

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-4-111-115>



Возможности использования микроимпульсной циклофотокоагуляции в лечении различных типов глаукомы. Часть 1: механизмы гипотензивного эффекта, современный протокол процедуры

О.В. Ермакова, Е.А. Рагозина ✉

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Новосибирский филиал, ул. Колхидская, д. 10, Новосибирск, 630096, Россия

Микроимпульсная циклофотокоагуляция (МЦФК) относится к вмешательствам, снижающим внутриглазное давление путем воздействия на цилиарное тело, при этом термин «коагуляция» в названии не отражает сути процедуры, а унаследован от предшествующего варианта с использованием непрерывного лазерного излучения. В отличие от других методов воздействия на цилиарное тело, МЦФК считается наиболее щадящим и безопасным методом ввиду особенностей режима действия лазера и отсутствия коагулятивного эффекта. В первой части нашего обзора мы хотели бы осветить историю, механизмы действия и протокол проведения МЦФК.

Ключевые слова: микроимпульсная циклофотокоагуляция; первичная открытоугольная глаукома; врожденная глаукома; внутриглазное давление

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Ермакова О.В., Рагозина Е.А. Возможности использования микроимпульсной циклофотокоагуляции в лечении различных типов глаукомы. Часть 1: механизмы гипотензивного эффекта, современный протокол процедуры. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (4):111-5. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-4-111-115>

Micropulse cyclophotocoagulation in the treatment of primary open-angle glaucoma and congenital glaucoma. Part 1: hypotensive effect mechanisms, modern procedure protocol

Olga. V. Ermakova, Ekaterina A. Ragozina ✉

S. Fedorov Eye Microsurgery Center, Novosibirsk Branch, 10, Kolkhidskaya St., Novosibirsk, 630096, Russia
ragozina.ek@gmail.com

Micropulse cyclophotocoagulation (MP-CPC) refers to interventions that reduce intraocular pressure by laser exposure on the ciliary body, while the term “coagulation” in its name does not reflect the essence of the procedure, but is inherited from the previous continuous laser version. Unlike other methods that target ciliary body, MP-CPC is considered the safest procedure due to its special laser action mode and the absence of a coagulative effect. In the first part of our review, we would like to focus on the history, mechanisms of action and procedure protocol of micropulse cyclophotocoagulation.

Keywords: micropulse cyclophotocoagulation; primary open-angle glaucoma; congenital glaucoma; intraocular pressure

Conflict of interests: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Ermakova O.V., Ragozina E.A. Micropulse cyclophotocoagulation in the treatment of primary open-angle glaucoma and congenital glaucoma. Part 1: hypotensive effect mechanisms, modern procedure protocol. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (4): 111-5 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-4-111-115>

В настоящее время глаукома — хроническая прогрессирующая оптиконейропатия — остается одной из лидирующих причин необратимой слепоты во всем мире. Глобальная распространенность глаукомы среди населения в возрасте 40–80 лет составляет 3,54%. В 2013 г. число людей с глаукомой этой возрастной группы во всем мире оценивалось в 64,3 млн человек, в 2020 г. — 76,0 млн. Предполагается, что к 2040 г. число людей с данным заболеванием достигнет 111,8 млн человек [1].

Единственным доказанным способом замедления прогрессирования глаукомы является снижение внутриглазного давления (ВГД). Для этого в клинической практике существует три основных направления: медикаментозная терапия, лазерное лечение и хирургические антиглаукомные операции.

Попытки воздействия на цилиарное тело (ЦТ) с целью уменьшения продукции внутриглазной жидкости (ВГЖ) предпринимались с 1920-х гг. Первыми циклодеструктивными вмешательствами были хирургическое иссечение ЦТ и проникающая циклодиатермия. Оба метода были технически сложными и небезопасными, поэтому применялись исключительно в глазах с рефрактерной глаукомой и низким прогнозом по зрению. В дальнейшем в клиническую практику вошли циклокриодеструкция и ультразвуковая циклодеструкция, однако большое количество осложнений после данных процедур требовало дальнейшего поиска более безопасных методов [2].

В 1972 г. Н. Веckman и его коллеги [3] представили лазерный метод циклофотокоагуляции (ЦФК). С годами лазерная ЦФК стала основным видом циклодеструктивной операции, постепенно вытеснив другие методы циклодеструкции.

Предшественником микроимпульсной ЦФК (МЦФК) является непрерывно-волновая диод-лазерная транссклеральная ЦФК (ТСЦФК), которую с появлением МЦФК стали называть классической, или традиционной. Данная методика заключается в использовании диодного лазера с длиной волны 810 нм. Лазерное излучение, проходя через склеру, поглощается меланином в пигментированных клетках эпителия ЦТ. Это приводит к деструкции клеток, нарушению васкуляризации ЦТ, к его коагуляционному некрозу, необратимому разрушению и дисфункции, тем самым снижается скорость продукции ВГЖ [4].

Несмотря на свою доказанную гипотензивную эффективность, этот метод доказывает чрезмерное количество энергии к окружающим тканям, вызывая значительные повреждения ЦТ. В связи с тяжелыми осложнениями, такими как стойкая гипотония, выраженное внутриглазное воспаление, гифема, снижение остроты зрения (ОЗ) и субатрофия глазного яблока, использование непрерывной ЦФК ограничивается далеко зашедшей рефрактерной глаукомой с остаточными зрительными функциями либо терминальной глаукомой, сопровождающейся болевым синдромом [5].

Чтобы улучшить профиль безопасности ТСЦФК, данную методику стали применять, используя микроимпульс-

ный режим, который представляет собой серию коротких импульсов лазерной энергии (on-цикл), разделенных паузами (off-цикл). Циклическое применение лазера позволяет накапливать энергию в пигментированных тканях, в конечном итоге достигая порога коагуляции. Во время цикла off не пигментированные прилегающие ткани, успевают «охладиться», что теоретически предотвращает коагуляцию и сводит к минимуму повреждение этих тканей [6].

Таким образом, процедура МЦФК является более щадящим и безопасным методом, что делает возможным ее применение не только на поздних, но и на ранних стадиях глаукомы, в том числе до проведения хирургического вмешательства [7].

Микроимпульсный режим поддерживается такими приборами, как G6 Glaucoma Laser System (IRIDEX, США), IQ 810 Laser System (IRIDEX, США), Supra 810 Laser System (Франция), «Алод-Алком» (Россия) и др.

Механизм действия МЦФК. Механизм действия МЦФК на сегодняшний день остается не до конца изученным, данные исследований неоднозначны. Решение вопроса о возможном механизме действия данного метода лечения связано с наблюдением макроскопических и микроскопических изменений, происходящих в тканях под воздействием лазерного излучения. Невозможность проведения подобных исследований у человека *in vivo* предполагает использование кадаверных глаз либо экспериментальных исследований с участием лабораторных животных.

Существует несколько гипотез, объясняющих механизм действия МЦФК, а именно снижение продукции ВГЖ, увеличение увеосклерального оттока и пилокарпиноподобное действие [8].

Предполагается, что снижение продукции ВГЖ при МЦФК по механизму действия похоже на таковой при классической ТСЦФК, но, в отличие от него, МЦФК вызывает лишь подпороговое повреждение клеток пигментированного и не пигментированного эпителия ЦТ. Наличие межимпульсного временного периода позволяет температуре пигментных клеток вернуться к исходному уровню перед следующим импульсом и, следовательно, не приводит к клеточному повреждению от кумулятивного перегревания не пигментированного эпителия и цилиарной стромы. Следовательно, отсутствуют какие-либо макроскопические изменения [9, 10].

Эти данные противоречат результатам К. Moussa и соавт. [8], которые сравнивали гистологические изменения, наблюдаемые при классической ТСЦФК и МЦФК в кадаверных глазах. При использовании микроимпульсного режима наблюдали коагуляцию коллагена и деструкцию стромы ЦТ. При повторном воздействии МЦФК наблюдалось также отделение пигментного эпителия от стромы.

Хотя традиционно считается, что излучение диодного лазера с длиной волны 810 нм поглощается в основном пигментированным эпителием ЦТ [11], в исследовании Т. Tsujisawa и соавт. [12] не выявлено морфологических изменений пигментированных эпителиальных клеток

ЦТ под воздействием МЦФК с использованием различных параметров. По мнению авторов, уменьшение продукции ВГЖ связано с повреждением митохондрий в не пигментированных эпителиальных клетках цилиарных отростков, а также с разрушением базальных инвагинаций *pars plicata* ЦТ.

Ж. Maslin и соавт. в исследованиях на кадаверных глазах наблюдали группирование и вымывание пигмента из эпителиальных клеток ЦТ [13].

В 90-е гг. на основе данных гистологических исследований была выдвинута гипотеза о том, что классическая ТСЦФК увеличивает интенсивность увеосклерального оттока ВГЖ. Предполагается, что данный механизм действия сохраняется и при лазерном воздействии в микроимпульсном режиме за счет ремоделирования экстрацеллюлярного матрикса, что, однако, трудно проверить на практике [14, 15].

Не существует прямого метода измерения увеосклерального оттока, поэтому используются либо косвенные методы его оценки, либо методы математического расчета, данные которых плохо согласуются друг с другом [16].

В 2018 г. R. Вагас и соавт. [17] в небольшой выборке пациентов (22 глаза) измеряли толщину хориоидеи с помощью оптической когерентной томографии. Было обнаружено, что у пациентов, имевших гипотензивный эффект после МЦФК, толщина хориоидеи через 6 мес в среднем увеличилась на 16 мкм: с 369 мкм в начале исследования до 385 мкм после лазерного воздействия. У пациентов, у которых ВГД не было снижено, не наблюдалось также и изменения толщины сосудистой оболочки. Однако авторы отмечают, что полученные данные не являются убедительным доказательством увеличения увеосклерального оттока.

Наибольшей объективностью характеризуется исследование увеосклерального оттока с помощью меченых молекул — трейсеров. Этот способ считается наиболее точным, но, поскольку он инвазивен и требует гистологического анализа, он, как правило, не подходит для использования у людей [18].

С помощью данного метода Н. Nemoto и соавт. выявили после МЦФК у кроликов значительное увеличение увеосклерального оттока. Авторы использовали в качестве трейсера флуоресцинированный декстран и методом иммунофлуоресценции подтвердили, что МЦФК активирует увеосклеральный отток у кроликов. В отсутствие микроимпульсного лазерного воздействия сигналы трейсера наблюдали только в трабекулярной сети и не обнаружили их в тканях по ходу увеосклерального тракта [19].

Наконец, одна из гипотез о механизме действия МЦФК предполагает воздействие лазерного излучения на продольные волокна ЦТ, что приводит к его сокращению и вызывает смещение склеральной шпоры, вследствие чего трабекулярная сеть растягивается, изменяется ее конфигурация и увеличивается отток через трабекулярный путь. Данный эффект аналогичен механизму действия пилокарпина в снижении ВГД. Продемонстрировано, что этот эффект зависит от энергии, а это означает, что чем выше приложенная энергия, тем слабее восстановление сокращенной цилиарной мышцы, что приводит к более устойчивому пилокарпиноподобному эффекту [20, 21].

Протокол МЦФК. Процедуру принято относить к вмешательствам с высоким профилем безопасности и эффективности. Как упоминалось ранее, осложнения при проведении МЦФК возникают гораздо реже, чем при проведении классической ТСЦФК, но ввиду использования данного метода у пациентов с сохранными зрительными функциями даже нечастые нежелательные явления имеют большую клиническую значимость.

По данным разных исследований, наиболее частым осложнением МЦФК является воспалительная реакция разной интенсивности в передней камере. Легкую степень воспаления, разрешающуюся в течение нескольких недель, наблюдают у 0–65% пациентов при одних и тех же параметрах лазерного воздействия [22, 23].

К другим осложнениям относят снижение остроты зрения (до 17%), гипотонию (до 18%), гифему (до 17,5%), реактивную гипертензию (до 11%), макулярный отек (до 5%), отек роговицы (до 5,3%), субатрофию глазного яблока (до 2,5%), а также эрозию роговицы и отслойку сосудистой оболочки. По имеющимся данным, встречаемость данных осложнений низкая при использовании адекватных параметров лазерного воздействия, кроме того, имеется некоторое количество работ, в которых авторы сообщают об отсутствии каких-либо осложнений у всех наблюдаемых пациентов [7, 10, 20, 24].

Авторы заявляют о высокой эффективности МЦФК: среднее снижение ВГД составляет от 27,3 до 59,9% [25, 26]. Особый интерес представляет сохранность гипотензивного эффекта МЦФК в исследованиях с длительным периодом наблюдения. Так, М. Aquino и соавт. [6] сообщают о сохранении ВГД в пределах 6–21 мм рт. ст. у 75% пациентов через 12 мес и у 52% пациентов через 18 мес после лазерного вмешательства.

Считается, что безопасность и эффективность МЦФК напрямую связана с выбором параметров лазерного воздействия. По мнению одних авторов, высокие уровни лазерной энергии опасны в отношении послеоперационных осложнений, по мнению других авторов, еще существует потенциал безопасного повышения уровня лазерной энергии. Дискутируется также оптимальное суммарное время воздействия лазера. Таким образом, на сегодняшний день продолжается поиск оптимальных параметров лазерного воздействия.

В 2018 г. F. Sanchez и соавт. [20], столкнувшись с трудностью сравнительного анализа эффективности и безопасности МЦФК в различных исследованиях в связи с вариабельностью временных и мощностных характеристик лазерного воздействия, попытались проанализировать и стандартизировать параметры проведения процедуры. На основании данного анализа выделено три уровня суммарного энергетического воздействия: высокий (суммарная энергия — 200–225 Дж), средний (112–140 Дж) и низкий (< 100 Дж). Для расчета суммарного энергетического воздействия предложена следующая формула (рис. 1).

Авторы считают, что использование параметров средней группы наиболее оптимально в отношении снижения ВГД и рисков послеоперационных осложнений [20].

Поиск оптимальных настроек продолжается до сих пор. Многие исследователи считают возможным безопасное использование суммарной энергии более 112–140 Дж.

Так, Т. Grippo и соавт. [27] пришли к выводу, что такой параметр, как «плотность потока» (рис. 2), который включает в себя скорость продвижения наконечника, показал более

$$E = P \times t \times ON \text{ cycle}$$

Рис. 1. Формула расчета суммарной энергии. E — суммарная энергия (Дж), P — мощность (Вт), t — длительность воздействия (с), ON cycle — цикл включения (например, 31,3%)

Fig. 1. Total energy calculation formula. E — total energy in Joules (J), P — power in Watts (W), t — total treatment duration in seconds (s), ON cycle (31.3% for example)

тесную связь с эффективностью снижения ВГД, чем параметр «общая энергия».

В 2022 г. были опубликованы данные консенсуса по МЦФК, в котором преимущественно обсуждались оптимальные параметры лазерной энергии. Предложен следующий протокол лечения: мощность — 2500 мВт, рабочий цикл — 31,3% и 4 цикла сканирования со скоростью 20 с на каждое полушарие.

В данных консенсуса также присутствуют рекомендации относительно показаний для МЦФК, в которые вошли 4 группы пациентов.

1. Пациенты, не являющиеся кандидатами на фистулизирующую хирургию глаукомы или отказывающиеся от нее. Например, пациенты с рубцами конъюнктивы, пациенты, имеющие повышенный риск хирургических осложнений (применение антикоагулянтов, афакия), пациенты с высокой вероятностью потери зрения во время хирургической операции или после нее, а также в случае невозможности частых послеоперационных визитов.

2. Пациенты, перенесшие ранее хирургическое вмешательство по поводу глаукомы с субоптимальным контролем ВГД и/или желанием использовать меньшее количество гипотензивных капель.

3. Пациенты с неконтролируемым ВГД.

4. Пациенты со стабильным течением глаукомы, получающие максимально переносимую лекарственную терапию с желанием уменьшить количество препаратов [28].

Кроме параметров энергии, исследователи также изучают другие возможные модификации проведения МЦФК, например в 2022 г. в *Journal Glaucoma* опубликована статья, авторы которой предлагают новый способ перемещения зонда при проведении МЦФК — Zig Zag mode (аппликации наносятся по зигзагообразной траектории, пересекающей линию, проходящую в 3 мм от лимба параллельно ему, чтобы покрыть наибольшую область проекции ЦТ (рис. 3) [29].

На эффективность лазерного воздействия может оказывать влияние выбор наконечника для световода. Например, компания IRIDEX к сегодняшнему дню выпустила два вида наконечников для проведения МЦФК: первая версия имеет округлый кончик, а вторая доработанная версия — вогнутый.

Во втором случае форма наконечника повторяет форму глазного яблока, что позволяет производить более адресную доставку лазерного луча, в свою очередь при использовании первого наконечника возможно слишком позднее воздействие (за счет неконтролируемого наклона), которое может осложниться расширением зрачка и воспалительной реакцией. Первый наконечник имеет выступ, концентрирующий лазерный луч, второй — гладкую поверхность, таким образом при установке одних и тех же параметров лазерного воздействия в первом случае наблюдается доставка большей дозы лазерной энергии, а во втором — доставка равномерная и более деликатная.

Эффективность МЦФК с использованием новой версии наконечника показана в нескольких исследованиях [30, 31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день механизмы действия МЦФК остаются не до конца изученными. В данном контексте актуальна разработка достоверных алгоритмов изучения увеосклерального оттока. Кроме того, продолжают поиски оптимального протокола проведения лазерного вмешательства с целью минимизации количества и тяжести осложнений одновременно с достижением максимального гипотензивного эффекта.

$$F = \frac{P \times t}{S}$$

Рис. 2. Формула расчета плотности потока. F — плотность потока (Дж/см²), P — мощность (Вт), t — длительность воздействия (с), S — площадь рабочей поверхности наконечника (см²)

Fig. 2. Flow density calculation formula. F — flow density (J/cm²), P — power (W), t — total treatment duration (s), S — area of the working surface of the tip (cm²)

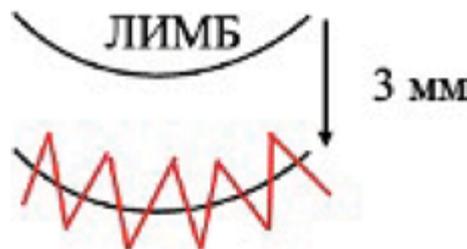


Рис. 3. Способ перемещения зонда при проведении МЦФК — Zig Zag mode

Fig. 3. Zig Zag application pattern for Micro-Pulse cyclophotocoagulation

Литература/References

1. Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014; 121 (11): 2081–90. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
2. Dastiridou AI, Katsanos A, Denis P, et al. Cyclodestructive procedures in glaucoma: A review of current and emerging options. *Adv Ther*. 2018; 35 (12): 2103–27. doi: 10.1007/s12325-018-0837-3
3. Beckman H, Kinoshita A, Rota AN, Sugar HS. Transscleral ruby laser irradiation of the ciliary body in the treatment of intractable glaucoma. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*. 1972 Mar-Apr; 76 (2): 423–36. PMID: 4677450.
4. Souissi S, Le Mer Y, Metge F, et al. An update on continuous-wave cyclophotocoagulation (CW-CPC) and micropulse transscleral laser treatment (MP-TLT) for adult and paediatric refractory glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2021; 99 (5): e621–e653. doi: 10.1111/aos.14661
5. Michelessi M, Bickett AK, Lindsley K. Cyclodestructive procedures for non-refractory glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018; 4 (4): CD009313. doi: 10.1002/14651858
6. Aquino MC, Barton K, Tan AM, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2015; 43 (1): 40–6. doi: 10.1111/ceo.12360
7. Williams AL, Moster MR, Rahmatnejad K, et al. Clinical efficacy and safety profile of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2018; 27 (5): 445–49. doi: 10.1097/IJG.0000000000000934
8. Moussa K, Feinstein M, Pekmezci M, et al. Histologic changes following continuous wave and micropulse transscleral cyclophotocoagulation: A randomized comparative study. *Transl Vis Sci Technol*. 2020; 9 (5): 22. doi: 10.1167/tvst.9.5.22
9. Ma A, Yu SWY, Wong JKW. Micropulse laser for the treatment of glaucoma: A literature review. *Surv Ophthalmol*. 2019; 64 (4): 486–97. doi: 10.1016/j.survophthal.2019.01.001
10. Dastiridou AI, Katsanos A, Denis P, et al. Cyclodestructive procedures in glaucoma: a review of current and emerging options. *Adv Ther*. 2018; 35 (12): 2103–27. doi: 10.1007/s12325-018-0837-3
11. Abdelmassih Y, Tomey K, Khoeir Z. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *J Curr Glaucoma Pract*. 2021; 15 (1): 1–7. doi: 10.5005/jp-journals-10078-1298
12. Tsujisawa T, Ishikawa H, Uga S, et al. Morphological changes and potential mechanisms of intraocular pressure reduction after micropulse transscleral cyclophotocoagulation in rabbits. *Ophthalmic Res*. 2022; 65 (5): 595–602. doi: 10.1159/000510596
13. Maslin JS, Chen PP, Sinarad J, Nguyen AT, Noecker R. Histopathologic changes in cadaver eyes after micropulse and continuous wave transscleral

- cyclophotocoagulation. *Can J Ophthalmol*. 2020; 55 (4): 330–35. doi: 10.1016/j.jco.2020.03.010
14. Liu GJ, Mizukawa A, Okisaka S. Mechanism of intraocular pressure decrease after contact transscleral continuous-wave Nd:YAG laser cyclophotocoagulation. *Ophthalmic Res*. 1994; 26 (2): 65–79. doi: 10.1159/000267395
 15. Schubert HD, Agarwala A, Arbizio V. Changes in aqueous outflow after in vitro neodymium: yttrium aluminium garnet laser cyclophotocoagulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1990 Sep; 31 (9): 1834–8. PMID: 2211029.
 16. Johnson M, McLaren JW, Overby DR. Unconventional aqueous humour outflow: A review. *Exp Eye Res*. 2017; 158: 94–111. doi: 10.1016/j.exer.2016.01.017
 17. Barac R, Vuzitas M, Balta F. Choroidal thickness increase after micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *Rom J Ophthalmol*. 2018 Apr-Jun; 62 (2): 144–8. PMID: 30206558.
 18. Lindsey JD, Weinreb RN. Identification of the mouse uveoscleral outflow pathway using fluorescent dextran. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002 Jul; 43 (7): 2201–5. PMID: 12091417.
 19. Nemoto H, Honjo M, Okamoto M, Sugimoto K, Aihara M. Potential mechanisms of intraocular pressure reduction by micropulse transscleral cyclophotocoagulation in rabbit eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2022; 63 (6): 3.
 20. Sanchez FG, Peirano-Bonomi JC, Grippo T.M. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: a hypothesis for the ideal parameters. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol J*. 2018 Fall; 7 (3): 94–100. PMID: 30386797.
 21. Johnstone MA, Song S, Padilla S, et al. Microscope real-time video (MRTV), high-resolution OCT (HR-OCT) & histopathology (HP) to assess how transscleral micropulse laser (TML) affects the sclera, ciliary body (CB), muscle (CM), secretory epithelium (CBSE), suprachoroidal space (SCS) & aqueous outflow system. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019; 60 (9): 2825. <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2745987>
 22. Lee JH, Shi Y, Amoozgar B, et al. Outcome of micropulse laser transscleral cyclophotocoagulation on pediatric versus adult glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2017; 26 (10): 936–39. doi: 10.1097/IJG.0000000000000757
 23. Sarrafpour S, Saleh D, Ayoub S, Radcliffe NM. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: A look at long-term effectiveness and outcomes. *Ophthalmol Glaucoma*. 2019; 2 (3): 167–71. doi: 10.1016/j.ogla.2019.02.002
 24. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Старостина А.В., Елисеева М.А. Микроимпульсная транссклеральная циклофотокоагуляция в лечении глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2020; 13 (2): 105–11. [Khodzhaev N.S., Sidorova A.V., Starostina A.V., Eliseeva M.A. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal*. 2020; 13 (2): 105–11 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111>
 25. Yelenskiy A, Gillette TB, Arosemena A, et al. Patient outcomes following micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation: intermediate-term results. *J Glaucoma*. 2018; 27 (10): 920–5. doi:10.1097/IJG.0000000000001023
 26. Emanuel ME, Grover DS, Fellman RL, et al. Micropulse cyclophotocoagulation: initial results in refractory glaucoma. *J Glaucoma*. 2017; 26 (8): 726–9. doi: 10.1097/IJG.0000000000000715
 27. Grippo TM, Sanchez FG, Stauffer J, Marcellino G. MicroPulse® transscleral laser therapy - fluence may explain variability in clinical outcomes: A literature review and analysis. *Clin Ophthalmol*. 2021; 15: 2411–19. doi: 10.2147/OPHTH.S313875
 28. Grippo TM, de Crom RMPC, Giovingo M, et al. Evidence-based consensus guidelines series for Micro-Pulse transscleral laser therapy: Dosimetry and patient selection. *Clin Ophthalmol*. 2022; 16: 1837–46. doi: 10.2147/OPHTH.S365647
 29. Sami A, Aboulnasr TT, El-Shahed AF. Efficacy of a novel Zig Zag application pattern for Micro-Pulse trans-scleral cyclo-photocoagulation for the management of glaucoma. *J Glaucoma*. 2023; 32 (5): 382–88. doi: 10.1097/IJG.0000000000002095
 30. Balendiran V, Landreneau J, An J. MicroPulse transscleral laser therapy dosimetry utilizing the revised P3 delivery device: A randomized controlled trial. *Ophthalmol Glaucoma*. 2022; Sep 28: S2589-4196(22)00189-2. doi: 10.1016/j.ogla.2022.09.004
 31. Akiyama T, Fujishiro T, Sugimoto K, et al. Short-term outcomes of micropulse transscleral laser therapy using the revised delivery probe in refractory glaucoma. *Jpn J Ophthalmol*. 2022; 66 (6): 549–58. doi: 10.1007/s10384-022-00938-9

Вклад авторов в работу: О.В. Ермакова, Е.А. Рагозина — концепция и дизайн статьи, сбор и анализ данных литературы, написание и редактирование текста.

Authors' contribution: O.V. Ermakova, E.A. Ragozina — concept and design of the review, literature data collection and analysis, writing and editing of the review.

Поступила: 27.09.2023. Переработана: 30.10.2023. Принята к печати: 31.10.2023
Originally received: 27.09.2023. Final revision: 30.10.2023. Accepted: 31.10.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГАУНМИЦ «МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Новосибирский филиал, ул. Колхидская, д. 10, Новосибирск, 630096, Россия

Ольга Викторовна Ермакова — канд. мед. наук, заведующая 2-м офтальмологическим отделением

Екатерина Александровна Рагозина — врач-офтальмолог

Для контактов: Екатерина Александровна Рагозина, ragozina.ek@gmail.com

S. Fedorov Eye Microsurgery Center, Novosibirsk Branch, 10, Kolkhidskaya St., Novosibirsk, 630096, Russia

Olga V. Ermakova — Cand. of Med. Sci., head of 2nd ophthalmology department

Ekaterina A. Ragozina — ophthalmologist

For contacts: Ekaterina A. Ragozina, ragozina.ek@gmail.com