



Особенности строения атеросклеротических бляшек по данным оптической когерентной томографии у пациентов с ишемической болезнью сердца, проживающих в экстремальных климатических условиях

Утегенов Р. Б., Сапожников С. С., Бессонов И. С.

Цель. Оценить особенности строения атеросклеротических бляшек (АСБ) у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), постоянно проживающих на Крайнем Севере (КС) Тюменской области, в сравнении с больными Юга Тюменской области (ЮТО).

Материал и методы. Исследование является пилотным с использованием метода "случай-контроль", включающее 32 пациента со стабильными формами ИБС (средний возраст составил 62,7±8,9 года, 24 (75%) мужчин). Основная группа — 16 пациентов, постоянно проживающих на КС Тюменской области (некоренное население), группа сравнения — 16 пациентов, постоянно проживающих на ЮТО. У всех пациентов ИБС была верифицирована с использованием инструментальных методов диагностики. Всем пациентам проводилась оптическая когерентная томография (ОКТ), по данным которой анализировали тип АСБ. Выделяли следующие типы АСБ: фиброзная, фиброатерома, кальцинированная фиброатерома, фиброатерома с тонкой капсулой (ФАТК). ФАТК определялась при наличии фиброзной покрышки толщиной ≤65 мкм и дуги некротического ядра не менее 90°. Также выделяли высоконасыщенную липидами АСБ, которая определялась при наличии липидной дуги >180°.

Результаты. По клиническим и ангиографическим характеристикам пациенты в сравниваемых группах были статистически сопоставимы. Всего у 32 пациентов было проанализировано 134 АСБ. В основной группе — 65 АСБ, в контрольной — 69 АСБ ($p>0,05$). Наиболее частым типом АСБ в обеих группах была кальцинированная фиброатерома (46,2% в группе КС и 50,7% в группе ЮТО, $p=0,609$). ФАТК статистически значимо чаще определялась у пациентов, проживающих на КС (33,8% vs 17,4%, $p=0,031$). В этой группе пациентов также чаще определялось наличие тонкой (<65 мкм) фиброзной покрышки АСБ (35,4% vs 18,8%, $p=0,034$). Наличие АСБ с выраженным липидным компонентом в обеих группах определялось с одинаковой частотой (56,9% vs 62,3%, $p=0,598$).

Заключение. У пациентов с верифицированной ИБС, постоянно проживающих в экстремальных климатических условиях, по данным ОКТ более часто определялись ФАТК, что потенциально может ассоциироваться с более высоким риском развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, оптическая когерентная томография, фиброатерома с тонкой капсулой, атеросклеротические бляшки, Крайний Север.

Отношения и деятельность: нет.

Тюменский кардиологический научный центр, ФГБНУ Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Томск, Россия.

Утегенов Р. Б.* — м.н.с., врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, ORCID: 0000-0001-8619-6478, Сапожников С. С. — м.н.с., лаборатория рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения, Научный отдел инструментальных методов исследования, ORCID: 0000-0001-8265-7425, Бессонов И. С. — д.м.н., зав. лабораторией рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения, Научный отдел инструментальных методов исследования, ORCID: 0000-0003-0578-5962.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
ruslanutegenov8776@gmail.ru

АСБ — атеросклеротическая бляшка, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, КС — Крайний Север, ОКС — острый коронарный синдром, ОКТ — оптическая когерентная томография, ФАТК — фиброатерома с тонкой капсулой, ЮТО — Юг Тюменской области.

Рукопись получена 29.03.2024

Рецензия получена 26.05.2024

Принята к публикации 17.06.2024



Для цитирования: Утегенов Р. Б., Сапожников С. С., Бессонов И. С. Особенности строения атеросклеротических бляшек по данным оптической когерентной томографии у пациентов с ишемической болезнью сердца, проживающих в экстремальных климатических условиях. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(8):5865. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5865. EDN VDLPE

Atherosclerotic plaque structure according to optical coherence tomography in patients with coronary artery disease living in extreme weather conditions

Utegenov R. B., Sapozhnikov S. S., Bessonov I. S.

Aim. To evaluate the plaque structural features in patients with coronary artery disease (CAD) permanently residing in the Far North of the Tyumen region in comparison with patients in the South of the Tyumen region.

Material and methods. This pilot case-control study included 32 patients with stable CAD (mean age 62,7±8,9 years, 24 (75%) men). The main group consisted of 16 patients permanently residing in the Far North of Tyumen region (non-indigenous population), while the comparison group consisted of 16 patients permanently residing in the South of the Tyumen region. In all patients, CAD was verified using paraclinical diagnostic methods. All patients underwent optical coherence tomography (OCT), according to which the plaque type was analyzed. The following

plaque types were distinguished: fibrous, fibroatheroma, calcified fibroatheroma, thin-cap fibroatheroma (TCFA). TCFA was defined as the presence of a fibrous cap ≤65 μm thick and an arc of the necrotic core of at least 90°. In addition, a lipid-rich plaque was isolated, which was determined by a lipid arc of more than 180°.

Results. According to clinical and angiographic characteristics, patients in the compared groups were statistically comparable. A total of 134 plaques were analyzed from 32 patients (main group — 65 plaques; control group — 69 plaques ($p>0,05$)). The most common plaque type in both groups was calcified fibroatheroma (46,2% in the Far North group and 50,7% in the South group, $p=0,609$). TCFA was significantly more often detected in patients living in far north (33,8% vs 17,4%,

$p=0,031$). In this group of patients, thin ($<65\ \mu\text{m}$) fibrous plaque cap was also more often determined (35,4% vs 18,8%, $p=0,034$). Lipid-rich plaques in both groups was determined with the same frequency (56,9% vs 62,3%, $p=0,598$).

Conclusion. In patients with verified CAD living in extreme weather conditions, according to OCT, TCFA was more often determined, which could potentially be associated with a higher risk of adverse cardiovascular events.

Keywords: coronary artery disease, optical coherence tomography, thin-cap fibroatheroma, atherosclerotic plaques, Far North.

Relationships and Activities: none.

Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia.

Utegenov R.B.* ORCID: 0000-0001-8619-6478, Sapozhnikov S.S. ORCID: 0000-0001-8265-7425, Bessonov I.S. ORCID: 0000-0003-0578-5962.

*Corresponding author:
ruslanutegenov8776@gmail.ru

Received: 29.03.2024 **Revision Received:** 26.05.2024 **Accepted:** 17.06.2024

For citation: Utegenov R.B., Sapozhnikov S.S., Bessonov I.S. Atherosclerotic plaque structure according to optical coherence tomography in patients with coronary artery disease living in extreme weather conditions. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(8):5865. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5865. EDN VDLPVE

Ключевые моменты

- У пациентов, проживающих в условиях Крайнего Севера, определяется более частое и комплексное атеросклеротическое поражение коронарных артерий.
- По данным оптической когерентной томографии более часто определяется фиброатерома с тонкой капсулой ("vulnerable" plaque) у пациентов, проживающих в экстремальной климатической зоне.
- Фиброатерома с тонкой капсулой ассоциируется с риском развития неблагоприятных кардиальных событий.

В проведенных ранее исследованиях было показано, что структура атеросклеротической бляшки (АСБ) является важным фактором, определяющим риск развития острого коронарного синдрома (ОКС) [1]. Оптическая когерентная томография (ОКТ) является высокоточным методом, который позволяет прижизненно оценить особенности строения АСБ. При формировании ОКТ-изображения используется свет в ближнем инфракрасном диапазоне. Разрешающая способность метода составляет до 10 мкм, что в 10 раз превышает возможности внутрисосудистого ультразвукового исследования [2, 3]. Такое разрешение позволяет с высоким уровнем детализации оценить структурные компоненты АСБ, а также выявить патологические паттерны, ассоциирующиеся с ее уязвимостью в отношении развития ОКС [4, 5].

Следует отметить, что данные ОКТ имеют высокую специфичность в сравнении с гистологическим исследованием артериальных сегментов, полученных на аутопсии. Так, при анализе 357 сегментов коронарных артерий было определено, что чувствительность и специфичность метода ОКТ для фиброзного компонента АСБ составила 79 и 98%, для кальцинированных бляшек — 96 и 97%, для бляшек с вырванным липидным компонентом — 94 и 92%,

Key messages

- Patients living in the Far North have more frequent and complex coronary atherosclerosis.
- According to optical coherence tomography, thin-cap fibroatheroma is more often determined in patients living in extreme weather conditions.
- Thin-cap fibroatheroma is associated with a risk of adverse cardiovascular events.

соответственно. Кроме того, воспроизводимость результатов ОКТ как между операторами, так и у одного оператора были высокими (значения каппа 0,88 и 0,91, соответственно) [6].

В результате проведенных нами ранее исследований было установлено, что у пациентов, проживающих в условиях Крайнего Севера (КС) Тюменской области, в сравнении с больными Юга Тюменской области (ЮТО), определялось более частое и комплексное атеросклеротическое поражение коронарного русла. В качестве ведущего патогенетического механизма развития и быстрого прогрессирования атеросклероза в условиях высоких широт наиболее вероятно выступает синдром полярного напряжения. Это состояние приводит к истощению резервных возможностей организма и запуску каскада патологических реакций, в первую очередь затрагивающих сердечно-сосудистую систему у лиц молодого и трудоспособного возраста [7]. Кроме того, суровые природно-климатические условия также могут оказывать значительное влияние на образ жизни, пищевое поведение и психоэмоциональное состояние пациентов [8].

Учитывая вышеизложенное, актуальным является вопрос об изучении морфологических особенностей коронарного атеросклероза у пациентов, постоянно проживающих в экстремальных климатических условиях. Таким образом, целью настоящей работы явилась оценка особенностей строения АСБ у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), посто-

янно проживающих на КС, в сравнении с больными ЮТО по данным ОКТ.

Материал и методы

В рамках пилотного исследования с использованием метода "случай-контроль" было проанализировано 32 пациента со стабильными формами ИБС (средний возраст — $62,7 \pm 8,9$ года, 75% мужчин) с планом дальнейшего проспективного наблюдения через 1 год. Основную группу составили 16 пациентов, постоянно проживающих на КС Тюменской области, группа сравнения включала 16 пациентов, постоянно проживающих на ЮТО.

Критерии включения пациентов в исследование:

1) Подписанное информированное добровольное согласие;

2) Верифицированная ишемия миокарда по данным функциональных тестов, либо наличие гемодинамически значимого стеноза коронарных артерий;

3) Техническая возможность проведения ОКТ;

4) Возраст от 25 до 75 лет.

Критерии исключения:

1) Коренные жители КС;

2) Острые формы ИБС;

3) Техническая невозможность проведения ОКТ;

4) Эндоваскулярная реваскуляризация давностью <1 года;

5) Онкологические заболевания;

6) Отказ от подписания информированного согласия;

7) Выраженное поражение клапанов сердца, требующее хирургического вмешательства;

8) Тяжелые формы хронической болезни сердца (скорость клубочковой фильтрации <30 мл/мин);

9) Аортокоронарное шунтирование в анамнезе.

Диагноз ИБС выставлялся на основании клинико-анамнестических данных (инфаркт миокарда (ИМ) в анамнезе, стенокардия высокого функционального класса, безболевая ишемия миокарда) и был подтвержден с использованием инструментальных методов исследования (стресс-эхокардиография, велоэргометрическая проба, тредмил-тест, суточное мониторирование электрокардиограммы). Всем пациентам проводилась селективная коронарография с использованием ангиографических комплексов Phillips Integris Allura (Голландия), Phillips Azurion 7 (Голландия). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 175 от 16.11.2021). Исследование проведено в соответствии с положениями Хельсинкской декларации.

Всем пациентам проводилась ОКТ с использованием аппарата Plumien (St. Jude Medical, США). Визуализация целевой артерии выполнялась с автоматической аппаратной протяжкой со скоростью 20 мм/с

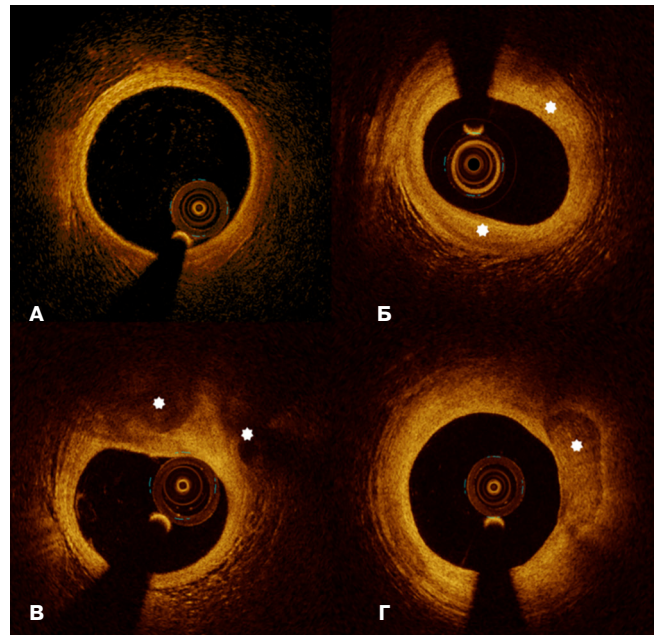


Рис. 1. Изображение коронарной артерии, полученное с использованием ОКТ. А — неизменная коронарная артерия, визуализируется трехслойное строение артериальной стенки; Б — фиброзная АСБ на 1 и 6 часах (звездочки); В — фиброатерома в сегменте от 11 до 3 ч, максимальная концентрация липидного компонента обозначено звездочками; Г — кальцинированная фиброатерома, отложение кальция в сегменте от 1 до 4 ч обозначено звездочкой.

при введении контрастного вещества в артерию. Изображения поперечного сечения (срезы) анализировались через интервал в 1 мм при анализе количественных характеристик и через интервал в 0,2 мм при анализе качественных характеристик. По данным ОКТ анализировали тип АСБ. Выделяли следующие типы АСБ: фиброзная, фиброатерома, кальцинированная фиброатерома, фиброатерома с тонкой капсулой (ФАТК) (рис. 1) [2]. ФАТК определялась при наличии фиброзной покрышки толщиной ≤ 65 мкм и дуги некротического ядра не менее 90° (рис. 2) [3]. Кроме того, выделяли высоконасыщенную липидами АСБ (lipid reach plaque), которая определялась при наличии липидной дуги $>180^\circ$ (рис. 3) [9].

Статистический анализ. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ SPSS (версия 26.0). Непрерывные переменные были представлены как среднее $\pm$ стандартное отклонение или медианой (25-й — 75-й перцентиль) в зависимости от результатов тестов на нормальность распределения переменной. Категориальные переменные описаны в виде чисел и пропорций (долей). Выборка малого объема и для сравнения непрерывных переменных применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. Для сопоставления качественных переменных использовали точный критерий Фишера. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

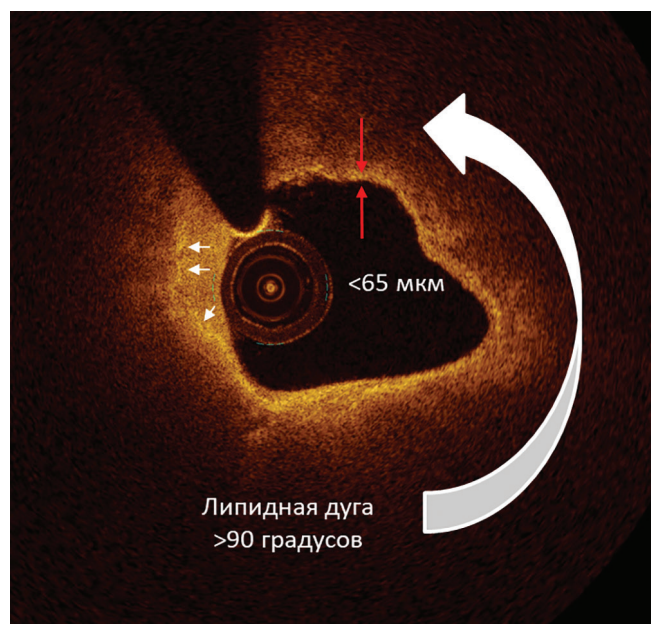


Рис. 2. ФАТК. Липидная дуга превышает 90 градусов, толщина фиброзной капсулы <65 мкм (красные стрелки); скопления макрофагов отмечены белыми стрелками.

Примечание: цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

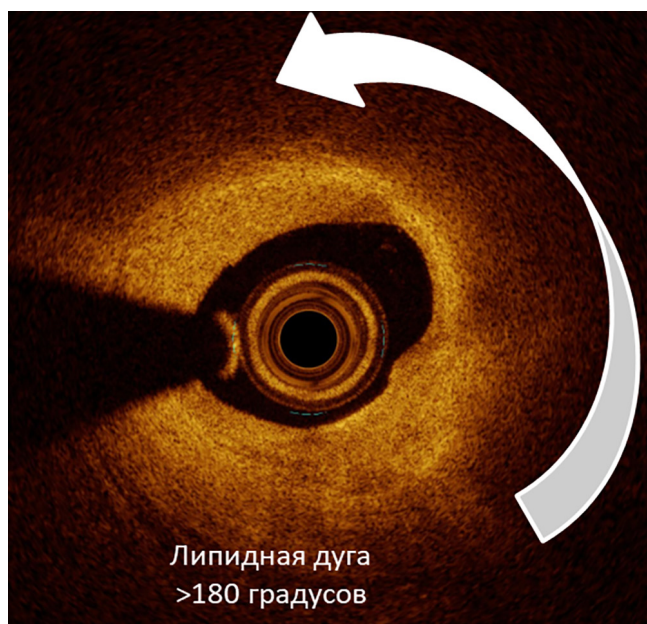


Рис. 3. Высоконасыщенная липидами АСБ (Lipid Reach Plaque), липидная дуга превышает 180 градусов.

Таблица 1

Клиническая характеристика пациентов

Показатель	Пациенты, проживающие на КС (n=16)	Пациенты, проживающие на ЮТО (n=16)	p
Возраст, лет, M±SD	64,4±9,1	61,1±8,7	0,402
Мужской пол, n (%)	13 (81,3)	11 (68,8)	0,685
Артериальная гипертония, n (%)	16 (100)	16 (100)	1,000
Гиперлипидемия, n (%)	13 (81,3)	14 (87,5)	1,000
Курение, n (%)	5 (31,3)	2 (12,5)	0,394
Индекс массы тела, кг/м ²	31,1±5,4	31,1±5,8	0,838
Ожирение, n (%)	8 (50)	7 (43,8)	1,000
Сахарный диабет, n (%)	2 (12,5)	5 (31,3)	0,394
ХБП, n (%)	3 (18,8)	1 (6,3)	0,600
ХОБЛ, n (%)	2 (12,5)	1 (6,3)	0,600
ИМ в анамнезе, n (%)	4 (25)	1 (6,3)	1,000
Инсульт в анамнезе, n (%)	2 (12,5)	2 (12,5)	0,333
Глюкоза, ммоль/л, M±SD	5,7±0,9	6,7±2,6	0,287
Общий холестерин, ммоль/л, M±SD	4,4±1,1	4,4±1,0	0,985
ЛНП, ммоль/л, M±SD	2,7±1,0	2,6±0,7	0,838
ЛОНП, ммоль/л, M±SD	0,7±0,3	0,8±0,6	0,423
ЛВП, ммоль/л, M±SD	1,17±0,4	1,25±0,2	0,094
Триглицериды, ммоль/л, M±SD	1,4±0,6	1,8±1,4	0,669
СКФ, мл/мин/1,73 м ² , M±SD	79,3±11,8	85,7±12,9	0,171
Постоянный прием аспирина, n (%)	8 (50)	7 (43,8)	1,000
Постоянный прием клопидогрела, n (%)	2 (12,5)	2 (12,5)	1,000
Постоянный прием иАПФ/БРА, n (%)	14 (87,5)	13 (81,3)	1,000
Постоянный прием β-блокаторов, n (%)	10 (62,5)	10 (62,5)	1,000
Постоянный прием статинов, n (%)	15 (93,8)	12 (75)	0,333
ФВ ЛЖ, %, M±SD	61,4±3,8	62,9±1,9	0,171

Сокращения: БРА — блокаторы рецепторов ангиотензина II, иАПФ — ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, ИМ — инфаркт миокарда, КС — Крайний Север, ЛВП — липопротеиды высокой плотности, ЛНП — липопротеиды низкой плотности, ЛОНП — липопротеиды очень низкой плотности, СКФ — скорость клубочковой фильтрации, ХБП — хроническая болезнь почек, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ЮТО — Юг Тюменской области.

Таблица 2

Ангиографическая характеристика пациентов

Показатель		Пациенты, проживающие на КС (n=16)	Пациенты, проживающие на ЮТО (n=16)	p
Среднее количество коронарных артерий, где выполнена ОКТ, Ме (Q ₁ -Q ₃)		2 [2;3]	2,5 [2;3]	0,468
Среднее количество исследуемых сегментов коронарных артерий по шкале CASS, M±SD		3,2±1,1	3,1±0,9	0,809
Среднее количество исследованных АСБ, M±SD		4,1±1,8	4,3±2,0	0,809
Наличие диффузного поражения коронарной артерии, n (%)		10 (62,5)	10 (62,5)	1,000
Сегменты коронарных артерий, где локализовались анализируемые АСБ				
ПМЖА, n (%)	Проксимальный сегмент	9 (56,3)	6 (37,5)	0,479
	Средний сегмент	12 (75,0)	13 (81,3)	1,000
	Дистальный сегмент	—	—	—
ОА, n (%)	Проксимальный сегмент	8 (50,0)	6 (37,5)	0,722
	Дистальный сегмент	2 (12,5)	2 (12,5)	1,000
ПКА, n (%)	Проксимальный сегмент	5 (31,3)	7 (43,8)	0,716
	Средний сегмент	8 (50,0)	9 (56,3)	1,000
	Дистальный сегмент	3 (18,8)	1 (6,3)	0,600
ВТК, n (%)		2 (12,5)	4 (25)	0,654
ИА, n (%)		1 (6,3)	1 (6,3)	1,000

Сокращения: АСБ — атеросклеротическая бляшка, ВТК — ветвь тупого края, ИА — интермедиарная артерия, КС — Крайний Север, ОА — огибающая артерия, ОКТ — оптическая когерентная томография, ПКА — правая коронарная артерия, ПМЖА — передняя межжелудочковая артерия, ЮТО — Юг Тюменской области, CASS — coronary artery surgery study.

Результаты

При анализе клинических данных было определено, что пациенты в сравниваемых группах были статистически сопоставимы по всем характеристикам (табл. 1). В группе пациентов, проживающих на ЮТО, определялась тенденция к более высокому содержанию в крови липопротеидов высокой плотности. При анализе ангиографической характеристики (табл. 2) между сравниваемыми группами также не определялось статистически значимых различий. Всего у 32 пациентов было проанализировано 134 АСБ. При этом в группе пациентов, проживающих на КС — 65 АСБ, на ЮТО — 69 АСБ (табл. 3). При оценке результатов количественного анализа данных ОКТ было выявлено, что у больных, проживающих на КС, были больше минимальная и референсная площади просвета артерии. При этом средние диаметр и площадь стеноза были больше у пациентов ЮТО. По другим количественным характеристикам, в т.ч. протяженности АСБ и выраженности липидного компонента, статистически значимых различий не определялось. В результате качественного анализа данных ОКТ было определено, что наиболее частым типом АСБ в обеих группах была кальцинированная фиброатерома. При этом ФАТК статистически значимо чаще определялась у пациентов, проживающих на Севере Тюменской области. Кроме того, в этой группе пациентов также чаще определялось наличие тонкой (<65 мкм) фиброзной покрышки АСБ. Следует отметить, что наличие АСБ с выраженным липидным компонентом в обеих группах определялось с одинаковой частотой (рис. 4).

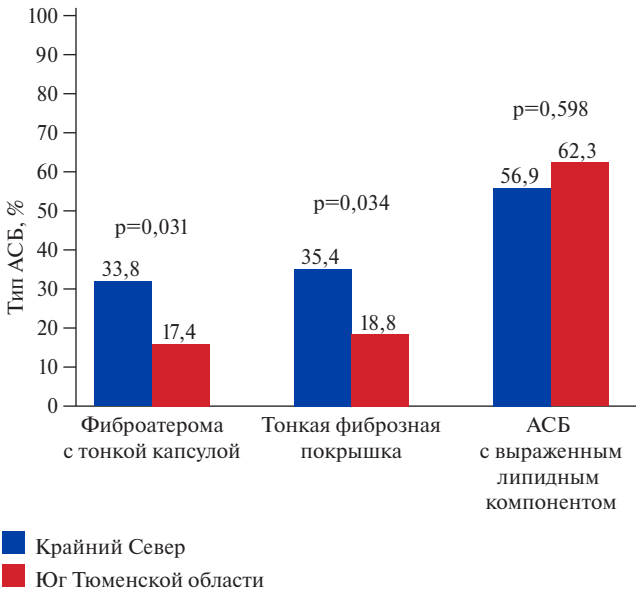


Рис. 4. Сравнение различных типов АСБ в зависимости от места жительства. **Сокращение:** АСБ — атеросклеротическая бляшка.

Обсуждение

Полученные в нашем исследовании результаты продемонстрировали, что у пациентов с верифицированной ИБС, постоянно проживающих на Севере Тюменской области, чаще определялась тонкая фиброзная капсула (<65 мкм) АСБ. Также у этих пациентов чаще определялась ФАТК, которая является "яз-

Таблица 3

Результаты количественного и качественного анализа АСБ по данным ОКТ

Показатель	КС (n=65)	ЮТО (n=69)	p	
Результаты количественного анализа				
Минимальная площадь просвета, мм ² , M±SD	4,38±2,5	3,30±2,0	0,009	
Референсная площадь просвета, мм ² , M±SD	7,34±2,7	6,26±2,8	0,026	
Процент стеноза по диаметру, %, M±SD	26,4±17,3	31,5±15,2	0,037	
Процент стеноза по площади, %, M±SD	45,0±23,6	50,7±19,9	0,038	
Протяженность АСБ, мм, M±SD	13,7±4,8	13,0±5,2	0,424	
Липидный индекс, M±SD	2104,8±1271,3	2112,4±1159,9	0,958	
Максимальная липидная дуга, °, Me (Q ₁ -Q ₃)	180 [108;360]	180 [160;360]	0,484	
Протяженность липидного компонента, мм, M±SD	8,58±4,99	8,22±4,3	0,970	
Минимальная толщина покрышки АСБ, мкм, Me (Q ₁ -Q ₃)	80 [60;123]	90 [70;140]	0,276	
Минимальное расстояние кальциевого включения до просвета артерии, мкм, Me (Q ₁ -Q ₃)	60 [40;100]	50 [5;100]	0,302	
Результаты качественного анализа				
Наличие отложений кальция, n (%)	49 (75,4)	44 (63,8)	0,189	
Наличие колоний макрофагов, n (%)	38 (58,5)	43 (62,3)	0,725	
Наличие кристаллов холестерина, n (%)	29 (44,6)	32 (46,4)	0,864	
Наличие микроканалов (vasa vasorum), n (%)	36 (55,4)	46 (66,7)	0,216	
Тип АСБ, n (%)	Фиброзная	4 (6,2)	5 (7,2)	1,000
	Фиброатерома	9 (13,8)	17 (24,6)	0,131
	Кальцинированная фиброатерома	30 (46,2)	35 (50,7)	0,609
	Фиброатерома с тонкой капсулой	22 (33,8)	12 (17,4)	0,031
Наличие АСБ с выраженным липидным компонентом, n (%)	37 (56,9)	43 (62,3)	0,598	
Наличие фиброзной покрышки АСБ <65 мкм, n (%)	23 (35,4)	13 (18,8)	0,034	
Наличие поверхностного кальция, n (%)	26 (40,0)	28 (40,6)	1,000	

Сокращения: АСБ — атеросклеротическая бляшка, КС — Крайний Север, ЮТО — Юг Тюменской области.

вимой" АСБ ("vulnerable" plaque) в отношении развития неблагоприятных событий. В ряде проведенных ранее исследований было показано, что такой тип АСБ ассоциируется с неблагоприятным прогнозом. Так, ФАТК определялись значительно чаще у пациентов с ИМ с подъемом сегмента ST и ОКС без подъема сегмента ST по сравнению с пациентами со стабильной стенокардией — 72, 50 и 20%, соответственно ($p=0,012$). Кроме того, пациенты с ИМ с подъемом сегмента ST и ОКС без подъема сегмента ST чаще имели более тонкую фиброзную капсулу — 47,0, 53,8 и 102,6 мкм, соответственно ($p=0,034$) [10]. В проспективном обсервационном исследовании COMBINE FFR-OCT (Optical Coherence Tomography Morphologic and Fractional Flow Reserve Assessment in Diabetes Mellitus Patients) было показано, что наличие ФАТК ассоциировалось с риском неблагоприятных коронарных событий. В группе "уязвимых" АСБ значимо чаще регистрировались ИМ целевого сосуда (4,1 vs 0%, $p<0,001$) и повторная экстренная госпитализация по поводу нестабильной стенокардии (6,2 vs 1,7%, $p=0,002$) [11].

По результатам исследования CLIMA было определено, что наличие ФАТК по данным ОКТ шестикратно увеличивало риск развития больших неблагоприятных кардиальных и цереброваскулярных событий в течение 1 года наблюдения, а сочетание ФАТК с наличием

макрофагов и минимальной площадью просвета артерии <3,5 мм² увеличивало этот риск в 7 раз [12].

Помимо этого, выявленные структурные особенности АСБ у пациентов, постоянно проживающих на КС, могут частично объяснить результаты наших предыдущих исследований, согласно которым у пациентов на КС наблюдалась более высокая частота ИМ в анамнезе, несмотря на их более молодой возраст. Вероятно, распространенность такого типа АСБ, как ФАТК, могла бы служить одним из ключевых факторов, объясняющих этот феномен.

Современные литературные данные формируют четкое представление о патогенезе развития ФАТК. Неизменная стенка коронарной артерии является самостоятельной динамично регулирующейся системой. Однако физические и химические стрессовые факторы способны нарушить целостность этой системы, в первую очередь за счет повреждения эндотелия. В результате нарушения целостности эндотелиальной стенки артерии происходит увеличение ее проницаемости и начинается поступление липидов из кровотока, в результате чего запускается воспалительный процесс [13]. В зоне асептического воспаления начинают концентрироваться макрофаги, которые поглощают липидный компонент в артериальной стенке, образуя пенные клетки, наполненные липи-

дами. В зависимости от активности воспалительных цитокинов и количества липопротеидов макрофаги подвергаются апоптозу. Погибшие макрофаги сливаются в богатое липидами некротическое ядро, которое стимулирует миграцию гладкомышечных клеток в интиму. Так происходит формирование коллагеновой фиброзной капсулы, что, в свою очередь, приводит к образованию стабильной фиброатеромы. В условиях продолжительного хронического воспаления макрофаги оказывают катаболические эффекты, которые способствуют разрушению и истончению фиброзной покрышки, что и приводит к образованию ФАТК [14]. Таким образом, хроническое воспаление, вероятно, играет ключевую роль в трансформации стабильной фиброатеромы в ФАТК.

Эти данные поддерживают гипотезу о влиянии природно-климатических факторов на пролонгированное течение хронического воспаления в стенке артерии и, соответственно, увеличение частоты встречаемости ФАТК в популяции, проживающей на КС. Частичное подтверждение этой гипотезы представлено исследованием Воробьевой Н.А. и др., где было выявлено превышение уровня маркеров сосудистого воспаления относительно референсных значений у жителей КС¹. Тем не менее остается неизученным, являются ли данные патологические изменения ге-

нетически детерминированными, либо формируются под влиянием экстремальных климатогеографических факторов.

Глубокое понимание молекулярных механизмов воспалительных процессов в развитии атеросклероза открывает перспективы для разработки эффективных стратегий профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с образованием ФАТК. В дальнейших исследованиях следует обращать внимание на детали взаимодействия природных факторов и биологических процессов, чтобы более точно определить механизмы воздействия окружающей среды на развитие атеросклероза и возможные способы профилактики его развития.

Ограничения исследования. Исследование является одноцентровым, с относительно небольшим размером выборки, что является его основным ограничением и потенциально может явиться причиной ложноположительного результата.

Заключение

При анализе структуры АСБ с использованием ОКТ у пациентов с верифицированной ИБС, проживающих в условиях КС, в сравнении с больными ЮТО более часто определялись ФАТК, что потенциально может ассоциироваться с более высоким риском развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Kubo T, Ino Y, Mintz GS, et al. Optical coherence tomography detection of vulnerable plaques at high risk of developing acute coronary syndrome. *European Heart Journal — Cardiovascular Imaging*. 2021;22(12):1376-84. doi:10.1093/ehjci/jeab028.
- Babunashvili AM, Sozykin AV. Optical coherence tomography of the coronary arteries. Atlas for clinical use. Moscow: ACB; 2019. 148 p. (In Russ.) Бабунашвили А.М., Созыкин А.В. Оптическая когерентная томография коронарных артерий. Атлас для клинического применения. М.: ACB, 2019. 148 с. ISBN: 978-5-4323-0332-5.
- Araji M, Park SJ, Dauerman HL, et al. Optical coherence tomography in coronary atherosclerosis assessment and intervention. *Nat Rev Cardiol*. 2022;19(10):684-703. doi:10.1038/s41569-022-00687-9.
- Kochergin NA, Kochergina AM. Potential of optical coherence tomography and intravascular ultrasound in the detection of vulnerable plaques in coronary arteries. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(1):2909. (In Russ.) Кочергин Н.А., Кочергина А.М. Возможности оптической когерентной томографии и внутрисосудистого ультразвука в выявлении нестабильных бляшек в коронарных артериях. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022;21(1):2909. doi:10.15829/1728-8800-2022-2909.
- Legutko J, Bryniarski KL, Kaluza GL, et al. Intracoronary Imaging of Vulnerable Plaque-From Clinical Research to Everyday Practice. *J Clin Med*. 2022;11(22):6639. doi:10.3390/jcm11226639.
- Yabushita H, Bouma BE, Houser SL, et al. Characterization of human atherosclerosis by optical coherence tomography. *Circulation*. 2002;106:1640-5. doi:10.1161/01.cir.0000029927.92825.f6.
- Marasanov AV, Stekhin AA, Yakovleva GV. An Approach to Public Health Protection in the Arctic Zone of the Russian Federation (Review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(2):201-12. (In Russ.) Марасанов А.В., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Подход к обеспечению здоровьесбережения населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор). Журн. мед.-биол. исследований. 2021;9(2):201-12. doi:10.37482/2687-1491-Z058.
- Korneeva EV, Trekina NE, Mamina AA. The influence of food behavior and physical activity on the development of metabolic syndrome in young economically active population living in the far north areas. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2015;14(1):41-6. (In Russ.) Корнеева Е.В., Трекина Н.Е., Мамина А.А. Влияние пищевого поведения и физической активности на развитие метаболического синдрома у молодого трудоспособного населения, длительно проживающего в условиях Крайнего Севера. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2015;14(1):41-6. doi:10.15829/1728-8800-2015-1-41-46.
- Sekimoto T, Mori H, Koba S, et al. Clinical features and lipid profiles of plaque erosion over lipid-rich plaque versus fibrous plaque in patients with acute coronary syndrome. *Atherosclerosis*. 2022;360:47-52. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2022.07.008.
- Kitahara S, Kataoka Y, Otsuka F, et al. Plaque erosion or coronary artery embolism? Findings from clinical presentation, optical coherence tomographic and histopathological analysis in a case with acute coronary syndrome. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019;35:1791-2. doi:10.1007/s10554-019-01641-6.
- Kedhi E, Berta B, Roleder T, et al. Thin-cap fibroatheroma predicts clinical events in diabetic patients with normal fractional flow reserve: the COMBINE OCT-FFR trial. *Eur Heart J*. 2021;42(45):4671-9. doi:10.1093/eurheartj/ehab433.
- Prati F, Romagnoli E, Gatto L, et al. Relationship between coronary plaque morphology of the left anterior descending artery and 12 months clinical outcome: the CLIMA study. *Eur Heart J*. 2020;41(3):383-91. doi:10.1093/eurheartj/ehz520.
- Ragino Yul, Stryukova EV, Murashov IS, et al. Association of endothelial dysfunction factors with the presence of unstable atherosclerotic plaques in the coronary arteries. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;5(26):9. (In Russ.) Рагино Ю.И., Стрюкова Е.В., Мурашов И.С. и др. Ассоциация факторов эндотелиальной дисфункции с наличием нестабильных атеросклеротических бляшек в коронарных артериях. Российский кардиологический журнал. 2019;5(26):9. doi:10.15829/1560-4071-2019-5-26-29.
- Henein MY, Vancheri S, Longo G, et al. The Role of Inflammation in Cardiovascular Disease. *Int J Mol Sci*. 2022;23(21):12906. doi:10.3390/ijms232112906.