

doi: 10.25005/2074-0581-2021-23-4-585-594

## РАЗВИТИЕ ЦИКЛОДЕСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ГЛАУКОМЫ

Ф. ФУРКАТЗОД, Х.Д. КАРИМ-ЗАДЕ, Ш.К. МАХМАДЗОДА

Кафедра офтальмологии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино, Душанбе, Республика Таджикистан

Глаукома была и остаётся актуальнейшей проблемой в офтальмологии. Она характеризуется повышением внутриглазного давления (ВГД), снижением поля зрения и атрофией зрительного нерва. Несмотря на определённые успехи в диагностике и лечении заболевания, от глаукомы всё ещё страдают миллионы (на сегодняшний день по данным ВОЗ в мире насчитывается более 106 миллионов человек), и многие пациенты обращаются уже на поздних стадиях. Болевой синдром, который присоединяется у части больных, иногда вынуждает врачей удалять глаз. В связи с этим, был внедрён ряд, так называемых, органосохраняющих операций, целью которых является снижение продукции внутриглазной жидкости (ВГЖ) и, соответственно, устранение болевого синдрома. Лечение глаукомы включает консервативные и хирургические вмешательства. Хирургические методы при глаукоме направлены на улучшение оттока ВГЖ (фистулизирующие операции) или на снижение её продукции (циклодеструктивные вмешательства). В данной статье говорится об эволюции оперативных вмешательств, направленных на снижение продукции ВГЖ путём разрушения цилиарных отростков. Мы выполнили поиск статей в базе данных Google Scholar Database, Pubmed, Web of Science, Cyberleninka и Cochrane Library, опубликованных до 2020 года, используя ключевые слова, которые относятся к циклодеструкции (ЦД), циклофотокоагуляции (ЦФК) и лечению рефрактерной глаукомы (РГ).

**Ключевые слова:** глаукома, циклодеструкция, циклофотокоагуляция, цилиарное тело, диодный лазер.

**Для цитирования:** Фуркатзод Ф, Карим-Заде ХД, Махмадзода ШК. Развитие циклодеструктивной хирургии в офтальмологии и её применение при различных видах глаукомы. *Вестник Авиценны*. 2021;23(4):585-94. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2021-23-4-585-594>

## A REVIEW OF CYCLODESTRUCTIVE SURGICAL PROCEDURES FOR THE TREATMENT OF VARIOUS TYPES OF GLAUCOMA

F. FURKATZOD, KH.J. KARIM-ZADE, SH.K. MAKHMADZODA

Department of Ophthalmology, Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Glaucoma remains a significant problem in ophthalmology. It is characterised by increased intraocular pressure (IOP), visual field loss, and optic nerve degeneration. Despite some progress achieved in the diagnosis and treatment of the disease, millions still suffer from glaucoma (currently, according to WHO, there are more than 106 million people globally), and many patients are already in the later stages. The accompanying pain syndrome sometimes forces doctors to remove the eye. In this regard, several so-called organ-preserving operations were introduced, the purpose of which is to reduce the production of intraocular fluid (IOF) and, accordingly, eliminate the pain syndrome. Glaucoma treatment includes conservative and surgical interventions. Surgical methods for glaucoma treatment aim to improve the outflow of intraocular fluid (fistulising operations) or reduce its production (cyclodestructive procedures). This paper analyses the evolution of surgical interventions to reduce intraocular fluid production by destroying the aqueous humour-producing ciliary processes. Systematic review searches were performed using Google Scholar, Pubmed, Web of Science, Cyberleninka, and Cochrane Library databases for articles published up to 2020 using keywords related to cyclodestruction (CD), cyclophotocoagulation (CPC), and treatment of refractory glaucoma (RG).

**Keywords:** Glaucoma, cyclodestruction, cyclophotocoagulation, ciliary body, diode laser.

**For citation:** Furkatzod F, Karim-Zade KhJ, Makhmadzoda ShK. Razvitie tsiklodestruktivnoy khirurgii v oftal'mologii i eyo primeneniye pri razlichnykh vidakh glaukomy [A review of cyclodestructive surgical procedures for the treatment of various types of glaucoma]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2021;23(4):585-94. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2021-23-4-585-594>

### ВВЕДЕНИЕ

Лечение рефрактерной глаукомы (РГ) остаётся одной из нерешённых проблем в офтальмологии из-за недостаточной эффективности стандартных методов лечения, как медикаментозных, так и хирургических. К РГ относятся неоднократно оперированная глаукома, глаукома в афакичном и артифакичном глазу, а также неоваскулярная глаукома [1, 2]. Начиная с 1930 годов, появился новый метод лечения, заключающийся в деструкции цилиарного тела – циклодеструкция (ЦД), который стал методом выбора у таких пациентов для снижения внутриглазного давления (ВГД) и уменьшения прогрессирования глаукомы. Цель ЦД заключается в выборочном уничтожении эпителия цилиарных отростков (ЦО), что приводит к уменьшению, но не прекращению выработки

### INTRODUCTION

Treatment of refractory glaucoma (RG) remains one of the unsolved problems in ophthalmology due to the lack of effectiveness of standard treatment methods, both medical and surgical. RG includes repeatedly operated glaucoma, glaucoma in aphakic and pseudophakic eyes, and neovascular glaucoma [1, 2]. Since the 1930s, a new treatment for the destruction of the ciliary body, cyclodestruction (CD), became the treatment of choice in these patients to lower intraocular pressure (IOP) and reduce the progression of glaucoma. The goal of CD is to selectively destroy the ciliary process (CP) epithelium, which leads to a decrease, but not a cessation of intraocular fluid (IOF) production, thereby preventing the progression of glaucoma [3, 4]. Over the past 70-80

внутриглазной жидкости (ВГЖ), тем самым предотвращая прогрессирование глаукомы [3, 4]. За последние 70-80 лет в поисках новых и улучшенных модернизированных операций, которые включают более точную фокусировку направления энергии и, тем самым, снижают повреждение окружающих тканей и послеоперационных осложнений, учёными было предложено несколько видов циклодеструктивных операций [5]. Уже в 1933-1936 гг. в лечении глаукомы применялась проникающая и непроникающая циклодиатермия, при которой проводилась коагуляция цилиарного тела (ЦТ) с помощью электрического тока [6, 7]. При этом нормализация давления наблюдалась только у 14,7% больных, у 26,5% пациентов ВГД было на стадии субкомпенсации, а в 4 (5,9%) случаях отмечалась гипотония (Архангельский ВН, 1964). Однако различные исследования, которые проводились в 40-50-х годах прошлого века показали, что циклодиатермокоагуляция (ЦДТК) не безопасна и имеет множество осложнений, включая некроз тканей глаза и субатрофию глазного яблока. По данным Гольдфельда НГ (1958) частота осложнений может варьировать от 16% до 42%. Так, отслойка сосудистой оболочки наблюдалась в 17,7% случаев, у 10,3% пациентов отмечался иридоциклит, у 11,8% – выпадение радужной оболочки [8-10].

Byeti G в 1950 году для снижения продукции ВГЖ предложил использование техники обморожения – криодеструкцию, которая гистологически уничтожает цилиарные отростки, капилляры цилиарного тела, что, в свою очередь, уменьшает циркуляцию крови в цилиарном теле и соответственно снижает продукцию ВГЖ [12, 13]. Циклокриокоагуляция (ЦКК) снижала ВГД более эффективно и была менее травматична. Результаты экспериментальных исследований послужили основой для клинического применения криодеструкции цилиарного тела. Bietti G отметил хорошую переносимость операции пациентами. Однако стойкая компенсация ВГД была достигнута только у 16 из 21 пациента (76,2%). Поскольку криодеструкция была более или менее предсказуемой и вызывала меньше осложнений, чем пенетрирующая циклодиатермия (частота осложнений менее 12%) она вытеснила последнюю технику. Но, несмотря на это, в последующих исследованиях, осложнения после ЦКК были выявлены многими авторами. Среди них увеиты (11,9%), увеличение болевого синдрома (практически во всех случаях присутствовал болевой синдром), подвывих хрусталика (3,7%), гифема (10,2%) и гипотония (12%) с последующей субатрофией глазного яблока (которую практически нельзя предотвратить). Всё это вынудило учёных искать более оптимальные варианты лечения у больных с последней стадией глаукомы [11-14]. Поэтому данный метод оставался резервным после неэффективной фистулизирующей операции.

Следующим этапом по усовершенствованию криогенного метода были исследования, направленные на оптимизацию технологии с более обоснованным выбором температурных режимов и экспозиции [15]. Было доказано, что использование сверхнизких температур (от -100 до -180°C) имеет очевидные преимущества перед умеренно низкими температурами (от -70 до -80°C) с дозированием зоны и уменьшением времени воздействия, так как при этом происходит двухфазное образование внутриклеточного кристалла. В первой фазе быстрого замораживания образуются малые внутриклеточные кристаллы, которые сами по себе не являются губительными для клеток, но при медленном размораживании образуются более крупные кристаллы, которые являются деструктивными для клеток цилиарного тела. По мере накопления опыта использования сверхнизких температур многими авторами выявлены и специфические недостатки методики: в раннем послеоперационном периоде во всех случаях

years, in developing novel surgical techniques that include a more precise direction of energy and thereby reducing the damage to surrounding tissues and postoperative complications, scientists have proposed several types of cyclodestructive procedures [5]. Back in the 30s, penetrating and non-penetrating cyclodiathermy already was used, in which the ciliary body (CB) was coagulated using electric current [6, 7]. At the same time, normalisation of pressure was observed only in 14.7% of patients. Furthermore, in 26.5% of patients, the stage of IOP subcompensation was observed, and in 4 (5.9%) cases, hypotension was noted (Arkhangelsky VN, 1964). However, various studies conducted in the 40-the 50s of the last century showed that cyclodiathermocoagulation is unsafe and has many complications, including eye tissue necrosis and phthisis bulbi. According to Goldfeld NG (1958), the complication rate can vary from 16% to 42%. Thus, choroidal detachment was observed in 17.7% of cases, iridocyclitis 10.3%, and prolapse of the iris in 11.8% of patients [8-10].

Byeti G in 1950 proposed a controlled frostbite technique – cryodestruction, which destroys the ciliary processes and its capillaries, which, in turn, reduces blood circulation in the ciliary body and, accordingly, reduces the production of IOF [12, 13]. Cyclocryoagulation (CCC) reduced IOP more effectively and was less traumatic. The results of experimental studies served as the basis for the clinical application of cryodestruction of the ciliary body. Bietti G noted the excellent patient tolerance of the procedure. However, stable IOP compensation was achieved only in 16 out of 21 patients (76.2%). Therefore, it supplanted the latter technique because cryodestruction was more predictable and caused fewer complications than penetrating cyclodiathermy (less than 12% complication rate), it supplanted the latter technique. However, in subsequent studies, complications after CCC were highlighted by many authors. Among complications are uveitis (11.9%), an increase in pain (the pain was present in almost all cases), lens subluxation (3.7%), hyphema (10.2%) and hypotension (12%), followed by phthisis bulbi (which is almost impossible to prevent). This forced scientists to look for more appropriate treatment options in patients with the end-stage of glaucoma [11-14]. Therefore, this method remained a backup one after a fistulising surgery failure.

The next step in improving the cryogenic techniques was research aimed at optimising the technology with more reasonable temperature regimes and exposure [15]. It has been proven that the use of ultra-low temperatures (from -100 to -180°C) has apparent advantages over moderately low temperatures (from -70 to -80°C) with the zone adjusting and a decrease in exposure time since this results in a two-phase intracellular crystal formation. In the first phase of rapid freezing, tiny intracellular crystals are formed, which in themselves are not destructive to cells. Still, larger crystals are formed during slow thawing, damaging ciliary body cells. However, with gained experience in the application of ultra-low temperatures, many authors also identified specific limitations of the technique: in the early postoperative period, in all cases (85.3%), there was an inflammatory reaction, often with the anterior chamber fibrin deposition (84.9%), systematic development of hyphema in more than 50% of patients.

In some cases, persistent hypotension (12.4%) with further development of subatrophic (10.7%) and phthisis bulbi (9.5%) were observed. Cryogenic methods are still widely used in vitreoretinal surgery despite possible complications. Some authors

(85,3%) имела место воспалительная реакция, зачастую с выпадением фибрина (84,9%) в переднюю камеру, частое развитие гифемы, более чем у 50% пациентов. В ряде случаев выявлена стойкая гипотония (12,4%) с дальнейшим развитием субатрофии (10,7%) и фтизиса глазного яблока (9,5%). Несмотря на вышеуказанные возможные осложнения, криогенные методы и сегодня находят широкое применение в витреоретинальной хирургии. В отдельных работах указывается на благоприятные результаты при сочетании криогенных и лучевых методов циклодеструкции при неоваскулярной глаукоме [13-16].

Сфокусированный ультразвук высокой интенсивности, разработанный в 1950 году Fry W, – ещё один способ коагуляции цилиарных отростков. Но, в связи с тем, что данный метод вызывал истончение склеры на месте аппликации (частотой от 17% до 62%) и дальнейшую эктазию склеры с последующим снижением зрения, от него отказались. Использование круговой ультразвуковой циклодеструкции до сих пор изучается [17, 18].

В 1961 году Weekers R для коагуляции цилиарного тела использовал ксеноновую дугу (луч), а в 1969 году Smith и Stein обнаружили, что лазер на иттрий-алюминиевом гранате с неодимом (Nd:YAG) может быть использован для трансклеральной циклофотокоагуляции (ТС ЦФК). Backman H в 1972 году произвёл ТС ЦФК, впервые используя рубиновый источник для лазера. Из последующих публикаций стало известно, что Nd:YAG лазер более эффективен, чем рубиновый. Позже для ЦФК стали использоваться аргонный (1954) и диодный (1961) лазеры [19, 20].

Подача лазерной энергии во время ЦФК осуществляется тремя путями: через зрачок – транспупиллярная ЦФК (ТПЦФК); через склеру – трансклеральная ЦФК, которая, в свою очередь, может быть как контактной, так и бесконтактной; эндоскопическая ЦФК (ЭЦФК).

#### **Транспупиллярная ЦФК**

Данный метод ЦФК представляет собой коагуляцию цилиарного тела путём воздействия аргон-лазерного луча длиной волны 647 нм через зрачок на видимые области цилиарного тела. Клиническое применение данного метода было ограничено, потому что для проведения фотокоагуляции цилиарных отростков требовалось полное расширение зрачка. Недостатком данного метода было то, что его можно применять не всем больным, а выборочно – больным с аниридией, а также больным, у которых радужка смещена вперёд вследствие полных передних синехий, и только тогда, когда медикаментозные и другие хирургические операции были неэффективны [21, 22]. ТПЦФК у части больных была неудобна в использовании, так как для это требовались максимально широкий зрачок и прямая зрительная ось. Вдобавок, клинические исследования показали, что аргон-лазерная ЦФК оказалась непредсказуемой. Так, Shields MB опубликовал результаты лечения 27 пациентов, которым была выполнена ТПЦФК аргонным лазером. Среди них только у 6 пациентов (22,3%) отмечался положительный результат. Постепенное устойчивое повышение ВГД зарегистрировалось у многих больных, которым проводили ТПЦФК [22].

#### **Трансклеральная ЦФК**

При ТС ЦФК лазерный луч (Nd:YAG лазер или диодный лазер) передается через склеру и поглощается меланином, который находится в эпителии цилиарных отростков, тем самым, вызывая селективную термическую коагуляцию тканей цилиарного тела [23].

indicate favourable results with a combination of cryogenic and radiation techniques of cyclodestruction in neovascular glaucoma [13-16]. In the 1950s, focused US was employed for brain therapy through a soft tissue window by Fry W for the first time. In 1985, Coleman et al first described high intensity focused ultrasound (HIFU) for cyclodestruction. Nevertheless, it was abandoned since this method caused thinning of the sclera at the application site (with a frequency of 17% to 62%) and further development of scleral ectasia, followed by vision loss. Nevertheless, ultrasound circular cyclophotocoagulation is still being studied [17, 18].

Weekers et al in 1961 used xenon arc photocoagulation over the ciliary body. In 1969, Smith and Stein discovered that the neodymium-doped yttrium aluminium garnet (Nd:YAG) laser could be used for transscleral cyclophotocoagulation (TSCPC). Backman H produced the TSCPC in 1972, the first to use a ruby laser source. From subsequent publications, it became known that the Nd:YAG laser is more efficient than the ruby one. Later, argon (1954) and diode (1961) lasers began to be used for CPC [19, 20].

The supply of laser energy during the CFC is carried out in three ways: through the pupil – transpupillary CPC (TPCPC); through the sclera – transscleral CPC, which, in turn, can be both contact and non-contact; and endoscopic CPC (ECPC).

#### **Transpupillary CPC**

This CPC method is a coagulation of the ciliary body by exposure to an argon laser beam with a wavelength of 647 nm through the pupil on the visible areas of the ciliary body. This technique was of limited clinical use because ciliary process photocoagulation required full pupillary dilation. The disadvantage of this method was that it could not be applied to all patients, but selectively – to patients with aniridia, as well as patients in whom the iris is shifted forward due to complete anterior synechia, and only when therapeutic and other surgical methods were ineffective [21, 22]. Furthermore, TPCPC in some patients was poorly adapted for use since it required maximal pupillary dilation and a clear visual axis. In addition, clinical studies have shown that argon laser CPC application had unpredictable outcomes. Thus, according to Shields MB published treatment results of 27 patients who underwent TPCTC with an argon laser, only 6 patients (22.3%) had a positive outcome. However, a gradual, steady increase in IOP was observed in many patients who underwent TP-CPC [22].

#### **Transscleral CPC**

In TSCPC, a laser beam (Nd:YAG or diode lasers) is transmitted through the sclera and absorbed by melanin, which is located in the epithelium of the ciliary processes, thereby causing selective thermal coagulation of the tissues of the ciliary body [23].

#### **Transscleral non-contact Nd:YAG laser CPC**

In the 70s and 80s, the Nd:YAG laser became the method of choice for CPC due to its ability to penetrate the sclera with no apparent damage [22]. Transscleral non-contact Nd:YAG laser CPC was used instead of CDT and CCC for a long time. When used in 500 patients, an increase in IOP, postoperative pain and inflammation were observed less frequently in the postoperative period. These findings stated that the laser has more precise focusing

### Трансклеральная бесконтактная Nd:YAG лазерная ЦФК

В 70-х и в 80-х годах XX столетия Nd:YAG лазер, благодаря способности проникать через склеру, почти не повреждая её, стал методом выбора при ЦФК [22]. Долгое время бесконтактный Nd:YAG заменял ЦДТ и ЦКК. При его применении у 500 больных повышение ВГД, послеоперационные боли и воспаление наблюдались реже в послеоперационном периоде. Эти находки констатировали тот факт, что лазер имеет более точную фокусировку и меньше повреждает соседние ткани по сравнению с ЦДК и ЦКК [24, 25].

Бесконтактная ЦФК производится на щелевой лампе с проводниковой системой Nd:YAG лазера, излучающей постоянные или переменные волны. Ориентиром позиции лазерного луча от лимба служит линза, которая ставится на глаз после анестезии. Место фокусировки лазера было определено *post mortem* в оперированных глазах. После изучения учёные пришли к выводу, что циклокоагуляция достигается использованием лазера мощностью 7-8 Вт на склере на расстоянии 1-1,5 мм позади от лимба [20, 22, 25].

### Трансклеральная контактная Nd:YAG лазерная ЦФК

Техника проведения контактной Nd:YAG лазерной ЦФК отличается от бесконтактной тем, что наконечник накладывается непосредственно на конъюнктиву на расстоянии 0,5-1,0 мм от лимба.

По сравнению с бесконтактной Nd:YAG ЦФК, контактная Nd:YAG ЦФК более эффективна, потому что при последней имеется более точная фокусировка энергии лазера, травматизация склеры меньше и разрушающая сила лазера лучше поддается контролю. Эти особенности делают контактную Nd:YAG ЦФК более эффективным методом для снижения ВГД с низким риском потери зрения [20-25].

### Трансклеральная диод-лазерная ЦФК (ТС ДЛ ЦФК)

Энергия луча генерируется полупроводниковой системой твёрдотельного диодного лазера. Свет излучается в инфракрасном спектре в 810 нм, который поглощается меланином в пигментном слое цилиарного тела и вызывает коагуляционный некроз эпителия и стромы цилиарного тела. G-наконечник ставится на расстоянии 1,2 мм от лимба. Строение G-наконечника ориентировано параллельно оси глаза. Это способствует более точному попаданию диодного луча к цилиарным отросткам [25, 26].

Данный метод широко применяется в связи с удобством в использовании и улучшенной фокусировкой и подачей энергии. Исследования показали, что деструкция эпителия отростков цилиарного тела лучше снижает ВГД и менее рискованна для зрения [26]. В основном ТС ДЛ ЦФК используется у больных с далеко зашедшей, рефрактерной, неоваскулярной и терминальной болящей глаукомой. Исследования показали хорошие результаты ТС ДЛ ЦФК, как у больных с первичной глаукомой, так и у повторно оперированных по поводу глаукомы пациентов [26, 27]. Был проведён сравнительный анализ: в первую группу включены больные, которым делали ТС ДЛ ЦФК первично. Во вторую группу входили больные, которым уже была выполнена антиглаукоматозная операция. Результаты в первой группе были лучше, и ВГД у них снизилось до 21 мм Hg [23-27].

Rotchford AP (2010) проводил ТС ДЛ ЦФК у больных с острой зрения  $\geq 20/60$ , или  $\geq 0,2$ . После 5 лет наблюдения у 73,5% больных ВГД было 16 мм Hg, зрение на 0,1 снизилось у 30,6% больных. Пропорция больных со снижением зрения была равна пропорции больных, которым делали фистулизирующие операции (синусотрабекулоэктомию, непроникающую глубокую склерэктомию)

and inflict minor damage on adjacent tissues than CFD and CCC [24, 25].

Non-contact CPC is conducted with a slit-lamp Nd:YAG lasers that operate in pulsed and continuous-wave (CW) mode. A contact lens placed on the eye after anaesthesia explicitly designed for this operation was used. The contact lens has the advantage of having markers at 1-mm intervals to judge the laser beam's position from the limbus. At the same time, they block some of the laser light from entering the pupil and blanch inflamed conjunctiva to decrease the superficial charring of the conjunctiva. *Post-mortem* studies on treated eyes determined the preferred focus of the laser beam. The results revealed that effective cycloablation was achieved with the anterior probe edge placed 1.0-1.5 mm posterior to the surgical limbus superiorly and inferiorly and 1 mm temporally and nasally with 7-8 W energy levels [20, 22, 25].

### Transscleral contact Nd:YAG laser CPC

In contact Nd:YAG laser CPC, a fibre's tip is applied perpendicular to the surface of the conjunctiva, 0.5-1.0 mm from the corneal limbus.

In comparison with non-contact Nd:YAG CPC, contact Nd:YAG CFC is more effective because the latter has more precise focusing of the laser beam, is less traumatic to the sclera, and laser damage performance is better controlled. These features make contact Nd:YAG CPA a more effective method for lowering IOP with a low risk of vision loss [20-25].

### Transscleral diode laser CPC (TS CPC)

Light energy is generated from a semiconductor solid-state diode laser system. The system emits light near the infrared spectrum at 810 nm, strongly absorbed by melanin in the pigmented ciliary body epithelium, thereby inducing coagulative necrosis of the ciliary body epithelium and stroma. The G-probe centres the fiberoptic pit and is designed to be placed approximately 1.2 mm from the corneoscleral limbus. The design of the G-probe encourages the orientation of the fiberoptic parallel to the visual axis. The orientation contributes to the more efficient laser energy delivery to the ciliary processes [25, 26].

This method is widely used due to easy application, improved energy delivery and focusing system, and reproducibility of the outcome. In addition, studies have shown that the destruction of the epithelium of the processes of the ciliary body lowers IOP effectively and is less risky for vision loss [26]. TS DL CPC is used in patients with advanced, refractory, neovascular and terminal painful glaucoma. Studies have shown promising results of TC DL CPC, both in patients with primary glaucoma and in patients reoperated for glaucoma [26, 27]. A comparative analysis was carried out: the first group included patients who would undergo TS DL CPC for the first time. The second group included patients who had already undergone glaucoma surgery. The first group showed better results, and their IOP decreased to 21 mm Hg [23-27].

Rotchford AP (2010) performed TS DL CPC in patients with visual acuity  $\geq 20/60$ , or  $\geq 0.2$ . After 5 years of follow-up, IOP was 16 mm Hg in 73.5% of patients; vision decreased by 0.1 in 30.6% of patients. The proportion of visual impairment was in line with that reported after fistulising operations (trabeculectomy, non-penetrating deep sclerectomy) [28]. These results indicate

[28]. Эти результаты указывают на возможность использования ТС ДЛ ЦФК у больных с наличием зрения на глазу с РГ. Среди осложнений в раннем послеоперационном периоде авторы отмечают снижение зрения (30,6%), гифему (11,4%), прогрессирующее катаракты (41,5%), иридоциклиты с частотой выявления до 75,5%, а также гипотонию (0,8-18%) с переходом в субатрофию глазного яблока (0,8-3,5%) и очень редко – симпатическую офтальмию (0,3%). Отмеченные осложнения могут быть связаны с передозировкой лазерной энергии при проведении непрерывно-волновой ЦФК [23-30, 33].

Некоторые исследования указывают, что частота побочных эффектов прямо пропорциональна суммарной лазерной энергии, а часть исследователей отмечают, что таких связей нет [23, 26, 30]. Несмотря на это, ТС ДЛ ЦФК на сегодняшний день успешно применяется для снижения ВГД у больных с далеко зашедшей, рефрактерной, неоваскулярной и терминальной болящей глаукомой [22-25]. По данным национального Британского центра по ЦФК, 47% больных с глаукомой была проведена ТС ДЛ ЦФК, из них 60% – с наличием зрительных функций, а у 22% больных проводили комбинированную операцию по удалению катаракты и ЦФК. Повторное повышение внутриглазного давления было зарегистрировано в 4% случаев и ни у кого из тех, кому делали комбинированную операцию [25, 27].

Одним из недостатков ТС ДЛ ЦФК является отсутствие визуального контроля, при этом точная локализация наконечника на лимб была установлена посмертно. Отсутствие визуализации цилиарного тела ограничивало хирургическую активность и затрудняло управляемость деструкции цилиарного тела [28, 31]. Несмотря на ряд осложнений, ТС ДЛ ЦФК является методом выбора операции у больных с рефрактерной, далеко зашедшей, неоваскулярной и терминальной болящей глаукомой. Благодаря своей портативности, дешевизне и эффективности среди трёх видов лазера (Nd:YAG, аргон и диодный лазер) методом выбора ЦФК при глаукоме является диодный лазер. Несмотря на это, потребность в улучшении методов ЦФК оставалась высокой, и исследования в этой сфере не прекращались [25, 30].

#### Эндоскопическая ЦФК

Эндоскопическая ЦФК (ЭЦФК) представляет собой относительно новый метод, введённый в 1990 году Shields MB et al и Uram M (1990), которые произвели эндоскопическую селективную коагуляцию цилиарных отростков диодным эндолазером при непосредственной визуализации процесса. Эндоскопическая ЦФК – это процедура, при которой, при условии визуализации цилиарного тела, ЦФК проводится эндоскопическим путём с помощью диодного лазера с длиной волны 810 нм. Доступ к цилиарному телу достигается через лимб или pars plana. Последний используется крайне редко, в основном, во время витреоретинальной хирургии, так как доступ чреват отслоением сетчатки и сосудистой оболочки. Но всё же данный доступ очень удобен у пациентов с переднекамерной ИОЛ, с афакией или с задними синехиями. Результаты клинического исследования эндоскопической ЦФК были впервые опубликованы доктором Uram M в 1992 году, который предложил проводить ЭЦФК одновременно во время витреоретинальной хирургии или факэмульсификации у больных с рефрактерной глаукомой или у больных с умеренно выраженным болевым синдромом [32].

Патогистологическое исследование глаз после ТС ДЛ ЦФК и ЭЦФК показало в обоих случаях деструкцию цилиарного тела, но всё же у больных, которым проводили ТС ДЛ ЦФК, цилиарное тело подверглось большему разрушению. При этом деструкции под-

a possible role in using TS DL CPC in patients with RG. Among the complications in the early postoperative period, the authors note a vision loss (30.6%), hyphema (11.4%), cataract progression (41.5%), iridocyclitis (75.5%), and hypotension (0.8-18%) and finally phthisis bulbi (0.8-3.5%) and very rarely – sympathetic ophthalmia (0.3%). The observed complications may be associated with overexposure to laser energy during continuous-wave CPC [23-30, 33].

Some studies indicate that the frequency of side effects is directly proportional to the total laser energy, and some researchers note that there are no such relationships [23, 26, 30]. Despite this, TS DL CPC is currently successfully used to reduce IOP in patients with advanced, refractory, neovascular, and terminal painful glaucoma [22-25]. For example, the United Kingdom National Cyclodiode Laser Survey of consultant ophthalmologists (47% of respondents were glaucoma subspecialists) revealed that 60% of the respondents performed diode laser CPC at any level of vision. In addition, 22% performed diode CPC simultaneously with cataract surgery. In addition, a reincrease in intraocular pressure was registered in 4% of cases and none who underwent combined surgery [25, 27].

One of the disadvantages of TS DL CPC is the lack of visual control, while the exact position of the fibre's tip on the limbus was established postmortem. The lack of visualisation of the ciliary body limited surgical activity and made it difficult to control the destruction of the ciliary body [28, 31]. Nevertheless, despite several complications, TS DL CPC is the method of choice for surgery in patients with refractory, advanced, neovascular and terminal painful glaucoma. Due to its portability, low cost and efficiency, among the three types of laser (Nd:YAG, argon and diode laser), the method of choice for CPC in glaucoma is the diode laser. Despite this, the need to improve CPC procedures remained high, and research in this area continues [25, 30].

#### Endoscopic CPC

Endoscopic CPC (ECPC) is a relatively new technique introduced in 1990 by Shields MB et al and Uram M (1990). They performed endoscopic selective coagulation of ciliary processes with a diode endolaser under direct visualisation. Endoscopic CPC is a procedure whereby the ciliary processes are photocoagulated under endoscopic guidance at wavelengths of 810 nm. Access to the ciliary body is achieved through the limbus or pars plana. However, the latter is used extremely rarely, mainly during vitreo-retinal surgery, since access is fraught with a retinal and choroidal detachment.

Nevertheless, this access is still very convenient in patients with an anterior chamber IOL placement, aphakia, or posterior synechia. Dr Uram M first published the clinical study results of ECPC in 1992. He suggested ECPC simultaneously during vitreo-retinal surgery or phacoemulsification in refractory glaucoma or moderate pain syndrome cases [32].

Histopathological examination of the eyes after TS DL CPC and ECPC showed the destruction of the ciliary body in both cases. Still, the ciliary body was more extensively destroyed in patients who underwent TS DL CPC. At the same time, the processes and the muscles and stroma of the ciliary body and neighbouring tissues were subjected to destruction. Dr Toth M et al conducted a study of 5824 eyes of patients who underwent ECPC. They found the following complications: IOP spikes (14.5%),

верглись не только отростки, но и мышцы и строма цилиарного тела, а также соседние ткани. Доктор Toth M et al проводили исследования 5824 глаз, которые подверглись ЭЦФК и обнаружили следующие осложнения: скачок ВГД (14,5%), геморрагии (3,8%), серозный выпот хориоидеи (0,38%), отслойку сетчатки (0,27%) и снижение остроты зрения ниже 2-х строчек (1,09%). В исследованиях говорится, что снижение ВГД до 22 мм Hg у больных с рефрактерной глаукомой достигалось в 63-89% случаев. В повторном лечении нуждались пациенты с посттравматической глаукомой, молодые пациенты и больные со вторичной глаукомой после проведения витреоретинальной хирургии [32, 34, 35].

#### Микроимпульсная ТС ДЛ ЦФК

Это последний из разработанных методов ТС ДЛ ЦФК, в котором используется диодный лазер. Устройство запрограммировано на "on" и "off" режимы, которые переключаются автоматически. Во время режима "on" устройство выпускает несколько непрерывных лазерных «выстрелов», которые поглощаются пигментным слоем эпителия ресничного тела. Это приводит к повышению температуры в пигментных слоях цилиарного тела и некротизирует их [36]. При этом беспигментные ткани не разрушаются, так как они имеют большую устойчивость к высоким температурам, чем пигментный слой, а также во время режима "off" ткани охлаждаются. Данный механизм не даёт окружающим тканям достичь порога коагуляции [25, 36].

Tan AM et al в 2010 году опубликовали статью об использовании микроимпульсной ТС ДЛ ЦФК для лечения рефрактерной глаукомы. Результаты исследования показали снижение ВГД на 6-21 мм Hg у 80% больных. Ни в одном глазу не возникла гипотония или снижение зрения на протяжении 16,3±4,5 месяцев. Рандомизированное исследование между группами больных, которым проводили микроимпульсную ТС ДЛ ЦФК и ТС ДЛ ЦФК, показали, что у 75% больных после микроимпульсной ТС ДЛ ЦФК отмечалось стойкое снижение ВГД, и только у 45% больных с ТС ДЛ ЦФК отмечалось снижение ВГД на протяжении 17,5 мес [37]. Kuchar S et al изучили 19 глаз с терминальной болящей глаукомой, которым была проведена микроимпульсная ТС ДЛ ЦФК, и у 73,7% из них было достигнуто стойкое снижение ВГД (на 20% ниже) на протяжении 2 месяцев [38]. В другом исследовании, с участием 80 пациентов (84 глаз) с рефрактерной глаукомой, которых лечили методом микроимпульсной ТС ДЛ ЦФК, результаты были следующими: у всех больных ВГД снизилось на 41,2% через 1 мес после операции. На 3-м месяце у 46% больных выявили признаки воспаления, а у 40% больных зрительные функции снизились на одну линию (10%) [39, 40].

Lee et al сравнили ВГД после проведения микроимпульсной ТС ДЛ ЦФК у детей и взрослых: снижение ВГД было отмечено у 72,22% взрослых и только у 22,22% детей после 12 мес. Семи детям из 12 сделали реоперацию на протяжении 12 лет. Но всё же никаких осложнений авторы в группе не выявили [46].

В 2016 г. Maslin J et al провели исследование гистологических структур ЦТ после проведения непрерывно-волновой и мЦФК на кадаверных глазах. При мЦФК отмечено более щадящее воздействие лазера на клеточную мембрану тканей ЦТ с изменением её проницаемости. После прекращения воздействия лазера наблюдалось её быстрое восстановление с менее значительным повреждением структур ЦТ, чем после традиционной непрерывно-волновой ЦФК [42].

В 2014 году Aquino M et al сравнили результаты лечения 48 пациентов, которым рандомизированно проводили мЦФК и непрерывно-волновую ЦФК. Через 18 месяцев в обеих группах

haemorrhages (3.8%), serous choroidal effusion (0.38%), retinal detachment (0.27%), and lost 2 or more Snellen lines of visual acuity (1.09%). Studies show that a decrease in IOP to 22 mm Hg in patients with refractory glaucoma was achieved in 63-89% of cases. After vitreoretinal surgery, patients with post-traumatic glaucoma, young patients, and patients with secondary glaucoma required retreatment [32, 34, 35].

#### Микроимпульсная ТС ДЛ ЦФК (MP-TSCPC)

MP-TSCPC is the last of the developed methods of TS DL CPC, which uses a diode laser system. The device is designed to operate in an "on" and "off" cycle mode. During the "on" cycle, multiple (microsecond) repetitive bursts of laser are emitted by the device and absorbed by pigmented tissues, causing an increase of thermal energy in pigmented tissues, inducing coagulative necrosis [36]. At the same time, the non-pigmented tissues never attain a coagulative threshold temperature because of their lower rate of absorption of thermal energy and have some time to cool off during the "off" cycle. This mechanism prevents the surrounding tissues from reaching the coagulation threshold temperature [25, 36].

Tan AM et al in 2010 published an article on the use of micropulse TS DL CPC for the treatment of refractory glaucoma. The study results showed a decrease in IOP by 6-21 mm Hg in 80% of patients. None of the patients developed hypotension or decreased vision during 16.3±4.5 months. A randomised study between patient's groups who underwent micropulse TS DL CPC showed that in 75% of patients, a persistent decrease in IOP was observed, and 45% of patients reduced IOP for 17.5 months [37]. Kuchar S et al studied 19 patients' eyes with painful terminal glaucoma, which underwent micropulse TS DL CPC. In 73.7% of them, a persistent decrease in IOP (by 20%) was achieved within 2 months [38]. In another study involving 80 patients (84 eyes) with refractory glaucoma treated with micropulse TS DL CPC, the results were as follows: in all patients, IOP decreased by 41.2% 1 month after surgery. At the 3<sup>rd</sup> month, 46% of patients showed signs of inflammation, and in 40% of patients, visual acuity decreased by one Snellen line (10%) [39, 40].

Lee et al compared IOP after microimpulse TH DL CPC in children and adults: a decrease in IOP was noted in 72.22% of adults and only 22.22% of children after 12 months. 7 out of 12 children underwent reoperation over 12 years. However, the authors did not reveal any complications in the group [46].

In 2016, Maslin J et al conducted a study of the histological structures of CB after CW and MP-TSCPC on cadaveric eyes. With MP-TSCPC, a more sparing effect of the laser on the cell membrane of the CB tissues with a change in its permeability was noted. Furthermore, after the cessation of laser exposure, its rapid recovery was observed with less significant damage to the CB structures than after traditional continuous-wave CPC [42].

In 2014, Aquino M et al compared the outcomes of 48 patients who were randomly treated with MP-TSCPC and CW CPC. After 18 months, in both groups, the reduction in IOP averaged 45% of the baseline. A higher percentage of complications was observed after continuous-wave CTC – 60% versus 12% in the group after MP-TSCPC. Prolonged hypotension was observed only after continuous-wave CPC. The absence of such cases in the after MP-TSCPC group can be explained by the relatively minimal

снижение ВГД в среднем составляло 45% от исходного уровня. Большой процент осложнений наблюдался после проведения непрерывно-волновой ЦФК – 60% против 12% в группе после проведения мЦФК. Длительная гипотония наблюдалась только после проведения непрерывно-волновой ЦФК. Отсутствие таких случаев в группе после мЦФК может быть объяснено относительно минимальным повреждением ЦТ. По результатам данного исследования авторы обнаружили сходную эффективность двух методов лечения с точки зрения снижения ВГД, но с меньшим количеством осложнений после мЦФК [43].

В 2018 г. Williams A et al провели ретроспективное исследование 79 больных с рефрактерной глаукомой, которым провели мЦФК. После операции ВГД снизилось на 51,1% от исходного уровня и держалось на протяжении 6 месяцев. Авторы отметили такие осложнения, как длительный иридоциклит в 21 (26%) случае, отёк макулы в 4 глазах (5%), послеоперационная гипотония – в 7 (8,8%), субатрофия глазного яблока в 2 случаях, снижение наилучшей корригированной остроты зрения на 2 и более строчки через 3 месяца наблюдения – у 13 (17%) пациентов [44].

Стоит отметить исследования других авторов по изучению эффективности мЦФК, в которых данная процедура была проведена пациентам с различными формами и стадиями глаукомы. После процедуры ВГД снизилось на 29,7-43,1% от исходного уровня. Гипотонии с последующей субатрофией глазного яблока не отмечалось, а количество осложнений было минимальным [45-47].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние девять десятилетий у больных с далеко зашедшей, рефрактерной, неоваскулярной и терминальной болящей глаукомой проблема контроля ВГД заставила учёных дорабатывать методы циклодеструкции. На данный момент процедура ЦФК усовершенствована и имеет мало послеоперационных осложнений. Если раньше ЦФК использовалась в последнюю очередь, после других антиглаукомных операций, то сейчас постепенно её применяют и на ранних этапах глаукомы. Несмотря на это, всё равно остаются требования к доработкам с целью минимизации осложнений и усиления эффекта ЦФК. Кроме того, отсутствует стандартизированный протокол лечения и выбора параметров лазерного воздействия при проведении ЦФК, что необходимо для определения оптимальных параметров лечения и результатов. В связи с этим, необходимо расширенное изучение данного метода лечения.

damage to the CB. Based on the results of this study, the authors found similar efficacy of the two treatments in terms of lowering IOP, but with fewer complications after MP-TSCPC [43].

In 2018, Williams A et al conducted a retrospective study of 79 patients with refractory glaucoma who received MP-TSCPC. IOP decreased by 51.1% from baseline and was maintained for 6 months postoperatively. The authors noted such complications as prolonged iridocyclitis in 21 (26%) cases, macular oedema in 4 eyes (5%), postoperative hypotension in 7 (8.8%), phthisis bulbi in 2 cases, a decrease in the best-corrected visual acuity by 2 or more Snellen lines of visual acuity after 3 months of observation – in 13 (17%) patients [44].

It is worth noting the contribution of other authors on the effectiveness of MP-TSCPC, in which this procedure was carried out in patients with various forms and stages of glaucoma. After the procedure, IOP decreased by 29.7-43.1% of the initial level. Furthermore, hypotension followed by phthisis bulbi was not observed, and the number of complications was minimal [45-47].

## CONCLUSION

Over the past nine decades, the IOP control issues in patients with advanced, refractory, neovascular, and terminal painful glaucoma have forced scientists to improve the methods of cyclodestruction. At the moment, the improved CPC techniques demonstrate fewer postoperative complications. Furthermore, if earlier CPC was used later in the course of the disease after other glaucoma operations, it is now being used in the early stages of glaucoma. Despite this, there is still a need for improvements to minimise complications and enhance the effect of CPC. In addition, there is no standardised protocol for the treatment and choice of laser exposure parameters during CPC, which is necessary to achieve optimal treatment results. In this regard, a comprehensive study of this treatment method is required.

## ЛИТЕРАТУРА

- Schuster AK, Erb C, Hoffmann EM, Dietlein T, Pfeiffer N. The diagnosis and treatment of glaucoma. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(13):225-34. Available from: <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0225>
- Conlon R, Saheb H, Ahmed II. Glaucoma treatment trends. *Can J Ophthalmol.* 2017;52(1):114-24. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2016.07.013>
- Хомчик ОВ, Большунов АВ, Ильина ТС. Лазерные циклодеструктивные технологии в лечении глауком. *Вестник офтальмологии.* 2012;128(3):54-9.
- Tseng VL, Coleman AL, Chang MY, Caprioli J. Aqueous shunts for glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;7(7):CD004918. Available from: <https://doi.org/10.1002/14651858>
- Бабушкин АЭ. Циклодеструктивные вмешательства в лечении рефрактерной глаукомы (обзор литературы). *Точка зрения. Восток – Запад.* 2014;2:16-8.

## REFERENCES

- Schuster AK, Erb C, Hoffmann EM, Dietlein T, Pfeiffer N. The diagnosis and treatment of glaucoma. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(13):225-34. Available from: <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0225>
- Conlon R, Saheb H, Ahmed II. Glaucoma treatment trends. *Can J Ophthalmol.* 2017;52(1):114-24. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2016.07.013>
- Khomchik OV, Bolshunov AV, Ilina TS. Lazernye tsiklodestruktivnyye tekhnologii v lechenii glaukom [Laser cyclodestructive technologies in treatment of glaucoma]. *Vestnik oftal'mologii.* 2012;128(3):54-9.
- Tseng VL, Coleman AL, Chang MY, Caprioli J. Aqueous shunts for glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;7(7):CD004918. Available from: <https://doi.org/10.1002/14651858>
- Babushkin AE. Tsiklodestruktivnyye vmeshatel'stva v lechenii refrakternoy glaukomy (obzor literatury) [Cyclodestructive techniques in treatment of refractory glaucoma]. *Tochka zreniya. Vostok – Zapad.* 2014;2:16-8.

6. Razeghinejad MR, Spaeth GL. A history of the surgical management of glaucoma. *Optom Vis Sci.* 2011;88(1):39-47. Available from: <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181fe2226>
7. Bloom P, Negi A, Kersey T, Crawley L. Cyclodestructive techniques. In: Shaarawy T, Sherwood M, Hitchings R, Crowston J, editors. *Glaucoma. 2nd ed.* London, UK: Elsevier; 2015. p. 1150-9.
8. Berke S. Cyclodiathermy. In: Shaarawy T, Sherwood M, Hitchings R, Crowston J, editors. *Glaucoma. 2nd ed.* London, UK: Elsevier; 2015. p. 1160-6.
9. Tzamalís A, Pham DT, Wirbelauer C. Diode laser cyclophotocoagulation versus cyclodiathermy in the treatment of refractory glaucoma. *European Journal of Ophthalmology.* 2011;21(5):589-96.
10. Scheie HG, Frayer WC, Spencer RW. Cyclodiathermy: A clinical and tonographic evaluation. *AMA Arch Ophthalmol.* 1955;53:839-46.
11. Denis P, Aptel F, Rouland J-F, Nordmann J-P, Lachkar Y, Renard J-P, et al. Cyclocoagulation of the ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound: A 12-month multicenter study. *IOVS.* 2015;56:1089-96.
12. Bietti G. Surgical intervention on the ciliary body; new trends for the relief of glaucoma. *JAMA.* 1950;142:889-97.
13. Gorsler I, Thieme H, Meltendorf C. Cyclophotocoagulation and cyclocryocoagulation as primary surgical procedures for open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2015;253:2273-7.
14. De Roethth A Jr. Cryosurgery for the treatment of glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1965;63:189-204.
15. Вьюнова ДМ. Циклокриотерапия при болящей глаукоме. *Офтальмологический журнал.* 1972;2:133-4.
16. Zhang B. Contrast of surgical effect of two different operations for neovascular glaucoma. *International Journal of Ophthalmology* 2010;10(4):671-3.
17. Aptel F, Charrel T, Lafon C, Romano F, Chapelon J-Y, Blumen-Ohana E, et al. Miniaturized high-intensity focused ultrasound device in patients with glaucoma: A clinical pilot study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:8747-53.
18. Aptel F, Denis P. Ultrasonic circular cyclocoagulation. *Surg Innov Glaucoma.* 2016;34:411-20.
19. Uzunel UD, Yüce B, Küsbeci T, Ateş H. Transpupillary argon laser cyclophotocoagulation in a refractory traumatic glaucoma patient with aphakia and aniridia. *Turk J Ophthalmol.* 2016;46:38-40.
20. Bloom PA, Clement CI, King A, Noureddin B, Sharma K, Hitchings RA, et al. A comparison between tube surgery, Nd:YAG laser and diode laser cyclophotocoagulation in the management of refractory glaucoma. *BioMed Research International.* 2013;2013:371951. Available from: <https://doi.org/10.1155/2013/371951>
21. Ардамакова АВ, Большунов АВ, Ильина ТС, Федорук НА, Сипливый ВИ. Транспупиллярная лазерная фотокоагуляция цилиарного тела: прошлое, настоящее и будущее. *Вестник офтальмологии.* 2017;133(1):81-7. Available from: <https://doi.org/10.17116/oftalma2017.133181-87>
22. Соколовская ТВ, Тихонова МИ. Циклодеструктивные вмешательства при лечении глаукомы: история, реальность, перспективы. *Офтальмологические ведомости.* 2019;12(3):45-58. Available from: <https://doi.org/10.17816/OV11132>
23. Rasmuson E, Lindén C, Lundberg B, Jóhannesson G. Efficacy and safety of transscleral cyclophotocoagulation in Swedish glaucoma patients. *Acta Ophthalmol.* 2019;97(8):764-70. Available from: <https://doi.org/10.1111/aos.14125>
24. Charisis SK, Detorakis ET, Vitanova VS, Panteleontidis VA, Kounis GA, Tsilimbaris MK. Contact transcleral photodynamic cyclo-suppression in human eyes: A feasibility study. *Can J Ophthalmol.* 2011;46:196-8.
25. Ndulue JK, Rahmatnejad K, Sanvicente C, Wizov SS, Moster MR. Evolution of cyclophotocoagulation. *Ophthalmic Vis Res.* 2018;13(1):55-61. Available from: <https://doi.org/10.4103/jovr.jovr-190-17>
26. Shields MB, Quigley HA. Improved outcomes for transscleral cyclophotocoagulation. *J Glaucoma.* 2018;27(8):674-81. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001008>
27. Tan NYQ, Ang M, Chan ASY, Barathi VA, Tham CC, Barton K, et al. Transscleral cyclophotocoagulation and its histological effects on the conjunctiva. *Sci Rep.* 2019;9(1):18703. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55102-0>. PMID:31822709
28. Rotchford AP, Jayasawal R, Madhusudhan S, Ho S, King A, Vernon S. Transscleral diode laser cycloablation in patients with good vision. *Br J Ophthalmol.* 2010;94:1180-3.
6. Razeghinejad MR, Spaeth GL. A history of the surgical management of glaucoma. *Optom Vis Sci.* 2011;88(1):39-47. Available from: <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181fe2226>
7. Bloom P, Negi A, Kersey T, Crawley L. Cyclodestructive techniques. In: Shaarawy T, Sherwood M, Hitchings R, Crowston J, editors. *Glaucoma. 2nd ed.* London, UK: Elsevier; 2015. p. 1150-9.
8. Berke S. Cyclodiathermy. In: Shaarawy T, Sherwood M, Hitchings R, Crowston J, editors. *Glaucoma. 2nd ed.* London, UK: Elsevier; 2015. p. 1160-6.
9. Tzamalís A, Pham DT, Wirbelauer C. Diode laser cyclophotocoagulation versus cyclodiathermy in the treatment of refractory glaucoma. *European Journal of Ophthalmology.* 2011;21(5):589-96.
10. Scheie HG, Frayer WC, Spencer RW. Cyclodiathermy: A clinical and tonographic evaluation. *AMA Arch Ophthalmol.* 1955;53:839-46.
11. Denis P, Aptel F, Rouland J-F, Nordmann J-P, Lachkar Y, Renard J-P, et al. Cyclocoagulation of the ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound: A 12-month multicenter study. *IOVS.* 2015;56:1089-96.
12. Bietti G. Surgical intervention on the ciliary body; new trends for the relief of glaucoma. *JAMA.* 1950;142:889-97.
13. Gorsler I, Thieme H, Meltendorf C. Cyclophotocoagulation and cyclocryocoagulation as primary surgical procedures for open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2015;253:2273-7.
14. De Roethth A Jr. Cryosurgery for the treatment of glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1965;63:189-204.
15. Vyunova DM. Tsiklokrioterapiya pri bol'yashchey glaukome [Cyclocryosurgery for the treatment of painful glaucoma]. *Oftal'mologicheskij zhurnal.* 1972;2:133-4.
16. Zhang B. Contrast of surgical effect of two different operations for neovascular glaucoma. *International Journal of Ophthalmology* 2010;10(4):671-3.
17. Aptel F, Charrel T, Lafon C, Romano F, Chapelon J-Y, Blumen-Ohana E, et al. Miniaturized high-intensity focused ultrasound device in patients with glaucoma: A clinical pilot study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:8747-53.
18. Aptel F, Denis P. Ultrasonic circular cyclocoagulation. *Surg Innov Glaucoma.* 2016;34:411-20.
19. Uzunel UD, Yüce B, Küsbeci T, Ateş H. Transpupillary argon laser cyclophotocoagulation in a refractory traumatic glaucoma patient with aphakia and aniridia. *Turk J Ophthalmol.* 2016;46:38-40.
20. Bloom PA, Clement CI, King A, Noureddin B, Sharma K, Hitchings RA, et al. A comparison between tube surgery, Nd:YAG laser and diode laser cyclophotocoagulation in the management of refractory glaucoma. *BioMed Research International.* 2013;2013:371951. Available from: <https://doi.org/10.1155/2013/371951>
21. Ardamakova AV, Bolshunov AV, Ilina TS, Fedoruk NA, Siplivyy VI. Transpupill'yarnaya lazernaya fotokoagulyatsiya tsiliarnogo tela: proshloe, nastoyashcheye i budushcheye [Transpupillar laser photocoagulation of a ciliary body: Past, present and future]. *Vestnik oftal'mologii.* 2017;133(1):81-7. Available from: <https://doi.org/10.17116/oftalma2017.133181-87>
22. Sokolovskaya TV, Tikhonova MI. Tsiklodestruktivnyye vmeshatel'stva pri lechenii glaukomy: istoriya, real'nost', perspektivy [Cyclodestructive interventions in the treatment of glaucoma: History, reality, perspectives]. *Oftal'mologicheskije vedomosti.* 2019;12(3):45-58. Available from: <https://doi.org/10.17816/OV11132>
23. Rasmuson E, Lindén C, Lundberg B, Jóhannesson G. Efficacy and safety of transscleral cyclophotocoagulation in Swedish glaucoma patients. *Acta Ophthalmol.* 2019;97(8):764-70. Available from: <https://doi.org/10.1111/aos.14125>
24. Charisis SK, Detorakis ET, Vitanova VS, Panteleontidis VA, Kounis GA, Tsilimbaris MK. Contact transcleral photodynamic cyclo-suppression in human eyes: A feasibility study. *Can J Ophthalmol.* 2011;46:196-8.
25. Ndulue JK, Rahmatnejad K, Sanvicente C, Wizov SS, Moster MR. Evolution of cyclophotocoagulation. *Ophthalmic Vis Res.* 2018;13(1):55-61. Available from: <https://doi.org/10.4103/jovr.jovr-190-17>
26. Shields MB, Quigley HA. Improved outcomes for transscleral cyclophotocoagulation. *J Glaucoma.* 2018;27(8):674-81. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001008>
27. Tan NYQ, Ang M, Chan ASY, Barathi VA, Tham CC, Barton K, et al. Transscleral cyclophotocoagulation and its histological effects on the conjunctiva. *Sci Rep.* 2019;9(1):18703. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55102-0>. PMID:31822709
28. Rotchford AP, Jayasawal R, Madhusudhan S, Ho S, King A, Vernon S. Transscleral diode laser cycloablation in patients with good vision. *Br J Ophthalmol.* 2010;94:1180-3.



29. Vila-Arteaga J, Stirbu O, Suriano MM, Vila-Mascarell E. A new technique for diode laser cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2014;23:35-6.
30. Eldaly M, Bunce C, ElSheikha O, Wormald R. Laser cyclophotocoagulation versus trabeculectomy for open-angle glaucoma. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2014, Issue 2. Available from: <https://doi.org/10.1002/14651858>
31. Liu W, Qin L, Xu C, Huang D, Guo R, Ji J, et al. Transscleral cyclophotocoagulation followed by cataract surgery: A novel protocol to treat refractory acute primary angle closure. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):209. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01483-0>
32. Toth M, Shah A, Hu K, Bunce C, Gazzard G. Endoscopic cyclophotocoagulation (ECP) for open angle glaucoma and primary angle closure. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;2:CD012741.
33. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol*. 2013;24:102-10.
34. Tan JCH, Francis BA, Noecker R, Uram M, Dustin L, Chopra V. Endoscopic cyclophotocoagulation and pars plana ablation (ECP-plus) to treat refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2016;25:e117-22.
35. Тулин ДВ, Куликов АН, Скворцов ВЮ. Сравнительный анализ некоторых параметров безопасности применения эндоскопической лазерной циклодеструкции и трансклеральной лазерной циклотермотерапии при хирургическом лечении глаукомы. *Современные технологии в офтальмологии*. 2018;4:247-9.
36. Sanchez FG, Peirano-Bonomi JC, Brossard Barbosa N, Khoueir Z, Grippo TM. Update on micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2020;29(7):598-603. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001539>
37. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, Lim ZIL, See JLS, Chew PT. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2010;38:266-72.
38. Kuchar S, Moster MR, Reamer CB, Waisbourd M. Treatment outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in advanced glaucoma. *Lasers Med Sci*. 2016;31:393.
39. Aquino MC, Barton K, Tan AM. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: A randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2015;43(1):40-6.
40. Abdelrahman AM, El Sayed YM. Micropulse versus continuous wave transscleral cyclophotocoagulation in refractory pediatric glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(10):900-5. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001053>
41. Lee JH, Shi Y, Amoozgar B, Aderman C, De Alba Campomanes A, Lin S, et al. Outcome of micropulse laser transscleral cyclophotocoagulation on pediatric versus adult glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2017;26:936-9.
42. Ходжаев НС, Сидорова АВ, Старостина АВ, Елисеева МА. Микроимпульсная трансклеральная циклофотокоткоагуляция в лечении глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2020;13(2):105-11. Available from: <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111>
43. Aquino MC, Barton K, Tan AM, Sng C, Li X, Loon SW, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: A randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2014;43:40-6.
44. Williams AL, Moster MR, Rahmatnejad K. Clinical efficacy and safety profile of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(5):445-9. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000934>
45. Zaarour K, Abdelmassih Y, Arej N. Outcomes of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation in uncontrolled glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2019;28(3):270-5. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001174>
46. Yelenskiy A, Gillette TB, Arosemena A. Patient outcomes following micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation: Intermediate-term results. *J Glaucoma*. 2018;27(10):920-5. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001023>
47. Nguyen AT, Maslin JS, Noecker JR. Early results of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2020;30(4):700-5. Available from <https://doi.org/10.1177/1120672119839303>
29. Vila-Arteaga J, Stirbu O, Suriano MM, Vila-Mascarell E. A new technique for diode laser cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2014;23:35-6.
30. Eldaly M, Bunce C, ElSheikha O, Wormald R. Laser cyclophotocoagulation versus trabeculectomy for open-angle glaucoma. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2014, Issue 2. Available from: <https://doi.org/10.1002/14651858>
31. Liu W, Qin L, Xu C, Huang D, Guo R, Ji J, et al. Transscleral cyclophotocoagulation followed by cataract surgery: A novel protocol to treat refractory acute primary angle closure. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):209. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01483-0>
32. Toth M, Shah A, Hu K, Bunce C, Gazzard G. Endoscopic cyclophotocoagulation (ECP) for open angle glaucoma and primary angle closure. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;2:CD012741.
33. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol*. 2013;24:102-10.
34. Tan JCH, Francis BA, Noecker R, Uram M, Dustin L, Chopra V. Endoscopic cyclophotocoagulation and pars plana ablation (ECP-plus) to treat refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2016;25:e117-22.
35. Tulin DV, Kulikov AN, Skvortsov VYu. Sravnitel'nyy analiz nekotorykh parametrov bezopasnosti primeneniya endoskopicheskoy lazernoy tsiklodestrutsii i transskleral'noy lazernoy tsikloterмотерапии pri khirurgicheskom lechenii glaukomy [Comparative analysis of some safety parameters of endoscopic laser cyclodestruction and transscleral laser cyclothermotherapy in the surgical treatment of glaucoma]. *Sovremennyye tekhnologii v oftal'mologii*. 2018;4:247-9.
36. Sanchez FG, Peirano-Bonomi JC, Brossard Barbosa N, Khoueir Z, Grippo TM. Update on micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2020;29(7):598-603. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001539>
37. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, Lim ZIL, See JLS, Chew PT. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2010;38:266-72.
38. Kuchar S, Moster MR, Reamer CB, Waisbourd M. Treatment outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in advanced glaucoma. *Lasers Med Sci*. 2016;31:393.
39. Aquino MC, Barton K, Tan AM. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: A randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2015;43(1):40-6.
40. Abdelrahman AM, El Sayed YM. Micropulse versus continuous wave transscleral cyclophotocoagulation in refractory pediatric glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(10):900-5. Available from: <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001053>
41. Lee JH, Shi Y, Amoozgar B, Aderman C, De Alba Campomanes A, Lin S, et al. Outcome of micropulse laser transscleral cyclophotocoagulation on pediatric versus adult glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2017;26:936-9.
42. Khodzhaev NS, Sidorova AV, Starostina AV, Eliseeva MA. Mikro-impul'snaya transskleral'naya tsiklofotokoagulyatsiya v lechenii glaukomy [Micropulse transscleral cyclophotocoagulation in the treatment of glaucoma]. *Rossiyskiy oftal'mologicheskii zhurnal*. 2020;13(2):105-11. Available from: <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111>
43. Aquino MC, Barton K, Tan AM, Sng C, Li X, Loon SW, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: A randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2014;43:40-6.
44. Williams AL, Moster MR, Rahmatnejad K. Clinical efficacy and safety profile of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(5):445-9. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000934>
45. Zaarour K, Abdelmassih Y, Arej N. Outcomes of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation in uncontrolled glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2019;28(3):270-5. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001174>
46. Yelenskiy A, Gillette TB, Arosemena A. Patient outcomes following micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation: Intermediate-term results. *J Glaucoma*. 2018;27(10):920-5. Available from <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001023>
47. Nguyen AT, Maslin JS, Noecker JR. Early results of micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2020;30(4):700-5. Available from <https://doi.org/10.1177/1120672119839303>

 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Махмадзода Шамсулло Курбон**, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой офтальмологии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0001-8292-8344

SPIN-код: 3929-7111

Author ID: 3390175

E-mail: shamsullo@mail.ru

**Карим-Заде Хакима Джанговаровна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

Scopus ID: 14031720200

Researcher ID: AAO-7768-2020

ORCID ID: 0000-0003-3922-3829

SPIN-код: 1646-0538

Author ID: 1072708

E-mail: kh.karimzade@gmail.com

**Фуркатзод Фаррух** заочный аспирант кафедры офтальмологии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0002-0485-4228

E-mail: farrukh918@gmail.com

#### Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Работа выполнялась в соответствии с планом НИР ТГМУ им. Абуали ибни Сино (№ государственной регистрации 0121ТJ1184). Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

**Конфликт интересов:** отсутствует

 АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

**Карим-Заде Хакима Джанговаровна**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 139

Тел.: +992 (934) 458236

E-mail: kh.karimzade@gmail.com

## ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: ФФ, КХД

Сбор материала: ФФ, МШК

Анализ полученных данных: КХД, МШК

Подготовка текста: ФФ

Редактирование: КХД

Общая ответственность: ФФ

Поступила 05.07.21

Принята в печать 30.12.21

 AUTHOR INFORMATION

**Makhmadzoda Shamsullo Kurbon**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ophthalmology, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0001-8292-8344

SPIN: 3929-7111

Author ID: 3390175

E-mail: shamsullo@mail.ru

**Karim-Zade Khakima Jangovarovna**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Avicenna Tajik State Medical University

Scopus ID: 14031720200

Researcher ID: AAO-7768-2020

ORCID ID: 0000-0003-3922-3829

SPIN: 1646-0538

Author ID: 1072708

E-mail: kh.karimzade@gmail.com

**Furkatzod Farrukh**, Postgraduate Student, Department of Ophthalmology, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0002-0485-4228

E-mail: farrukh918@gmail.com

#### Information about support in the form of grants, equipment, medications

The research was carried out in accordance with the research plan of Avicenna Tajik State Medical University (state registration number – 0121TJ1184). The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

**Conflicts of interest:** The authors have no conflicts of interest

 ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

**Karim-Zade Khakima Jangovarovna**

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Avicenna Tajik State Medical University

734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 139

Tel.: +992 (934) 458236

E-mail: kh.karimzade@gmail.com

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: FF, KKhJ

Data collection: FF, MShK

Analysis and interpretation: KKhJ, MShK

Writing the article: FF

Critical revision of the article: KKhJ

Overall responsibility: FF

Submitted 05.07.21

Accepted 30.12.21