

**Ермакова О.В.¹, Исаков И.А.¹, Черных В.В.¹, Трунов А.Н.^{1,2},
Ражев А.М.³, Чуркин Д.С.³, Каргапольцев Е.С.³**

¹Новосибирский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза»
им. академика С. Н. Федорова» Минздрава России

²ФГБУ Научный центр клинической и экспериментальной медицины СО РАМН

³Учреждение Российской академии наук Институт лазерной физики Сибирского отделения РАН

E-mail: nauka@mntk.nsk.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 308 НМ НА СКЛЕРАЛЬНУЮ ТКАНЬ

В статье представлены результаты серии экспериментов с использованием эксимерного лазера 308 нм (KrF) на склеральной ткани человека. Определены основные параметры воздействия: пороговая плотность энергии абляции, скорость абляции. Проведена сравнительная характеристика эксимерных лазеров с длинами волн 248, 308, 353 нм. Определена оптимальная длина волны УФ лазерного излучения для воздействия на склеру.

Ключевые слова: эксимерные лазеры, абляция, склеральная ткань.

Актуальность

Эксимерные лазеры уже давно заняли прочные позиции в хирургической и терапевтической офтальмологии. Основная область их применения – коррекция аномалий рефракции, а так же лечение поверхностных форм герпетического кератита. Ранее было подробно изучено воздействие эксимерных лазеров с различными длинами волн на роговичную ткань. Детально исследовались параметры эксимерлазерного воздействия с целью разработки отечественных эксимер-лазерных технологий кератомоделирования и лечения герпетического кератита [1, 2, 3, 4, 8, 9].

Эксимерлазерное излучение может быть перспективным инструментом и для хирургии глаукомы, однако, в литературе встречаются единичные описания взаимодействия этого излучения со склеральной тканью. Воздействие на склеру лазерного излучения с длиной волны 193 нм (ArF) исследовалось в процессе разработки технологии эксимерлазерной непроникающей глубокой склерэктомии. Методом электронной микроскопии было установлено, что при лазерном иссечении поверхность склеры более гладкая и однородная, чем при использовании алмазного ножа [10, 11, 12,]. Так же отмечалась менее выраженная местная воспалительная реакция в послеоперационном периоде.

При проведении антиглаукоматозных операций с использованием эксимерного лазера с длиной волны 193 нм абляция в зоне лазерного

воздействия прекращается при появлении фильтрации внутриглазной жидкости, что объясняется полным поглощением эксимерлазерного излучения в жидкостях, содержащих соли [6]. С одной стороны, это позволяет уменьшить риск макро- и микроперфораций трабекулодесцеметовой мембраны в зоне хирургического вмешательства. Но, с другой стороны, это затрудняет дальнейший ход операции, т. к. требует постоянного подсушивания операционного поля, что мешает равномерному истончению трабекулодесцеметовой мембраны. Воздействие эксимерных лазеров с другими длинами волн на ткани склеры ранее не исследовалось.

Важным фактором при взаимодействии УФ лазерного излучения с тканью является механизм абляции этой ткани. Как известно, он связан с деструкцией, вызванной разрывом С-Н связей в молекулах. Если этот процесс будет осуществлен одноквантово (для этого необходимы кванты с энергией 4 эВ и более), то механизм абляции будет называться фотохимическим. В этом случае абляция не сопровождается коагуляционным и другими повреждающими эффектами. С этой целью необходимо применять излучение с длиной волны 310 нм и менее. При абляции склеральной ткани лазерным излучением длиннее 310 нм процесс разрыва С-Н связей будет осуществляться многоквантово, и приводить к нагреву ткани. Такой процесс уже будет называться тепловым и может вызвать нежелательное термическое повреждение поверхности склеральной ткани.

Абляция склеральной ткани при эксимерлазерном воздействии происходит одновременно с испарением жидкости, находящейся на поверхности операционной раны. Однако жидкость имеет свой спектр поглощения в УФ области спектра. В связи с этим, в зависимости от длины волны, не вся энергия лазерного излучения может быть использована на абляцию склеральной ткани, часть ее будет потеряна на нагрев и испарение жидкости, что может отразиться на качестве поверхности склеральной ткани. Поэтому выбор длины волны лазерного излучения будет играть важную роль при проведении антиглаукоматозных операций. Ранее исследовались коэффициенты поглощения эксимерного излучения 193 и 223 нм [5]. Позднее [6] были показаны спектры пропускания дистиллированной воды и физиологического раствора в диапазоне 190–400 нм. Как видно из рисунка 1 (рис.1) дистиллированная вода имеет пропускание порядка 80% на длине волны 193 нм, а физиологический раствор практически полностью поглощает это излучение. При увеличении длины волны поглощение физиологическим раствором эксимерлазерного излучения постепенно снижается и составляет около 50% при длине волны 223 нм. По мере дальнейшего увеличения длины волны поглощение физиологическим раствором эксимерлазерного излучения снижается и равно нулю при длине волны 353 нм.

Исходя из этого, представляется важным изучение воздействия на склеральную ткань эксимерных лазеров с длинами волн свыше 240 нм, которые способны производить абляцию тканей на фоне фильтрации внутриглазной жидкости.

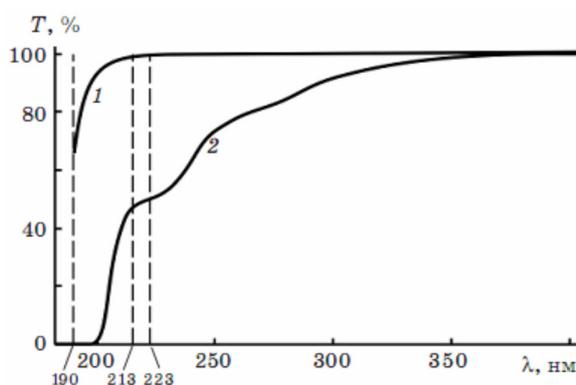


Рисунок 1. Спектры пропускания в диапазоне 190–400 нм: 1 – дистиллированной воды, 2 – физиологического раствора

Цель работы

Изучить в эксперименте воздействие эксимерлазерного излучения с длиной волны 308 нм на ткань склеры. Определить пороговую энергию абляции для этой длины волны, скорость абляции, рабочие значения плотности лазерной энергии для формирования лазерных резцов склеры. Провести сравнительную характеристику воздействия на склеральную ткань лазерного излучения с длинами волн 308, 248 и 353 нм.

Материал и методы

Исследование проводилось на изолированном глазу. Толщина склеры в зоне предполагаемого эксимерлазерного воздействия по данным предварительной ультразвуковой биомикроскопии составила 750 мкм. Эксперименты выполнялись с использованием экспериментальной эксимерной установки с длиной волны 308 нм (XeCl). Энергия излучения – 300 мДж/имп, длительность импульсов – 20 ± 2 нс, частота следования импульсов до 10 Гц. Плотность энергии на поверхности склеры могла изменяться в пределах от 0,1 до 24 Дж/см². Бинокулярный микроскоп использовался для наблюдения за появлением первых признаков абляции, которыми считали проседание профиля склеры в зоне воздействия и появление «дымка» испаряемой ткани. Толщина испаренного слоя оценивалась при помощи микроскопа. Фиксировали количество импульсов, требуемых для перфорации склеры при различной плотности энергии. Эти данные использовали для вычисления скорости абляции.

Результаты и обсуждение

Полученные в серии экспериментов данные представлены в виде графика, выражающего скорость абляции. Скоростью абляции называют толщину испаренного за один импульс слоя склеры в зависимости от плотности энергии эксимерлазерного излучения. Порог абляции для эксимерного лазера 308 нм (XeCl) составил около 260 мДж/см². Это та плотность энергии, где произошло первое значимое увеличение толщины испаряемого слоя (рис. 2а). По мере возрастания плотности энергии толщина испаряемого слоя склеральной ткани постепенно росла. В диапазоне плотности энергии 8–12 Дж/см² скорость роста толщины испаряемого слоя снизи-

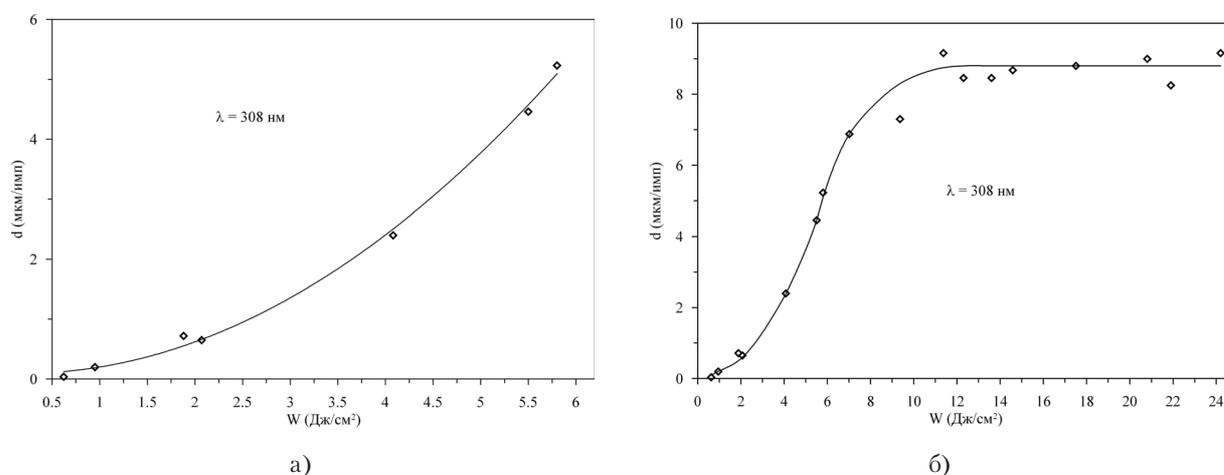
лась и при дальнейшем увеличении плотности энергии менялась незначительно. Максимальная толщина слоя склеры, испаряемого за один импульс, составила 8-9 мкм (рис. 2б).

Ранее нами проведены исследования воздействия эксимерных лазеров с длинами волн 248 и 353 нм [7]. Сравнивая результаты воздействия на склеру эксимерных лазеров с длинами волн 248 и 353 нм, полученные нами ранее, с порогом абляции и скоростью абляции эксимерного лазера с длиной волны 308 нм можно отметить несколько существенных моментов.

Порог абляции для всех трех длин волн лежит в диапазоне 250-300 мДж/см². Для 248 нм

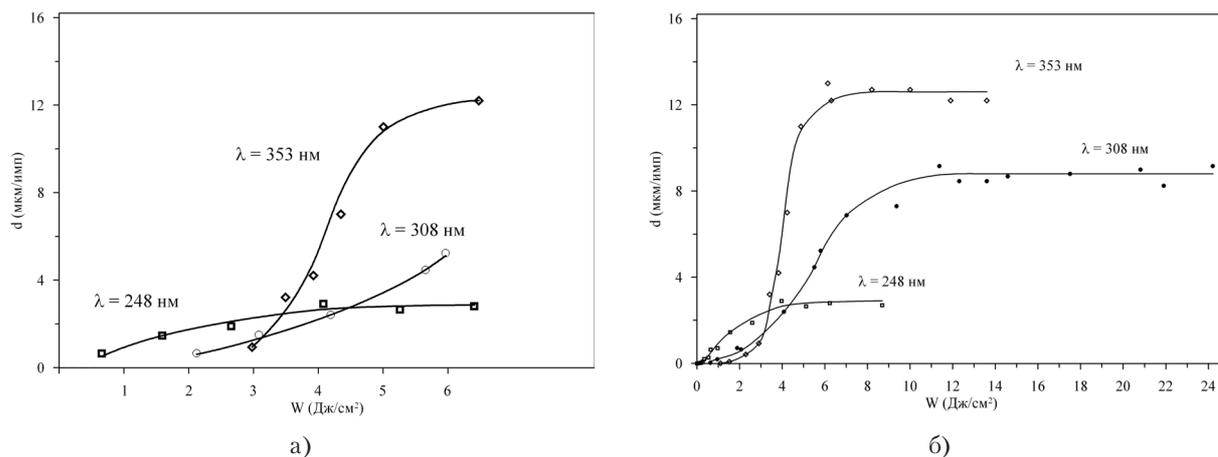
(KrF) порог абляции составил 250 мДж/см², для 308 нм (XeCl) – 260 мДж/см² и для 353 нм (XeF) 300 мДж/см² (рис. 3а). При увеличении плотности энергии быстрее всего скорость абляции нарастает при использовании эксимерного лазера с длиной волны 353 нм. Медленнее всего – при использовании эксимерного лазера с длиной волны 248 нм. Промежуточные значения имеет скорость абляции для эксимерного лазера 308 нм (рис. 3б).

Максимальная толщина испаренного лазером за один импульс слоя склеральной ткани составила 11-12 мкм для лазера с длиной волны 353 нм, 8-9 мкм для 308 нм и 2,6-2,8 мкм при



W – плотность энергии, d – толщина испаренного за один импульс слоя склеры, λ – длина волны эксимерного лазера

Рисунок 2. Скорость абляции эксимерного лазера с длиной волны 308 нм: а) в узком диапазоне значений плотности энергии до 6 Дж/см²; б) в широком диапазоне значений плотности энергии от 200 мДж/см² до 24 Дж/см²



W – плотность энергии, d – толщина испаренного за один импульс слоя склеры, λ – длина волны эксимерного лазера

Рисунок 3. Соотношение скорости абляции эксимерных лазеров с длинами волн 248, 308, 353 нм: а) в узком диапазоне значений плотности энергии до 6 Дж/см²; б) в широком диапазоне значений плотности энергии от 200 мДж/см² до 24 Дж/см²

использовании лазера с длиной волны 248 нм (рис.3б). Очевидно, что скорость абляции и толщина испаренного лазером за один импульс слоя склеральной ткани для длин волн 308 нм (XeCl) и 353 нм (XeF), являются наиболее приемлемыми для практического использования, так как позволят обеспечить более эффективные и быстрые параметры работы.

Кроме того, важен спектр пропускания ультрафиолетового излучения в диапазоне 190-400 нм склеральной тканью. Склера практически полностью поглощает излучение с длинами волн короче 300 нм. При увеличении длины волны поглощение становится меньше, и лазерное излучение проникает в склеральную ткань. При длинах волн более 310 нм излучение проходит через всю толщину исследуемого образца склеры, значительно рассеиваясь в подлежащих тканях. Поэтому более безопасным при воздействии на склеру является эксимерлазерное излучение с длиной волны менее 310 нм [7].

Заключение

В ходе эксперимента были определены параметры воздействия эксимерного лазера с длиной волны 308 нм на склеральную ткань глаза человека. Пороговая плотность энергии для эксимерного лазера с длиной волны 308 нм (XeCl) равна 260 мДж/см². Оптимальные значения плотности энергии, обеспечивающие эффектив-

ную абляцию склеры, находятся в пределах 8-10 Дж/см².

Проведена сравнительная характеристика параметров воздействия на склеру эксимерлазерного излучения с длиной волны 308 нм и исследованных ранее длин волн – 248 и 353 нм. Излучения всех трех длин волн имеют приблизительно одинаковую пороговую плотность энергии абляции. Однако эксимерные лазеры с длиной волны 353 и 308 нм имеют более высокую скорость абляции и позволяют испарить за один импульс слой склеры значительно большей толщины, чем лазер с длиной волны 248 нм. Таким образом, лазер с длиной волны 248 нм представляется наименее эффективным для работы на тканях склеры. Однако излучение с длиной волны 353 нм проникает через склеру и может оказывать повреждающее воздействие на глубже лежащие ткани [7].

Это позволяет нам определить эксимерный лазер с длиной волны 308 нм (XeCl), как наиболее эффективный и безопасный при воздействии на ткани склеры. Данное излучение имеет низкое поглощение физиологическим раствором, что дает возможность проводить абляцию на влажном операционном поле.

Все указанные свойства эксимерлазерного излучения с длиной волны 308 нм (XeCl) позволяют рассматривать его, как перспективный инструмент для хирургии глаукомы.

1.02.2013

Список литературы:

1. Chebotayev V.P. UV excimer lasers in eye microsurgery / V.P. Chebotayev, V.N. Ishchenko, I.A. Iskakov [et al.] // Lasers in the Life Sciences. – 1988. – Vol. 2, №4. – P. 313-326.
2. Ищенко В.Н. Мощная сверхсветимость на эксимерах ArF, KrF, XeF в электрическом разряде / В.Н. Ищенко, В.Н. Лисицын, А.М. Ражев // Письма в ЖТ. – Т. 2, вып. 18. – С. 839-842.
3. Корниловский И.М. Кератомоделирование низкоинтенсивным УФ-излучением эксимерных лазеров / И.М. Корниловский, А.М. Ражев // Лазеры и медицина: тез. междунар. конф. – М., 1989. – Ч.1 – С.29
4. Дога А.В. Повторная фоторефрактивная кератэктомия при миопии высокой степени: автореф. дис.... канд. мед. наук / А.В. Дога – М., 1997. – 23 с.
5. Dair G.T. Absorption of 193- and 213-nm laser wavelengths, in sodium chloride solution and balanced, salt solution / G.T. Dair, R.A. Ashman, R.H. Eikelboom, P.P. van Saarloos // Arch. of Ophthalmol. – 2001. – V. 119, №4. – P. 533-537.
6. Ражев А.М. Исследование воздействия излучения 193 нм и 223 нм эксимерных лазеров на роговицу глаза человека в рефракционной хирургии / А. М. Ражев, В. В. Черных, А. А. Жушников [и др.] // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, №5. – С. 20-23.
7. Ермакова О.В. Воздействия эксимерных лазеров с длинами волн 248 нм и 353 нм на склеральную ткань в эксперименте / О.В. Ермакова, И.А. Искаков, А.Н. Трунов [и др.] // Вестн. ОГУ – 2011. – №14. – С.108-112.
8. Черных В.В. Клинико-лабораторные аспекты лазерной терапии пациентов с офтальмогерпесом: автореф. дис. ... канд. мед. наук / В.В. Черных. – Новосибирск, 2001. – 21 с.
9. Костенев С.В. Клинико-лабораторный анализ использования эксимерных лазеров с длинами волн 193 и 223 нм в рефракционной хирургии: автореф. дис. ... канд. мед. наук / С.В. Костенёв. – Новосибирск, 2006. – 23 с.
10. Антонюк С.В. Хирургическое лечение пациентов с первичной открытоугольной глаукомой методом эксимер-лазерной непроникающей глубокой склерэктомии: автореф. дис. ... канд. мед. наук / С.В. Антонюк. – М., 1999. – 23 с.
11. Ерескин Н.Н. Использование эксимерного лазера в лечении узкоугольной глаукомы / Н.Н. Ерескин, Д.А. Магарамов // Актуальные проблемы клинической офтальмологии: тез. докл. регион.науч.-практ. конф. Урала. – Челябинск, 1999. – С. 247-248.
12. Патент РФ №2192230, Кл. А 61 F 9/ 007, 9 / 008 «Способ лечения глаукомы», авторы Ерескин Н.Н., Дога А.В., Магарамов Д.А., Сугробов В.А., опубл. 10.11.2002, Бюл. №31.

Сведения об авторах:

Ермакова Ольга Викторовна, врач-офтальмолог Новосибирского филиала
ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России,
Искаков Игорь Алексеевич, заведующий операционным блоком Новосибирского филиала
ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России,
доктор медицинских наук

Черных Валерий Вячеславович, директор Новосибирского филиала
ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России,
доктор медицинских наук, профессор

Трунов Александр Николаевич, заместитель директора по научной работе Новосибирского филиала
ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России,
руководитель лаборатории иммунологии ФГБУ Научный центр клинической и экспериментальной
медицины Сибирского отделения РАМН, доктор медицинских наук, профессор
630096, г. Новосибирск, ул. Колхидская, 10

Ражев Александр Михайлович, зав. лабораторией импульсных газоразрядных лазеров ИЛФ СоРАН,
доктор физико-математических наук

Чуркин Дмитрий Сергеевич, научный сотрудник ИЛФ СоРАН,
кандидат физико-математических наук

Каргапольцев Евгений Сергеевич, младший научный сотрудник ИЛФ СоРАН
630090, г. Новосибирск, Академгородок, пр-т Лаврентьева 13/3

UDC: 617.7.535.34

Ermakova O.V., Isakov I.A., Chernykh V.V., Trunov A. N., Razhev A.M., Churkin D.S., Kargapoltsev E.S.

E-mail: nauka@mntk.nsk.ru

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE EXCIMER LASER WITH A WAVELENGTH OF 308 NM ON SCLERAL TISSUE

The paper presents the results of experiments series using an excimer laser at 308 nm (KrF) to the scleral tissue. The main parameters of influence: the threshold energy density ablation, ablation rate. The comparative characteristics of the excimer laser with a wavelength of 248, 308, 353 nm were described. The optimal UF wavelength for effects on the sclera was determined.

Key words: excimer laser, ablation, sclera.

Bibliography:

1. Chebotayev V.P. UV excimer lasers in eye microsurgery / V.P. Chebotayev, V.N. Ishchenko, I.A. Isakov [et al.] // *Lasers in the Life Sciences*. – 1988. – Vol. 2, №4. – P. 313-326.
2. Ishchenko V. N. Powerful superluminescence on excimer ArF, KrF, XeF in the electric category / V.N. Ishchenko, V.N. Lisitsyn, A.M. Razhev // *Letters in JT*. – 1976. – T. 2, print. 18. – P. 839-842.
3. Kornilovsky I.M. Modeling of cornea low-intensive UF-radiation of excimer lasers / I.M. Kornilovsky, A.M. Razhev // *Lasers and medicine: Thesis of international Conf.* – M., 1989. – P.1 – P. 29
4. Doga A.V. Repeated photorefractive keratectomy at myopia of high degree: author's abstract. ... cand. of med. sciences / A.V. Doga. – M., 1997. – 23 p.
5. Dair G.T. Absorption of 193- and 213-nm laser wavelengths, in sodium chloride solution and balanced, salt solution / G.T. Dair, R.A. Ashman, R.H. Eikelboom, P.P. van Saarloos // *Arch. of Ophthalmol.* – 2001. – V. 119, №4. – P. 533-537.
6. Razhev A.M. Research of influence of radiation of 193 nanometers and 223 nanometers excimer lasers on a cornea of an eye of the person in refractive surgeries / A. M. Razhev, V.V. Chernykh, A.A. Zhupikov [et al.] // *Optical magazine*. – 2009. – T. 76, №5. – P. 20-23.
7. Ermakova O.V. Effect of excimer lasers with lengths of waves of 248 nanometers and 353 nanometers on sclera in experiment / O.V. Ermakova, I.A. Isakov, A.N. Trunov [et al.] // *Vestn. Orenburg. state. university*. – 2011. – No. 14. – P. 108-112.
8. Chernykh V.V. Clinical and laboratory aspects of laser therapy of patients with herpes cornea: author's abstract ... cand. of medical sciences / V.V. Chernykh. – Novosibirsk, 2001. – 21p.
9. Kostenyov S.V. Clinical and laboratory analysis excimer lasers with lengths of waves 193 and 223 nanometers in refractive surgeries: author's abstract ... cand. of medical sciences / S.V. Kostenyov. – Novosibirsk, 2006. – 23 p.
10. Antonyuk S.V. Surgical treatment of patients with primary open angle glaucoma by a method of eximer-laser nonpenetrating deep sclerectomy: author's abstract ... cand. of med. sciences / S.V. Antonyuk. – M, 1999. – 23 p.
11. Ereskin N.N. Use the excimer laser in treatment of narrow angle glaucoma / N.N. Ereskin, D.A. Magaramov // *Actual problems of clinical ophthalmology: theses of the report region. scientific-practical conference Ural Mountains*. – Chelyabinsk, 1999. – P. 247-248.
12. The patent of the Russian Federation №2192230, Kl. And 61 F 9/007, 9 / 008 «The Way of treatment of a glaucoma», authors Ereskin N.N., Doga A.V., Magaramov D.A., Sugrobov V. A., publ. 11/10/2002, Bul. №31.