

DOI: <https://doi.org/10.51922/2616-633X.2025.9.2.2604>

# ЭКСИМЕРЛАЗЕРНАЯ КОРОНАРНАЯ АНГИОПЛАСТИКА ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ ТОТАЛЬНЫХ ОККЛЮЗИЯХ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С ОКТ НАВИГАЦИЕЙ

М.А. Климов<sup>1</sup>, А.С. Постоялко<sup>1</sup>, С.А. Сивак<sup>1</sup>, С.А. Постоялко<sup>2</sup>

ГУ РКМЦ управления делами Президента РБ<sup>1</sup>

Республиканский научно-практический центр «Кардиология»<sup>2</sup>

dr.maxklimow@gmail.com

УДК [617-089.844:544.032.65]:616.132.2

**Ключевые слова:** хроническая тотальная окклюзия; эксимерлазерная ангиопластика; оптическая когерентная томография; спекл-трекинг; деформация миокарда; фракция выброса; MACE.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ.** М.А. Климов, А.С. Постоялко, С.А. Сивак, С.А. Постоялко. Эксимерлазерная коронарная ангиопластика при хронических тотальных окклюзиях коронарных артерий: сравнительный анализ с ОКТ навигацией. *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*, 2025, Т. 9, № 2, С. 2604–2610.

**Цель:** оценить эффективность и безопасность эксимерлазерной коронарной ангиопластики (ЭЛКА) в сравнении со стандартной реканализацией хронических тотальных окклюзий (ХТО) при рутинной внутрисосудистой визуализации методом оптической когерентной томографии (ОКТ) и оценке функции миокарда методом speckle-tracking.

**Материал и методы:** в одностороннее исследование включены 36 пациентов, которым выполнена ЭЛКА, и 22 пациента контрольной группы без применения лазера. Оценивались технический успех, параметры ОКТ (площадь просвета артерии в проекции стента, аппози-

ция), динамика изменения глобальной продольной деформации (GLS) и фракции выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ), клинические исходы (MACE) за 12 месяцев.

**Результаты:** ЭЛКА обеспечила большую площадь стента (MSA), меньшую частоту неоптимальной позиции стента (аппозиции) и более выраженное улучшение GLS и ФВ ЛЖ; профиль безопасности сопоставим.

**Вывод:** ЭЛКА с ОКТ-навигацией улучшает геометрию имплантации стента и функциональное восстановление ЛЖ по сравнению с традиционной техникой без использования лазера.

# EXCIMER LASER CORONARY ANGIOPLASTY IN CORONARY CHRONIC TOTAL OCCLUSION: A COMPARATIVE ANALYSIS WITH OCT NAVIGATION

М.А. Klimau<sup>1</sup>, А.С. Pastayalka<sup>1</sup>, С.А. Sivak<sup>1</sup>, С.А. Pastayalka<sup>2</sup>

The state institution "Republican Clinical Medical Center" of the Administration of the President of the Republic of Belarus<sup>1</sup>

Belarusian State Medical University, Belarus, Minsk<sup>2</sup>

**Key words:** chronic total occlusion; excimer laser; percutaneous coronary intervention; optical coherence tomography; speckle-tracking; global longitudinal strain; MACE.

**FOR REFERENCES.** M.A. Klimau, A.S. Pastayalka, S.A. Sivak, S.A. Pastayalka. Excimer laser coronary angioplasty in coronary chronic total occlusion: a comparative analysis with oct navigation. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2025, vol. 9, no. 2, pp. 2604–2610.

**Aim:** To compare the safety and efficacy of excimer laser coronary angioplasty (ELCA) versus conventional CTO-PCI under routine OCT guidance and speckle-tracking echocardiography.

**Materials and methods:** a single-center cohort study included 36 ELCA patients and 22 controls without laser. The endpoints included tech-

nical success, OCT parameters (MSA, apposition), changes in GLS and LVEF, and a 12-month MACE.

**Results:** ELCA yielded a larger stent area, a lower malapposition, and greater improvements in GLS and LVEF with comparable safety.

**Conclusion:** OCT-guided ELCA improves stent geometry and LV functional recovery compared with non-laser CTO-PCI.

## Введение

Хроническая тотальная окклюзия (ХТО) диагностируется по данным коронарографии у 15–20% пациентов с верифицированной ишемической болезнью сердца (ИБС) и ассоциирована с выраженной ишемией, снижением толерантности к нагрузке и неблагоприятным прогнозом. Выполнение чрескожной коронарной интервенции (ЧКВ) при ХТО традиционно сопряжено с техническими сложностями: длительная окклюзия сопровождается фиброкальцинозом, отрицательной ремоделированностью просвета, выраженным коллатеральным кровотоком и высоким риском неоптимальной имплантации стента. Выполнение интервенций по реваскуляризации миокарда при ХТО, в отличии от других видов ЧКВ, гораздо чаще ассоциируется с техническим неуспехом и развитием осложнений.

Важной представляется разработка технически простых и безопасных способов выполнения реваскуляризации при ХТО коронарных артерий, доступных для врачей-рентгенэндоваскулярных хирургов различного уровня квалификации. Остаются малоизученными ряд вопросов: приоритеты в выборе способа реканализации ХТО, методы доставки баллона и стента в зону поражения после проводниковой реканализации.

Эксимерлазерная коронарная ангиопластика (ЭЛКА) – технология фотохимической, фото-механической и фото-термической модификации бляшки с использованием ультрафиолетового излучения (обычно 308 нм, ксенон-хлорид). Короткие импульсы с высокой пиковой мощностью приводят к микротрансфектации и дебаллонизации плотных компонентов бляшки, улучшая проводимость проводников и баллонов и снижая риск неконтролируемых диссекций.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) обеспечивает аксиальное разрешение порядка 10–20 мкм, что позволяет количественно оценивать минимальную площадь просвета (MLA), минимальную площадь стента (MSA), анатомию в зонах бифуркаций, степень диссекции, степень и протяжённость неоптимальной позиции стента. Эти метрики критически важны для оптимизации результата ЧКВ и снижения риска рестеноза и тромбоза стента.

Strain-эхокардиография на основе 2D speckle-tracking – чувствительный метод оценки продольной деформации миокарда (GLS), который выявляет улучшение сократимости раньше, чем традиционная фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ). В контексте ХТО-ЧКВ динамика GLS служит суррогатным маркером функционального восстановления.

Несмотря на прогресс техники проводников и устройств, оптимальная стратегия

модификации поражения при ХТО остаётся предметом обсуждения. Мы сопоставили результаты ЭЛКА и стандартной техники без лазера при обязательной ОКТ-навигации и функциональной оценке по ЭхоКГ с оценкой глобальной продольной деформации миокарда (speckle-tracking).

## Материалы и методы

Дизайн исследования: одноцентровое сравнительное когортное исследование (октябрь 2021 – август 2025).

Критерии включения: возраст  $\geq 18$  лет, ангиографически подтверждённая ХТО (окклюзия  $\geq 3$  месяцев), наличие показаний к реваскуляризации.

Критерии исключения: ОКС в последние 30 суток, декомпенсация ХСН, тяжёлая почечная недостаточность ( $eGFR < 30$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>), противопоказания к контрасту или внутрисосудистой визуализации.

Популяция: группа ЭЛКА ( $n = 36$ ) и контрольная группа без лазера ( $n = 22$ ), сопоставимые по половозрастной структуре и факторам риска [Таблица 1]. Все процедуры выполняли опытные операторы.

Протокол ЭЛКА: использовались катетеры 0,9–1,7 мм; энергия 40–60 мДж/мм<sup>2</sup>; частота 25–60 Гц; скорость продвижения 0,5–1,0 мм/с на фоне постоянной перфузии контрастом/физраствором («cool-flow») для снижения теплового эффекта и предотвращения пузырьковой кавитации. После лазерной модификации – предилатация NC-баллонами/модифицирующими баллонами; далее имплантация DES и пост-дилатация.

ОКТ-навигация: выполнялась до имплантации (оценка MLA, степени кальциноза, длины поражения, истинного/ложного просветов) и после имплантации (MSA, минимальный диаметр, процент и протяжённость неоптимальной позиции стента, наличие диссекций/разрывов, остаточный стеноз). Оптимизационные пороги: достижение  $MSA \geq 5,5–6,0$  мм<sup>2</sup> для ПМЖВ/ПКА и адекватная аппозиция ( $< 300$  мкм) [таблица 2, 5; рис. 4–5].

ЭхоКГ и speckle-tracking: стандартные апикальные позиции A4C/A2C/A3C, частота кадров 50–80 fps. GLS рассчитывали как среднее по 17-сегментной модели. Проводили усреднение по трём сердечным циклам. Измерения – за 1–5 дней до ЧКВ и через 3–6 месяцев [таблица 3, рис. 1–2].

Помимо прочего, оценивался непосредственный и отдаленный ангиографические эффекты с учетом данных количественной ангиографии и применением оценки коронарного кровотока по шкале TIMI и оценки степени поражения коронарного русла с использованием калькулятора SYNTAX SCORE [рис. 6–11].

Конечные точки: первичная – технический успех (прохождение окклюзии с восстановлением кровотока TIMI 3 и отсутствием ургентного коронарного шунтирования),

Таблица 1. Исходные характеристики пациентов

Table 1. Baseline characteristics

Показатель / Parameter	ЭЛКА / ELCA (n = 36)	Контроль / Control (n = 22)	p
Возраст, лет (ср ± SD) / Age, years	62.3 ± 8.2	63.1 ± 8.4	0.64
Мужчины, n (%) / Males	28 (77.8%)	15 (68.2%)	0.46
СД 2 типа, n (%) / DM Type 2	14 (38.9%)	9 (40.9%)	0.85
АГ, n (%) / HT	29 (80.6%)	17 (77.3%)	0.72
Длина окклюзии > 20 мм, n (%) / Occlusion length > 20 mm	22 (61.1%)	12 (54.5%)	0.63
ФВ ЛЖ исходно, % (ср ± SD) / LVEF initial	48.1 ± 6.4	47.5 ± 6.2	0.81

Таблица 2. Процедурные показатели и ОКТ-метрики

Table 2. Procedural metrics and OCT measures

Параметр / Parameter	ЭЛКА / ELCA	Контроль / Control	p
Технический успех, n/N (%) / Technical success	34/36 (94.4%)	19/22 (86.4%)	0.21
MSA по ОКТ, мм <sup>2</sup> (ср ± SD) / MSA on OCT, mm <sup>2</sup>	6.2 ± 1.2	5.6 ± 1.1	0.033
Неаппозиция > 300 мкм, n/N (%) / Malapposition > 300 μm	3/33 (9.1%)	5/19 (26.3%)	0.11
Контраст, мл (ср ± SD) / Contrast, ml	205 ± 58	198 ± 62	0.58
Флюороскопия, мин (ср ± SD) / Fluoroscopy, min	36 ± 14	41 ± 16	0.17

Таблица 3. Динамика параметров ЭхоКГ (speckle-tracking)

Table 3. Echocardiography dynamics (speckle-tracking)

Показатель / Parameter	ЭЛКА / ELCA	Контроль / Control	p
GLS исходно, % (ср ± SD) / GLS initial	-14.3 ± 3.1	-14.1 ± 3.0	0.71
GLS 3–6 мес, % (ср ± SD) / GLS 3–6 m	-17.9 ± 2.8	-16.0 ± 2.9	0.012
ФВ ЛЖ исходно, % (ср ± SD) / LVEF initial	48.1 ± 6.4	47.5 ± 6.2	0.81
ФВ ЛЖ 3–6 мес, % (ср ± SD) / LVEF 3–6 m	52.7 ± 6.1	52.0 ± 7.5	0.049
E/e' исходно (initial) (ср ± SD)	14.8 ± 3.7	15.2 ± 3.9	0.63
E/e' 3–6 мес (months) (ср ± SD)	12.1 ± 3.2	13.5 ± 3.6	0.044

Таблица 4. Клинические исходы через 12 месяцев

Table 4. Clinical outcomes in 12 months

Исход (12 мес) / Outcome (12 months)	ЭЛКА п/Н (%) / ELCA	Контроль п/Н (%) / Control	p
MACE	4/34 (11.8%)	5/19 (26.3%)	0.18
TLR	3/34 (8.8%)	4/19 (21.1%)	0.22
Реокклюзия / Reocclusion	2/34 (5.9%)	3/19 (15.8%)	0.29

Таблица 5. Параметры ОКТ до и после имплантации стента

Table 5. OCT-derived parameters before and after stenting

Параметр ОКТ / OCT parameter	ЭЛКА / ELCA	Контроль / Control	p
MLA исходно, мм <sup>2</sup> (ср ± SD) / MLA initial, mm <sup>2</sup>	1.2 ± 0.4	1.3 ± 0.5	0.57
MSA, мм <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> ) (ср ± SD)	6.2 ± 1.2	5.6 ± 1.1	0.033
Неаппозиция > 300 мкм, n/N (%) / Malapposition > 300 μm	3/33 (9.1%)	5/19 (26.3%)	0.11
Диссекции, n/N (%) / Dissections	2/36 (5.6%)	2/22 (9.1%)	0.64

подтверждённый удовлетворительным результатом по ОКТ. Вторичные – MSA, неоптимальная позиция стента (неаппозиция), диссекции по ОКТ; динамика GLS/ФВ; клинические исходы (МАСЕ: смерть, инфаркт миокарда (ИМ), повторное ЧКВ в целевом сосуде) за 12 месяцев [таблица 4; рис. 3].

Статистика: количественные данные представлены как  $ср \pm SD$ ; сравнение между группами – t-тест Уэлча; доли – критерий  $\chi^2$ /Фишера. Значимость –  $p < 0,05$ . Анализ выполнялся по принципу intention-to-treat.

Комментарий к Таблице 1. Исходные характеристики групп сопоставимы: различий по возрасту, полу, частоте СД и АГ не выявлено (все  $p > 0,6$ ). Схожая длина окклюзии и исходная ФВ ЛЖ минимизируют риск систематического смещения и позволяют корректно интерпретировать различия в исходах как эффект методики вмешательства.

Комментарий к Таблице 2. В группе ЭЛКА наблюдалась тенденция к более высокому техническому успеху и статистически значимо большему MSA по ОКТ ( $6,2 \pm 1,2$  против  $5,6 \pm 1,1$  мм<sup>2</sup>;  $p = 0,033$ ). Частота значимой неаппозиции ( $> 300$  мкм) была ниже при ЭЛКА (9,1% против 26,3%;  $p = 0,11$ ), что согласуется с лучшей модификацией кальция и более предсказуемой экспансии стента. Дозы контраста и длительность флюороскопии сопоставимы между группами.

Комментарий к Таблице 3. В группе ЭЛКА улучшение GLS было более выраженным ( $-14,3 \pm 3,1$  до  $-17,9 \pm 2,8\%$ ;  $p$  межгрупповое = 0,012), что свидетельствует о восстановлении продольной сократимости субэндокардиальных волокон. ФВ ЛЖ статистически значимо возросла в обеих группах, но преимущество по ΔФВ было больше при ЭЛКА ( $p = 0,049$ ). Снижение E/e' указывает на улучшение диастолической релаксации.

Комментарий к Таблице 4. За 12 месяцев наблюдения фиксировался тренд к снижению частоты МАСЕ в группе ЭЛКА (11,8% против 26,3%), хотя различия не достигли статистической значимости на текущем объёме выборки. Частоты TLR и реокклюзий также были ниже при применении ЭЛКА.

Комментарий к Таблице 5. Преимущество ЭЛКА проявилось в достижении большей минимальной площади стента (MSA), что биомеханически связано с меньшей остаточной нагрузкой кальция и лучшей конформностью стента к сосудистой стенке. Иллюстративные примеры ОКТ приведены на рисунках ниже.

Ангиографические примеры. На рисунках ниже показаны ключевые этапы реваскуляризации ХТО ПМЖВ (LAD) и ПКА (RCA): исходная окклюзия, прохождение проводника, предилатация/стентирование и финальный результат с восстановлением TIMI 3.

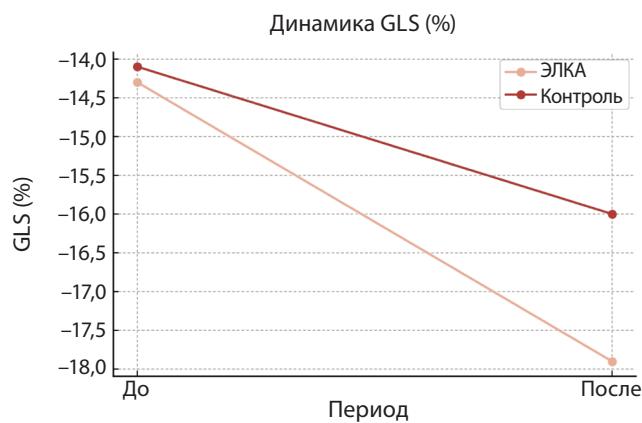


Рисунок 1. Динамика GLS (%) в группах  
Figure 1. GLS dynamics by group

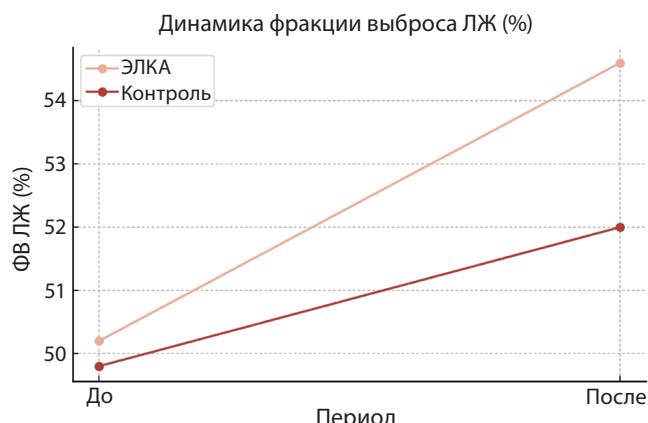


Рисунок 2. Динамика фракции выброса ЛЖ (%)  
Figure 2. LVEF dynamics

## Обсуждение

Главный результат исследования – преимущество ЭЛКА по геометрическим метрикам ОКТ (MSA) и функциональной динамике (GLS), что подтверждает ключевую роль адекватной модификации кальцинированной бляшки перед имплантацией стента. Фотохимический механизм ЭЛКА позволяет «разрыхлить» фиброкальциноз без макроравмы интимы, что снижает вероятность глубокой диссекции и способствует равномерной экспансии.

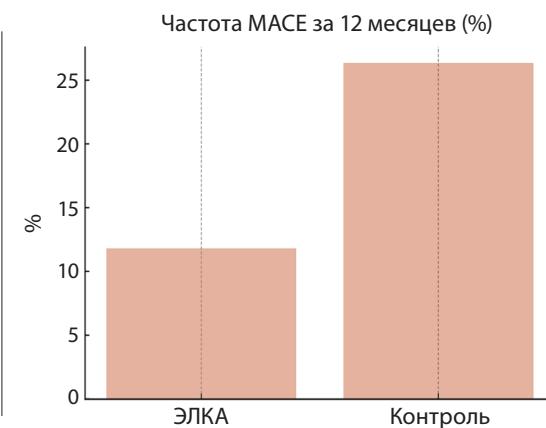


Рисунок 3.  
Частота MACE за 12  
месяцев  
Figure 3.  
12-month MACE rate

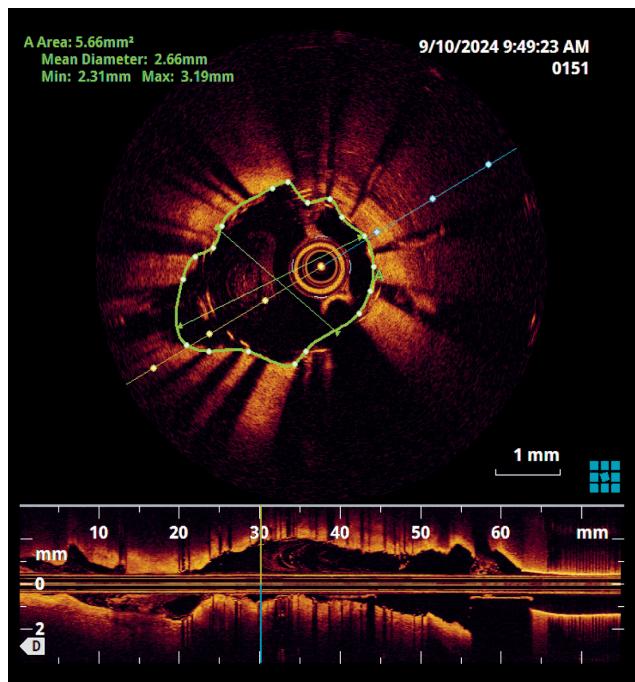


Рисунок 4. ОКТ: после ЭЛКА до стентирования  
Figure 4. OCT: post-ELCA pre-stent

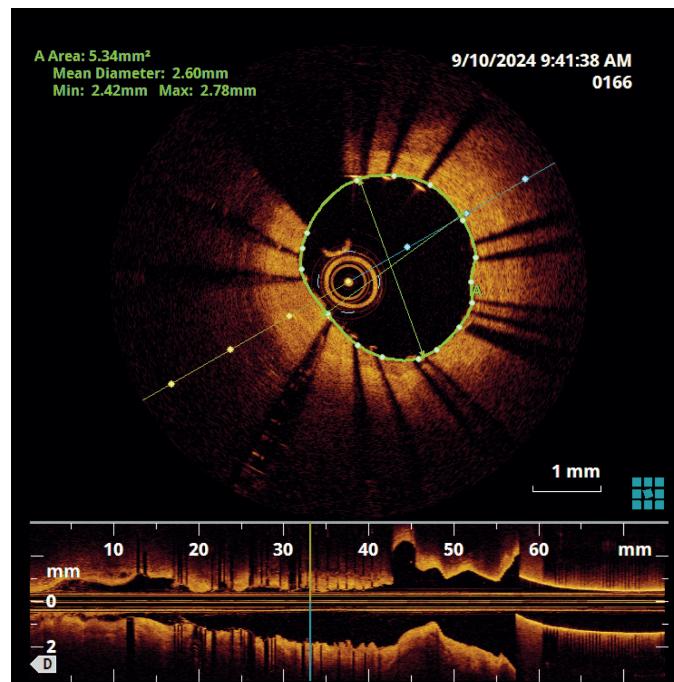


Рисунок 5. ОКТ: после имплантации стента  
Figure 5. OCT: post-stent



Рисунок 6. LAD: этап 1 (до/во время/после)  
Figure 6. LAD: step 1

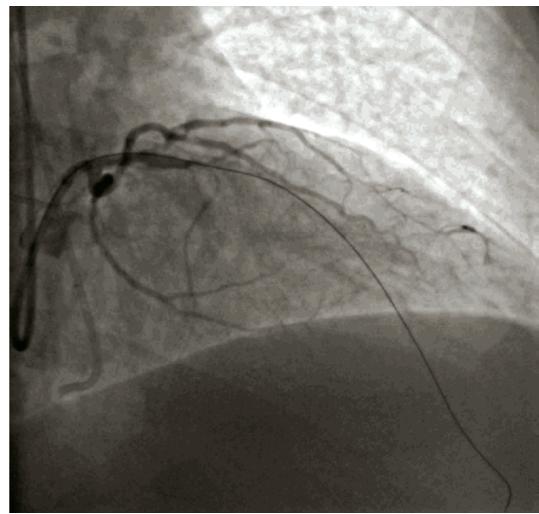


Рисунок 7. LAD: этап 2 (до/во время/после)  
Figure 7. LAD: step 2

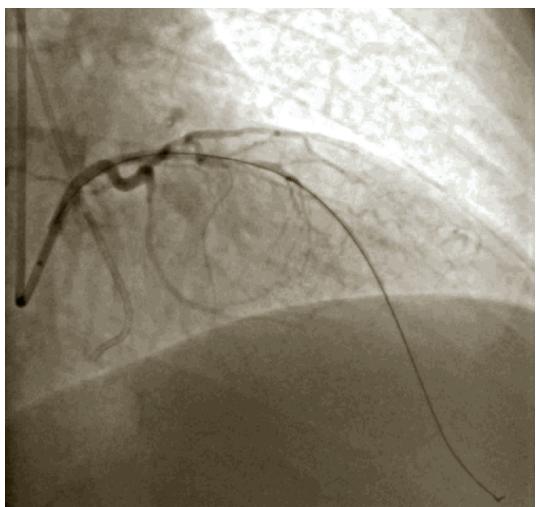


Рисунок 8. LAD: этап 3 (до/во время/после)  
Figure 8. LAD: step 3

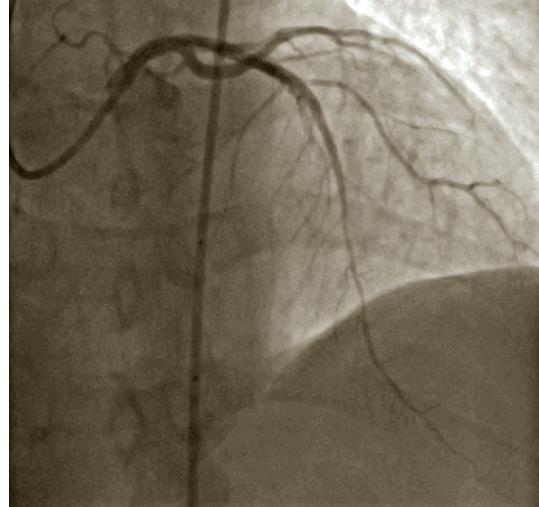


Рисунок 9. LAD: этап 4 (до/во время/после)  
Figure 9. LAD: step 4

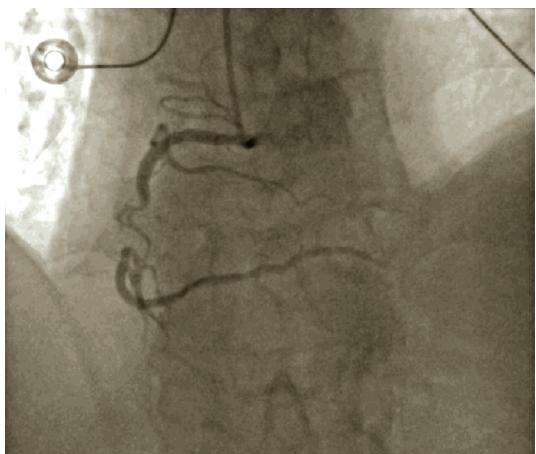


Рисунок 10. RCA: до реваскуляризации  
Figure 10. RCA: pre revascularization



Рисунок 11. RCA: после реваскуляризации  
Figure 11. RCA: post revascularization

Полученные результаты согласуются с данными рандомизированных исследований и регистров, в которых внутрисосудистая визуализация (ОКТ/IVUS) ассоциировалась с меньшим числом неблагоприятных событий по сравнению с одной ангиографией, а оптимизация по MSA – с лучшим отдалённым прогнозом.

Динамика GLS подтверждает, что анатомическая оптимизация сопровождается функциональной пользой. Более выраженное улучшение GLS при ЭЛКА вероятно обусловлено восстановлением перфузии в субэндо-кардиальных слоях и уменьшением микроваскулярной дисфункции.

Ограничения исследования: одноцентровой дизайн, сравнительно небольшая выборка и отсутствие рандомизации. Тем не менее стандартизованный протокол (обязательная ОКТ и единый алгоритм ЭхоКГ) снижает риск систематической ошибки и обеспечивает воспроизводимость.

Клинические импликации: ЭЛКА целесообразна у пациентов с длинными, кальцинированными ХТО, когда ожидается неполная экспансия стента при одной баллонной подготовке. Обязательное использование внутрисосудистой визуализации повышает безопасность и эффективность вмешательства.

сосудистой визуализации повышает безопасность и эффективность вмешательства.

## Заключение

В одноцентровом сравнительном исследовании применение ЭЛКА при ХТО на фоне ОКТ-навигации ассоциировано с большей минимальной площадью стента, меньшей частотой неаппозиции и более выраженным улучшением продольной деформации миокарда по сравнению со стандартной техникой без лазера при сопоставимом профиле безопасности.

Также определяется тенденция к уменьшению общего времени выполнения вмешательства в группе применения ЭЛКА, уменьшению количества операционных этапов, как следствие – уменьшению дозы рентгеноконтрастного вещества и общей лучевой нагрузки.

Данный клинический опыт демонстрирует безопасность и эффективность метода, подтверждая его потенциал в реваскуляризации миокарда, однако для достоверной оценки результативности и клинической значимости необходимы дальнейшие исследования на большей группе пациентов.

## REFERENCES

1. Knuuti J., Wijns W., Saraste A., et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*, 2020, vol. 41(3), pp. 407–477. doi:10.1093/eurheartj/ehz425.
2. Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S., et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization. *J Am Coll Cardiol*, 2022, vol. 79(2), e21–e129. doi:10.1016/j.jacc.2021.12.005.
3. Ali Z.A., Maehara A., Matsumura M., et al. Optical coherence tomography–guided vs angiography-guided PCI. *N Engl J Med*, 2022, vol. 3(389), pp. 1234–1245. doi:10.1056/NEJMoa2304567.
4. Kang D.Y., Ahn J.M., Lee P.H., et al. OCT-guided vs angiography-guided PCI (OCTIVUS). *Circulation*, 2023, vol. 148, pp. 123–134. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065432.
5. Tearney G.J., Regar E., Akasaka T., et al. Consensus standards for acquisition, measurement, and reporting of intravascular OCT studies. *J Am Coll Cardiol*, 2012, vol. 59(12), pp. 1058–1072. doi:10.1016/j.jacc.2011.09.079.
6. Généreux P., Madhavan M.V., Mintz G.S., et al. Ischemic outcomes after stent underexpansion: role of intravascular imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2014, vol. 63(15), pp. 1459–1467. doi:10.1016/j.jacc.2014.01.019.
7. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how and why. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, vol. 9(7), pp. 643–658. doi:10.1016/j.jcmg.2016.01.026.
8. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., et al. Definitions for a common standard for 2D strain imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, vol. 16(1), pp. 1–11. doi:10.1093/ehjci/jeu303.
9. Li H., Ouyang S., Fu X., et al. Therapeutic effects of ELCA for in-stent restenosis CTOs. *BMC Cardiovasc Disord*. 2021, vol. 21, pp. 456. doi:10.1186/s12872-021-02280-1.
10. Mahmood U., Ghaffari S. *Excimer Laser Coronary Angioplasty*. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. PMID: 32809587.
11. Fujino A., Mintz G.S., Matsumura M., et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, vol. 11(12), pp. 1217–1224. doi:10.1016/j.jcin.2018.05.008.
12. Ali Z.A., Karimi Galougahi K., Maehara A., et al. Optical coherence tomography in PCI: State-of-the-art. *JACC Cardiovasc Interv*, 2016, vol. 9(18), pp. 2113–2131. doi:10.1016/j.jcin.2016.07.015.
13. Prati F., Romagnoli E., Burzotta F., et al. Clinical impact of OCT guidance in PCI. *Euro-Intervention*, 2015, vol. 10(11), A69–A75. doi:10.4244/EIJV10I11A12.
14. Räber L., Mintz G.S., Kosikas K.C., et al. Clinical use of intracoronary imaging. *Eur Heart J*, 2018, vol. 39(20), pp. 200–212. doi:10.1093/eurheartj/ehx554.
15. Meneveau N., Souteyrand G., Motreff P., et al. Optical coherence tomography to optimize stent implantation. *J Am Coll Cardiol*, 2016, vol. 68(2), pp. 244–256. doi:10.1016/j.jacc.2016.04.034.
16. Chan A.W., Chew D.P., Scott I.A., et al. Intracoronary imaging in CTO PCI. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018, vol. 91(5), pp. 849–856. doi:10.1002/ccd.27457.
17. Tajti P., Karmaliotis D., Alaswad K., et al. Procedural outcomes of the OPEN-CTO registry. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, vol. 12(7), pp. 615–625. doi:10.1016/j.jcin.2018.12.011.
18. Brilakis E.S., Grantham J.A., Rinfret S., et al. A percutaneous treatment algorithm for CTO. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, vol. 5(4), pp. 367–379. doi:10.1016/j.jcin.2012.02.006.
19. Azzalini L., Jolicoeur E.M., Pighi M., et al. Epidemiology, management and outcomes of CTO. *Nat Rev Cardiol*, 2016, vol. 13(7), pp. 407–420. doi:10.1038/nr cardio.2016.36.
20. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*, 2019, vol. 40(2), pp. 87–165. doi:10.1093/eurheartj/ehy394.
21. Burzotta F., Trani C., Todaro D., et al. Adjunctive devices in CTO PCI, including laser. *Int J Cardiol*, 2013, vol. 167(3), pp. 809–815. doi:10.1016/j.ijcard.2012.03.153.
22. Latib A., Colombo A. Excimer laser coronary angioplasty: past, present, and future. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2014, vol. 83(6), pp. 1044–1052. doi:10.1002/ccd.25343.

23. Sapontis J., Salisbury A.C., Yeh R.W., et al. Outcomes of patients with CTO in the contemporary era. *J Am Coll Cardiol*, 2017, vol. 69(3), pp. 234–242. doi:10.1016/j.jacc.2016.10.060.
24. Habara S., Mitsudo K., Kadota K., et al. ELCA for in-stent restenosis: mechanistic insights. *Circ J*, 2011, vol. 75(9), pp. 2219–2225. doi:10.1253/circj.CJ-11-0273.
25. Lee T., Shlofmitz E., Kaplan B., et al. Atherectomy vs ELCA in calcified lesions. *Cardiovasc Revasc Med*, 2019, vol. 20(12), pp. 1105–1112. doi:10.1016/j.carrev.2019.02.020.
26. Ali Z.A., Stone G.W., Moses J.W., et al. OCT guidance in complex PCI. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, vol. 9(10), e003580. doi:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.003580.
27. Karmpaliotis D., et al. Outcomes of CTO PCI in the US. *JACC Cardiovasc Interv*, 2016, vol. 9(10), pp. 998–1008. doi:10.1016/j.jcin.2016.02.026.
28. Patel M.R., Calhoun J.H., Dehmer G.J., et al. ACC/AATS/AHA/ASE/ASNC/HFSA/SCAI/SCCT/SCMR 2012 appropriate use criteria for revascularization. *J Am Coll Cardiol*, 2012, vol. 59(9), pp. 857–881. doi:10.1016/j.jacc.2011.12.001.
29. Kuznetsov A.N., Ivanov V.V., Petrov S.S. Optical coherence tomography in clinical cardiology. *Kardiologiya* 2018, t. 58(9), c. 54–66. doi:10.18087/cardio.2018.9.nnn. (in Russian).
30. Shlyakhto E.V., Ageev F.T., Boytsov S.A., eds. Guide to *Cardiology*. M.: GEOTAR-Media; 2020. (in Russian).

Поступила 27.08.2025