

УДК: 617.735

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34

Тип статьи: Оригинальные исследования

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО РЕЗУЛЬТАТА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОСТРОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕРОЗНОЙ ХОРИОРЕТИНОПАТИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ МИКРОИМПУЛЬСНОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РЕТИНАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ (СМИРТ)

П.Л. Володин, Е.В. Иванова

ФГАУ НМИЦ «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Цель. Определить, какой уровень вероятности визуализации пятна (ВВП) по данным коротковолновой аутофлюоресценции (АФ) необходим для достижения клинического результата при лечении центральной серозной хориоретинопатии (ЦСХРП) по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ).

Материалы и методы. Под наблюдением находилось 83 пациента (83 глаза) с острой ЦСХРП в возрасте от 30 до 65 лет с 1–4-м типом внешности по шкале Фитцпатрика. Пациенты были разделены на 4 группы. В группах 1, 2 и 3 проводили лечение ЦСХРП селективным микроимпульсным режимом без предварительного тестирования на лазерной установке Iridex IQ 577 (50–150 мкс, 0,5–5 %, 10–50 мс (1–5 импульсов в пакете), 1,0–2,0 Вт, 100 мкм). Параметры рассчитывали по формулам с учетом возраста и типа внешности для предсказания заданного уровня ВВП по данным АФ. В группе 1 для лечения применяли параметры, которые соответствовали уровню ВВП 50 %, во 2-й группе – ВВП 70 %, а в группе 3 – ВВП 90 %. Лазерные аппликаторы наносили вплотную друг к другу, полностью покрывая зоны отслоек и дефектов РПЭ. В 4-й группе (контрольной) лечение ЦСХРП не проводили.

Результаты. В группе 1 через 1 месяц после лечения полная резорбция субретинальной жидкости (СРЖ) произошла на 3 глазах (16,67 %), а через 3 месяца – на 7 глазах (38,89 %) ($p < 0,29$). В группе 2 через 1 месяц прилегание нейросенсорной сетчатки наблюдалось на 8 глазах (38,1 %), а через 3 месяца прилегание произошло у 13 пациентов (61,9 %) ($p < 0,011$). В группе 3 через 1 месяц после лазерного воздействия полная резорбция СРЖ наблюдалось у 17 пациентов (70,83 %), а через 3 месяца – у 22 пациентов (91,67 %) ($p < 0,0008$). В контрольной группе за 1 месяц наблюдения прилегание нейросенсорной сетчатки произошло у 2 пациентов (10 %), а за 3 месяца наблюдения – у 4 пациентов (20 %).

Выводы. Высокая клиническая эффективность лечения ЦСХРП по технологии СМИРТ наблюдается при применении параметров, которые соответствуют уровню ВВП по данным АФ 90 %.

Ключевые слова: центральная серозная хориоретинопатия, микроимпульс, пороговое повреждение РПЭ, аутофлюоресценция, шкала Фитцпатрика.

Для цитирования: Иванова Е.В., Володин П.Л. Определение уровня воздействия, необходимого для клинического результата при лечении острой центральной серозной хориоретинопатии по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ). Лазерная медицина. 2024; 28(4):26–34. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34>

Контакты: Иванова Е.В., e-mail: elena-mntk@yandex.ru

LEVEL OF THE IMPACT NECESSARY FOR OBTAINING CLINICAL RESULTS IN PATIENTS WITH ACUTE CENTRAL SEROUS CHORIORETINOPATHY USING THE TECHNOLOGY OF SELECTIVE MICROPULSE INDIVIDUAL RETINAL THERAPY (SMIRT)

Volodin P.L., Ivanova E.V.

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russia

Abstract

Purpose. To determine which is the level of probability of damage detection (PDD) by shortwave autofluorescence (AF) to achieve clinical results in the treatment of central serous choriorretinopathy (CSCR) using the technology of selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT).

Material and methods. 83 patients (83 eyes) with acute CSCR, aged 30–65, type 1–4 by the Fitzpatrick scale, were under the observation. Patients were divided into four groups. Selective micropulse mode without preliminary testing on Iridex IQ 577 laser system (50–150 μ s, 0.5–5 %, 10–50 ms (1–5 pulses), 1.0–2.0 W, 100 μ m) was used to treat CSCR in patients from Groups 1, 2 and 3. Parameters to predict the effective PDD levels by AF data were calculated using formulas taking into account patient's age and type of appearance. In Group 1, parameters for treatment that corresponded to PDD level equal to 50 % were used; in Group 2 – to PDD level of 70 %, and in Group 3 – to PDD level of 90 %. Laser spots were applied close to each other, completely covering detachment areas and RPE defects. In Group 4 (controls), no CSCR treatment was performed.

Results. In Group 1, one month after the treatment complete resorption of subretinal fluid (SF) was seen in 3 eyes (16.67 %), and three months later – in 7 eyes (38.89 %) ($p < 0.29$). In Group 2, in one month complete SF resorption was observed in 8 eyes (38.1 %), and in three months – in 13 patients (61.9 %) ($p < 0.011$). In Group 3, complete SF resorption was observed in 17 patients (70.83 %) in one month after laser treatment,

and three months later – in 22 patients (91.67 %) ($p < 0.0008$). In the control group, during one month follow-up, complete SF resorption was seen in 2 patients (10 %), and during 3-month follow-up – in 4 patients (20 %).

Conclusion. High clinical effectiveness of CSCR treatment with SMIRT technology is achieved when using parameters that correspond to PDD level by AF data of 90 %.

Keywords: central serous chorioretinopathy, micropulse, retinal pigment epithelium, threshold damage RPE, autofluorescence, Fitzpatrick scale

For citations: Volodin P.L., Ivanova E.V. Level of the impact necessary for obtaining clinical results in patients with acute central serous chorioretinopathy using the technology of selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT). *Laser Medicine*. 2024; 28(3):26–34. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34>

Contacts: Ivanova E.V., e-mail: elena-mntk@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Центральная серозная хориоретинопатия (ЦСХРП) является частой патологией макулярной области, характеризующейся отслойкой нейросенсорной сетчатки. Заболевание возникает вследствие изменений в хориоидее с декомпенсацией ретинального пигментного эпителия (РПЭ), которая ведет к разрушению наружного гематоретинального барьера и накоплению жидкости в субретинальном пространстве [1]. Поэтому патогенетически обоснованным подходом для достижения клинического результата является прицельное воздействие на определенные участки РПЭ [2–4]. По результатам проведенных исследований при селективном повреждении РПЭ через 1 сутки после воздействия начинается пролиферация и миграция прилежащих клеток, а через 7 дней происходит полное восстановление слоя РПЭ [5, 6]. Закрытие дефекта пролиферирующими клетками РПЭ приводит к наступлению терапевтического эффекта [7].

На серийных лазерных установках избирательное воздействие на РПЭ реализуется в узком окне параметров микроимпульсных режимов, что определено по данным компьютерного моделирования [8–13]. Наиболее чувствительным методом диагностики термического повреждения РПЭ является коротковолновая (АФ) [14]. В зоне нанесения лазерных аппликаторов при достаточном уровне воздействия определяются гипофлюoresцентные пятна [14, 15]. Для учета индивидуальных особенностей каждого пациента перед лечением ЦСХРП по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ) проводят предварительное тестирование и оценивают результаты по данным АФ [2, 16, 17]. Обработка результатов накопленной многолетней базы тестирования селективного микроимпульсного режима позволила определить закономерности предсказания заданного уровня вероятности визуализации пятна (ВВП) по данным АФ в зависимости от возраста, типа внешности пациента и параметров микроимпульсного режима. Инверсия полученной зависимости позволила вывести формулы расчета требуемой длительности микроимпульса, количества импульсов и мощности микроимпульсного режима на серийных лазерных установках для заданного уровня воздействия на РПЭ с учетом возраста и типа внешности каждого пациента [18].

Для поиска минимальных параметров для лечения важно определить, какая степень порогового повреждения РПЭ, регистрируемая на АФ, достаточна для достижения клинического эффекта. Прицельное лазерное воздействие на точки фильтрации по данным флюоресцентной ангиографии или на отслойки или дефекты РПЭ по данным оптической когерентной томографии в ангиорежиме (ОКТ-А) приводит к закрытию дефектов РПЭ и последующей резорбции субретинальной жидкости (СРЖ) [3]. В случае корректного подбора параметров и технологии нанесения лазерных аппликаторов в плотную друг к другу, можно определить достаточно ли применяемых параметров для достижения клинического результата.

Цель настоящего исследования – определить, какой уровень ВВП по данным АФ необходим для достижения клинического результата при лечении ЦСХРП по технологии СМИРТ без предварительного тестирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Под нашим наблюдением находилось 83 пациента (83 глаза) с острой ЦСХРП в возрасте от 30 до 65 лет. Для количественного описания внешности пациентов применили известную цифровую шкалу Фитцпатрика, которая учитывает цвет глаз, кожи и волос. В зависимости от внешних признаков пациенты были отнесены к 1–4-му типу. В затруднительных случаях уточняли у пациента его чувствительность кожи к солнцу и загару.

Все пациенты предъявили жалобы на метаморфопсии, микропсии и появление пятна перед глазом. Длительность симптомов заболевания варьировала от 3 до 6 мес. По данным ОКТ, во всех случаях определялась отслойка нейросенсорной сетчатки в макуле со скоплением СРЖ под ней. Критерии невключения в исследование: сопутствующая патология органа зрения, помутнение оптических сред, тяжелые соматические заболевания, хроническое течение ЦСХРП и ранее выполненное лазерное лечение, введение ингибиторов ангиогенеза и проведение фотодинамической терапии в анамнезе.

Всем пациентам лечение ЦСХРП проводили на лазерной установке Iridex IQ 577 по технологии СМИРТ. Для лечения применяли селективный микроимпульсный режим (диаметр пятна – 100 мкм, длительность микроимпульса – от 50 до 150 мкс, интервал между

импульсами – 10000 мкс, рабочий цикл – 0,5–5 %, длительность пакета микроимпульсов от 10 до 50 мс (1–5 импульсов в пакете), мощность – 1,0–2,0 Вт, длина волны 577 нм). Лазерные аппликаторы наносили вплотную друг к другу, полностью покрывая зоны отслоек и дефектов РПЭ.

Пациенты были разделены на 4 группы. В группах 1, 2 и 3 проводили лечение ЦСХРП селективным микроимпульсным режимом без предварительного тестирования на лазерной установке Iridex IQ 577. Параметры рассчитывали по формулам с учетом возраста и типа внешности [18]. В группе 1 для лечения применяли параметры, которые соответствовали уровню воздействия ВВП 50 %, во 2-й – ВВП 70 %, а для группы 3 – ВВП 90 % по данным АФ. Пациентам группы 4 (контрольной) лечение ЦСХРП не проводили.

Всем пациентам кроме стандартного офтальмологического обследования дополнительно проводили ОКТ и флюоресцентную ангиографию для определения точки фильтрации. У всех пациентов по данным ОКТ определялась отслойка нейроэпителия в макуле со скоплением СРЖ. Сроки наблюдения: 1 и 3 месяца. В контрольные сроки наблюдения выполняли ОКТ и оценивали наличие или отсутствие СРЖ. ОКТ выполняли на приборах Stratus OCT 3000, CIRRUS HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec Inc, Германия) и Spectralis HRA+OCT (Heidelberg, Германия).

Формулы для расчета индивидуальных параметров селективного микроимпульсного режима, которые применяли для лечения ЦСХРП по технологии СМИРТ

Формулы расчета параметров с учетом возраста и типа внешности для лечения пациентов с ЦСХРП по технологии СМИРТ получены на основе обработки результатов тестирования селективного микроимпульсного режима с оценкой результатов по данным АФ [18]. Для этого зависимость ВВП по данным АФ в виде логистической функции от мощности, длительности микроимпульса, количества импульсов в пакете, возраста и тип внешности по шкале Фитцпатрика была инвертирована в соответствующие формулы (уравнения (1), (2) и (3)). Данные уравнения подбора параметров представлены для расчета ВВП 90 %. Для достижения уровня воздействия ВВП 50 и 70 % по данным АФ необходимые значения подставляются в формулы.

Согласно компьютерному моделированию для микроимпульсного режима (50–150 мкс, 0,5–5 %, 50 мс) увеличение времени пропорционально мощности для достижения такой же степени повреждения РПЭ [8]. На лазерной установке Iridex IQ 577 невозможно применять мощность более 2 Вт, поэтому для увеличения эффективности воздействия требуется увеличить длительность единичного микроимпульса или количество импульсов в пакете.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клиническую эффективность при лечении пациентов с ЦСХРП оценивали по полной резорбции СРЖ по данным ОКТ через 1 и 3 месяца. В группе 1 через 1 месяц после лазерного воздействия селективным микроимпульсным режимом с ВВП 50 % полная резорбция СРЖ произошла на 3 глазах (16,67 %), а через 3 месяца после лечения на 7 глазах (38,89 %) ($p < 0,29$). В группе 2 через 1 месяц после лазерного воздействия селективным микроимпульсным режимом с ВВП 70 % прилегание нейросенсорной сетчатки наблюдалось на 8 глазах (38,1 %), а через 3 месяца прилегание произошло у 13 пациентов (61,9 %) ($p < 0,011$). В группе 3 через 1 месяц после лазерного лечения по технологии СМИРТ с уровнем воздействия ВВП 90 % полная резорбция СРЖ наблюдалась у 17 пациентов (70,83 %), а через 3 месяца у 22 пациентов (91,67 %) ($p < 0,0008$). В контрольной группе за 3 месяца наблюдения прилегание нейросенсорной сетчатки произошло у 2 пациентов (10 %), а за 3 месяца наблюдения – у 4 пациентов (20 %). Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП представлена в таблице и на рисунке.

Как видно, параметры селективного микроимпульсного режима, рассчитанные для уровня воздействия ВВП 70 % и ВВП 90 % по данным АФ с высоким уровнем достоверности приводят к положительному клиническому результату. При лечении с параметрами, соответствующими ВВП 50 %, прилегание нейроэпителия произошло в половине случаев, что соответствует $p < 0,29$ по сравнению с контрольной группой. Применение параметров с ВВП 70 % и ВВП 90 % при лазерном лечении ЦСХРП приводит к увеличению сроков резорбции СРЖ и случаев прилегания нейросенсорной сетчатки. По данным компьютерного моделирования во всех случаях сохраняются высокие значения селективности [8]. Таким образом, параметры с ВВП 90 % за один сеанс лазерного воздействия приводят к лечению ЦСХРП в 91,7 % случаев за 3 месяца наблюдения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время существует несколько подходов к лазерному лечению ЦСХРП, которые отличаются между собой по степени воздействия на РПЭ, нейросенсорную сетчатку, хориоидею, а также по клинической эффективности. Как известно, острая ЦСХРП – это заболевание, которое имеет тенденцию к самостоятельному разрешению. В исследовании на 77 пациентах с ЦСХРП спонтанная резорбция СРЖ за 1 месяц произошла на 11 глазах (14 %), а за 3 месяца – на 20 глазах (26 %) [19].

Анализ литературы показывает, что при лечении ЦСХРП методом лазерной коагуляции наблюдается быстрая резорбция СРЖ после лечения. Так, при фокальной лазерной коагуляции точек фильтрации

Таблица

Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП через 1 и 3 месяца после лечения по технологии СМИРТ с параметрами, рассчитанными по формуле для уровня ВВП 50, 70 и 90 по данным АФ в сравнении с контрольной группой

Table

Dynamics of SF resorption in patients with CSCR 1 and 3 months after treatment using the SMIRT technology with parameters calculated using the formula for the level of PDD 50, 70 and 90 according to AF data in comparison with the control group

	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2	Группа 3 Group 3	Группа 4 (Контрольная) Group 4 (controls)
Уровень ВВП PPD level	50 %	70 %	90 %	-
Количество глаз в группе Number of eyes in group	18	21	24	20
Количество глаз без СРЖ через 1 месяц Number of eyes without SF in one month	3 (16,67 %)	8 (38,10 %)	17 (70,83 %)	2 (10 %)
Value	<i>p</i> < 0,65	<i>p</i> < 0,067	<i>p</i> < 0,0000056	
Количество глаз без СРЖ через 3 месяца Number of eyes without SF in three month	7 (38,89 %)	13 (61,90 %)	22 (91,67 %)	4 (20 %)
<i>p</i> -value	<i>p</i> < 0,29	<i>p</i> < 0,011	<i>p</i> < 0,00000146	

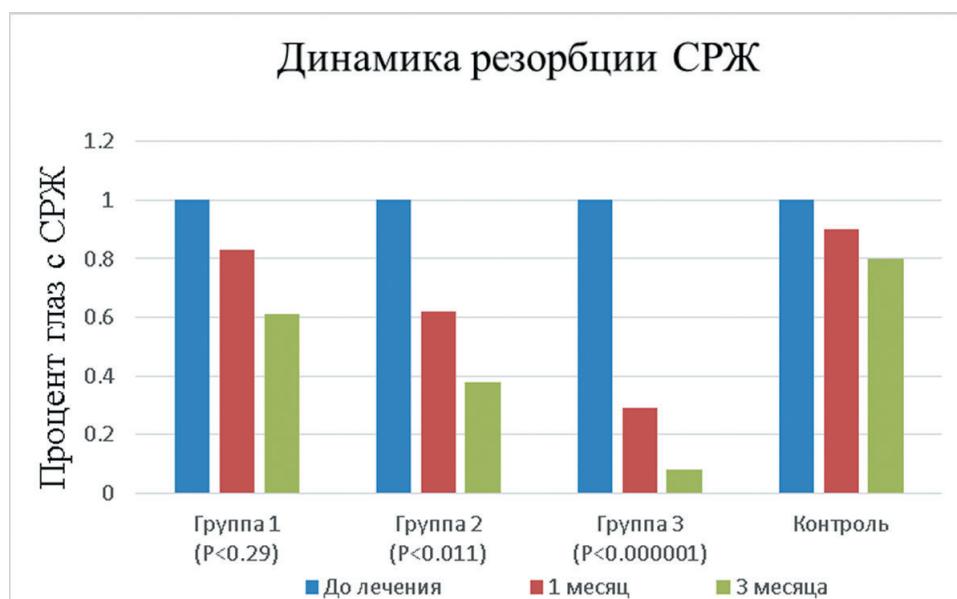


Рис. Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП через 1 и 3 месяца после лечения по технологии СМИРТ с параметрами, рассчитанными по формуле для уровня ВВП 50, 70 и 90 % по данным АФ в сравнении с контрольной группой

Fig. Dynamics of SF resorption in patients with CSCR in 1 and 3 months after the treatment using SMIT technology and parameters calculated by the formula for PDD level of 50, 70 and 90 % in comparison with the control group. AF data were used for calculations

на 12 глазах с ЦСХРП отмечено, что за 1 месяц СРЖ резорбировалась на 7 глазах (58 %), а через 3 месяца на – 12 глазах (100 %) [20]. При навигационной фокальной лазерной коагуляции у пациентов с ЦСХРП (16 глаз), где точку просачивания определяли с помощью ОКТ, у всех пациентов произошла полная резорбция СРЖ за 2 месяца [21]. Быстрая резорбция СРЖ объясняется разрушением РПЭ, которое достоверно произошло при наличии видимых изменений на сетчатке. Поэтому, как известно, лазерную коагуляцию нельзя проводить в фoveальной аваскулярной зоне.

Субпороговые методы лечения разрабатывались с целью снижения повреждения сетчатки и ятрогенных осложнений. Под субпороговым подразумевают лазерное воздействие, с такими параметрами, при котором видимые изменения на глазном дне отсутствуют [22]. При лечении 14 глаз с острой ЦСХРП субпороговым микроимпульсным режимом с воздействием на фокальные участки ликеджа полная резорбция СРЖ произошла в 64 % за 2 месяца [23]. При проведении навигационного лечения 10 глаз с ЦСХ с субфовеальной точкой фильтрации микроимпульсным режимом (0,1 с,

5 %, 100 мкм,) в 60 % произошла полная резорбция СРЖ за 3 месяца [24]. При лечении 24 глаз с ЦСХРП длительностью более 3 месяцев микроимпульсным режимом с рабочим циклом 15 %, средней мощностью 1,35 Вт (от 1 до 2 Вт) и нанесением 215 (90–400) аппликаторов резорбция СРЖ отмечена в 66 % случаев через 1 месяц после лечения и на 75 % глазах в конце срока наблюдения [25]. Таким образом, при лечении субпороговыми лазерными методами терапевтический эффект наблюдается в меньшем проценте случаев. По результатам компьютерного моделирования установлено, что при субпороговых методах лазерного лечения не происходит избирательного повреждения РПЭ и уровень повышенной температуры быстро распространяется на прилежащие ткани [8, 26]. При этом дозы лазерного воздействия может быть недостаточно для воздействия на РПЭ. Также при применении этих методов не исключены ятрогенные осложнения [22].

При лечении ЦСХРП по технологии СМИРТ с предварительным тестированием полная резорбция СРЖ наблюдается у всех пациентов после лечения. Такие результаты можно объяснить учетом индивидуальных особенностей и применением параметров, достаточных для избирательного разрушения РПЭ, что подтверждается данными АФ [2, 16, 17]. Важно отметить, что параметры подобраны специально для достижения избирательного воздействия на РПЭ без повреждения нейросенсорной сетчатки и хориоидией с учетом технических характеристик лазерных установок [8, 27].

При селективной ретинальной терапии (СРТ) происходит полное механическое разрушение РПЭ за счет формирования микропузырьков без повреждения прилежащих структур. Данная технология имеет высокую селективность и избирательное воздействие на РПЭ [28]. При анализе результатов лечения с помощью СРТ 27 глаз с острой ЦСХРП через 4 недели произошла резорбция СРЖ в 85,2 %, а через 3 месяца на всех глазах (100 %) [29]. Однако данная технология реализуется только на экспериментальных лазерных установках и недоступна в широкой клинической практике.

Лечение ЦСХРП по технологии СМИРТ с параметрами селективного микроимпульсного режима, рассчитанными для уровня воздействия ВВП 70 % и ВВП 90 % по данным АФ с высоким уровнем достоверности приводят к клиническому результату. При лечении с параметрами, соответствующими ВВП 50 %, приложение нейроэпителия произошло в половине случаев, что соответствует $p < 0,29$ по сравнению с контрольной группой. Таким образом, параметры с ВВП 90 % за один сеанс лазерного воздействия приводят к излечению ЦСХРП в 91,7 % случаев за 3 месяца наблюдения. При лечении ЦСХРП по технологии СМИРТ на навигационной лазерной установке полная резорбция СРЖ достигнута у всех пациентов при лечении

с параметрами, при которых происходит повреждение РПЭ с вероятностью 90 % [30]. По данным компьютерного моделирования установлено, что при всех уровнях воздействия происходит избирательное воздействие на РПЭ с минимальным повреждением прилежащих структур [8, 27].

Проведенный анализ показывает, что полная резорбция СРЖ после лечения наблюдается при применении методик, предусматривающих значительное воздействие на РПЭ в месте нанесения лазерных аппликаторов. При лазерной коагуляции возникает термоденатурация РПЭ и прилежащих структур, а при СРТ – избирательное разрушение РПЭ, что объясняет ее высокую клиническую эффективность. При применении субпороговых методик полная резорбция СРЖ наблюдается в меньшем проценте случаев. Причина связана с тем, что при низких параметрах степени повреждения РПЭ недостаточно для достижения клинического эффекта. То есть при снижении степени воздействия ниже порогового повреждения РПЭ уменьшается вероятность наступления клинического эффекта. При субпороговых режимах эффективность лазерного воздействия начинает сильно зависеть от индивидуальных характеристик. Пациенты значительно отличаются между собой по возрасту и типу внешности, и как следствие, при воздействии около порога сложно определить параметры, при которых будет достигнуто целевое повреждение РПЭ. Поэтому при субпороговых методах лечения сложно достичь компромисса между риском повреждения сетчатки и получением клинического результата. Отсутствие учета дисперсии индивидуальных особенностей пациентов приводит к снижению эффективности лечения, нестабильности результата, увеличению непредсказуемости и сложности подбора параметров. Для снижения повреждения нейросенсорной сетчатки и повышения эффективности лечения за счет воздействия на РПЭ обоснованным является применение селективных методов лечения с учетом персональных характеристик [2, 16, 30].

Таким образом, СМИРТ с параметрами, рассчитанными для уровня воздействия ВВП 90 %, по данным АФ оказывается намного ближе к СРТ, но реализуется на серийных лазерных установках и может с высокой эффективностью применяться при лечении ЦСХРП. Учитывая высокую селективность, СМИРТ является предпочтительным методом лечения при локализации патологических изменений в фoveальной аваскулярной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая клиническая эффективность лечения центральной серозной хориоретинопатии по технологии СМИРТ наблюдается при применении параметров лазерного излучения, которые соответствуют уровню ВВП по данным АФ 90 %.

ЛИТЕРАТУРА

- van Rijssen T.J., van Dijk E.H.C., Yzer S., Ohno-Matsui K., Keunen J.E.E., Schlingemann R.O., Sivaprasad S., Querques G., Downes S.M., Fausser S., Hoyng C.B., Piccoli F.C., Chhablani J.K., Lai T.Y.Y., Lotery A.J., Larsen M., Holz F.G., Freund K.B., Yannuzzi L.A., Boon C.J.F. Central serous chorioretinopathy: Towards an evidence-based treatment guideline. *Prog Retin Eye Res.* 2019; 73: 100770. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2019.07.003
- Volodin P.L., Ivanova E.V. Clinical evaluation of individualized and navigated microsecond pulsing laser for acute central serous chorioretinopathy. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina.* 2020; 51: 512–520. DOI: 10.3928/23258160-20200831-06
- Володин П.Л., Иванова Е.В., Полякова Е.Ю., Фомин А.В. Спектральная ОКТ-ангиография в режиме En Face в выявлении морфологических изменений ретинального пигментного эпителия до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией. *Офтальмология.* 2019; 16 (2): 192–201.
- Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Современные подходы применения микроимпульсного режима при лечении заболеваний центральной зоны сетчатки. *Таврический медико-биологический вестник.* 2012; 15 (3–3): 225–227.
- Richert E., Koinzer S., Tode J., Schlott K., Brinkmann R., Hillenkamp J., Klettner A., Roider J. Release of different cell mediators during retinal pigment epithelium regeneration following selective retina therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018; 59 (3): 1323–1331. DOI: 10.1167/iovs.17-23163
- Treumer F., Klettner A., Baltz J., Hussain A.A., Miura Y., Brinkmann R., Roider J., Hillenkamp J. Vectorial release of matrix metalloproteinases (MMPs) from porcine RPE-choroid explants following selective retina therapy (SRT): towards slowing the macular ageing process. *Exp Eye Res.* 2012; 97 (1): 63–72. DOI: 10.1016/j.exer.2012.02.011
- Zhang J.J., Sun Y., Hussain A.A., Marshall J. Laser-mediated activation of human retinal pigment epithelial cells and concomitant release of matrix metalloproteinases. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53: 2928–2937. DOI: 10.1167/iovs.11-8585
- Ivanova E.V., Volodin P.L., Guskov A.V. Determination of Micropulse Modes with Targeted Damage to the Retinal Pigment Epithelium Using Computer Modeling for the Development of Selective Individual Micropulse Retinal Therapy. *Curr Eye Res.* 2022; 47 (1): 107–114. DOI: 10.1080/02713683.2021.1962360
- Володин П.Л., Желтов Г.И., Иванова Е.В., Соломин В.А. Калибровка параметров микроимпульсного режима лазера IRIDEX IQ 577 с помощью компьютерного моделирования и методов диагностики глазного дна. *Современные технологии в офтальмологии.* 2017; 1: 52–54
- Володин П.Л., Иванова Е.В. Компьютерное моделирование лазерного воздействия в режиме единичного микроимпульса и реакции белков хориоретинального комплекса для селективного и эффективного воздействия на клетки ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018; 22 (1): 61–65. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-61-65
- Желтов Г.И., Глазков В.Н., Иванова Е.В. Селективное действие лазерных импульсов на ретинальный пигментный эпителий. *Физические основы.* // ARS-MEDICA. 2012; 3 (58): 78–85.
- Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Оптимизация режимов лазера IRIS Medical IQ 577 для избирательного воздействия на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология Восточной Европы.* 2015; 4 (27): 69–77.
- Тахчиди Х.П., Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Новая технология восстановления зрительных функций, основанная на избирательном воздействии коротких импульсов лазерного излучения на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология в Беларуси.* 2010; 4 (07): 79–83.
- Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А. Возможности современных методов диагностики и компьютерной обработки данных с помощью программы «Фемтоскан» для выявления слабых термических повреждений клеток ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018; 22 (1): 52–56.
- Framme C., Schüle G., Brinkmann R., Birngruber R., Roider J. Fundus Autofluorescence After Selective RPE Laser Treatment. *Ophthalmologe.* 2002; 99 (11): 854–860. DOI: 10.1007/s00347-002-0684-z
- Володин П.Л., Иванова Е.В. Селективная микроимпульсная индивидуальная ретинальная терапия при навигационном лечении центральной серозной хориоретинопатии с подбором параметров путем предварительного тестирования. *Клиническая офтальмология.* 2023; 23 (3): 112–118. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-3-1
- Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А., Письменская В.А., Хрисанфова Е.С. Первый опыт применения селективного микроимпульсного лазерного воздействия (577 нм) с индивидуальным подбором параметров у пациентов с острой центральной серозной хориоретинопатией. *Практическая медицина.* 2017; 2 (9) (110): 55–59.
- Иванова Е.В., Володин П.Л. Расчет параметров микроимпульсного режима с учетом возраста и типа внешности по шкале Фитцпатрика для селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ) на серийных лазерах. *Лазерная медицина.* 2024; 28 (2): 15–26. DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-2-15-26
- Ozkaya A., Alkin Z., Ozveren M., Yazici A.T., Taskapili M. The time of resolution and the rate of recurrence in acute central serous chorioretinopathy following spontaneous resolution and low-fluence photodynamic therapy: a case-control study. *Eye (Lond).* 2016; 30 (7): 1005–1010. DOI: 10.1038/eye.2016.79
- Lim J.W., Kang S.W., Kim Y., Chung S.E., Lee S.W. Comparative study of patients with central serous chorioretinopathy undergoing focal laser photocoagulation or photodynamic therapy. *Br J Ophthalmol.* 2011; 95 (4): 514–517. DOI: 10.1136/bjo.2010.182121
- Maltsev D.S., Kulikov A.N., Chhablani J.. Clinical Application of Fluorescein Angiography-Free Navigated Focal Laser Photocoagulation in Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2019; 1 (50). № (4): 118–124. DOI: 10.3928/23258160-20190401-16
- Gawęcki M. Increase in Central Retinal Edema after Sub-threshold Diode Micropulse Laser Treatment of Chronic Cen-

- tral Serous Chorioretinopathy. *Case Rep Ophthalmol Med.* 2015; 813414. DOI: 10.1155/2015/813414
23. Maruko I., Koizumi H., Hasegawa T., Hisaya A., Iida T. Sub-threshold 577 nm micropulse laser treatment for central serous chorioretinopathy. *PLoS One.* 2017; 29 № 12 (8): 0184112. DOI: 10.1371/journal.pone.0184112
24. Ambiya V., Goud A., Mathai A., Rani P.K., Chhablani J. Microsecond yellow laser for subfoveal leaks in central serous chorioretinopathy. *Clin Ophthalmol.* 2016; 11 (10): 1513–1539. DOI: 10.2147/OPHTHS112431
25. Lanzetta P., Furlan F., Morgante L., Veritti D., Bandello F. Nonvisible subthreshold micropulse diode laser (810 nm) treatment of central serous chorioretinopathy. A pilot study. *Eur. J. Ophthalmol.* 2008; 18: 934–940.
26. Wang J., Quan Y., Dalal R., Palanker D. Comparison of continuous-wave and micropulse modulation in retinal laser therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017; 58 (11): 4722–4732. DOI: 10.1167/ios.17-2161
27. Иванова Е.В., Володин П.Л. Определение режимов безопасного применения селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии макулярной зоны с помощью моделирования на основе теории активированного комплекса. *Лазерная медицина.* 2023; 27 (2): 22–31. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-22-31
28. Roider R., Michaud N.A., Flotte T.J., Birngruber R. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation. *Arch Ophthalmol.* 1992; 110 (12): 1786–1792. DOI: 10.1001/archophth.1992.01080240126045
29. Elsner H., Pörksen E., Klatt C., Bunse A., Theisen-Kunde D., Brinkmann R., Birngruber R., Laqua H., Roider J. Selective retina therapy in patients with central serous chorioretinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006; 244 (12): 1638–1645. DOI: 10.1007/s00417-006-0368-5
30. Ivanova E.V., Volodin P.L. Development of the selective micropulse individual retinal therapy depends on age and type on the Fitzpatrick scale. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2022; 261 (2): 381–390. DOI: 10.1007/s00417-022-05800-9
4. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Modern approaches to the use of micro-pulse mode in the treatment of diseases of the central zone of the retina. *Tavricheskiy Medico-biological Vestnik.* 2012; 15 (3–3): 225–227 (In Russ.).
5. Richert E., Koinzer S., Tode J., Schlott K., Brinkmann R., Hillenkamp J., Klettner A., Roider J. Release of different cell mediators during retinal pigment epithelium regeneration following selective retina therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018; 59 (3): 1323–1331. DOI: 10.1167/ios.17-23163
6. Treumer F., Klettner A., Baltz J., Hussain A.A., Miura Y., Brinkmann R., Roider J., Hillenkamp J. Vectorial release of matrix metalloproteinases (MMPs) from porcine RPE-choroid explants following selective retina therapy (SRT): towards slowing the macular ageing process. *Exp Eye Res.* 2012; 97 (1): 63–72. DOI: 10.1016/j.exer.2012.02.011
7. Zhang J.J., Sun Y., Hussain A.A., Marshall J. Laser-mediated activation of human retinal pigment epithelial cells and concomitant release of matrix metalloproteinases. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53: 2928–2937. DOI: 10.1167/ios.11-8585
8. Ivanova E.V., Volodin P.L., Guskov A.V. Determination of Micropulse Modes with Targeted Damage to the Retinal Pigment Epithelium Using Computer Modeling for the Development of Selective Individual Micropulse Retinal Therapy. *Curr Eye Res.* 2022; 47 (1): 107–114. DOI: 10.1080/02713683.2021.1962360
9. Volodin P.L., Zheltov G.I., Ivanova E.V., Solomin V.A. Calibration of the parameters of the micro-pulse mode of the IRIDEX IQ 577 laser using computer modeling and fundus diagnostic methods. *Modern technologies in ophthalmology.* 2017; 1: 52–54 (In Russ.).
10. Volodin P.L., Ivanova E.V. Computer simulation of laser action in the regime of sir micropulse and reactions of proteins chorioretal complex for selective and effective action on the retinal pigment epithelium cells. *Laser Medicine.* 2018; 22 (1): 61–65 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-61-65
11. Zheltov G.I., Glazkov V.N., Ivanova E.V. Selective effect of laser pulses on retinal pigment epithelium. *Physical basics.* ARS-MEDICA. 2012; 3 (58): 78–85 (In Russ.).
12. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Optimization of operating modes of IRIS Medical IQ 577 laser for selective action onto retinal pigment epithelium. *Ophthalmology Eastern Europe.* 2015; 4 (27): 69–77 (In Russ.).
13. Takhchidi K.P., Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. New technique of rehabilitation of visual function based on selective influence of short laser pulses on retinal pigment epithelium. *Ophthalmology in Belarus.* 2010; 4 (07): 79–83 (In Russ.).
14. Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A. Possibilities of modern diagnostic techniques and comp data processing using «FemtoScan» programs for reveal weak thermal injuries in cells of the retinal pigment epithelium. *Laser Medicine.* 2018; 22 (1): 52–56 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-52-56
15. Framme C., Schüle G., Brinkmann R., Birngruber R., Roider J. Fundus Autofluorescence After Selective RPE Laser Treatment. *Ophthalmologe.* 2002; 99 (11): 854–860. DOI: 10.1007/s00347-002-0684-z

REFERENCES

1. van Rijssen T.J., van Dijk E.H.C., Yzer S., Ohno-Matsui K., Keunen J.E.E., Schlingemann R.O., Sivaprasad S., Querques G., Downes S.M., Fauser S., Hoyng C.B., Piccolino F.C., Chhablani J.K., Lai T.Y.Y., Lotery A.J., Larsen M., Holz F.G., Freund K.B., Yannuzzi L.A., Boon C.J.F. Central serous chorioretinopathy: Towards an evidence-based treatment guideline. *Prog Retin Eye Res.* 2019; 73: 100770. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2019.07.003
2. Volodin P.L., Ivanova E.V. Clinical evaluation of individualized and navigated microsecond pulsing laser for acute central serous chorioretinopathy. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina.* 2020; 51: 512–520. DOI: 10.3928/23258160-20200831-06
3. Volodin P.L., Ivanova E.V., Polyakova E.I., Fomin A.V. Spectral OCT-Angiography in En Face Mode for Detection of Morphological Changes in the Retinal Pigment Epithelium before and after Selective Micro-Pulse Laser Exposure in Patients with Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmology in Russia.* 2019; 16 (2): 192–201 (In Russ.). DOI: 10.18008/1816-5095-2019-2-192-201
4. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Modern approaches to the use of micro-pulse mode in the treatment of diseases of the central zone of the retina. *Tavricheskiy Medico-biological Vestnik.* 2012; 15 (3–3): 225–227 (In Russ.).
5. Richert E., Koinzer S., Tode J., Schlott K., Brinkmann R., Hillenkamp J., Klettner A., Roider J. Release of different cell mediators during retinal pigment epithelium regeneration following selective retina therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018; 59 (3): 1323–1331. DOI: 10.1167/ios.17-23163
6. Treumer F., Klettner A., Baltz J., Hussain A.A., Miura Y., Brinkmann R., Roider J., Hillenkamp J. Vectorial release of matrix metalloproteinases (MMPs) from porcine RPE-choroid explants following selective retina therapy (SRT): towards slowing the macular ageing process. *Exp Eye Res.* 2012; 97 (1): 63–72. DOI: 10.1016/j.exer.2012.02.011
7. Zhang J.J., Sun Y., Hussain A.A., Marshall J. Laser-mediated activation of human retinal pigment epithelial cells and concomitant release of matrix metalloproteinases. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53: 2928–2937. DOI: 10.1167/ios.11-8585
8. Ivanova E.V., Volodin P.L., Guskov A.V. Determination of Micropulse Modes with Targeted Damage to the Retinal Pigment Epithelium Using Computer Modeling for the Development of Selective Individual Micropulse Retinal Therapy. *Curr Eye Res.* 2022; 47 (1): 107–114. DOI: 10.1080/02713683.2021.1962360
9. Volodin P.L., Zheltov G.I., Ivanova E.V., Solomin V.A. Calibration of the parameters of the micro-pulse mode of the IRIDEX IQ 577 laser using computer modeling and fundus diagnostic methods. *Modern technologies in ophthalmology.* 2017; 1: 52–54 (In Russ.).
10. Volodin P.L., Ivanova E.V. Computer simulation of laser action in the regime of sir micropulse and reactions of proteins chorioretal complex for selective and effective action on the retinal pigment epithelium cells. *Laser Medicine.* 2018; 22 (1): 61–65 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-61-65
11. Zheltov G.I., Glazkov V.N., Ivanova E.V. Selective effect of laser pulses on retinal pigment epithelium. *Physical basics.* ARS-MEDICA. 2012; 3 (58): 78–85 (In Russ.).
12. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Optimization of operating modes of IRIS Medical IQ 577 laser for selective action onto retinal pigment epithelium. *Ophthalmology Eastern Europe.* 2015; 4 (27): 69–77 (In Russ.).
13. Takhchidi K.P., Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. New technique of rehabilitation of visual function based on selective influence of short laser pulses on retinal pigment epithelium. *Ophthalmology in Belarus.* 2010; 4 (07): 79–83 (In Russ.).
14. Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A. Possibilities of modern diagnostic techniques and comp data processing using «FemtoScan» programs for reveal weak thermal injuries in cells of the retinal pigment epithelium. *Laser Medicine.* 2018; 22 (1): 52–56 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-52-56
15. Framme C., Schüle G., Brinkmann R., Birngruber R., Roider J. Fundus Autofluorescence After Selective RPE Laser Treatment. *Ophthalmologe.* 2002; 99 (11): 854–860. DOI: 10.1007/s00347-002-0684-z

16. Volodin P.L., Ivanova E.V. Selective micropulse individual retinal therapy in the navigation treatment of central serous chorioretinopathy with the selection of parameters by preliminary testing. *Clinical Ophthalmology*. 2023; 23 (3): 112–118 (In Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-3-1
17. Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A., Pismenskaya V.A., Khrisanfova E.S. The first experience of the use of selective micropulse laser treatment (577 nm) with individual selection of parameters for acute central serous chorioretinopathy. *Practical medicine*. 2017; 2. No. 9 (110): 55–59 (In Russ.).
18. Ivanova E.V., Volodin P.L. Calculations of micropulse mode parameters regarding the age and type of appearance by Fitzpatrick scale for selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT) on serial lasers. *Laser Medicine*. 2024; 28 (2):15–26 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-2-15-26
19. Ozkaya A., Alkin Z., Ozveren M., Yazici A.T., Taskapili M. The time of resolution and the rate of recurrence in acute central serous chorioretinopathy following spontaneous resolution and low-fluence photodynamic therapy: a case-control study. *Eye (Lond)*. 2016; 30 (7): 1005–1010. DOI: 10.1038/eye.2016.79
20. Lim J.W., Kang S.W., Kim Y., Chung S.E., Lee S.W. Comparative study of patients with central serous chorioretinopathy undergoing focal laser photoocoagulation or photodynamic therapy. *Br J Ophthalmol*. 2011; 95 (4): 514–517. DOI: 10.1136/bjo.2010.182121
21. Maltsev D.S., Kulikov A.N., Chhablani J.. Clinical Application of Fluorescein Angiography-Free Navigated Focal Laser Photoocoagulation in Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2019; 1 (50). №(4): 118–124. DOI: 10.3928/23258160-20190401-16
22. Gawecki M. Increase in Central Retinal Edema after Sub-threshold Diode Micropulse Laser Treatment of Chronic Central Serous Chorioretinopathy. *Case Rep Ophthalmol Med*. 2015; 813414. DOI: 10.1155/2015/813414
23. Maruko I., Koizumi H., Hasegawa T., Hisaya A., Iida T. Sub-threshold 577 nm micropulse laser treatment for central serous chorioretinopathy. *PLoS One*. 2017; 29. №12 (8): 0184112. DOI: 10.1371/journal.pone.0184112
24. Ambiya V., Goud A., Mathai A., Rani P.K., Chhablani J. Microsecond yellow laser for subfoveal leaks in central serous chorioretinopathy. *Clin Ophthalmol*. 2016; 11 (10): 1513–1539. DOI: 10.2147/OPTH.S112431
25. Lanzetta P., Furlan F., Morgante L., Veritti D., Bandello F. Nonvisible subthreshold micropulse diode laser (810 nm) treatment of central serous chorioretinopathy. A pilot study. *Eur. J. Ophthalmol*. 2008; 18: 934–940.
26. Wang J., Quan Y., Dalal R., Palanker D. Comparison of continuous-wave and micropulse modulation in retinal laser therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017; 58 (11): 4722–4732. DOI: 10.1167/iovs.17-2161
27. Ivanova E.V., Volodin P.L. Determination of modes for safe application of selective micro-pulse individual retinal therapy of the macular zone using the modeling based on the theory of activated complex. *Laser Medicine*. 2023; 27 (2): 22–31 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-22-31
28. Roider R., Michaud N.A., Flotte T.J., Birngruber R. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation. *Arch Ophthalmol*. 1992; 110 (12): 1786–1792. DOI: 10.1001/archophth.1992.01080240126045
29. Elsner H., Pörksen E., Klatt C., Bunse A., Theisen-Kunde D., Brinkmann R., Birngruber R., Laqua H., Roider J. Selective retina therapy in patients with central serous chorioretinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2006; 244 (12): 1638–1645. DOI: 10.1007/s00417-006-0368-5
30. Ivanova E.V., Volodin P.L. Development of the selective micropulse individual retinal therapy depends on age and type on the Fitzpatrick scale. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 261 (2): 381–390. DOI: 10.1007/s00417-022-05800-9

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Володин Павел Львович – доктор медицинских наук, зав. отделом лазерной хирургии сетчатки ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Иванова Елена Владимировна – кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог отделения лазерной хирургии сетчатки ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Author information

Pavel L. Volodin – Dr. Sci.(Med.), head of laser retinal surgery department. S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Elena V. Ivanova – Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist of laser retinal surgery department. S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9044-340>

Приложение

$$\text{Требуемая мощность (Вт)} = \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{БВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \frac{50}{\text{Длительность импульса} \times N^{0,47}}$$

Уравнение (1)
Equation (1)

$$\text{Требуемая длительность микроимпульса (мкс)} = \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{БВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \frac{50}{\text{Длительность импульса} \times N^{0,47}} = (4,42 + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности}) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times N^{0,47}}$$

Уравнение (2)
Equation (2)

$$\text{Требуемое количество импульсов в пакете} = \\ = \left(\left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{БВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times \text{Длительность импульса}} \right)^{2,13} \\ = \left((4,42 + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности}) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times \text{Длительность импульса}} \right)^{2,13}$$

Уравнение (3)
Equation (3)