

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

doi : 10.52485/19986173_2024_3_1

УДК : 617.7

¹Букина В.В., ^{1,2,3}Щуко А.Г., ^{1,2,3}Юрьева Т.Н., ¹Борисова А.В., ¹Самсонов Д.Ю.**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ И ПАТТЕРН-ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕЧЕНИИ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ**¹Иркутский филиал Федерального государственного автономного учреждения

«Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова

Министерства здравоохранения Российской Федерации,

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 337, Российская Федерация;

²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения

Российской Федерации, 664049, г. Иркутск, м/р Юбилейный, д. 100, Российская Федерация;

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, 1, Российская Федерация

Цель: оценить структурные изменения сетчатки после панретиальной лазерной коагуляции сетчатки в режиме одиночного коагулята, паттерн- и навигационной технологий лазерами различной длины волны и экспозиции.

Материалы и методы исследования. Проведено проспективное исследование, которое включало в себя два основных этапа, было обследовано 78 пациентов с сахарным диабетом 2 типа, с пролиферативной стадией диабетической ретинопатии, которым была проведена панретиальная лазеркоагуляция сетчатки (ПРЛК). Были сформированы 4 группы пациентов. На первом этапе оценивались качество формирования коагулята, структурные изменения окружающей сетчатки и изменения световой чувствительности до и после лазеркоагуляции. На втором этапе проводилось исследование эффективности лазеркоагуляции сетчатки в зависимости от технологии лазеркоагуляции. В диагностическое обследование была включена оптическая когерентная томография RTVue XR Avanti (Optovue, США), Canon. Оценивали структурные изменения сетчатки до и после лазерного воздействия. Проводилось исследование световой чувствительности центральных отделов сетчатки с использованием периметра Octopus 900 HAAG-STREIT (Швейцария). По визуальной аналоговой шкале через 30 минут после операции оценивалась выраженность болевого синдрома в момент выполнения операции.

Результаты. Формирование полноценного хориоретинального рубца наблюдалось при всех видах лазерного воздействия. Доказано, что минимальное повреждающее действие оказывает лазер с длиной волны 577 нм с экспозицией 20 мсек, о чём свидетельствует отсутствие повреждения наружной пограничной мембраны, наружных сегментов фоторецепторов, по данным ОКТ, а также отсутствие депрессии средней световой чувствительности. По результатам исследования восприятия боли установлено, что практически не испытывали боль пациенты, которым была проведена коагуляция на лазерной установке Navilas 577s в автоматическом режиме (экспозиция 20 мсек).

Выводы. Оценка структурных изменений сетчатки выявила наименьшее повреждающее действие на ретинальную ткань лазеркоагуляции длиной волны 577 нм с экспозицией 20 мсек при использовании паттерн- и навигационных технологий, что позволило сохранить на исходном уровне светочувствительность периферических отделов сетчатки. При применении паттерн- и

навигационных технологий побочные эффекты операции (боль, засветы) не выражены, что делает панретиальную лазеркоагуляцию комфортной и повышает приверженность пациента этому виду лечения.

Ключевые слова: пролиферативная диабетическая ретинопатия, панретиальная лазеркоагуляция, длина волны, экспозиция лазерного излучения

¹Bukina V.V., ^{1,2,3}Shchuko A.G., ^{1,2,3}Yur'eva T.N., ¹Borisova A.V., ¹Samsonov D.Yu.

EVALUATION OF THE NAVIGATION AND PATTERN-TECHNOLOGIES EFFICACY IN THE TREATMENT OF PROLIFERATIVE DIABETIC RETINOPATHY

¹Irkutsk branch of S. Fyodorov "Eye microsurgery"

Federal State Institution of the Ministry of Health of the Russian Federation,
664033, Irkutsk, Lermontov str., 337;

²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education -

a branch of Russian Medical Academy of Continuing Professional Education
of the Ministry of Health of the Russian Federation, 664049, Irkutsk, Yubileyny, 100;

³Irkutsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
664003, Irkutsk, Krasnogo Vosstaniya str., 1

Purpose: to evaluate the structural changes of the retina after panretinal laser coagulation of the retina in single coagulate mode, pattern and navigation technologies with lasers of different wavelengths and exposures.

Materials and methods of research. A prospective study included two main stages, 78 patients with type 2 diabetes mellitus, with the proliferative stage of diabetic retinopathy, who underwent panretinal laser coagulation (PRC). 4 groups of patients were formed. At the first stage, the quality of coagulate formation, structural changes in the surrounding retina and changes in light sensitivity before and after laser coagulation were evaluated. At the second stage, the efficacy of retinal laser coagulation was studied depending on the laser coagulation technology.

Optical coherence tomography RTVue XR Avanti (Optovue, USA), Canon was included in the diagnostic examination. The structural changes of the retina were evaluated before and after laser exposure. A study of the light sensitivity of the central parts of the retina was conducted using the Octopus 900 HAAG-STREIT perimeter (Switzerland). The severity of the pain syndrome at the time of the operation was assessed using a visual analog scale 30 minutes after the operation

Results. The formation of a full-fledged chorioretinal scar was observed with all types of laser exposure. It has been proven that a laser with a wavelength of 577 nm with an exposure of 20 ms has a minimal damaging effect, as evidenced by the absence of damage to the outer boundary membrane, outer segments of photoreceptors according to OCT data, as well as the absence of depression of average light sensitivity. According to the results of the pain perception study, it was found that patients who underwent coagulation on the Navilas 577s laser system in automatic mode (exposure of 20 msec) practically did not experience pain.

Conclusions. An assessment of the structural changes in the retina revealed the least damaging effect on the retinal tissue of laser coagulation with a wavelength of 577 nm with an exposure of 20 msec using pattern and navigation technologies, which allowed the photosensitivity of the peripheral parts of the retina to be maintained at the initial level. When using pattern and navigation technologies, the side effects of surgery (pain, glare,) are not pronounced, which makes panretinal laser coagulation comfortable and increases the patient's commitment to this type of treatment.

Keywords: proliferative diabetic retinopathy, panretinal laser coagulation, wavelength, laser radiation exposure.

Заболеваемость сахарным диабетом в мире с каждым годом продолжает неуклонно возрастать. За последние 10 лет численность больных сахарным диабетом увеличилась в 2 раза, и к 2045 году ожидается увеличение до 783 миллионов в мире [1]. Наиболее частой причиной снижения зрения у лиц трудоспособного возраста является пролиферативная диабетическая ретинопатия [2–4]. Примерно

10% больных сахарным диабетом имеют инвалидность по зрению, при пролиферативной стадии диабетической ретинопатии – до 40%. Профилактикой прогрессирования диабетической ретинопатии являются раннее выявление ретинопатии и своевременно проведённая панретиальная лазеркоагуляция сетчатки (ПРЛК). Сегодня пациент хочет получить не только хороший клинический эффект от лечения, но и хорошее качество зрения, комфорт и отсутствие боли при проведении операции, поэтому поиски оптимальных методов лазеркоагуляции при диабетической ретинопатии продолжаются [4, 5].

С внедрением в клиническую работу оптической когерентной томографии (ОКТ) и ОКТ в режиме ангиографии, появилась возможность визуализации и оценки структурных изменений сетчатки и хориоидеи после лазеркоагуляции сетчатки лазерами с различной длиной волны, а также изучения эффективности лазеркоагуляции с использованием различных лазерных техник.

Цель исследования: оценить структурные изменения сетчатки после ПРЛК в режиме одиночного коагулята, паттерн- и навигационной технологий лазерами различной длины волны и экспозиции.

Материалы и методы. Проведено проспективное исследование, которое включало в себя два основных этапа. На первом этапе было обследовано 37 пациентов с сахарным диабетом 2 типа, с пролиферативной стадией диабетической ретинопатии, которая проявлялась наличием новообразованных сосудов на ДЗН и по ходу сосудистых аркад, а также интравитреальных микрососудистых аномалий (ИРМА) и микрогеморрагий. Всем пациентам была проведена панретиальная лазеркоагуляция сетчатки. Для оценки качества формирования коагулята и структурных изменений окружающей сетчатки, а также для определения световой чувствительности до и после лазеркоагуляции было сформировано 2 группы в зависимости от длины волны лазера, используемого для проведения ПРЛК. Первая группа состояла из 17 пациентов, средний возраст – $55 \pm 5,5$ лет. ПРЛК проводилась в режиме одиночного импульса с экспозицией 100 мсек на лазерной установке CARL ZEISS (длина волны – 532 нм). Во вторую группу вошли 20 пациентов, средний возраст – $55 \pm 5,6$ лет, которым операция была проведена в режиме одиночного импульса с экспозицией 100 мсек на лазере Supra (Quantel Medical) с длиной волны 577 нм. На втором этапе было сформировано еще 2 группы для оценки эффективности ПРЛК у пациентов с пролиферативной диабетической ретинопатией (новообразованные сосуды на ДЗН и по ходу сосудистых аркад, ИРМА и микрогеморрагии по ходу сосудистых аркад) в зависимости от применяемой технологии. В третью группу включены 25 пациентов, средний возраст – $52 \pm 7,4$ лет. ПРЛК была проведена в паттерн-режиме с экспозицией 20 мсек на лазерной установке Pascal (длина волны – 577 нм). Четвертая группа состояла из 16 пациентов, средний возраст – $55 \pm 5,6$ лет, ПРЛК была проведена в автоматическом режиме с экспозицией 20 мсек на лазерной установке Navilas (длина волны – 577 нм). В анамнезе у пациентов отсутствовали хирургические и лазерные вмешательства на сетчатке.

Панретиальная лазеркоагуляция проводилась линзой панфундус (Transeqator Volk), размер пятна 200 без учёта коэффициента увеличения линзы (1,44), получали коагулят 2-3 степени по L'Esperance (6).

При лазеркоагуляции в режиме одиночных импульсов (1 и 2 группа) за 2 сеанса наносилось 1 900 коагулятов, экспозиция 100 миллисекунд, мощность излучения варьировала от 110 до 170 мВт. Коагуляты наносились в шахматном порядке, расстояние между ними составляло 1 диаметр коагулята. У пациентов 3 группы панретиальная лазеркоагуляция проводилась в режиме паттерн, 4 группы – в автоматическом режиме навигационной системы Navilas. Параметры коагуляции: мощность излучения 250 – 350 мВт, экспозиция – 20 миллисекунд, расстояние между коагулятами – 0,5 диаметра коагулята. За один этап лазеркоагуляции наносилось до 2 500 коагулятов (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика методов выполнения панретиальной лазеркоагуляции сетчатки

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Количество пациентов	17	20	25	16
Количество коагулятов	1 900	1 900	2 500	2 500
Мощность (мВт)	110–170	110–170	250–350	250–350
Экспозиция (мсек)	100	100	20	20

Исследование проводилось до лечения, на следующий день после операции и в поздний послеоперационный период (через 3 месяца). В диагностическое обследование была включена оптическая когерентная томография (ОКТ) RTVue XR Avanti (Optovue, США), Canon. На сканах высокого разрешения размером 6×6 мм и по протоколам сканирования в режиме en-face оценивали структурные изменения сетчатки до и после лазерного воздействия: определяли глубину проникновения лазерного излучения, а также характер формирования коагулятов и воздействие на смежные структуры. Проводилось исследование световой чувствительности центральных отделов сетчатки (MD) с использованием периметра Octopus 900 HAAG-STREIT (Швейцария). Оценивалась выраженность болевого синдрома в момент выполнения операции по визуальной аналоговой шкале от 0 до 10 баллов (0 – отсутствие боли, 10 – самая сильная боль) через 30 минут после операции. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакетов программ Microsoft Excel 2010 и Statistica for Windows 8.1 с использованием U-критерия Манна – Уитни.

Результаты. Сравнительный анализ структурных изменений сетчатки по данным ОКТ после ПРЛК установил, что на следующий день после лазеркоагуляции длиной волны 532 нм коагуляты определялись на уровне внутреннего ядерного и наружного плексиформного слоёв. Коагулят формировался в форме трапеции от наружного плексиформного слоя до ретинального пигментного эпителия сетчатки. Основание трапеции обращено в сторону пигментного эпителия. Диаметр коагулята был в 1,5 раза больше, чем размер используемой при коагуляции пятна. В зоне коагулята наблюдалась отслойка ретинального пигментного эпителия (рис. 1а).

У пациентов 2 группы на следующий день после операции коагуляты чётко определялись на уровне хориокапилляров. Коагулят формировался от наружного плексиформного слоя до ретинального пигментного эпителия и имел цилиндрическую форму, то есть диаметр коагулята соответствовал диаметру пятна.

У пациентов 3 и 4 групп коагуляты также определялись на уровне хориокапилляров, форма «мостика» была цилиндрическая, в проекции коагулята визуализировались отслойки нейро- и пигментного эпителия (рис. 1 б, в, г).

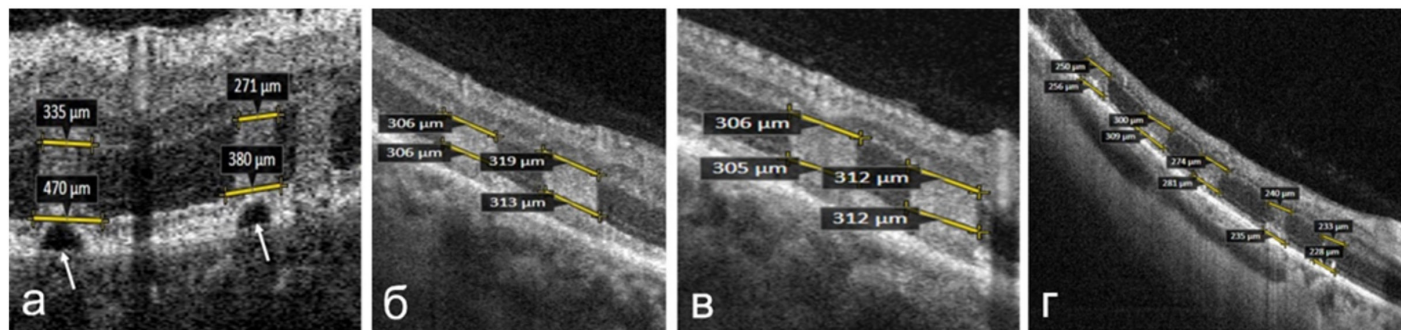


Рисунок 1. Лазерная коагуляция сетчатки зеленым (532 нм) и желтым (577 нм) лазерами, ранний послеоперационный период: а – режим одиночных импульсов (532 нм), б – режим одиночных импульсов (577 нм), в – паттерн-коагуляция Pascal (577 нм), г – автоматический режим Navilas (577 нм)

Через 3 месяца после лазеркоагуляции у пациентов 1 группы (длина волны – 532 нм) в проекции коагулятов отмечалось уплотнение слоя нервных волокон и ганглиоцитов, а также гиперплазия ретинального пигментного эпителия, разрушение слоя наружных сегментов фоторецепторов и наружной пограничной мембраны и выраженное смещение наружных слоёв сетчатки в сторону ретинального пигментного эпителия. Формирование рубца в виде трапеции происходило на уровне ретинального пигментного эпителия с вовлечением в него наружных слоёв сетчатки, разрушением наружной пограничной мембраны и наружных сегментов слоя фоторецепторов (рис. 2а).

Через 3 месяца после лазеркоагуляции формирование послеоперационного рубца во 2 группе происходило на уровне пигментного эпителия сетчатки с деформацией наружных слоёв сетчатки в виде конуса с более узкой вершиной (рис. 2 б). Также в проекции коагулята наблюдалось увеличение

оптической плотности внутренних слоев сетчатки. У пациентов 3 и 4 групп рубец формировался также в виде конуса с узкой вершиной на уровне пигментного эпителия сетчатки, но размер коагулятов был меньше диаметра пятна (рис. 2 в, г).

Таблица 2.

Характеристика коагулятов в зависимости от лазерных технологий

Характеристика коагулятов	1 группа	2 группа	3 группа (577 нм, паттерн-режим)	4 группа (577 нм, автоматизированный режим)
	(532 нм, одиночный)	(577 нм, одиночный)		
Глубина залегания	Внутренний ядерный/наружный плексиформный	хорио-капилляры	хориокапилляры	хориокапилляры
Размер коагулята	> размера пятна	диаметр пятна или <	< размера пятна	< размера пятна
Форма	усеченный конус	цилиндр	цилиндр	цилиндр
Деформация наружных слоёв сетчатки	в виде трапеции (по всей поверхности рубца)	в виде конуса с узкой вершиной	в виде конуса с узкой вершиной	в виде конуса с узкой вершиной

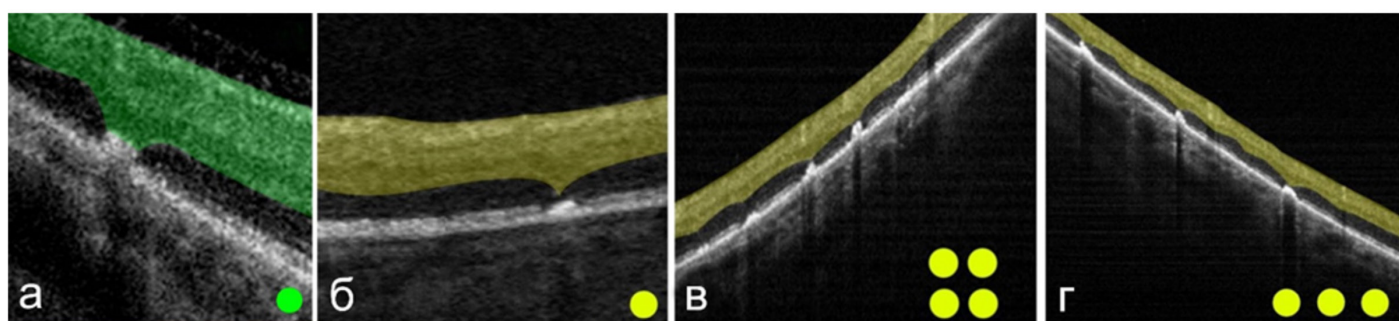


Рисунок 2. Лазерная коагуляция сетчатки зеленым (532 нм) и желтым (577 нм) лазерами, 3 месяца после операции: а – режим одиночных импульсов (532 нм), б – режим одиночных импульсов (577 нм), в – паттерн-коагуляция Pascal (577 нм), г – автоматический режим Navilas (577 нм)

Сравнительный анализ компьютерной периметрии при лазеркоагуляции в режиме одиночного импульса в поздний послеоперационный период показал минимальное снижение MD при использовании лазера с длиной волны 577 нм (рис. 3, 4). При лазеркоагуляции с экспозицией 20 мсек (паттерн-коагуляция и автоматический режим Navilas, 577 нм) депрессии средней световой чувствительности практически не произошло (рис. 3, 4).

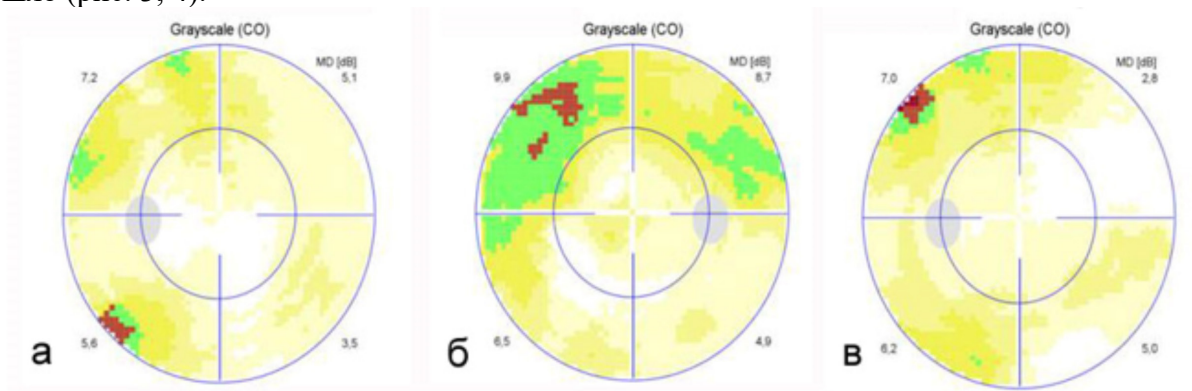


Рисунок 3. Данные компьютерной периметрии у пациентов с ПДР до ПРЛК различными методами: а – длина волны 532 нм, экспозиция 100 мсек, б – длина волны 577 нм, экспозиция 100 мсек, в – длина волны 577 нм, экспозиция 20 мсек

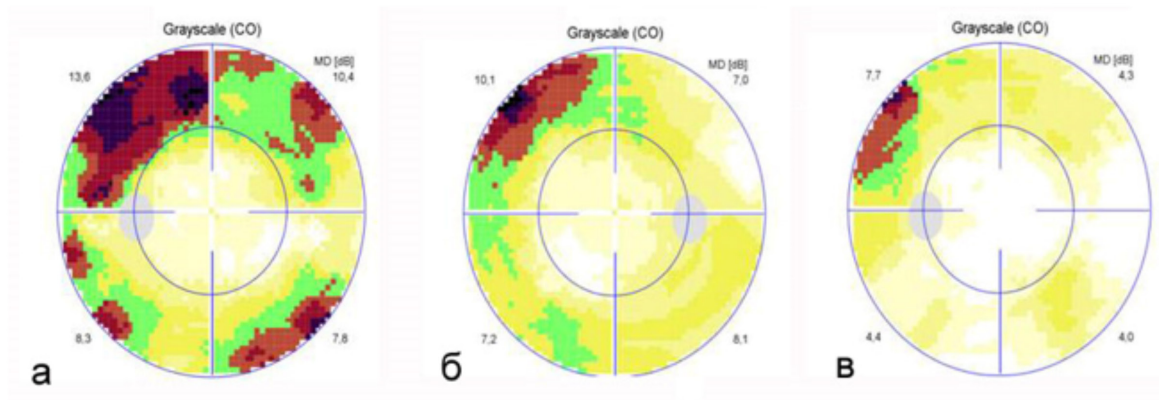


Рисунок 4. Данные компьютерной периметрии у пациентов с ПДР через 3 месяца после ПРЛК различными методами: а – длина волны 532 нм, экспозиция 100 мсек, б – длина волны 577 нм, экспозиция 100 мсек, в – длина волны 577 нм, экспозиция 20 мсек

Отсутствие на ОКТ повреждений наружной пограничной мембраны и наружных сегментов фоторецепторов свидетельствует о минимальном повреждающем действии лазера с длиной волны 577 нм с экспозицией 20 мсек, что подтверждалось отсутствием депрессии средней световой чувствительности. Формирование полноценного хориоретинального рубца наблюдалось при всех видах лазерного воздействия. Исследование боли по визуальной аналоговой шкале установило, что сильные болевые ощущения $4,6 \pm 1,0$ ($p < 0,01$) балла испытывали пациенты 1 и 2 групп (одиночные импульсы, экспозиция 100 мсек). У пациентов третьей группы значения данного показателя снизились до $2,0 \pm 0,7$ ($p < 0,01$). Субъективная оценка боли у пациентов 4 группы составила $0,2 \pm 0,3$ балла, то есть они практически не испытывали болевых ощущений (Рис. 5).

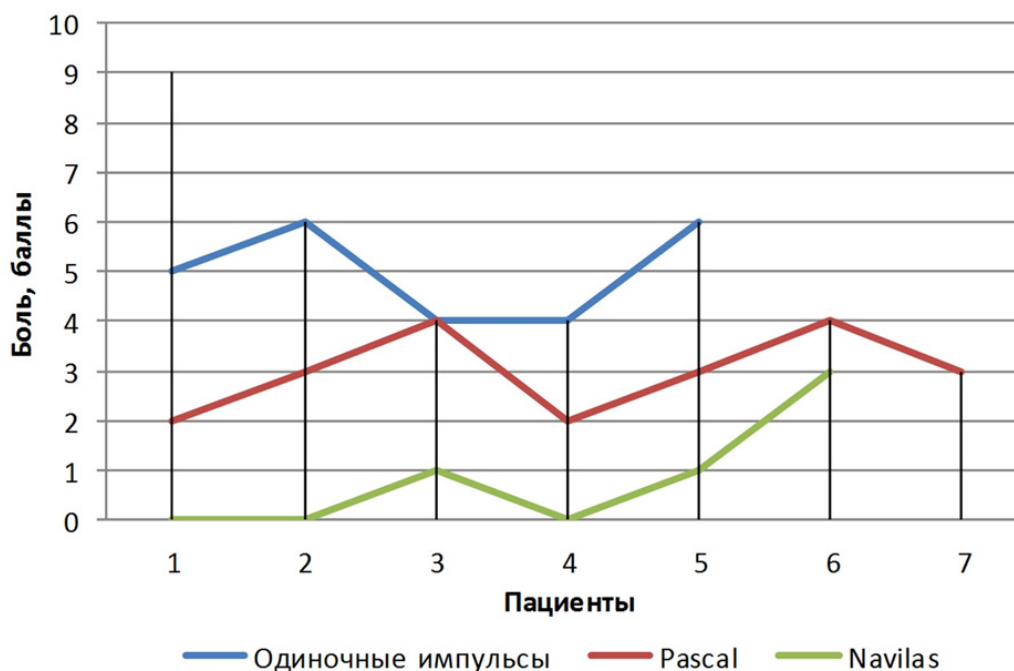


Рисунок 5. Оценка выраженности болевого синдрома

Обсуждение. Наиболее эффективным методом лечения диабетической ретинопатии является панретиальная лазеркоагуляция сетчатки. Эффективность ПРЛК доказана в исследованиях DRS (1987, 1989 гг.), ETDRS (1991, 1995 гг.) и др., которые продемонстрировали снижение риска потери зрения на 50% после лазеркоагуляции [7].

Проведение ПРЛК приводит к нормализации гемодинамики за счёт деструкции новообразованных сосудов и патологических сосудистых комплексов, а также ликвидации зон неперфузии сетчатки и

снижения выработки вазопротрофиеративного фактора [8, 9].

Исследование CLARITY показывало, что на 52-й неделе улучшение состояния сетчатки по шкале DRSS наблюдается в 65% случаев в группе после введения афлибирцепта и в 80% в группе после панретинальной лазеркоагуляции. Эти результаты согласуются с тем фактом, что панретинальная коагуляция имеет тенденцию улучшать оксигенацию внутренней сетчатки от хориоидеи, за счет сближения сетчатки с хориокапиллярным слоем [10].

По данным разных авторов, эффективность панретинальной лазеркоагуляции варьирует от 37 до 99 %. Стандартная ПРЛК, в зависимости от тяжести диабетической ретинопатии и применяемой лазерной техники операции (одиночный импульс или паттерн-коагуляция), проводится в среднем от 2 до 6 этапов [6].

Несмотря на все успехи, ПРЛК имеет недостатки, которые проявляются в снижении качества зрения и жизни пациента. Все чаще сахарный диабет второго типа встречается у людей трудоспособного возраста, которые не всегда могут придерживаться этапности проведения панретинальной коагуляции. Болевые ощущения, световые засветы во время операции, а также кратковременное послеоперационное снижение качества зрения снижают приверженность пациента к панретинальной лазеркоагуляции.

Практически 100% пациентов при ПРЛК испытывают болевые ощущения, интенсивность которых связана с индивидуальным болевым порогом, полом, культурой, а также с применением экспозиции лазерного излучения больше 100 мсек [11, 12].

Недостатки панретинальной коагуляции могут повлиять на тактику лазерного хирурга (уменьшение количества коагулятов, мощности лазерного воздействия), что может привести к увеличению количества сеансов ПРЛК и несоблюдению этапности операции пациентом.

Учитывая недостатки стандартной панретинальной лазеркоагуляции, продолжаются поиски оптимальных методов коагуляции.

Появление в практической работе лазерного хирурга новых технологий (паттерн- и навигационных), изменение экспозиции, мощности лазерного излучения, а также длины волны могут минимизировать побочные эффекты ПРЛК и сделать её более комфортной для пациента и лазерного хирурга [4, 5, 12–14].

В 1969 году F.A.L. Esperance опубликовал результаты морфологических исследований лазерных ожогов разными длинами волн и предположил возможность селективного воздействия на разные слои сетчатки. Однако результаты его исследований были подвергнуты критике. Для получения коагулята на сетчатке при использовании лазеров «желтой» или «красной» длины волны требуется увеличение мощности или экспозиции лазерного излучения, что приводит к вторичному коагуляционному повреждению. Всё это нивелирует результаты селективного воздействия на сетчатку разных длин волн [15].

Результаты проведенного нами исследования показывают, что при длине волны лазера 577 нм (экспозиция 100 мсек) формируется менее грубый рубец, отсутствуют повреждения наружных сегментов фоторецепторов и практически нет снижения световой чувствительности сетчатки. Следовательно, лазер с длиной волны 577 нм оказывает минимальное повреждающее действие на сетчатку.

На формирование рубца после лазеркоагуляции влияет не только длина волны, но и размер пятна, мощность и время экспозиции. Повреждение сетчатки можно уменьшить путем изменения некоторых из этих параметров.

Клинические исследователи изучили эффекты ультракоротких методик при лазеркоагуляции диабетической ретинопатии, и на сегодняшний день наиболее современными являются лазеры, работающие в режиме паттерна с экспозицией 20 мсек. Целью новой лазерной технологии является минимальное повреждающее действие на слои сетчатки за счет избирательного воздействия на ретинальный пигментный эпителий (RPE). При применении ультракороткой экспозиции происходит минимальная потеря фоторецепторов, а также в послеоперационном периоде происходит репопуляция фоторецепторов и клеток ретинального пигментного эпителия [16, 17].

Существуют мнения, что очень короткие экспозиции могут вызвать повреждение акустической ударной волной, которая приводит к образованию микропузырьков и, как следствие, повреждению RPE. По данным Schuele G. et al, 2005 г., термомеханическая кавитация может развиваться при экспозиции 50

микросекунд и меньше. При длительности импульса более 10 мс происходит термическая денатурация ткани сетчатки [18].

По данным нашего исследования, при лазеркоагуляции с экспозицией 20 мсек в первые сутки после операции в зоне формирования коагулята определялись небольшие отслойки нейро- и пигментного эпителия. Это может быть результатом кавитации, вследствие поглощения меланосомами лазерной энергии с образованием вокруг гранул меланина пузырьков. В позднем послеоперационном периоде формировался полноценный коагулят, размер его соответствовал диаметру пятна или был меньше.

При лазеркоагуляции с более короткой экспозицией требуется высокая мощность для получения коагулята 2-3 степени (по F.A.L. Esperance). По данным Salman A.G., 2011 г., более высокий уровень мощности не приводит к грубым нарушениям сетчатки. Это может быть следствием того, что суммарная энергия лазерного воздействия, которая требуется для получения коагулята, меньше при экспозиции 20 мсек, чем при экспозиции 100 мсек при условии, что размер пятна остается неизменным [15].

В наших предыдущих публикациях показано, что при экспозиции 20 мсек через 3 месяца после операции размеры коагулятов меньше диаметра пятна, что можно объяснить незначительной тепловой диффузией [16, 17].

Также в работе Шаимовой В.А. с соавт., 2019 г., показано, что наименьший объем повреждений выявлен при экспозиции импульса 20–30 мсек. С увеличением длительности импульса значение мощности уменьшается, но суммарная энергия лазерного воздействия увеличивается, следовательно, увеличивается и объем повреждения сетчатки [19].

Гистологические исследования сетчатки кроликов после лазеркоагуляции с различной экспозицией (20 мсек и 100 мсек.), проведенные Blumenkranz M.S. с соавт, 2006 г., показали, что при применении короткой экспозиции (20 мсек) коагуляты располагались в проекции наружных слоев сетчатки, при этом внутренние слои остались интактными. При применении более длительной экспозиции (100 мсек) наблюдалось повреждение всех слоев сетчатки (наружных и внутренних). В отдаленном послеоперационном периоде при применении более короткой экспозиции (20 мсек) полученные коагуляты были более однородными, и их диаметр – меньше, чем размер используемого пятна. При этом не наблюдалось значительных нарушений внутренней сетчатки и ретинального пигментного эпителия [20].

Данные гистологических исследований коагулятов в раннем и отдаленном послеоперационном периодах получили подтверждение при появлении оптической когерентной томографии. Применение более длительной экспозиции при лазеркоагуляции, возможно, вследствие тепловой диффузии приводит к формированию больших дефектов наружной и внутренней сетчатки, что может способствовать формированию периферических скотом и потере скотопического зрения.

В работах Muqit et al, 2013 г., показано, что ПРЛК сетчатки с экспозицией 20 мсек не только не приводит к снижению чувствительности сетчатки, но и повышает её в послеоперационном периоде [12, 13].

Исследования, проведенные в нашей клинике и клиническая практика показывают преимущества применения современных лазеров при хирургических вмешательствах (паттерн-режим, навигационные технологии) с более короткой экспозицией (20 мсек) в сравнении с лазерами с экспозицией 100 мсек и выше, работающими в режиме одиночных коагулятов. Наши данные согласуются с зарубежными данными [16, 17].

Заключение. Оценка структурных изменений сетчатки выявила наименьшее повреждающее действие на ретинальную ткань лазеркоагуляции длиной волны 577 нм с экспозицией 20 мсек при использовании паттерн- и навигационных технологий, что позволило сохранить на исходном уровне светочувствительность периферических отделов сетчатки. При применении паттерн- и навигационных технологий побочные эффекты операции (боль, засветы,) не выражены, что делает панретиальную лазеркоагуляцию комфортной и повышает приверженность пациента этому виду лечения.

Сведения о финансировании исследования и о конфликте интересов.

Конфликт интересов отсутствует.

Сведения о вкладе каждого автора в работу.

Букина В.В. – 50% (сбор данных; анализ и интерпретация данных; анализ литературы по теме исследования; написание текста статьи; техническое редактирование).

Юрьева Т.Н. – 20% (разработка концепции и дизайна исследования; научное редактирование).

Щуко А.Г. – 10% (утверждение финального текста статьи).

Борисова А.В. – 10% (анализ и интерпретация данных, анализ лабораторных исследований).

Самсонов Д.Ю. – 10% (техническое и научное редактирование статьи).

Информация о соответствии статьи научной специальности.

Материалы статьи соответствуют научной специальности:

3.1.5. Офтальмология (медицинские науки).

Список литературы:

1. Клинические рекомендации «Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом». М. 2023.
2. González-Saldivar G., Rojas-Juárez S., Espinosa-Soto I., Sánchez-Ramos J. et al. Single-Spot Yellow Laser Versus Conventional Green Laser on Panretinal Photocoagulation: Patient Pain Scores and Preferences. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina*. 2017. 48 (11). 902–905. doi: 10.3928/23258160-20171030-05.
3. Yau J.W.Y., et al. Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy. *Diabetes Care*. 2012. 35 (3). 556–564. doi: 10.2337/dc11-1909.
4. Al-Hussainy S., Dodson P.M., Gibson J.M. Pain response and follow-up of patients undergoing panretinal laser photocoagulation with reduced exposure times. *Eye*. 2008. 22 (1). 96–99. doi: 10.1038/sj.eye.6703026.
5. Chhablani J., Sambhana S., Mathai A., Gupta V. et al. Clinical Efficacy of navigated panretinal photocoagulation in Proliferative Diabetic Retinopathy. *American Journal of Ophthalmology*. 2015. 159 (5). 884–889. doi: 10.1016/j.ajo.2015.02.006.
6. L'Esperance F.A. *Ophthalmic Lasers. Photocoagulation, Photoradiation and Surgery*. St. Louis: Mosby. 1989. 1553.
7. Solomon S.D., Chew E., Duh E.J., et al. Diabetic retinopathy: a position statement by the American diabetes association. *Diabetes Care*. 2017. 40 (3). 412–418. doi: 10.2337/dc16-2641.
8. Funatsu H., Berkowitz B.A., Wilson C.A. The effect of argon vs diode laser photocoagulation on oxygenation of avascular retina. *Invest. Ophthalmol. and Vis.Sci*. 1997. 235 (3). 168–175. doi: 10.1007/BF00941724.
9. Tsuchida Y. Effect of photocoagulation on retinal mean circulation time of proliferative diabetic retinopathy by use of fluorescein video angiography and image analysis system. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 1991. 95 (6). 595–600.
10. Sivaprasad S., Prevost A.T., Vasconcelos J.C., et al. Clinical efficacy of intravitreal aflibercept versus panretinal photocoagulation for best corrected visual acuity in patients with proliferative diabetic retinopathy at 52 weeks (CLARITY): a multicentre, single-blinded, randomised, controlled, phase 2b, non-inferiority trial. *Lancet Lond Engl*. 2017. 389 (10085). 2193–2203. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31193-5.
11. Inan U.U., Polat O., Inan S., Yigit S., Baysal Z. Comparison of pain scores between patients undergoing panretinal photocoagulation using navigated or pattern scan laser systems. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. 2016. 79 (1). 15–18. doi: 10.5935/0004-2749.20160006.
12. Muqit M.M., Gray J.C., Marcellino G.R. et al. Pain Responses of Pascal 20 ms multi-spot and 100 ms single-spot panretinal photocoagulation: Manchester Pascal Study, MAPASS report 2. *British J Ophthalmology*. 2010. 94 (11). 1493–1498. doi: 10.1136/bjo.2009.176677.
13. Muqit M.M. Pilot randomized clinical trial of Pascal Targeted Retinal versus variable fluence panretinal 20 ms laser in diabetic retinopathy: PETER PAN study. *Br. J. Ophthalmol*. 2013. 97 (2). 220–227. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-302189.

14. Passos R.M., Belucio-Neto J., Xavier C.O., Novais E.A. et al. Comparison of 577-nm multispot and standard single-spot photocoagulation for Diabetic Retinopathy. *Ophthalmologica*. 2019. 241 (4). 202–210. doi: 10.1159/000493280.
15. Salman A.G. Pascal laser versus conventional laser for treatment of diabetic retinopathy. *Saudi J. Ophthalmol*. 2011. 25 (2). 175–179. doi: 10.1016/j.sjopt.2011.01.006.
16. Щуко А.Г., Букина В.В., Злобина А.Н., Юрьева Т.Н., Акуленко М.В., Борисова А.В. Структурно-функциональные изменения сетчатки при воздействии различных длин волн в лечении диабетической ретинопатии. *Современные технологии в офтальмологии*. 2018. 1: 430–433.
17. Борисова А.В., Щуко А.Г., Акуленко М.В., Букина В.В. Оценка структурно-функциональных изменений сетчатки при лечении диабетической ретинопатии с использованием различных лазерных технологий. *Современные технологии в офтальмологии*. 2016. 4. 26–28.
18. Schuele G., Rumohr M., Huettmann G. RPE damage thresholds and mechanisms for laser exposure in the microsecond-to-millisecond time regimen. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2005. 46: 714–719. doi:https://doi.org/10.1167/iovs.04-0136.
19. Шаимова В.А., Зарезина А.С., Шаимов Т.Б., Кравченко Т.Г., Галин А.Ю., Шаимов Р.Б., Фомин А.В. Исследование воздействия на сетчатку непрерывного лазерного излучения с длиной волны 577 нм по данным ОКТ. *Современные технологии в офтальмологии*. 2019. 1. 384–388.
20. Blumenkranz M.S., Yellachich D., Andersen D.E. Semiautomated patterned scanning laser for retinal photocoagulation. *Retina*. 2006. 26. 370–376. doi: 10.1097/00006982-200603000-00024.

References:

1. Clinical recommendations “Algorithms of specialized medical care for patients with diabetes mellitus”. Moscow. 2023.
2. González-Saldivar G., Rojas-Juárez S., Espinosa-Soto I., Sánchez-Ramos J. et al. Single-Spot Yellow Laser Versus Conventional Green Laser on Panretinal Photocoagulation: Patient Pain Scores and Preferences. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina*. 2017. 48 (11). 902–905. doi: 10.3928/23258160-20171030-05.
3. Yau J.W.Y., et al. Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy. *Diabetes Care*. 2012. 35 (3). 556–564. doi: 10.2337/dc11-1909.
4. Al-Hussainy S., Dodson P.M., Gibson J.M. Pain response and follow-up of patients undergoing panretinal laser photocoagulation with reduced exposure times. *Eye*. 2008. 22 (1). 96–99. doi: 10.1038/sj.eye.6703026.
5. Chhablani J., Sambhana S., Mathai A., Gupta V. et al. Clinical Efficacy of navigated panretinal photocoagulation in Proliferative Diabetic Retinopathy. *American Journal of Ophthalmology*. 2015. 159 (5). 884–889. doi: 10.1016/j.ajo.2015.02.006.
6. L’Esperance F.A. *Ophthalmic Lasers. Photocoagulation, Photoradiation and Surgery*. St. Louis: Mosby. 1989. 1553.
7. Solomon S.D., Chew E., Duh E.J., et al. Diabetic retinopathy: a position statement by the American diabetes association. *Diabetes Care*. 2017. 40 (3). 412–418. doi: 10.2337/dc16-2641.
8. Funatsu H., Berkowitz B.A., Wilson C.A. The effect of argon vs diode laser photocoagulation on oxygenation of avascular retina. *Invest. Ophthalmol. and Vis.Sci*. 1997. 235 (3). 168–175. doi: 10.1007/BF00941724.
9. Tsuchida Y. Effect of photocoagulation on retinal mean circulation time of proliferative diabetic retinopathy by use of fluorescein video angiography and image analysis system. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 1991. 95 (6). 595–600.
10. Sivaprasad S., Prevost A.T., Vasconcelos J.C., et al. Clinical efficacy of intravitreal aflibercept versus panretinal photocoagulation for best corrected visual acuity in patients with proliferative diabetic retinopathy at 52 weeks (CLARITY): a multicentre, single-blinded, randomised, controlled, phase 2b, non-inferiority trial. *Lancet Lond Engl*. 2017. 389 (10085). 2193–2203. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31193-5.

11. Inan U.U., Polat O., Inan S., Yigit S., Baysal Z. Comparison of pain scores between patients undergoing panretinalphotocoagulation using navigated or pattern scan laser systems. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. 2016. 79 (1). 15–18. doi: 10.5935/0004-2749.20160006.
12. Muqit M.M., Gray J.C., Marcellino G.R. et al. Pain Responses of Pascal 20 ms multi-spot and 100 ms single-spot panretinal photocoagulation: Manchester Pascal Study, MAPASS report 2. *British J Ophthalmology*. 2010. 94 (11). 1493–1498. doi: 10.1136/bjo.2009.176677.
13. Muqit M.M. Pilot randomized clinical trial of Pascal Targeted Retinal versus variable fluence panretinal 20 ms laser in diabetic retinopathy: PETER PAN study. *Br. J. Ophthalmol.* 2013. 97 (2). 220–227. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-302189.
14. Passos R.M., Belucio-Neto J., Xavier C.O., Novais E.A. et al. Comparison of 577-nm multispot and standard single-spot photocoagulation for Diabetic Retinopathy. *Ophthalmologica*. 2019. 241 (4). 202–210. doi: 10.1159/000493280.
15. Salman A.G. Pascal laser versus conventional laser for treatment of diabetic retinopathy. *Saudi J. Ophthalmol.* 2011. 25 (2). 175–179. doi: 10.1016/j.sjopt.2011.01.006.
16. Shchuko A.G., Bukina V.V., Zlobina A.N., Yurieva T.N., Akulenko M.V., Borisova A.V. Structural and functional changes of the retina under the influence of different wavelengths in the treatment of diabetic retinopathy. *Modern technologies in ophthalmology*. 2018. 1. 430–433. in Russian.
17. Borisova A.V., Shchuko A.G., Akulenko M.V., Bukina V.V. Assessment of structural and functional changes in the retina in the treatment of diabetic retinopathy using various laser technologies. *Modern technologies in ophthalmology*. 2016. 4. 26–28. in Russian.
18. Schuele G., Rumohr M., Huettmann G. RPE damage thresholds and mechanisms for laser exposure in the microsecond-to-millisecond time regimen. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2005. 46: 714–719. doi:https://doi.org/10.1167/iovs.04-0136.
19. Shaimova V.A., Zarezina A.S., Shaimov T.B., Kravchenko T.G., Galin A.Yu., Shaimov R.B., Fomin A.V. Investigation of the effect on the retina of continuous laser radiation with a wavelength of 577 nm according to OCT. *Modern technologies in ophthalmology*. 2019. 1. 384–388.
20. Blumenkranz M.S., Yellachich D., Andersen D.E. Semiautomated patterned scanning laser for retinal photocoagulation. *Retina*. 2006. 26. 370–376. doi: 10.1097/00006982-200603000-00024.

Сведения об авторах.

Букина Вера Васильевна, к.м.н, заведующая лазерным отделением; г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 337, 664003; eLibrary SPIN: 4894-0325, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5343-0691>; e-mail: nauka@mntk.irkutsk.ru.

Щуко Андрей Геннадьевич, д.м.н., проф.; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4264-4408>; eLibrary SPIN: 1775-7399; e-mail: nauka@mntk.irkutsk.ru.

Юрьева Татьяна Николаевна, д.м.н., проф.; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0547-7521>; eLibrary SPIN: 8457-5851; e-mail: tnyurieva@mail.ru.

Борисова Анна Валентиновна, врач-офтальмолог; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0851-819X>; eLibrary SPIN: 4892-1887; e-mail: anyborisbb@gmail.com.

Самсонов Дмитрий Юрьевич, к.м.н.; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7971-4521>; eLibrary SPIN: 4231-1455; e-mail: dsamsonoff@mail.ru.

Information about the authors.

Bukina V.V., MD, PhD, head of laser department; 337 Lermontov str., Irkutsk, 664003; eLibrary SPIN: 4894-0325, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5343-0691>; e-mail: nauka@mntk.irkutsk.ru.

Shchuko A.G., MD, Dr. Sci. (Med.), Prof.; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4264-4408>; eLibrary SPIN: 1775-7399; e-mail: nauka@mntk.irkutsk.ru.

Yur'eva T.N., MD, Dr. Sci. (Med.), Prof.; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0547-7521>; eLibrary SPIN: 8457-5851; e-mail: tnyurieva@mail.ru.

Borisova A.V., ophthalmologist; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0851-819X>; eLibrary SPIN: 4892-1887; e-mail: anyborisbb@gmail.com.

Samsonov D.Yu., MD, PhD; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7971-4521>; eLibrary SPIN: 4231-1455; e-mail: dsamsonoff@mail.ru.

Информация.

Дата опубликования – 29.11.2024