

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛАЗНОГО ДНА И СКЛЕРЫ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 800 НМ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Н.В. Пасечникова, В.В. Вит, А.Р. Король, О.С. Задорожный, А.Н. Дмитрук, И.А. Павлов, П.И. Коренюк, Т.Б. Кустрия, А.Н. Курилюк

ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П.Филатова НАМН Украины" (Одесса)
Институт Физики НАН Украины (Киев)

Вступление

Сегодня в клинической офтальмологии широко используется Nd:YAG лазер ближнего инфракрасного диапазона с наносекундной длительностью импульса [4]. В основе действия данного типа лазера лежит явление фотоионизации или лазер-индуцированного оптического пробоя с вапоризацией малых объемов тканей и формированием кавитационных газовых пузырьков [1, 3, 6]. Большая зона поражения окружающих тканей ограничивает практическое применение данного типа лазеров. При уменьшении длительности импульса от наносекунд до пико- и фемтосекунд повреждение окружающих тканей уменьшается [8, 9]. Лазеры фемтосекундного диапазона обладают повреждающим действием на окружающие ткани в 10^3 раза менее выраженным по сравнению с импульсами пикосекундной длительности, что позволяет использовать лазеры ультракороткой длительности импульса при различных патологических процессах переднего отрезка глаза и глазного дна [5, 7].

Цель: изучить макро- и микроскопические изменения структур глазного дна и склеры в эксперименте после воздействия фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 800 нм.

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась совместно с институтом Физики НАН Украины (г.Киев) на базе фемтосекундного лазерного комплекса. В

качестве источника лазерного излучения использовался титан-сапфировый лазерный генератор фемтосекундного диапазона фирмы "Coherent" (США) "Mira Optima 900F", который позволяет получить непрерывную последовательность импульсов длительностью 130 фс с частотой повторения 76 МГц. Для накачки активного элемента - кристалла сапфира, легированного титаном - использовалось излучение непрерывного лазера накачки Nd:YVO₄ с диодной накачкой "Verdi V10" (Coherent) с длиной волны 532 нм и исходящей мощностью 10 Вт. При такой накачке непрерывная последовательность импульсов фемтосекундного диапазона имеет среднюю мощность 1,3 Вт при длине волны 800 нм и уровне разброса энергии менее 0,1%. Также в работе был использован фемтосекундный килогерцовый регенеративный усилитель Legend F-1K-HE, который позволяет добиться непрерывной перестройки длины волны в диапазоне 750-900 нм. Его параметры: центральная длина волны - 800 нм, частота повторения 1 КГц, длительность импульса не более 130 фс, энергия в импульсе около 2,5 мДж.

В эксперименте использовалось точечное лазерное воздействие на структуры глазного дна в режиме повторения импульсов частотой 76 МГц и 1 КГц. Диаметр лазерного пятна составил от 100 до 3000 микрон. Экспозиция лазерного излучения составила от 0,1 до 1 с. Мощность лазерного луча была от 350 до 740 мВт. Лазерное воздействие проводилось до появления видимого повреждения на глазном дне. Лазерные очаги наносились в виде параллельных рядов так, чтобы расстояние между ними составляло не более одного диаметра очага. Количество лазерных коагулятов составило от 7 до 11 на каждый глаз.

Воздействие на склеру осуществлялось также в двух режимах повторения импульсов с частотой 76 МГц и 1 КГц. Лазерное воздействие проводилось до появления видимого повреждения на склере. Лазерные очаги наносились также в виде параллельных рядов. Количество лазерных коагулятов составило от 5 до 7 на каждый глаз. Затем проводилось длительное воздействие на склеру лазерным излучением (от 15 до 50 с). При этом лазерный луч медленно перемещался по поверхности глазного яблока.

Исследование структур глазного дна после воздействия фемтосекундного лазерного излучения было проведено на 2

энуклеированных свиных глазах. Исследование склеры после воздействия фемтосекундного лазерного излучения было проведено на 2 энуклеированных бычьих глазах. Были получены гистологические срезы тканей в местах нанесения лазерного воздействия, проведена фоторегистрация.

Полученные результаты и их обсуждение

При воздействии на структуры глазного дна лазерного излучения частотой 76 МГц макроскопически определялись хорошо очерченные лазерные очаги различной степени выраженности. При смещении фокуса лазерного луча от плоскости глазного дна и воздействии излучения в области стекловидного тела отмечено формирование множественных кавитационных пузырьков.

При гистологическом исследовании срезов сетчатки выявлена деструкция фоторецепторного слоя с образованием мелкозернистого эозинофильного материала с многочисленными сотоподобными полостями, вакуолизация цитоплазмы нейронов всех слоев сетчатки. Отмечена также деструкция пигментного эпителия сетчатки, выраженная вакуолизация цитоплазмы ганглиозных клеток, деструкция эндотелия кровеносных сосудов сетчатки. Наблюдался эффект коагуляции. Отмечено образование конгломератов клеточного материала со скоплениями гранул меланина.

При использовании меньшей частоты лазерного излучения (1 КГц) отмечены изменения структур глазного дна, связанные с кавитационным эффектом лазерного излучения ультракороткой длительности импульса. Определялся отрыв фоторецепторного слоя от пигментного эпителия сетчатки, деструкция фоторецепторов с образованием пустот различного размера в средних слоях сетчатки и фоторецепторном слое. В сосудистой оболочке выявлена деструкция клеток пигментного эпителия и эндотелия кровеносных сосудов.

При воздействии на склеру ультракоротких лазерных импульсов частотой 76 МГц выявлена полная гомогенизация коллагеновых волокон на всю толщину склеры, исчезновение склероцитов, деструкция пигментных клеток увеального тракта и пигментного эпителия сетчатки. После воздействия лазерного излучения частотой 1 КГц определялся практически

сквозной дефект склеры. При использовании длительных экспозиций воздействия и перемещения лазерного луча по поверхности склеры формировался видимый линейный разрез склеры практически на всю ее глубину.

Таким образом, при использовании фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 800 нм и частотой повторения импульсов 76 МГц на структуры глазного дна отмечаются явления оптического пробоя в тканях и явления коагуляции тканей в зоне воздействия излучения. При использовании лазерного излучения частотой 1 КГц преимущественно отмечается механическое воздействие на ткани за счет явления оптического пробоя и образования кавитационных пузырьков. Фемтосекундное лазерное излучение в этом режиме приводит к появлению сквозных дефектов склеры.

Выводы

При использовании 130 фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 800 нм и высокой частотой повторения импульсов (76 МГц) наряду с кавитационным эффектом в тканях отмечены явления термического повреждения структур сетчатки, преимущественно фоторецепторного слоя и пигментного эпителия. При использовании лазерного излучения пониженной частоты (1 КГц) преобладает механическое кавитационное воздействие на структуры сетчатки, сосудистой оболочки и склеры. Требуется дальнейшее изучение возможностей лазерного излучения с ультракороткой длительностью импульса в различных режимах для оценки возможностей его использования для внутриглазных вмешательств и хирургии склеры.

Литература

1. Cain C.P. Retinal damage and laser-induced breakdown produced by ultrashort-pulse lasers / C.P. Cain, C.D. DiCarlo, B.A. Rockwell [et al.] // *Graefes Arch. Clin. Ophthalmol.* - 1996. - Vol. 234. - P. 28-37.
2. Cain C.P. Visible retinal lesions from ultrashort laser pulses in the primate eye / C.P. Cain, C.A. Toth, C.D. DiCarlo [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 1995. - Vol. 36. - P. 879-888.

3. Gerstman B.S. Laser-induced bubble formation in the retina / B.S. Gerstman, C.R. Thompson, S.L. Jacques [et al.] // *Lasers Surg. Med.* - 1996. - Vol.18. - P. 10-21.
4. Ham W.T. Ocular hazard from picosecond pulses of Nd:YAG laser radiation / W.T. Ham, H.A. Mueller, A.I. Goldman // *Science*. - 1974. - Vol.185. - P. 362-363.
5. Nakamura H. Femtosecond laser photodisruption of primate trabecular meshwork: an ex vivo study / H. Nakamura, Y. Liu, T.E. Witt [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 2009. - Vol.50. - P. 1198-1204.
6. Srinivasan S. Sub-epithelial gas breakthrough during femtosecond laser flap creation for LASIK / S. Srinivasan, S. Herzig // *Br. J. Ophthalmol.* - 2007. - Vol. 91. - P. 1373.
7. Stern D. Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers at 532 and 625 nm / D. Stern, R.W. Schoenlein, C.A. Puliafito [et al.] // *Arch. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 1989. - Vol. 107. - P. 587-592.
8. Toth C.A. Retinal effects of ultrashort laser pulses in the rabbit eye / C.A. Toth, C.P. Cain, C.D. Stein [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 1995. - Vol. 36. - P. 1910-1917.
9. Toth C.A. Pathology of macular lesions from subnanosecond pulses of visible laser energy / C.A. Toth, D.G. Narayan, C.P. Cain [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 1997. - Vol. 38. - P. 2204-2213.
10. Vogel A. Mechanisms of pulsed laser ablation of biological tissues / A. Vogel, V. Venugopalan // *Chem. Rev.* - 2003. - Vol. 103. - P. 577-644.

Резюме

Пасечникова Н. В., Віт В. В., Король А. Р., Задорожний О. С., Дмитрук А. Н., Павлов І. А., Коренюк П. І., Кустрін Т. Б., Курілюк А. Н. Структурні зміни очного дна і склери після дії фемтосекундного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 800 нм в експерименті.

При використанні 130 фемтосекундного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 800 нм і високою частотою повторення імпульсів (76 МГц) поряд з кавітаційним ефектом відзначені явища термічного ушкодження структур сітчатки, переважно фоторецепторного шару і пігментного епітелію. При використанні лазерного випромінювання з частотою 1 КГц переважає механічний кавітаційний вплив на структури сітчатки, судинної оболонки і склери. Потрібне подальше вивчення можливостей лазерного випромінювання з ультракороткою тривалістю імпульсу в різних режимах для оцінки можливостей його використання для внутрішньоочних втручань та хірургії склери.

частотой 1 КГц преобладает механическое кавитационное влияние на структуры сетчатки, сосудистой оболочки и склеры. Нужно последующее изучение возможностей лазерного излучения с ультракороткой длительностью импульса в разных режимах для оценки возможностей его использования для внутриглазных вмешательств и хирургии склеры.

Ключевые слова: фемтосекундный лазер, термическое повреждение, структуры сетчатки.

Резюме

Пасечникова Н. В., Віт В. В., Король А. Р., Задорожний О. С., Дмитрук А. Н., Павлов І. А., Коренюк П. І., Кустрін Т. Б., Курілюк А. Н. Структурні зміни очного дна і склери після дії фемтосекундного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 800 нм в експерименті.

При використанні 130 фемтосекундного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 800 нм і високою частотою повторення імпульсів (76 МГц) поряд з кавітаційним ефектом відзначені явища термічного ушкодження структур сітчатки, переважно фоторецепторного шару і пігментного епітелію. При використанні лазерного випромінювання з частотою 1 КГц переважає механічний кавітаційний вплив на структури сітчатки, судинної оболонки і склери. Потрібне подальше вивчення можливостей лазерного випромінювання з ультракороткою тривалістю імпульсу в різних режимах для оцінки можливостей його використання для внутрішньоочних втручань та хірургії склери.

Ключові слова: фемтосекундний лазер, термічне ушкодження, структури сітчатки.

Summary

Pasechnikova N.V., Vit V.V., Korol A.P., Zadorozhnyj O.S., Dmitruk A.N., Pavlov I.A., Korenjuk P., Kustrin T.B., Kuriljuk A.N. Structure changes of an eye fundus and sclera after influence femtosecond laser radiation with length of a wave 800 nanometers in experiment.

During 130 femtosecond laser using with a wavelength of 800 nm and a high pulse repetition frequency (76 MHz) marked cavitation effect in the tissues and thermal damage of retinal structures, mainly photoreceptor layer and retinal pigment epithelium. After laser radiation of low frequency (1 kHz) using dominates the mechanical cavitation effects on the structure of the retina, choroid and sclera. Requires further study to assess the feasibility of using of ultrashort pulse laser radiation for intraocular surgery and surgery of the sclera.

Key words: femtosecond laser, thermal damage, retinal structures.

Рецензент: д.мед.н., проф. Л.А. Сухіна