

Тихов А.В., Тихов А.О., Суслова А.Ю., Суслов С.И.

Десятилетний опыт применения твердотельной лазерной технологии в рефракционной хирургии

АО «Межрегиональная клиника» (Клиника лазерной микрохирургии глаза А. Тихова), Ярославль

РЕФЕРАТ

Цель. Оценить преимущества твердотельных лазеров и ультрафиолетового излучения с длиной волны 213 нм применительно к лазерной рефракционной хирургии. Оценить эффективность и безопасность твердотельной технологии на основе десятилетнего опыта эксплуатации рефракционных твердотельных лазерных установок «OLIMP-2000/213».

Материал и методы. В Клинике лазерной микрохирургии глаза А. Тихова (г. Ярославль) с 2010 г. рефракционные операции выполняются с использованием твердотельной технологии. За восемь лет на твердотельной лазерной установке «OLIMP-2000/213» в клинике выполнено 4700 операций по методикам LASIK и MAGEK.

Результаты и обсуждение. С точки зрения клинического применения преимущества твердотельной технологии обусловлены физическими свойствами УФ-излучения с длиной волны 213 нм, обеспечивающими высокую толерантность излучения к степени гидратации роговицы и наличию на ее поверхности слоя жидкости, а также к микроклимату в операционной. Эксплуатационные преимущества твердотельных рефракционных установок обусловлены собственно конструкцией лазерного излучателя: данная технология не требует проведения дорогостоящих профилактических работ, освобождает пользователя от вопросов приобретения, хранения и эксплуатации газовых смесей.

Заключение. Результаты десятилетнего опыта эксплуатации твердотельных лазерных рефракционных установок характеризуют твердотельную технологию как безопасное, клинически эффективное и экономически выгодное направление развития лазерной рефракционной хирургии.

Ключевые слова: российский твердотельный рефракционный лазер, OLIMP-2000/213, твердотельные технологии, рефракционная хирургия, лазерная хирургия роговицы.

Актуальность

Несмотря на стремительное развитие лазерной хирургии роговицы, основным инструментом большинства рефракционных хирургов на протя-

жении уже двух десятилетий остается эксимерный лазер. «Качество и надежность, проверенные временем» – принцип, безусловно, относящийся к эксимерным лазерам. И спорить с этим сложно.

Тем не менее, в конце прошлого столетия за рубежом начались исследования по поиску альтернативных источников ультрафиолетового (УФ) излучения для нужд рефракционной хирургии. В результате появилась твердотельная лазерная установка LightBlade (Novatec Laser Systems Inc., США), а затем – твердотельные рефракционные платформы LaserSoft (Katana Technologies, Германия) и Pulzar Z1 (CustomVis, Австралия), генерирующие УФ-излучение с длиной волны 210 и 213 нм соответственно [1, 9]. В исследованиях, предвещающих появление твердотельных установок на рынке рефракционных лазеров, была доказана безопасность данного вида излучения для всех структур глаза [1, 6, 10-12]. Кроме того, твердотельные лазеры и генерируемое ими излучение по некоторым параметрам оказались даже более «удобными» по сравнению с эксимерными. В частности, это касается их обслуживания и эксплуатации, а также физических свойств самого излучения, обеспечивающих большую стабильность энергетических показателей системы в течение операционного дня и позволяющих работать в режиме так называемой «влажной абляции».

Несмотря на то что твердотельная технология давно применяется в лазерах для фотокоагуляции и фотодеструкции тканей глаза, широкого распространения в рефракционной хирургии она не получила. И если за рубежом и в ряде стран бывшего Советского Союза успешно используются установки LaserSoft и Pulzar Z1, то на территории России, по нашим данным, этих платформ нет. Возможно, поэтому, твердотельная рефракционная технология для рефракционных хирургов в нашей стране является сферой повышенного интереса, с одной стороны, критики и дискуссий – с другой.

Материал и методы

В 2007 г. в Клинике лазерной микрохирургии глаза А. Тихова (г. Ярославль) стартовали работы по созданию твердотельной рефракционной сканирующей лазерной системы, а в 2009 г. начались ее клинические испытания. В 2010 г. установка

«OLIMP-2000/213» была зарегистрирована и сертифицирована, что позволило начать ее эксплуатацию в качестве второй платформы для выполнения рефракционных операций [2, 3]. До 2013 г. операции в клинике параллельно выполнялись на эксимерлазерной установке «OLIMP-2000/193» и на твердотельной установке «OLIMP-2000/213». В 2013 г. мы полностью перешли на твердотельную технологию. С 2011 г. твердотельная лазерная установка «OLIMP-2000/213» успешно работает в Республиканском центре микрохирургии глаза г. Ухты (Республика Коми), с 2015 г. – в филиале нашей клиники (г. Череповец). За 8 лет работы на твердотельной установке коллектив клиники имел возможность сравнить клинические результаты, полученные на платформах, генерирующих излучение с длиной волны 193 и 213 нм, особенности их функционирования, эксплуатации и обслуживания. Полученные результаты убедили нас в эффективности, стабильности, предсказуемости и безопасности работы твердотельной установки [4, 5]. Кроме того, было отмечено уменьшение трудозатрат на ее техническое обслуживание и снижение себестоимости операций. Именно поэтому был сделан выбор в пользу твердотельной технологии, а эксимерные установки, эффективно отработавшие в клинике и филиалах более 10 лет, были утилизированы.

За восемь лет на твердотельной лазерной установке «OLIMP-2000/213» в клинике выполнено 4700 операций по методикам LASIK и MAGEK. Длительность и течение раннего послеоперационного периода, сроки достижения максимальной остроты зрения сопоставимы с таковыми после операций, выполненных на эксимерлазерной установке.

Результаты и обсуждение

С точки зрения клинического применения преимущества твердотельной технологии обусловлены, в первую очередь, физическими свойствами УФ-излучения с длиной волны (λ) 213 нм. Установлено, что вода, физиологический раствор, сбалансированный солевой раствор имеют более низкие коэффициенты поглощения и большую глубину проникновения для излучения с $\lambda=213$ нм (по сравнению с $\lambda=193$ нм) [7, 8]. Кроме того, излучение с $\lambda=213$ нм наиболее близко к максимуму абсорбции роговничного коллагена. Совокупность вышеперечисленных факторов обеспечивает высокую толерантность данного вида излучения к степени гидратации роговицы и наличию на ее поверхности слоя жидкости, а также меньшую чувствительность излучения к показателям влажности и температуры в операционной. Все это позволяет аблировать строму роговицы в наиболее физиологичном ее состоянии, формируя при этом равномерные и гладкие

поверхности. Следует также отметить, что малый размер пятна в сочетании с высокой частотой генерации и небольшой энергией в импульсе обеспечивают точную абляцию с меньшей энергетической и термической нагрузкой на строму роговицы.

Эксплуатационные преимущества твердотельных рефракционных установок, в свою очередь, обусловлены собственно конструкцией лазерного излучателя. Лазерное излучение инфракрасного спектра ($\lambda=1064$ нм) образуется путем оптической накачки кристалла алюмоиттриевого граната, легированного неодимом (Nd:YAG). Рабочее УФ-излучение с длиной волны 213 нм получается путем нелинейного преобразования основной частоты $\lambda=1064$ нм в частоту второй ($\lambda=532$ нм), третьей ($\lambda=355$ нм) и пятой ($\lambda=213$ нм) гармоник. Для повышения ресурса ключевых элементов нелинейной оптики применяются современные технологии защиты (термостабилизация, вакуумирование, специальные покрытия). Данная технология не требует проведения дорогостоящих профилактических работ, необходимых для долгосрочного, качественного и бесперебойного функционирования лазерного излучателя. Кроме того, эксплуатация твердотельных установок освобождает пользователя от вопросов, связанных с приобретением, хранением, эксплуатацией, заменой и утилизацией газовых смесей, содержащих агрессивный для элементов лазера и токсичный фтор. А единственным расходным элементом в обслуживании установки является дистиллированная вода в системе охлаждения.

Инновационная конструкция корпуса твердотельной рефракционной установки 3-го поколения, а также ее малые габариты и вес позволяют впервые заявить об абсолютном новом качестве для рефракционных лазеров – мобильности. Установку можно легко перемещать как в пределах одного здания, так и в рамках мобильных медицинских программ. Для удобства транспортировки установка разбирается на 4 компактных модуля. Конструкция лазера обеспечивает устойчивость к разъюстировке. Сборка и настройка установки на новом месте работы занимает не более двух часов; выход в рабочий режим – не более 30 минут. Габариты установки позволяют работать в небольших по площади операционных, а особенности излучения с длиной волны 213 нм позволяют уделять меньше внимания строгому мониторингу температуры и влажности в операционной.

Система автоматического поддержания энергии в реальном времени гарантирует высокий уровень стабильности ультрафиолетового излучения. При рабочей энергии 0,5 мДж, Гауссовом распределении энергии в пятне диаметром 0,5 мм и частоте генерации 300 Гц разброс энергии составляет менее 3%.

Переход на диодную накачку активного элемента позволил в разы сократить энергопотребление и существенно повысить энергоэффективность установки.

Система слежения, работающая в видимом спектре с высоким разрешением, в безинерционном режиме по захвату рисунка радужки отслеживает все движения глаза, в том числе и ротационные. Высокодетализированное изображение на мониторе позволяет хирургу проводить операцию «по монитору».

Программное обеспечение позволяет проводить операции персонализированной абляции и операции с использованием тканесберегающего алгоритма. Дополнительная опция предоставляет широкий набор кастомизируемых инструментов для проведения отдельных этапов операции непроникающей глубокой склерэктомии. Кроме того, программное обеспечение в автоматическом режиме контролирует работу инженера, защищая от ошибок, связанных с человеческим фактором; а также ведет полный учет всех манипуляций хирурга и инженера в виде логирования и аудиорегистрации.

Заключение

Десятилетний опыт технической эксплуатации твердотельных лазерных рефракционных установок подтвердил все преимущества УФ-излучения с $\lambda=213$ нм, описанные ранее в зарубежных источниках.

Собственный восьмилетний опыт использования твердотельной лазерной технологии в клинической практике подтвердил ее эффективность и безопасность.

Стабильность работы и упрощенный алгоритм технического обслуживания твердотельной установки, а также отсутствие дорогостоящих расходных материалов позволили снизить эксплуатационные затраты и себестоимость рефракционных операций.

Совокупность вышеперечисленных факторов характеризует твердотельную технологию как клинически эффективное и экономически выгодное направление развития лазерной рефракционной хирургии.

Литература

1. Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации. – СПб.: Человек, 2009. – 296 с.

2. Тихов А.В., Кузнецов Д.В., Сулова А.Ю., Страхова Г.Ю., Сулов С.И. Первая отечественная твердотельная лазерная система для рефракционной хирургии «OLIMP-2000» // Съезд офтальмологов России, 9-й: Тез. докл. – М., 2010. – С. 101.

3. Тихов А.В., Сулова А.Ю., Сулов С.И., Страхова Г.Ю. Применение твердотельных лазеров ультрафиолетового диапазона в рефракционной хирургии роговицы. Обзор литературы // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2010. – Т. 10 (№ 3). – С. 11-15.

4. Тихов А.В., Кузнецов Д.В., Тихов А.О., Тихова Е.В. Анализ двухлетних клинических наблюдений за результатами 2200 операций, выполненных на отечественной твердотельной лазерной установке «OLIMP-2000/213-300Hz» // Современные технологии в офтальмологии. – 2015. – № 4. – С. 198-201.

5. Тихов А.В., Сулова А.Ю., Барышева Ж.В., Сулов С.И., Тихов А.О. Коррекция индуцированной гиперметропии высокой степени на твердотельной рефракционной лазерной установке «OLIMP-2000/213» (клинический случай) // Современные технологии в офтальмологии. – 2016. – № 5. – С. 194-198.

6. Dair G.T., Pelouch W.S., van Saarloos P.P., Lloyd D.J., Paz Linares S.M., Reinholz F. Investigation of corneal ablation efficiency using ultraviolet 213-nm solid state laser pulses // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1999. – Vol. 40, № 11. – P. 2752-2756.

7. Dair G.T., Ashman R.A., Eikelboom R.H. et al. Absorption of 193- and 213-nm laser wavelengths in sodium chloride solution and balanced salt solution // Arch. Ophthalmol. – 2001. – Vol. 119. – P. 533-537.

8. Hale G.M., Querry M.R. Optical constants of water in the 200 nm to 200 μ m wavelength region // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12. – P. 555-563.

9. Shah S., Piovella M. Solid-state laser platforms: two reviews // Cataract & Refractive Surgery Today. – 2013. – Nov./Dec. – P. 26-32.

10. Tsiklis N.S., Kymionis G.D., Kounis G.A. et al. One-year results of photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis for myopia using a 213 nm wavelength solid-state laser // J. Cataract. Refract. Surg. – 2007. – Vol. 33. – P. 971-977.

11. Tsiklis N.S., Kymionis G.D., Kounis G.A. et al. Photorefractive keratectomy using solid state laser 213 nm and excimer laser 193 nm: a randomized, contralateral, comparative, experimental study // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2008. – Vol. 49, № 4. – P. 1415-1420.

12. Van Saarloos P.P., Rodger J. Histological changes and unscheduled DNA synthesis in the rabbit cornea following 213-nm, 193-nm, and 266-nm irradiation // J. Refract. Surg. – 2007. – Vol. 23. – P. 477-481.