

Заточная В.В., Минкевич М.С., Миксюк А.Ю.

**ОЦЕНКА ЛИНЕЙНЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГИ
АОРТЫ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С АНГИОГРАФИЕЙ**
УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Беларусь

Аннотация. Дуга аорты обладает выраженной индивидуальной вариабельностью строения, что имеет важное значение при планировании сосудистых операций и эндоваскулярных вмешательств. Настоящее исследование было выполнено с целью оценки линейных морфометрических характеристик дуги аорты у пациентов старше 60 лет на основании данных компьютерной томографии с ангиографией. В ретроспективный анализ включены данные 47 пациентов (29 мужчин и 18 женщин), средний возраст которых составил $66,42 \pm 8,44$ года. Измерения диаметра дуги аорты в пяти точках, её длины и ширины проводились с использованием программного обеспечения Syngo fastView (Siemens). Установлено, что диаметр дуги аорты постепенно уменьшается от проксимального к дистальному отделу: у мужчин он составил от 3,45 (3,34-3,79) см (D_0) до 2,61 (2,39-2,84) см (D_4), у женщин — от 3,22 (2,91-3,46) см (D_0) до 2,47 (2,28-2,64) см (D_4), различия между полами были статистически значимыми ($p < 0,05$). Длина дуги аорты не имела существенных гендерных отличий за исключением участка между плечеголовным стволом и левой общей сонной артерией (L_2), который был достоверно короче у женщин. Ширина дуги аорты составила у мужчин 6,79 (5,86–7,29) см и у женщин 6,73 (5,12–8,28) см, статистически значимых различий выявлено не было. Полученные данные подтверждают необходимость предоперационной оценки анатомии дуги аорты для повышения безопасности и эффективности хирургических вмешательств на грудной аорте и магистральных сосудах шеи.

Ключевые слова: анатомия, дуга аорты, компьютерная томография с ангиографией, морфометрия, сосудистая хирургия.

Zatochnaya V.V., Minkevich M.S., Miksuk A.Y.
**ASSESSMENT OF LINEAR MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE
AORTIC ARCH BASED ON CT ANGIOGRAPHY**

Resume. The aortic arch exhibits significant individual variability in structure, which is crucial for planning vascular and endovascular interventions. The aim of this study was to evaluate the linear morphometric characteristics of the aortic arch in patients over 60 years old based on CT angiography. A retrospective analysis included data from 47 patients (29 men and 18 women), with a mean age of 66.42 ± 8.44 years. Measurements of the aortic arch diameter at five points, as well as its length and width, were performed using Syngo fastView software (Siemens). The study found that the diameter of the aortic arch gradually decreases from the proximal to the distal segment: in men, it ranged from 3.45 (3,34-3,79) cm (D_0) to 2.61 (2,39-2,84) cm (D_4), while in women, it ranged from 3.22 (2,91-3,46) cm (D_0) to 2.47 (2,28-2,64) cm (D_4), with statistically significant differences between sexes ($p < 0.05$). The length of the aortic arch showed no significant gender differences except for the segment between the brachiocephalic trunk and the left common carotid artery (L_2), which was significantly shorter in women. The width of the aortic arch was 6.79 (5.86–7.29) cm in men and 6.73 (5.12–8.28) cm in women, with no statistically significant differences. These findings confirm the necessity of preoperative assessment of aortic arch anatomy to enhance the safety and efficacy of surgical interventions on the thoracic aorta and major neck vessels.

Keywords: anatomy, aortic arch, computed tomography angiography, morphometry, vascular surgery.

Актуальность. Дуга аорты является ключевым анатомическим элементом системы магистральных сосудов, обеспечивающим кровоснабжение головы, шеи и верхних конечностей. Она начинается от восходящей части аорты и заканчивается сзади слева в верхнем средостении, представляя собой сложную анатомическую структуру. Её топография определяется условной поперечной плоскостью грудной клетки, проведённой от места соединения рукоятки и тела грудины до середины расстояния между T_4 и T_5 грудными позвонками [1]. Её строение характеризуется значительной индивидуальной изменчивостью, которая проявляется как в топографии, так и в морфометрических параметрах [2]. Эти особенности имеют важное клиническое значение при выполнении как открытых, так и эндоваскулярных операций на грудной аорте и магистральных артериях шеи [3].

В последние годы отмечается увеличение числа эндоваскулярных вмешательств на дуге аорты, таких как стентирование, протезирование и реконструкция, что связано с менее инвазивным характером данных методов и более благоприятным послеоперационным периодом [3]. Однако сложная анатомия дуги аорты, её изогнутая форма и наличие нескольких крупных ветвей создают технические трудности при проведении таких операций. В связи с этим предоперационная визуализация и детальное изучение морфометрических характеристик дуги аорты становятся необходимыми для выбора оптимальной хирургической тактики, подбора размеров эндоваскулярных имплантов и минимизации риска осложнений [4].

Компьютерная томография с ангиографией (КТА) на сегодняшний день является «золотым стандартом» визуализации дуги аорты благодаря высокой разрешающей способности, точности и возможности трехмерной реконструкции сосудистого русла [5]. Использование этого метода позволяет не только точно оценить анатомические особенности дуги аорты, но и получить объективные количественные показатели — такие как диаметр, длина и ширина дуги, которые играют решающую роль при планировании операций.

Несмотря на обширную литературу по данной теме, до сих пор остаются недостаточно изученными половые различия в линейных характеристиках дуги аорты и их влияние на результаты хирургического лечения. Кроме того, большинство исследований проводилось на зарубежных популяциях, что делает актуальным проведение региональных исследований с целью получения собственных морфометрических данных.

Таким образом, изучение линейных морфометрических параметров дуги аорты у пациентов с использованием современных методов визуализации имеет важное практическое значение для сосудистых хирургов, кардиохирургов и радиологов, обеспечивая безопасность и эффективность выполняемых вмешательств.

Цель: по данным компьютерной томографической ангиографии проанализировать индивидуальные линейные параметры дуги аорты.

Материалы и методы. В исследовании проанализированы

ретроспективные данные КТА 47 пациентов (29 мужчин и 18 женщин), средний возраст которых составил $66,42 \pm 8,44$ года. Все пациенты обращались за специализированной кардиологической помощью в Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр «Кардиология» в период с 2024 по 2025 год.

С использованием программного обеспечения Syngo fastView (Siemens) для визуализации КТ-ангиографических изображений в формате DICOM были измерены следующие параметры дуги аорты: диаметр в проксимальном отделе (D_0), на уровне отхождения плечеголовного ствола (D_1), левой общей сонной артерии (D_2), левой подключичной артерии (D_3) и в дистальном отделе дуги аорты (D_4), а также общая длина (L) и ширина (W) дуги.

Для стандартизации методики и обеспечения сопоставимости результатов при отсутствии ЭКГ-синхронизации во время сканирования, проксимальная исходная точка была определена с использованием фиксированного анатомического ориентира — уровня бифуркации легочного ствола [3].

Далее в точках отхождения основных ветвей от дуги аорты, а также в дистальном её отделе, на уровне середины между IV и V грудными позвонками (Th_4-Th_5), были построены перпендикуляры (D_0-D_4), соответствующие поперечному диаметру аорты в этих участках (рисунок 1). Длина дуги аорты рассчитывалась как сумма отрезков, соединяющих центральные точки последовательно расположенных перпендикуляров (рисунок 2). Ширина дуги аорты (W) определялась как расстояние между центральными точками первого (D_0) и последнего (D_4) перпендикуляров (рисунок 3).

Представленный подход к измерению морфометрических параметров дуги аорты позволил стандартизировать методику анализа и обеспечить высокую воспроизводимость полученных данных.

Для анализа полученных данных использовался математический пакет MS Excel. Проверка данных на нормальность осуществлялась при помощи критерия Шапиро-Уилка. Распределение было отличным от нормального, поэтому измерения выражались в виде медианы, 25-го и 75-го квартилей (Me (25-75)). Взаимосвязь переменных была исследована при помощи коэффициента линейной корреляции Пирсона (r -Пирсона). Достоверность исследования считали при $p < 0,05$.

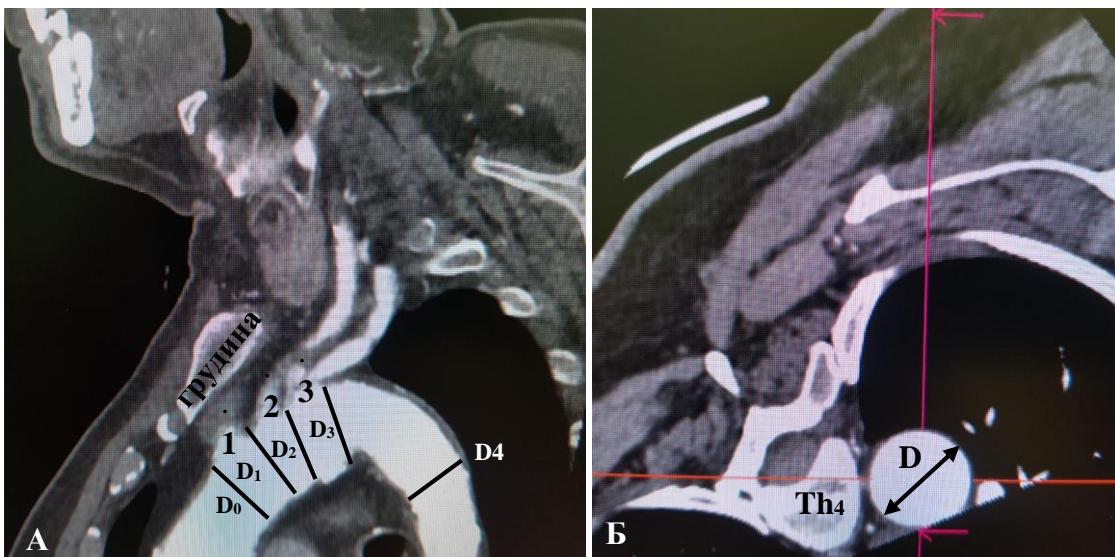


Рис.1. Измерение диаметра дуги аорты. КТА-сканы грудной клетки и шеи: А – сагиттальный, Б – аксиальный. 1. Плечеголовной ствол. 2. Левая общая сонная артерия. 3. Левая подключичная артерия. D_0 – диаметр дуги аорты в проксимальном отделе. D_1 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения плечеголовного ствола. D_2 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения левой общей сонной артерии. D_3 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения левой подключичной артерии. D_4 – диаметр дуги аорты в дистальном отделе дуги аорты.



Рис. 2. Измерение длины дуги аорты. Сагиттальный КТА-скан грудной клетки и шеи. L_1 – расстояние между проксимальным отделом дуги аорты и дистальной точкой отхождения плечеголовного ствола. L_2 – расстояние между дистальной точкой отхождения плечеголовного ствола и дистальной точкой отхождения левой общей сонной артерии. L_3 – расстояние между дистальной точкой отхождения левой общей сонной артерии и дистальной точкой отхождения левой подключичной артерии. L_4 – расстояние между дистальной точкой отхождения левой подключичной артерии и дистальным отделом дуги аорты.



Рис. 3. Измерение ширины дуги аорты. Сагиттальный КТА-скан грудной клетки и шеи. D_0 – диаметр дуги аорты в проксимальном отделе. D_4 – диаметр дуги аорты в дистальном отделе дуги аорты. W – ширина дуги аорты.

Результаты. В результате исследования было выявлено, что, значение диаметра дуги аорты постепенно уменьшается от проксимального к дистальному ее отделу и статистически достоверно больше у мужчин (табл.1).

Таблица 1.
Диаметр дуги аорты

	N	D_0 Me (25-75%), см	D_1 Me (25-75%), см	D_2 Me (25-75%), см	D_3 Me (25-75%), см	D_4 Me (25-75%), см
мужчины	29	3,45 (3,34-3,79)	3,08 (2,98-3,36)	2,87 (2,72-3,09)	2,74 (2,44-2,81)	2,61 (2,39-2,84)
женщины	18	3,22 (2,91-3,46)	2,86 (2,67-3,06)	2,65 (2,44-2,81)	2,53 (2,35-2,64)	2,47 (2,28-2,64)
p		0,000	0,001	0,001	0,002	0,001

N – количество случаев;

D_0 – диаметр дуги аорты в проксимальном отделе;

D_1 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения плечеголовного ствола;

D_2 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения левой общей сонной артерии;

D_3 – диаметр дуги аорты в дистальной точке отхождения левой подключичной артерии;

D_4 – диаметр дуги аорты в дистальном отделе дуги аорты.

p – уровень статистической значимости при сравнении значений диаметра дуги аорты в разных отделах.

Хотя общая длина дуги аорты не имела статистически значимых различий между мужчинами и женщинами, сегмент L_2 , соединяющий дистальные точки отхождения плечеголовного ствола и левой общей сонной артерии, оказался достоверно короче у женщин, что имеет потенциальное клиническое значение при выполнении сосудистых вмешательств (таблица 2).

Таблица 2.
Длина дуги аорты

	N	L ₁ Me (25-75%), см	L ₂ Me (25-75%), см	L ₃ Me (25- 75%), см	L ₄ Me (25- 75%), см	L дуги аорты Me (25-75%), см
мужчины	29	3,03 (2,71- 3,61)	1,26 (1,04- 1,48)	1,60 (1,40- 1,94)	3,15 (2,41- 4,14)	9,74 (8,14- 10,78)
женщины	18	2,92 (2,60- 3,77)	1,13 (0,86- 1,42)	1,70 (1,40- 2,15)	3,13 (2,89- 4,27)	9,85 (8,52- 10,29)
p		0,612	0,047	0,059	0,073	0,145

N – количество случаев;

L₁ – расстояние между проксимальным отделом дуги аорты и дистальной точкой отхождения плечеголовного ствола;

L₂ – расстояние между дистальной точкой отхождения плечеголовного ствола и дистальной точкой отхождения левой общей сонной артерии;

L₃ – расстояние между дистальной точкой отхождения левой общей сонной артерии и дистальной точкой отхождения левой подключичной артерии;

L₄ – расстояние между дистальной точкой отхождения левой подключичной артерии и дистальным отделом дуги аорты.

p – уровень статистической значимости при сравнении значений длины дуги аорты в разных отделах.

Статистически значимых гендерных различий значений ширины дуги аорты выявлено не было, что, возможно, связано с небольшим объемом выборки (таблица 3).

Таблица 3.
Ширина дуги аорты

	N	W Me (25-75%), см	p
мужчины	29	6,79 (5,86-7,29)	0,064
женщины	18	6,73 (5,12-8,28)	

Выводы:

1. Диаметр дуги аорты демонстрирует четкую тенденцию к уменьшению от проксимального к дистальному отделу с достоверными различиями по полу. Длина дуги аорты в сегменте L₂ между дистальными точками отхождения плечеголовного ствола и левой общей сонной артерии у женщин статистически достоверно меньше, чем у мужчин.

2. Анализ полученных данных позволяет констатировать определенную степень индивидуальной изменчивости морфометрических параметров дуги аорты. Это имеет принципиальное значение для хирургов, особенно при выполнении операций на крупных сосудах шеи и грудной клетки, а также при протезировании дуги аорты. Использование современных методов визуализации, таких как КТА, обеспечивает высокую точность измерений и позволяет избежать ошибок при выборе объема операции и размеров эндоваскулярных протезов.

Литература

1. Standring, S. Gray's Anatomy E-Book: Gray's Anatomy E-Book / S. Standring (ed.). – Elsevier Health Sciences, 2021.
2. Hager, A. Morphometry of the Entire Aortic Arch in Three-dimensional Space: Influence of Age and Gender / A. Hager [et al.] // European Journal of Cardio-Thoracic Surgery. – 2002. – Vol. 2, № 21. – P. 288–293.
3. Boufi, M. Morphological Analysis of Healthy Aortic Arch / M. Boufi [et al.] // European Society for Vascular Surgery. – 2017. – №53. – P. 663-670.
4. Karmonik, C. Computational study of haemodynamic effects of entry- and exit-tear coverage in a DeBakey type III aortic dissection: technical report / C. Karmonik // European Journal of Vascular and Endovascular Surgery. – 2011. – Vol. 2, №42. – P. 172–177.
5. Mitsouras, D. Medical 3D Printing for the Radiologist / D. Mitsouras [et al.] // Radiographics. – 2015. – Vol. 35. – P. 1965–1987.