

УДК 616.13-085.849.19

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ633870>

Лазерные технологии в лечении артериальной патологии

И. Н. Староверов^{1, 2}, М. В. Ильин¹, А. В. Тихов³, С. О. Чураков^{1, 2} ✉,
О. М. Лончакова^{1, 2}, М. Ф. Джавоян¹

¹ Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Российская Федерация;

² Областная клиническая больница, Ярославль, Российская Федерация;

³ Клиника лазерной микрохирургии глаза А. Тихова, Ярославль, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Сердечно-сосудистые заболевания занимают ведущую позицию в структуре летальности во всём мире. Лазерные технологии позволяют улучшить результаты эндоваскулярного и хирургического лечения различных форм ишемической болезни сердца и заболеваний периферических артерий. Несмотря на развитие технологий, лазерная ангиопластика и эндартерэктомия сопровождаются рядом осложнений и зачастую требуют дополнительного вмешательства.

Цель. Проанализировать имеющиеся в настоящее время данные об использовании лазеров в лечении артериальной патологии.

Согласно результатам анализа современной литературы, использование лазера уверенно занимает свою нишу в эндоваскулярном лечении острого коронарного синдрома, хронических окклюзий коронарных и периферических артерий, позволяет оптимизировать результаты стентирования и баллонной ангиопластики. Одним из основных недостатков лазерной ангиопластики является то, что процедура в большинстве случаев сочетается со стентированием и/или баллонной ангиопластикой и требует большего введения контрастного вещества и времени операции. Масштабных исследований по открытой лазерной эндартерэктомии не проводилось.

Заключение. Дальнейшее изучение воздействия лазера на атеросклеротическую бляшку и стенку сосуда при открытой эндартерэктомии является перспективным направлением и, возможно, позволит снизить частоту периоперационных осложнений и улучшить отдаленные результаты хирургического лечения заболеваний периферических артерий.

Ключевые слова: лазерная хирургия; лазерная ангиопластика; лазерная эндартерэктомия; эксимерный лазер

Для цитирования:

Староверов И.Н., Ильин М.В., Тихов А.В., Чураков С.О., Лончакова О.М., Джавоян М.Ф. Лазерные технологии в лечении артериальной патологии // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2024. Т. 32, № 4. С. 645–656. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ633870>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ633870>

Laser Technologies in Treatment of Arterial Pathology

Il'ya N. Staroverov^{1, 2}, Mikhail V. Il'in¹, Aleksandr V. Tikhov³, Stanislav O. Churakov^{1, 2} ✉, Oksana M. Lonchakova^{1, 2}, Mame F. Dzhavoyan¹

¹ Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation;

² Regional Clinical Hospital, Yaroslavl, Russian Federation;

³ A. Tikhov Eye Laser Microsurgery Clinic, Yaroslavl, Russian Federation

ABSTRACT

INTRODUCTION: Cardiovascular diseases hold a leading position in the structure of mortality in the world. Laser technologies permit to improve the outcomes of endovascular and surgical treatment of various forms of the coronary heart disease and diseases of peripheral arteries. Despite the development of technologies, laser angioplasty and endarterectomy are associated with a number of complications and often require additional intervention.

AIM: To analyze currently available data on the use of lasers in treatment of arterial pathology.

According to the results of analysis of the modern literature, the use of lasers confidently occupies its niche in endovascular treatment of acute coronary syndrome, chronic occlusions of the coronary and peripheral arteries, permits to optimize the results of stenting and balloon angioplasty. One main disadvantage of laser angioplasty is that in most cases the procedure combines with stenting and/or balloon angioplasty and requires more contrast agent and longer operation time. Large-scale studies on the open laser endarterectomy have not been conducted.

CONCLUSION: Further study of the effect of laser on an atherosclerotic plaque and vessel wall in the open endarterectomy is a promising trend that may probably reduce the incidence of perioperative complications and improve long-term results of surgical treatment of diseases of peripheral arteries.

Keywords: *laser surgery; laser angioplasty; laser endarterectomy; excimer laser*

For citation:

Staroverov IN, Il'in MV, Tikhov AV, Churakov SO, Lonchakova OM, Dzhavoyan MF. Laser Technologies in Treatment of Arterial Pathology. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024;32(4):645–656. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ633870>

Received: 05.07.2024

Accepted: 02.10.2024

Published: 31.12.2024

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБ — атеросклеротические бляшки
БАП — балонная ангиопластика
ИБС — ишемическая болезнь сердца
КА — коронарная артерия
КИНК — критическая ишемия нижних конечностей
ЛАП — лазерная ангиопластика
ЛЭ — лазерная эндартерэктомия
ОКС — острый коронарный синдром

ОЭ — открытая эндартерэктомия
ПА — периферическая артерия
УЭ — успешная эндартерэктомия
ЧКВ — чрескожное коронарное вмешательство
ЭЛАП — эксимерная лазерная ангиопластика
ЭЛКА — эксимерная лазерная коронарная атерэктомия
TIMI — Thrombolysis in Myocardial Infarction (шкала «Тромболитиз при инфаркте миокарда»)

ВВЕДЕНИЕ

Использование лазеров в сердечно-сосудистой хирургии для удаления атеросклеротических бляшек (АБ) в артериях было впервые предложено E. P. McGaff, et al. в 1963 г. [1] спустя три года после изобретения лазера T. Maiman. В 1992–1993 гг. Управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств Соединенных Штатов Америки одобрило производство лазеров LAIS Dyer 200+ (Advanced Interventional Systems, Irvine) и Spectranetics CVX-300 (Spectranetics, Colorado Springs). К середине 1994 г. во всем мире было выполнено более 15 тыс. эксимер-лазерных ангиопластик, подавляющее большинство на коронарных артериях (КА). С тех пор было проведено множество исследований и клинических испытаний с использованием различных длин волн лазера и систем доставки для реканализации стенозов периферических артерий (ПА) и КА.

Сердечно-сосудистые заболевания занимают ведущую позицию в структуре летальности во всём мире. Лазерные технологии позволяют улучшить результаты эндоваскулярного и хирургического лечения различных форм ишемической болезни сердца (ИБС) и заболеваний ПА. Несмотря на это, одним из основных ограничений использования лазеров в сердечно-сосудистой хирургии в лечении атеросклероза является сохраняющийся высокий уровень периоперационных осложнений [2]. Наиболее частыми из них являются перфорация артерии, рестеноз, тромбоз, расслоение и дистальная эмболия [3]. Однако с внедрением новых лазерных технологий и повышением опыта частота этих осложнений уменьшилась [4]. Еще одним ограничением лазера является слабый эффект абляции на кальцифицированные бляшки, что требует использования дополнительных устройств или выполнения гибридного вмешательства.

Опасения по поводу термического повреждения, наблюдаемого при лазерной ангиопластике, привели к разработке систем прерывистой лазерной ангиопластики. Лазеры с использованием непрерывной волны аргонового, Nd:YAG или CO₂-лазеров vaporизируют

ткань с термическим повреждением. Напротив, подача лазерной энергии в импульсном или прерывистом режиме устраняет грубые и микроскопические признаки термического повреждения [5]. Всё это позволяет снизить частоту ретромбоза и других осложнений после проведения лазерной ангиопластики.

Цель — проанализировать имеющиеся в настоящее время данные об использовании лазеров в лечении артериальной патологии.

Использование лазера при ИБС

Эксимерная лазерная коронарная атерэктомия (ЭЛКА) — давно зарекомендовавшая себя процедура, которая может применяться во время чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ). Использование лазеров в лечении ИБС было изучено при различных ее формах: остром коронарном синдроме (ОКС) [6], лечении рестенозов стентов [7], хронических окклюзиях КА. В регистре LAVA наиболее распространенным показанием к ЭЛКА были поражения КА с невозможностью реканализации (43,8%), за которыми следуют невозможность адекватного раскрытия стента (40,8%) и тромботические поражения (12,3%) с высоким показателем технического успеха (90,0%) при низкой частоте серьезных нежелательных сердечных событий (3,45%) [4].

С увеличением числа сложных коронарных вмешательств ЭЛКА стала ключевым инструментом, позволяющим воздействовать на АБ. A. J. Kirtane, et al. (2016) сообщили, что в период 2010–2016 гг. было выполнено около 50 тыс. лазерных ангиопластик на КА [8]. Единственной лазерной системой, одобренной Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств Соединенных Штатов Америки для выполнения коронарной ангиопластики, является CVX-300 (Spectranetics). В качестве активной среды она использует хлорид ксенона. Излучаемый свет имеет длину волны 308 нм с глубиной проникновения в ткани до 30 мкм. Было показано, что взаимодействие ультрафиолетового луча с длиной волны 308 нм и тромбоцитов приводит к снижению их агрегации и уменьшению выработки тромбоцитарных факторов [9]. Кроме этого,

эксимерный лазер обладает способностью растворять тромботические массы и удалять АБ из КА. Преимуществом использования лазера при ОКС является быстрое удаление тромба за счет вапоризации прокоагулянтных факторов и снижение риска дистальной эмболизации [10]. N. Shibata, et al. (2020) также показывают безопасность и эффективность использования эндоваскулярной лазерной ангиопластики у пациентов с внутрикоронарным тромбозом и подъемом сегмента ST [11].

Применение лазера при ОКС

Клинические данные, подтверждающие применение ЭЛКА при ОКС, остаются ограниченными. Крупнейшим на сегодняшний день является многоцентровое исследование CARMEL. В исследование был включен 151 пациент с ОКС, у 65,0% из которых имелся протяженный тромб в инфаркт-связанной артерии. После ЭЛКА степень кровотока по шкале TIMI (англ.: *Thrombolysis in Myocardial Infarction*, тромболитиз при инфаркте миокарда) повысилась с 1,2 до 2,8, с соответствующим снижением ангиографического стеноза (с 83,0% до 52,0%). Была отмечена низкая частота (8,6%) серьезных неблагоприятных коронарных событий [12].

В рандомизированном исследовании Laser AMI (M. Dorr, et al., 2007 г.) приняли участие 66 пациентов с острым инфарктом миокарда. Использовалась оптимальная техника лазерной ангиопластики с промыванием физиологическим раствором и медленным продвижением (0,2–0,5 мм/с) проводника. Большинство поражений лечили методом «лазерная ангиопластика–стентирование» (только двум пациентам потребовалась баллонная ангиопластика перед стентированием). Первичной ангиографической конечной точкой был поток TIMI. Показатель TIMI увеличился с $0,2 \pm 0,4$ на исходном уровне до $2,65 \pm 0,5$ после лазерной терапии и $2,9 \pm 0,3$ после установки стента (оба показателя $p < 0,01$ по сравнению с исходным уровнем). Феномен *no-reflow* возник в 11,0% случаев после лазерного воздействия, а в одном случае произошло расслоение. Интрапроцедурных смертей не было, а выживаемость без осложнений составила 95,0% в течение 6 мес., при этом ремоделирование левого желудочка произошло у 8,0% пациентов [13].

Также была изучена роль ЭЛКА у пациентов с поздней ревааскуляризацией (от 12 до 72 ч.) после возникновения ОКС с подъемом сегмента ST. Было показано, что феномен *no-reflow* был значительно ниже при использовании лазерной ангиопластики по сравнению со стандартной методикой (17,8% против 52,2%; $p = 0,019$). Кроме этого, ЭЛКА может быть полезна в снижении частоты дистальной эмболии [14]. Кроме ангиографических характеристик, ЭЛКА при ОКС позволяет улучшить функциональные показатели миокарда, уменьшить показатели маркеров некроза миокарда [15].

Использование лазеров при рестенозе стента

Несмотря на достижения в ЧКВ и наличие баллонных катетеров высокого давления, рестеноз стента, по-прежнему является одним из наиболее частых осложнений в отдаленном периоде. От 10,0% до 50,0% пациентов, которым были установлены голометаллические стенты, имеют рестеноз [16]. В последнее время появляются публикации, показывающие эффективность использования лазерной ангиопластики в предотвращении и лечении рестенозов стентов.

S. Hirose, et al. (2016) показали, что эндоваскулярная лазерная ангиопластика относительно безопасна и выполнима у пациентов с рестенозом стента коронарных артерий по сравнению только с баллонной дилатацией [17]. По сравнению с голометаллическими стентами внедрение стентов с лекарственным покрытием значительно улучшило отдаленные результаты [18]. S. Hajibandeh, et al. (2019) предложили комбинацию стентов с лекарственным покрытием, лазерную и баллонную ангиопластику со значительным улучшением клинического эффекта [19]. Было показано, что баллоны с лекарственным покрытием паклитакселем и лазерная ангиопластика являются безопасными и эффективными альтернативами в современном лечении рестеноза стентов [20].

Ряд авторов отмечают, что результаты баллонной ангиопластики изолированно уступают результатам баллонной ангиопластики в сочетании с лазерной ангиопластикой [21].

Использование лазеров при сложных поражениях КА

Еще одной из проблем эндоваскулярной хирургии КА являются чрескожные вмешательства при кальцинированных АБ и хронических окклюзиях. С помощью лазерной ангиопластики возможно выполнить реканализацию хронической окклюзии с последующей баллонной ангиопластикой и имплантацией стента [22]. Однако при выраженном кальцинозе эффективность эксимерной лазерной ангиопластики значительно снижается. В связи с этим одним из основных методов лечения кальцифицированных поражений остается ротационная атерэктомия [23]. Сочетание ротационной эндартерэктомии и лазерной ангиопластики коронарных артерий у пациентов с кальцинированным поражением КА в литературе называется RASER. Было показано, что использование комбинированной методики имеет преимущества по сравнению с изолированной ротационной атерэктомией [24].

В исследовании J. Karacsonyi, et al. (2021) [25] при хронических окклюзиях, которые невозможно вылечить с помощью стандартных методик, использование лазера было связано с более высокими

показателями технического (91,5% против 83,1%, $p = 0,010$) и процедурного (88,9% против 81,6%, $p = 0,033$) успеха и аналогичной частотой серьезных неблагоприятных сердечных событий (3,92% против 3,51%, $p = 0,805$). Использование лазера было связано с более длительным временем процедуры (169 [109, 231] против 130 [87, 199], $p < 0,0001$) и временем рентгеноскопии (64 [40, 94] против 50 [31, 81], $p = 0,003$).

Таким образом, именно сочетание лазерной ангиопластики с другими методами лечения ИБС обеспечивает наилучшие результаты как в ближайшем, так и отдаленном периоде.

Использование лазера при неполном раскрытии стента

Еще одним показанием для использования лазера в хирургическом лечении ИБС является невозможность раскрытия стента с помощью стандартных методик [26]. ЭЛКА остается единственным методом, который способен уменьшить лежащую в основе резистентную АБ путем подачи энергии на поверхность стента над ней, без нарушения архитектуры стента. Это приводит к снижению общего сопротивления, обеспечивая последующее полное раскрытие стента, и снижает риск тромбоза, улучшая эндотелиализацию стента [26].

Этот эффект может быть оптимизирован за счет использования инъекции контраста во время лазерной ангиопластики [27]. T. Lee, et al. (2019) было продемонстрировано, что использование ЭЛКА было связано с большей конечной минимальной площадью просвета артерии (4,76 мм² против 3,46 мм², $p < 0,01$) и увеличенной площадью ранее имплантированного стента (6,15 мм² против 4,65 мм², $p < 0,01$) по данным оптической когерентной томографии [28].

Осложнения после ЭЛКА

Общий уровень осложнений после проведения ЭЛКА со временем снизился до 3,5%, достигая 33,0% в 1990-х гг. [24]. Это улучшение, вероятно, связано с усовершенствованными технологиями доставки катетера, увеличенной доступностью размеров катетера, а также опытом операторов (выбор скорости и частоты импульса, методов инфузии физиологического раствора, крови или контрастного вещества).

Средняя частота осложнений, оцениваемая по доступной литературе, с течением времени была следующей: перфорация — 0,76%, феномен *no-reflow* — 1,49%, расслоение артерии — от 6,9% до 8,8%, рестеноз — 4,6%, тромбоз — 0,5%, окклюзия боковой ветви — 0,28% и дистальная эмболия — 1,48%. Наиболее часто осложнения при ЭЛКА встречаются при реканализации хронической окклюзии [3].

Несмотря на низкие показатели осложнений, ЭЛКА обладает рядом недостатков. Во-первых, в связи

с большей длительностью процедуры и необходимостью визуализации пациентам вводят большее количество контрастного вещества, что может привести к почечным осложнениям. Во-вторых, имеется слабый эффект абляции на кальцифицированные бляшки, что требует дополнительного использования различных устройств для атерэктомии.

Таким образом, ЭЛКА представляет собой эффективное устройство для атерэктомии с уникальными преимуществами. В современную эпоху увеличения числа сложных ЧКВ данная методика улучшит арсенал современного интервенционного хирурга и улучшит ближайшие и отдаленные результаты.

Использование лазеров при заболеваниях ПА

К стандартным методам хирургического лечения заболеваний артерий нижних конечностей относятся открытые и эндоваскулярные методики или их сочетание (гибридные операции). Одним из эндоваскулярных методов лечения заболеваний ПА является баллонная ангиопластика (БАП). Основным недостатком данного метода является высокая частота рестеноза/окклюзии сосуда, которая обычно возникает через 3–12 мес. Частота рестеноза варьируется от 6,0% до 60,0% и зависит от локализации, типа и длины поражения [29].

Считается, что основной причиной рестеноза является повреждение стенки артерии при проведении БАП. В частности, во время раздувания баллона происходит чрезмерное растяжение, компрессия и разрыв АБ. Эта локальная травма приводит к выработке факторов роста, которые стимулируют пролиферацию эндотелиальных и гладкомышечных клеток, развитие гиперплазии интимы и рестеноза артерии [30]. Было показано, что лучшие отдаленные результаты ангиопластики достигаются, если АБ удаляются, а не сдавливаются и разрушаются. В настоящее время эти методы называются «методами удаления» и включают эндартерэктомию, механическую тромбэктомию и лазерную ангиопластику (ЛАП).

Основным методом лечения рестеноза в настоящее время является повторное ЧКВ либо открытое оперативное лечение. Особый интерес в настоящее время относится к использованию эксимерной лазерной ангиопластики (ЭЛАП) в лечении данной проблемы. Использование эксимерного лазера может устранить окклюзию сосуда, а также облегчить доставку устройства или БАП. Кроме того, ЛАП в сочетании с БАП снижает частоту баллонной баротравмы, расслоения, гиперплазии стенки сосуда и необходимость имплантации стента [31].

EXCITE ISR (Excimer Laser Randomized Controlled Study for Treatment of Femoropopliteal In-Stent Restenosis) было первым крупным проспективным рандомизированным многоцентровым исследованием,

в котором сравнивались ЭЛАП в сочетании с БАП и только БАП. В нем были проанализированы 250 пациентов с рестенозом стента в бедренно-подколенном сегменте. Пациенты были рандомизированы на две группы: ЭЛАП + БАП и только БАП в соотношении 2:1. Средняя длина поражения составила $19,6 \pm 12,0$ см и $19,3 \pm 11,9$ см соответственно. Группа ЭЛАП + БАП продемонстрировала более высокий и значительный процент успеха процедуры — 93,5% по сравнению с БАП — 82,7% ($p = 0,01$), со значительно меньшим количеством процедурных осложнений. 6-месячная свобода от повторной реваскуляризации была значительно выше в группе ЭЛАП + БАП и составила 73,5% по сравнению с 51,8% в группе БАП ($p < 0,005$), а частота серьезных нежелательных явлений в течение 30 дней составила 5,8% против 20,5% ($p < 0,001$) соответственно. ЭЛАП + БАП были связаны с 52,0% снижением повторной реваскуляризации [32].

В многоцентровом проспективном исследовании SALVAGE [33] изучалась безопасность и эффективность лечения рестеноза бедренно-подколенного сегмента с помощью эксимерного лазера с последующей имплантацией эндопротеза VIABAHN. В исследование были включены 27 пациентов. Средняя длина поражения составила $20,7 \pm 10,3$ см. Технический успех был достигнут в 100,0% случаев. Первичная проходимость через 12 мес. составила 48,0%. Лодыжечно-плечевой индекс увеличился с $0,58 \pm 0,24$ исходно до $0,90 \pm 0,17$ через 12 мес. Наблюдалось улучшение всех параметров качества жизни. Показатель повторной реваскуляризации за 12 мес. был низким — 17,4%.

Стоит отметить, что ЭЛАП применяется не только в лечении рестенозов после эндоваскулярных вмешательств, но и в качестве первичного вмешательства. В исследовании D. Scheinert, et al. (2001) [34] 411 хронических окклюзий поверхностной бедренной артерии средней длиной $19,4 \pm 6,0$ см были устранены с помощью ЭЛАП с дополнительной БАП или стентированием. Технический успех составил 90,5%. Осложнения включали острую повторную окклюзию (1,0%), перфорацию (2,2%) и дистальную эмболизацию (3,9%). Показатели первичной и вторичной проходимости через 1 год составили 65,1% и 75,9% соответственно.

H. J. Steinkamp, et al. (2003) [35] опубликовали исследование с участием 215 пациентов с окклюзией подколенной артерии средней длиной 10,4 см. В этом проспективном нерандомизированном исследовании сравнивалась ЭЛАП с последующей БАП (127 пациентов) и только БАП (88 пациентов). Средний период наблюдения составил 36 мес., а показатели первичной и вторичной проходимости 21,7% и 50,8% у пациентов, перенесших ЭЛАП + БАП, и 16,3% и 35,2% соответственно в группе БАП. Однако статистически значимых различий между группами обнаружено не было.

В многоцентровое проспективное исследование CELLO были включены 65 пациентов. 52 пациента со стенозом бедренно-подколенного сегмента ($> 70,0\%$) и 13 пациентов с окклюзией бедренно-подколенного сегмента. Первичной конечной точкой было уменьшение диаметра стеноза, измеренное с помощью ультразвука после лазерной абляции. Исходно (до ЭЛАП) стеноз составлял $77,0 \pm 15,0\%$ и был уменьшен до $34,7 \pm 17,8\%$ после ЭЛАП. Дополнительная БАП была выполнена у 64,6%, БАП и стентирование — у 23,1%. 12,3% не получали никакого последующего лечения после ЭЛАП. Показатели выживаемости (рестеноз $< 50,0\%$) составили 59,0% и 54,0% через 6 и 12 мес. соответственно [36].

Пациенты с наличием критической ишемии нижних конечностей (КИНК) зачастую имеют тяжелую коморбидную патологию, высокий операционный риск и диффузное поражение артерий с невозможностью выполнения шунтирующих операций [37].

Целью многоцентрового исследования LACI (Laser Angioplasty for Critical Limb Ischemia) было изучение эффективности и безопасности ЛАП у пациентов с КИНК. Было проведено лечение 155 конечностей с высоким риском ампутации. Все пациенты имели крайне высокий риск открытого оперативного лечения из-за сопутствующих кардиореспираторных заболеваний.

В общей сложности было проведено вмешательство на 426 бедренно-подколенных и инфрапоплитеальных поражениях. После ЭЛАП во всех случаях было проведено ЧКВ. Стент был имплантирован у 45,0%. Успех процедуры, определяемый как $< 50,0\%$ остаточного стеноза, был достигнут в 86,0% случаев. При 6-месячном наблюдении сохранение конечности было достигнуто в 92,0% случаев [37].

В другое многоцентровое проспективное исследование, проведенное M. Boisers, et al. (2005), были включены 48 пациентов с критической ишемией и высоким риском или неподходящей анатомией для выполнения шунтирующих операций. Лечение заключалось в прохождении окклюзии или стеноза с помощью проводника с последующей ЛАП с дополнительной БАП или стентированием. Сохранение конечности через 6 мес. было достигнуто у 90,5% со свободой от критической ишемии у 86,0% [38].

В ретроспективном исследовании Y. P. Yang, et al. (2023), в которое вошли 70 пациентов с критической ишемией и окклюзионным поражением артерий ниже паховой связки, выполнялась ЛАП с использованием эксимерного лазера и баллона с низким давлением. Технический успех был достигнут у 87,1%, а показатель спасения конечностей через 6 мес. — 78,6%. Более высокий класс по Рутерфорду ассоциировался с неблагоприятными отдаленными результатами [39].

Преимущества и недостатки ЛАП при заболеваниях ПА

ЛАП является безопасным методом, поскольку частота осложнений не превышает таковой при стандартной БАП. Перфорация артерий при ЭЛАП встречается относительно редко (в среднем 2,0% случаев) [37]. Дистальная эмболизация колеблется от 2,5% до 9,0% в более крупных исследованиях [40].

Преимуществом ЛАП является более легкое прохождение через хронические и кальцинированные окклюзии. Согласно литературе, прохождение таких окклюзий с помощью стандартных проводников может привести к неудаче в 8,0–34,0%. При ЭЛАП в таких случаях часто используется методика «шаг за шагом», при которой лазерное излучение применяется одновременно с проводником для реканализации окклюзии. При этом продвижение лазерных катетеров чаще происходит внутри просвета сосуда, а не субинтимально [41].

У пациентов с КИНК в некоторых более крупных исследованиях сообщалось о положительных результатах, позволяющих избежать ампутации с помощью методики ЭЛАП + БАП. Однако эти исследования не были рандомизированными, и период наблюдения был относительно коротким (6 мес.) [37].

К недостаткам ЭЛАП относится то, что современные многоволоконные лазерные катетеры (даже их модификации) не могут создать достаточно широкий канал в закупоренной артерии. Это требует последующей баллонной дилатации, что может повлиять на долгосрочные результаты ЛАП. Также недостатком ЛАП является более высокая стоимость по сравнению с обычной БАП/стентированием [41].

Открытая лазерная эндартерэктомия

Исходя из вышеперечисленных исследований, использование лазерных технологий в эндоваскулярном лечении пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями является многообещающей методикой. Однако использование лазера в открытой хирургии изучено недостаточно. Открытая эндартерэктомия (ОЭ) является одним из фундаментальных методов реконструктивной сосудистой хирургии. Успешная эндартерэктомия (УЭ) зависит от формирования гладкой поверхности на артерии и фиксирования зоны перехода для снижения риска расслоения. Лазерная эндартерэктомия (ЛЭ) является новой модификацией общепринятой методики, которая позволяет достичь данных параметров [42], однако ее изучение на людях в настоящее время ограничено.

J. Eugene, et al. (1985) [42] проводили ОЭ у кроликов с использованием аргонового лазера с длиной волны от 488 нм до 514 нм. В результате исследования

авторы сделали вывод, что благодаря лазеру можно выполнить прецизионную УЭ. Поскольку процедура ОЭ выполняется под контролем зрения, постольку при ее проведении частота осложнений сводится к минимуму. Данные электронно-микроскопического исследования выявляли гладкую поверхность после выполнения эндартерэктомии.

В апреле 1988 г. J. Eugene начал исследование по изучению ЛЭ у пациентов с заболеванием брахиоцефальных артерий. Были прооперированы 10 пациентов. Лазерное излучение использовалось для рассечения атеромы и фиксации концевых участков. Остаточные атероматозные образования были вапоризированы с помощью лазерного воздействия. Средняя длина эндартерэктомии составила $3,9 \pm 1,1$ см. Среднее время пережатия было $22,5 \pm 7,9$ мин.

При анализе осложнений не было выявлено перфораций артерий и других повреждений, вызванных воздействием лазера. Послеоперационные наблюдения, длившиеся в среднем 12 мес. и варьировавшиеся от 5 мес. до 19 мес., показали удовлетворительные результаты. Последующие ангиографические обследования не проводились [43]. Аналогичные результаты были получены и при лечении пациентов с атеросклерозом артерий нижних конечностей [44]. К сожалению, в дальнейшем масштабных исследований по изучению ОЭ у пациентов с заболеванием ПА не проводилось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам анализа современной литературы (табл. 1), использование лазера уверенно занимает свою нишу в эндоваскулярном лечении острого коронарного синдрома, хронических окклюзий коронарных и периферических артерий, позволяет оптимизировать результаты стентирования и баллонной ангиопластики. Одним из основных недостатков лазерной ангиопластики является то, что процедура в большинстве случаев сочетается со стентированием и/или баллонной ангиопластикой и требует большего введения контрастного вещества и времени операции.

Таким образом, как эксимерлазерная коронарная атерэктомия, так и ангиопластика периферических артерий представляют собой эффективные методы лечения с уникальными преимуществами. В современную эпоху увеличения числа сложных эндоваскулярных вмешательств данные методики расширят арсенал рентгенэндоваскулярных хирургов и улучшат как ближайшие, так и отдаленные результаты.

Масштабных исследований по открытой лазерной эндартерэктомии не проводилось.

Дальнейшее изучение воздействия лазера на атеросклеротическую бляшку и стенку сосуда при открытой эндартерэктомии является перспективным направлением и, возможно, позволит снизить частоту

Таблица 1. Сравнительная эффективность использования эксимерного лазера по данным разных авторов

Авторы	Год публикации	Вид вмешательства	Число наблюдений	Эффективность методики	Недостатки	Преимущества
<i>Ишемическая болезнь сердца</i>						
O. Topaz, et al. [12]	2004	ЭЛКА	151	93,3%	–	Низкая частота неблагоприятных коронарных событий (8,6%)
M. Dorr, et al. [13]	2007	ЭЛКА	66	96,6%	No-reflow (11,0%) Расслоение артерии (1,51%)	–
H. Kujiraoka, et al [14]	2023	ЭЛКА	319	–	–	Снижение частоты феномена «no-reflow», дистальной эмболии
J. Karacsonyi, et al. [25]	2021	RASER	23	91,5%	Длительное время процедуры и рентгеноскопии	Низкая частота неблагоприятных сердечных событий (3,92%)
T. Lee, et al. [28]	2019	ЭЛКА	81	–	–	Увеличивает конечную минимальную площадь просвета артерии и площадь ранее имплантированного стента
C. McQuillan, et al. [3]	2021	ЭЛКА	331	–	Перфорация (0,76%) Феномен «no-reflow» (1,49%) Расслоение артерии (6,9–8,8%) Рестеноз (4,6%) Тромбоз (0,5%) Окклюзия боковой ветви (0,28%) Дистальная эмболия (1,48%)	–
<i>Заболевания артерий нижних конечностей</i>						
E. J. Dippel, et al. [32]	2015	ЭЛА + БАП	250	93,5%	Необходимость использования баллонной ангиопластики	Снижение числа процедурных осложнений, снижение частоты повторной реваскуляризации в 2 раза, улучшение отдаленных результатов
J. R. Jr Laird, et al. [33]	2012	ЭЛА + имплантация эндопротеза	27	100,0%	–	–
D. Scheinert, et al. [34]	2001	ЭЛА + БАП/стен-тирование	411	90,5%	Острая повторная окклюзия (1,0%) Перфорация (2,2%) Дистальная эмболизация (3,9%)	–
H. J. Steinkamp, et al. [35]	2003	ЭЛА + БАП	215	–	Первичная и вторичная проходимость сопоставима с БАП	–
R. M. Dave, et al. [36]	2009	ЭЛА/ЭЛА + БАП	65	59,0% (через 6 месяцев) 54,0% (через 12 месяцев)	–	–
J. R. Laird, et al. [37]	2006	ЭЛА + БАП/стен-тирование	426	86,0%	Перфорация артерии (2,0%)	Сохранение конечности в отдаленном периоде (6 месяцев) у 92,0%
M. Boisiers, et al. [38]	2005	ЭЛА + БАП/стен-тирование	48	–	–	Сохранение конечности через 6 месяцев 90,5% Свобода от критической ишемии через 6 месяцев 86,0%
Y.-P. Yang, et al. [39]	2023	ЭЛА + БАП	70	87,1%	–	Сохранение конечности через 6 месяцев 78,6%

периоперационных осложнений и улучшить отдаленные результаты хирургического лечения заболеваний периферических артерий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: *Староверов И. Н.* — концепция исследования, редактирование; *Ильин М. В.* — концепция исследования, редактирование; *Тихов А. В.* — концепция и дизайн исследования, редактирование; *Чураков С. О.* — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; *Лончакова О. М.* — редактирование; *Джавоян М. Ф.* — редактирование. Авторы подтверждают

соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.
Conflict of interests. The authors declares no conflicts of interests.

Contribution of the authors: *I. N. Staroverov* — concept of study, editing; *M. V. Il'in* — concept of study, editing; *A. V. Tikhov* — concept and design of study, editing; *S. O. Churakov* — concept and design of study, collection and analysis of data, writing the text; *O. M. Lonchakova* — editing; *M. F. Dzhevoyan* — editing. The authors confirm the correspondence of their authorship to the ICMJE International Criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- McGuff P.E., Bushnell D., Soroff H.S., et al. Studies of the surgical applications of laser (light amplification by stimulated emission of radiation) // *Surg. Forum*. 1963. Vol. 14. P. 143–145.
- Chatelain P., Meier B., de la Serna F., et al. Success with coronary angioplasty as seen at demonstrations of procedure // *Lancet*. 1992. Vol. 340, No. 8829. P. 1202–1205. doi: [10.1016/0140-6736\(92\)92900-z](https://doi.org/10.1016/0140-6736(92)92900-z)
- McQuillan C., Farag M., Egred M. Excimer Laser Coronary Angioplasty: Clinical Applications and Procedural Outcome, in a Large-Volume Tertiary Centre // *Cardiology*. 2021. Vol. 146, No. 2. P. 137–143. doi: [10.1159/000513142](https://doi.org/10.1159/000513142)
- Karacsonyi J., Armstrong E.J., Truong H.T.D., et al. Contemporary Use of Laser During Percutaneous Coronary Interventions: Insights from the Laser Veterans Affairs (LAVA) Multicenter Registry // *J. Invasive Cardiol*. 2018. Vol. 30, No. 6. P. 195–201.
- Deckelbaum L.I., Isner J.M., Donaldson R.F., et al. Reduction of laser-induced pathologic tissue injury using pulsed energy delivery // *Am. J. Cardiol*. 1985. Vol. 56, No. 10. P. 662–667. doi: [10.1016/0002-9149\(85\)91031-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(85)91031-8)
- Faria D., Jeronimo A., Escaned J., et al. Subacute right coronary artery thrombosis treated by using Excimer Laser Coronary Angioplasty: a case report // *Eur. Heart J. Case Rep*. 2023. Vol. 7, No. 10. P. ytad499. doi: [10.1093/ehjcr/ytad499](https://doi.org/10.1093/ehjcr/ytad499)
- Шевченко Ю.Л., Ермаков Д.Ю., Масленников М.А., и др. Тактика эндоваскулярного лечения больных ишемической болезнью сердца с рецидивом внутривенного рестеноза коронарных артерий с использованием стент-систем второго и третьего поколения и покрытых паклитакселем баллонных катетеров // *Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова*. 2024. Т. 32, № 1. С. 5–16. doi: [10.17816/PAVLOVJ625996](https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ625996)
- Kirtane A.J., Doshi D., Leon M.B., et al. Treatment of Higher-Risk Patients With an Indication for Revascularization: Evolution Within the Field of Contemporary Percutaneous Coronary Intervention // *Circulation*. 2016. Vol. 134, No. 5. P. 422–431. doi: [10.1161/circulationaha.116.022061](https://doi.org/10.1161/circulationaha.116.022061)
- Topaz O., Bernardo N.L., Shah R., et al. Effectiveness of excimer laser coronary angioplasty in acute myocardial infarction or in unstable

- angina pectoris // *Am. J. Cardiol*. 2001. Vol. 87, No. 7. P. 849–855. doi: [10.1016/s0002-9149\(00\)01525-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(00)01525-3)
- Nishino M., Mori N., Takiuchi S., et al. Indications and outcomes of excimer laser coronary atherectomy: Efficacy and safety for thrombotic lesions — The ULTRAMAN registry // *J. Cardiol*. 2017. Vol. 69, No. 1. P. 314–319. doi: [10.1016/j.jjcc.2016.05.018](https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2016.05.018)
- Shibata N., Takagi K., Morishima I., et al. The impact of the excimer laser on myocardial salvage in ST-elevation acute myocardial infarction via nuclear scintigraphy // *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2020. Vol. 36, No. 1. P. 161–170. doi: [10.1007/s10554-019-01690-x](https://doi.org/10.1007/s10554-019-01690-x)
- Topaz O., Ebersole D., Das T., et al. Excimer laser angioplasty in acute myocardial infarction (the CARMEL multicenter study) // *Am. J. Cardiol*. 2004. Vol. 93, No. 6. P. 694–701. doi: [10.1016/j.amjcard.2003.11.050](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2003.11.050)
- Dörr M., Vogelgesang D., Hummel A., et al. Excimer laser thrombus elimination for prevention of distal embolization and no-reflow in patients with acute ST elevation myocardial infarction: results from the randomized LaserAMI study // *Int. J. Cardiol*. 2007. Vol. 116, No. 1. P. 20–26. doi: [10.1016/j.ijcard.2006.03.024](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2006.03.024)
- Kujiraoka H., Tsuchiyama T., Inagaki D., et al. Comparison of the efficacy of excimer laser coronary angioplasty for ST-segment elevation myocardial infarction with onset-to-balloon time // *Lasers Med. Sci*. 2023. Vol. 38, No. 1. P. 126. doi: [10.1007/s10103-023-03789-z](https://doi.org/10.1007/s10103-023-03789-z)
- Shimojo K., Shibata N., Takagi K., et al. Excimer laser coronary angioplasty versus manual aspiration thrombectomy in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: analyzed by nuclear scintigraphy // *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2023. Vol. 39, No. 4. P. 831–842. doi: [10.1007/s10554-022-02771-0](https://doi.org/10.1007/s10554-022-02771-0)
- Nicolais C., Lakhter V., Virk H.U.H., et al. Therapeutic Options for In-Stent Restenosis // *Curr. Cardiol. Rep*. 2018. Vol. 20, No. 2. P. 7. doi: [10.1007/s11886-018-0952-4](https://doi.org/10.1007/s11886-018-0952-4)
- Hirose S., Ashikaga T., Hatano Y., et al. Treatment of in-stent restenosis with excimer laser coronary angioplasty: benefits over scoring balloon angioplasty alone // *Lasers Med. Sci*. 2016. Vol. 31, No. 8. P. 1691–1696. doi: [10.1007/s10103-016-2039-z](https://doi.org/10.1007/s10103-016-2039-z)

18. Sethi A., Malhotra G., Singh S., et al. Efficacy of various percutaneous interventions for in-stent restenosis: comprehensive network meta-analysis of randomized controlled trials // *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2015. Vol. 8, No. 11. P. e002778. doi: [10.1161/circinterventions.115.002778](https://doi.org/10.1161/circinterventions.115.002778)
19. Hajibandeh S., Hajibandeh S., Antoniou S.A., et al. Treatment strategies for in-stent restenosis in peripheral arterial disease: a systematic review // *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2019. Vol. 28, No. 2. P. 253–261. doi: [10.1093/icvts/ivy233](https://doi.org/10.1093/icvts/ivy233)
20. Hibui T., Tsuchiyama T., Masuda S., et al. Excimer laser coronary atherectomy prior to paclitaxel-coated balloon angioplasty for de novo coronary artery lesions // *Lasers Med. Sci.* 2021. Vol. 36, No. 1. P. 111–117. doi: [10.1007/s10103-020-03019-w](https://doi.org/10.1007/s10103-020-03019-w)
21. Pereira G.T.R., Dallan L.A.P., Vergara-Martel A., et al. Treatment of In-Stent Restenosis Using Excimer Laser Coronary Atherectomy and Bioresorbable Vascular Scaffold Guided by Optical Coherence Tomography // *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2021. Vol. 22. P. 44–49. doi: [10.1016/j.carrev.2020.05.006](https://doi.org/10.1016/j.carrev.2020.05.006)
22. Topaz O., Das T., Dahm J., et al. Excimer laser revascularisation: current indications, applications and techniques // *Lasers Med. Sci.* 2001. Vol. 16, No. 2. P. 72–77. doi: [10.1007/pl00011345](https://doi.org/10.1007/pl00011345)
23. Mangieri A., Jabbour R.J., Tanaka A., et al. Excimer laser facilitated coronary angioplasty of a heavy calcified lesion treated with bioresorbable scaffolds // *J. Cardiovasc. Med. (Hagerstown)*. 2016. Vol. 17, Suppl. 2. P. e149–e150. doi: [10.2459/jcm.0000000000000397](https://doi.org/10.2459/jcm.0000000000000397)
24. Fernandez J.P., Hobson A.R., McKenzie D., et al. Beyond the balloon: excimer coronary laser atherectomy used alone or in combination with rotational atherectomy in the treatment of chronic total occlusions, non-crossable and non-expandable coronary lesions // *EuroIntervention*. 2013. Vol. 9, No. 2. P. 243–250. doi: [10.4244/eijv9i2a40](https://doi.org/10.4244/eijv9i2a40)
25. Karacsonyi J., Alaswad K., Choi, J.W., et al. Laser for balloon uncrossable and undilatable chronic total occlusion interventions // *Int. J. Cardiol.* 2021. Vol. 336. P. 33–37. doi: [10.1016/j.ijcard.2021.05.015](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.05.015)
26. Nan J., Joseph T.A., Bell M.R., et al. Outcomes of excimer laser-contrast angioplasty for stent underexpansion // *EuroIntervention*. 2021. Vol. 17, No. 1. P. 78–80. doi: [10.4244/eij-d-19-01074](https://doi.org/10.4244/eij-d-19-01074)
27. Karacsonyi J., Danek B.A., Karatasakis A., et al. Laser Coronary Atherectomy During Contrast Injection for Treating an Under-expanded Stent // *JACC Cardiovasc. Interv.* 2016. Vol. 9, No. 15. P. e147–e148. doi: [10.1016/j.jcin.2016.04.040](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.04.040)
28. Lee T., Shlofmitz R.A., Song L., et al. The effectiveness of excimer laser angioplasty to treat coronary in-stent restenosis with peri-stent calcium as assessed by optical coherence tomography // *EuroIntervention*. 2019. Vol. 15, No. 3. P. e279–e288. doi: [10.4244/eij-d-18-00139](https://doi.org/10.4244/eij-d-18-00139)
29. Norgren L., Hiatt W.R., Dormandy J.A., et al. Inter-Society Consensus for Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II) // *J. Vasc. Surg.* 2007. Vol. 45, No. 1, Suppl. S. P. S5A–S67A. doi: [10.1016/j.jvs.2006.12.037](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.12.037)
30. Neville R.F., Sidawy A.N. Myointimal hyperplasia: basic science and clinical considerations // *Semin. Vasc. Surg.* 1998. Vol. 11, No. 3. P. 142–148.
31. Shammas N.W., Aasen N., Bailey L., et al. Two Blades-Up Runs Using the JetStream Navitus Atherectomy Device Achieve Optimal Tissue Debulking of Nonocclusive In-Stent Restenosis: Observations From a Porcine Stent/Balloon Injury Model // *J. Endovasc. Ther.* 2015. Vol. 22, No. 4. P. 518–524. doi: [10.1177/1526602815592135](https://doi.org/10.1177/1526602815592135)
32. Dippel E.J., Makam P., Kovach R., et al. Randomized controlled study of excimer laser atherectomy for treatment of femoropopliteal in-stent restenosis: initial results from the EXCITE ISR trial (EXCimer Laser Randomized Controlled Study for Treatment of Femoropopliteal In-Stent Restenosis) // *JACC Cardiovasc. Interv.* 2015. Vol. 8, No. 1, Pt. A. P. 92–101. doi: [10.1016/j.jcin.2014.09.009](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.09.009)
33. Laird J.R. Jr, Yeo K.K., Rocha-Singh K., et al. Excimer laser with adjunctive balloon angioplasty and heparin-coated self-expanding stent grafts for the treatment of femoropopliteal artery in-stent restenosis: twelve-month results from the SALVAGE study // *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 2012. Vol. 80, No. 5. P. 852–859. doi: [10.1002/ccd.23475](https://doi.org/10.1002/ccd.23475)
34. Scheinert D., Laird J.R., Schröder M., et al. Excimer laser-assisted recanalization of long, chronic superficial femoral artery occlusions // *J. Endovasc. Ther.* 2001. Vol. 8, No. 2. P. 156–166. doi: [10.1177/152660280100800210](https://doi.org/10.1177/152660280100800210)
35. Steinkamp H.J., Rademaker J., Wissgott C., et al. Percutaneous transluminal laser angioplasty versus balloon dilation for treatment of popliteal artery occlusions // *J. Endovasc. Ther.* 2002. Vol. 9, No. 6. P. 882–888. doi: [10.1177/152660280200900623](https://doi.org/10.1177/152660280200900623)
36. Dave R.M., Patlola R., Kollmeyer K., et al. Excimer laser recanalization of femoropopliteal lesions and 1-year patency: results of the CELLO registry // *J. Endovasc. Ther.* 2009. Vol. 16, No. 6. P. 665–675. doi: [10.1583/09-2781.1](https://doi.org/10.1583/09-2781.1)
37. Laird J.R., Zeller T., Gray B.H., et al. Limb salvage following laser-assisted angioplasty for critical limb ischemia: results of the LACI multicenter trial // *J. Endovasc. Ther.* 2006. Vol. 13, No. 1. P. 1–11. doi: [10.1583/05-1674.1](https://doi.org/10.1583/05-1674.1)
38. Bosiers M., Peeters P., Elst F.V., et al. Excimer laser assisted angioplasty for critical limb ischemia: results of the LACI Belgium Study // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2005. Vol. 29, No. 6. P. 613–619. doi: [10.1016/j.ejvs.2005.01.008](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.01.008)
39. Yang Y.-P., Lin T.-H., Chou C.-Y., et al. Effect of Limb Salvage by Excimer Laser Angioplasty Plus Low-Pressure Balloon Inflation in Chronic Limb-Threatening Ischemia Patients with Infrapopliteal Vessel Disease // *Acta Cardiol. Sin.* 2023. Vol. 39, No. 5. P. 765–772. doi: [10.6515/acs.202309_39\(5\).20230115a](https://doi.org/10.6515/acs.202309_39(5).20230115a)
40. Jayet J., Coscas R., Heim F., et al. Laser uses in non-coronary arterial disease // *An. Vasc. Surg.* 2019. Vol. 57. P. 229–237. doi: [10.1016/j.avsg.2018.06.010](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2018.06.010)
41. Serino F., Cao Y., Renzi C., et al. Excimer laser ablation in the treatment of total chronic obstructions in critical limb ischaemia in diabetic patients. Sustained efficacy of plaque recanalisation in mid-term results // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2010. Vol. 39, No. 2. P. 234–238. doi: [10.1016/j.ejvs.2009.10.018](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2009.10.018)
42. Eugene J., McColgan S.J., Hammer-Wilson M., et al. Laser endarterectomy // *Lasers Surg. Med.* 1985. Vol. 5, No. 3. P. 265–274. doi: [10.1002/lsm.1900050308](https://doi.org/10.1002/lsm.1900050308)
43. Eugene J., Ott R.A., Nudelman K.L., et al. Initial clinical evaluation of carotid artery laser endarterectomy // *J. Vasc. Surg.* 1990. Vol. 12, No. 4. P. 499–503.
44. Eugene J., Ott R.A., Baribeau Y., et al. Initial trial of argon ion laser endarterectomy for peripheral vascular disease // *Arch. Surg.* 1990. Vol. 125, No. 8. P. 1007–1010. doi: [10.1001/archsurg.1990.01410200071010](https://doi.org/10.1001/archsurg.1990.01410200071010)

REFERENCES

1. McGuff PE, Bushnell D, Soroff HS, et al. Studies of the surgical applications of laser (light amplification by stimulated emission of radiation). *Surg Forum*. 1963;14:143–5.
2. Chatelain P, Meier B, de la Serna F, et al. Success with coronary angioplasty as seen at demonstrations of procedure. *Lancet*. 1992; 340(8829):1202–5. doi: [10.1016/0140-6736\(92\)92900-z](https://doi.org/10.1016/0140-6736(92)92900-z)
3. McQuillan C, Farag M, Egred M. Excimer Laser Coronary Angioplasty: Clinical Applications and Procedural Outcome, in a large-volume tertiary centre. *Cardiology*. 2021;146(2):137–43. doi: [10.1159/000513142](https://doi.org/10.1159/000513142)
4. Karacsonyi J, Armstrong EJ, Truong HTD, et al. Contemporary Use of Laser During Percutaneous Coronary Interventions: Insights from the Laser Veterans Affairs (LAVA) Multicenter Registry. *J Invasive Cardiol*. 2018;30(6):195–201.
5. Deckelbaum LI, Isner JM, Donaldson RF, et al. Reduction of laser-induced pathologic tissue injury using pulsed energy delivery. *Am J Cardiol*. 1985;56(10):662–7. doi: [10.1016/0002-9149\(85\)91031-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(85)91031-8)
6. Faria D, Jeronimo A, Escaned J, et al. Subacute right coronary artery thrombosis treated by using Excimer Laser Coronary Angioplasty: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2023;7(10):ytad499. doi: [10.1093/ehjcr/ytad499](https://doi.org/10.1093/ehjcr/ytad499)
7. Shevchenko YL, Ermakov DY, Maslennikov MA, et al. Tactics of Endovascular Treatment of Patients with Coronary Heart Disease with Recurrent Coronary In-Stent Restenosis Using Second- and Third-Generation Stent Systems and Paclitaxel-Coated Balloon Catheters. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024; 32(1):5–16. (In Russ). doi: [10.17816/PAVLOVJ625996](https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ625996)
8. Kirtane AJ, Doshi D, Leon MB, et al. Treatment of Higher-Risk Patients With an Indication for Revascularization: Evolution Within the Field of Contemporary Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation*. 2016;134(5):422–31. doi: [10.1161/circulationaha.116.022061](https://doi.org/10.1161/circulationaha.116.022061)
9. Topaz O, Bernardo NL, Shah R, et al. Effectiveness of excimer laser coronary angioplasty in acute myocardial infarction or in unstable angina pectoris. *Am J Cardiol*. 2001;87(7):849–55. doi: [10.1016/s0002-9149\(00\)01525-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(00)01525-3)
10. Nishino M, Mori N, Takiuchi S, et al. Indications and outcomes of excimer laser coronary atherectomy: Efficacy and safety for thrombotic lesions — The ULTRAMAN registry. *J Cardiol*. 2017;69(1): 314–9. doi: [10.1016/j.jjcc.2016.05.018](https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2016.05.018)
11. Shibata N, Takagi K, Morishima I, et al. The impact of the excimer laser on myocardial salvage in ST-elevation acute myocardial infarction via nuclear scintigraphy. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020;36(1):161–70. doi: [10.1007/s10554-019-01690-x](https://doi.org/10.1007/s10554-019-01690-x)
12. Topaz O, Ebersole D, Das T, et al. Excimer laser angioplasty in acute myocardial infarction (the CARMEL multicenter study). *Am J Cardiol*. 2004;93(6):694–701. doi: [10.1016/j.amjcard.2003.11.050](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2003.11.050)
13. Dörr M, Vogelgesang D, Hummel A, et al. Excimer laser thrombus elimination for prevention of distal embolization and no-reflow in patients with acute ST elevation myocardial infarction: results from the randomized LaserAMI study. *Int J Cardiol*. 2007;116(1):20–6. doi: [10.1016/j.ijcard.2006.03.024](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2006.03.024)
14. Kujiraoka H, Tsuchiyama T, Inagaki D, et al. Comparison of the efficacy of excimer laser coronary angioplasty for ST-segment elevation myocardial infarction with onset-to-balloon time. *Lasers Med Sci*. 2023;38(1):126. doi: [10.1007/s10103-023-03789-z](https://doi.org/10.1007/s10103-023-03789-z)
15. Shimojo K, Shibata N, Takagi K, et al. Excimer laser coronary angioplasty versus manual aspiration thrombectomy in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: analyzed by nuclear scintigraphy. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2023;39(4):831–42. doi: [10.1007/s10554-022-02771-0](https://doi.org/10.1007/s10554-022-02771-0)
16. Nicolais C, Lakhter V, Virk HUH, et al. Therapeutic Options for In-Stent Restenosis. *Curr Cardiol Rep*. 2018;20(2):7. doi: [10.1007/s11886-018-0952-4](https://doi.org/10.1007/s11886-018-0952-4)
17. Hirose S, Ashikaga T, Hatano Y, et al. Treatment of in-stent restenosis with excimer laser coronary angioplasty: benefits over scoring balloon angioplasty alone. *Lasers Med Sci*. 2016;31(8): 1691–6. doi: [10.1007/s10103-016-2039-z](https://doi.org/10.1007/s10103-016-2039-z)
18. Sethi A, Malhotra G, Singh S, et al. Efficacy of various percutaneous interventions for in-stent restenosis: comprehensive network meta-analysis of randomized controlled trials. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015;8(11):e002778. doi: [10.1161/circinterventions.115.002778](https://doi.org/10.1161/circinterventions.115.002778)
19. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Antoniou SA, et al. Treatment strategies for in-stent restenosis in peripheral arterial disease: a systematic review. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019;28(2):253–61. doi: [10.1093/icvts/ivy233](https://doi.org/10.1093/icvts/ivy233)
20. Hibui T, Tsuchiyama T, Masuda S, et al. Excimer laser coronary atherectomy prior to paclitaxel-coated balloon angioplasty for de novo coronary artery lesions. *Lasers Med Sci*. 2021;36(1):111–7. doi: [10.1007/s10103-020-03019-w](https://doi.org/10.1007/s10103-020-03019-w)
21. Pereira GTR, Dallan LAP, Vergara-Martel A, et al. Treatment of In-Stent Restenosis Using Excimer Laser Coronary Atherectomy and Bioresorbable Vascular Scaffold Guided by Optical Coherence Tomography. *Cardiovasc Revasc Med*. 2021;22:44–9. doi: [10.1016/j.carrev.2020.05.006](https://doi.org/10.1016/j.carrev.2020.05.006)
22. Topaz O, Das T, Dahm J, et al. Excimer laser revascularisation: current indications, applications and techniques. *Lasers Med Sci*. 2001;16(2):72–7. doi: [10.1007/pl00011345](https://doi.org/10.1007/pl00011345)
23. Mangieri A, Jabbour RJ, Tanaka A, et al. Excimer laser facilitated coronary angioplasty of a heavy calcified lesion treated with bioresorbable scaffolds. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2016;17 (suppl 2):e149–50. doi: [10.2459/jcm.0000000000000397](https://doi.org/10.2459/jcm.0000000000000397)
24. Fernandez JP, Hobson AR, McKenzie D, et al. Beyond the balloon: excimer coronary laser atherectomy used alone or in combination with rotational atherectomy in the treatment of chronic total occlusions, non-crossable and non-expandable coronary lesions. *EuroIntervention*. 2013;9(2):243–50. doi: [10.4244/eijv9i2a40](https://doi.org/10.4244/eijv9i2a40)
25. Karacsonyi J, Alaswad K, Choi JW, et al. Laser for balloon uncrossable and undilatable chronic total occlusion interventions. *Int J Cardiol*. 2021;336:33–7. doi: [10.1016/j.ijcard.2021.05.015](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.05.015)
26. Nan J, Joseph TA, Bell MR, et al. Outcomes of excimer laser-contrast angioplasty for stent underexpansion. *EuroIntervention*. 2021;17(1):78–80. doi: [10.4244/eij-d-19-01074](https://doi.org/10.4244/eij-d-19-01074)
27. Knoracsonyi J, Danek BA, Karatasakis A, et al. Laser Coronary Atherectomy During Contrast Injection for Treating an Under-expanded Stent. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016;9(15):e147–8. doi: [10.1016/j.jcin.2016.04.040](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.04.040)
28. Lee T, Shlofmitz RA, Song L, et al. The effectiveness of excimer laser angioplasty to treat coronary in-stent restenosis with persistent calcium as assessed by optical coherence tomography. *EuroIntervention*. 2019;15(3):e279–88. doi: [10.4244/eij-d-18-00139](https://doi.org/10.4244/eij-d-18-00139)
29. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, et al. Inter-Society Consensus for Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *J Vasc Surg*. 2007;45(1, Suppl S):S5A–67A. doi: [10.1016/j.jvs.2006.12.037](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.12.037)
30. Neville RF, Sidawy AN. Myointimal hyperplasia: basic science and clinical considerations. *Semin Vasc Surg*. 1998;11(3):142–8.
31. Shammam NW, Aasen N, Bailey L, et al. Two Blades-Up Runs Using the JetStream Navitus Atherectomy Device Achieve Optimal Tissue Debulking of Nonocclusive In-Stent Restenosis: Observations

- From a Porcine Stent/Balloon Injury Model. *J Endovasc Ther.* 2015; 22(4):518–24. doi: [10.1177/1526602815592135](https://doi.org/10.1177/1526602815592135)
32. Dippel EJ, Makam P, Kovach R, et al. Randomized controlled study of excimer laser atherectomy for treatment of femoropopliteal in-stent restenosis: initial results from the EXCITE ISR trial (EXCimer Laser Randomized Controlled Study for Treatment of Femoropopliteal In-Stent Restenosis). *JACC Cardiovasc Interv.* 2015;8(1, Pt A):92–101. doi: [10.1016/j.jcin.2014.09.009](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.09.009)
33. Laird JR Jr, Yeo KK, Rocha-Singh K, et al. Excimer laser with adjunctive balloon angioplasty and heparin-coated self-expanding stent grafts for the treatment of femoropopliteal artery in-stent restenosis: twelve-month results from the SALVAGE study. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2012;80(5):852–9. doi: [10.1002/ccd.23475](https://doi.org/10.1002/ccd.23475)
34. Scheinert D, Laird JR, Schröder M, et al. Excimer laser-assisted recanalization of long, chronic superficial femoral artery occlusions. *J Endovasc Ther.* 2001;8(2):156–66. doi: [10.1177/152660280100800210](https://doi.org/10.1177/152660280100800210)
35. Steinkamp HJ, Rademaker J, Wissgott C, et al. Percutaneous transluminal laser angioplasty versus balloon dilation for treatment of popliteal artery occlusions. *J Endovasc Ther.* 2002;9(6):882–8. doi: [10.1177/152660280200900623](https://doi.org/10.1177/152660280200900623)
36. Dave RM, Patlola R, Kollmeyer K, et al. Excimer laser recanalization of femoropopliteal lesions and 1-year patency: results of the CELLO registry. *J Endovasc Ther.* 2009;16(6):665–75. doi: [10.1583/09-2781.1](https://doi.org/10.1583/09-2781.1)
37. Laird JR, Zeller T, Gray BH, et al. Limb salvage following laser-assisted angioplasty for critical limb ischemia: results of the LACI multicenter trial. *J Endovasc Ther.* 2006;13(1):1–11. doi: [10.1583/05-1674.1](https://doi.org/10.1583/05-1674.1)
38. Bosiers M, Peeters P, Elst FV, et al. Excimer laser assisted angioplasty for critical limb ischemia: results of the LACI Belgium Study. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2005;29(6):613–9. doi: [10.1016/j.ejvs.2005.01.008](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.01.008)
39. Yang Y-P, Lin T-H, Chou C-Y, et al. Effect of Limb Salvage by Excimer Laser Angioplasty Plus Low-Pressure Balloon Inflation in Chronic Limb-Threatening Ischemia Patients with Infrapopliteal Vessel Disease. *Acta Cardiol Sin.* 2023;39(5):765–72. doi: [10.6515/acs.202309_39\(5\).20230115a](https://doi.org/10.6515/acs.202309_39(5).20230115a)
40. Jayet J, Coscas R, Heim F, et al. Laser uses in non-coronary arterial disease. *An Vasc Surg.* 2019;57:229–37. doi: [10.1016/j.avsg.2018.06.010](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2018.06.010)
41. Serino F, Cao Y, Renzi C, et al. Excimer laser ablation in the treatment of total chronic obstructions in critical limb ischaemia in diabetic patients. Sustained efficacy of plaque recanalisation in mid-term results. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2010;39(2):234–8. doi: [10.1016/j.ejvs.2009.10.018](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2009.10.018)
42. Eugene J, McColgan SJ, Hammer-Wilson M, et al. Laser endarterectomy. *Lasers Surg Med.* 1985;5(3):265–74. doi: [10.1002/lsm.1900050308](https://doi.org/10.1002/lsm.1900050308)
43. Eugene J, Ott RA, Nudelman KL, et al. Initial clinical evaluation of carotid artery laser endarterectomy. *J Vasc Surg.* 1990;12(4):499–503.
44. Eugene J, Ott RA, Baribeau Y, et al. Initial trial of argon ion laser endarterectomy for peripheral vascular disease. *Arch Surg.* 1990;125(8):1007–10. doi: [10.1001/archsurg.1990.01410200071010](https://doi.org/10.1001/archsurg.1990.01410200071010)

ОБ АВТОРАХ

Староверов Илья Николаевич, д.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9855-9467>;
eLibrary SPIN: 8011-7176; e-mail: istaroverov@mail.ru

Ильин Михаил Витальевич, д.м.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6278-374X>;
eLibrary SPIN: 2936-4312; e-mail: michael_ilyin@list.ru

Тихов Александр Викторович;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7983-8898>;
eLibrary SPIN: 7593-1232; e-mail: j33@mail.ru

* **Чураков Станислав Олегович**, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4589-0898>;
eLibrary SPIN: 4126-4927; e-mail: churakov-stas@mail.ru

Лончакова Оксана Михайловна, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4507-6693>;
eLibrary SPIN: 8360-6161; e-mail: omloncha@mail.ru

Джавоян Маме Флитович;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5448-6763>;
eLibrary SPIN: 6083-6947; e-mail: dzhavoyanmame@mail.ru

AUTHORS' INFO

Il'ya N. Staroverov, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9855-9467>;
eLibrary SPIN: 8011-7176; e-mail: istaroverov@mail.ru

Mikhail V. Ilyin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6278-374X>;
eLibrary SPIN: 2936-4312; e-mail: michael_ilyin@list.ru

Aleksandr V. Tikhov;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7983-8898>;
eLibrary SPIN: 7593-1232; e-mail: j33@mail.ru

* **Stanislav O. Churakov**, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4589-0898>;
eLibrary SPIN: 4126-4927; e-mail: churakov-stas@mail.ru

Oksana M. Lonchakova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4507-6693>;
eLibrary SPIN: 8360-6161; e-mail: omloncha@mail.ru

Mame F. Dzhavoyan;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5448-6763>;
eLibrary SPIN: 6083-6947; e-mail: dzhavoyanmame@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author