

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-18-23>

Критерии выбора энергии микроимпульсной трансклеральной циклофотокоагуляции

И.Э. Иошин, А.И. Толчинская✉, И.В. Максимов

ФГБУ «Клиническая больница», ул. Лосиноостровская, д. 45, Москва, 107143, Россия

Длительное время определяющим параметром при планировании операции микроимпульсной циклофотокоагуляции (мЦФК) был расчет общей энергии. Однако учет только этого показателя не позволяет установить более точные корреляции между параметрами воздействия и результатами лечения. **Цель работы** — определить критерии выбора энергетических параметров для проведения мЦФК у пациентов с рефрактерной глаукомой. **Материал и методы.** Предложен более надежный индикатор клинических результатов при проведении мЦФК — поток энергии, рассчитывающийся на основе скорости движения зонда. Разработана собственная стратегия проведения мЦФК: разделение полусфер глазной поверхности на 4 квадранта для повышения контроля движения световода с сохранением выбранной скорости. Модифицирован стандартный протокол ведения процедуры, при котором расчетный поток энергии составляет 121,8 Дж/см². **Результаты.** Анализ оценки результатов лечения 140 больных по критериям Каплана — Мейера показал его успешность. Внутриглазное давление (ВГД) снизилось по сравнению с исходным при развитой и далеко зашедшей стадии на 30 %, при терминальной — на 20 % при отсутствии осложнений. Компенсация ВГД к 12 мес наблюдения отмечена в 81,3 % случаев. **Заключение.** Представленная модификация мЦФК с использованием параметров потока энергии позволяет унифицировать технологию лазерного воздействия, а полученные результаты демонстрируют хороший гипотензивный эффект при отсутствии осложнений. Наличие стандартизированных показателей энергии дает возможность применять избирательную тактику лечения с учетом различных особенностей пациентов с глаукомой.

Ключевые слова: глаукома рефрактерная развитая, далеко зашедшая, терминальная; микроимпульсная циклофотокоагуляция; лазерная энергия

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Иошин И.Э., Толчинская А.И., Максимов И.В. Критерии выбора энергии микроимпульсной трансклеральной циклофотокоагуляции. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (4): 18-23. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-18-23>

Criteria for choosing the energy of micropulse transscleral cyclophotocoagulation

Igor E. Ioshin, Anna I. Tolchinskaya✉, Ivan V. Maksimov

Clinical Hospital, 45, Losinoostrovskaya St., Moscow, 107143, Russia
atolchinskaya@mail.ru

For a long time, the main parameter of micropulse cyclophotocoagulation (mTS-CPC) operation planning has been the calculated total energy. However, this indicator alone is not enough to determine more accurate correlations between exposure parameters and treatment outcomes. **Purpose:** to determine the criteria for choosing energy parameters to be used in mTS-CPC in refractory glaucoma patients. **Material and methods.** We propose a more reliable indicator of mTS-CPC clinical results, the energy flow, which is calculated from the speed of the probe movement. We developed and used a new strategy for conducting mTS-CPC: dividing the hemispheres of the ocular surface into 4 quadrants for a better control of the light guide movement while maintaining the selected speed. The standardized protocol for conducting the procedure has been modified so that the calculated energy flow is 121.8 J/cm². **Results.** The evaluation of the treatment results of 140 patients according to the Kaplan Meier criteria showed the success of the treatment. IOP fell by 30 %, as compared with the baseline

in the advanced stage, and by 20 % in the terminal stage, causing no complications. 12 months after the follow-up start, IOP compensation was noted in 81.3 % of cases. **Conclusion.** The presented modification of mTS-CPC using the energy flow parameters makes it possible to unify the technology of laser treatment, and the results obtained demonstrate a good and uncomplicated hypotensive effect. The availability of standardized energy indicators allows for a selective treatment tactics, depending on the individual characteristics of glaucomatous patients.

Keywords: refractory glaucoma, developed, advanced, terminal; micropulse cyclophotocoagulation; laser energy

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

For citation: Ioshin I.E., Tolchinskaya A.I., Maksimov I.V. Criteria for choosing the energy of micropulse transscleral cyclophotocoagulation. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (4): 18-23 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-18-23>

С момента выхода первой рецензируемой публикации о трансклеральной микроимпульсной циклофотокоагуляции (мЦФК) в 2010 г. и до настоящего времени используются различные комбинации параметров лазерного лечения с отличающимся клиническим результатом по степени гипотензивного эффекта, его длительности и безопасности процедуры. Отсутствие стандартизации затрудняет определение оптимальных параметров для достижения максимальной эффективности и безопасности, а также усложняет сравнение результатов разных исследований. Поскольку мЦФК относительно новый метод лечения, до сих пор обсуждаются параметры лазера, позволяющие обеспечить наилучший баланс между эффективностью и безопасностью [1].

Энергия, передаваемая на структуры цилиарного тела с помощью микроимпульсного лазера, характеризуется следующими параметрами.

- **Мощность.** Стандартно устанавливается на уровне 2000 мВт, но в нескольких исследованиях использовалась мощность до 2500 мВт [2–4].
- **Рабочий цикл.** Рекомендованное значение данного параметра составляет 31,3 %. Существует возможность уменьшить рабочий цикл до 25 %, но в сравнительном исследовании обнаружено, что рабочий цикл 31,3 % более эффективен [5].
- **Время лазерного воздействия.** По данным литературы, общая продолжительность колеблется от 100 до 360 с [6].
- **Скорость прохода** лазерным наконечником по полусфере глазного яблока в зоне предполагаемого воздействия. Учитывается как время одного полного прохода, или иначе одной экскурсии (в литературе колеблется от 10 до 60 с). В соответствии с планируемой общей продолжительностью (временем) и скоростью прохода варьирует и количество проходов (от 2 до 16) [6].

Использование различных параметров лазера приводило к сложностям в оценке полученных результатов. Чтобы облегчить сравнение исследований с использованием разных параметров, M. Johnstone и J. Murray [7] предложили формулу для расчета доставляемой энергии в джоулях (Дж): мощность (Вт) × время (с) × рабочий цикл (31,3 %).

F. Sanchez и соавт. [8], основываясь на экспериментальных исследованиях M. Johnstone и J. Murray [7] и анализе клинических результатов, предположили, что снижение внутриглазного давления (ВГД) положительно коррелирует с продолжительностью лечения и, следовательно, общей энергией. Клинические исследования показали, что хирурги использовали различные параметры энергии: от 62 Дж (общее время — 100 с) до 225 Дж (общее время — 360 с). Вариативность исходных данных предопределила поиск корреляций с послеоперационным эффектом и позволила разделить значения уровней энергии на низкие, средние и высокие (рис. 1).

- **Низкие уровни энергии:** 62–100 Дж, или 100–160 с обработки при 2000 мВт [2, 4, 6, 8–11].

Низкие уровни энергии имели минимальный уровень осложнений, но также и более ограниченную эффективность. F. Sanchez и соавт. [11] применяли уровни энергии в диапазоне от 62 до 112 Дж и получили средний уровень успеха: 27,3 % (21,4 % в группе 100 Дж и 75 % в группе 112 Дж), в то время как у всех пациентов в группе 62 Дж гипотензивный эффект был низким.

S. Souissi и соавт. [12] сообщили о столь же низкой степени успеха — 35 % при уровне энергии менее 100 Дж. Однако M. Aquino и соавт. [9] сообщили об успешном результате в 75 % случаях через 12 мес и в 52 % через 18 мес при использовании энергии 100 Дж, при этом почти половине пациентов потребовалось как минимум два сеанса лечения.

- **Средние уровни энергии:** 112–200 Дж, или 180–240 с обработки при 2000 мВт [3, 13–17].

Воздействие с использованием среднего уровня энергии (112 и 150 Дж) показало лучший профиль безопасности и эффективности. K. Zaaroug и соавт. [18] сообщили о результатах лечения 75 глаз с далеко зашедшей рефрактерной глаукомой с использованием фиксированных параметров: 180 с при мощности 2000 мВт. Уровень успеха через год составил 73,3 % при снижении ВГД на 35,4 % по сравнению с исходным уровнем. О серьезных осложнениях не сообщалось. A. Yelenskiy и соавт. [17] сообщили об аналогичных результатах при использовании следующих параметров лазера: 2000 мВт, 180–240 с.

- **Высокие уровни энергии:** от 200 до 225 Дж, или 320–360 с обработки при 2000 мВт [4, 8, 13, 19].

Следует соблюдать осторожность при использовании верхних уровней общей энергии из-за более высокой частоты осложнений. M. Emanuel и соавт. [20] использовали среднюю продолжительность лечения 319 с (диапазон: 180–360 с) и обнаружили, что показатель успеха составляет 75 % через год при среднем снижении ВГД на 41,2 %. Однако в 45 % случаев наблюдались осложнения, из которых наиболее распространенными были воспалительная реакция

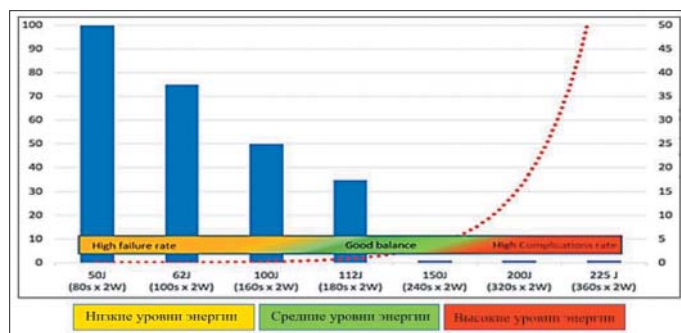


Рис. 1. Распределение уровней энергии

Fig. 1. Distribution of energy levels: low (yellow), moderate (green) and high (red)

и снижение остроты зрения. Аналогично этому A. Williams и соавт. [21] сообщили об успехе в 67 % и снижении ВГД в среднем на 51 %, но у 26 % пациентов отмечена воспалительная реакция, а у 17 % — снижение остроты зрения.

На основе этих наблюдений F. Sanchez и соавт. [11] предположили, что доставляемая энергия с наилучшим профилем безопасности/эффективности находится в пределах от 112 до 150 Дж. Использование энергии в рамках данных значений показало умеренное снижение ВГД, примерно на 35 %, в сроке наблюдений до 15 мес с небольшими осложнениями или без них. Уровни энергии ниже 100 Дж не вызывали побочных эффектов, но приводили к меньшему снижению ВГД и более короткому сроку действия эффекта. Напротив, при уровнях энергии выше 200 Дж ($320 \text{ с} \times 2 \text{ Вт} \times 31,3 \%$ — рабочий цикл) сообщалось о более значительном снижении ВГД и высоких рисках послеоперационных осложнений. Данное исследование показало, что при одинаковой мощности лазера существует дозозависимая линейная связь между длительностью лечения и уровнем снижения ВГД (см. рис. 1) [11].

S. Sarrafroug и соавт. [4] подтвердили взаимосвязь «доза — ответ» при использовании данного метода. Многофакторный анализ показал, что применение более высокой мощности лазера лучше снижало ВГД в раннем послеоперационном периоде, чем использование более слабых мощностей. Но по результатам исследований прослеживалась нелинейная связь между уровнем энергии и снижением ВГД. Авторы отметили, что другие переменные также могут существенно повлиять на результаты даже при эквивалентных уровнях энергии. К примеру, 100 Дж энергии, доставленной за короткое время лечения, могут отличаться по эффекту от 100 Дж, доставленных за более продолжительное время лечения [4].

Выбор параметров лазера при выполнении мЦФК в зависимости от типа глаукомы, тяжести заболевания и анамнестических данных до последнего времени носил интуитивный характер, что подтверждается рядом клинических исследований и выводов, представленных их авторами.

- *Стандартизированный протокол лечения* для пациентов с глаукомой вне зависимости от стадии и типа глаукомы: $W = 2000 \text{ мВт}$, общее время воздействия $t = 100 \text{ с}$, рабочий цикл — 31,3 %; $E < 100 \text{ Дж}$ [2, 9–10, 12–14].

- *Протокол лечения с укороченным временем воздействия* для пациентов, имеющих более темную радужную оболочку [22].

- *Протокол с учетом исходного ВГД* [15, 23–25]. G. Garcia и соавт. [24] обнаружили значительную разницу ВГД между подгруппами, получавшими лечение $\leq 180 \text{ с}$ ($n = 51$ глаз) и более 180 с ($n = 65$ глаз) ($14,8 \pm 6,4$ и $15,6 \pm 5,5 \text{ мм рт. ст.}$ соответственно; $p = 0,03$), с поправкой на исходное дооперационное ВГД, количество используемых гипотензивных препаратов, ранее проведенных антиглаукомных операций и тип глаукомы.

- *Протокол «двойного сеанса»*. Для выполнения данного протокола использовали настройки, которые должны ограничить возникновение коагуляционного некроза: мощность — 2000 мВт, рабочий цикл — 31,3 %, 80 с на сеанс с двойным повторением лазерного воздействия на каждую полусферу, с чередованием верхней и нижней полусферы (общая продолжительность обработки — 320 с). Несмотря на использование высокой энергии при данной процедуре — $E > 150 \text{ Дж}$, были получены высокие показатели эффективности лечения (86,5 и 93 %) без увеличения риска осложнений [10, 14].

Методика расчета энергии мЦФК. Некоторое время расчет общей энергии мЦФК был определяющим в планиро-

вании операции. Стандартная мощность прибора составляла 2,0 Вт, стандартная экспозиция цикла (импульса) — 31,3 %, поэтому клинический эффект по данной формуле зависел только от одной переменной — времени экспозиции:

$$\text{общая энергия (Дж)} = \text{мощность (Вт)} \times \text{время (с)} \times \text{рабочий цикл включения (31,3 \%)}.$$

Однако, по данным перечисленных выше исследований, определение только общей энергии недостаточно, чтобы установить линейную связь между энергией и результатами. К примеру, одинаковое снижение ВГД от исходных значений может быть получено с очень разными наборами параметров. Так, S. Sarrafroug и соавт. [4], J. Lee и соавт. [10], K. Zaaroug и соавт. [18] получили одинаковое среднее снижение ВГД: от 30,1 до 33,2 % при использовании аналогичных параметров мощности и рабочего цикла, но с разным общим временем воздействия — 160, 90 и 50 с на полушарие. Эти данные подтверждают сложность прогнозирования клинических результатов при опоре только на значения используемой мощности лазерной энергии и общего времени воздействия: можно получить идентичные результаты, применяя в протоколе лечения как укороченное, так и удлиненное время работы лазера. Возможно, учет дополнительных параметров (скорость движения зонда, его положение относительно цилиарного тела, связующий элемент между зондом и поверхностью конъюнктивы) частично объяснил бы разнообразие результатов и обеспечил более эффективную доставку энергии и эффективное лечение даже при более низком уровне общей энергии. Однако на практике этим параметрам уделяется недостаточное внимание.

T. Grippo и соавт. [6] предложили использовать более надежный, чем общая энергия, индикатор клинических результатов. Новый показатель учитывает не только параметры лазера, но и скорость прохождения зонда по поверхности полушария глазного яблока и количество таких проходов. В качестве такого показателя предложено «поток энергии» (F-Fluence) как метрическая единица плотности лазерной энергии, доставляемой к структурам глазного яблока. Поток энергии рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{поток энергии (F)} = \text{мощность (Вт)} \times \text{рабочий цикл (\%)} \times \text{время облучения (Dwell Time)} / \text{площадь зонда}.$$

Данная формула показывает, что поток энергии прямо пропорционален средней мощности и длительности импульса и обратно пропорционален площади, на которую воздействует эта энергия.

Важной составляющей этой формулы является значение «времени облучения» (Dwell Time) — это эквивалентная длительность стационарного импульса, в течение которого равная энергия выделяется на единицу площади в единицу времени:

$$\text{время облучения (Dwell Time)} = \frac{\text{площадь зонда} / \text{длина полусферы (22 мм)}}{\text{время экспозиции на полусферу}}.$$

Принципиальное значение использования потока энергии в том, что этот показатель объединяет в себе параметры лазера: мощность, рабочий цикл, общее время воздействия, а также площадь поверхности зонда и скорость движения и выражается в Дж/см².

Интегральный принцип расчета для методики мЦФК более адаптивен, так как представляет сумму бесконечного числа бесконечно малых величин неоднородного воздействия. Понятие потока энергии — Fluence — представляет собой интеграл от плотности энергии (рис. 2).

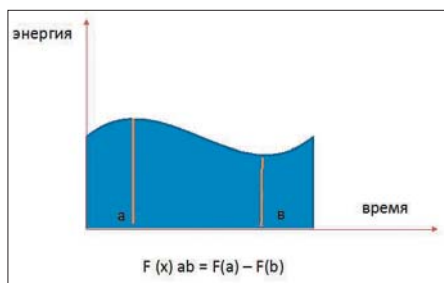


Рис. 2. Интегральный принцип определения потока энергии

Fig. 2. Integral principle for determining the energy flow (Fluence). Along the abscissa axis is time, along the ordinate axis — energy

Интегральный показатель Fluence $ab = F(x) ab = F(a) - F(b)$ является, по сути, суммой для бесконечного числа бесконечно малых слагаемых в неоднородной среде от верхнего (а) до нижнего (b) предела, что, по сути, и характеризует особенность технологии циклофотокоагуляции в импульсном режиме при неравномерном движении.

Так, итоговый расчет потока энергии при одинаковой мощности (2,0 Вт), времени воздействия (160 с), длины дуги глазной поверхности, на которую оказывается воздействие (22 мм), но при разной скорости различен:

— медленное движение зонда — за стандартные 160 с 2 прохода на каждую полусферу по 40 с достигается максимальный поток энергии в 209 Дж/см², что находится в критической зоне высокого риска послеоперационных осложнений;

— быстрое движение зонда — за стандартные 160 с на каждую полусферу приходится 10 проходов по 8 с, суммарный поток энергии составляет всего 42 Дж/см², что очевидно недостаточно для гипотензивного эффекта.

Скорость движения зонда является ключевым параметром в расчете потока. Эта переменная оказывает большое влияние на скорость передачи энергии на единицу площади и времени. На практике возможны случаи, когда один хирург за указанное время медленно проводит зонд по глазной поверхности в рамках отведенного на процедуру времени, другой хирург быстро проводит световод. Формальное время воздействия одинаково в обеих ситуациях, реальный же энергетический уровень воздействия отличается. Т. Gipro и соавт. [6] сравнили поток энергии с эффектом перемещения руки над горящей свечой: рука, быстро проведенная над огнем свечи, не обжигается даже при многократном проведении, а медленно проведенная рука получит ожог уже при однократном проведении над огнем.



Рис. 3. Стандартный протокол мЦФК
Fig. 3. Standard mTS-CPC protocol

В обоих случаях суммарное время движения над свечой может быть одинаковым, а эффект разным. Поэтому линейный расчет суммарной энергии при учете только времени воздействия не точен, и его нельзя использовать в качестве надежного ориентира для определения корреляции с послеоперационным снижением ВГД.

Собственные рекомендации по расчету энергетических параметров мЦФК. На базе Центра офтальмологии клинической больницы УДП РФ на приборе Supra 810 (Quantel Medical) с 2019 г. выполнено более 300 операций пациентам с различными стадиями глаукомы, из них 140 с использованием модифицированной технологии. Характеристика зонда-световода: диаметр — 600 мкм, площадь наконечника — 0,0028 см².

Для собственного расчета параметров лазерного воздействия использо-

вали рекомендованный производителем протокол лечения со стандартными параметрами (рис. 3).

- Мощность, Вт / Power, W = 2
- Рабочий цикл, % / Duty cycle, % = 31,3
- Общее время воздействия, с / Treatment duration, s = 160
- Время воздействия на полусферу, с / Treatment duration per hemisphere, s = 80
- Общая энергия, Дж / Total Energy, J = 100
- Количество проходов на полусферу / Number of sweeps = 8
- Время, затраченное на один проход, с / Treatment duration for 1 sweep, s = 10 на полусферу / per hemisphere
- Скорость движения световода, мм/с / Light guide velocity, mm/s = 2,2
- Итоговый поток энергии, Дж/см² / Dose fluence, J/cm² = 60,1

Для лучшей стандартизации процедуры, что считается крайне важным для достижения запланированной энергии воздействия, было предложено модифицировать технологию мЦФК [25].

Поскольку эффект контактного метода мЦФК зависит от поддержания оператором постоянной скорости движения зонда и, следовательно, дозы лазерного излучения, было предложено разделить две полусферы (верхнюю и нижнюю) глазной поверхности на 4 квадранта (рис. 4).

Практический смысл такой модификации заключался в более контролируемом движении зонда на коротком участке квадранта с сохранением выбранной скорости движения. В графическом протоколе мЦФК на дисплее прибора это отражается следующим образом (рис. 5).

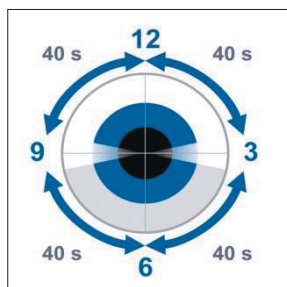


Рис. 4. Модифицированная техника выполнения мЦФК
Fig. 4. Modified technique for performing mCPC

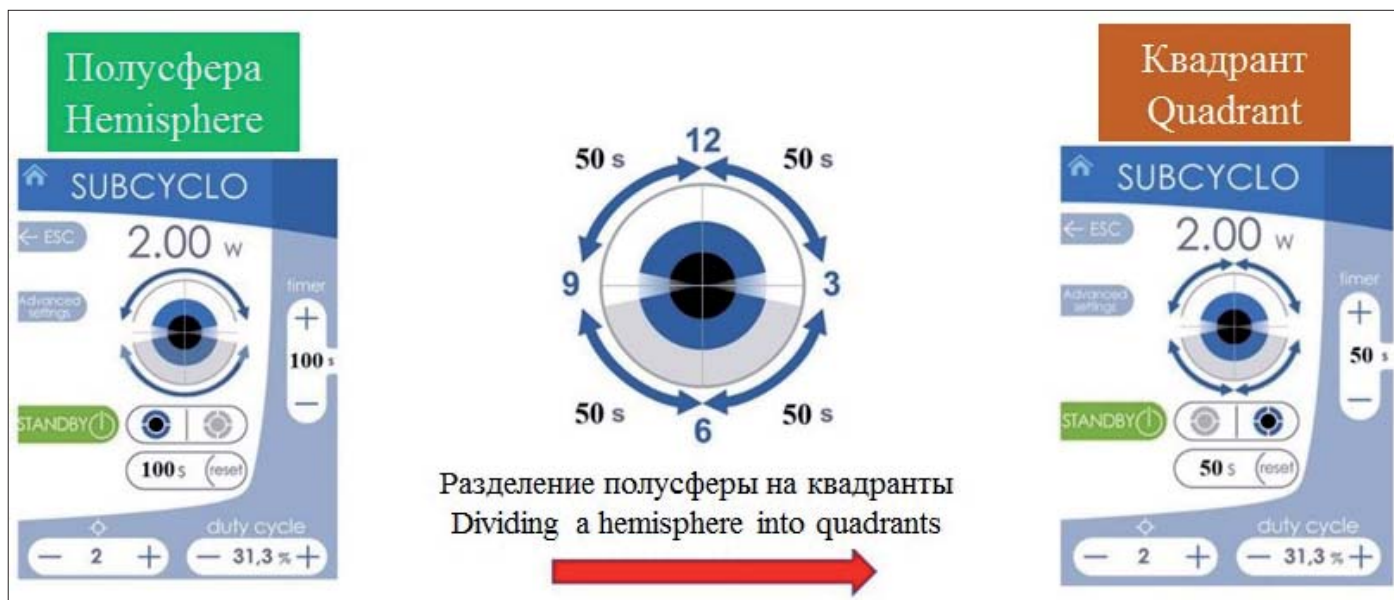


Рис. 5. Модификация протокола проведения мЦФК
Fig. 5. Modification of the protocol for performing mTS-CPC

Модифицированный протокол лечения характеризуется следующими параметрами.

- Мощность, Вт / Power, W = 2
- Рабочий цикл, % / Duty cycle, % = 31,3
- Общее время воздействия, с / Treatment duration, s = 200
- Время воздействия на один квадрант, с / Treatment duration per quadrant, s = 50
- Общая энергия, Дж / Total Energy, J = 125
- Количество проходов по квадранту / Number of sweeps = 5
- Время, затраченное на один проход по квадранту, с / Sweep time per quadrant, s = 10
- Скорость движения световода, мм/с / Light guide velocity, mm/s = 1,1
- Итоговый поток энергии, Дж/см² / Dose fluence, J/cm² = 121,8*

Примечание. * — получен патент РФ [25].

Note. * — RF patent received [25].

С учетом длины квадранта (11 мм) как половины полусферы (22 мм) и кратности проходов (5 проходов по 10 с на каждый для достижения запланированного времени 50 с на каждый квадрант (100 с на полусферу) и общего времени 200 с) расчетный поток энергии F составил 121,8 Дж/см². Помимо эргономических преимуществ (лучший контроль хирурга за своими манипуляциями), разделение полусферы на квадранты облегчает подсчет времени вследствие более коротких промежутков воздействия. Гипотензивный эффект становится более предсказуемым.

На последнем заседании консенсус-группы (12 марта 2022 г.), посвященном мЦФК, обсуждался важный вопрос об использовании параметров лазера [26]. В частности, особое внимание было обращено на показатель скорости движения зонда, который существенно влияет на величину потока энергии. Консенсусной группой было предложено использовать на практике, вне зависимости от типа и стадии глаукомы, следующие настройки лазера.

- Мощность, Вт / Power, W = 2,5
- Рабочий цикл, % / Duty cycle, % = 31,3
- Общее время воздействия, с / Treatment duration, s = 160
- Время воздействия на полусферу, с / Treatment duration per hemisphere, s = 80
- Общая энергия, Дж / Total Energy, J = 125,2

- Количество проходов по квадранту / Number of sweeps = 4
- Время, затраченное на один проход, с / Sweep time, s = 20
- Скорость движения световода, мм/с / Light guide velocity, mm/s = 1,1
- Итоговый поток энергии, Дж/см² / Total Energy, J/cm² = 130,6

Примечательно, что предложенный нами модифицированный протокол с потоком энергии 121,8 Дж/см² согласуется с протоколом лечения зарубежных коллег [26, 27]. Важно отметить, что широкое применение технологии мЦФК за последние годы значительно приблизило офтальмологов к пониманию сути метода и, возможно, в недалеком будущем окончательно определит ее роль и место в лечении глаукомы.

Клиническим результатом применения данного метода стало снижение ВГД (на 36,9 % в случае развитой, 36,2 % — далеко зашедшей и 19,7 % — терминальной стадии глаукомы) и благоприятный профиль безопасности (отсутствие воспалительных осложнений и снижения исходной остроты зрения) при лечении 140 пациентов с рефрактерной глаукомой. Гипотензивный эффект достигнут в 81,3 % случаев в течение 12 мес после мЦФК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная модификация мЦФК с учетом интегрального параметра «поток энергии» позволяет унифицировать технологию лазерного воздействия. Полученные результаты применения модифицированной мЦФК демонстрируют хороший гипотензивный эффект при отсутствии осложнений. Наличие стандартизированных показателей энергии позволят в дальнейшем применять избирательную тактику лечения и изменения параметров энергии с учетом стадии глаукомы, кратности процедуры и других особенностей пациента.

Литература/References

1. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, et al. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2010; 38 (3): 266–72. doi: 10.1111/j.1442-9071.2010.02238.x
2. Al Habash A, AlAhmadi AS. Outcome of MicroPulse(®) transscleral photocoagulation in different types of glaucoma. *Clin Ophthalmol Auckl NZ*. 2019; 13: 2353–60. doi: 10.2147/OPTH.S226554
3. Nguyen AT, Maslin J, Noecker RJ. Early results of micropulse transscleral

- cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2020; 30 (4): 700–5. doi: 10.1177/1120672119839303
4. Sarrafpour S, Saleh D, Ayoub S, et al. 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
 5. Keilani C, Benhatchi N, Bensmail D, et al. Comparative effectiveness and tolerance of subliminal subthreshold transscleral cyclophotocoagulation with a duty factor of 25 % versus 31.3 % for advanced glaucoma. *J Glaucoma*. 2020; 29 (2): 97–103. doi: 10.1097/IJG.0000000000001409
 6. Grippo TM, Sanchez FG, Stauffer J, Marcellino G. MicroPulse® Transscleral Laser Therapy — fluence may explain variability in clinical outcomes: A literature review and analysis. *Clinical ophthalmology* (Auckland, N.Z.). 2021; 15: 2411–9. doi: 10.2147/OPTH.S313875
 7. Johnstone M, Murray J. Translaser Induces Aqueous Outflow Pathway Motion & Reorganization. AGS 2017; Coronado, CA2017. <https://www.irisindex.com/portals/0/pdf/Translaser-induces-aqueous-outflow-pathway-motion-and-reorganization-Dr.pdf>
 8. Sanchez FG, Lerner F, Sampaioles J, et al. Efficacy and safety of Micropulse® transscleral cyclophotocoagulation in glaucoma. *Arch Soc Espanola Oftalmol*. 2018; 93 (12): 573–9. doi: 10.1016/j.oftal.2018.08.003
 9. Aquino MCD, Barton K, Tan AM, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2015; 43 (1): 40–6. doi: 10.1111/ceo.12360
 10. 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): 936–9. doi: 10.1097/IJG.0000000000000757
 11. Sanchez FG, Peirano-Bonomi JC, Grippo TM. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: A hypothesis for the ideal parameters. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 2018, Fall; 7 (3): 94–100. PMID: 30386797
 12. Souissi S, Baudouin C, Labbé A, et al. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation using a standard protocol in patients with refractory glaucoma naive of cyclodestruction. *Eur J Ophthalmol*. 2019; 31 (1): 112–9. doi: 10.1177/1120672119877586
 13. Barac R, Vuzitas M, Balta F. Choroidal thickness increase after micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *Romanian J Ophthalmol*. 2018; 62 (2): 144–8. doi: 10.22336/rjo.2018.21
 14. Magacho L, Lima FE, Ávila MP. Double-session micropulse transscleral laser (CYCLO G6) for the treatment of glaucoma. *Lasers Med Sci*. 2020 Sep; 35 (7): 1469–75. doi: 10.1007/s10103-019-02922-1
 15. Preda MA, Karancsi OL, Munteanu M, Stanca HT. Clinical outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma-18 months follow-up. *Lasers Med Sci*. 2020 Sep; 35 (7): 1487–91. doi: 10.1007/s10103-019-02934-x
 16. Subramaniam K, Price MO, Feng MT, et al. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation in keratoplasty eyes. *Cornea*. 2019; 38 (5): 542–5. doi: 10.1097/ICO.0000000000001897
 17. Yelenskiy A, Gillette TB, Arosemena A, et al. Patient outcomes following micropulse transscleral cyclophotocoagulation: intermediate-term results. *J Glaucoma*. 2018; 27 (10): 920–5. doi: 10.1097/IJG.0000000000001023
 18. Zaarour K, Abdelmassih Y, Arej N, et al. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in uncontrolled glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2019; 28 (3): 270–5. doi: 10.1097/IJG.0000000000001174
 19. Magacho L, Lima FE, Ávila MP. Double-session micropulse transscleral laser (CYCLO G6) as a primary surgical procedure for glaucoma. *J Glaucoma*. 2020; 29 (3): 205–10. doi: 10.1097/IJG.0000000000001426
 20. 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
 21. 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): 445–9. doi: 10.1097/IJG.0000000000000934
 22. de Crom R, Slangen C, Kujovic-Aleksov, et al. Micropulse trans-scleral cyclophotocoagulation in patients with glaucoma: 1- and 2-year treatment outcomes. *Journal of glaucoma*. 2020; 29 (9): 794–8. doi: 10.1097/IJG.0000000000001552
 23. Varikuti VNV, Shah P, Rai O, et al. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in eyes with good central vision. *J Glaucoma*. 2019; 28 (10): 901–5. doi: 10.1097/IJG.0000000000001339
 24. Garcia GA, Nguyen CV, Yelenskiy A, et al. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: Short-term efficacy, safety, and impact of surgical history on outcomes. *Ophthalmol Glaucoma*. 2019 Nov-Dec; 2 (6): 402–12. doi: 10.1016/j.ogla.2019.08.009
 25. Иосин И.Э., Толчинская А.И., Максимов И.В., Ракова А.В. Способ проведения микроимпульсной трансклеральной циклофотокоагуляции при рефрактерной глаукоме. Патент на изобретение № 2780277 от 17.12.2021. [Ioshin I.E., Tolchinskaya A.I., Maksimov I.V., Rakova A.V. Method of micropulse transscleral cyclophotocoagulation for refractory glaucoma. Patent for invention No. 2780277 dated December 17, 2021 (In Russ.)].
 26. IRIDEX. Available from: <https://www.irisindex.com/Products/GlaucomaDevices/micropulse3.aspx>. Accessed may 30, 2022.
 27. Grippo TM, de Crom RMPC, Giovingo M, et al. Evidence-Based consensus guidelines series for micropulse transscleral laser therapy: Dosimetry and patient selection. *Clin Ophthalmol*. 2022 Jun 7; 16: 1837–46. doi: 10.2147/OPTH.S365647

Вклад авторов в работу: И.Э. Иосин — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и обработка данных, написание, редактирование, утверждение текста статьи; А.И. Толчинская — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и статистическая обработка данных, написание статьи; И.В. Максимов — сбор, анализ и статистическая обработка данных.

Authors' contribution: I.E. Ioshin — concept and design of the study, data collection, analysis and processing, writing, editing and final approval of the article; A.I. Tolchinskaya — concept and design of the study, data collection, analysis and processing, writing of the article; I.V. Maksimov — data collection, analysis and processing.

Поступила: 03.04.2022. Переработана: 06.04.2022. Принята к печати: 07.04.2022

Originally received: 03.04.2022. Final revision: 06.04.2022. Accepted: 07.04.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «Клиническая больница», ул. Лосиноостровская, д. 45, Москва, 107143, Россия

Игорь Эдуардович Иосин — д-р мед. наук, профессор, руководитель Центра офтальмологии, ORCID 0009-0008-5212-7843

Анна Ивановна Толчинская — д-р мед. наук, врач-офтальмолог Центра офтальмологии, ORCID 0000-0002-8116-1038

Иван Васильевич Максимов — врач-офтальмолог Центра офтальмологии, ORCID 0000-0002-3141-1166

Для контактов: Анна Ивановна Толчинская,
atolchinskaya@mail.ru

Clinical Hospital, 45, Losinoostrovskaya St., Moscow, 107143, Russia
Igor E. Ioshin — Dr. of Med. Sci., professor, head of the ophthalmological center, ORCID 0009-0008-5212-7843

Anna I. Tolchinskaya — Dr. of Med. Sci., ophthalmologist of the ophthalmological center, ORCID 0000-0002-8116-1038

Ivan V. Maksimov — ophthalmologist of the ophthalmological center, ORCID 0000-0002-3141-1166

For contacts: Anna I. Tolchinskaya,
atolchinskaya@mail.ru