантовые генераторы волн видимого диапазона, так называемые лазерные указки. При нарушении техники безопасности возможно случайное попадание узконаправленного луча в глаз с высокой вероятностью повреждения его структур. Наибольшей опасностью обладает лазерное излучение в диапазоне от 400 до 1400 нм (видимый свет и ближняя инфракрасная часть электромагнитного спектра), поскольку оно беспрепятственно проходит через прозрачные оптические среды глаза, фокусируется на сетчатке с увеличением плотности мощности от 4 до 10 раз и приводит к ее фотоожогу. Степень повреждения глаза зависит, главным образом, от таких физических параметров, как длительность экспозиции, плотность мощности, длина волны и режим работы лазера (импульсный или непрерывный), а также индивидуальных особенностей глаза. Могут возникать как слабые ожоги сетчатки, с незначительными изменениями зрительных функций, так и тяжелые поражения, приводящие к снижению зрения и даже к его полной утрате. Основными поглотителями (хромофорами) энергии лазерного излучения оптического диапазона на глазном дне являются меланин пигментного эпителия сетчатки и меланоциты сосудистой оболочки, а также гемоглобин. Наиболее опасными для органа зрения считаются синие лазеры за счет большей поглощаемости данного спектра хромофорами. Особенностями лазерного излучения ближнего инфракрасного диапазона (в отличие от видимого света) являются проникновение его даже в непрозрачную для видимого спектра склеру, более глубокое повреждение сосудистой оболочки и его невидимость для глаза, что притупляет бдительность пользователей и может способствовать развитию более тяжелых поражений. Приведено описание двух случаев поражения глаз с позиции мультимодальной диагностики (использование нескольких клинических методик визуализации патологических изменений), вызванных излучением лазерных указок зеленого и синего цветов. Существенно облегчит диагностику и объективизировать степень нарушений структур сетчатки после попадания лазерного луча непосредственно в глаз позволит внедрение в клиническую практику инфракрасной офтальмоскопии и оптической когерентной томографии.

Ключевые слова: лазеры, лазерная указка, сетчатка, повреждения сетчатки, острота зрения, инфракрасная офтальмоскопия, оптическая когерентная томография.

Введение. Особенности лазерного луча, такие как монохроматичность, временная и пространственная когерентность, малая расходимость, создают исключительно высокое энергетическое воздействие, вызывающее при соответствующей экспозиции локальный термический и механический эффекты. При этом выраженность и характер повреждения биологических тканей зависит, главным образом, от таких физических параметров лазерного излучения (ЛИ), как плотность потока мощности или энергии, длина волны, время облучения, а также спектральных свойств самой ткани (наличия в ней хромофоров) [1, 9]. Анализ биологического воздействия ЛИ на животных и человека позволяет сделать однозначный вывод о большей подверженности, а следовательно, и значимости поражения органа зрения.

ЛИ – это стимулированное электромагнитное излучение (ЭМИ) оптического диапазона, которое в соответствии с биологическим действием лазерного луча делится на следующие области спектра: 200–400 нм – ультрафиолетовая область (длинный диапазон); 400–780 нм – видимый диапазон; 780–1400 нм – ближний инфракрасный (ИК), 1400–3000 нм – средний ИК, более 3000 нм – дальний ИК-диапазон.

Существующая классификация опасности ЛИ в зависимости от степени повреждения глаз и кожного

покрова предполагает установление четырех классов – от безопасного до высокоопасного:

1 класс (безопасное) – выходное ЛИ не опасно для глаз;

2 класс (малоопасное) – прямое или зеркально-отраженное ЛИ опасно для глаз;

3 класс (среднеопасное) – прямое, зеркальное, а также диффузно-отраженное ЛИ опасно для глаз на расстоянии 10 см от отражаемой поверхности и (или) для кожи – прямое или зеркально-отраженное;

4 класс (высокоопасное) – диффузно-отраженное ЛИ опасно для кожи на расстоянии 10 см от отражаемой поверхности.

Эта классификация определяет специфику воздействия ЛИ на «критические» органы, а также позволяет организовать мероприятия по обеспечению безопасности при работе с источниками ЛИ [1, 4, 6].

При прямом попадании в глаз лазерного луча с длиной волны в видимой и ближней ИК-части спектра ЛИ беспрепятственно проходит через оптические среды глаза (роговицу, влагу передней камеры, хрусталик и стекловидное тело) и достигает сетчатой оболочки. Основными поглотителями энергии хромофорами ЛИ на глазном дне являются меланин пигментного эпителия сетчатки и меланоциты сосудистой оболочки, а также гемоглобин крови. Сетчатка поглощает около

10% коротковолнового сине-зеленого излучения, при этом опасность повреждения нервных волокон сетчатки в макулярной области еще более возрастает, поскольку желтый пигмент интенсивно поглощает сине-зеленое (особенно синюю составляющую) излучение. Поэтому синие лазеры и считаются более опасными для органа зрения [1].

Особенностями ЛИ ближнего ИК-диапазона (в отличие от видимого света) являются проникновение его в склеру (на глубину до 1 см), более глубокое повреждение сосудистой оболочки (за счет более высокой проникающей способности) и его невидимость для глаза, что притупляет бдительность пользователей и может способствовать развитию более серьезных поражений. Что касается ЛИ с длиной волны свыше 1400 нм (средний и дальний ИК-диапазоны), то оно не проникает через роговицу, соответственно не доходит и до сетчатки глаза, но может вызывать повреждение вспомогательных органов глаза и роговицы [5, 7, 8].

Известно, что ЛИ большой интенсивности повреждает все слои сетчатки: возникает ожог сетчатки, а при поражении сосудов может развиться кровоизлияние в сетчатку и стекловидное тело. В последующем на месте ожога формируется рубец, ведущий к стойкому снижению зрения. Такое ЛИ используется в так называемых бытовых лазерах, доступных широкому кругу пользователей.

Э.В. Бойко, М.М. Шишкин, Ю.Д. Березин [1], А.И. Черепнин и др. [5] указывают на то, что за счет эффекта фокусирования, плотность потока энергии на сетчатке может быть в 4–5 (до 10) раз выше, чем на роговице глаза, что может приводить к карбонизации, абляции тканей и фоторазрыву.

Следовательно, даже «безопасные» мощности ЛИ при попадании в глаз могут вызвать серьезные травмы. В основном это лазерные указки, представляющие собой портативные оптические квантовые генераторы волн видимого диапазона с узконаправленным ЛИ различных цветов (красного, зеленого, синего и др.), обусловленных разной длины волны. В зависимости от конструктивных особенностей их мощность колеблется от 1 мВт до 10 Вт (чаще в диапазоне 1–50 мВт). Применяют лазерные указки в образовательной сфере, при презентации научных докладов, в планетариях, в радиолюбительской практике. Нередко люди недостаточно осведомлены об их серьезной опасности для глаз в случаях пренебрежения правилами безопасности.

Цель исследования. Оценить последствия воздействия излучения лазерных указок на орган зрения.

Материалы и методы. Объектом исследования стали два пациента в возрасте 21 и 18 лет, которые подверглись попаданию луча лазерной указки непосредственно в глаз с последующим за этим поражением сетчатки в макулярной области.

В обоих случаях офтальмологическое обследование включало как стандартные методики – визометрию, биомикроскопию, кинетическую и статическую

периметрию, бинокулярную офтальмоскопию, так и высокотехнологические методики, в частности оптическую когерентную томографию (ОКТ) сетчатки макулярной области на приборе «RTVue-100» фирмы «Optovue» (Соединенные Штаты Америки) и инфракрасную сканирующую лазерную офтальмоскопию (СЛО) на конфокальном сканирующем офтальмоскопе «F-10» фирмы «NIDEK» (Япония).

ОКТ и СЛО проводили с целью анализа морфологических изменений сетчатки, плохо различимых при обычной офтальмоскопии.

ОКТ – бесконтактная и высокоточная методика исследования, позволяющая получить поперечный срез сетчатки *in vivo*. Томограф «RTVue-100» использует в качестве источника ЛИ сверхлюминисцентный диод, проецирующий на сетчатку глаза сканирующий луч в диапазоне 830 ± 10 нм. Интерферометр данного томографа с помощью электронных схем получает, обрабатывает и сохраняет информацию о задержке эхосигналов от сетчатки. Для реконструкции изображения (томограммы) поперечного среза сетчатки глаза используется от 256 до 16384 А-сканов. Томограммы отражаются в реальном времени посредством цветовой шкалы, представляющей количество света, рассеянного тканями на разной глубине сетчатки. Существует возможность выбрать отдельные томограммы и сохранить их для последующего анализа. Благодаря ультравысокой скорости исследования, повышенной разрешающей способности «RTVue-100» позволяет значительно расширить протоколы исследования и повысить точность оценки состояния структур глазного дна, нивелировав артефакты от движения глаз [2, 3].

В свою очередь СЛО обладает высокой чувствительностью в целях верификации лазерных коагулятов, в частности при повреждениях, вызванных ЛИ. Существенным преимуществом данной методики является визуализация дефектов нейроэпителия даже при наличии помутнений в стекловидном теле. В отношении оценки отслоек нервного эпителия чувствительность методики настолько высока, что позволяет выявить не только зоны текущей отслойки, но и зоны прилегшей сетчатки, а также дифференцировать отек нейроэпителия. В приборе «F-10» реализовано 3 режима СЛО: обычный, темнопольный и ретро-режим. Ретро-режим объективизирует именно границы раздела сред/тканей заднего сегмента, такие как дефект нейроэпителия (основной и дополнительный разрыв) и зону плоской отслойки сетчатки по периферии от разрыва, интратетинальное скопление жидкости [8].

Результаты и их обсуждение. Клинический случай № 1. Пациент С., 21 г., обратился в клинику офтальмологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (ВМА) с жалобами на снижение остроты зрения и контрастности изображения на правом глазу.

Со слов пациента, данные нарушения зрения появились после попадания в правый глаз излучения лазерной указки зеленого цвета (532 нм), однако за

медицинской помощью он обратился только через 3 месяца после травмы.

При офтальмологическом осмотре выявлена острота зрения левого глаза 1,0. Вспомогательные органы и глазное яблоко без патологии.

Острота зрения правого глаза – 0,6 (рефракция эметропическая). Вспомогательные органы и передний сегмент глазного яблока без патологии. При кинетической периметрии в центральном поле зрения отмечаются абсолютные и относительные микрокотомы общей площадью 16 мм². При центральной статической периметрии выявлено снижение световой чувствительности сетчатки в центральных отделах. При офтальмоскопии обнаружен пигментированный очаг в парафовеолярной области (рис. 1). По данным ОКТ и СЛО выявлен дефект наружных слоев пигментного эпителия сетчатки (рис. 2).

Клинический случай № 2. Пациент Т., 18 лет, обратился в клинику офтальмологии ВМА с жалобами на снижение остроты зрения и наличие темного пятна перед левым глазом, ощущение «искривления прямых линий». Перечисленные нарушения возникли через несколько часов после попадания в глаз с расстояния около 3 м излучения лазерной указки синего цвета. За медицинской помощью обратился только через 6 месяцев после травмы. Тип источника и его характеристики установить не удалось, однако известно, что большинство синих лазерных указок относят к 4 классу лазерной опасности (высокоопасные).

По данным офтальмологического осмотра, острота зрения правого глаза с коррекцией – 1,0. Вспомогательные органы и глазное яблоко без патологии. Острота зрения левого глаза с коррекцией – 0,1 (рефракция миопическая). Вспомогательные органы и передний сегмент глазного яблока без патологии.

Исследование центрального поля зрения выявило абсолютную центральную скотому, которая при офтальмоскопии сопровождалась визуализацией точечного участка белесоватого цвета в макулярной области левого глаза (рис. 3), а СЛО и ОКТ позволили

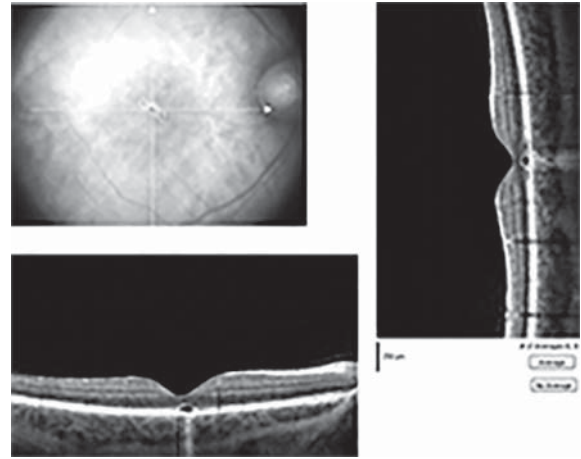


Рис. 2. Изображения результатов инфракрасной офтальмоскопии и оптической когерентной томографии пациента через 3 месяца после поражения лазерным излучением (лазерной указкой). В центре фовеа определяется участок атрофии пигментного эпителия и слоя фоторецепторов

обнаружить в этом же месте разрыв шириной до 400 мкм с утолщенными (более 400 мкм) и кистозноизмененными краями (рис. 4).

Таким образом, приведенные наблюдения свидетельствуют о том, что даже кратковременное случайное попадание в глаз излучения лазерной указки (в нашем случае предположительно синего и зеленого спектра) приводит к развитию структурных повреждений сетчатки области макулы.

Заключение. Несоблюдение правил техники безопасности при использовании лазерных указок может вызвать случайное поражение органа зрения прямым или отраженным лучом.

При оценке воздействия ЛИ на глаз необходимо учитывать, что наиболее серьезные и прогностически неблагоприятные последствия вызываются излучениями видимого спектра и ближнего ИК-диапазона (с длинами волн от 400 до 1400 нм), для которых

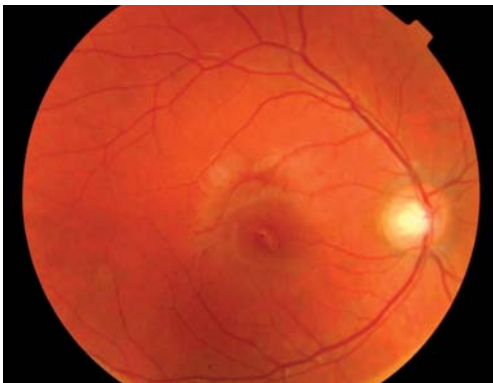


Рис. 1. Глазное дно пациента через 3 месяца после поражения лазерным излучением (лазерной указкой). В парафовеолярной области определяются точечные пигментные включения, острота зрения – 0,6

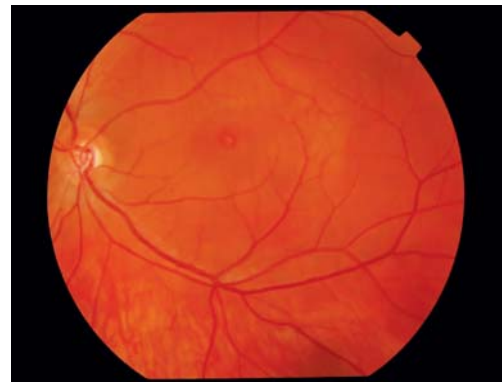


Рис. 3. Глазное дно пациента через 6 месяцев после поражения лазерным излучением (лазерной указкой). В центре фовеа определяется округлый дефект сетчатки, острота зрения – 0,1

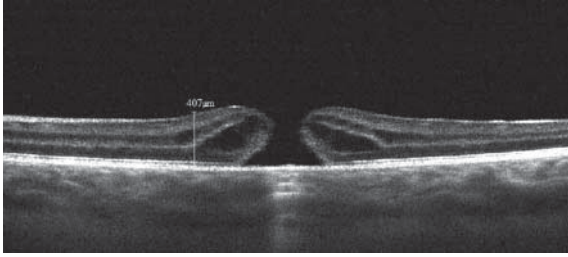


Рис. 4. Изображение результатов оптической когерентной томографии пациента через 6 месяцев после поражения лазерным излучением (лазерной указкой). В центре фовеа определяется разрыв сетчатки с приподнятыми отечными краями

оптические среды глаза прозрачны. За счет эффекта фокусирования плотность потока энергии на сетчатке может быть в 4 – 5 и более (до 10) раз выше, чем на роговице глаза. Таким образом, высокому риску подвергается функционально наиболее значимый элемент глаза – сетчатка, в которой располагаются хромофоры, играющие роль приемников излучения (меланин пигментного эпителия сетчатой оболочки) а при воздействии ЛИ ближнего ИК-диапазона риску дополнительно подвергаются и меланоциты сосудистой оболочки. При этом повреждение может иметь достаточно тяжелый характер даже при низкоинтенсивном источнике ЛИ.

Степень повреждения глаза главным образом зависит от таких физических параметров, как время облучения, плотность мощности, длина волны и режим работы лазера (импульсный или непрерывный), а также индивидуальных особенностей глаза. Могут возникать как слабые ожоги сетчатки, с незначительными изменениями зрительных функций, так и тяжелые поражения, приводящие к снижению зрения и даже к его полной потере.

Существенно облегчить диагностику и объективизировать степень нарушений структур сетчатой оболочки после попадания ЛИ непосредственно в глаз позволит внедрение в клиническую практику инфракрасной сканирующей лазерной офтальмоскопии и ОКТ.

Представленные клинические случаи имеют большой практический интерес в плане санитарно-просветительской работы по профилактике таких повреждений.

Литература

1. Бойко, Э.В. Диодный лазер в офтальмологической операции / Э.В. Бойко, М.М. Шишкин, Ю.Д. Березин. – СПб., 2000. – 30 с.
2. Качерович, П.А. Использование оптической когерентной томографии в диагностике поражений глаз газовым оружием самообороны / П.А. Качерович [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2017. – № 4 (60). – С. 91–94.
3. Мальцев, Д.С. Оптическая когерентная томография в диагностике и лечении центральной серозной хориоретинопатии / Д.С. Мальцев [и др.] // Вестн. офтальмол. – 2018. – Т. 134, № 6. – С. 15–24.
4. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров (СанПин 5804-91). – М.: Минздрав РФ, 2018. – 48 с.
5. Черепнин, А.И. Клинические случаи повреждения сетчатки в быту инфракрасным излучением лазерной указки / А.И. Черепнин [и др.] // Современные технологии в офтальмологии. – 2018. – № 2. – С. 280–282.
6. Фисун, А.Я. Поражение лазерным излучением. Избранные лекции по профессиональной патологии у военнослужащих: учебное пособие / А.Я. Фисун. – СПб.: Фолиант, 2018. – С. 155–166.
7. Boiko, E.V. Midinfrared laser pancorneal coagulation as a method of treatment for painful bullous keratopathy E.V. Boiko, D.S. Maltsev, A.V. Yan // Cornea. – 2013. – Vol. 32, № 10. – P. 1349–1353.
8. Boiko, E.V. Retro-mode scanning laser ophthalmoscopy planning for navigated macular laser photocoagulation in macular edema // E.V. Boiko, D.S. Maltsev // J. Ophthalmol. – 2016; 2016:3726353
9. Smalley, P.J. Laser safety: risks, hazards and control measure / P.J. Smalley // Laser Therapy – 2011. – № 20 (2). – P. 95–106.

A.N. Kulikov, A.N. Vlasenko, D.S. Maltsev, A.V. Kovalenko, I.Yu. Kovalenko

Retinal injury from laser pointers: case series

Abstract. Nowadays optical quantum generators of visible electromagnetic spectrum are widely adopted for non-professional use as portable devices, so called laser pointers. When safety regulations are abused by users, an accidental exposition of the laser beam to the eye, potentially resulting in injury, become possible. The most harmful effect is associated with laser sources of 400 to 1400 nm (visible and near infrared wavelengths) since these wavelengths are highly penetrative in optical media. Being focused by optical system of the eye, laser beam became increased in power density by factor 4 to 10 therefore even low – power devices are potentially dangerous. Severity of laser damage mostly depends on few laser-related variables including exposition, power density, wavelength, and operating mode (pulse or continuous). Additionally, individual variability in anatomy of the eye defines the resultant damage. Therefore, the spectrum of laser injuries of the eye varies significantly from subclinical damage with no functional loss to those resulting in profound visual deterioration. There are two main acceptors for visible or near-infrared light within the eye fundus: melanin of the retinal pigment epithelium and the choroid and hemoglobin. From this point of view, short-wavelength (e.g. blue spectrum) lasers are more dangerous in terms of intraocular damage. On the other hand, compared to visible spectrum, near-infrared lasers can penetrate some non-transparent tissues such as sclera and also penetrates deep in the choroid. Moreover, this wavelength is invisible for the human eye and therefore potentially more dangerous. We presented two cases of leaser injury of the eye caused by green and blue laser pointers, based on multimodal approach (visualization of the posterior eye segment abnormalities using several methods). Multimodal approach, namely infrared scanning laser ophthalmoscopy and optic coherence tomography add precision in assessment of severity of retinal damage and can substantially improve diagnosis of laser injuries of posterior eye segment.

Key words: laser photocoagulation, laser pointer, retina, retinal injury, visual acuity, scanning laser ophthalmoscope, optical coherence tomography.

Контактный телефон: +7-911-987-06-91; e-mail: vmeda-nio@mail.ru