

УДК 616-073.75:[611.941:611.132.1:616-089.85]

ВАРИАНТЫ ТОПОГРАФИИ И ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ДУГИ АОРТЫ: АНАЛИЗ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ АНГИОГРАФИИ

Заточная В.В.¹, Правосуд М.В.²

¹УО «Белорусский государственный медицинский университет»,

²УЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи»,

г. Минск, Республика Беларусь

Проведен анализ распространенности анатомических вариантов отхождения ветвей от дуги аорты, ее морфометрических параметров с учетом гендерных различий с использованием ретроспективных данных компьютерно-томографической ангиографии (КТА) пациентов, обратившихся в клиники г. Минска в 2022–2024 гг. Типичный вариант ветвления дуги аорты выявлен у 79,3 % ($n = 674$) пациентов без статистически значимых гендерных различий. Выявлены два наиболее часто встречающихся варианта отхождения ветвей от дуги аорты: плечеголовной ствол и левая общая сонная артерия начинаются общим стволом – 14 % ($n = 119$); левая позвоночная артерия начинается от дуги аорты – 3,3 % ($n = 28$). Краниальная точка дуги аорты наиболее часто выявляется на уровне межпозвоночного диска между Т2 и Т3 позвонками – 62,9 %. Средняя площадь поперечного сечения сосуда в проксимальном отделе составила 9,51 (8,34–10,98) см², в области краниальной точки – 6,79 (6,42–7,97) см², в дистальном отделе – 6,38 (5,74–7,72) см². Площадь поперечного сечения дуги аорты постепенно уменьшается от проксимального к дистальному ее отделу и статистически достоверно больше у мужчин в проксимальном и среднем отделах ($p < 0,05$).

Ключевые слова: дуга аорты; анатомические варианты; топография; морфометрия.

Введение. Аорта, главный артериальный ствол организма, играет ключевую роль в системе кровообращения. Ее анатомические особенности, в частности размеры дуги аорты и характер отхождения от нее ветвей, имеют существенное значение как для фундаментальной медицины, так и для клинической практики. Дуга аорты, берущая начало от восходящей аорты и заканчивающаяся кзади слева в верхнем средостении, представляет собой сложный анатомический участок, топография которого определяется условной поперечной плоскостью грудной клетки, проведенной от места соединения рукоятки и тела грудины до середины расстояния между С4 и С5 грудными позвонками (Gray's anatomy, 2021). Анализ литературных данных демонстрирует существенные различия в анатомии дуги аорты среди представителей различных расово-этнических групп. В европеоидной популяции классический вариант ветвления дуги аорты, включающий три основные артерии (плечеголовной ствол, левая общая сонная артерия и левая подключичная артерия), встречается в 65–80 % случаев. При этом частота встречаемости «бычьей дуги» (общего ствола левых общей сонной и подключичной артерий) составляет 10–15 % [1]. В азиатской популяции (Китай, Япония) классический вариант ветвления наблюдается несколько реже – в 60–70 % случаев. Характерной

особенностью азиатской популяции является более высокая частота непосредственного отхождения левой позвоночной артерии от дуги аорты (до 5,4 % против 2,7 % у европейцев) [2]. Для африканской популяции характерна повышенная частота встречаемости дуги аорты, когда обе общие сонные артерии отходят одним стволом. Данный вариант встречается у представителей этой этнической группы в 15 % случаев [3]. В белорусской популяции вариантная анатомия дуги аорты изучалась преимущественно на трупном материале, что не позволяет достоверно провести морфометрический анализ из-за посмертных изменений сосудов (ригидность, спадение стенок) и не отражает прижизненных изменений сосудов (атеросклеротические бляшки, кальциноз, извитость сосудов). Проведенный анализ выявляет существенные пробелы в изученности вариантной анатомии дуги аорты у жителей Беларуси: отсутствуют крупномасштабные исследования с применением современных методов визуализации (КТ-ангиографии), недостаточно изучена связь анатомических вариантов с частотой сердечно-сосудистых заболеваний в регионе, требуют уточнения данные по гендерной изменчивости параметров дуги аорты.

Актуальность изучения морфометрии дуги аорты и ее ветвей определяется несколькими

факторами. Во-первых, точное знание анатомических особенностей этой области необходимо для планирования и выполнения эндоваскулярных вмешательств (стентирования аорты, каротидной ангиопластики) и кардиохирургических операций (протезирования дуги аорты, коррекции коарктации). Во-вторых, развитие некоторых патологических состояний (аневризмы, атеросклероза, расслоения аорты) может быть связано с вариабельностью строения дуги аорты и гемодинамическими особенностями кровотока. В-третьих, современные методы визуализации, в частности КТА, позволяют с высокой точностью изучать морфометрические параметры этой анатомической области, что важно для предиктивной медицины, создания персонализированных 3D-моделей в хирургии и разработки новых эндоваскулярных устройств [4].

Целью настоящего исследования является анализ топографических и морфометрических характеристик дуги аорты с использованием компьютерной томографической ангиографии.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ КТА-сканов грудной клетки и шеи пациентов, направленных в Республиканский научно-практический центр «Кардиология», учреждение здравоохранения «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи» с диагностической целью за 2022–2024 гг. Визуализация изображений осуществлялась с использованием пакета прикладных программ SIEMENS:synngo в режиме «CT DE + Vascular». Критерии включения: взрослые пациенты (≥ 18 лет) без гендерных ограничений, адекватная визуализация сосудистой анатомии.

Критерии исключения: технические ошибки, травмы или другие патологии, искажающие сосудистую анатомию; торакальные сосудистые операции в анамнезе, выраженный атеросклероз и кальциноз стенки артерий в исследуемой области, сопровождающиеся стенозом просвета сосуда более 20 %. Структура выборки для определения анатомических вариантов отхождения ветвей от дуги аорты: 850 пациентов (547 мужчин, 303 женщины, средний возраст $65,4 \pm 7,17$ лет). Структура выборки для морфометрии: исследуемую группу составили 165 пациентов (95 мужчин и 70 женщин). Возраст выборки варьировал от 31 до 85 лет ($67,85 \pm 8,44$ лет). Методика исследования: определялось количество артерий, отходящих от дуги аорты, определялся краниальный уровень дуги аорты относительно позвонков; измерялась площадь поперечного сечения дуги аорты в трех ее отделах относительно поперечной плоскости грудной клетки: проксимальном, дистальном (на уровне перешейка дуги аорты) и на уровне определения краниальной точки. Для этого в сагиттальной проекции КТА-скана проводилась линия от угла грудины до середины расстояния между нижним краем Т4 и верхним краем Т5 позвонков. Площадь измерялась в точке пересечения этой линии с аортой, предварительно выстроив ось вращения параллельно ходу сосуда таким образом, чтобы на одном из срезов был визуализирован рассматриваемый сосуд в виде окружности. Для среднего сегмента площадь измерения соответствовала краниальной точке дуги аорты (рис. 1).

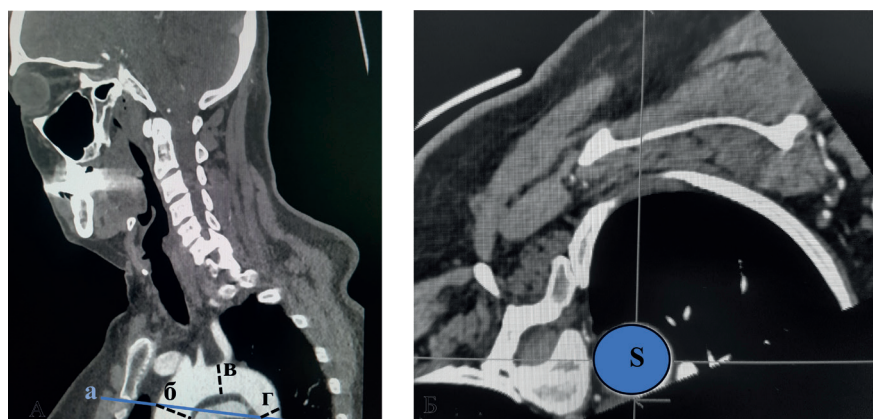


Рис. 1. Измерение площади поперечного сечения дуги аорты. КТА-сканы грудной клетки, шеи и головы. А – сагиттальный, Б – аксиальный. а – линия от угла грудины до середины расстояния между нижним краем Т4 и верхним краем Т5 позвонков, б – проксимальный сегмент дуги, в – средний сегмент дуги, г – дистальный сегмент дуги, s – поперечное сечение дуги

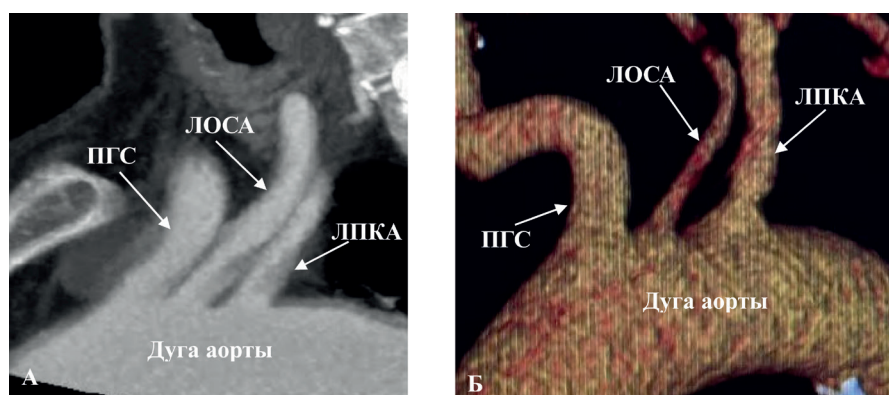


Рис. 2. Классический тип ветвления дуги аорты: А – сагиттальный КТА-скан грудной клетки, вид спереди; Б – 3D-реконструкция дуги аорты и ее ветвей, вид спереди.

Статистический анализ данных выполняли с применением программного обеспечения Microsoft Office Excel для первичной обработки и систематизации данных; PAST 4.16 – для проведения комплексного статистического анализа. Для оценки характера распределения количественных данных применялся критерий Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса. В связи с тем, что распределение было отличным от нормального, данные были представлены в виде медианы с межквартильным размахом (Me (Q25–Q75)). Сравнительный анализ для двух независимых выборок проводился с использованием U-критерия Манна-Уитни, для сравнения трех независимых выборок был рассчитан критерий Краскала-Уолеса. Оценка взаимосвязей между переменными выполнялась с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r). Во всех анализах критический уровень значимости (p -value) принимался менее 0,05, что соответствует 95 % доверительному интервалу.

Результаты и обсуждение

Классический вариант ветвления (плечеголовной ствол (ПГС), левая общая сонная (ЛОСА) и левая подключичная артерии (ЛПКА)) обнаружен у 674 обследованных (79,3 % случаев), что подтверждает его статус наиболее распространенной анатомической конфигурации (рис. 2). Второй по частоте вариант (14 %, $n = 119$) характеризовался общим отхождением плечевого ствол и левой общей сонной артерии из единого сосудистого ствола («бычья дуга»¹)

¹ Термин «бычья дуга» (англ. "bovine arch") происходит от латинского слова "bos" (бык), поскольку подобный вариант ветвления характерен для анатомии крупного

(рис. 3, А, Б). Показатель близок к верхней границе значения по европеоидной популяции (5 – 15 %) [1; 5]. «Бычья дуга» усложняет каротидную ангиопластику из-за атипичного угла отхождения сонных артерий.

Третья по распространенности аномалия (3,3 %, $n = 28$) проявлялась отхождением левой позвоночной артерии (ЛПА) непосредственно от дуги аорты (рис. 3, В, Г), что практически сопоставимо с данными литературы (2,8 %) [5].

Редкие анатомические варианты²:

1. Слияние левых общей сонной и подключичной артерий в общий ствол (0,71 %, $n = 6$) (рис. 4 А). По данным литературы в европейской популяции частота встречаемости данного типа отхождения ветвей от дуги аорты встречается также крайне редко (0,16–0,5 %) [1].

2. Аберрантная правая подключичная артерия (ППКА), arteria lusoria (0,71 %, $n = 6$) – отходит от дуги аорты крайним левым стволом (рис. 4 Б, В). Частота данного варианта по данным литературы составляет от 0,1 до 1,9 % [1; 5].

3. Аберрантная левая подключичная артерия (0,48 %, $n = 4$) – отходит от дуги аорты крайней правой ветвью и идет на левую сторону позади пищевода или между пищеводом и трахеей (рис. 4 Г). Частота встречаемости по данным литературы составляет 0,5–0,7 % [5; 6].

рогатого скота. Несмотря на отсутствие полного морфологического соответствия с сосудистой системой быков, данное название прочно закрепилось в медицинской терминологии для обозначения этого анатомического варианта.

² Согласно современным исследованиям, к редким типам ветвления дуги аорты относятся варианты, частота встречаемости которых в популяции составляет <1%.

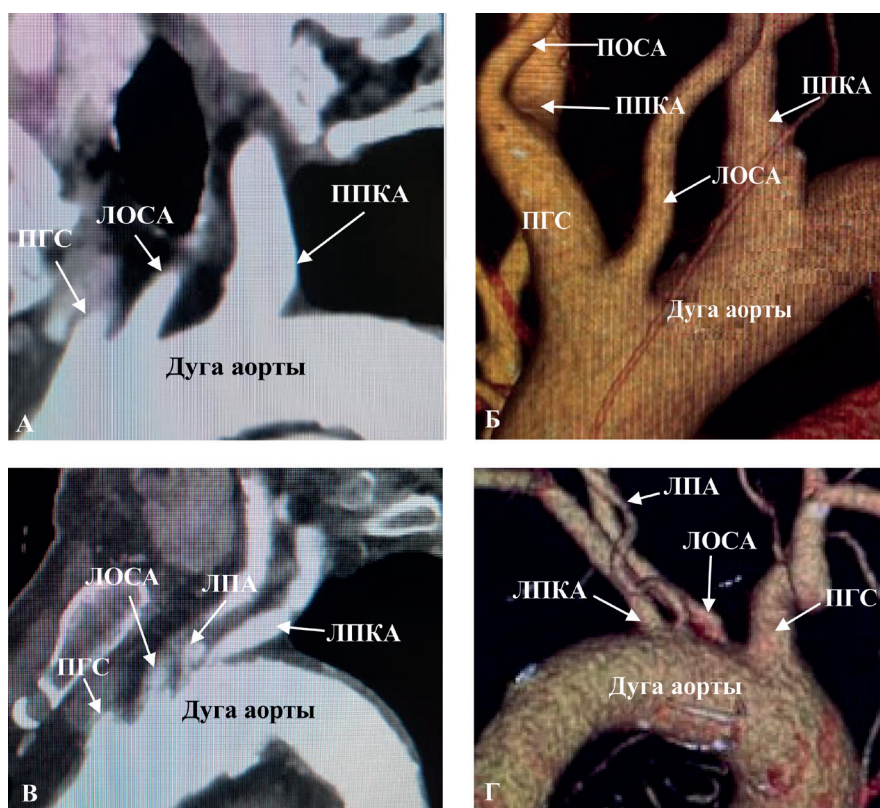


Рис. 3. Варианты отхождения ветвей от дуги аорты: *А, В* – сагиттальные КТА-сканы грудной клетки; *Б, Г* – 3D-реконструкция дуги аорты и ее ветвей, *Б* – вид спереди, *Г* – вид сзади. *А, Б* – плечеголовной ствол (ПГС) и левая общая сонная артерия (ЛОСА) начинаются общим стволом, «бычья дуга»; *В, Г* – левая позвоночная артерия (ЛПА) отходит от дуги аорты

При аномальном ходе подключичных артерий могут развиваться характерные клинические проявления, зависящие от анатомического расположения сосуда и степени компрессии окружающих структур. При наиболее частом варианте, когда aberrантная подключичная артерия проходит позади пищевода, у пациентов преимущественно наблюдаются симптомы компрессии пищевода. В 70 % случаев это проявляется дисфагией. Нередко присоединяются болезненные ощущения во время акта глотания. В тяжелых случаях может отмечаться регургитация непереваренной пищи в ротовую полость. Если аномальный сосуд располагается кпереди от пищевода, преобладают респираторные симптомы. Пациенты жалуются на стридорозное дыхание, обусловленное сдавлением трахеи. Характерны рецидивирующие воспалительные заболевания нижних дыхательных путей – бронхиты и пневмонии, возникающие из-за нарушения дренажной функции бронхов. В ночное время может наблюдаться синдром апноэ. Со стороны сосудистой системы наиболее серьезным

осложнением является синдром подключичного обкрадывания, при котором возникает вертебробазилярная недостаточность вследствие ретроградного кровотока в позвоночной артерии. Диагностически значимым признаком служит асимметрия артериального давления на верхних конечностях. В редких случаях развивается ишемия верхней конечности. Аберрантные артерии повышают риск перфорации сосуда или ошибки доступа при инвазивных сосудистых вмешательствах [6].

4. Смешанный тип ветвления (0,36 %, $n = 3$) – сочетание совместного начала плечеголового ствола и левой общей сонной артерии с aberrантным отхождением правой подключичной артерии (рис. 4 Д). По данным литературы, частота данного варианта 0,3–0,7 % и может сопровождаться врожденными пороками сердца [1].

Краниальная точка дуги аорты служит ключевым анатомическим ориентиром при рентгенологических исследованиях грудной клетки, для определения границ средостения, а также при оценке пространственных взаимоотноше-

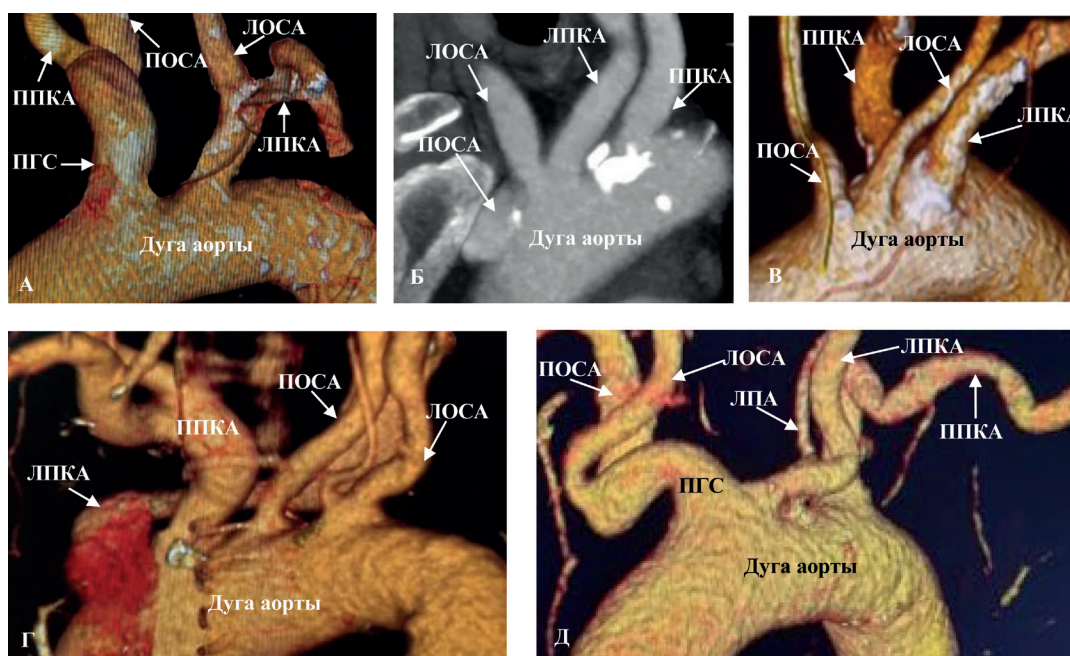


Рис. 4. Редкие варианты ветвей дуги аорты. А, В–Д – 3D-реконструкция дуги аорты и ее ветвей, вид спереди, В – сагиттальный КТА-скан грудной клетки: А – отхождение левых общей сонной и подключичной артерий одним стволом; Б, В – aberrантная правая подключичная артерия; Г – aberrантная левая подключичная артерия; Д – смешанный тип ветвей дуги аорты – сочетание совместного начала плечевого ствола и левой общей сонной артерии с aberrантным отхождением правой подключичной артерии

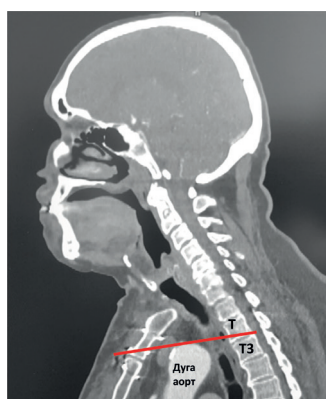


Рис. 5. Определение уровня краниальной точки дуги аорты. Сагиттальный КТА-скан грудной клетки, шеи и головы. Краниальная точка определяется между Т2 и Т3 позвонками

ний органов грудной полости. У большинства обследованных (62,3 % мужчин и 64,8 % женщин) эта точка локализовалась на уровне между Т2 и Т3 позвонками (рис. 5), что соответствует классическим анатомическим представлениям [1].

Площадь поперечного сечения (ППС) дуги аорты в разных ее отделах представлена в табл. 1.

Анализ полученных данных продемонстрировал градиентное снижение площади поперечного сечения дуги аорты в дистальном направлении. Статистически значимое преобладание данного параметра выявлено у мужчин в проксимальном и среднем отделах, что может способствовать более частому развитию аневриз-

Таблица 1 – Площадь поперечного сечения сегментов дуги аорты

	N	S_1 Me (Q25–Q75), min-max, см ²	S_2 Me (Q25–Q75), min-max, см ²	S_3 Me (Q25–Q75), min-max, см ²	P_1
мужчины	95	10,12 (8,93–11,12) 8,11–12,52	6,84 (6,61–10,15) 5,89–11,93	6,18 (5,66–7,56) 4,30–10,41	0,000
женщины	70	9,73 (8,20–10,44) 7,62–11,82	6,58 (6,29–8,00) 5,43–6,89	6,43 (5,86–6,59) 5,31–8,23	0,021
p_2		0,012	0,033	0,062	

N – количество случаев; S_1 – площадь поперечного сечения в проксимальном отделе; S_2 – площадь поперечного сечения в среднем отделе; S_3 – площадь поперечного сечения в дистальном отделе; p_1 – уровень значимости при сравнении значений площади поперечного сечения разных отделов дуги аорты между собой; p_2 – уровень значимости при сравнении значений площади поперечного сечения каждого отдела дуги аорты у мужчин и у женщин.

матических изменений у пациентов мужского пола. Особое клиническое значение имеет область перешейка аорты – наиболее узкого участка при переходе в нисходящий отдел, где наиболее вероятно развитие коарктации. Данная патология, приводящая к значительным гемодинамическим нарушениям в зависимости от степени стеноза, с большей частотой встречается среди представителей европеоидной расы (соотношение мужчин/женщин 1,5 : 1). Хотя в большинстве случаев коарктация диагностируется в детском возрасте, у части пациентов заболевание манифестирует только во взрослом периоде, требуя проведения комплексной визуализации. Согласно литературным данным, клинически значимым считается сужение площади сечения более чем на 50 % [7]. В нашем исследовании минимальный зарегистрированный показатель площади поперечного сечения составил 4,3 см², что не достигает пороговых значений для хирургического вмешательства.

Заключение. Классический вариант отхождения ветвей от дуги аорты подтвержден как доминирующий (79,3 %), что согласуется с данными по европеоидной популяции; выяв-

лена высокая частота встречаемости «бычьей дуги» (14 %), близкая к верхней границе мировой статистики (5–15 %), более редкие варианты (отхождение позвоночной артерии от дуги аорты – 3,3 %, aberrantные подключичные артерии – 0,7–1,4 %) встречаются с частотой, сопоставимой с литературными данными, что требует особого внимания при кардиохирургических и эндоваскулярных вмешательствах; краниальная точка дуги аорты у 62–65 % пациентов локализована между T2 и T3 позвонками, что соответствует классическим анатомическим ориентирам. Площадь поперечного сечения дуги аорты характеризуется градиентным уменьшением от проксимального к дистальному сегменту; у мужчин ППС достоверно больше в проксимальном и среднем отделах ($p < 0.05$), что может объяснять их повышенную предрасположенность к аневризмам. Таким образом, проведение КТА перед планированием инвазивных вмешательств на дуге аорты, а также с диагностической целью (аневризмы, коарктация, компрессионный синдром и др.) жизненно необходимая процедура.

Список цитируемых источников

1. Natsis, K.I. Anatomical variations in the branches of the human aortic arch in 633 angiographies: clinical significance and literature review / K.I. Natsis [et al.] // *Surg. Radiol. Anat.* – 2009. – Vol. 31. – P. 319–323.
2. Wang, L. Morphologic features of the aortic arch and its branches in the adult Chinese population / L. Wang, J. Zhang, S. Xin // *J. Vasc. Surg.* – 2016. – Vol. 64, № 6. – P. 1602–1608.e1.
3. De Garis, C.F. Patterns of the aortic arch in American white and Negro stocks, with comparative notes on certain other mammals / C.F. De Garis, I.H. Black, E.A. Riemenschneider // *J. Anat.* – 1933. – Vol. 67, № Pt 4. – P. 599.
4. Hangge, P. Three-dimensional (3D) printing and its applications for aortic diseases / P. Hangge [et al.] // *Cardiovasc. Diagn. Ther.* – 2018. – Vol. 8, № Suppl 1. – P. S19–S25.
5. Vučurević, G. Anatomy and radiology of the variations of aortic arch branches in 1,266 patients / G. Vučurević [et al.] // *Folia Morphol.* – 2013. – Vol. 72. – № 2. – P. 113–122.
6. Myers, P.O. Arteria lusoria: developmental anatomy, clinical, radiological and surgical aspects / P.O. Myers [et al.] // *Ann. Cardiol. Angeiol.* – Elsevier Masson, 2010. – Vol. 59, № 3. – P. 147–154.
7. Erbel, R. Aortic dimensions and the risk of dissection / R. Erbel, H. Eggebrecht // *Heart.* – 2006. – Vol. 92, № 1. – P. 137–142.

TOPOGRAPHY VARIANTS AND CROSS-SECTIONAL AREA OF THE AORTIC ARCH: ANALYSIS OF COMPUTED TOMOGRAPHIC ANGIOGRAPHY DATA

V.V. Zatochnaya¹, M.V. Pravosud²

¹Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

²Minsk City Emergency Hospital, Minsk, Republic of Belarus

A retrospective analysis of CT scans of the chest and neck of patients who applied to clinics in Minsk in 2022–2024 was carried out. A typical aortic arch branching was detected in 79,3% patients without statistically significant gender differences. Two most common variants of branches diverging from the aortic arch were identified: «bovine arch» – 14%; The left vertebral artery starts from the aortic arch – 3,3 %. The cranial point of the aortic arch is most often detected at the level T2–T3 vertebrae – 62,9 %. The average cross-sectional area of the vessel in the proximal section was 9,51 (8,34–10,98) cm², in the cranial point area – 6,79 (6,42–7,97) cm², in the distal section – 6,38 (5,74–7,72) cm². The cross-sectional area of the aortic arch gradually decreases from its proximal to its distal section and is statistically significantly larger in men in the proximal and middle sections ($p < 0,05$).

Keywords: aortic arch; anatomical variations; topography; morphometry.