

Трансклеральные технологии использования физических факторов в лечении глаукомы

Гамидов А.А., д.м.н., старший научный сотрудник¹; <https://orcid.org/0000-0002-9192-449X>

Гаврилина П.Д., к.м.н., врач-офтальмолог²; <https://orcid.org/0000-0001-5023-3409>

Юсеф Ю., д.м.н., профессор, директор института¹; <https://orcid.org/0000-0003-4043-456X>

Баум О.И., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией³;

<https://orcid.org/0000-0002-9076-7154>

Темирсултанов А.Д., клинический ординатор¹. <https://orcid.org/0009-0008-9263-7952>

¹ФГБНУ «НИИГБ им М.М. Краснова», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11 А, Б;

²АО «Клиника К+31», 119415, Российская Федерация, Москва, ул. Лобачевского, 42с4;

³Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», 123182, Российская Федерация, Москва, пл. Академика Курчатова, 1.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова» в части обзора современного состояния вопроса, связанного с применением трансклеральных технологий в лечении пациентов с глаукомой и в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» в части анализа современного состояния лазер-индуцированных эффектов в офтальмологии.

Для цитирования: Гамидов А.А., Гаврилина П.Д., Юсеф Ю. и соавт. Трансклеральные технологии использования физических факторов в лечении глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2026; 25(2):87-96.

Резюме

Представленный обзор дает возможность проследить весь путь развития существующих трансклеральных технологий с использованием физических факторов в лечении глаукомы. Освещены вопросы эффективности, безопасности и перспективности использования при глаукоме таких трансклеральных технологий, как циклодиатермия, криодеструкция, ксеноновая коагуляция цилиарного тела (ЦТ), ультразвуковая циклокоагуляция и циклодеструкция, пневмоциклодеструкция, электроимпульсная стимуляция ЦТ, YAG-лазерная циклодеструкция, диодная лазерная циклофотокоагуляция

в проекции зубчатой части ЦТ, трансклеральная термотерапия, эндоскопическая лазерная циклофотокоагуляция с трансклеральным доступом, трансклеральная селективная лазерная трабекулопластика, трансклеральные лазерные технологии в области плоской части ЦТ (микроимпульсная циклофотокоагуляция, лазерная активация гидропроницаемости склеры).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глаукома, цилиарное тело, лазер, увеосклеральный отток, циклокоагуляция, внутриглазное давление.

Для контактов:

Гамидов Алибек Абдулмуталимович, e-mail: algam@bk.ru

LITERATURE REVIEW

Transscleral technologies using physical factors in the treatment of glaucoma

GAMIDOV A.A., Dr. Sci. (Med.), senior researcher¹; <https://orcid.org/0000-0002-9192-449X>

GAVRILINA P.D., Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist²; <https://orcid.org/0000-0001-5023-3409>

YUSEF YU., Dr. Sci. (Med.), Professor, Director¹; <https://orcid.org/0000-0003-4043-456X>

BAUM O.I., Dr. Sci. (Pyth. and Math.), lead researcher, Head of Laboratory³; <https://orcid.org/0000-0002-9076-7154>

TEMIRSULTANOV A.D., clinical resident¹. <https://orcid.org/0009-0008-9263-7952>

¹Krasnov Research Institute of Eye Diseases, 11A Rossolimo St., Moscow, Russian Federation, 119021;

²АО Клиника К+31, 42/4 Lobachevskogo St., Moscow, Russian Federation, 119415;

³National Research Centre Kurchatov Institute, 1 Kurchatova Sq., Moscow, Russian Federation, 123182.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

This work was carried out within the framework of the state assignment of the Krasnov Research Institute of Eye Diseases in the part pertaining to the review of current approaches to transscleral technologies in glaucoma treatment, and within the framework of the state assignment of the National Research Center Kurchatov Institute in the part pertaining to the analysis of laser-induced effects in ophthalmology.

For citations: Gamidov A.A., Gavrulina P.D., Yusef Yu. et al. Transscleral technologies using physical factors in the treatment of glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2026; 25(2):87-96.

Abstract

This review provides a comprehensive overview of the evolution of transscleral technologies employing physical factors in the treatment of glaucoma. The article addresses the effectiveness, safety, and future prospects of various transscleral approaches, including cyclodiathermy, cryodestruction, xenon coagulation of the ciliary body, ultrasound cyclocoagulation and cyclodestruction, pneumocyclostruction, electrical pulse stimulation of the ciliary body, YAG laser cyclodestruction, diode laser cyclophoto-

coagulation of the pars plicata of the ciliary body, transscleral thermotherapy, endoscopic laser cyclophotocoagulation with transscleral access, transscleral selective laser trabeculoplasty, as well as transscleral laser technologies targeting the pars plana of the ciliary body (micropulse cyclophotocoagulation, laser activation of scleral hydraulic permeability).

KEYWORDS: glaucoma, ciliary body, laser, uveoscleral outflow, cyclophotocoagulation, intraocular pressure.

Попытки снижения внутриглазного давления (ВГД) для устранения болевого синдрома при терминальной глаукоме хирургическими методами с использованием транссклеральных технологий предпринимались еще более 100 лет назад. С этой целью, в частности, предлагали проведение транссклеральную циклэктомию с иссечением цилиарного тела (ЦТ), что приводило к ожидаемому уменьшению продукции внутриглазной жидкости (ВГЖ) и снижению ВГД [1]. Позже стали появляться транссклеральные технологии с использованием физических методов воздействия на ЦТ с гипотензивной целью. В опубликованных результатах одного из исследований того времени описывается положительный опыт применения при терминальной глаукоме метода транссклеральной

циклодиатермии. Использование в ходе операции диатермического зонда обеспечивало воздействие на ЦТ и сосудисто-нервное сплетение, что вызвало денервацию и атрофию цилиарных отростков [2]. В течение длительного времени циклодиатермию считали методом выбора, которая имела широкое распространение. Однако в последующем по причине большого числа осложнений и непредсказуемости результата метод стали использовать реже [3].

Позже были впервые представлены результаты применения метода криодеструкции для снижения ВГД. Использование холода показало более заметный гипотензивный эффект и его относительную безопасность [4]. Морфологическая картина образцов ткани глаз человека и приматов после

воздействия холодом наглядно доказывала наличие признаков разрушения ресничного эпителия и капилляров в отростках ЦТ [5]. Последующее развитие криогенных технологий привело к разработке алгоритмов, направленных на повышение эффективности и безопасности вмешательства на основе подбора оптимальных температурных режимов, экспозиции и площади воздействия [6]. Так, результаты исследования показали, что использование сверхнизких температур (ниже -100°C) при меньшей площади воздействия и сокращении времени его экспозиции более эффективно и безопасно в сравнении с использованием умеренно низких температур (выше -80°C). Данный эффект, по мнению авторов, связан с тем, что при воздействии сверхнизкой температурой деструкция цилиарных отростков проявляется не сразу, а в два этапа: кристаллизации отростков и их оттаивания. При этом непосредственное повреждение ресничных отростков начинает проявляться только по мере оттаивания последних. По убеждению авторов, такая двухэтапность уменьшает повреждение окружающих тканей и способствует сокращению числа осложнений.

Несмотря на очевидные преимущества, широкого распространения метод криодеструкции ЦТ не получил. С накоплением клинического опыта стало очевидным наличие достаточно высокого процента (до 85,3%) осложнений (увеит, значительный болевой синдром, подвывих хрусталика, гифема, гипотония, субатрофия глазного яблока), связанных с использованием холода и ограничивающих его использование в лечении глаукомы [7]. Тем не менее, в настоящее время применение криогенной циклодеструкции нередко используют в комбинации с другими лучевыми методами при лечении пациентов с рефрактерными формами глаукомы, а также в сочетании с проникающими антиглаукомными операциями в различных модификациях [8].

Возможность использования альтернативных источников, в частности ксенонового света для воздействия на отростки ЦТ с гипотензивной целью была продемонстрирована Weekers et al. в 1961 году. Отмечено, что фотокоагуляция ксеноновым (не лазерным) источником света приводит к повреждению пигментного эпителия отростков ЦТ и нарушению их кровоснабжения, что способствует уменьшению продукции ВГЖ. Однако достижение заметного и стабильного снижения ВГД было возможным только за счет увеличения мощности до очень больших значений. По этой причине данный метод лечения широкого распространения в клинической практике не получил [9].

Результаты многоцентрового клинического исследования по использованию ультразвукового излучения для проведения циклодеструкции при глаукоме были представлены коллективом авторов в 1991 году. Для лечения пациентов с рефрак-

терными формами глаукомы использован высокоинтенсивный фокусированный ультразвук — HIFU (High Intensive Focus Ultrasound), вызывающий термический некроз цилиарных отростков [10]. Из осложнений, имеющих преходящий характер, был отмечен передний иридоциклит, из более серьезных осложнений — истончение склеры и субатрофия глазного яблока. В последующем технологию усовершенствовали, был создан специальный зонд для круговой транссклеральной циклодеструкции с возможностью регулировки и дозирования уровня подаваемой ультразвуковой энергии.

В последнее время предпринимаются попытки использования ультразвукового излучения для усиления увеосклерального оттока [11]. Были получены положительные результаты при транссклеральном воздействии ультразвуком на область плоской части ЦТ. Используя в качестве контроля оптическую когерентную томографию переднего сегмента глаза и конфокальную микроскопию склеры, было доказано, что ультразвуковая циклофотокоагуляция сопровождается достоверным увеличением числа внутрисклеральных гипорефлективных пространств (пор), появлением конъюнктивальных микрокист в зоне воздействия, усилением увеосклерального оттока [12].

В качестве неинвазивного метода с транссклеральным доступом в 2003 году была предложена технология т.н. пневмоциклодеструкции, механизм действия которой связан с ишемически-механическим разрушением ткани ЦТ. В исследование вошло 46 глаз с диагнозом первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ). Деструктивный эффект в ЦТ обеспечивался за счет создания кратковременного отрицательного давления в проекции отростков ЦТ с помощью вакуумного кольца микрокератома, используемого в фоторефракционной хирургии [13]. Вмешательство не имело серьезных осложнений. Гипотензивный эффект без дополнительного усиления гипотензивного режима сохранялся течение 11 месяцев наблюдения.

Для лечения пациентов с начальной и развитой стадиями ПОУГ был разработан метод транссклеральной неинвазивной электроимпульсной стимуляции с воздействием на ЦТ [14]. С этой целью использовали специальную линзу-электрод, состоящую, в свою очередь, из цепи четырех электродов. Для получения результата проводили до 10 сеансов, продолжительность каждого из которых составляла 3–5 минут. Механизм снижения ВГД, по мнению авторов, связан с периодами сокращения и расслабления стимулируемых мышечных волокон ЦТ. При этом волнообразное изменение тонуса цилиарной мышцы приводило к усилению увеосклерального оттока (УСО), что объективно подтверждалось изменениями в гидродинамике глаза в виде увеличения тонографического коэффициента легкости оттока.

Лазерные технологии транссклеральной циклофотокоагуляции в области зубчатой части цилиарного тела

История начала и дальнейшего развития транссклеральных лазерных операций шла параллельно развитию других направлений в лечении глаукомы.

Существующие современные транссклеральные технологии лазерного лечения при глаукоме следует подразделять в зависимости от зоны лазерного вмешательства. Наибольшее распространение на сегодняшний день получили технологии с воздействием на зубчатую часть ЦТ (1,5–2 мм от лимба).

В 1972 году Beckman et al. впервые сообщили о проведении транссклерального лазерного вмешательства при лечении пациентов с рефрактерными формами глаукомы с использованием короткоимпульсного излучения рубинового лазера [15], а позже — короткоимпульсного излучения YAG-лазера [16]. Механизм короткоимпульсного лазерного воздействия связан с быстрым нагревом тканевой жидкости до температуры, превышающей температуру кипения. При этом лазерная абляция не сопровождается обугливанием ткани, но позволяет провести эффективное механическое ее рассечение.

Использование бесконтактной технологии YAG-лазерного вмешательства позволяло снизить ВГД в более чем половине случаев [17]. Точное ориентирование лазерного излучателя на поверхности склеры с помощью одновременной диафаноскопии ЦТ повышает прецизионность и эффективность вмешательства [18].

Сравнительное исследование выявило меньшее количество осложнений после YAG-лазерной деструкции ЦТ, чем после его криодеструкции [19]. Несмотря на относительные преимущества данный метод также является достаточно травматичным и сопровождается болевым синдромом, нередко провоцируя увеит, реже — гифему, истончение склеры, дистрофию роговицы, гипотонию, субатрофию глазного яблока, симпатическую офтальмию [20]. Снижение зрительных функций после YAG-лазерной деструкции ЦТ отдельными авторами связывается с лазер-индуцированным макулярным отеком. Вероятность развития перечисленных осложнений значительно ограничивает возможность применения указанной технологии [20].

О возможности использования излучения полупроводникового диодного лазера в медицине было впервые сообщено в 1984 году [21]. Позже, в 1992 году, излучение диодного лазера ($\lambda=0,810$ мкм) было предложено использовать в офтальмологии для транссклеральной циклофотокоагуляции (ЦФК) при глаукоме [22], была доказана его эффективность и перспективность с целью снижения ВГД. Транссклеральная диодная лазерная ЦФК при глаукоме в последние несколько десятилетий стала

наиболее востребованной среди циклодеструктивных лазерных операций [23]. Получило подтверждение мнение о том, что используемый спектр (инфракрасное излучение с длиной волны 0,810 мкм) поглощается в большей степени увеальным меланином, что повышает избирательность вмешательства и позволяет снизить энергетические затраты.

Сравнивая различные лазерные методики, оценивается не только эффективность, но и их безопасность, а также степень переносимости пациентом. Результаты сравнительного рандомизированного исследования с использованием транссклеральных YAG-лазерной и диодной ЦФК, проводившееся в течение 12 месяцев, показали сопоставимые по эффективности данные [24]. Однако выраженность болевого синдрома во время вмешательства, наличие последующего дискомфорта отмечали в меньшей степени после диодной ЦФК [25]. На более щадящий характер диодной ЦФК указывают результаты других работ [26].

Циклодеструктивные вмешательства с использованием диодного лазера, несмотря на очевидные преимущества и высокую востребованность, к сожалению, не гарантируют отсутствие серьезных осложнений, к наиболее серьезным из которых можно отнести гипотонию и субатрофию глазного яблока. Это связано с тем, что традиционно применяемая диодная лазерная транссклеральная ЦФК ($\lambda=0,810$ мкм, $P=0,8-3,0$ Вт, $t=1-6$ с) сопровождается мгновенным вскипанием воды, часто проявляющимся звуковым эффектом «поркоп» и сопровождается достаточно грубым повреждением не только цилиарных отростков, но и окружающих тканей [27].

Результаты экспериментального исследования, проведенного на глазах животных, доказали наличие лазер-индуцированного тромбоза сосудов в отростках ресничного тела и признаки послеоперационной ишемии ЦТ [28].

Выполнение диодной лазерной транссклеральной ЦФК возможно в двух вариантах: контактном (зонд напрямую контактирует с поверхностью глаза в проекции зубчатой части ЦТ) и бесконтактном режимах. Результаты проведенного сравнительного исследования показали одинаковую эффективность в снижении ВГД. Исследование проводилось в стандартизированных условиях: использовались одинаковые параметры мощности (1500 мВт) и экспозиции (2 с), а также количество аппликаций [29].

Традиционно считается, что транссклеральная ЦФК является «операцией отчаяния» или методом, предназначенным исключительно для пациентов с рефрактерными формами глаукомы в терминальной стадии, и рассматривается как достаточно травматическое вмешательство. Вместе с тем, транссклеральная диодная ЦФК может не уступать хирургическим методам не только по эффективности, но и по степени атравматичности. Так, в сравнительном

исследовании у пациентов с неоваскулярной глаукомой гипотензивный эффект после ЦФК был эквивалентен эффекту снижения ВГД после постановки клапана Ахмеда (27% у пациентов с клапаном Ахмеда, 24% после диодной ЦФК) [30].

С появлением работ, доказывающих возможность проведения диодной транссклеральной ЦФК на более ранних стадиях глаукомы, показания к использованию метода были расширены [31].

В качестве альтернативы технологиям с транссклеральным доступом в отдельных случаях используется транспупиллярная ЦФК [32] с использованием других источников лазерного излучения, в частности аргонного лазера. Однако возможность реализации данной технологии сопряжена с целым рядом таких требований, как наличие прозрачности оптических сред глаза и максимальный мидриаз.

Транссклеральная термотерапия

Поиски новых щадящих способов лазерного воздействия на ЦТ с гипотензивной целью привели к разработке технологии транссклеральной термотерапии с использованием излучения того же полупроводникового лазера с длиной волны 0,810 мкм [33]. Технология доказала свою безопасность и сопоставимую с классической ЦФК эффективность при лечении рефрактерной глаукомы, а также лучшую переносимость в связи с меньшей болезненностью. Снижение травматичности данного способа обеспечивается за счет уменьшения мощности лазерного излучения (до 0,5 Вт) при одновременном увеличении экспозиции воздействия (до 25 с). Терапевтический эффект транссклеральной термотерапии заключается в постепенном нагревании тканей, не превышающем 60°C и отсутствии вскипания воды, что позволяет избежать значительных повреждений.

Эндоскопическая лазерная циклофотокоагуляция с транссклеральным доступом

Транссклеральная эндоскопическая ЦФК (ЭЦФК) через *pars plana* в комбинации с витреоретинальной хирургией и факоэмульсификацией была впервые представлена в 1992 году [34]. С этой целью используется инфракрасное излучение диодного лазера $\lambda=0,810$ мкм. Для визуального контроля при ЭЦФК применяется компактный оптоволоконный эндоскоп. Несомненным преимуществом данного метода является возможность визуализации ресничных отростков и их прямой коагуляции, что повышает результативность лазерного лечения.

Результаты патогистологического исследования аутопсийных образцов глазных тканей с применением методов светооптической и электронной микроскопии, свидетельствуют о том, что после

ЭЦФК коагуляционные изменения в смежных с местом воздействия тканях минимальны или вовсе отсутствуют. Коагуляционные изменения после ЭЦФК ограничиваются зоной расположения ресничных отростков, что свидетельствует о щадящем характере и возможности использования технологии даже на глазах с сохранными зрительными функциями [35].

Существует и противоположное мнение, связанное с инвазивным характером операции и сложности ее выполнения, а также сопряженным с этим высоким риском развития осложнений. По указанной причине данная технология не получила широкого распространения именно как самостоятельный метод лечения [36]. Однако в качестве хирургического этапа ЭЦФК продолжают использовать в комбинации с витрэктомией при неоваскулярной глаукоме с гемофтальмом при сахарном диабете или при вторичной глаукоме в условиях силиконовой тампонады витреальной полости [37]. Склеро-лиम्бальный доступ при хирургии катаракты обеспечивает, при необходимости, одновременное проведение ЭЦФК. Подобная тактика приобрела определенную популярность у офтальмологов при сочетанной патологии. Возможности ЭЦФК позволяют использовать ее и при лечении пациентов с тяжелой врожденной глаукомой, а также в случаях, связанных с атипичным расположением ресничных отростков [38].

Транссклеральная селективная трабекулопластика

До недавнего времени основной точкой приложения практически для всех современных транссклеральных технологий, использующих в своей основе лазерное излучение при лечении глаукомы, являлось ЦТ. В последнее время появились работы, результаты которых демонстрируют возможность транссклерального бесконтактного воздействия непосредственно на дренажную зону глаза. С этой целью был создан лазерный прибор Eagle («Belkin laser») и разработана технология Direct-SLT Belkin Vision для транссклеральной селективной трабекулопластики (СЛТ). Вмешательство проводили через перилимбальную склеру без использования гониоскопической линзы. Кроме того, устройство включает в себя автоматизированную систему определения мишени и встроенный eye-tracker, что обеспечивает последовательность лазерного лечения и точность его проведения. По мнению авторов, преимуществами бесконтактной технологии, помимо хорошего гипотензивного эффекта, являются отсутствие признаков воспаления со стороны роговицы и возможность проведения СЛТ у пациентов с закрытоугольной глаукомой при невозможности полноценной визуализации структур угла передней камеры [39].

Лазерная транссклеральная циклофотокоагуляция в области плоской части цилиарного тела

Представленные ранее в статье результаты исследований были посвящены преимущественно транссклеральным лазерным вмешательствам в области зубчатой части (1–2 мм от лимба) ЦТ. В последнее время получили активное развитие новые лазерные технологии, предполагающие проведение транссклеральных лазерных вмешательств в области плоской части ЦТ (3–4 мм от лимба).

Необходимо отметить, что точное определение зоны нанесения лазерных аппликаций очень условно. Локализация ЦТ относительно лимба различна у пациентов. На это может значительно влиять длина глаза при высокой степени аметропии (миопии или гиперметропии), наличие врожденной глаукомы или аномалий развития органа зрения. Существенные анатомические различия в расположении ЦТ могут иметь место и в разных квадрантах одного и того же глаза. Поэтому воздействуя на ЦТ, нет полной уверенности, что облучению подвергается конкретно та или иная его часть. В связи с этим предлагается использование метода трансиллюминации одновременно с проведением самой циклокоагуляции для правильного ориентирования лазерного зонда [40]. В настоящее время существуют системы, совмещающие возможность проведения лазерного лечения под контролем с помощью трансиллюминации (система G-Probe Illuminate Delivery Device фирмы Iridex).

Первоначально идея о возможности использования физических факторов для воздействия на плоскую часть ЦТ основывалась на предположении о существовании иного пути оттока ВГЖ, отличного от трабекулярного пути [41]. Все последующие работы не только подтвердили наличие более глубокого пути оттока, но и позволили дать подробное описание его роли в увеосклеральной и транссклеральной фильтрации ВГЖ.

Клинически первое подтверждение о возможности влияния лазерного излучения на дополнительный путь оттока получило в исследовательской работе на глазах обезьян рода *supotolgus*, опубликованной Liu et al. [42]. Облучение ЦТ проводили YAG-лазером $\lambda=1,064$ мкм в области *pars plana*, после чего в переднюю камеру глаза вводили специальный раствор с мечеными частицами. После выведения животных из эксперимента проводили электронную микроскопию тканей глаза, позволившая идентифицировать введенные частицы красителя в супрахориоидальном пространстве, что подтверждало существование увеосклерального оттока и доказывало возможность его потенцирования с помощью излучения лазера.

В течение последних лет в широкую клиническую практику активно внедряется новая трансскле-

ральная технология ЦФК, основанная на использовании диодного лазера, работающего в микроимпульсном режиме (мЦФК) $\lambda=0,810$ мкм. Для проведения транссклеральной мЦФК применяется серийный прибор «Cyclo G6 Glaucoma Laser System» (IRIDEX, США). Результаты опубликованных экспериментальных работ, изучающих действие диодной транссклеральной ЦФК в микроимпульсном режиме доказывают отсутствие деструктивного влияния излучения на ЦТ [43]. Лазер излучает серию коротких (микросекундных) повторяющихся импульсов. Активная фаза излучения («on» time или рабочий цикл) оказывает лишь ограниченный тепловой эффект на меланин содержащую ткань ЦТ. Следующий за активной фазой период охлаждения («off» time) длится в два раза дольше, составляя основную (по времени) часть от всего импульса. По этой причине ткани, окружающие зону воздействия, не подвергаются избыточному перегреванию. Времени, отведенного для охлаждения, оказывается достаточно, чтобы успеть вернуться к исходной температуре с минимальным распространением тепла, что позволяет сохранить соседние структуры глаза интактными [44].

Выдвинуто предположение, что возможный механизм снижения ВГД при мЦФК связан с активацией внутриклеточных метаболических процессов в клетках пигментного слоя эпителия ЦТ, в результате чего происходит ремоделирование внеклеточного матрикса в том числе за счет усиления синтеза определенных металлопротеиназ [45].

Результаты контрольной ультразвуковой биомикроскопии лимбальной зоны до и после мЦФК, показали отсутствие заметных деструктивных изменений в ЦТ, несмотря на ощутимый гипотензивный эффект [46]. Сравнительное морфологическое исследование, проведенное на аутопсийных глазах после воздействия излучением лазера $\lambda=0,810$ мкм в непрерывном и микроимпульсном режимах подтвердило мнение о том, что мЦФК, в отличие от ЦФК в непрерывном режиме, не вызывает разрушения ресничных отростков, позволяя сохранить их архитектонику [47].

Параллельные исследования подтверждают отсутствие прямого повреждения эпителия отростков ЦТ. При этом авторы указывают на наличие умеренно выраженных коагуляционных изменений в области внутренней склеры и в участках ЦТ, прилегающих к склере. Из этого делается вывод, что наблюдаемый после мЦФК гипотензивный эффект связан с увеличением пространства между склерой и ЦТ в связи с лазер-индуцированной контракцией ресничной мышцы и опосредованным усилением увеосклерального пути оттока ВГЖ. Авторы проводят параллели, сравнивая механизм действия метода с механизмом, схожим с действием пилокарпина, оказывающим гипотензивный эффект за счет сокращения в том числе и цилиарной мышцы [48].

Приводятся данные оптической когерентной томографии, демонстрирующие, с одной стороны, увеличение толщины хороидального слоя у пациентов с заметным снижением ВГД после мЦФК, с другой — отсутствие изменений данного показателя у пациентов с минимальным гипотензивным эффектом. Полученные результаты могут указывать на взаимосвязь изменения толщины сосудистой оболочки с усилением УСО после мЦФК [49].

В клинике сравнение результатов традиционной диодной транссклеральной ЦФК в непрерывном режиме и мЦФК показало эффективность обеих методик. Однако у взрослых пациентов проведение мЦФК обеспечивает более стойкий гипотензивный эффект и меньший процент осложнений [50]. Ранний послеоперационный период может проявляться опалесценцией влаги передней камеры глаза (симптом Тиндаля) и образованием единичных нитей фибрина. Перечисленные признаки иридоциклита устраняются спустя 2–3 суток после назначения субконъюнктивальных инъекций Дексаметазона [51].

В педиатрической практике частота осложнений, а также выраженность болевого синдрома и воспалительной реакции были также заметно ниже в группе пациентов после мЦФК, выше — в группе после классической контактной диодной ЦФК в непрерывном режиме. Вместе с тем более выраженный гипотензивный эффект и более пролонгированный результат, напротив, имели место в группе после классической ЦФК [52]. Снижение результативности мЦФК у детей авторами объясняется повышенной способностью к регенерации ЦТ, вариабельностью его положения, наличием сопутствующих аномалий развития глаза, нежеланием проведения повторных сеансов лазерного лечения.

Несмотря на бесспорные преимущества мЦФК как самостоятельного метода, его использование в комбинации с другими современными технологиями расширяет возможности, особенно при лечении пациентов с рефрактерными формами неоваскулярной глаукомы. Так, последовательное использование мЦФК в сочетании с предварительным интравитеральным введением ингибиторов VEGF и непроникающей глубокой склерэктомией продемонстрировало хороший результат [53].

Учитывая неинвазивный характер метода, сообщается о возможности применения мЦФК в качестве альтернативы хирургическим антиглаукомным вмешательствам при некомпенсированном ВГД после различных видов кератопластики (сквозной, послойной) [54].

Наибольший интерес представляет возможность использования мЦФК для лечения глаукомы на более ранних стадиях и в случаях с неоднократно оперированной субкомпенсированной ПОУГ [55]. У таких пациентов мЦФК позволяет стабилизировать зрительные функции в течение длительного периода времени (наблюдение до 12 месяцев).

Поиск новых лазерных технологий для лечения глаукомы привел к разработке способа лазерной активации гидропроницаемости склеры (ЛАГС) [56]. Теоретически и экспериментальным путем была доказана возможность потенцирования УСО при транссклеральном воздействии излучением Er-glass волоконного лазера $\lambda=1,56$ мкм. Ранее данный вид излучения использовался в сугубо в экспериментальных работах, в частности, с целью изменения рефракции при воздействии на склеру [57]. Механизм снижения ВГД после ЛАГС связан с усилением транссклеральной фильтрации за счет расширения интрасклеральных пространств — пор. До последнего времени использование ЛАГС ограничивалось только вмешательствами при рефрактерных формах глаукомы в терминальной стадии [56]. Позже, в результате экспериментально-клинических исследований был разработан алгоритм ЛАГС для использования технологии на более ранних стадиях глаукомы, доказавший клиническую эффективность и безопасность. Подобранные оптимальные параметры лазерного вмешательства позволили обеспечить усиление транссклеральной ультрафильтрации без формирования значимых деструктивных изменений в облучаемых лазером тканях глаза [58]. Заслуживают внимания результаты комплексного сравнительного исследования двух современных лазерных транссклеральных технологий — мЦФК и ЛАГС, влияющих на УСО. Исследование проводилось в условиях анатомического эксперимента и в клинике [59]. Результаты светоптической микроскопии позволили наглядно доказать влияние мЦФК на увеальную часть УСО, проявляющееся лазеропосредованным расширением супрахориоидального пространства и увеличением промежутков между передними длинными соединительнотканными волокнами ЦТ, которые в норме прилегают и фиксированы к склере, а после лазера — сокращаются. При этом влияния мЦФК на транссклеральную часть УСО выявлено не было. Напротив, в механизме действия ЛАГС решающую роль играет избирательное усиление именно транссклеральной части УСО за счет образования в склере системы щелевидных полостей, при отсутствии влияния на увеальную часть оттока. Полученные данные согласуются с результатами проведения электронной микроскопии с маркирующим агентом на основе хлорида неодима для оценки ультрафильтрации ВГЖ по выраженности распределения контраста в разных отрезках УСО. В клинических условиях обе технологии показали схожие результаты. Достигнутый результат снижения ВГД ($p<0,001$) после проведения ЛАГС и мЦФК (на 32,5% и 34,1%, соответственно) сохранялся в течение 6 месяцев. По данным электронной тонографии, высокая корреляционная связь между гипотензивным эффектом и изменением коэффициента легкости оттока после ЛАГС и мЦФК (соответственно, $r=0,854$

и $r=0,833$) свидетельствовала о снижении ВГД за счет усиления оттока ВГЖ [60].

Вся история транссклеральных технологий при глаукоме наглядно демонстрирует поступательное развитие в сторону увеличения числа новых

Литература

- Verhoeff F.H. Cyclectomy: a new operation for glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1924; 53:228-229.
- Vogt A. Cyclodiathermy puncture in cases of glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1940; 24(6):288-297. <https://doi.org/10.1136/bjo.24.6.288>
- Troncoso M.U. Diathermic surgery of the ciliary body in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1946; 29(3):269-290. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(46\)90827-6](https://doi.org/10.1016/0002-9394(46)90827-6)
- Bietti G. Surgical intervention on the ciliary body. *JAMA* 1950; 142(12): 889-897. <https://doi.org/10.1001/jama.1950.02910300027006>
- Quigley H.A. Histological and physiological studies of cyclocryotherapy in primate and human eyes. *Am J Ophthalmol* 1976; 82(5):722-732. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(76\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0002-9394(76)90009-X)
- Вьюнова Д.М. Циклокриотерапия при болящей глаукоме. *Офтальмологический журнал* 1972; 2:133-134.
- Зубашева С.А. Современный взгляд на циклодеструктивные операции при глаукоме. *Офтальмохирургия* 2020; 4:67-72. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2019-4-67-72>
- Эль-Айди И.С. Криовискохирургия рефрактерной глаукомы (экспериментально-клиническое исследование). Автореф. дисс. канд. мед. наук. Москва: 2013; 24.
- Weekers R., Lavergne G., Watillon M., Gilson M., Legros A. Effects of photocoagulation of the ciliary body upon ocular tension. *Am J Ophthalmol* 1961; 52:156-163.
- Silverman R.H., Vogelsang B., Rondeau M.J., Coleman D.J. Therapeutic ultrasound for the treatment of glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1991; 111(3):327-337. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)76965-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)76965-0)
- Denis P., Aptel F., Rouland J.F. Cyclocoagulation of the ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound: a 12-month multicenter study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015; 56(2):1089-1096. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14973>
- Mastropasqua R., Agnifili L., Fasanella V., Toto L., Brescia L., Di Staso S., Doronzo E., Marchini G. Uveo-scleral outflow pathways after ultrasonic cyclocoagulation in refractory glaucoma: AS-OCT and in vivo confocal study. *Br J Ophthalmol* 2016; 100:1668-1675. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2015-308069>
- Джафарли Т.Б. Использование пневмоциклодеструкции в лечении открытоугольной глаукомы. *Клиническая офтальмология* 2003; 2:80.
- Ченцова О.Б., Рябцева А.А., Ямщикова И.В. Электроимпульсная стимуляция цилиарного тела при первичной глаукоме. Ерошевские чтения. Тезисы докладов 1997; 361-363.
- Beckman H., Kinoshita A., Rota A., Sugar H. Transscleral ruby laser irradiation of the ciliary body in the treatment of intractable glaucoma. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1972; 76:423-436.
- Beckman H., Sugar H.S. Neodymium laser cyclocoagulation. *Arch Ophthalmol* 1973; 90:27-28. <https://doi.org/10.1001/archophth.1973.01000050029006>
- Kammer J. Ciliary body as a therapeutic target. In: *Surgical Innovations in Glaucoma* 2013; 1:45-59. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8348-9_4
- Краснов М.М., Большунов А.В., Ильина Т.С. Способ лечения глаукомы: авторское свидетельство №1480167. Москва; 1989
- Shields M.B., Shields S.E. Noncontact transscleral Nd:YAG cyclophotocoagulation: long-term follow-up of 500 patients. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1994; 92:271-287.
- Maus M., Katz L.J. Choroidal detachment, flat anterior chamber and hypotony as complications of neodymium:YAG laser cyclophotocoagulation. *Ophthalmology* 1990; 97:69-72. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(90\)32640-4](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(90)32640-4)
- Pratesi R. Diode lasers in photomedicine. *IEEE J Quantum Electron* 1984; 20:1433-1439.

эффективных и безопасных технологий и расширения показаний к их использованию. Пришедшие на смену старым современные лазерные технологии стали достойной альтернативой многим хирургическим антиглаукомным вмешательствам.

References

- Verhoeff F.H. Cyclectomy: a new operation for glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1924; 53:228-229.
- Vogt A. Cyclodiathermy puncture in cases of glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1940; 24(6):288-297. <https://doi.org/10.1136/bjo.24.6.288>
- Troncoso M.U. Diathermic surgery of the ciliary body in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1946; 29(3):269-290. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(46\)90827-6](https://doi.org/10.1016/0002-9394(46)90827-6)
- Bietti G. Surgical intervention on the ciliary body. *JAMA* 1950; 142(12): 889-897. <https://doi.org/10.1001/jama.1950.02910300027006>
- Quigley H.A. Histological and physiological studies of cyclocryotherapy in primate and human eyes. *Am J Ophthalmol* 1976; 82(5):722-732. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(76\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0002-9394(76)90009-X)
- Vyunova D.M. Cyclocryotherapy for painful glaucoma. *Ophthalmology Journal (USSR)* 1972; 2:133-134.
- Zubasheva S.A. A contemporary view of cyclodestructive procedures for glaucoma. *Ophthalmic Surgery* 2020; 4:67-72. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2019-4-67-72>
- El-Aydi I.S. Cryoviscosurgery of refractory glaucoma. Abstract of Diss. Cand. Med. Sci. Moscow, 2013. 24 p.
- Weekers R., Lavergne G., Watillon M., Gilson M., Legros A. Effects of photocoagulation of the ciliary body upon ocular tension. *Am J Ophthalmol* 1961; 52:156-163.
- Silverman R.H., Vogelsang B., Rondeau M.J., Coleman D.J. Therapeutic ultrasound for the treatment of glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1991; 111(3):327-337. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)76965-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)76965-0)
- Denis P., Aptel F., Rouland J.F. Cyclocoagulation of the ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound: a 12-month multicenter study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015; 56(2):1089-1096. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14973>
- Mastropasqua R., Agnifili L., Fasanella V., Toto L., Brescia L., Di Staso S., Doronzo E., Marchini G. Uveo-scleral outflow pathways after ultrasonic cyclocoagulation in refractory glaucoma: AS-OCT and in vivo confocal study. *Br J Ophthalmol* 2016; 100:1668-1675. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2015-308069>
- Dzhafarli T.B. Use of pneumo-cyclodestruction in the treatment of open-angle glaucoma. *Clinical Ophthalmology* 2003; 2:80.
- Chentsova O.B., Ryabtseva A.A., Yamshchikova I.V. Electropulse stimulation of the ciliary body in primary glaucoma. Eroshevskie chteniya. Conf. theses 1997; 361-363.
- Beckman H., Kinoshita A., Rota A., Sugar H. Transscleral ruby laser irradiation of the ciliary body in the treatment of intractable glaucoma. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1972; 76:423-436.
- Beckman H., Sugar H.S. Neodymium laser cyclocoagulation. *Arch Ophthalmol* 1973; 90:27-28. <https://doi.org/10.1001/archophth.1973.01000050029006>
- Kammer J. Ciliary body as a therapeutic target. In: *Surgical Innovations in Glaucoma* 2013; 1:45-59. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8348-9_4
- Krasnov M.M., Bolshunov A.V., Ilyina T.S. Method for the treatment of glaucoma. Moscow; 1989. Patent 480167.
- Shields M.B., Shields S.E. Noncontact transscleral Nd:YAG cyclophotocoagulation: long-term follow-up of 500 patients. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1994; 92:271-287.
- Maus M., Katz L.J. Choroidal detachment, flat anterior chamber and hypotony as complications of neodymium:YAG laser cyclophotocoagulation. *Ophthalmology* 1990; 97:69-72. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(90\)32640-4](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(90)32640-4)
- Pratesi R. Diode lasers in photomedicine. *IEEE J Quantum Electron* 1984; 20:1433-1439.

22. Hennis H.L., Stewart W.C. Semiconductor diode laser transscleral cyclophotocoagulation in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1992; 113(1):81-85. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)75758-7](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)75758-7)
23. Файзрахманов Р.Р., Калинин М.Е., Павловский О.А., Чехонин Е.С., Сехина О.Л. Современное представление о неоваскулярной глаукоме (обзор). *Офтальмологические ведомости* 2023; 16(3): 99-108. <https://doi.org/10.17816/OV490823>
24. Youn J., Cox T.A., Herndon L.W., Allingham R.R., Shields M.B. Clinical comparison of transscleral cyclophotocoagulation with neodymium: YAG and semiconductor diode lasers. *Am J Ophthalmol* 1998; 126:640-647. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(98\)00228-1](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(98)00228-1)
25. Stinson W.G., Sherwood M.B. Cyclodestructive procedures for advanced glaucoma: an update. *Recent Adv Ophthalmol* 1995; 1:91-103.
26. Delgado M.F., Dickens C.J., Iwach A.G., Novack G.D., Nychka D.S., Wong P.C., Nguyen N. Long-term results of noncontact Nd:YAG cyclophotocoagulation in neovascular glaucoma. *Ophthalmology* 2003; 110(5):895-899. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(02\)01923-9](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(02)01923-9)
27. Iliev M.E., Gerber S. Long-term outcome of trans-scleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2007; 91:1631-1635. <https://doi.org/10.1136/bjo.2007.116533>
28. Lin S.C., Chen M.J., Lin M.S., Howes E. Vascular effects on ciliary tissue from endoscopic versus transscleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(4):496-500. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.081570>
29. Agarwal H.C., Gupta V., Sihota R. Contact vs non-contact diode laser cyclophotocoagulation for refractory glaucomas using similar energy settings. *Clin Exp Ophthalmol* 2004; 32(1):33-38. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2004.00748.x>
30. Gorsler I., Thieme H., Meltendorf C. Cyclophotocoagulation and cyclocryocoagulation as primary surgical procedures for open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015; 253:2273-2277. <https://doi.org/10.1007/s00417-015-3092-3>
31. Wilensky J.T., Kammer J. Long-term visual outcome of transscleral laser cyclotherapy in eyes with ambulatory vision. *Ophthalmology* 2004; 111(7):1389-1392. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2003.10.037>
32. Uzunel U.D., Yüce B., Küsbeci T., Ateş H. Transpupillary argon laser cyclophotocoagulation in refractory traumatic glaucoma with aphakia and aniridia. *Turk J Ophthalmol* 2016; 46:38-40. <https://doi.org/10.4274/tjo.03934>
33. Куликов А.Н., Скворцов В.Ю. Особенности режимов диод-лазерной транссклеральной контактной циклокоагуляции в эксперименте. *Профилактическая и клиническая медицина* 2011; 3:482-484.
34. Uram M. Ophthalmic laser microendoscope ciliary process ablation in the management of neovascular glaucoma. *Ophthalmology* 1992; 99(12):1823-1828. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(92\)31745-7](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(92)31745-7)
35. Pantcheva M.B., Kahook M.Y., Schuman J.S., Noecker R.J. Comparison of acute structural and histopathological changes in human autopsy eyes after endoscopic and trans-scleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol* 2007; 91(2):248-252. <https://doi.org/10.1136/bjo.2006.104604>
36. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol* 2013; 24(2):102-110. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e32835d9530>
37. Kumar H., Mansoori T., Warjri G.B., Somarajan B.I., Bandil S., Gupta V. Lasers in glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2018; 66(11):1539-1553. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_911_18
38. Neely D.E., Plager D.A. Endocyclophotocoagulation for management of difficult pediatric glaucomas. *J AAPOS* 2001; 5(4):221-229. <https://doi.org/10.1067/mpa.2001.115164>
39. Geffen N., Ofir S., Belkin A., Segev F., Barkana Y., Messas A.K., Assia E.I., Belkin M. Transscleral selective laser trabeculoplasty without a gonioscopy lens. *J Glaucoma* 2017; 26(3):201-207. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000619>
40. Agrawal P., Martin K. Ciliary body position variability in glaucoma assessed by scleral transillumination. *Eye* 2008; 22:1499-1503. <https://doi.org/10.1038/eye.2008.42>
41. Bill A. The aqueous humour drainage mechanism in the cynomolgus monkey (Macaca irus) with evidence for unconventional routes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1965; 4:911-919.
42. Liu G.J., Mizukawa A., Okisaka S. Mechanism of IOP decrease after contact transscleral continuous-wave Nd:YAG cyclophotocoagulation. *Ophthalmic Res* 1994; 26(2):65-79. <https://doi.org/10.1159/000267395>
22. Hennis H.L., Stewart W.C. Semiconductor diode laser transscleral cyclophotocoagulation in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1992; 113(1):81-85. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)75758-7](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)75758-7)
23. Fayzrahmanov R.R., Kalinin M.E., Pavlovskiy O.A., Chekhonin E.S., Sekhina O.L. Current understanding of neovascular glaucoma (review). *Ophthalmology Bulletin* 2023; 16(3):99-108. <https://doi.org/10.17816/OV490823>
24. Youn J., Cox T.A., Herndon L.W., Allingham R.R., Shields M.B. Clinical comparison of transscleral cyclophotocoagulation with neodymium: YAG and semiconductor diode lasers. *Am J Ophthalmol* 1998; 126:640-647. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(98\)00228-1](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(98)00228-1)
25. Stinson W.G., Sherwood M.B. Cyclodestructive procedures for advanced glaucoma: an update. *Recent Adv Ophthalmol* 1995; 1:91-103.
26. Delgado M.F., Dickens C.J., Iwach A.G., Novack G.D., Nychka D.S., Wong P.C., Nguyen N. Long-term results of noncontact Nd:YAG cyclophotocoagulation in neovascular glaucoma. *Ophthalmology* 2003; 110(5):895-899. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(02\)01923-9](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(02)01923-9)
27. Iliev M.E., Gerber S. Long-term outcome of trans-scleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2007; 91:1631-1635. <https://doi.org/10.1136/bjo.2007.116533>
28. Lin S.C., Chen M.J., Lin M.S., Howes E. Vascular effects on ciliary tissue from endoscopic versus transscleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(4):496-500. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.081570>
29. Agarwal H.C., Gupta V., Sihota R. Contact vs non-contact diode laser cyclophotocoagulation for refractory glaucomas using similar energy settings. *Clin Exp Ophthalmol* 2004; 32(1):33-38. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2004.00748.x>
30. Gorsler I., Thieme H., Meltendorf C. Cyclophotocoagulation and cyclocryocoagulation as primary surgical procedures for open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015; 253:2273-2277. <https://doi.org/10.1007/s00417-015-3092-3>
31. Wilensky J.T., Kammer J. Long-term visual outcome of transscleral laser cyclotherapy in eyes with ambulatory vision. *Ophthalmology* 2004; 111(7):1389-1392. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2003.10.037>
32. Uzunel U.D., Yüce B., Küsbeci T., Ateş H. Transpupillary argon laser cyclophotocoagulation in refractory traumatic glaucoma with aphakia and aniridia. *Turk J Ophthalmol* 2016; 46:38-40. <https://doi.org/10.4274/tjo.03934>
33. Kulikov A.N., Skvortsov V.Yu. Features of diode-laser transscleral contact cyclocoagulation regimens in the experiment. *Preventive and Clinical Medicine* 2011; 3:482-484.
34. Uram M. Ophthalmic laser microendoscope ciliary process ablation in the management of neovascular glaucoma. *Ophthalmology* 1992; 99(12):1823-1828. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(92\)31745-7](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(92)31745-7)
35. Pantcheva M.B., Kahook M.Y., Schuman J.S., Noecker R.J. Comparison of acute structural and histopathological changes in human autopsy eyes after endoscopic and trans-scleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol* 2007; 91(2):248-252. <https://doi.org/10.1136/bjo.2006.104604>
36. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol* 2013; 24(2):102-110. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e32835d9530>
37. Kumar H., Mansoori T., Warjri G.B., Somarajan B.I., Bandil S., Gupta V. Lasers in glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2018; 66(11):1539-1553. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_911_18
38. Neely D.E., Plager D.A. Endocyclophotocoagulation for management of difficult pediatric glaucomas. *J AAPOS* 2001; 5(4):221-229. <https://doi.org/10.1067/mpa.2001.115164>
39. Geffen N., Ofir S., Belkin A., Segev F., Barkana Y., Messas A.K., Assia E.I., Belkin M. Transscleral selective laser trabeculoplasty without a gonioscopy lens. *J Glaucoma* 2017; 26(3):201-207. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000619>
40. Agrawal P., Martin K. Ciliary body position variability in glaucoma assessed by scleral transillumination. *Eye* 2008; 22:1499-1503. <https://doi.org/10.1038/eye.2008.42>
41. Bill A. The aqueous humour drainage mechanism in the cynomolgus monkey (Macaca irus) with evidence for unconventional routes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1965; 4:911-919.
42. Liu G.J., Mizukawa A., Okisaka S. Mechanism of IOP decrease after contact transscleral continuous-wave Nd:YAG cyclophotocoagulation. *Ophthalmic Res* 1994; 26(2):65-79. <https://doi.org/10.1159/000267395>

43. Nemoto H., Honjo M., Okamoto M., Sugimoto K., Aihara M. Potential mechanisms of IOP reduction by micropulse TSCPC in rabbit eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2022; 63(6):3. <https://doi.org/10.1167/iov.63.6.3>
44. Maslin J., Chen P., Sinard N.R. Comparison of acute histopathological changes after micropulse vs continuous-wave TSCPC (human cadaver eyes). *Poster, 26th AGS Meeting*; 2016.
45. Sanchez F.G., Peirano-Bonomi J.C., Grippo T.M. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: a hypothesis for the ideal parameters. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2018; 7(3):94-100.
46. Lin S., Babic K., Masis M. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation: short-term results and anatomical effects. *American Glaucoma Society*; 2016. Poster Presentation.
47. Zhao M., Pekmezci M., Lee R.K., Han Y. Histologic changes following continuous-wave and micropulse TSCPC: randomized comparative study. *American Glaucoma Society*; 2019.
48. Johnstone M.A., Song S., Padilla S., Wen K., Xin C., Wen J.C., Martin E., Wang R.K. Microscope Real-time Video, High-resolution OCT & Histopathology to Assess How Transscleral Micropulse Laser Affects the Sclera, Ciliary Body, Muscle, Secretory Epithelium, Suprachoroidal Space & Aqueous Outflow System. *The Association for Research in Vision and Ophthalmology. Vancouver. Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2019; 60:2825.
49. Barac R., Vuzitas M., Balta F. Choroidal thickness increase after micropulse TSCPC. *Rom J Ophthalmol* 2018; 62:144-148.
50. Aquino M.C., Barton K., Tan A.M.W., Sng C., Li X., Loon S.C., Chew P.T. Micropulse versus continuous-wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol* 2015; 43(1):40-46. <https://doi.org/10.1111/ceo.12360>
51. Егоров В.В., Поступаев А.В., Поступаева Н.В. Эффективность микроимпульсной циклофотокоагуляции при рефрактерной глаукоме. *Современные технологии в офтальмологии* 2022; 2:88-94. <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2022-2-88-94>
52. Lee J.H., Shi Y., Amoogzar B. Outcome of micropulse TSCPC in pediatric vs adult glaucoma patients. *J Glaucoma* 2017; 26:936-939. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000757>
53. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Елисева М.А. Микроимпульсная циклофотокоагуляция в комбинированном лечении неоваскулярной глаукомы. *Новости глаукомы* 2020; 53(1):71-75. <https://doi.org/10.25276/2227-8281-2020-1-71-75>
54. Subramaniam K., Price M.O., Feng M.T., Price F.W. Micropulse TSCPC in keratoplasty eyes. *Cornea* 2019; 38(5):542-545. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001897>
55. Иошин И.Э., Толчинская А.И., Максимов И.В. Сравнительный анализ лечения пациентов с рефрактерной глаукомой различных стадий методом микроимпульсной транссклеральной циклофотокоагуляции. *Офтальмология* 2022; 19(2):318-324. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-318-324>
56. Большунов А.В., Соболев Э.Н., Фёдоров А.А., Баум О.И., Омельченко А.И., Хомчик О.В., Щербakov Е.М. Усиление фильтрации внутриглазной жидкости при неразрушающем лазерном воздействии на склеру в проекции плоской части цилиарного тела (экспериментальное исследование). *Вестник офтальмологии* 2013; 129(1):22-26.
57. Большунов А.В., Соболев Э.Н., Фёдоров А.А., Воробьева Н.Н., Гамидов А.А., Омельченко А.И., Бузыкканова М.А., Гудичков В.В. Изменение рефракции глаза кролика при неабляционном ИК-лазерном воздействии на склеру in vivo. *Рефракционная хирургия и офтальмология* 2002; 2(1):55-58.
58. Гамидов А.А., Юсеф Ю.Н., Гаврилина П.Д., Медведева Е.П. Современные возможности лазерного воздействия на структуры переднего сегмента глаза. *Вестник офтальмологии* 2023; 139(3-2):107-112. <https://doi.org/10.17116/oftalma2023139032107>
59. Юсеф Ю.Н., Гамидов А.А., Гаврилина П.Д. Морфологическая оценка изменений после лазерной активации гидропроницаемости склеры в эксперименте и клинической практике при лечении глаукомы. *Медицинская физика* 2023; 2:105-106.
60. Гаврилина П.Д. Лазерная активация гидропроницаемости склеры в лечении далекозашедшей первичной открытоугольной глаукомы. Диссертация канд. мед. наук. Москва: ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова» 2024; 124.
43. Nemoto H., Honjo M., Okamoto M., Sugimoto K., Aihara M. Potential mechanisms of IOP reduction by micropulse TSCPC in rabbit eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2022; 63(6):3. <https://doi.org/10.1167/iov.63.6.3>
44. Maslin J., Chen P., Sinard N.R. Comparison of acute histopathological changes after micropulse vs continuous-wave TSCPC (human cadaver eyes). *Poster, 26th AGS Meeting*; 2016.
45. Sanchez F.G., Peirano-Bonomi J.C., Grippo T.M. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: a hypothesis for the ideal parameters. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2018; 7(3):94-100.
46. Lin S., Babic K., Masis M. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation: short-term results and anatomical effects. *American Glaucoma Society*; 2016. Poster Presentation.
47. Zhao M., Pekmezci M., Lee R.K., Han Y. Histologic changes following continuous-wave and micropulse TSCPC: randomized comparative study. *American Glaucoma Society*; 2019.
48. Johnstone M.A., Song S., Padilla S., Wen K., Xin C., Wen J.C., Martin E., Wang R.K. Microscope Real-time Video, High-resolution OCT & Histopathology to Assess How Transscleral Micropulse Laser Affects the Sclera, Ciliary Body, Muscle, Secretory Epithelium, Suprachoroidal Space & Aqueous Outflow System. *The Association for Research in Vision and Ophthalmology. Vancouver. Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2019; 60:2825.
49. Barac R., Vuzitas M., Balta F. Choroidal thickness increase after micropulse TSCPC. *Rom J Ophthalmol* 2018; 62:144-148.
50. Aquino M.C., Barton K., Tan A.M.W., Sng C., Li X., Loon S.C., Chew P.T. Micropulse versus continuous-wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol* 2015; 43(1):40-46. <https://doi.org/10.1111/ceo.12360>
51. Egorov V.V., Postupaev A.V., Postupaeva N.V. Effectiveness of micropulse cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Modern Technologies in Ophthalmology* 2022; 2:88-94. <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2022-2-88-94>
52. Lee J.H., Shi Y., Amoogzar B. Outcome of micropulse TSCPC in pediatric vs adult glaucoma patients. *J Glaucoma* 2017; 26:936-939. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000757>
53. Khodzhaev N.S., Sidorova A.V., Eliseeva M.A. Micropulse cyclophotocoagulation in combined treatment of neovascular glaucoma. *Glaucoma News* 2020; 53(1):71-75. <https://doi.org/10.25276/2227-8281-2020-1-71-75> (In Russ.)
54. Subramaniam K., Price M.O., Feng M.T., Price F.W. Micropulse TSCPC in keratoplasty eyes. *Cornea* 2019; 38(5):542-545. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001897>
55. Ioshin I.E., Tolchinskaya A.I., Maksimov I.V. Comparative analysis of outcomes in refractory glaucoma treated by micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *Ophthalmology* 2022; 19(2):318-324. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-318-324>
56. Bolshunov A.V., Sobol E.N., Fedorov A.A., Baum O.I., Omelchenko A.I., Khomchik O.V., Shcherbakov E.M. Enhanced filtration of intraocular fluid by non-destructive laser exposure to the sclera in the projection of the flat part of the ciliary body (experimental study). *Annals of Ophthalmology* 2013; 129(1):22-26.
57. Bolshunov A.V., Sobol E.N., Fedorov A.A., Vorobeva N.N., Gamidov A.A., Omelchenko A.I., Buzykanova M.A., Gudichkov V.B. Changes in the refraction of the rabbit eye during non-ablative IR laser exposure to the sclera in vivo. *Refractive Surgery and Ophthalmology* 2002; 2(1):55-58.
58. Gamidov A.A., Yusef Yu.N., Gavrilina P.D., Medvedeva E.P. Current capabilities of laser treatment for anterior segment structures of the eye. *Annals of Ophthalmology* 2023; 139(3-2):107-112. <https://doi.org/10.17116/oftalma2023139032107>
59. Yusef Yu.N., Gamidov A.A., Gavrilina P.D. Morphological assessment after laser activation of scleral hydraulic permeability in experimental and clinical practice. *Medical Physics* 2023; 2:105-106.
60. Gavrilina P.D. Laser activation of scleral hydraulic permeability in advanced primary open-angle glaucoma. *Cand. Med. Sci. Dissertation. Moscow, 2024, Krasnov Research Institute of Eye Diseases. 124 p.*