

Подбор энергии лазерного импульса при выполнении селективной лазерной трабекулопластики у больных первичной открытоугольной глаукомой

С.В. Иванов¹, С.В. Балалин^{1,2} ✉, А.С. Саркисян¹, О.В. Юферов¹

¹ Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

Аннотация. Были проанализированы результаты селективной лазерной трабекулопластики (СЛТ) у 105 больных первичной открытоугольной глаукомой (105 глаз), ассоциированной с синдромом пигментной дисперсии, в возрасте от 18 до 54 лет. После каждого этапа СЛТ отмечалось уменьшение степени пигментации трабекулы, что характеризовалось достоверным увеличением значения относительного показателя светлоты (Lightness index). С уменьшением степени пигментации трабекулы после каждого этапа СЛТ требовался более высокий уровень энергии лазерного импульса: от 0,3 мДж при резко выраженной пигментации и до 0,8 мДж при слабой степени пигментации трабекулы. Слабая степень пигментации трабекулы отмечалась при значениях Lightness index свыше 75 % и характеризовалась достоверным и максимальным улучшением показателя легкости оттока внутриглазной жидкости.

Ключевые слова: первичная открытоугольная пигментная глаукома, селективная лазерная трабекулопластика, энергия лазерного импульса

Финансирование: статья опубликована в рамках выполнения научно-исследовательской работы по Гранту от комитета экономической политики и развития Волгоградской области от 20.11.2024 № 4/2024.

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2025-22-2-113-116>

Selection of laser pulse energy when performing selective laser trabeculoplasty in patients with primary open-angle glaucoma

S.V. Ivanov¹, S.V. Balalin^{1,2} ✉, A.S. Sarkisian¹, O.V. Yuferov¹

¹ Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Volgograd branch, Volgograd, Russia

² Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Abstract. We analyzed the results of selective laser trabeculoplasty (SLT) in 105 patients with primary open-angle glaucoma (105 eyes) associated with pigment dispersion syndrome, aged 18 to 54 years. After each stage of SLT there was a decrease in the degree of trabecular pigmentation, which was characterized by a significant increase in the value of the relative lightness index (Lightness index). As the degree of trabecula pigmentation decreased after each stage of SLT, a higher level of laser pulse energy was required: from 0.3 mJ at sharply pronounced pigmentation to 0.8 mJ at weak degree of trabecula pigmentation. The weak degree of trabecula pigmentation was noted at Lightness index values over 75 % and was characterized by reliable and maximal improvement of the index of intraocular fluid outflow ease.

Keywords: primary open-angle pigmentary glaucoma, selective laser trabeculoplasty, laser pulse energy

Funding: The article was published within the framework of research work under the Grant from the Committee for Economic Policy and Development of Volgograd region from 20.11.2024 № 4/2024.

Среди методов лазерной хирургии при первичной открытоугольной глаукоме широкое распространение получила селективная лазерная трабекулопластика (СЛТ), которая снижает повышенное внутриглазное давление за счет улучшения оттока водянистой влаги через трабекулярную сеть вследствие фототермолизиса пигментных гранул [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Известен метод комплексного лечения пигментной глаукомы, включающий подбор медикаментозного лечения, проведение лазерной иридэктомии и вы-

полнение селективной лазерной трабекулопластики. Причем лазерное лечение авторы рекомендуют выполнять при начальной и развитой стадии заболевания [7]. Недостатком данного способа является отсутствие условия для достижения максимальной эффективности лазерной хирургии пигментной глаукомы. Это обусловлено тем, что в известном способе не оценивают остаточную пигментацию после селективной лазерной трабекулопластики, то есть не оценивают эффективность фототермолизиса пигментных гранул.

При глаукоме на фоне синдрома пигментной дисперсии отмечается, как правило, III–IV (выраженная и очень выраженная) степень пигментации и после однократно выполненной процедуры СЛТ не могут полностью лизироваться пигментные гранулы. Поэтому при неэффективности СЛТ пациентам с пигментной глаукомой рекомендуют проводить хирургическое лечение глаукомы, а именно, малоинвазивную непроникающую глубокую склерэктомия или синустрабекулэктомия.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить зависимость между необходимым уровнем лазерной энергии при проведении СЛТ и степенью пигментации трабекулы по всей окружности у больных первичной открытоугольной глаукомой, ассоциированной с синдромом пигментной дисперсии.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Были обследованы 105 больных первичной открытоугольной глаукомой (105 глаз), ассоциированной с синдромом пигментной дисперсии, в возрасте от 18 до 54 лет. Пациенты были разделены на 2 группы: основная группа (62 глаза) и контрольная группа (43 глаза). В обеих группах первым этапом выполняли лазерную иридэктомию для устранения иридозонулярного контакта. Через 6 мес. выполняли селективную лазерную трабекулопластику. В основной группе СЛТ проводили поэтапно: через каждые 6 месяцев до оптимального эффективного фототермолизиса пигментных гранул трабекулы, достижения слабой степени пигментации трабекулы и улучшения показателей гидродинамики глаза.

При отборе пациентов с первичной открытоугольной глаукомой, ассоциированной с СПД для выполнения лазерной хирургии, учитывали снижение повышенного офтальмотонуса на фоне медикаментозной гипотензивной терапии до значений среднестатистической нормы, но превышающее уровень индивидуально переносимого ВГД.

Учитывая многоэтапность лечения, для снижения рисков воспалительных осложнений, каждый последующий этап лечения проводили через 6 месяцев после предыдущего, что согласуется с данными литературы [8]. Первый этап селективной лазерной трабекулопластики выполняли по нижней полуокружности Шлеммова канала на протяжении 180°. СЛТ проводили по методике Latina M.A. Затем через каждые 6 мес проводили оценку гипотензивного эффекта СЛТ и эффективности фототермолизиса пигментных гранул трабекулы, регистрировали клинико-функциональные показатели. Повторные этапы СЛТ у пациентов основной группы выполняли через каждые 6 мес. по верхней и нижней полуокружностям трабекулы на протяжении 180°.

После каждого этапа лазерного лечения (ЛИЭ, СЛТ) пациентам назначали инстилляцию в оперированный глаз нестероидного противовоспалительного препарата

(0,1%-го раствора диклофенака) по 1 капле 3 раза в день в течение 10 дней и 0,05%-й раствор пиклоксидина по 1 капле 3 раза в день в течение 10 дней.

Через 1 мес после каждого этапа СЛТ оценивали степень пигментации, эффективность фототермолизиса пигментных гранул трабекулы по цветовой модели HSL по всей окружности трабекулы, показатели гидродинамики глаза на фоне медикаментозного гипотензивного лечения и регистрировали клинико-функциональные показатели.

Через 1 мес. после каждого этапа СЛТ оценивали эффективность лазерной хирургии на фоне отмены гипотензивной терапии сроком на 1 месяц. При ВГД выше индивидуально переносимого (толерантного) уровня повторно назначались медикаментозная терапия и повторная операция СЛТ через 6 месяцев после предыдущего этапа до достижения слабой степени пигментации трабекулы и максимального улучшения показателей гидродинамики глаза при условии стабилизации зрительных функций. На данную технологию: «Способ лечения пигментной глаукомы» получен патент № 2759019 РФ от 19 февраля 2021 г.

В связи с уменьшением степени пигментации после каждого этапа СЛТ требовалось увеличение энергии лазерного импульса до появления эффекта «брызг шампанского». В основной группе применялась энергия от 0,3 до 0,8 мДж.

В контрольной группе (43 глаза) СЛТ проводили однократно с применением энергии лазерного импульса от 0,3 до 0,5 мДж.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основной группе при выполнении первого этапа СЛТ энергия лазерного импульса составляла в среднем $(0,42 \pm 0,08)$ мДж ($M \pm \sigma$), что было сопоставимо с энергией, применяемой у пациентов контрольной группы, $(0,39 \pm 0,09)$ мДж ($M \pm \sigma$). Различия между средними значениями было статистически не достоверным ($Z = 1,36; p = 0,17$).

При выполнении II, III, IV этапов СЛТ у пациентов основной группы при подборе минимального уровня энергии лазерного импульса, которое приводило к появлению эффекта кавитационных пузырьков в виде «брызг шампанского», повышалось среднее значение энергии импульса, что было обусловлено уменьшением степени пигментации трабекулы после каждого этапа СЛТ: II этап $(0,46 \pm 0,11)$ мДж; III этап $(0,59 \pm 0,07)$ мДж и IV этап $(0,67 \pm 0,08)$ мДж соответственно.

Энергия лазерного импульса при проведении второго этапа СЛТ у пациентов основной группы в сравнении с первым этапом увеличилась на 9,5 %. Различия между средними значениями энергии лазерного импульса при проведении первого и второго этапов СЛТ было статистически достоверным ($Z = 2,8; p = 0,005$).

В ходе третьего этапа СЛТ отмечалось достоверное увеличение среднего значения энергии лазерного импульса в сравнении с исходными значениями на 40,5 %. Лазерная энергия при проведении третьего этапа СЛТ у пациентов основной группы в сравнении со вторым этапом увеличилась на 28,3 %. Различия между средними значениями энергии лазерного импульса у пациентов основной группы при проведении второго и третьего этапов СЛТ было статистически достоверным ($Z = 4,7; p = 0,000003$).

В ходе четвертого этапа СЛТ отмечалось достоверное увеличение значения энергии лазерного импульса в сравнении с исходными значениями – на 59,5 %. Энергия лазерного импульса при проведении четвертого этапа СЛТ у пациентов основной группы в сравнении с третьим этапом увеличилась на 13,6 %. Различия между значениями энергии лазерного импульса у пациентов основной группы при проведении третьего и четвертого этапов СЛТ было статистически достоверным ($Z = 3,5; p = 0,0004$).

Зависимость между уровнем энергии лазерного импульса при проведении СЛТ и относительным показателем светлоты (Lightness index) при проведении колориметрического анализа по системе HSL представлена на рис.

Отмечалась достоверная зависимость уровня лазерной энергии от показателя Lightness index (Li), которая выражалась формулой: $E = 0,0651 + 0,0083 \times Li$. При коэффициенте корреляции ($r_{x/y} = 0,84, p = 0,00001$).

В таблице представлены средние значения энергии лазерного импульса в зависимости от этапа СЛТ

у 62 пациентов основной группы (62 глаза). Отмечалось достоверное различие между средними значениями энергии лазерного импульса при выполнении каждого последующего этапа СЛТ ($p < 0,05$) и достоверное различие между средними значениями степени пигментации трабекулы ($p < 0,05$). После каждого этапа СЛТ отмечалось уменьшение степени пигментации трабекулы, что характеризовалось достоверным увеличением значения относительного показателя светлоты трабекулы (Lightness index). Уменьшение степени пигментации трабекулы после каждого этапа СЛТ сопровождалось также достоверным улучшением оттока внутриглазной жидкости.

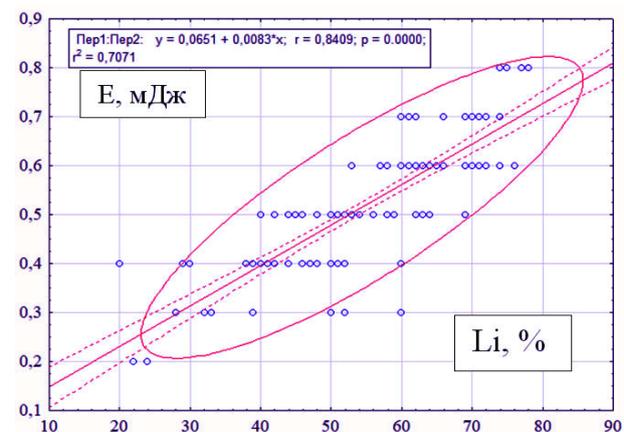


Рис. Зависимость между уровнем лазерной энергии при проведении этапов СЛТ и относительным показателем светлоты (Li)

Средние значения энергии лазерного импульса, относительного показателя светлоты (Lightness index) и коэффициента легкости оттока внутриглазной жидкости в зависимости от этапа СЛТ

Этапы СЛТ	Энергия лазерного импульса, мДж	Lightness index, %	Коэффициент легкости оттока водянистой влаги (C), мм ³ /мм рт. ст. × мин
I этап	0,42 ± 0,07 ¹	40,9 ± 9,3 ¹	0,217 ± 0,056 ¹
II этап	0,46 ± 0,11 ²	51,5 ± 8,4 ²	0,254 ± 0,070 ²
III этап	0,59 ± 0,07 ³	61,9 ± 6,5 ³	0,272 ± 0,060 ³
IV этап	0,67 ± 0,08 ⁴	70,9 ± 4,7 ⁴	0,32 ± 0,11 ⁴
p	$p^{1-2} 0,005$ $p^{2-3} 0,000003$ $p^{3-4} 0,0004$	$p^{1-2} 0,000001$ $p^{2-3} 0,000001$ $p^{3-4} 0,000001$	$p^{1-2} 0,0003$ $p^{2-3} 0,01$ $p^{3-4} 0,001$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определена зависимость между степенью пигментации трабекулы и выбором оптимальной энергии лазерного импульса при проведении селективной лазерной трабекулопластики у больных первичной открытоугольной глаукомой, ассоциированной с синдромом пигментной дисперсии: с уменьшением степени пигментации после каждого этапа СЛТ требовался более высокий уровень энергии лазерного импульса: от 0,3 мДж при резко выраженной пигментации до 0,8 мДж при слабой степени

пигментации трабекулы. Достижение слабой степени пигментации трабекулы достигался при значениях Li свыше 75 % и характеризовался достоверным улучшением показателя легкости оттока внутриглазной жидкости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Еричев В.П., Рогозина Е.А. Селективная лазерная трабекулопластика как стартовый метод лечения первичной открытоугольной глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2020;19(1):47–54.

2. Курышева Н.И., Шаталова Е.О., Апостолова А.С., Лепешкина Л.В., Полунина Е.В. Эффективность селективной лазерной трабекулопластики в лечении разных форм глаукомы. *Новости глаукомы*. 2017;1:66–69.

3. Пасенова И.Г., Алексеева К.В. Анализ эффективности селективной лазерной трабекулопластики. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2019;39(3):39–44. doi: org/10.15372/SSMJ20190306.

4. Яблокова Н.В., Фабрикантов О. Л., Гойдин А.П. Анализ лазерного лечения пигментной глаукомы. *Вестник Тамбовского государственного университета*. 2017;4:751–756.

5. Latina M.A., Park C. Selective targeting of trabecular meshwork cells: in vitro studies of pulsed and CW laser interactions. *Experimental Eye Research*. 1995;60:359–371. doi: 10.1016/s0014-4835(05)80093-4.

6. Lee J.W., Wong M.O., Wong R.L., Lai J.S. Correlation of intraocular pressure between both eyes after bilateral selective laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma. *Journal of Glaucoma*. 2016;25(3):248–252. doi: 10.1097/IJG.0000000000000274.

7. Фабрикантов О.Л., Яблокова Н.В., Гойдин А.П. Опыт применения комбинированного лазерного лечения пигментной глаукомы. *Вестник офтальмологии*. 2018;6:68–71. doi: 10.17116/oftalma201813406168.

8. Соколовская Т.В., Магарамов Д.А., Шацких А.В., Кочеткова Ю.А. Морфологические исследования трабекулярной сети угла передней камеры после селективной лазерной трабекулопластики и YAG-лазерной активации трабекулы. *X Всероссийская научно-практическая конференция «Федоровские чтения»*. М., 2012. С. 193–194.

REFERENCES

1. Elichev V.P., Rogozina E.A. Selective laser trabeculoplasty as a starting method of primary open angle glaucoma

treatment. *Natsional'nyĭ zhurnal glaucoma = National Journal of Glaucoma*. 2020;19(1):47–54. (In Russ.).

2. Kurysheva N.I., Shatalova E.O., Apostolova A.S., Lepeshkina L.V., Polunina E.V. Efficiency of selective laser trabeculoplasty in the treatment of various forms of glaucoma. *Novosti glaukomy = Glaucoma News*. 2017;1:66–69. (In Russ.).

3. Pasenova I.G., Alekseeva K.V. Analysis of efficacy of selective laser trabeculoplasty. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2019;39(3):39–44. (In Russ.) doi: 10.15372/SSMJ20190306.

4. Yablokova N.V., Fabrikantov O.L., Goydin A.P. Analysis of laser treatment of pigmentary glaucoma. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of Tambov State University*. 2017;4:751–756. (In Russ.).

5. Latina M.A., Park C. Selective targeting of trabecular meshwork cells: in vitro studies of pulsed and CW laser interactions. *Experimental Eye Research*. 1995;60:359–371. doi: 10.1016/s0014-4835(05)80093-4.

6. Lee J.W., Wong M.O., Wong R.L., Lai J.S. Correlation of intraocular pressure between both eyes after bilateral selective laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma. *Journal of Glaucoma*. 2016;25(3):248–252. doi: 10.1097/IJG.0000000000000274.

7. Fabrikantov O.L., Yablokova N.V., Goydin A.P. Experience of combined laser treatment of pigmentary glaucoma. *Vestnik Oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology*. 2018;6:68–71. (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma201813406168.

8. Sokolovskaya T.V., Magaramov D.A., Shatskikh A.V., Kochetkova Y.A. Morphological studies of the trabecular network of the anterior chamber angle after selective laser trabeculoplasty and YAG-laser activation of the trabecula. *X Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Fedorovskie chteniya” = X All-Russian scientific and practical conference “Fedorovsky Readings”*. Moscow, 2012:193–194. (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Сергей Владимирович Иванов – кандидат медицинских наук, директор, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия; mntk@isee.ru

Сергей Викторович Балалин – доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии, Волгоградский государственный медицинский университет; заведующий научным отделом, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия; s.v.balalin@gmail.com

Ануш Самвеловна Саркисян – врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия; anuchsarkisyan93@gmail.com

Олег Валерьевич Юферов – заведующий вычислительным центром, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия; yuferov@isee.ru

Статья поступила в редакцию 12.03.2025; одобрена после рецензирования 13.05.2025; принята к публикации 19.05.2025.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Sergey V. Ivanov – Candidate of Medical Sciences, Director, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Volgograd Branch, Volgograd, Russia; mntk@isee.ru

Sergey V. Balalin – MD, Professor of the Department of Ophthalmology, Volgograd State Medical University; Head of the Scientific Department, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Volgograd Branch, Volgograd, Russia; s.v.balalin@gmail.com

Anush S. Sarkisian – Ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Volgograd Branch, Volgograd, Russia; anuchsarkisyan93@gmail.com

Oleg V. Yuferov – Head of the Computing Center, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Volgograd Branch, Volgograd, Russia; yuferov@isee.ru

The article was submitted 12.03.2025; approved after reviewing 13.05.2025; accepted for publication 19.05.2025.