

Морфологические исследования кадаверной склеры после непроникающей Nd: YAG-лазерной склеротомии

А.Е. Синеок — канд. мед. наук, научный сотрудник¹, врач-офтальмолог офтальмологического микрохирургического отделения²

А.В. Золотарев — д-р мед. наук, профессор, директор¹, заведующий кафедрой офтальмологии¹, главный врач²

Г.А. Николаева — заведующая патогистологической лабораторией^{1, 2}

¹ ФГБОУ ВО СамГМУ, научно-исследовательский институт глазных болезней, 443099, Самара, ул. Чапаевская, д. 89

² ГБУЗ «Самарская областная клиническая офтальмологическая больница им. Т.И. Ерошевского», 443068, Самара, ул. Ново-Садовая, д. 158

Цель — выявить изменения морфологического строения склеры кадаверных человеческих глаз после излучения Nd: YAG-лазера. **Материал и методы.** Лазерные импульсы Nd: YAG (Lumenis) мощностью от 7,0–7,4 мВт (длительность импульса — 4 нс, длина волны — 1064 нм) подавались на склеру изолированного глазного яблока на расстоянии от 4 до 8 мм от лимба. Применяли 3 типа излучения: фокусировали один ряд одиночных импульсов, затем ряд из трехкратных импульсов и ряд из шестикратных импульсов. **Результаты.** В случае одиночных импульсов выявлены незначительные дефекты поверхностных слоев склеры. При трехкратном импульсе дефект передних слоев склеры достигал 15 % толщины склеры, а при шестикратном импульсном излучении — до 30 % ее толщины. **Заключение.** Для получения точечного отверстия в склере недостаточно одиночного импульса Nd: YAG, для значимой глубины надреза склеры необходим как минимум трехкратный импульс, что необходимо учитывать в клинической практике и при оценке результатов воздействия Nd: YAG-лазера на ригидность фиброзной оболочки глаза.

Ключевые слова: склера, ригидность глаза, склеротомия, Nd: YAG-лазер.

Для цитирования: Синеок А.Е., Золотарев А.В., Николаева Г.А. Морфологические исследования кадаверной склеры после непроникающей Nd: YAG-лазерной склеротомии. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (4): 64–7. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-4-64-67

Для проведения разрезов склеры используют разные типы лазеров, в частности Ег: YAG-лазер, СО-лазер, эксимерный лазер [1–5], для рассечения рубцовых тканей фильтрационной подушки применялся Nd: YAG-лазер [6, 7]. В зависимости от длины волны, мощности и длительности импульса можно получить различные морфологические изменения в склере [8]. Так, при воздействии эрбиевого лазера с длиной волны 1,56 мкм в квазинепрерывном режи-

ме генерации 200/200 мкс, кроме коагулирующего эффекта на цилиарное тело, авторами обнаружено формирование микропор в строме склеры, что, возможно, повышает ее гидропроницаемость [1–3]. Лазерная непроникающая склеротомия у больных терминальной глаукомой с помощью Nd: YAG-лазера вызывала гипотензивный эффект, связанный, по данным авторов, со снижением ригидности фиброзной капсулы [9]. Влияние изменения ригидности

фиброзной оболочки (ее биомеханических свойств) на гидродинамику глаза показано в эксперименте на животных, где использовали терапевтический подход — ферментный лизис поперечных сшивок коллагена склеры [10]. Но в случае лазерной склеротомии невозможно быть полностью уверенным в том, что Nd: YAG-лазер в указанных режимах способен выполнить надрез склеры и тем самым снизить ее ригидность и увеличить отток внутриглазной жидкости, так как недостаточно полно описаны возможные морфологические изменения склеры после такого воздействия, неизвестно также его влияние на ригидность глаза и биомеханические свойства фиброзной капсулы. В связи с этим нам представляется актуальным изучение морфологических изменений склеры изолированного кадаверного человеческого глаза после воздействия Nd: YAG-лазера.

ЦЕЛЬ работы — оценка изменений морфологического строения склеры кадаверных человеческих глаз после излучения Nd: YAG-лазера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нами исследовано одно кадаверное человеческое глазное яблоко, сроки его энуклеации — 24 ч (возраст умершего — 45 лет). В исследовании применялась установка Nd: YAG-лазер, встроенная в щелевую лампу (AURA PT/II, Lumenis). Мощность лазерного импульса, максимально возможная для данного устройства, составила порядка 7,0–7,4 мВт. В области верхнего сегмента склеры в 4–8 мм от лимба фокусировался луч Nd: YAG-лазерной установки длиной волны 1064 нм, длительность импульса составила 4 нс. В зоне воздействия использовано 3 типа лазерного излучения. При первом типе выполняли меридиональный ряд из 10 одиночных импульсов на расстоянии порядка 1–1,5 мм друг от друга. Во втором случае формировали такой же ряд с фокусировкой тройного импульса той же мощности на расстоянии в 3–4 мм от соседнего ряда. В третьем случае формировали ряд, где в одну точку фокусировали до 6 импульсов. Затем глазное яблоко фиксировали в 10 % нейтральном забуференном формалине, дегидратировали по нисходящим спиртам, заливали в гистомикс и готовили серийные срезы толщиной 15 мкм. Срезы окрашивали гематоксилин-эозином. Препараты парафиновых меридиональных и сагиттальных срезов зоны лазерного воздействия склеры исследовали с помощью световой микроскопии. Фотосъемку гистологических препаратов проводили цифровым фотоаппаратом с трансформацией на персональный компьютер.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные экспериментальные исследования воздействия разных типов лазеров показали, что эффективность разреза биологических тканей зависит от степени поглощения излучения белковыми компонентами [8]. Чем больше лазер

поглощается белками (ультрафиолетовые лазеры), тем более выражен эффект абляции ткани без распространения тепла вокруг, и наоборот, чем сильнее лазер поглощается водой (инфракрасные лазеры), тем менее выражен эффект абляции и более выражен термический эффект окружающих тканей [8]. Это особенно важно в хирургии глаукомы, так как именно термический ожог окружающих тканей является стимулятором рубцовых процессов области оперативного вмешательства [11, 12]. При выполнении лазерной абляции склеры, по данным Т. Klink и соавт. [3], наименьшим термическим повреждением обладает эксимерный лазер, коагуляция тканей распространяется в зоне от 10 до 30 мкм, в отличие от эрбиевого и углекислого лазера, где теплоотдача обнаруживается в более широких областях: от 70 до 100 мкм. Nd: YAG-лазер с длительностью импульса 4 нс можно отнести к промежуточному воздействию. С одной стороны, Nd: YAG-лазер с длиной волны 1064 нм относится к инфракрасным лазерам, значит, его излучение хорошо поглощается водой, но благодаря ультракороткому импульсу коагуляция окружающих тканей происходит незначительно, в результате разрыв ткани происходит за счет мгновенного испарения воды и образования микропузырьков. В то же время ультракороткий импульс имеет недостаток — малую глубину проникновения лазера в ткань [8], что мы и наблюдали при оценке первого типа лазерного излучения в виде одиночных импульсов. Найдены крайне малые по глубине кратеры абляции (рис. 1).

В случае второго типа лазерного излучения отмечается более глубокий кратер абляции — на

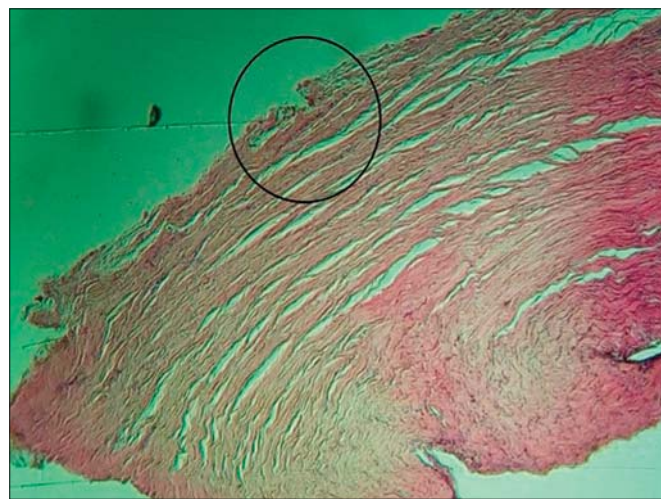


Рис. 1. Гистологический препарат сагиттального среза склеры после локального воздействия Nd: YAG-лазера (один импульс). Поверхностные кратеры абляции различной формы обведены кружком. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 10 × 15.

Fig. 1. Histological specimen of the sagittal section of the sclera after local exposure to the Nd: YAG-laser (one pulse). Surface craters of ablation of various shapes are circled. Staining by hematoxylin-eosin, magnification is 10 × 15.

глубину до 15 % толщины склеры. По краям кратера наблюдаются признаки термической коагуляции фибрилл (рис. 2).

При третьем типе лазерного воздействия отмечается более глубокий дефект передних слоев склеры (рис. 3).

Таким образом, глубина кратера абляции склеры после лазерного излучения Nd: YAG-лазера зависит от количества импульсов. Анализ глубины надреза склеры показывает следующую зависимость: на каждые 3 импульса приходится в среднем 15 % глубины склеры.

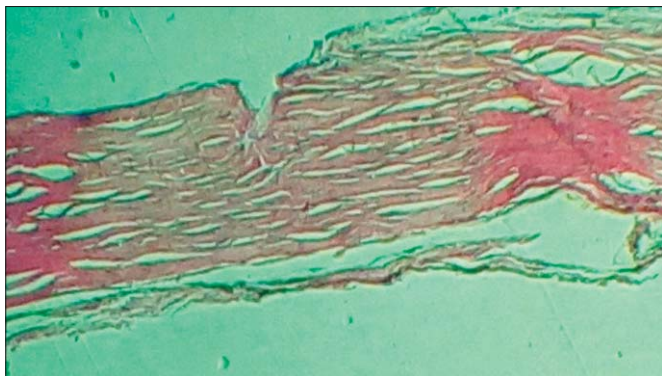


Рис. 2. Гистологический препарат сагиттального среза склеры после локального излучения Nd: YAG-лазера (3 импульса). Глубина кратера абляции составляет до 15 % толщины склеры. Наблюдается термическая коагуляция стенок кратера. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 10 × 15.

Fig. 2. Histological specimen of sagittal section of sclera after local radiation of Nd: YAG-laser (3 pulses). The depth of the ablation crater is up to 15 % of the scleral thickness. Thermal coagulation of the walls of the crater is observed. Staining by hematoxylin-eosin. Magnification is 10 × 15.

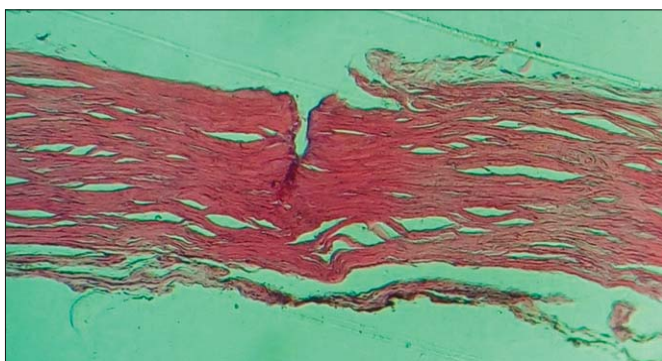


Рис. 3. Гистологический препарат сагиттального среза склеры после локального воздействия Nd: YAG-лазера (6 импульсов). Виден глубокий кратер с расширением полости внутри. Выраженные признаки термической коагуляции фибрилл в стенках и частичной карбонизации дна кратера. Глубина надреза составила до 30 % толщины склеры. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 10 × 15.

Fig. 3. Histological specimen of sagittal section of sclera after local exposure to Nd: YAG-laser (6 pulses). A deep crater with a widening of the cavity is visible inside. Expressed signs of thermal coagulation of fibrils in the walls and bottom of the crater of partial carbonization. The depth of the incision was up to 30 % of the scleral thickness. Staining by hematoxylin-eosin. Magnification is 10 × 15.

ВЫВОДЫ

После воздействия одиночных импульсов Nd: YAG-лазера на кадаверную склеру выявлены незначительные фокусы разрушения ее поверхностных фибрилл.

После трехкратного и шестикратного импульса Nd: YAG-лазера выявлены зияющие воронки в фибриллах передних слоев склеры с термической коагуляцией ее стенок и дна. Глубина воронки увеличивалась в среднем на каждые 3 импульса мощностью 7,0–7,4 мВт на 15 % толщины стромы склеры.

Можно предположить, что для получения возможных изменений ригидности фиброзной оболочки необходимо нанести трансклерально на глазное яблоко не менее 3 импульсов в указанных режимах Nd: YAG-лазера.

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Литература

1. Аветисов С.Э., Большунов А.В., Хомчик О.В. и др. Лазер-индуцированное повышение гидропроницаемости склеры в лечении резистентных форм открытоугольной глаукомы. Национальный журнал глаукома. 2015; 14 (2): 5–13.
2. Большунов А.В., Хомчик О.В., Соболев Э.Н. и др. Способ лечения резистентных форм открытоугольной глаукомы. Патент РФ № 2463029; 2012.
3. Klink T., Schlunck G., Lieb W., Klink J., Grehn F. CO₂, excimer and erbium: YAG laser in deep sclerectomy. Ophthalmologica. 2008; 222 (2): 74–80. <https://doi.org/10.1159/000112622>
4. Jacobi P.C., Dietlein T.S., Kriegelstein G.K. Prospective study of ab externo erbium:YAG laser sclerostomy in humans. Am. J. Ophthalmol. 1997; 123 (4): 478–86. [http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)70173-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9394(14)70173-4)
5. Iwach A.G., Hoskins H.D. Jr., Drake M.V., Dickens C.J. Subconjunctival THC:YAG (holmium) laser thermal sclerostomy ab externo. A one-year report. Ophthalmology. 1993; 100 (3): 356–65. [http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(93\)31641-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(93)31641-6)
6. Latina M.A., Rankin G.A. Internal and transconjunctival neodymium:YAG laser revision of late failing filters. Ophthalmology. 1991 98 (2): 215–21. [http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(91\)32314-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(91)32314-5)
7. Weber P.A., Jones J.H., Kapetansky F. Neodymium: YAG transconjunctival laser revision of late-failing filtering blebs. Ophthalmology. 1999; 106 (10): 2023–6. doi: 10.1016/S0161-6420(99)90418-9
8. Шахно Е.А. Физические основы применения лазеров в медицине. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; 2012.
9. Рябцева А.А., Сергушев С.Г., Хомякова Е.Н., Кошиц И.Н. Способ лечения глаукомы. Патент РФ № 2366392; 2009.
10. Иомдина Е.Н., Киселева О.А., Назаренко Л.А., Игнатъева Н.Ю., Багратишвили В.Н. Влияние биомеханических свойств корнеосклеральной капсулы глаза на гидродинамику внутриглазной жидкости. Биомедицина. 2012; 3: 25–34.
11. Baum O.I., Sobol E.N., Bolshunov A.V., et al. Microstructural changes in sclera under thermo-mechanical effect of 1.56 μm laser radiation increasing transscleral humor outflow. Lasers Surg Med. 2014; 46 (1): 46–53. doi: 10.1002/lsm.22202
12. Pallikaris I.G., Kozobolis V.P., Christodoulakis E.V. Erbium: YAG laser deep sclerectomy: an alternative approach to glaucoma surgery. Ophthalmic Surg. Lasers Imaging. 2003; 34 (5): 375–80. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14509460>

Поступила: 26.10.2017

Morphological studies of the cadaveric sclera after nonpenetrating sclerotomy by Nd: YAG laser

A.E. Sineok — Cand. Med. Sci., ophthalmologist of 4nd surgical department^{1, 2}

A.V. Zolotarev — Dr. Med. Sci., Professor, director¹, head of the ophthalmological department¹, chief doctor²

G.A. Nikolaeva — head of the pathohistological laboratory^{1, 2}

¹Samara State Medical University, Research Institute of Eye Diseases, 89, Chapayevskaya St., Samara, 443099, Russia

²Samara T.I. Eroshevskiy regional clinical ophthalmological hospital, 158, Novo-Sadovaja St., Samara, 443068, Russia

sineokae@mail.ru

Purpose: to reveal the changes of the morphological structure of cadaveric human sclera after Nd: YAG laser irradiation. **Material and methods.** Laser pulses (Nd: YAG) (Lumenis) (power 7.0–7.4 mW, pulse duration 4 ns, wavelength 1064 nm) were applied to the sclera of an isolated eyeball at a distance of 4 to 8 mm from the limbus. Three irradiation types were used: one series of single pulses, a series of triple pulses, and a series of six pulses. **Results.** Incisions created with single pulses showed insignificant surface defects of the sclera. In triple pulses, the defect of the anterior layers of the sclera capture affected 15 % of the scleral thickness, and in six pulses the defect reached 30 % of the scleral thickness. **Conclusions.** To achieve a punctate hole in the sclera, a single Nd: YAG pulse is insufficient. To obtain a significant depth of scleral incision at least a triple pulse is needed, which must be taken into account in clinical practice as well as in assessing the results of Nd: YAG laser impact on the rigidity of the sclera.

Keywords: sclera, ocular rigidity, sclerotomy, Nd: YAG-laser.

For citation: Sineok A.E., Zolotarev A.V., Nikolaeva G.A. Morphological studies of the cadaveric sclera after nonpenetrating sclerotomy by Nd: YAG laser. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (4): 64–7 (In Russian). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-4-64-67

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

References

1. Avetisov S.E., Bol'shunov A.V., Khomchik O.V., et al. Laser-induced increase in scleral hydroporability in the treatment of resistant forms of open-angle glaucoma. *Natsional'nyy zhurnal glaukoma*. 2015; 14 (2): 5–13 (in Russian).
2. Bol'shunov A.V., Khomchik O.V., Sobol' E.N., et al. The method of treatment of resistant forms of open-angle glaucoma. Patent RF № 2463029; 2012. (Byull. 28) (in Russian).
3. Klink T., Schlunck G., Lieb W., Klink J., Grehn F. CO₂ excimer and erbium: YAG laser in deep sclerectomy. *Ophthalmologica*. 2008; 222 (2): 74–80. <https://doi.org/10.1159/000112622>
4. Jacobi P.C., Dietlein T.S., Krieglstein G.K. Prospective study of ab externo erbium:YAG laser sclerostomy in humans. *Am. J. Ophthalmol.* 1997; 123 (4): 478–86. [http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)70173-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9394(14)70173-4)
5. Iwach A.G., Hoskins H.D.Jr., Drake M.V., Dickens C.J. Subconjunctival THC: YAG (holmium) laser thermal sclerostomy ab externo. A one-year report. *Ophthalmology*. 1993; 100 (3): 356–65. [http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(93\)31641-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(93)31641-6)
6. Latina M.A., Rankin G.A. Internal and transconjunctival neodymium: YAG laser revision of late failing filters. *Ophthalmology*. 1991; 98 (2): 215–21. [http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(91\)32314-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(91)32314-5)
7. Weber P.A., Jones J.H., Kapetansky F. Neodymium: YAG transconjunctival laser revision of late-failing filtering blebs. *Ophthalmology*. 1999; 106 (10): 2023–6. doi: 10.1016/S0161-6420(99)90418-9
8. Shakhno E.A. Physical principles of the use of lasers in medicine. Sankt Petersburg: NIU ITMO; 2012 (in Russian).
9. Ryabtseva A.A., Sergushev S.G., Khomyakova E.N., Koshits I.N. The method of treatment of glaucoma. Patent RF № 2366392; 2009 (in Russian).
10. Iomdina E.N., Kiseleva O.A., Nazarenko L.A., Ignat'eva N.Yu., Bagratashvili V.N. Influence of biomechanical properties of the corneoscleral capsule of the eye on the hydrodynamics of the intraocular fluid. *Biomeditsina*. 2012; 3: 25–34 (in Russian).
11. Baum O.I., Sobol E.N., Bolshunov A.V., et al. Microstructural changes in sclera under thermo-mechanical effect of 1.56 μm laser radiation increasing transscleral humor outflow. *Lasers Surg Med.* 2014; 46 (1): 46–53. doi:10.1002/lsm.22202
12. Pallikaris I.G., Kozobolis V.P., Christodoulakis E.V. Erbium: YAG laser deep sclerectomy: an alternative approach to glaucoma surgery. *Ophthalmic Surg. Lasers Imaging*. 2003; 34 (5): 375–80. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14509460>

Для контактов: Синеок Андрей Евгеньевич
E-mail: sineokae@mail.ru