

## Анатомическая вариабельность строения дуги и грудного отдела аорты и ее влияние на патологические состояния аорты

### Для корреспонденции:

Алдар Андреевич Шаданов, [shadanovaldar@mail.ru](mailto:shadanovaldar@mail.ru)

Поступила в редакцию 17 июня 2020 г.

Исправлена 16 июля 2020 г.

Принята к печати 17 июля 2020 г.

### Цитировать:

Шаданов А.А., Сирота Д.А., Берген Т.А., Ляшенко М.М., Чернявский А.М. Анатомическая вариабельность строения дуги и грудного отдела аорты и ее влияние на патологические состояния аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2020;24(4):72-82. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-72-82>

### Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: А.А. Шаданов

Сбор и анализ данных: А.А. Шаданов, Т.А. Берген

Статистическая обработка данных: Д.А. Сирота, А.А. Шаданов

Написание статьи: А.А. Шаданов

Исправление статьи: Д.А. Сирота, М.М. Ляшенко, А.М. Чернявский

Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

### ORCID ID

А.А. Шаданов, <https://orcid.org/0000-0002-1176-8125>

Д.А. Сирота, <https://orcid.org/0000-0002-9940-3541>

Т.А. Берген, <https://orcid.org/0000-0003-1530-1327>

М.М. Ляшенко, <https://orcid.org/0000-0001-8675-8303>

А.М. Чернявский, <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

© А.А. Шаданов, Д.А. Сирота, Т.А. Берген, М.М. Ляшенко, А.М. Чернявский, 2020

Статья открытого доступа, распространяется по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### А.А. Шаданов, Д.А. Сирота, Т.А. Берген, М.М. Ляшенко, А.М. Чернявский

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

**Цель.** Оценка взаимосвязей нормальной и вариантной анатомии брахиоцефальных сосудов с расслоением аорты I типа по Дебейки и аневризматическим расширением дуги и нисходящей грудной аорты.

**Методы.** Ретроспективно изучены результаты компьютерной томографии органов грудной клетки с контрастированием у пациентов, подвергшихся реконструкции дуги аорты по поводу расслоения I типа по Дебейки (n = 61) и резекции аневризмы дуги и нисходящего отдела аорты (n = 14) в ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России. В группу контроля включили пациентов без патологии дуги аорты (n = 52). Для выявления зависимости между анатомическим типом строения дуги аорты и риском патологических изменений применялась одно- и многофакторная бинарная логистическая регрессия.

**Результаты.** По данным анализа выявлено 4 анатомических типа дуги аорты. Нормальную анатомию имели 66,1 % пациентов (n = 84), аномалию отхождения левой общей сонной артерии — 30 % (n = 38), бычьую дугу аорты — 15 % (n = 19), общее устье плечеголового ствола и левой общей сонной артерии — 15% (n = 19), отхождение левой позвоночной артерии от дуги аорты между левыми общей сонной и подключичной артериями — 3,1 % (n = 4), бычий ствол и отхождение левой позвоночной артерии от дуги аорты — 0,8 % (n = 1). При логистическом регрессионном анализе не выявлена статистически значимая связь между вариантной анатомией дуги аорты и расслоением аорты I типа по Дебейки, а также аневризм дуги и нисходящей аорты. Наличие общего устья брахиоцефального ствола и левой общей сонной артерии было связано со снижением риска острого расслоения аорты I типа на 89 % (отношение шансов 0,11; 95% доверительный интервал 0,03–0,46; p = 0,002).

**Выводы.** Данные помогут при планировании оперативных вмешательств на дуге и нисходящем отделе аорты.

**Ключевые слова:** анатомия дуги аорты; аневризма аорты; бычья дуга аорты; вариантная анатомия дуги аорты; компьютерно-томографическая ангиография; расслоение аорты

## Актуальность

Детальная оценка анатомии дуги аорты важна для планирования хирургического вмешательства при расслоении или аневризме аорты, поскольку открытая реконструкция дуги и нисходящего отдела аорты сопровождается высоким риском смертности и осложнений, таких как нарушение мозгового кровообращения и инфаркт миокарда. Каждая открытая реконструкция дуги аорты сопровождается гипотермическим циркуляторным арестом с использованием ante- или ретроградной перфузии головного мозга. Хотя перфузия головного мозга снижает риск церебральных осложнений, при методике «замороженный хобот слона», по данным международного регистра E-vita Open, частота инсульта составляет 7 % с внутригоспитальной смертностью 15 % [1]. По данным литературы, при применении браншированных стент-графтов для эндопротезирования дуги аорты частота развития инсульта составляет 11,1–16,0 % при 30-дневной летальности 4,5–8,0 % [2–4]. По данным W.-G. Ma и соавт., снижение времени циркуляторного ареста и тактики ранней реперфузии по методике Sun способствует снижению развития нарушений мозгового кровообращения и 30-дневной летальности [5]. При применении гибридных стент-графтов с 3 браншами при остром расслоении аорты I типа, где 30-дневная летальность составила 3,4 %, а частота развития инсульта составляет менее 1 % при средней длительности антеградной перфузии головного мозга и циркуляторного ареста  $17,0 \pm 2,2$  мин [6]. Авторы отмечают, что данная методика, хотя и показывает превосходные результаты, ограничена из-за анатомической вариабельности ветвей дуги аорты [7; 8]. В этом аспекте важную роль приобретает знание анатомических особенностей строения ветвей дуги аорты, поскольку именно вариантная анатомия выступает ограничителем для широкого применения браншированных эндоваскулярных или гибридных стент-графтов при протезировании дуги аорты [9]. Варианты анатомии и аномалии развития дуги аорты могут ассоциироваться

с врожденными пороками сердца и хромосомными аномалиями [10]. Вариабельность анатомического строения ветвей дуги аорты играет важную роль для ведения и прогноза хирургического лечения пациентов с патологическими изменениями дуги и нисходящей грудной аорты.

Цель исследования — провести анализ анатомических вариантов ветвей дуги аорты при ее аневризмах, острых и хронических расслоениях. Проанализировать взаимосвязь между вариантной анатомией и развитием патологического состояния дуги аорты.

## Методы

Анализ анатомических особенностей дуги аорты проведен у 127 пациентов, подвергшихся реконструкции дуги (частичное или полное протезирование) и нисходящей грудной аорты (методика «хобот слона» или «замороженный хобот слона») в ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России с 2012 по 2019 г. Всем больным при планировании хирургического лечения проводилась компьютерно-томографическая ангиография грудного отдела аорты и ее ветвей на компьютерном томографе Toshiba AQUILION или Toshiba AQUILION One (64 или 320 срезов соответственно). При анализе полученных данных проводился последовательный просмотр изображений с использованием мультипланарных реконструкций и построением трехмерных изображений. Все пациенты были разделены на 3 группы: 1 — пациенты с острым и хроническим расслоением аорты I типа по классификации Дебейки, 2 — с сочетанными аневризмами дуги и нисходящего отдела аорты, 3 (контрольная) — пациенты без изменений дуги аорты. Характеристика пациентов представлена в (табл. 1).

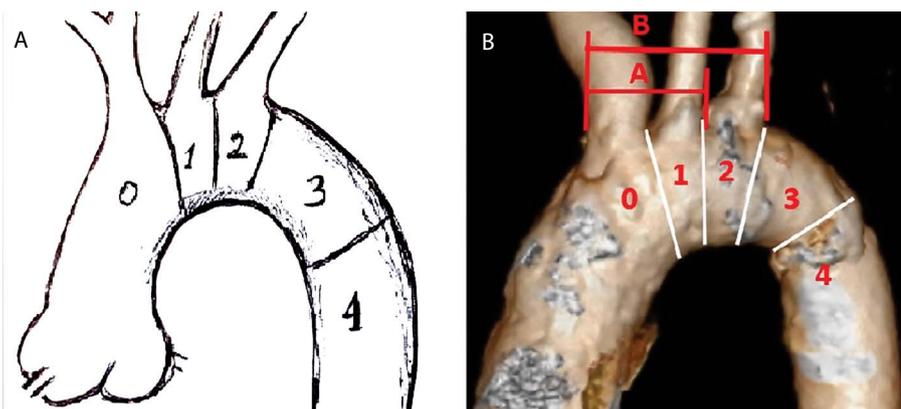
Измерение диаметров грудного отдела аорты производилось на уровнях согласно зональной классификации аорты, которая также известна как зона

Табл. 1. Характеристика пациентов

Показатель	Все пациенты, n = 127*	1 группа, n = 61*	2 группа, n = 14*	3 группа, n = 52*	p
Возраст, годы	55 [49–60]	54 [46,5–59,0]	60,5 [56–68]	55,5 [48,3–59,0]	0,015**
Рост, см	172 [166–177]	172 [166,0–177,5]	165 [155,5–177,5]	172 [167,3–177,8]	0,166
Площадь поверхности тела, м <sup>2</sup>	1,98 [1,8–2,2]	1,99 [1,8–2,2]	1,79 [1,6–1,9]	2,01 [1,9–2,3]	0,002**
Масса тела, кг	90 [75,5–101,0]	82 [72–96]	66 [56–74]	85,5 [70,6–104,0]	0,002**

Примечание. \* Медиана [1-й, 3-й квартиль]; \*\* значения  $p < 0,05$  считаются как статистически значимые.

**Рис. 1.** Зональная классификация аорты по Ишимару: схематичное изображение (А); трехмерное изображение дуги аорты с зональной классификацией (В)



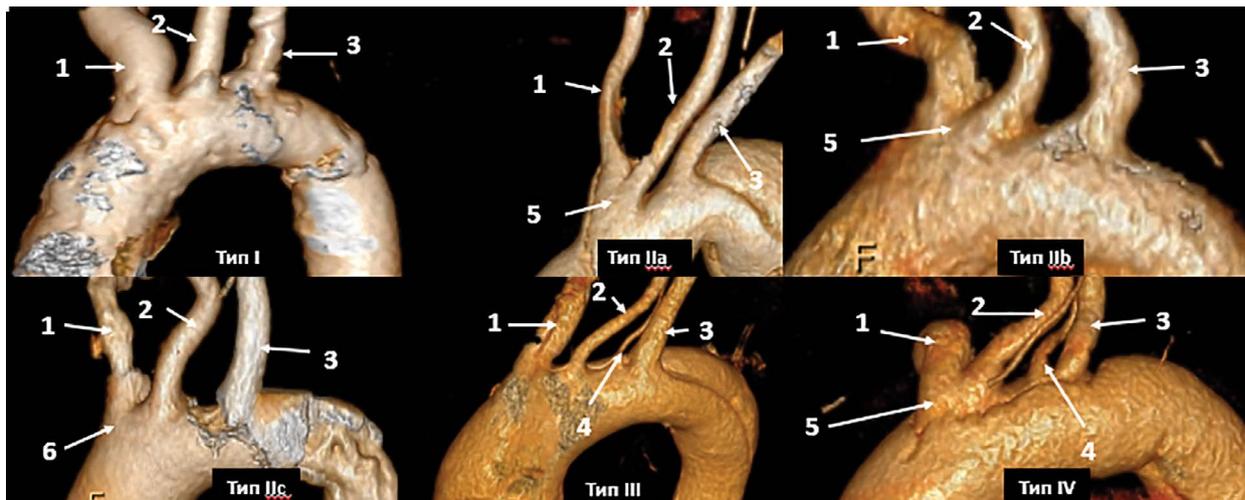
*Примечание:* зона 0 — от синотубулярного соединения до дистального края устья брахиоцефального ствола; зона 1 — от проксимального края брахиоцефального ствола до дистального края левой общей сонной артерии; зона 2 — от проксимального края левой общей сонной артерии до дистального края левой подключичной артерии; зона 3 — от проксимального края левой подключичной артерии до четвертого грудного позвонка; зона 4 — ниже четвертого грудного позвонка; А — расстояние от начала брахиоцефального ствола до конца левой общей сонной артерии; В — расстояние от начала брахиоцефального ствола до конца левой подключичной артерии

Ишимару (рис. 1А) [11]. Диаметр всех сосудов измерялся в трехмерном режиме в поперечном сечении относительно направления оси потока крови. Замеры выполнялись в 0-й зоне грудной аорты в 5 мм от устья брахиоцефального ствола (БЦС); во 2-й зоне грудной аорты на уровне отхождения левой подключичной артерии (ЛПКА); в 3-й зоне грудной аорты уровень перешейка аорты соответствовал уровню бифуркации трахеи; в 4-й зоне грудной аорты уровень средней трети нисходящего отдела аорты соответствовал синусам Вальсальвы. Замеры диаметров ветвей дуги аорты выполнялись у устья. Далее рассчитывалась протяженность дуги аорты. Помимо этого, проводилось измерение расстояния от начала БЦС до латерального края левой общей сонной артерии (ЛОСА), а также расстояния от начала БЦС до латерального края левой подключичной артерии (рис. 1В).

Расслоение ветвей дуги аорты подразделялось на проксимальное и дистальное. Проксимальным считалось расслоение, если оно достигало уровня бифуркации БЦС, дистальным — если расслоение распространялось на правую внутреннюю сонную артерию. Для проксимального поражения ЛОСА условной границей считался сегмент от ее устья до уровня грудно-ключичного соединения; дистальным принималось расслоение, если оно достигало левой внутренней сонной артерии. Проксимальное — поражение одного сегмента, дистальное — вовлечение двух и / или трех сегментов левой подключичной артерии.

### Статистический анализ

Статистический анализ выполнен с использованием программы SPSS версия 22.0 (IBM, Чикаго, США). Категориальные данные представлены частотой распределения и процентным соотношением. Непрерывные данные были проанализированы непараметрическими критериями Краскела – Уоллиса и U-критерием Манна – Уитни, ввиду малого объема выборки в группах представлены как медиана, 25-й и 75-й процентиля. Категориальные данные анализировались критерием  $\chi^2$  Пирсона. Значение  $p < 0,05$  считалось статистически значимым. Для выявления зависимости между анатомическим типом дуги аорты и риском развития патологии аорты применялась одно- и многофакторная бинарная логистическая регрессия. Построение многофакторной регрессионной модели выполнялось с применением методики пошагового включения переменных с точкой отсечки для значения  $p = 0,1$ . Помимо переменных, включенных в модель на основании статистической значимости, в итоговую многофакторную модель включались клинически значимые переменные (например, пол, возраст). Результаты представлены как отношение шансов (ОШ), 95% доверительный интервал (ДИ) и значение  $p$ . Интерпретация ОШ в контексте бинарной логистической регрессии предполагает увеличение риска патологии аорты пропорционально степени отклонения ОШ от единицы по сравнению с референтной категорией



**Рис. 2.** Анатомические вариации отхождения ветвей дуги аорты

*Примечание:* 1 — брахиоцефальный ствол; 2 — левая общая сонная артерия; 3 — левая подключичная артерия; 4 — левая позвоночная артерия; 5 — бычий ствол; 6 — общее устье брахиоцефального ствола и левой общей сонной артерии

(отсутствие патологии). Для анализа использовалась функция `glm` библиотеки MASS для языка статистического программирования R (R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

## Результаты

В исследовании проанализировано 127 больных, которым проведена компьютерно-томографическая ангиография грудного отдела аорты, из них расслоение аорты I типа по Дебейки диагностировано у 61, сочетанные аневризмы дистального отдела дуги и нисходящего отдела аорты — у 14. Контрольная группа состояла из 52 пациентов (см. табл. 1).

По данным анализа получены 4 типа анатомических вариаций отхождения ветвей дуги аорты (рис. 2).

I тип (нормальная дуга аорты) — последовательное отхождение ветвей дуги аорты справа налево: БЦС, левых общей сонной и подключичной артерий с раздельным отхождением устьев от дуги аорты. Данный тип выявлен у 84 пациентов (66,1 %).

II тип — аномалии отхождения ЛОСА, к которым относятся бычья дуга аорты или общее соустье БЦС и левой общей сонной артерии. Бычья дуга характеризуется наличием 2 ветвей дуги аорты. Первая

ветвь представлена общим стволом и дает ветви правой подключичной, правой и левой общим сонным артериям, вторая ветвь представлена левой подключичной артерией. Данный тип нами разделен на 3 подтипа:

- бычья дуга с длинным общим стволом (длина общего ствола более 10 мм), выявлен у 8 пациентов (6,3 %);
- бычья дуга с коротким общим стволом (длина общего ствола 5–10 мм), ветвления идентичны, как и во II типе; выявлен у 11 пациентов (8,7 %);
- общее соустье БЦС и левой общей сонной артерии (устье протяженностью до 5 мм), последовательно справа налево отходят: общее соустье БЦС и ЛОСА и отдельно левая подключичная артерия; выявлен у 19 пациентов (15 %).

III тип характеризуется наличием 4 артерий дуги аорты и отхождением левой позвоночной артерии от дуги аорты между ЛОСА и левой подключичной артерией. Последовательно справа налево отходят: БЦС, левые общая сонная, позвоночная и подключичная артерии. Выявлен у 4 пациентов (3,1 %).

IV тип является комбинацией бычьего ствола и отхождения левой позвоночной артерии от дуги аорты; последовательное отхождение справа налево: бычьего ствола, левых позвоночной и подключичной артерий; выявлен у 1 пациента (0,8 %).

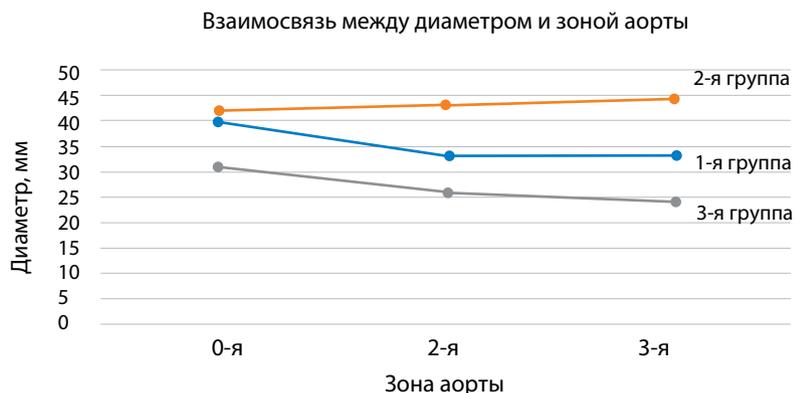


Рис. 3. Диаметр аорты в зависимости от зоны грудной аорты

### Межгрупповой анализ

При сравнении групп выявлена статистически значимая разница диаметров аорты в восходящем отделе дуги и перешейка аорты ( $p < 0,001$ ). При сравнении диаметров ветвей дуги аорты выявлена статистически значимая разница по диаметрам БЦС и левой общей сонной артерии ( $p < 0,001$ ). Также отмечена разница между расстояниями брахиоцефальный ствол – левая общая сонная артерия и брахиоцефальный ствол – левая подключичная артерия ( $p < 0,001$ ). Отсутствовала статистически значимая разница по диаметру левой подключичной артерии ( $p = 0,092$ ) (табл. 2). Диаметр аорты во 2-й группе был больше в 2-й и 3-й зонах, чем в 1-й ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).

При анализе расстояний брахиоцефальный ствол – левая общая сонная артерия и брахиоцефальный ствол – левая подключичная артерия меж-

ду 1-й и 2-й группами статистически значимой разницы не получено,  $p = 0,32$  и  $0,45$  соответственно.

При анализе протяженности дуги аорты (брахиоцефальный ствол – левая подключичная артерия) медиана для I типа составила 51 [42–57] мм, IIa типа — 45 [40,75–52,75] мм, IIb типа — 43 мм [41,0–44,5], IIc типа — 44 [38–50] мм. При сравнении получены статистически значимые различия,  $p = 0,001$ .

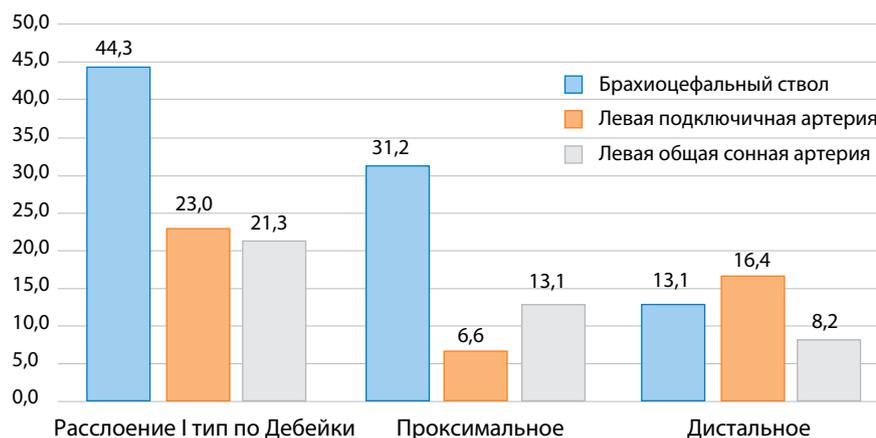
### Частота и протяженность поражения брахиоцефальных сосудов при расслоении аорты I типа

Во 2-й группе с расслоением аорты частота встречаемости поражений брахиоцефальных сосудов для БЦС, ЛОСА и ЛПКА составила 44,3 ( $n = 27$ ), 23 ( $n = 14$ ) и 21,3 % ( $n = 13$ ) соответственно. Проксимальное и дистальное поражение БЦС зарегистрировано у 31,2 ( $n = 19$ ) и 13,1 % ( $n = 8$ ) па-

Табл. 2. Диаметр аорты и ветвей дуги

Диаметр аорты / артерии, мм	1-я группа, $n = 61^*$	2-я группа, $n = 14^*$	3-я группа, $n = 52^*$	$p$
Аорта в 0-й зоне	40 [37–48]	42 [37,75–49,30]	31 [30–32]	$< 0,001^{**}$
Аорта во 2-й зоне	33 [30–40]	43 [38,3–45,8]	26 [24–28]	$< 0,001^{**}$
Аорта в 3-й зоне	33 [28,0–44,5]	44,5 [28,8–83,8]	24 [22,1–27,0]	$< 0,001^{**}$
Устье БЦС	15 [13–18]	15 [10,8–18,0]	11,5 [10,25–13,00]	$< 0,001^{**}$
Устье ЛОСА	8 [7,5–10,0]	8 [6,9–10,3]	7 [6,2–8,0]	$< 0,001^{**}$
Устье ЛПКА	11 [10,0–12,5]	10,5 [8,4–12,5]	10 [9,0–11,8]	0,092
Расстояние между устьями, мм				
БЦС – ЛОСА	30 [26–32]	31 [25,0–38,3]	25 [22,0–28,5]	$< 0,001^{**}$
БЦС – ЛПКА	51 [45–58]	55 [51,5–59,5]	42,5 [40,00–48,75]	$< 0,001^{**}$

Примечание. \* Медиана [1-й, 3-й квартиль]; \*\*  $p < 0,05$  считаются как статистически значимые; БЦС — брахиоцефальный ствол; ЛОСА — левая общая сонная артерия; ЛПКА — левая подключичная артерия.



**Рис. 4.** Частота поражения брахиоцефальных ветвей при расслоении I типа и протяженности поражения ветвей аорты

циентов соответственно. Прокximальное и дистальное поражение ЛОСА выявлено у 6,6 (n = 4) и 16,4 % (n = 10) пациентов соответственно. Прокximальное и дистальное поражение ЛПКА выявлено у 13,1 (n = 8) и 8,2 % (n = 5) пациентов соответственно (рис. 4).

При сравнительном анализе вариантной анатомии дуги аорты с группами поражения статистически значимых различий встречаемости вариантов строения дуги аорты в исследуемых группах не выявлено (p = 0,144).

Результаты анализа факторов риска расслоения аорты I типа представлены в табл. 3. Наличие общего соустья БЦС и ЛОСА сопровождалось снижением

риска расслоения на 82 (однофакторный анализ) и 89 % (с поправкой на другие патологии анатомии, возраст, пол и рост) по сравнению с контролем. Другие анатомические типы аорты не были достоверно связаны с риском расслоения аорты I типа. В ходе многофакторного анализа также был выявлен более низкий риск расслоения у мужчин по сравнению с женщинами на 74 %.

Статистически достоверная связь между анатомическими типами аорты и риском аневризмы аорты не подтверждена (табл. 4). В то же время в ходе однофакторного анализа выявлена связь между возрастом и риском аневризмы аорты (увеличе-

**Табл. 3.** Результаты логистического регрессионного анализа факторов риска расслоения аорты I типа

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Бычья дуга аорты с длинным стволом	0,36 (0,08–1,63)	0,18	0,16 (0,02–1,09)	0,06
Бычья дуга аорты с коротким стволом	0,60 (0,16–2,26)	0,45	0,55 (0,13–2,32)	0,41
Общее устье БЦС и ЛОСА	0,18 (0,05–0,62)	0,006	0,11 (0,03–0,46)	0,002
Отхождение левой позвоночной артерии от дуги аорты между левыми общей сонной и подключичной артериями	1,80 (0,18–18,19)	0,61	1,66 (0,15–18,29)	0,67
Сочетание бычьего ствола дуги аорты и отхождения левой позвоночной артерии от дуги аорты	н/д	н/д	н/д	н/д
Возраст (+ 1 год)	0,98 (0,94–1,02)	0,40	0,98 (0,93–1,02)	0,30
Мужской пол	0,55 (0,22–1,38)	0,20	0,26 (0,07–0,93)	0,03
Рост (+ 1 см)	1,00 (0,96–1,04)	0,94	1,02 (0,97–1,09)	0,42
Вес (+ 1 кг)	0,98 (0,96–1,00)	0,10	н/д	н/д
Площадь поверхности тела (+ 10 см <sup>2</sup> )	0,90 (0,77–1,06)	0,19	н/д	н/д
Артериальная гипертензия	1,22 (0,33–4,46)	0,76	н/д	н/д

*Примечание.* ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал; БЦС — брахиоцефальный ствол; ЛОСА — левая общая сонная артерия; н/д - нет данных.

ние на 1 год связано с возрастанием риска на 10 %). Рост, вес и площадь поверхности тела имели обратную зависимость с риском развития аневризмы. Данные зависимости утратили статистическую достоверность после включения в многофакторную модель.

### Обсуждение

Анатомия отхождения брахиоцефальных сосудов от дуги аорты вариабельна. Нормальной, как наиболее часто встречаемой, считается анатомия, при которой от наружного радиуса последовательно отходят 3 ветви: брахиоцефальный ствол, который делится на правые подключичную и общую сонную артерии; левые общую сонную и подключичную артерии.

I тип дуги аорты — нормальная дуга аорты. В нашем исследовании встречаемость I типа аорты составила 66,1 %, в то время как по данным систематического обзора P. Popieluszko и соавт., основанном на анализе строения 23 882 дуг, встречаемость составила 80,9 % [95% ДИ 76,3–82,4] [12]. По данным N.S. Berko и соавт., подобная встречаемость, основанная на анализе 1 000 пациентов, составила 65,9 % [13].

II тип дуги аорты — аномалии отхождения левой общей сонной артерии. По данным литературы, наиболее распространенными считаются аномалии дуги аорты, связанные с отхождением ЛОСА,

а частота составляет 8–27 % случаев [14]. В нашем исследовании доля аномального отхождения ЛОСА составила 30 %.

Мы разделили II тип на 3 подтипа.

IIa тип дуги аорты, или бычья дуга с длинным стволом, — 6,3 %. Подобного анатомического разделения придерживались N.S. Berko с соавт., у которых данный тип встречался в 7,8 % [13].

IIb тип дуги аорты, или бычья дуга с коротким стволом, — 8,7 %. По данным N.S. Berko и соавт., данный тип встречался в 19,6 % [13].

По данным литературы, бычья дуга — часто критикуемое название, так как оно не имеет ничего общего с анатомическими особенностями ветвления брахиоцефальных сосудов у крупного рогатого скота, однако является единственным нетривиально названным типом вариации дуги аорты. Подобный вариант строения дуги аорты является, по данным разных авторов, наиболее часто встречаемым — 10–20 % [12; 15]. Авторы отмечают высокую встречаемость II типа дуги аорты в южноамериканской и африканской популяциях — 24,2 [95% ДИ 8,0–45,4] и 26,8 % [95% ДИ 14,4–41,9] соответственно. В сравнении с белыми расами встречаемость у африканцев была в 2 раза выше, что связано с генетическими факторами [12]. C.D. Malone с соавт. в 2012 г. опубликовали данные о связи между бычьей дугой и аневризмами грудного отдела аорты

**Табл. 4.** Результаты логистического регрессионного анализа риска аневризмы аорты

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Бычья дуга аорты с длинным стволом	н/д	н/д	н/д	н/д
Бычья дуга аорты с коротким стволом	0,54 (0,06–5,21)	0,59	н/д	н/д
Общее устье БЦС и ЛОСА	0,62 (0,15–2,66)	0,52	0,22 (0,02–3,03)	0,25
Отхождение левой позвоночной артерии от дуги аорты между левой общей сонной и подключичной артериями	н/д	н/д	н/д	н/д
Сочетание бычьего ствола аорты и отхождения левой позвоночной артерии от дуги аорты	н/д	н/д	н/д	н/д
Возраст (+ 1 год)	1,10 (1,02–1,20)	0,01	1,11 (0,99–1,25)	0,06
Мужской пол	0,79 (0,18–3,40)	0,74	0,62 (0,07–5,60)	0,66
Рост (+ 1 см)	0,91 (0,84–0,99)	0,03	н/д	н/д
Вес (+ 1 кг)	0,93 (0,88–0,98)	0,005	0,94 (0,89–1,00)	0,05
Площадь поверхности тела (+ 10 см <sup>2</sup> )	0,53 (0,34–0,83)	0,005	н/д	н/д
Артериальная гипертензия	1,30 (0,14–12,24)	0,81	н/д	н/д

*Примечание.* ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал; БЦС — брахиоцефальный ствол; ЛОСА — левая общая сонная артерия; н/д - нет данных.

на когорте из 191 пациента с аневризмами грудного отдела аорты, среди них бычья дуга обнаружена в 26 % случаев [16]. В нашем исследовании взаимосвязь между анатомическими типами и развитием аневризмы дуги аорты не выявлена.

IIc тип дуги аорты характеризовался наличием общего устья БЦС и левой общей сонной артерии. В нашем исследовании такая встречаемость составила 15 %. По данным G. Vučurević и соавт., частота встречаемости данного типа, основанная на анализе 1 266 пациентов, составила 6,8 % [17]. В нашем исследовании данный тип связан со снижением риска расслоения аорты I типа по Дебейки на 89 %.

III тип дуги аорты характеризуется aberrантным отхождением левой позвоночной артерии от дуги между левыми общей сонной и подключичной артериями. Последовательно от дуги аорты справа налево отходят: брахиоцефальный ствол, левые общая сонная, позвоночная и подключичная артерии. В нашей работе данный тип выявлен у 4 пациентов (3,1 %). По данным литературы, встречаемость III типа составляет от 0,08 до 2,90 % [17].

IV тип дуги аорты в нашем исследовании представлен комбинацией бычьего ствола и aberrантного отхождения левой позвоночной артерии от дуги аорты. Последовательно от дуги аорты справа налево отходят 3 ветви: бычий ствол, левые позвоночная и подключичная артерии. По данным литературы, подобное сочетание встречается в 1,0–1,6 % [12].

В нашем исследовании протяженность дуги аорты при I типе была длиннее, чем при аномалиях, связанных с отхождением ЛОСА (IIa, IIb, IIc типы), и статистически значимой ( $p = 0,001$ ), что подтверждает исследование A. Meyer и соавт. в 2019 г., которые выполнили анализ 178 серий снимков компьютерной топографии сосудов у младенцев и предположили, что безымянная артерия смещается дистально, а ЛОСА смещается проксимально, формируя общее устье [18]. Авторы отметили, что, хотя проксимальная транслокация ЛОСА была значительней, левая подключичная артерия располагается без смещений, так как длина дуги аорты неизменная.

По данным P.G. Nagan и соавт., частота поражения брахиоцефальных сосудов при расслоении аорты I типа составляет 30–42 % [19]. В нашем исследовании частота вовлеченности в поражение

ветвей дуги аорты при расслоении I типа составила 44,3 %.

При остром расслоении аорты I типа у кардиохирургов есть выбор объема вмешательства: жизне-сохраняющая проксимальная реконструкция или расширенная реконструкция с протезированием и дебранчингом ветвей дуги аорты. Классические методы расширенной реконструкции дуги аорты характеризуются длительным циркуляторным арестом и высоким уровнем послеоперационной летальности и осложнений. После проксимальных реконструкций резидуальные надрывы интимы в дальнейшем способствуют функционированию ложного канала и аневризматической трансформации, что часто требует повторного вмешательства на дуге и нисходящей аорте [20]. В мире часто применяют фенестрированные и браншированные эндоваскулярные стент-графты из-за положительных ранних послеоперационных результатов и возможности применения у пациентов с высоким риском осложнений при открытых вмешательствах [21]. Авторы признают, что дуга аорты является технически сложной зоной для эндопротезирования из-за риска эмболии ветвей дуги аорты, при котором возможны дислокация стент-графта и перекрытие устьев ветвей дуги аорты [9]. В исследовании D. Verscheure и соавт. проводили многоцентровое ретроспективное исследование с применением браншированных эндографтов для дуги аорты (A-Branch, Cook Medical, Блумингтон, США) у 70 пациентов с хроническим расслоением аорты I типа: внутригоспитальная смертность и развитие инсульта составили 2 и 2 % соответственно [22]. В отдаленном периоде через 301 день [138–642] смертность составила 11,4 %, а к повторным вмешательствам подверглись 28,6 % пациентов. По данным M. Shrestha и соавт., у пациентов с хроническим расслоением аорты I типа, подвергшихся реконструкции дуги и нисходящего отдела аорты по типу «замороженный хобот слона», внутригоспитальная летальность и частота развития инсульта составили 4,3 и 10,1 % соответственно [23]. В отдаленном периоде через 3,35 года [1,91–8,17] повторным вмешательствам подверглись 36,4 % пациентов. K. Shimamura с соавт. впервые показали эффективность и безопасность расширенной реконструкции дуги аорты по методике «замороженный хобот

слона» с применением браншированных гибридных стент-графтов [24]. В дальнейшем данную методику усовершенствовали в Китае, где у хирургов имеются мануфактурные гибридные стент-графты. Результаты применения браншированных гибридных стент-графтов нивелируют риск послеоперационных осложнений и летальности в сравнении с проксимальными реконструкциями при остром расслоении I типа [6].

Широкое распространение браншированных стент-графтов ограничивается анатомической вариабельностью ветвей дуги аорты. На выполнение заказа браншированного стент-графта под анатомические особенности пациента в среднем требуется 3 мес. [9]. Данный факт является исключаящим при выборе тактики лечения в условиях экстренной или неотложной помощи.

На территории РФ данная технология имеет небольшое распространение ввиду высокой стоимости устройств. В продвижении и популяризации технологии «замороженный хобот слона» необходимо отметить вклад отечественных хирургов: А.М. Чернявского, Б.Н. Козлова, Ю.В. Белова, Э.Р. Чарчяна и других [25–27].

### Ограничения

Ограничением является ретроспективный дизайн исследования. Возможно, взаимосвязь между анатомическими типами аорты и развитием патологических состояний аорты не выявлена вследствие малого количества пациентов.

### Выводы

При анализе расстояний брахиоцефальный ствол – левая общая сонная артерия и брахиоцефальный ствол – левая подключичная артерия не получено статистически значимых различий между группой с расслоением аорты I типа по Дебейки и группой аневризмы, что дает возможность предположить общие изменения при патологическом состоянии.

Аномалии, связанные с отхождением ЛОСА (IIa, IIb, IIc типы), характеризуются дистальным смещением БЦС и проксимальным смещением ЛОСА с формированием общего соустья / ствола. Наличие общего соустья БЦС и ЛОСА (IIc тип) связано со снижением риска расслоения аорты I типа на 89 %. Другие анатомические типы аорты не были досто-

верно связаны с риском расслоения. Не выявлена статистически достоверная связь между анатомическими вариантами дуги аорты и развитием аневризмы дуги и нисходящего отдела аорты. Результаты могут быть учтены при проектировании современных гибридных стент-графтов.

### Список литературы / References

1. Tzagakis K., Pacini D., Grabenwöger M., Borger M.A., Goebel N., Hemmer W., Santos A.L., Sioris T., Widenka K., Risteski P., Mascaro J., Rudez I., Zierer A., Mestres C.A., Ruhparwar A., Di Bartolomeo R., Jakob H. Results of frozen elephant trunk from the international E-vita Open registry. *Ann Cardiothorac Surg.* 2020;9(3):178-188. PMID: 32551250, PMCID: PMC7298229. <https://doi.org/10.21037/acs-2020-fet-25>
2. Tazaki J., Inoue K., Higami H., Higashitani N., Toma M., Saito N., Kawatou M., Kimura T. Thoracic endovascular aortic repair with branched Inoue Stent Graft for arch aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 2017;66(5):1340-1348. PMID: 28583734. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.03.432>
3. De Rango P., Ferrer C., Coscarella C., Musumeci F., Verzini F., Pogany G., Montalto A., Cao P. Contemporary comparison of aortic arch repair by endovascular and open surgical reconstructions. *J Vasc Surg.* 2015;61(2):339-346. PMID: 25441674. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.09.006>
4. Spear R., Haulon S., Ohki T., Tsilimparis N., Kanaoka Y., Milne C.P.E., Debus S., Takizawa R., Kölbel T. Editor's choice - subsequent results for arch aneurysm repair with inner branched endografts. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2016;51(3):380-385. PMID: 26818022. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.12.002>
5. Ma W.-G., Zheng J., Zhang W., Sun K., Ziganshin B.A., Wang L.-F., Qi R.-D., Liu Y.-M., Zhu J.-M., Chang Q.C., Elefteriades J.A., Sun L.-Z. Frozen elephant trunk with total arch replacement for type A aortic dissections: does acuity affect operative mortality? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148(3):963-970. PMID: 25043867. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.06.005>
6. Chen L.-W., Dai X.-F., Wu X.-J., Liao D.-S., Hu Y.-N., Zhang H., Dong Y. Ascending aorta and hemiarch replacement combined with modified triple-branched stent graft implantation for repair of acute DeBakey type I aortic dissection. *Ann Thorac Surg.* 2017;103(2):595-601. PMID: 27553503. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.06.017>
7. Chen L.-W., Dai X.-F., Zhang G.-C., Lu L. Total aortic arch reconstruction with open placement of triple-branched stent graft for acute type A dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139(6):1654-1655. PMID: 20074749. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.10.022>
8. Chen L.-W., Wu X.-J., Dai X.-F., Lu L., Liao D.-S., Li C., Li Q.-Z. Total arch repair for acute type A aortic dissection with open placement of a modified triple-branched stent graft and the arch open technique. *J Cardiothorac Surg.* 2014;9(1):135. PMID: 25085259, PMCID: PMC4445643. <https://doi.org/10.1186/s13019-014-0135-3>
9. Makaloski V., Tsilimparis N., Rohlfes F., Heidemann F., Debus E.S., Kölbel T. Endovascular total arch replacement techniques and early results. *Ann Cardiothorac Surg.* 2018;7(3):380-388. PMID: 30155417, PMCID: PMC6094014. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.04.02>

10. Hanneman K., Newman B., Chan F. Congenital variants and anomalies of the aortic arch. *Radiographics*. 2017;37(1):32-51. PMID: 27860551. <https://doi.org/10.1148/rg.2017160033>
11. Fillinger M.F., Greenberg R.K., McKinsey J.F., Chaikof E.L., Society for Vascular Surgery Ad Hoc Committee on TEVAR Reporting Standards. Reporting standards for thoracic endovascular aortic repair (TEVAR). *J Vasc Surg*. 2010;52(4):1022-1033. PMID: 20888533. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.07.008>
12. Popieluszko P., Henry B.M., Sanna B., Hsieh W.C., Saganiak K., Pękala P.A., Walocha J.A., Tomaszewski K.A. A systematic review and meta-analysis of variations in branching patterns of the adult aortic arch. *J Vasc Surg*. 2018;68(1):298-306.e10. PMID: 28865978. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.06.097>
13. Berko N.S., Jain V.R., Godelman A., Stein E.G., Ghosh S., Haramati L.B. Variants and anomalies of thoracic vasculature on computed tomographic angiography in adults. *J Comput Assist Tomogr*. 2009;33(4):523-528. PMID: 19638843. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3181888343>
14. Uchino A., Saito N., Okada Y., Kozawa E., Nishi N., Mizukoshi W., Nakajima R., Takahashi M., Watanabe Y. Variation of the origin of the left common carotid artery diagnosed by CT angiography. *Surg Radiol Anat*. 2013;35(4):339-342. PMID: 23129264. <https://doi.org/10.1007/s00276-012-1038-4>
15. Müller M., Schmitz B.L., Pauls S., Schick M., Röhrer S., Kapapa T., Schlötzer W. Variations of the aortic arch - a study on the most common branching patterns. *Acta Radiol*. 2011;52(7):738-742. PMID: 21596797. <https://doi.org/10.1258/ar.2011.110013>
16. Malone C.D., Urbania T.H., Crook S.E.S., Hope M.D. Bovine aortic arch: a novel association with thoracic aortic dilation. *Clin Radiol*. 2012;67(1):28-31. PMID: 22070947. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2011.04.004>
17. Vučurević G., Marinković S., Puškaš L., Kovačević I., Tanasković S., Radak D., Ilić A. Anatomy and radiology of the variations of aortic arch branches in 1,266 patients. *Folia Morphol (Warsz)*. 2013;72(2):113-122. PMID: 23740497. <https://doi.org/10.5603/fm.2013.0019>
18. Meyer A.M., Turek J.W., Froud J., Endelman L.A., Cavanaugh N.B., Torres J.E., Ashwath R. Insights into arch vessel development in the bovine aortic arch. *Pediatr Cardiol*. 2019;40(7):1445-1449. PMID: 31332468. <https://doi.org/10.1007/s00246-019-02156-6>
19. Hagan P.G., Nienaber C.A., Isselbacher E.M., Bruckman D., Karavite D.J., Russman P.L., Evangelista A., Fattori R., Suzuki T., Oh J.K., Moore A.G., Malouf J.F., Pape L.A., Gaca C., Sechtem U., Lenferink S., Deutsch H.J., Diedrichs H., Marcos y Robles J., Llovet A., Gilon D., Das S.K., Armstrong W.F., Deeb G.M., Eagle K.A. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease. *JAMA*. 2000;283(7):897-903. PMID: 10685714. <https://doi.org/10.1001/jama.283.7.897>
20. Fattouch K., Sampognaro R., Navarra E., Caruso M., Pisano C., Coppola G., Speziale G., Ruvolo G. Long-term results after repair of type A acute aortic dissection according to false lumen patency. *Ann Thorac Surg*. 2009;88(4):1244-1250. PMID: 19766814. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2009.06.055>
21. Tsilimparis N., Debus E.S., von Kodolitsch Y., Wipper S., Rohlfes F., Detter C., Roeder B., Kölbel T. Branched versus fenestrated endografts for endovascular repair of aortic arch lesions. *J Vasc Surg*. 2016;64(3):592-599. PMID: 27313087. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2016.03.410>
22. Verscheure D., Haulon S., Tsilimparis N., Resch T., Wanhainen A., Mani K., Dias N., Sobocinski J., Eagleton M., Ferreira M., Schurink G.W., Modarai B., Abisi S., Kasprzak P., Adam D., Cheng S., Maurel B., Jakimowicz T., Watkins A.C., Sonesson B., Claridge M., Fabre D., Kolbel T. Endovascular treatment of post type A chronic aortic arch dissection with a branched endograft: early results from a retrospective international multicenter study. *Ann Surg*. 2019. Online ahead of print. PMID: 30973389. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003310>
23. Shrestha M., Martens A., Kaufeld T., Beckmann E., Bertele S., Krueger H., Neuser J., Fleissner F., Ius F., Alhadi F.A., Hanke J., Schmitto J.D., Cebotari S., Karck M., Haverich A., Chavan A. Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2017;52(5):858-866. PMID: 28977379. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezx218>
24. Shimamura K., Kuratani T., Matsumiya G., Shirakawa Y., Takeuchi M., Takano H., Sawa Y. Hybrid endovascular aortic arch repair using branched endoprosthesis: the second-generation "branched" open stent-grafting technique. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;138(1):46-52. PMID: 19577055. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.03.025>
25. Чернявский А.М., Ляшенко М.М., Сирота Д.А., Хван Д.С., Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Лукинов В.Л. Гибридные технологии при хирургическом лечении проксимальных расслоений аорты. *Российский кардиологический журнал*. 2018;(11):8-13. [Chernyavsky A.M., Lyashenko M.M., Sirota D.A., Khvan D.S., Kozlov B.N., Panfilov D.S., Lukinov V.L. Hybrid technology in the surgical treatment of proximal aortic dissection. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;23(11):8-13. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-11-8-13>
26. Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Кузнецов М.С., Насрашвили Г.Г., Шипулин В.М. Пятилетний опыт хирургического лечения аневризм грудной аорты по методике «frozen elephant trunk». *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2018;11(4):43-46. [Kozlov B.N., Panfilov D.S., Kuznetsov M.S., Nasrashvili G.G., Shipulin V.M. Five-year experience of frozen elephant trunk procedure for thoracic aortic aneurysms. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery = Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya*. 2018;11(4):43-46. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/kardio201811443>
27. Charchyan E., Breshenkov D., Belov Y. Follow-up outcomes after the frozen elephant trunk technique in chronic type B dissection. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2020;57(5):904-911. PMID: 31899477. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezz348>

## Anatomical variability in the structure of the arch and thoracic aorta and its influence on aorta related pathological conditions

**Aldar A. Shadanov, Dmitry A. Sirota, Tatyana A. Bergen, Maxim M. Lyashenko, Alexander M. Chernyavskiy**

Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

**Corresponding author.** Aldar A. Shadanov, [shadanovaldar@mail.ru](mailto:shadanovaldar@mail.ru)

**Aim.** Assessment of normal and variant aortic arch anatomy in patients with type A aortic dissection and aneurysm of the arch and descending thoracic aorta.

**Methods.** We retrospectively studied computer tomography (CT) data of chest organs with contrast in patients who underwent reconstruction of the aortic arch in type I aortic dissection according to DeBakey classification (n = 61) and resection of the aortic arch and descending thoracic aorta aneurysm (n = 14) at the Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation. The control group included patients without aortic arch pathology (n = 52). To identify relationships between the anatomical type of aortic arch and the risk of aortic pathology development, univariate and multivariate binary logistic regression analyses were used.

**Results.** Our analysis revealed four types of aortic arch anatomy. Normal aortic arch anatomy occurred in 66.1 % of patients (n = 84), the proportion of abnormalities of the left common carotid artery was 30 % (bovine aortic arch occurred in 15 %, and the same site of origin of left common carotid artery and brachiocephalic trunk occurred in 15 %). Divergence of the left vertebral artery from the aortic arch between the left common carotid and left subclavian arteries occurred in 3.1 % (n = 4), and the combination of "bovine trunk" and divergence of the left vertebral artery from the aortic arch was detected in 0.8 % patients (n = 1). Logistic regression analyses revealed no statistically significant relationships between variant aortic arch anatomy and the development of type A aortic dissections and aortic arch aneurysms. The presence of the common origin of brachiocephalic trunk and left common carotid artery was associated with a reduced risk of acute aortic dissection type I by 89 %, or an OR of 0.11 (95% CI: 0.03–0.46) (p = 0.002).

**Conclusion.** Our data will help with future planning surgical interventions on the aortic arch and descending thoracic aorta.

Received 17 June 2020. Revised 16 July 2020. Accepted 17 July 2020.

**Keywords:** anatomy of the aortic arch; aortic aneurysm; aortic dissection; bovine aortic arch; computed tomography angiography; variant anatomy of the aortic arch

**Funding:** The study did not have sponsorship.

**Conflict of interest:** Authors declare no conflict of interest.

### Author contributions

Conception and design: A.A. Shadanov

Data collection and analysis: A.A. Shadanov, T.A. Bergen

Statistical analysis: D.A. Sirota, A.A. Shadanov

Drafting the article: A.A. Shadanov

Critical revision of the article: D.A. Sirota, M.M. Lyashenko, A.M. Chernyavskiy

Final approval of the version to be published: A.A. Shadanov, D.A. Sirota, T.A. Bergen, M.M. Lyashenko, A.M. Chernyavskiy

### ORCID ID

A.A. Shadanov, <https://orcid.org/0000-0002-1176-8125>

D.A. Sirota, <https://orcid.org/0000-0002-9940-3541>

T.A. Bergen, <https://orcid.org/0000-0003-1530-1327>

M.M. Lyashenko, <https://orcid.org/0000-0001-8675-8303>

A.M. Chernyavskiy, <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

**Copyright:** © 2020 Shadanov et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**How to cite:** Shadanov A.A., Sirota D.A., Bergen T.A., Lyashenko M.M., Chernyavskiy A.M. Anatomical variability in the structure of the arch and thoracic aorta and its influence on aorta related pathological conditions. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2020;24(4):72-82. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-72-82>