



Различия в формировании локальных атеросклеротических изменений дуги аорты

Халилов М.А.¹, Мошкин А.С.^{1,2}, Олейниченко А.П.^{1,3}, Мошкина Л.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

ул. Комсомольская, 95, Орел, 302026, Российская Федерация

² ООО «Хеликс Орел»,

ул. Максима Горького, 47, Орел, 302040, Российская Федерация

³ БУЗ Орловской области «Городская больница им. С.П. Боткина»,

ул. Металлургов, 80, Орел, 302029, Российская Федерация

Халилов Максуд Абдуразакович, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»;

<http://orcid.org/0000-0003-3529-0557>

Мошкин Андрей Сергеевич, к. м. н., доцент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», врач ультразвуковой диагностики ООО «Хеликс Орел»;

<http://orcid.org/0000-0003-2085-0718>

Олейниченко Антон Павлович, ассистент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», врач-рентгенолог БУЗ Орловской области «Городская больница им. С.П. Боткина»;

<http://orcid.org/0009-0008-8526-7236>

Мошкина Любовь Викторовна, ассистент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»;

<http://orcid.org/0009-0008-1328-1880>

Резюме

Цель: изучить динамику и закономерности развития атеросклеротических изменений дуги аорты на основании данных компьютерной томографии.

Материал и методы. Изучены данные компьютерной томографии 158 человек, полученных на аппарате Philips Ingenuity CT без контрастирования. Дуга аорты разделена на части: I часть – до плечевого ствола, II часть – до левой подключичной артерии, III часть – дистальнее левой подключичной артерии. Положение локальных атеросклеротических изменений определялось по часовой стрелке с разделением аорты на 24 сектора. Данные группировались и подвергались статистической обработке.

Результаты. Выделены группы пациентов по возрасту: 1-я группа – до 55 лет, 2-я группа – от 56 до 70 лет, 3-я группа – старше 71 года. Количественная оценка выраженности изменений стенки дуги аорты основана на расчете общего количества вовлеченных секторов среди участников групп, уровень значимости соответствовал $p < 0,05$. Выявлены схожие проявления атеросклероза дуги аорты, при этом локализация не связана с полом участников наблюдения. Наименьшее количество изменений обнаружено в I части дуги аорты, наибольшее – в III части, с увеличением в старших возрастных группах.

Заключение. Атеросклеротические изменения в I части дуги аорты наиболее часто выявляются в верхней полуокружности (секторы 22–24). Во II части более часто изменения находились в правой полуокружности (секторы 15–22). В III части дуги аорты изменения наиболее выражены в нижних отделах и слева (секторы 6–14). Расположение локальных изменений стенки дуги аорты у мужчин и женщин различается слабо.

Ключевые слова: аорта; атеросклероз; компьютерная томография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» в рамках государственного задания № 075-00195-25-00 на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов, проект FSGN-2024-0014 (1024041900023-6-3.1.3;3.2.12;3.2.4).

Для цитирования: Халилов М.А., Мошкин А.С., Олейниченко А.П., Мошкина Л.В. Различия в формировании локальных атеросклеротических изменений дуги аорты. Вестник рентгенологии и радиологии. 2024; 105(6): 298–306. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-6-298-306>

Для корреспонденции: Мошкин Андрей Сергеевич, E-mail: as.moshkin@internet.ru

Статья поступила 19.06.2025

После доработки 28.06.2025

Принята к печати 30.06.2025

Differences in the Development of Local Atherosclerotic Changes in the Aortic Arch

Maksud A. Khalilov¹, Andrey S. Moshkin^{1,2}, Anton P. Oleynichenko^{1,3}, Lyubov V. Moshkina¹

¹ Oryol State University named after I.S. Turgenev,
ul. Komsomolskaya, 95, Oryol, 302026, Russian Federation

² Helix Orel LLC,
ul. Maksima Gorkogo, 47, Oryol, 302040, Russian Federation

³ Botkin City Hospital,
ul. Metallurgov, 80, Oryol, 302029, Russian Federation

Maksud A. Khalilov, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Oryol State University named after I.S. Turgenev;
<http://orcid.org/0000-0003-3529-0557>

Andrey S. Moshkin, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Oryol State University named after I.S. Turgenev; Ultrasound Diagnostician, Helix Orel LLC;
<http://orcid.org/0000-0003-2085-0718>

Anton P. Oleynichenko, Assistant Professor, Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Oryol State University named after I.S. Turgenev; Radiologist, Botkin City Hospital;
<http://orcid.org/0009-0008-8526-7236>

Lyubov V. Moshkina, Assistant Professor, Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Oryol State University named after I.S. Turgenev;
<http://orcid.org/0009-0008-1328-1880>

Abstract

Objective: to study the dynamic and patterns of atherosclerotic changes in the aortic arch using computed tomography data.

Material and methods. The computed tomography data of 158 patients obtained at the Philips Ingenuity CT scanner without contrast were studied. The aortic arch was divided into three parts: Part I – up to the brachiocephalic artery, Part II – up to the left subclavian artery, and Part III – distal to the left subclavian artery. The position of the local atherosclerotic lesions was determined by dividing the aorta into 24 segments. The data were grouped and statistically analyzed.

Results. Three age groups were identified: Group 1 – up to 55 years, Group 2 – 56–70 years, and Group 3 – over 70 years. The severity of aortic wall changes was assessed quantitatively by calculating the total number of affected segments among participants in each group. The significance level was $p < 0.05$. Similar patterns of aortic atherosclerosis were found, but the location was not related to gender. The least number of lesions was in Part I of the arch, and the greatest was in Part III. There was an increase with age.

Conclusion. Atherosclerotic disease of the aortic arch is most commonly found in the upper half (segments 22–24) of Part I. In Part II, it was more frequent in the right half (segments 15–22). In Part III, the lesions were most pronounced in lower segments and on the left (segments 6–14). The location of lesions in men and women was slightly different.

Keywords: aorta; atherosclerosis; computed tomography.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was performed at the Oryol State University named after I.S. Turgenev within the framework of state assignment No. 075-00195-25-00 for 2025 and for the planning period of 2026 and 2027, the FSGN project-2024-0014 (1024041900023-6-3.1.3;3.2.12;3.2.4).

For citation: Khalilov MA, Moshkin AS, Oleynichenko AP, Moshkina LV. Differences in the development of local atherosclerotic changes in the aortic arch. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(6): 298–306 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-6-298-306>

For corresponding: Andrey S. Moshkin, E-mail: as.moshkin@internet.ru

Received June 19, 2025

Revised June 28, 2025

Accepted June 30, 2025

Введение / Introduction

В настоящее время сохраняется преобладание патологии системы органов кровообращения, приводящее к снижению трудоспособности и смертности среди населения. Причины развития этих

заболеваний характеризуются выраженной полиэтиологичностью и часто ассоциированы с возрастом пациентов [1].

Положительное влияние на снижение смертности оказывают новые малоинвазивные и вы-

сокотехнологичные методы лечения, совершенствование профилактических мероприятий среди населения [2–5]. При этом одной из важнейших проблем является ранняя диагностика и лечение болезней сердца и крупных сосудов. В клинической практике развитие атеросклероза на уровне магистральных артерий выступает в роли диагностического маркера при оценке прогнозов развития нарушений в системах коронарных и каротидных артерий [6–9].

Компьютерная томография (КТ) получила широкое распространение как высокоэффективный метод диагностики заболеваний органов грудной полости. Он позволяет выявлять значимые изменения магистральных артерий, развивающиеся вследствие атеросклероза, особенно при формировании локального кальциноза [10]. Изучение индивидуальных особенностей развития атеросклероза в области дуги аорты и ее ветвей – чрезвычайно актуальная проблема при планировании современных оперативных вмешательств [11]. Хирургам приходится учитывать особенности локальных изменений и анатомическую изменчивость магистральных сосудов при поиске наилучшего метода лечения [12]. Развитие компьютерных технологий и трехмерной печати позволяет создавать объемные модели на основе данных КТ, учитывать индивидуальные особенности взаимного положения магистральных сосудов до начала выполнения оперативного лечения [13].

Значительная индивидуальная изменчивость ветвей дуги аорты приводит к необходимости создания многобланшевых и гибридных протезов, обеспечивающих более широкие возможности при выполнении операций [14, 15]. Эндоваскулярные методы лечения заболеваний восходящего отдела и дуги аорты снижают время пребывания в стационаре, позволяют одновременно проводить вмешательства на дуге аорты, клапанах сердца, а также коронарное шунтирование [16–18].

Цель – изучить динамику и закономерности развития атеросклеротических изменений дуги аорты на основании данных КТ.

Материал и методы / Material and methods

Изучены данные КТ 158 человек (82 женщины и 76 мужчин) в возрасте от 24 до 93 лет, полученные на аппарате Philips Ingenuity CT без контрастирования. Структуру дуги аорты оценивали на реконструированных изображениях во фронтальной плоскости, ориентированных перпендикулярно ходу сосуда и отображающих поперечное сечение просвета аорты с минимальным искажением в пространстве.

При проведении исследования у дуги аорты были выделены три части справа налево: I часть – до плечевого ствола, II часть – до левой под-

ключичной артерии, III часть – дистальнее левой подключичной артерии. Оценку положения локальных атеросклеротических изменений выполняли на диагностических изображениях поперечного среза сосуда с разделением его на 24 сектора (рис. 1). Каждый сектор соответствовал 15° окружности изучаемого сосуда. Сектор 1 занимал наивысшее положение (353–358°) окружности, сектор 12 определялся наиболее низко (158–143°). Секторы 2–11 соответствовали левой стороне и передней полуокружности реконструированного изображения дуги аорты, а секторы 13–23 – дорзальной полуокружности сосуда.

Полученные в результате анализа результаты регистрировали в электронных таблицах MS Excel 2007, проводили статистический анализ в программе IBM SPSS Statistics 20. Оценку непараметрических критериев выполняли с расчетом критерия Краскела–Уоллиса и определением доверительных интервалов для биномиального распределения. Для количественных показателей изменений в различных группах с учетом возраста и пола применяли t-критерий Стьюдента.

Результаты / Results

В связи с тем что в процессе анализа изображений наиболее ранние признаки изменений стенки аорты у женщин были отмечены с возраста 55 лет, а у мужчин с 41 года, были сформированы три возрастные группы участников:

- 1-я группа – пациенты в возрасте до 55 лет;
- 2-я группа – пациенты в возрасте от 56 до 70 лет;



Рис. 1. Пациент 69 лет. Изменения во II части дуги аорты на уровне секторов 4–15 (фрагмент компьютерной томограммы – реконструированное изображение поперечного сечения дуги аорты)

Fig. 1. Male patient aged 69 years. Changes in Part II of the aortic arch at the level of sectors 4–15 (computed tomogram fragment – reconstructed image of aortic arch cross-section)

– 3-я группа – пациенты старше 71 года.

Распределение результатов изучения изменений структуры стенки на разных участках дуги аорты приведено на рисунке 2.

Представленные результаты были валидны при проверке их достоверности по методу определения доверительных интервалов для биномиального распределения ($p < 0,05$).

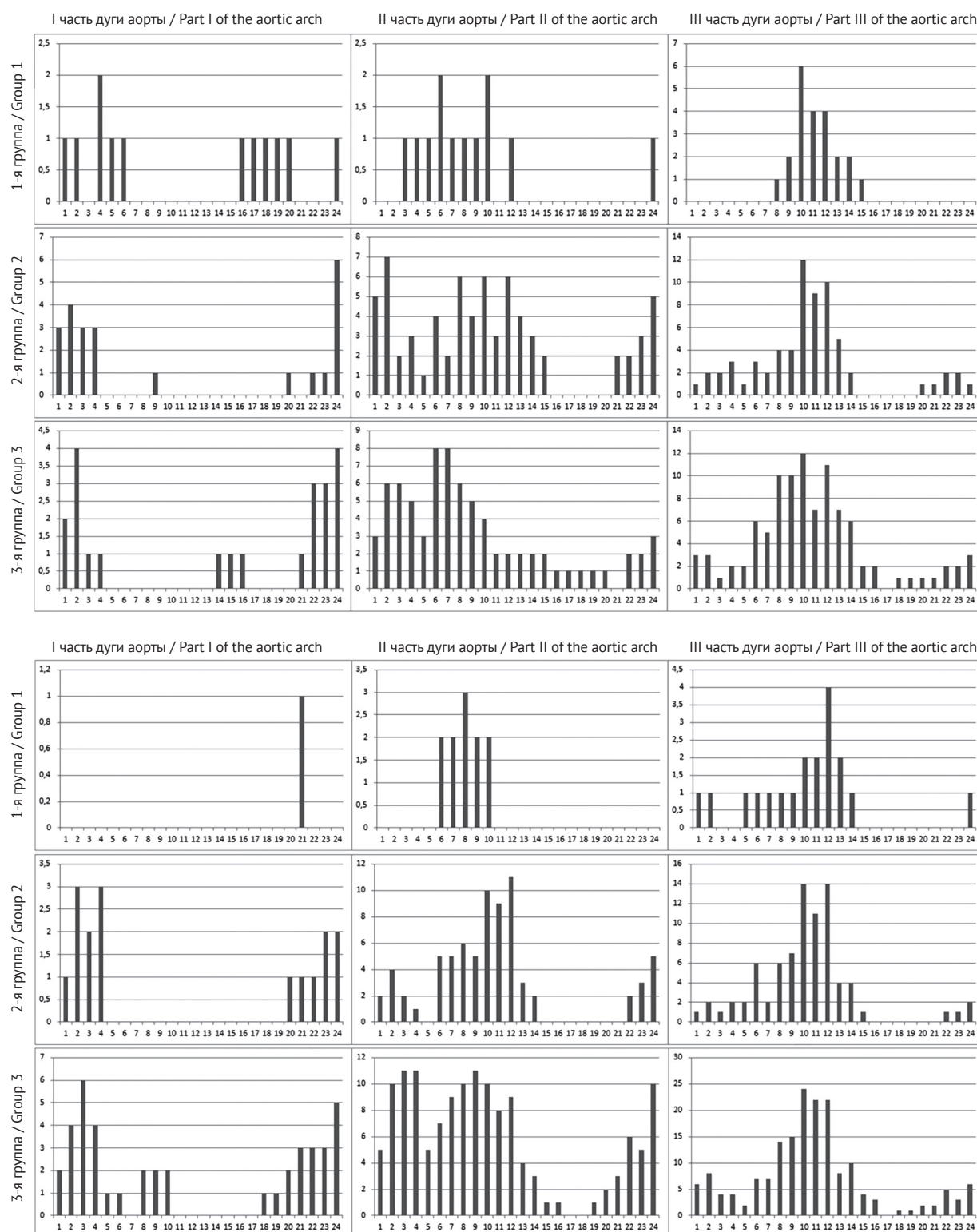


Рис. 2. Распределение и локализация изменений в различных частях дуги аорты: а – пациенты мужского пола; б – пациенты женского пола

Fig. 2. Distribution and localization of changes in different parts of the aortic arch: а – male patients; б – female patients

Таблица 1

Распределение изменений в различных отделах дуги аорты с учетом пола и возраста участников

Table 1

Distribution of changes in different parts of the aortic arch depending on gender and age of the participants

Возраст / Age	Часть дуги аорты / Part of the aortic arch		
	I	II	III
Мужчины / Males			
1-я группа / Group 1	4,0±0,7	2,0±0,6	3,1±1,1
2-я группа / Group 2	2,1±1,0	4,7±2,5	4,5±2,4
3-я группа / Group 3	3,7±1,8	5,4±3,3	6,7±3,0
Женщины / Females			
1-я группа / Group 1	1,0±0,1	3,7±0,9	3,8±1,4
2-я группа / Group 2	2,7±0,9	3,7±2,2	3,5±1,7
3-я группа / Group 3	2,8±1,5	5,9±3,1	6,9±3,1

Количественная оценка выраженности изменений стенки дуги аорты в группах была основана на расчете общего количества вовлеченных секторов среди участников групп, результат представлен в таблице 1. При оценке значимости различий выявления атеросклеротических изменений на уровне различных частей аорты в группах наблюдения с помощью критерия Краскела–Уоллиса уровень значимости соответствовал $p < 0,05$.

При сравнении возрастных групп, включающих мужчин и женщин, различия между значениями по t-критерию Стьюдента во всех случаях соответствовали $p < 0,05$. В свою очередь, сравнение различий между количественными показателями для групп мужчин и женщин продемонстрировало отсутствие статистически значимых результатов как среди участников одного возраста ($p > 0,05$), так и для изменений, выявленных на одном уровне дуги аорты ($p > 0,05$). Детальное описание статистической значимости различий между изменениями для участников с учетом пола и локализации изменений приведено в таблице 2.

Таблица 2

Значения p при расчете t-критерия Стьюдента для количественных показателей изменений в различных группах с учетом возраста и пола

Table 2

Student's t-test p-values for quantitative measures of change in different groups depending on age and gender

Пол / Gender	Возраст / Age	I часть дуги аорты / I part of the aortic arch			II часть дуги аорты / II part of the aortic arch			III часть дуги аорты / III part of the aortic arch		
		1-я группа / Group 1	2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	1-я группа / Group 1	2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	1-я группа / Group 1	2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3
Мужчины / Males										
Жен- щины / Females	1-я группа / Group 1	0,261*	0,016	0,009	0,718*	0,010	0,002	0,730*	0,100	<0,001
	2-я группа / Group 2	0,833*	0,360*	0,070*	0,001	0,857*	0,018	0,001	0,823*	0,005
	3-я группа / Group 3	0,090*	0,064*	0,772*	<0,001	0,002	0,696*	<0,001	<0,001	0,757*
Муж- чины / Males	1-я группа / Group 1	–	0,299*	0,073*	–	0,001	<0,001	–	0,026	<0,001
	2-я группа / Group 2	0,299*	–	0,243*	0,001	–	0,033	0,026	–	0,001
Женщины / Females										
Жен- щины / Females	1-я группа / Group 1	–	0,135*	<0,001	–	0,012	<0,001	–	0,010	<0,001
	2-я группа / Group 2	0,135*	–	0,008	0,012	–	0,001	<0,001	–	<0,001

Примечание. * Статистически незначимые различия.

Note. * Statistically insignificant differences.

Обсуждение / Discussion

Полученные данные демонстрируют схожие проявления при диагностике атеросклеротических изменений дуги аорты (рис. 3–5), при этом их локализация не связана с полом участников наблюдения. В I части дуги аорты изменения наиболее часто определялись на уровне секторов 1–4 и 22–24 среди мужчин и секторов 1–4 и 21–24 среди женщин. Во II части у мужчин изменения дуги аорты чаще выявлялись на уровне секторов 1–15 и 22–24, у женщин – на уровне секторов 2–12 и 22–24. В III части дуги аорты для мужчин и женщин наиболее часто изменения диагностировались в секторах 6–14 (см. рис. 2).

При сравнении данных о локализации изменений между группами мужчин и женщин не было отмечено значимых различий у участников одного возраста.

Оценка количественных характеристик выраженности атеросклеротических изменений показала наименьшее их количество в I части дуги аорты и наибольшее – в III части, с увеличением в старших возрастных группах (рис. 6).

Статистический анализ по признакам количественной выраженности проявлений атеросклероза продемонстрировал отсутствие значимых различий в I части дуги аорты в 1-й возрастной группе участников. Среди мужчин значимых различий не

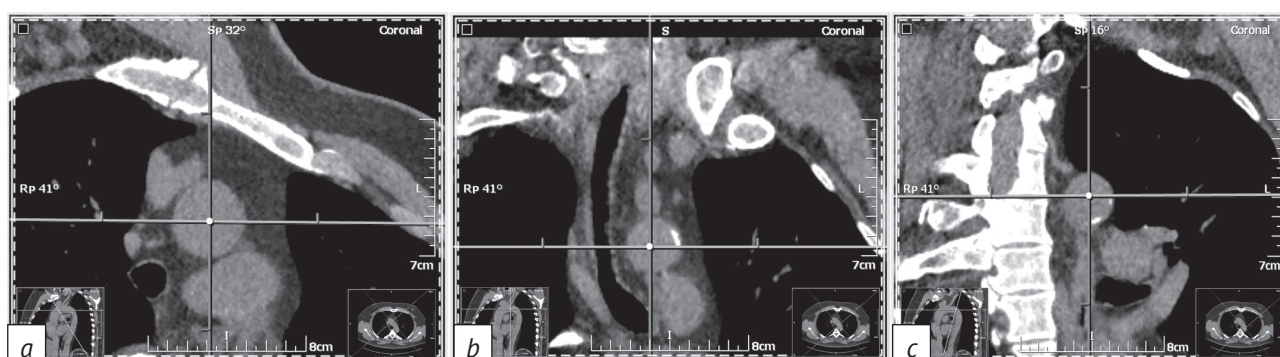


Рис. 3. Пациент 53 лет (1-я возрастная группа). Изменения дуги аорты (фрагменты компьютерной томограммы – реконструированные изображения поперечного сечения дуги аорты):
а – без значимо выраженных изменений (I часть дуги аорты); б – на уровне секторов 4–6 (II часть дуги аорты); в – на уровне секторов 6–7, 10–12 (III часть дуги аорты)

Fig. 3. Male patient aged 53 years (Group 1). Changes in the aortic arch (fragments of a computed tomogram – reconstructed images of the aortic arch cross-section):

а – no significant changes (Part I of the aortic arch); б – at the level of sectors 4–6 (Part II of the aortic arch); в – at the level of sectors 6–7, 10–12 (Part III of the aortic arch)

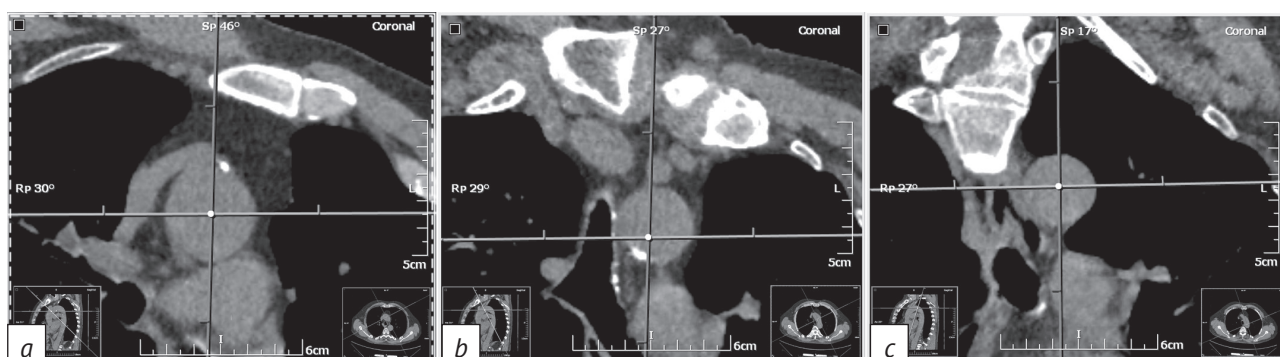


Рис. 4. Пациент 63 лет (2-я возрастная группа). Изменения дуги аорты (фрагменты компьютерной томограммы – реконструированные изображения поперечного сечения дуги аорты):
а – на уровне сектора 1 (I часть дуги аорты); б – на уровне секторов 13–15 (II часть дуги аорты); в – без значимо выраженных изменений (III часть дуги аорты)

Fig. 4. Male patient aged 63 years (Group 2). Changes in the aortic arch (fragments of a computed tomogram – reconstructed images of the aortic arch cross-section):

а – at the level of sector 1 (Part I of the aortic arch); б – at the level of sectors 13–15 (Part II of the aortic arch); в – no significant changes (Part III of the aortic arch)

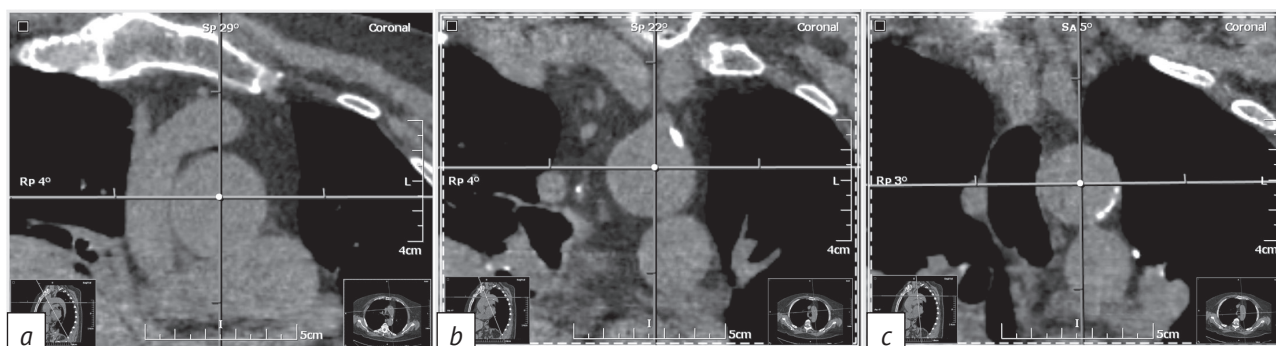


Рис. 5. Пациентка 65 лет (2-я возрастная группа). Изменения дуги аорты (фрагменты компьютерной томограммы – реконструированные изображения поперечного сечения дуги аорты):

a – без значимо выраженных изменений (I часть дуги аорты); *b* – на уровне секторов 2–3 (II часть дуги аорты); *c* – на уровне секторов 6–10 (III часть дуги аорты)

Fig. 5. Female patient aged 65 years (Group 2). Changes in the aortic arch (fragments of a computed tomogram – reconstructed images of the aortic arch cross-section):

a – no significant changes (Part I of the aortic arch); *b* – at the level of sectors 2–3 (Part II of the aortic arch); *c* – at the level of sectors 6–10 (Part III of the aortic arch)

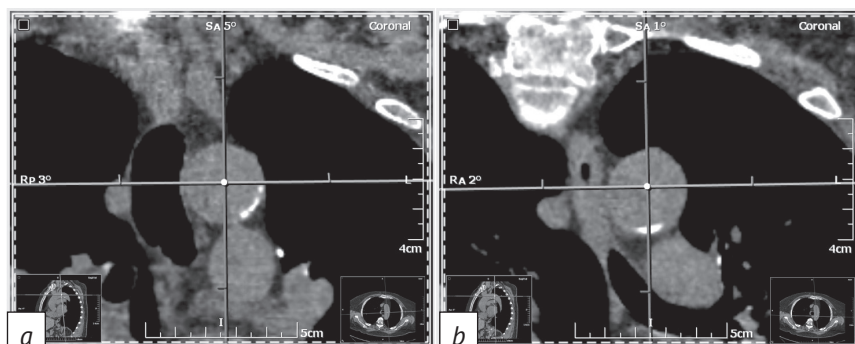


Рис. 6. Пациентка 75 лет (3-я возрастная группа). Изменения в III части дуги аорты (фрагменты компьютерной томограммы – реконструированные изображения поперечного сечения дуги аорты):

a – на уровне секторов 6–10; *b* – на уровне секторов 11–13

Fig. 6. Female patient aged 75 years (Group 3). Changes in Part III of the aortic arch (fragments of a computed tomogram – reconstructed images of the aortic arch cross-section):

a – at the level of sectors 6–10; *b* – at the level of sectors 11–13

отмечено. Статистически достоверными были различия между 1-й возрастной группой женщин при сравнении со 2-й и 3-й группами мужчин. В женских группах обнаружены различия при сравнении 1-й и 2-й возрастных групп с 3-й. Выявляемые различия между группами согласуются с факторами полового диморфизма и возрастными особенностями, оказывающими влияние на развитие атеросклеротических изменений [19]. В частности, во II и III частях дуги аорты для всех возрастных групп отмечались статистически значимые различия при сравнении данных среди женщин и мужчин. Представленные нами результаты уточняют динамику развития проявлений атеросклеротических изменений для стенки дуги аорты, дополняя описание характерных качественных изменений [1, 9] в количественном выражении.

Заключение / Conclusion

В результате проведенного исследования установлено, что атеросклеротические изменения дуги аорты наиболее часто в I части дуги аорты выявляются по верхней полуокружности (секторы 22–24). Во II части наименьшие изменения находятся в правой полуокружности (секторы 15–22). В III части дуги аорты изменения наиболее выражены в нижних отделах и слева (секторы 6–14). Расположение локальных изменений стенки дуги аорты у мужчин и женщин различается слабо.

Выявленные закономерности актуальны для разработки реконструктивных хирургических вмешательств на уровне дуги аорты и ее ветвей, а также при интерпретации результатов инструментальных исследований для оценки индивидуальных особенностей развития атеросклероза.

Литература

1. Клинические рекомендации. Рекомендации по диагностике и лечению заболеваний аорты (2017). Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2018; 11(1): 7–67.
2. Сусанин Н.В., Хафизов Т.Н., Гапонов Д.П., Чернявский М.А. Результаты эндоваскулярных и гибридных операций при патологии дуги аорты. Эндоваскулярная хирургия. 2023; 10(3): 303–9. <https://doi.org/10.24183/2409-4080-2023-10-3-303-309>.
3. Garg PK, Bhatia HS, Allen TS, et al. Assessment of subclinical atherosclerosis in asymptomatic people in vivo: measurements suitable for biomarker and mendelian randomization studies. Arterioscler Thromb Vasc Biol. 2024; 44(1): 24–47. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.123.320138>.
4. Пантелеева Ю.К., Ванюркин А.Г., Чернова Д.В. и др. Технические аспекты эндопротезирования дуги аорты. В кн.: Ивановская И.И., Поснова М.В. (ред.) Наука и технологии – 2023: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 16 октября 2023 г. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука»; 2023: 194–206.
5. Имаев Т.Э., Саличкин Д.В., Комлев А.Е. и др. Эндоваскулярное протезирование дуги аорты. Ангиология и сосудистая хирургия. 2021; 27(3): 34–45. <https://doi.org/10.33529/ANGIQ2021303>.
6. Халилов М.А., Мошкин А.С., Мошкина Л.В. Закономерности морфометрии магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии. Вестник рентгенологии и радиологии. 2024; 105(5): 255–61. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-255-261>.
7. Momcilovic D, Begrich C, Stumpf MJ, et al. Preclinical atherosclerotic burden in carotid and lower extremity arteries in adults with congenital heart disease. Vasa. 2023; 52(4): 257–63. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a001073>.
8. Николенко В.Н., Мошкин А.С., Халилов М.А. и др. Оценка гемодинамических показателей на основе результатов ультразвуковой доплерографии при различных вариантах положении сосудов в области бифуркации общих сонных артерий. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(2): 15–23. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23>.
9. Ihle-Hansen H, Vigen T, Berge T, et al. Carotid plaque score for stroke and cardiovascular risk prediction in a middle-aged cohort from the general population. J Am Heart Assoc. 2023; 12(17): e030739. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.030739>.
10. Holswilder G, Wermer MJ, Holman ER, et al. CT angiography of the heart and aorta in TIA and ischaemic stroke: cardioembolic risk sources and clinical implications. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2020; 29(12): 105326. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105326>.
11. Coles-Black J, Bolton D, Chuen J. Accessing 3D printed vascular phantoms for procedural simulation. Front Surg. 2021; 7: 626212. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2020.626212>.
12. Шаданов А.А., Сирота Д.А., Берген Т.А. и др. Анатомическая вариабельность строения дуги и грудного отдела аорты и ее влияние на патологические состояния аорты. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2020; 24(4): 72–82. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-72-82>.
13. Memon S, Friend E, Samuel SP, et al. 3D printing of carotid artery and aortic arch anatomy: implications for preprocedural planning and carotid stenting. J Invasive Cardiol. 2021; 33(9): E723–9. <https://doi.org/10.25270/jic/20.00696>.
14. Салохединова Р.Р., Орлова А.А., Цыганков Ю.М. и др. Отечественные многобланшевые протезы дуги аорты из полиэфирного волокна с необходимым комплексом функциональных свойств. В кн.: Новые полимерные композиционные материалы: материалы XX международной научно-практической конференции, Нальчик, 4–10 июля 2024 г. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; 2024: 27.
15. Шаданов А.А., Сирота Д.А., Ляшенко М.М. и др. Гибридные протезы для реконструкции дуги аорты: эволюция и современное состояние. Ангиология и сосудистая хирургия. 2021; 27(2): 41–9. <https://doi.org/10.33529/ANGIO2021126>.
16. Мироненко В.А., Рычин С.В., Гарманов С.В. и др. Непосредственные результаты хирургического лечения пациентов с аневризмой и расслоением восходящей аорты по классической методике Bentall с анастомозом по Cabrol и в модификации N. Kouchoukos. Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. 2024; 19(3): 27–32. https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_3_27.
17. Болдырев С.Ю., Тютюников П.К., Абидзах С.Б. и др. Протезирование восходящего отдела и дуги аорты без циркуляторного ареста. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2025; 2: 119–22. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2025021119>.
18. Ахмедов У.У., Шарафутдинов М.Р., Якубов Р.А. и др. Полное эндопротезирование дуги аорты с применением техник фенестрации outside и in situ: первые результаты. Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского. 2022; 10(4): 12–5. <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2022-10-4-12-15>.
19. Андреева И.В., Григорьева А.С., Калинина Н.В. Тканевые биомаркеры раннего сосудистого старения. Digital Diagnostics. 2021; 2(2S): 8–9. <https://doi.org/10.17816/DD83173>.

References

1. Clinical Guidelines. Guidelines for the diagnosis and treatment of aortic diseases (2017). Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery. 2018; 11(1): 7–67 (in Russ).
2. Susanin NV, Khafizov TN, Gaponov DP, Chernyavsky MA. Results of endovascular and hybrid operations for pathology of the aortic arch. Endovaskulyarnaya khirurgiya / Russian Journal of Endovascular Surgery. 2023; 10(3): 303–9 (in Russ). <https://doi.org/10.24183/2409-4080-2023-10-3-303-309>.
3. Garg PK, Bhatia HS, Allen TS, et al. Assessment of subclinical atherosclerosis in asymptomatic people in

- vivo: measurements suitable for biomarker and mendelian randomization studies. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2024; 44(1): 24–47. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.123.320138>.
4. Panteleeva YuK, Vanyurkin AG, Chernova DV, et al. Technical aspects of aortic arch endoprosthetics. In: Ivanovskaya II, Posnova MV (Eds) *Science and Technology – 2023: collection of articles of the International Research Competition, Petrozavodsk, October 16, 2023. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science"; 2023: 194–206 (in Russ).*
 5. Imaev TE, Salichkin DV, Komlev AE, et al. Endovascular repair of the aorti arch. *Angiology and Vascular Surgery.* 2021; 27(3): 34–45 (in Russ). <https://doi.org/10.33529/ANGIO2021303>.
 6. Khalilov MA, Moshkin AS, Moshkina LV. Patterns of neck main arteries morphometry and echocardiography data. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2024; 105(5): 255–61 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-255-261>.
 7. Momcilovic D, Begrich C, Stumpf MJ, et al. Preclinical atherosclerotic burden in carotid and lower extremity arteries in adults with congenital heart disease. *Vasa.* 2023; 52(4): 257–63. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a001073>.
 8. Nikolenko VN, Moshkin AS, Khalilov MA, et al. Assessment of hemodynamic parameters based on the results of ultrasound Dopplerography in different variants of the position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid arteries. *Regional Blood Circulation and Microcirculation.* 2024; 23(2): 15–23 (in Russ). <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23>.
 9. Ihle-Hansen H, Vigen T, Berge T, et al. Carotid plaque score for stroke and cardiovascular risk prediction in a middle-aged cohort from the general population. *J Am Heart Assoc.* 2023; 12(17): e030739. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.030739>.
 10. Holswilder G, Wermer MJ, Holman ER, et al. CT angiography of the heart and aorta in TIA and ischaemic stroke: cardioembolic risk sources and clinical implications. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2020; 29(12): 105326. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105326>.
 11. Coles-Black J, Bolton D, Chuen J. Accessing 3D printed vascular phantoms for procedural simulation. *Front Surg.* 2021; 7: 626212. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2020.626212>.
 12. Shadanov A, Sirota D, Bergen T, et al. Anatomical variability in the structure of the arch and thoracic aorta and its influence on aorta related pathological conditions. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya.* 2020; 24(4): 72–82 (in Russ). <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-72-82>.
 13. Memon S, Friend E, Samuel SP, et al. 3D printing of carotid artery and aortic arch anatomy: implications for preprocedural planning and carotid stenting. *J Invasive Cardiol.* 2021; 33(9): E723–9. <https://doi.org/10.25270/jic/20.00696>.
 14. Salokhedina RR, Orlova AA, Tsygankov YuM, et al. Domestic multi-branch aortic arch prostheses made of polyester fiber with the necessary set of functional properties. In: *New polymer composite materials: proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference, Nalchik, July 4–10, 2024. Nalchik: Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov; 2024: 272 (in Russ).*
 15. Shadanov AA, Sirota DA, Lyashenko MM, et al. Hybrid grafts for aortic arch reconstruction: evolution and state of the art. *Angiology and Vascular Surgery.* 2021; 27(2): 41–9 (in Russ). <https://doi.org/10.33529/ANGIO2021126>.
 16. Mironenko VA, Rychin SV, Garmanov SV, et al. Short-term results of surgical treatment of aneurysms and dissection of the ascending aorta using the classical Bentall technique with Cabrol anastomosis and modified by N. Kouchoukos. *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center.* 2024; 19(3): 27–32 (in Russ). https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_3_27.
 17. Boldyrev SYu, Tyutyunikov PK, Abidzakh SB, et al. Ascending aorta and aortic arch replacement without circulatory arrest. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2025; 2: 119–22 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2025021119>.
 18. Akhmedov UU, Sharafutdinov MR, Yakubov RA, et al. Total arch TEVAR with outside (on-a-table) and in situ fenestration (F-TEVAR): first results. *Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal.* 2022; 10(4): 12–5 (in Russ). <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2022-10-4-12-15>.
 19. Andreeva IV, Grigorev AS, Kalina NV. Tissue biomarkers of early vascular aging. *Digital Diagnostics.* 2021; 2(2S): 8–9 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/DD83173>.