

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ОБРАБОТКИ КАТАРАКТАЛЬНОГО ХРУСТАЛИКА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА МИКРОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ Yb,Er:GLASS-ЛАЗЕРА

А. В. БЕЛИКОВ¹, А. М. ЗАГОРУЙКО², С. Н. СМИРНОВ¹

¹Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: s.n.smirnov@inbox.ru

²Санкт-Петербургский филиал МНТК "Микрохирургия глаза" им. академика С. Н. Федорова,
192283, Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты исследования эффективности удаления пораженного катарактой хрусталика глаза при его обработке в жидкости микросекундными импульсами Yb,Er:Glass-лазера. Обсуждается влияние на эффективность удаления хрусталика количества лазерных импульсов, их энергии, а также расстояния между торцом оптического волокна и поверхностью биообъекта.

Ключевые слова: Yb,Er:Glass-лазер, микросекундные импульсы, хрусталик, эффективность удаления, экстракция катаракты, волокно

Лазерная экстракция катаракты (ЛЭК) зарекомендовала себя как малоинвазивный и высокотехнологичный метод микрохирургии глаза [1]. Развитие этого метода может быть связано с созданием нового малогабаритного излучателя — Yb,Er:Glass-лазера с длиной волны излучения $\lambda = 1,54$ мкм, работающего в режиме модуляции полезных потерь трехзеркального резонатора [2]. При ЛЭК лазерное воздействие с целью пофрагментного удаления хрусталика происходит в передней камере глаза при прокачке в ней физраствора [1, 3]. Целью настоящей статьи является оптимизация удаления помещенного в жидкость (воду) катарактального хрусталика глаза человека под действием импульсов излучения Yb,Er:Glass-лазера длительностью по основанию $2,3 \pm 0,2$ мкс с выраженным высокоинтенсивным „лидирующим“ пиком (рис. 1, а), пиковая мощность которого в 3—5 раз превышает пиковую мощность следующих за ним пиков.

Хрусталики V степени катаракты (по классификации Буратто [4]) (10 образцов) были получены для проведения экспериментального исследования в ходе операции по хирургии катаракты путем экстракапсулярной экстракции. Схема лазерного воздействия приведена на рис. 1, б. Хрусталик 1 закреплялся в держателе на дне кварцевой кюветы 2 с жидкостью. Торец оптического волокна 3 с диаметром сердцевины 470 ± 10 мкм и числовой апертурой 0,18 фиксировался на расстоянии h до поверхности хрусталика.

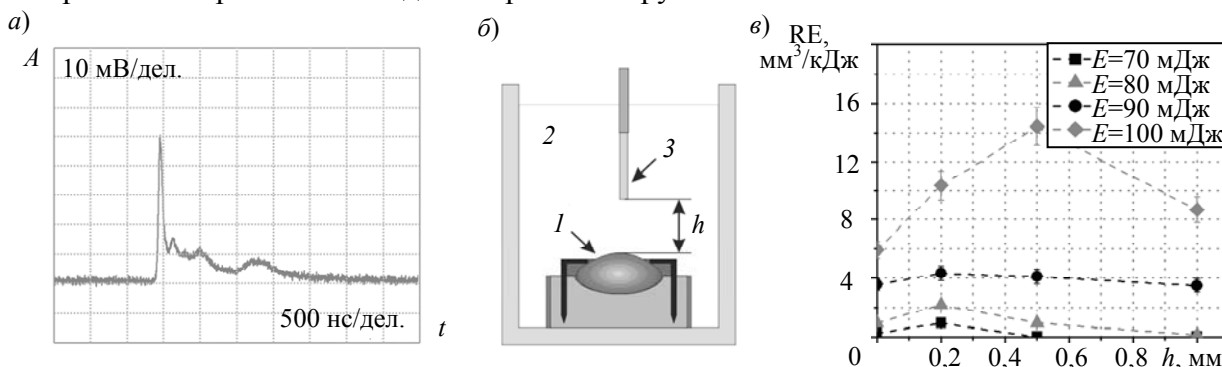


Рис. 1

Установлено, что оптимальное значение h , при котором обеспечивается максимально эффективная обработка хрусталика, зависит от энергии лазерного импульса. На рис. 1, в представлена зависимость эффективности удаления биоткани хрусталика (RE), определяемой как отношение объема сформированного в хрусталике кратера ($V_{кр}$) к суммарной затраченной энергии лазерного излучения, от величины h .

Максимальное значение эффективности удаления биоткани хрусталика при воздействии 300 импульсами с энергией $E = 100 \pm 2$ мДж, следующими с частотой $f = 1$ Гц, наблюдалось при $h = 0,5$ мм (см. рис. 1, в).

Зависимость эффективности удаления хрусталика от количества одномоментно приложенных лазерных импульсов N (при $E = 100 \pm 2$ мДж, $h = 0,5$ мм) имеет сложный характер (рис. 2, а). Эффективность удаления хрусталика увеличивается при воздействии первыми 100 импульсами излучения, после чего убывает. По-видимому, рост эффективности удаления на первом этапе связан с ростом размера области с нарушенной целостностью волокнистых слоев хрусталика под действием лазерного излучения, что способствует интенсивности снижения порога разрушения хрусталика, а последующий спад — с уменьшением плотности энергии излучения на обрабатываемой поверхности за счет отдаления дна кратера от торца оптического волокна. Порог разрушения хрусталика V степени катаракты при $N = 100$ и $h = 0,5$ мм составил $11,6 \pm 0,3$ Дж/см².

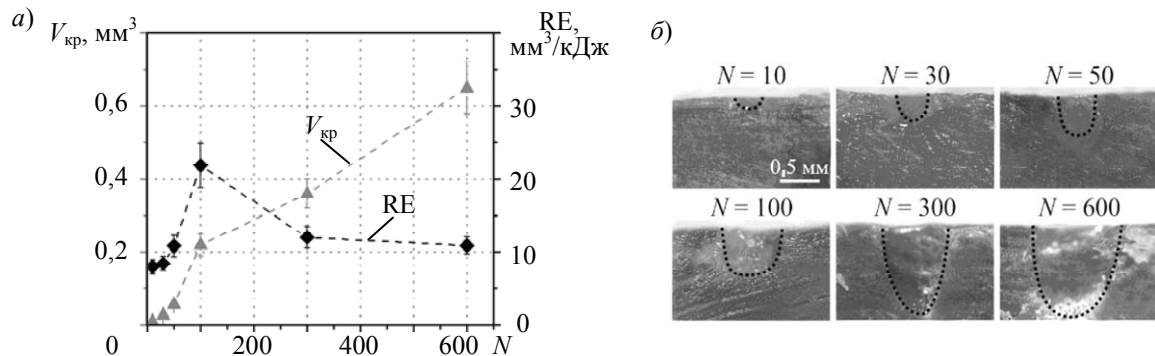


Рис. 2

Анализ рис. 2, б показывает, что увеличение объема кратера при росте N от 300 до 600 происходит за счет увеличения его ширины при практически неизменной глубине. При этом максимальный поперечный размер кратера при $N = 600$ в 2 раза превышает диаметр оптического волокна, что может быть связано с лазерно-индуцированными гидроакустическими эффектами, которые для Yb,Er:Glass-лазера описаны в работах [2—6]. Можно также предположить, что участие в процессе нарушения целостности хрусталика гидроакустических эффектов обуславливает достижение максимума эффективности удаления хрусталика в бесконтактном режиме обработки, а максимум эффективности удаления при $h = 0,5$ мм и $E = 100 \pm 2$ мДж достигается за счет оптимального вклада лазерной энергии и гидроакустических эффектов в разрушение биоткани. Эти обстоятельства, определяющие основное отличие метода удаления хрусталика микросекундными импульсами Yb,Er:Glass-лазера от традиционной операции ЛЭК, где эффективное удаление осуществляется в контактном режиме обработки [7], должны быть учтены при проектировании рабочего наконечника Yb,Er:Glass-лазерного аппарата для ЛЭК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копаева В. Г., Андреев Ю. В. Лазерная экстракция катаракты. М.: Офтальмология, 2011. 262 с.
2. Беликов А. В., Гагарский С. В., Губин А. Б., Вайнер С. Я., Сергеев А. Н., Смирнов С. Н. Субджоульный лазер на иттербий-эрбиевом стекле с диодной накачкой и модуляцией полезных потерь резонатора для экстракции катаракты // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 6. С. 1021—1029. DOI: 10.17586/2226-1494-2015-15-6-1021-1029.

3. Конаев С. Ю., Малюгин Б. Э., Конаева В. Г. Разработка микроинвазивной технологии лазерной экстракции катаракты // Вестн. ТГУ. 2015. Т. 20, № 3. С. 619—622.
4. Buratto L., Werner L., Apple D. J., Zanini M. Phacoemulsification: Principles and Techniques. SLACK Incorporated, 2003. 754 p.
5. Беликов А. В., Гагарский С. В., Сергеев А. Н., Смирнов С. Н. Исследование гидродинамических процессов в жидкости при воздействии мощных микросекундных импульсов Yb,Er:Glass-лазера // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 4. С. 367—374. DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-4-367-374.
6. Belikov A. V., Fomicheva Y. Y., Gagarskiy S. V., Sergeev A. N., Smirnov S. N., Zagorulko A. M. Investigation of optical and hydrodynamic processes initiated in biological tissues and liquids under the action of high-power pulses of 1.54 μm laser radiation // Proc. SPIE. 2018. Vol. 10716, P. 107160W. DOI: 10.1117/12.2307238.
7. Конаев С. Ю. Клинико-экспериментальное обоснование комбинированного использования неодимового ИАГ 1.44 мкм и гелий-неонового 0.63 мкм лазеров в хирургии катаракты: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2014.

Сведения об авторах

- Андрей Вячеславович Беликов** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и систем; E-mail: meddv@grv.ifmo.ru
- Алексей Михайлович Загорулько** — д-р экон. наук, канд. мед. наук; Санкт-Петербургский филиал МНТК „Микрохирургия глаза“; заместитель директора по лечебной работе; E-mail: vigna@mntk.spb.ru
- Сергей Николаевич Смирнов** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и систем; E-mail: s.n.smirnov@inbox.ru

Поступила в редакцию
30.07.18 г.

Ссылка для цитирования: Беликов А. В., Загорулько А. М., Смирнов С. Н. Оптимальный режим обработки катарактального хрусталика глаза человека микросекундными импульсами Yb,Er:Glass-лазера // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 734—737.

OPTIMUM MODE FOR PROCESSING CATARACT LENS OF THE HUMAN EYE WITH MICROSECOND PULSES OF Yb, Er: GLASS LASER

A. V. Belikov¹, A. M. Zagorulko², S. N. Smirnov¹

¹ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: s.n.smirnov@inbox.ru

² St. Petersburg Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 192283, St. Petersburg, Russia

Results of the study of removal efficiency of cataract-affected lens of the eye under the action of microsecond pulses of Yb, Er: Glass-laser are presented. The efficiency of lens removal is discussed in relation to the number of laser pulses, their energy, as well as the distance between the end of the optical fiber and the surface of the bioobject.

Keywords: Yb,Er:Glass-laser, microsecond pulses, lens of the eye, removal efficiency, cataract extraction, fiber

REFERENCES

1. Kopayeva V.G., Andreyev Yu.V. *Lazernaya ekstraktsiya katarakty* (Laser Extraction of a Cataract), Moscow, 2011, 262 p. (in Russ.)
2. Belikov A.V., Gagarskiy S.V., Gubin A.B., Vayner C.Ya., Sergeyev A.N., Smirnov S.N. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, no. 6(15), pp. 1021–1029. DOI: 10.17586/2226-1494-2015-15-6-1021-1029
3. Kopayev S.Yu., Malyugin B.E., Kopayeva V.G. *Tomsk State University Journal*, 2015, no. 3(20), pp. 619–622. (in Russ.)
4. Buratto L., Werner L., Apple D. J., Zanini M. *Phacoemulsification: Principles and Techniques*, 2nd ed. SLACK Incorporated, 2003, 754 p.
5. Belikov A.V., Gagarskiy S.V., Sergeev A.N., Smirnov S.N. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, no. 4(60), pp. 367–374. DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-4-367-374
6. Belikov A.V., Fomicheva Y.Y., Gagarskiy S.V., Sergeev A.N., Smirnov S.N., Zagorulko A.M. *Proc.*

SPIE, 2018, vol. 10716, pp. 107160W, DOI: 10.1117/12.2307238.

7. Копыев С.Ю. *Kliniko-eksperimental'noye obosnovaniye kombinirovannogo ispol'zovaniya neodimovogo IAG 1.44 mkm i geliy-neonovogo 0.63 mkm lazerov v khirurgii katarakty* (Clinical and Experimental Study of the Combined Use of a Neodymium YAG 1.44 μm and a He-Ne 0.63 μm Laser in Cataract Surgery), Doctor's thesis, Moscow, 2014. (in Russ.)

Data on authors

- Andrey V. Belikov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; E-mail: meddv@grv.ifmo.ru
- Alexey M. Zagorulko** — Dr. Sci., PhD; St. Petersburg Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; Medical Director; E-mail: vigna@mntk.spb.ru
- Sergey N. Smirnov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; E-mail: s.n.smirnov@inbox.ru

For citation: Belikov A. V., Zagorulko A. M., Smirnov S. N. Optimum mode for processing cataract lens of the human eye with microsecond pulses of Yb, Er: glass laser. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 734—737 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-734-737