

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. Климов¹, А.С. Постоялко¹, С.А. Сивак¹, С.А. Постоялко²

ГУ РКМЦ управления делами Президента РБ¹

Республиканский научно-практический центр «Кардиология»²

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 одноцентровое 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. Klimau¹, А.С. Pastayalka¹, S.A. Sivak¹, S.A. Pastayalka²

The state institution "Republican Clinical Medical Center" of the Administration of the President of the Republic of Belarus¹

Belarusian State Medical University, Belarus, Minsk²

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 отличие 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 микрофрагментации и дебалонизации 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 ≥ 18 лет, ангиографически подтверждённая ХТО (окклюзия ≥ 3 месяцев), наличие показаний к реваскуляризации.

Критерии исключения: ОКС в последние 30 суток, декомпенсация ХСН, тяжёлая почечная недостаточность ($eGFR < 30$ мл/мин/1,73 м²), 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/мм²; 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 $MSA \geq 5,5\text{--}6,0$ мм² 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 ² (ср ± SD) / MSA on OCT, mm ²	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 n/N (%) / ELCA	Контроль n/N (%) / 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 ² (ср ± SD) / MLA initial, mm ²	1.2 ± 0.4	1.3 ± 0.5	0.57
MSA, мм ² (мм ²) (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 (MACE: смерть, инфаркт миокарда (ИМ), повторное ЧКВ в целевом сосуде) за 12 месяцев [таблица 4; рис. 3].

Статистика: количественные данные представлены как ср ± SD; сравнение между группами – t-тест Уэлча; доли – критерий χ^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 ± 1.2 против 5.6 ± 1.1 мм²; $p = 0.033$). 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 экспансией стента. Дозы контраста и длительность флюороскопии сопоставимы между группами.

Комментарий к Таблице 3. В группе ЭЛКА улучшение GLS было более выраженным (-14.3 ± 3.1 до -17.9 ± 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 MACE 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.

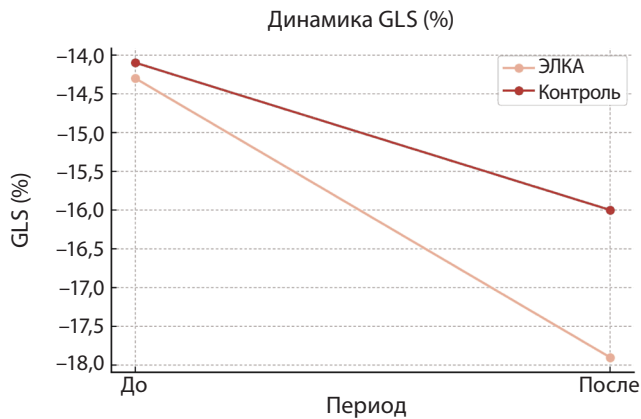


Рисунок 1. Динамика GLS (%) в группах
Figure 1. GLS dynamics by group

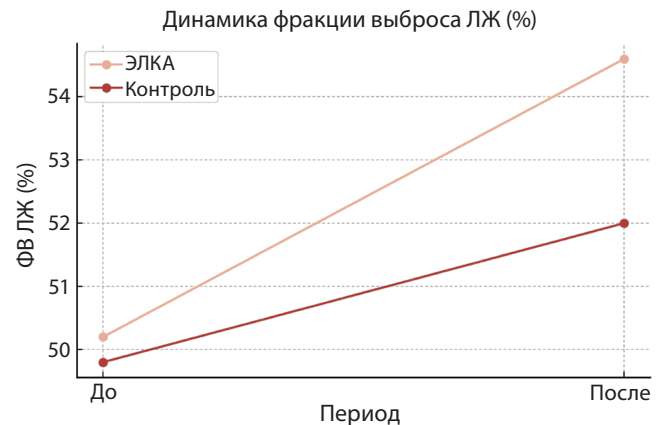


Рисунок 2. Динамика фракции выброса ЛЖ (%)
Figure 2. LVEF dynamics

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 макротравмы интимы, что снижает вероятность глубокой диссекции и способствует равномерной экспансии.

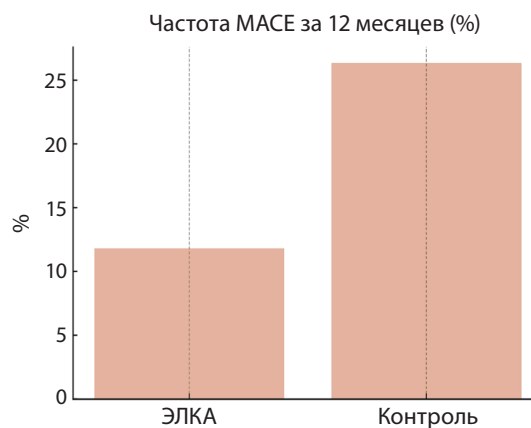


Рисунок 3.
Частота MACE за 12 месяцев

Figure 3.
12-month MACE rate

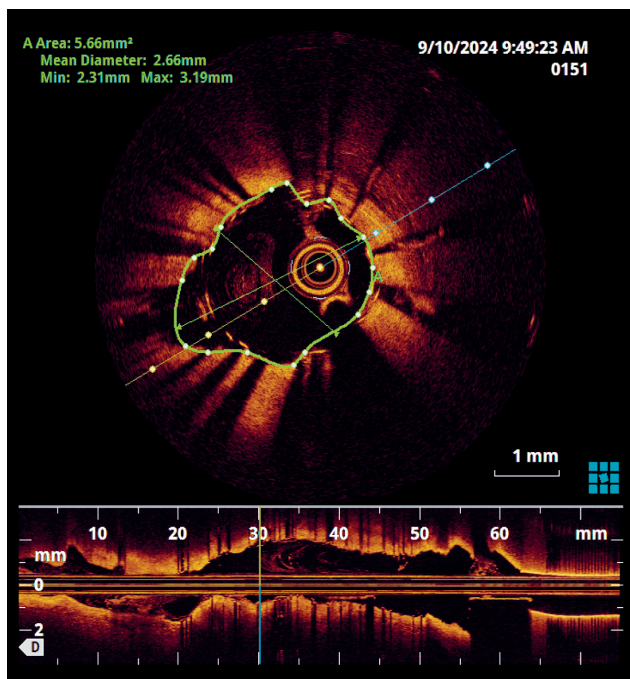


Рисунок 4. ОКТ: после ЭЛКА до стентирования
Figure 4. OCT: post-ELCA pre-stent

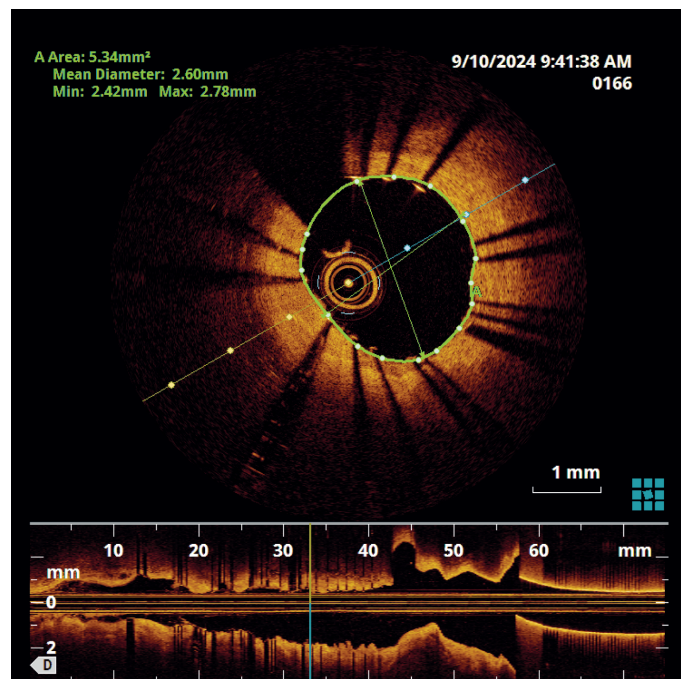


Рисунок 5. ОКТ: после имплантации стента
Figure 5. OCT: post-stent

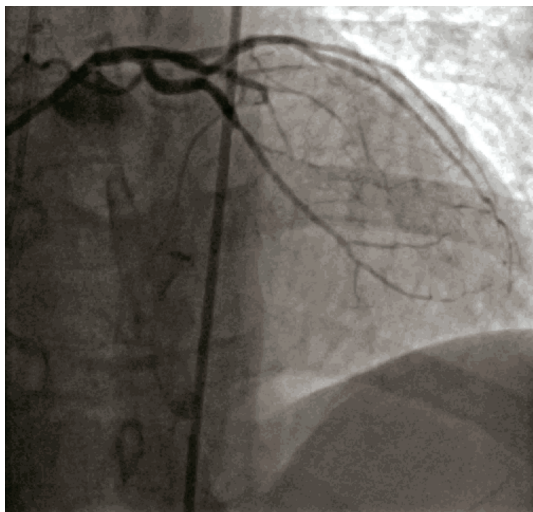


Рисунок 6. LAD: этап 1 (до/во время/после)
Figure 6. LAD: step 1

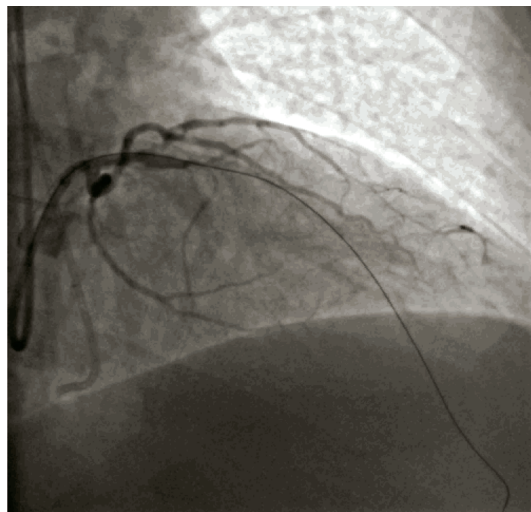


Рисунок 7. LAD: этап 2 (до/во время/после)
Figure 7. LAD: step 2

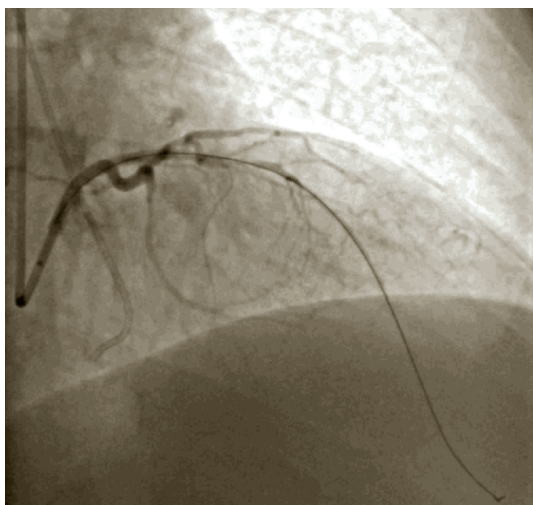


Рисунок 8. LAD: этап 3 (до/во время/после)
Figure 8. LAD: step 3

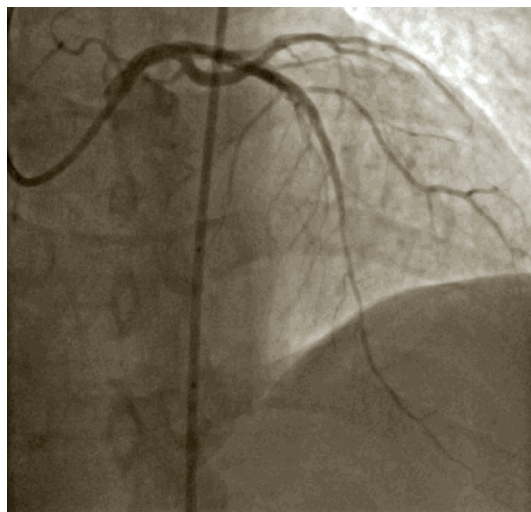


Рисунок 9. LAD: этап 4 (до/во время/после)
Figure 9. LAD: step 4

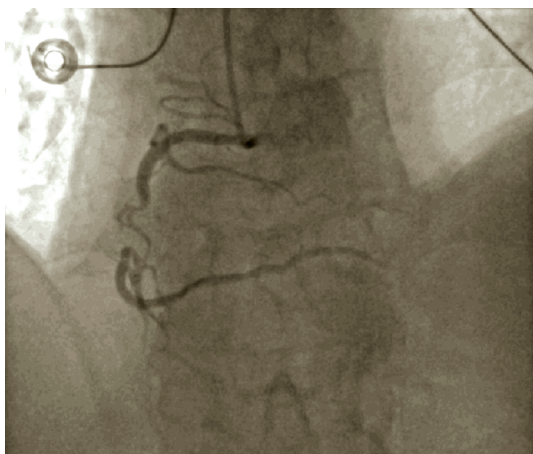


Рисунок 10. RCA: до реваскуляризации
Figure 10. RCA: pre revascularization



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 субэндокардиальных 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 рентгенконтрастного 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., Koskinas 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., Karpalitis 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., Jolicœur 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/nrcardio.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. Karpaliotis 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., Calhoon 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, т. 58(9), с. 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