

УДК 617.741—089.87:615.849.19

С.Н. Федоров, В.Г. Копаева, Ю.В. Андреев,
Э.Г. Богдалова, А.В. Беликов

S.N. Fyodorov, V.G. Kopaeva, Yu.V. Andreev,
E.G. Bogdalova, A.V. Belikov

Техника лазерной экстракции катаракты

Technique of Laser Cataract Extraction

ГУ МНТК «Микрохирургия глаза», Москва
IRTC "Eye Microsurgery", Moscow

► Авторами разработана принципиально новая техника лазерной экстракции катаракты, позволяющая эффективно удалять катаракты любой плотности. Основу методики составляет использование лазера с оригинальной длиной волны, не применявшейся ранее в офтальмологии.

Хрусталик разрушается фронтом акустического давления, который рождается при контакте излучения с молекулами воды. Техника операции бимануальная. Системы аспирации-ирригации и доставка излучения представлены в разных наконечниках. Особенности операции определяются структурой катаракты. В настоящем исследовании представлены три основных варианта техники лазерной экстракции применительно к полным, слоистым и бурым катарактам.

В настоящее время ведется поиск технологий лазерной хирургии катаракты. Известны работы Dodick J.M. по использованию Nd:YAG-лазера (1,06 мкм) [9, 10], B. Bath [6] и Nanevicz T.M. [16] — эксимерного лазера (308 нм), а также целого ряда исследователей по эрбиевому лазеру [11–15, 20]. Однако ряд негативных свойств использованных лазеров — генерация мощной акустической волны, канцерогенность излучения [14, 17], низкая эффективность разрушения, отсутствие качественных световодов [19] — не позволяют активно применить предлагаемые методики в клинике.

► We have introduced a principally new technique of laser cataract extraction allowing for an effective removal of a cataract of any density. It is based on the usage of laser with an original wavelength previously not used in ophthalmology.

The lens is destructed by the zone of acoustic pressure which arises on contact between radiation and water molecules. The operative technique is bimanual. The systems of aspiration-irrigation and radiation supply are provided by different tips. The specific features of surgery are determined by the cataract structure. Three basic variants of laser extraction are discussed as applied to the total, lamellar, and brunescent cataracts.

Presently, a search for the technologies of cataract laser surgery is under way. Among the available works are those by J.M. Dodick [9, 10], B. Bath [6] on the use of Nd:YAG laser (1.06 μm) and T.M. Nanevicz [16] related to excimer 308 nm laser and certain works on the use of the erbium laser [11–15, 20]. However, certain negative properties of the lasers used, e.g., generation of a powerful acoustic wave, carcinogenicity of radiation [14, 17], low effectiveness of destruction, absence of effective optical fiber [19], prevent these techniques from active clinical application.

A series of investigations of the evaluation of a destructive laser effect on the lens of solid-state lasers of a various design, such as neodimium, goldmium, thuli-

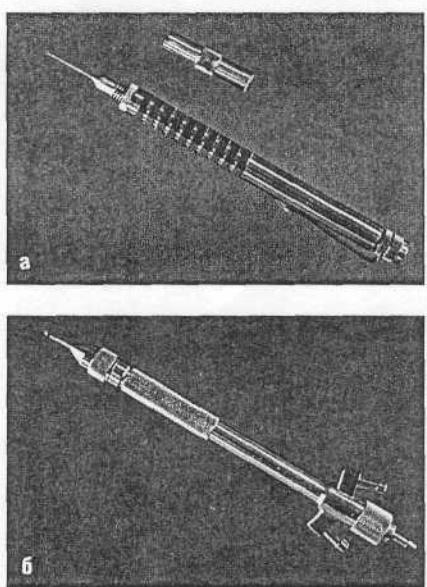


Рис. 1. Наконечники для бимануальной техники операции: лазерный (а) и аспирационно-ирригационный (б)

Fig. 1. Tips for the bimanual operative technique: laser (a) and aspiration-irrigation tip (b)

Мы провели серию исследований по оценке разрушающего действия на хрусталик различных конструкций твердотельных лазеров (неодимовый, гольдмиевый, тулиевый, эрбийевый), что позволило найти лазер с уникальными свойствами, удовлетворяющими практически по всем параметрам задачам катарактальной хирургии. Это Nd:YAG-лазер с длиной волны 1,44 мкм, не имеющий коммерческих аналогов и еще не нашедший применения в медицине [1–4]. Последующие эксперименты позволили окончательно разработать технологию операции и приступить к ее клинической апробации [4, 5].

В настоящий момент выполнено более 1000 экстракций катаракты с этим лазером. Уже сейчас можно говорить о высокой эффективности разработанного подхода по отношению к различным типам катаракт. Операция имеет ряд принципиальных моментов, отличающих ее от уже описанных в литературе подходов к лазерному удалению катаракты.

Цель данной работы — детальное описание нашей техники лазерной экстракции катаракты, а также тех преимуществ, которые появляются при использовании предлагаемой методики.

Используемый твердотельный YAG-лазер генерирует излучение с длиной волны 1,44 мкм в импульсно-периодическом режиме, с длительностью импульса 250 микросекунд, энергией в импульсе до 400 мДж, мощностью излучения от 1 до 4 Вт, частотой следования импульсов — 5–15 Гц. Подача излучения в полость глаза осуществляется по кварц-кварцевому оптическому волокну с диаметром 450 микрон. Для работы в полости глаза используется специальный наконечник, в который вводится лазерное волокно. Рабочая часть наконечника имеет диаметр 0,7 мм (рис. 1а).

Лазерная система имеет блок аспирации оригинальной конструкции для удаления разрушенного

хрусталика и erbium, allowed us to find a laser with unique properties that practically correspond to all the parameters of cataract surgery tasks. This is a Nd:YAG laser with a wavelength of 1.44 μm that have no commercial analogs and is not used in medical practice [1–4]. Subsequent experiments helped develop a surgical technique and begin its clinical trials [4, 5].

More than 1000 cataract extractions have been presently performed by using this laser. The developed approach gives evidence on its high effectiveness relative to the different types of cataracts. The operation has certain principal stages by which it is distinguished from the reported approaches to laser cataract extraction.

The purpose of this work is to describe in detail our technique of laser cataract extraction and advantages of the suggested method.

The solid-state YAG laser generates radiation with a wavelength of 1.44 μm in the pulse-periodic regimen with a pulse duration of 250 μsec, pulse energy of up to 400 mJ, radiation power of 1–4 W, and pulse frequency of 5–15 Hz. Radiation is supplied to the eye cavity via the quartz-quartz optic fiber with a diameter of 450 μm. A special tip is used during work into which a laser fiber is inserted. The working part of the tip is 0.7 mm in diameter (Fig. 1a).

A laser system has an aspiration block of an original design for removal of the destructed lens substance from the optic cavity that provides for the high speed of vacuum accumulation and discharge in a linear regimen. The level of formed vacuum varies from 0 to 500 mm Hg. The direct operation in the anterior chamber is accomplished with the help of a special aspiration-irrigation tip connected with the aspiration pump by means of silicone tubes.

The development of technology proved the expediency of using a bimanual operative technique based on a separate application of a laser and aspiration-irrigation tips to form a wide canal for aspiration thus preventing possible obturation of an aspiration tip. The functions of aspiration, irrigation and laser energy supply combined in one tip that we used in the previous works proved to be of little success because a ring-shaped aspiration canal can be plugged by lens masses.

The aspiration-irrigation tip is shown in Fig. 1b. It consists of a main handle 25 mm in length and aspiration canal of a 5-mm outer diameter that is introduced into the handle. The outer wall of the canal and the inner wall of the main handle make up the irrigation canal of the tip through which an irrigation solution is supplied to the eye cavity. The distal end of the tip has special outlets with adapters making it possible to connect the tip with the tubes for aspiration and irrigation. The proximal part of the tip comprises its working part introduced into the optic cavity. It has an aspiration needle of a special design (RF patent No. 97120606) which is

хрусталикового вещества из полости глаза, обеспечивающий высокую скорость набора и сброса вакуума в линейном режиме. Уровень создаваемого вакуума — от 0 до 500 мм рт.ст. Непосредственная работа в полости глаза осуществляется при помощи специального аспирационно-ирригационного наконечника, соединяющегося с аспирационной помпой посредством силиконовых трубок.

В ходе разработки технологии мы пришли к выводу о целесообразности использования бимануальной техники операции, основанной на раздельном использовании лазерного и аспирационно-ирригационного наконечников. Это позволяет создать широкий канал для аспирации, исключив тем самым возможность обтурации аспирационного наконечника. Совмещение функций аспирации, ирригации и подачи лазерной энергии в одном наконечнике, использованное нами в предшествующих работах, оказалось малоперспективным, так как создает условия для закрытия кольцевидного аспирационного канала хрусталиковыми массами.

Аспирационно-ирригационный наконечник представлен на рис. 1б. Он состоит из основной рукоятки длиной 25 мм, в которую введен аспирационный канал с наружным диаметром 5 мм. Наружная стенка канала и внутренняя стенка основной рукоятки образуют ирригационный канал наконечника, по которому осуществляется подача ирригационного раствора в полость глаза. Дистальный конец наконечника имеет специальные выходы с переходниками, позволяющими соединить наконечник с трубками для аспирации и ирригации. Проксимальная часть наконечника составляет его рабочую часть, вводимую в полость глаза. Она включает в себя иглу для аспирации специальной конструкции (патент РФ № 97120606), которая ввинчивается в основной аспирационный канал наконечника, и металлический колпачок для подачи ирригационной жидкости. Общий диаметр рабочей части аспирационно-ирригационного наконечника не превышает 1,8 мм.

Механизм разрушения хрусталикового вещества основан на эффектах фотомеханической деструкции (Photodisruption) и состоит в поглощении излучения молекулами воды перед хрусталиком, резком расширении воды и образовании локальной акустической волны, деформирующей хрусталиковые фибриллы [7, 8]. Такой механизм позволяет разрушать хрусталик в бесконтактном режиме. Это, несомненно, положительный фактор, исключающий смещение ядра и тракции цинновых связок в момент генерации лазерных импульсов. Описанный эффект может проявляться и при поглощении излучения молекулами воды в хрусталике, следствием чего является диссоциация хрусталикового вещества на фрагменты. Эффективная аспирация таких фрагментов обеспечивается конструкционными особенностями нашей иглы для аспирации.

screwed up in the main aspiration canal of the tip and a metal cup for irrigation liquid supply. A general diameter of the working part of the aspiration-irrigation tip does not exceed 1.8 mm.

The mechanism of destruction of the lens matter is based on the effects of photomechanical destruction (Photodisruption) and consists in absorption of radiation by water molecules before the lens, sharp water dilatation and the formation of a local acoustic wave that disrupts lens fibrils [7, 8]. By using this regimen it is possible to destruct the lens in a contactless regimen. This undoubtedly positive factor prevents excessive movement of the nucleus in the capsular bag and traction of zonula ciliaris at the moment of laser pulse generation. The effect can manifest itself in absorption of radiation by water molecules in the lens with the result of dissociation of the lens material into fragments. The effective aspiration of such fragments is ensured by the design features of our aspiration needle.

Technique of laser cataract extraction

Laser cataract extraction was performed under pre-operative local anesthesia by 3–4 instillations of 1% marcaine solution for 1 h and administration of 1% lidocaine solution in the anterior chamber. At the initial operative stage a self-sealing incision of 1.9 mm at 1–12 o'clock and paracentesis of 8.8 mm at 10 o'clock were formed. Then capsulorhexis, hydrodissection and hydrodelineation of lens nucleus were performed.

The stage of laser nucleus fragmentation begins with insertion into the eye cavity of aspiration-irrigation tip through the self-sealing incision and laser tip through paracentesis. As a rule, the irrigation-aspiration tip is held by that hand that is less active functionally because of the least volume of manipulations in the anterior chamber. The laser tip is the main "working" instrument and is held by the most functionally active hand.

We have developed three main surgical approaches to laser cataract destruction associated with its different structure that determines various conditions for safe and effective laser destruction of the lens nucleus. Here is the description of a surgical technique and advantages of each method of laser cataract extraction.

I. Nucleus fragmentation technique. The capsule was opened by the method of continuous curvilinear capsulorhexis with a diameter of 6 mm.

The technique is used in completely cloudy lenses, including even the most dense brunescent, brown and yellow nuclei which cannot be effectively removed with the help of ultrasonic phacoemulsification. It essentially consists in that after the tip has been introduced into the optic cavity, two perforating linear defects are formed in the lens nucleus located at 90° relative to each other. As a result, the nucleus is separated into 4 isolated seg-

Техника лазерной экстракции катаракты

Лазерную экстракцию катаракты выполняли под местной анестезией, осуществляя путем 3–4-кратных инстилляций 1% р-ра марказина в течение часа перед операцией и введением 1% р-ра лидокаина в переднюю камеру на начальном этапе операции. Предварительно формировали клапанный разрез длиной 1,9 мм в меридиане 1–12 часов и парацентез 0,8 мм на 10 часах, проводили капсулорексис, гидродиссекцию и гидроделинацию ядра хрусталика.

Этап лазерного дробления ядра начинается с введения в полость глаза аспирационно-ирригационного наконечника через клапанный разрез и лазерного наконечника через парацентез. Как правило, наконечник для ирригации-аспирации удерживается той рукой, которая менее активна в функциональном отношении, так как им выполняется наименьший объем манипуляций в передней камере. Лазерный наконечник, являясь основным «рабочим» инструментом, располагается в наиболее функционально активной руке.

В ходе выполнения операций нам удалось разработать три основных подхода к лазерному разрушению катаракты, что связано с разнообразием структуры катаракт, которая определяет различные условия для безопасного и эффективного лазерного разрушения ядра хрусталика. Ниже дается описание хирургической техники и достоинств каждого из используемых нами способов лазерной экстракции катаракты.

I. Техника, основанная на рассечении ядра на фрагменты. Капсула вскрывалась методом переднего дозированного капсулорексиса, диаметр которого составлял 6 мм.

Техника применяется на полностью мутных хрусталиках, включая даже самые плотные бурые, коричневые и желтые ядра, которые практически невозможно эффективно удалить, используя ультразвуковую факоэмульсификацию. Суть техники состоит в том, что после введения наконечников в полость глаза формируются 2 сквозных линейных дефекта в ядре хрусталика, расположенные под углом 90° по отношению друг к другу. В результате ядро фрагментируется на 4 изолированных сегмента. Так как наиболее удобной зоной является меридиан 5–11 часов, то первый линейный дефект формируют в вышеуказанном меридиане. Затем ядро хрусталика ротируется на 90° и формируется второй линейный дефект, разделяющий каждую из половин ядра еще на 2 фрагмента. Далее проводят лазерное дробление и аспирацию образованных сегментов.

Рассечение ядра требует использования наиболее высоких значений энергии — 250 мДж при частоте генерации лазерных импульсов 10–12 Гц. В момент раскола ядра лазерный наконечник должен слегка касаться поверхности хрусталика (рис. 2).

ments. Since the most convenient zone is located at 5–11 o'clock, the first linear defect is formed here, then the lens nucleus is rotated by 90° and the second linear defect is formed that divides each of the nuclear halves into another two fragments. This is followed by laser fragmentation and aspiration of the segments formed.

Incision of the nucleus requires the use of the highest energy values, up to 250 mJ, at the generation frequency of laser pulses of 10–12 Hz. At the moment of nucleus destruction, the laser tip must gently touch the lens surface (Fig. 2). This prevents nucleus perforation, especially at the moment when the depth of a linear defect is more than half of the lens thickness. Destruction of the lens fibrils in a given case occurs due to acoustic wave generation above the lens at the expense of "water activation". If the rate of defect formation is insufficient, it is expedient to raise radiation energy thus intensifying the acoustic wave power. At the moment of linear defect formation it is necessary to move the laser tip over the nucleus surface at a distance of not more than 2–2.5 mm to the lens equator. The nucleus splits spontaneously, without any mechanical efforts. This prevents mechanical tractions of zonula ciliaris and is an important advantage of the method (Fig. 3).

Starting removal of the nucleus fragments, it is feasible to decrease the radiation energy twice in order to avoid excess of the destruction speed of lens matter over the aspiration speed of lens masses and the arising diffuse dissemination of the lens detritus in the anterior chamber. It is also expedient to increase the laser pulse generation frequency to 15 Hz to achieve greater fragmentation of the lens masses which, in turn, promotes more adequate and uniform aspiration.

It is most convenient to aspirate lens fragments from the wedge part slightly elevating it over the posterior capsule by the end of the optical fiber and bringing the aspiration opening under the fragment bottom, which prevents uncontrolled twisting of fragments and their displacement into the anterior chamber. The laser beam must be directed to the area of the aspiration opening smoothly moving the laser tip from the lens masses to the edge of the aspiration tube and backwards. This technique ensures favorable conditions for the realization of acoustic properties of the tip aspiration system making it possible to destruct the lens parts in front of the aspiration canal and inside it providing for smooth aspiration.

A zone of surgical intervention at this stage must be at the center of the operative field. Manipulations in the posterior chamber are the principal condition of surgery. In this case, laser nucleus destruction takes place within the capsular bag, at a maximum distance from the posterior surface of the cornea, iris root and ciliary body. This, in turn, prevents the action of factors destructing the lens on the eye tissues surrounding it (cornea, iris root, ciliary body) and ensures safety of

Это позволяет избежать сквозной перфорации ядра, особенно в тот момент, когда глубина линейного дефекта составляет более половины толщины хрусталика. Деструкция хрусталиковых фибрill в данном случае происходит вследствие генерации акустической волны над хрусталиком за счет «активации воды». Если скорость формирования дефекта недостаточна, целесообразно повышать энергию излучения, усилив тем самым мощность акустической волны. В момент формирования линейного дефекта следует перемещать конец световода над поверхностью ядра, не доходя 2–2,5 мм до экватора хрусталика. Раскол ядра происходит самопроизвольно, без дополнительных механических усилий. Это исключает механические тракции цинновых связок, являясь существенным достоинством метода (рис. 3).

Приступая к удалению фрагментов ядра, энергию излучения необходимо снижать вдвое. Это позволит избежать превышения скорости деструкции хрусталикового вещества над скоростью аспирации хрусталиковых масс, и возникающего при этом диффузного рассеивания хрусталикового детрита в передней камере. Целесообразно также повысить частоту генерации лазерных импульсов до 15 Гц, так как это позволяет добиваться большего измельчения хрусталиковых масс, что в свою очередь способствует более качественной и равномерной аспирации.

Удобнее всего аспирировать хрусталиковые фрагменты от клиновидной части, слегка приподнимая ее над задней капсулой кончиком световода и подводя под дно фрагмента аспирационное отверстие. Это позволяет избежать перекручивания фрагментов вокруг оси и выпадения их в переднюю камеру. Лазерный луч необходимо направлять в область аспирационного отверстия, осуществляя плавные перемещения наконечника световода от хрусталиковых масс на край аспирационной трубки и назад. При такой методике создаются благоприятные условия для реализации акустических свойств аспирационной системы наконечника, что позволяет разрушать части хрусталика, как перед аспирационным каналом, так и внутри него, обеспечивая плавную аспирацию.

Зона вмешательства на данном этапе должна находиться в центре операционного поля. Принципиальным условием операции является работа в задней камере. В этом случае лазерное разрушение ядра происходит в пределах капсульного мешка, максимально далеко от задней поверхности роговой оболочки, корня радужки и цилиарного тела, что в свою очередь исключает действие факторов, разрушаю-

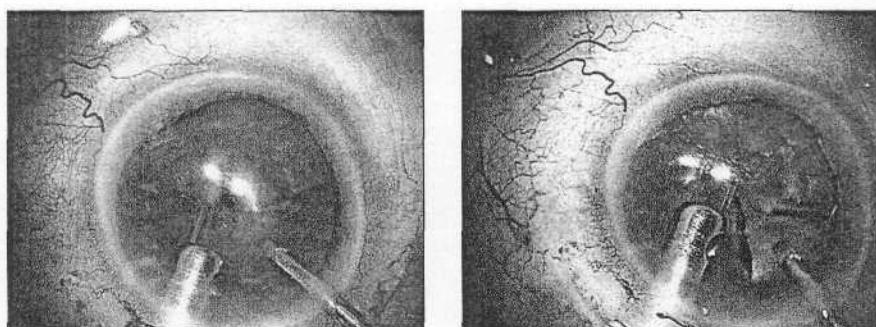


Рис. 2. Плотная коричневая катаракта. Начальный этап операции лазерной экстракции катаракты

Fig. 2. Dense brown cataract. The initial stage of laser cataract extraction



Рис. 3. Глаз того же пациента. Рассечение ядра пополам

Fig. 3. Eye of the same patient. Nucleus is being dissected into two parts

surgery. During the first operations, manipulations in the posterior chamber were most difficult. It required preservation of the intact posterior chamber since when the nucleus fragments have been removed the capsule loses support and becomes excessively movable.

We have developed the effective method for preserving the posterior lens chamber integrity. It is based on the use of a special silicone attachment (like a spatula) fitted to the edge of an aspiration canal, which is a specific barrier preventing suction of the posterior chamber to the aspiration opening. The spatula-like element was slightly moved under the bottom of lens fragments. It resulted in complete displacement of fragments to the bottom of the element. A subsequent manipulation has been already described and comprises suction of the wedge-shaped edge of the fragment to the aspiration opening and laser pulse generation. In this case, laser radiation should be directed strictly downwards, at the attachment bottom, through the lens matter, which ensures most effective fragmentation of lens masses (Figs. 4–7).

Notably, this operative technique ensures removal of the most dense cataracts (brunescence, yellow, brown) within a relatively short time from 4 to 6 min with a laser work duration of 2–4 min. This takes less time than the use of ultrasonic phacoemulsification which requires 8–10 min for removal of a dense yellow or white nucleus, with the time of ultrasound employment exceeding the threshold values. Eribium laser extraction in a given type of cataracts requires not less than 20–30 min of work in the anterior chamber with consideration of the fact that the operative time for soft cataracts is 10–15 min [11, 12, 15, 18].

II. Operative technique based on the separation of a dense part of the nucleus from the epinucleus. It is employed in immature cataracts with the fundus reflex. The degree of the nucleus density can vary from insignificant to very high. A surgeon must first break up dense central parts of the nucleus into



Рис. 4. Глаз того же пациента. Введен аспирационно-ирригационный наконечник с силиконовой лопаткой для защиты задней капсулы

Fig. 4. Eye of the same patient. Aspiration-irrigation tip having a silicone spatula-like tip for posterior capsule protection is introduced

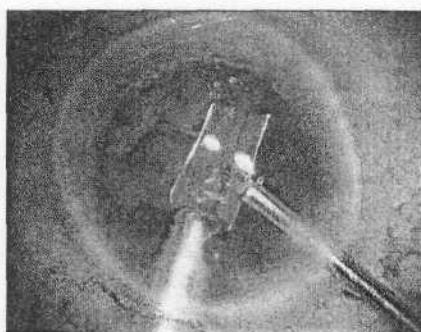


Рис. 5. Глаз того же пациента. Ротация последнего фрагмента ядра для подведения под него силиконовой лопатки

Fig. 5. Eye of the same patient. The remaining lens fragment is rotated in order to bring a spatula-like tip under its lower part

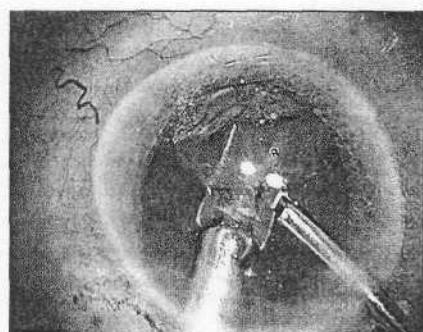


Рис. 6. Глаз того же пациента. Лопатка защищает заднюю капсулу хрусталика от повреждения

Fig. 6. Eye of the same patient. Spatula-like tip protects the posterior capsule

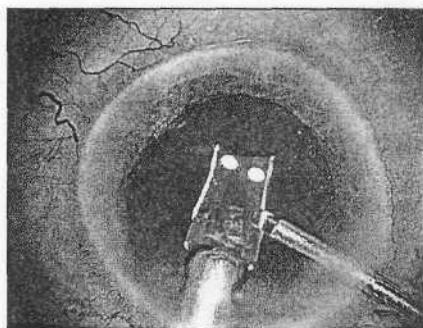


Рис. 7. Глаз того же пациента. Хрусталик полностью удален. Задняя капсула сохранна

Fig. 7. Eye of the same patient. Lens is completely removed. Posterior capsule is intact

ших хрусталик, на окружающие его ткани глаза (роговица, корень радужки, цилиарное тело). Это обеспечивает безопасность хирургического вмешательства. В ходе первых операций最难 was выполнить условие работы в задней камере, обеспечив при этом сохранность задней капсулы, так как по мере удаления фрагментов ядра капсула теряет опору, приобретая избыточную подвижность.

Мы нашли эффективный способ сохранения целостности задней капсулы хрусталика. Он основан на использовании специальной силиконовой насадки в виде лопатки, одеваемой на конец аспирационного канала, которая является своеобразным механическим барьера, предотвращающим присасывание задней капсулы к аспирационному отверстию. Техника манипуляций с насадкой заключается в подведении ее под нижнюю часть хрусталикового фрагмента. Последующие действия уже описаны выше и состоят в присасывании клиновидного края фрагмента к аспирационному отверстию, генерации лазерных импульсов. Важно в данном случае направлять лазерное излучение строго вниз на дно насадки через вещество хрусталика, что обеспечивает наиболее полноценное дробление хрусталиковых масс (рис. 4-7).

several isolated segments and then separate them from the epinucleus. This ensures a possibility of a further work with laser radiation, in the "depth of a lens bowl", as it were, whose walls are made up by the epinucleus. Laser destruction of the dense fragments will practically be safe because all manipulations are conducted solely in the posterior chamber, at a maximum distance from the corneal endothelium. In this case, the epinucleus secures the capsular bag in a distended state which prevents suction of the capsule to the aspiration opening.

The degree of the preliminary destruction of the nucleus central part varies, as a rule, depending on the cataract density. In case of a soft cataract, the nucleus is broken up into 2 fragments, in denser cataracts into 4 fragments. The technique of nucleus splitting comprises linear defect formation (*described above*). The most dense cataracts require, as a rule, the more massive destruction of the nucleus central parts to reduce the dimensions of fragments from the remaining precipitate of the dense nucleus part and to provide for a more effective and safe aspiration.

The central dense segments must be removed in the operative field center. Most accessible are the fragments located at 6 o'clock. Therefore, the technique of removal of the nucleus dense part comprises successive fragment separation from the epinucleus located at 6-7 o'clock, their laser fragmentation, aspiration and accurate nucleus rotation by 40-45° making it possible to bring the new fragments of the nucleus in the working zone of the aspiration tip. We have shown that "separation" of fragments from the epinucleus is most easy to perform using a laser tip as a spatula and bringing the end of the optical fiber edge under the wedge-shaped part of a fragment. However, the connections with the epinucleus are completely broken only after the wedge-

Следует еще раз подчеркнуть, что описанная техника операции позволяет удалять наиболее плотные типы катаракт (бурые, желтые, коричневые) за сравнительно короткое время — 4–6 мин, при длительности работы лазера 2–4 мин. Это быстрее, чем при использовании методики ультразвуковой факоэмulsификации, где на удаление плотного желтого или белого ядра уходит 8–10 мин, при этом время использования ультразвука превышает пороговые значения. Эрбивая лазерная экстракция катаракты при данном типе катаракт потребует не менее 20–30 мин работы в передней камере, учитывая то, что для мягких катаракт время операции составляет 10–15 мин [11, 12, 15, 18].

II. Техника операции, основанная на отделении плотной части ядра от эпинуклеуса. Применяется при незрелых катарактах с рефлексом с глазного дна. Степень плотности ядра здесь может варьировать от незначительной до очень высокой. Действия хирурга в данном случае направлены на то, чтобы расколом плотные центральные отделы ядра на несколько изолированных сегментов, вычленить их из эпинуклеуса. Это даст возможность дальнейшей работы с лазерным излучением «как бы в глубине хрусталиковой чаши», стенками которой является эпинуклеус. Лазерное разрушение плотных фрагментов при этом станет практически безопасным, так как работа проводится исключительно в задней камере, максимально далеко от роговичного эндотелия. Эпинуклеус при этом удерживает капсулльный мешок в растянутом состоянии, что исключает присасывание капсулы к аспирационному отверстию.

Степень предварительного разрушения центральной части ядра, как правило, варьирует в зависимости от плотности катаракты. Если катаракта мягкая, то ядро раскалывается на 2 фрагмента, при более плотных катарактах — на 4. Техника раскола ядра состоит в формировании линейных дефектов (*техника уже описана выше*). Самые плотные катаракты, как правило, требуют разрушения центральных отделов ядра большей площади. Это позволит уменьшить размеры фрагментов из остающегося ободка плотной части ядра, что обеспечит их более эффективную и безопасную аспирацию.

Удаление центральных плотных отделов необходимо проводить в центре операционного поля. Наиболее доступны фрагменты, лежащие в меридиане 6 часов. Поэтому техника удаления плотной части ядра состоит в последовательном отделении от эпинуклеуса фрагментов, лежащих в меридиане 6–7 часов, их лазерного дробления, аспирации, и аккуратной ротации ядра на 40–45°, позволяющей вывести в зону работы аспирационного наконечника новые фрагменты ядра. Мы отметили, что легче всего выполнять выделение фрагментов из эпинуклеуса при помощи лазерного наконечника, манипулируя им как шпателем и

shaped part of the fragment has been sucked in the aspiration opening. Therefore, it is expedient to begin laser pulse generation only after the lens fragment is closely fixated to the aspiration opening.

The laser radiation parameters are the same as in the first type of surgery: 250 mJ with a frequency of 10–12 Hz at the stage of fragmentation of the nucleus dense part and 120–150 mJ with a frequency of 15 Hz in aspiration of the lens fragments. At the final stage of surgery the epinucleus is subjected to aspiration without the use of laser energy.

This type of laser extraction is used for cataracts that can be removed by ultrasonic phacoemulsification. In this case, laser cataract extraction can be the method of choice. However, laser extraction has actual advantages relative to certain parameters such as the reducing of operative time and expenditure of irrigation liquid. At the same time, we consider the laser technique to be more safe for the eye tissues.

III. Technique based on the manipulations with a whole nucleus. Our surgical experience gives evidence that certain cataracts are difficult to destruct due to either a very soft lens structure or, on the contrary, high density and elasticity of the nucleus. The latter type includes brunescent cataracts with the fundus reflex. In this case, it is more expedient to form a crater in the lens nucleus with subsequent disruption and aspiration of the walls of the formed "lens bowel". The order of technical manipulations for the soft and brunescent cataracts is different.

Soft cataracts. A crater of a small (5–6 mm) diameter should be formed and then its walls aspirated by suction of the aspiration opening to the lens matter at 6 o'clock and bringing it in the center of the operative field with simultaneous laser pulse generation. This approach is effective and most safe allowing for manipulations in the center of the operative field all the time and maximally removing the laser beam from the posterior chamber. It is expedient to use the minimal values of radiation energy of 100–150 mJ increasing the frequency to 15 Hz due to the nucleus low resistance to laser radiation. The nucleus is smoothly rotated during removal of the walls of a "lens bowel". The epinucleus can be removed using only aspiration, without laser radiation, for 4–5 s.

Brunescent cataracts. The nucleus of such a cataract is more resistant to laser effect and therefore it is difficult to bring the crater wall in the center of the operative field. Even if this has been achieved, the zone of laser destruction is displaced to the cornea. Therefore, it is more expedient to use another approach based on the two-stage formation of a wide crater whose wall is only formed by the epinucleus that can be removed by aspiration without laser energy. At the first stage, maximum values of energy are used in order to rapidly form a crater. The laser tip smoothly moves at

подводя край световода под клиновидную часть фрагмента. Однако связи с эпинуклеусом окончательно рвутся только после присасывания клиновидной части фрагмента к аспирационному отверстию. Поэтому генерацию лазерных импульсов целесообразно включать только после того, как хрусталиковый фрагмент плотно фиксирован к аспирационному отверстию.

Параметры лазерного излучения те же, что и при первом типе операции — 250 мДж с частотой 10–12 Гц на этапе фрагментации плотной части ядра и 120–150 мДж при частоте 15 Гц при аспирации хрусталиковых фрагментов. Заключительный этап операции состоит в аспирации эпинуклеуса уже без использования лазерной энергии.

Данный тип лазерной экстракции выполняется на тех катарактах, которые могут быть удалены методом ультразвуковой факоэмульсификации. В этом отношении лазерная экстракция катаракты может стать методом выбора. Однако по ряду параметров — время операции, расход ирригационной жидкости — лазерная экстракция имеет явные преимущества. В то же время у нас есть основания говорить и о большей безопасности лазерной методики для тканей глаза.

III. Техника, основанная на манипуляциях с целиком ядром. В ходе выполнения операций мы отметили, что некоторые катаракты трудно расколоть либо в силу очень мягкой структуры хрусталика, либо, наоборот, в связи с высокой плотностью и эластичностью ядра. К последнему типу относятся бурые катаракты с рефлексом с глазного дна. Здесь более целесообразно формировать в ядре хрусталика кратер с последующим разрушением и аспирацией стенок образованной «хрусталиковой чаши». Последовательность технических действий для мягких и бурых катаракт различна.

Мягкие катаракты. Целесообразно формировать небольшой по диаметру кратер (5–6 мм), а затем аспирировать стенки кратера, присасываясь аспирационным отверстием к хрусталиковому веществу на 6 часах, выводя его в центр операционного поля и включая в этот момент генерацию лазерных импульсов. Такой подход не только эффективен, но и наиболее безопасен, так как позволяет работать все время в центре операционного поля, максимально удаляя лазерный луч от задней капсулы. В связи с низкой резистентностью ядра к лазерному излучению целесообразно использовать минимальные значения энергии излучения — 100–150 мДж, повысив частоту до 15 Гц. В ходе удаления стенок хрусталиковой чаши ядро плавно ротируется. Эпинуклеус можно удалить на одной аспирации, без лазерного излучения за 4–5 секунд.

Бурые катаракты. Ядро такой катаракты более резистентно к лазерному воздействию, в связи с чем стенку кратера трудно вывести в центр операционного поля. Даже если это и удается сделать, то зона ла-

5–11 o'clock. When necessary, a new portion of the lens is brought in the working zone of laser radiation by nucleus rotation.

The aim of the second stage is widening of the already formed crater by the final destruction of the "lens bowel" wall up to the epinucleus. By this moment, the lens matter has been thinned out and therefore the radiation energy is decreased to 150 mJ (reducing the depth of a light passage in the tissue). The deficit of the destructive power is compensated for by an increase in the frequency of pulse generation to 15 Hz. The technique infers the direct laser radiation to the wall of the already formed crater locating the optical fiber at 10–11 o'clock to cause separation of remnants of the nucleus dense portions from the epinucleus after 4 to 5-s generation of laser pulses. The remnants are sucked to the aspiration opening and being destructed at the aspiration canal edge removed. To widen the crater borders over the whole circumference the nucleus is carefully rotated. The epinucleus is removed by aspiration without the additional use of laser energy.

Notably, the described technique requires somewhat more time compared to the methods based on lens splitting. However, it is not inferior to them concerning safety and allows for the removal of the most dense types of cataracts not yielding to ultrasonic destruction. This technique considerably widens indications to surgery of small incisions.

Advantages of the proposed techniques

Laser radiation gives possibility to effectively destruct and remove the nucleus of any degree of density, including most dense yellow and brunescent cataracts. All the previously used types of energy for cataract destruction failed in achieving this effect. At the moment of lens nucleus fragmentation we use the contactless work regimen which prevents mechanical pressure on the lens and traction of zonula ciliaris thus reducing to the minimum the danger of injury to the lens posterior chamber.

At the stage of nucleus fragment aspiration our technique provides for manipulation solely in the posterior chamber reducing the danger of injury to the posterior epithelium of the cornea during surgery. Among the important advantages of surgery are the high operative rate allowing for a complete removal of the nucleus for 0.5–4 min (depending on nucleus density) with a minimum expenditure of the irrigation liquid. A comparison of the results of laser cataract extraction with ultrasound phacoemulsification shows a greater safety of laser energy relative to eye tissues on the whole. The results of the first thousand of operations will be given in the next communication.

зерного разрушения смещается к роговице. Поэтому в данном случае наиболее целесообразен другой подход, основанный на двухэтапном формировании широкого кратера, стенку которого составляет только один эпинуклеус, который можно удалить на аспирации, без лазерной энергии. На первом этапе используются максимальные значения энергии с тем, чтобы быстро сформировать кратер. Лазерный наконечник при этом плавно перемещается в меридиане 5–11 часов. По мере необходимости в зону работы лазерного излучения выводится новый фрагмент хрусталика путем ротации ядра.

Целью второго этапа является расширение уже сформированного кратера посредством окончательной деструкции стенки «хрусталиковой чаши» до эпинуклеуса. В связи с тем, что вещество хрусталика к этому моменту уже истощено, энергию излучения снижают до 150 мДж (уменьшая глубину прохождения света в ткани). Дефицит разрушающей силы компенсируется увеличением частоты генерации импульсов до 15 Гц. Методика предполагает направление лазерного излучения на стенку уже сформированного кратера, располагая световод на 10–11 часах, что приводит к отделению остатков плотных отделов ядра от эпинуклеуса после 4–5 секунд генерации лазерных импульсов. Они присасываются к аспирационному отверстию, и, разрушаясь у края аспирационного канала, удаляются. Для расширения границ кратера по всей окружности ядро аккуратно ротируют. Эпинуклеус удаляется на одной аспирации, без дополнительного подключения лазерной энергии.

Следует указать, что описываемая техника требует несколько большего времени по сравнению с методиками, основанными на расколе хрусталика. Однако она не уступает им в безопасности с одной стороны, а с другой — позволяет удалить самые плотные типы катаракт, явно не поддающиеся ультразвуковому разрушению. Использование такой техники позволяет существенно расширить показания к хирургии малых разрезов.

Достоинства предлагаемой методики

Лазерное излучение дает возможность эффективно фрагментировать ядро хрусталика любой степени плотности, включая наиболее плотные желтые и бурье катаракты. Все применяемые ранее виды энергии для разрушения катаракты не позволяли добиться такого эффекта. В момент дробления ядра хрусталика мы используем бесконтактный режим работы, что исключает механическое давление на хрусталик и тракции цинновых связок, поэтому сводится к минимуму опасность травмы задней капсулы хрусталика.

На этапе аспирации фрагментов ядра наша техника операции позволяет работать полностью в задней

камере, уменьшая опасность повреждения заднего эпителия роговицы в ходе операции. Важным достоинством является высокая скорость операции, позволяющая полностью удалить ядро за 0,5–4 мин (в зависимости от плотности ядра), при минимальном расходе ирригационной жидкости. Сравнение результатов лазерной экстракции катаракты с ультразвуковой факоэмulsификацией свидетельствует о большей безопасности лазерной энергии по отношению к тканям глаза в целом.

Результаты первой тысячи операций будут приведены в следующем сообщении.

Литература

1. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В. Оценка возможности использования Nd:YAG-лазера для хирургического удаления катаракты. 1 этап — экспериментальные исследования *in vitro* // Евро-Азиатская конф. по офтальмохирургии, 1-я: Материалы.— Екатеринбург, 1998.— С. 168.
2. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В. Оценка возможности использования Nd:YAG лазера для хирургического удаления катаракты. 2 этап — экспериментальные исследования *in vivo* // Евро-Азиатская конф. по офтальмохирургии, 1-я: Материалы.— Екатеринбург, 1998.— С. 169.
3. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В. и др. Лазерная экстракция катаракты // Офтальмохирургия.— 1998.— № 4.— С. 3-9.
4. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Ерофеев А.В., Беликов А.В. Способ лазерной экстракции катаракты: Патент РФ № 2102048 от 20.03.95.
5. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Ерофеев А.В., Беликов А.В. Устройство для офтальмохирургических операций. Решение о выдаче патента от 11.11.98 по заявке № 97120606/14 от 10.12.97.
6. Bath P.E., Mueller G., Apple D.J., Brems R. Eximer laser lens ablation // Arch. Ophthalmol.— 1987.— Vol. 105.— P. 1164-1165.
7. Bauer J., Jiang X.-Y., Wen Y., Yan W., et al. Comparative study of Nd:YAG laser angioplasty at 1.06 μm, 1.32 μm, and 1.44 μm. Wavelengths: Decreased vascular spasm and early mortality with 1.44 μm laser ablation // Laser Surg. Med.— 1996.— Vol. 19.— P. 229-310.
8. Bayly J.G., Kartha V.B., Stevens W.H. The absorption spectra of liquid phase H₂O, HDO and D₂O from 0.7 μm to 10 μm // Infrared Phys.— 1963.— Vol. 3.— P. 211-223.
9. Dodick J.M. Laser phacolysis of human cataractous lens // Dev. Ophthalmol.— 1991.— Vol. 22.— P. 58-64.
10. Dodick J.M., Christiansen J. Experimental studies on the development and propagation of shock waves created by the interaction of short Nd:YAG laser pulses with a titanium target: possible implications for Nd:YAG laser phacolysis of the cataractous human lens // J. Cataract Refract. Surg.— 1991.— Vol. 17.— P. 794-797.
11. Hachet E. Laser phacoemulsification with meditec MCL 29 — first results // Congress of European Society of Cataract & Refractive Surgeons, 15th: Scientific Research Symposia Abstracts.— Prague, 1997.— P. 166.
12. Hoh H.R. Preliminary results with erbium-laser-phacoemulsification // Congress of European Society of Cataract & Refractive Surgeons, 15th: Scientific Research Symposia Abstracts.— Prague, 1997.— P. 166.