

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ СРЕДНЕЙ ОБОЛОЧКИ АОРТЫ У ЖИВОТНЫХ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

---

*Проведение научно-медицинских исследований с использованием лабораторных животных и последующая экстраполяция полученных результатов на человеческий организм во многом определяет успехи современной медицины. В данной статье приведены данные сравнительной морфологии средней оболочки стенки аорты у животных. Проведен морфометрический анализ средней оболочки стенки аорты взрослых крыс и собак. Средняя оболочка построена однотипно у разных видов животных, однако имеются определенные различия. В статье приведены данные сравнительного морфологического анализа. Изучены такие количественные характеристики, как: толщина средней оболочки, количество гладкомышечных клеток и ламеллярных единиц, ширина окончатых эластических мембран. Проведен их сравнительный анализ и выявлены отличия в строении средней оболочки стенки аорты крыс и собак. Полученные качественные и количественные характеристики необходимо учитывать при выборе лабораторного животного для проведения эксперимента.*

**Ключевые слова:** аорта крысы, аорта собаки, ламеллярная единица, окончатые эластические мембраны, гладкомышечные клетки.

*E. V. Karpuk, N. A. Yuzefovich, T. M. Studenikina*

**COMPARATIVE MORPHOLOGY OF ANIMAL AORTIC MEDIA**

*Conducting scientific and medical research using laboratory animals and the subsequent extrapolation of the results to the human body largely determines the success of modern medicine. This article presents the data of comparative morphology of the animals aortic media. Morphometric analysis of the aortic media of adult rats and dogs was carried out. The aortic media has the same structure in different species of animals, but there are some differences. The article presents the data of comparative morphological analysis. The quantitative characteristics such as the thickness of the aortic media, the number of smooth muscle cells and lamellar units, the width of the elastic membranes were studied. Their comparative analysis was carried out and differences in the structure of the aortic media of rats and dogs were revealed. The obtained qualitative and quantitative characteristics should be taken into account when choosing a laboratory animal for the experiment.*

**Key words:** rat aorta, dog aorta, lamellar unit, elastic membranes, smooth muscle cells.

Медицинские исследования, проводимые на животных, позволили значительно углубить представления о функционировании организма человека. На протяжении многих десятилетий лабораторные животные являются неотъемлемой частью исследований по изучению различных видов патологических процессов.

Одно из актуальных направлений в исследованиях занимает сердечно-сосудистая патология, так как заболевания сердца и сосудов оставляют за собой лидирующие позиции в структуре общей заболеваемости и смертности населения.

В связи с ростом данной патологии за последние годы существенно расширились диагностические мероприятия, направленные на раннее выявление пациентов с заболеваниями сердца и сосудов. Кроме того, появилось большое количество исследовательских работ, посвященных морфологическим изменениям и гистофизиологическим особенностям сердца и сосудов при различных видах патологии.

Несмотря на значительные достижения в области исследования морфологии аорты, взаимоотношения между структурами стенки аорты остаются во многом неясными. Это определяет актуальность экспериментальных исследований с использованием лабораторных животных [1–5].

В этой связи нас заинтересовала сравнительная морфология аорты различных видов животных (в данном случае – крысы и собаки), ведь выбор лабораторного животного во многом определяет успех моделирования различных патологических

процессов и возможность экстраполяции полученных данных на человеческий организм.

**Цель исследования:** провести сравнительный анализ морфометрических характеристик гладкомышечных клеток и ламеллярных единиц средней оболочки брюшной аорты у взрослых крыс и собак.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили гистологические препараты стенки брюшного отдела аорты 10-и взрослых белых беспородных крыс и 10-и взрослых собак из коллекции кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии. Срезы окрашены гематоксилин-эозином. Кроме того, изучались срезы аорты собаки, окрашенные по Вейгерту. При морфометрическом исследовании измеряли толщину средней оболочки, проводили подсчет количества ядер гладкомышечных клеток, определяли количество окончатых эластических мембран, их толщину и ширину межмембранных промежутков между соседними мембранами. Для этих целей на кафедре гистологии, цитологии и эмбриологии старшим преподавателем И. А. Мельниковым был разработан плагин для полуавтоматического анализа изображений поперечного среза стенки аорты, реализованный в виде макроса для программы ImageJ; все измерения проводились в программе ImageJ (таблица 1).

Подсчет ядер производился последовательно в 10 полях зрения на каждом срезе и затем пересчитывался для обоих видов животных на 500 мкм<sup>2</sup>. Подсчет ламеллярных единиц производился последовательно в 15 полях зрения на каждом срезе

Таблица 1. Количество и объем исследуемого материала

Животное	Количество аорт	Количество срезов, используемых в гистологическом/морфометрическом исследовании	Подсчет количества ядер гладкомышечных клеток	Количество и толщина мембран и межмембранных промежутков
Крыса	10	30/30	В 300 полях зрения при ×20	В 450 полях зрения при ×20
Собака	10	30/30	В 300 полях зрения при ×10	В 450 полях зрения при ×10
Всего	20	60/60	600 полей зрения	900 полей зрения

Таблица 2. Количественные характеристики компонентов средней оболочки стенки аорты у крысы и собак

	Крыса Me (25–75 %)	Собака Me (25–75 %)	Статистическая значимость различий (p)
Толщина средней оболочки, мкм	68 (57–81)	542 (500–594)	0,000006321
Количество гладкомышечных клеток в 500 мкм <sup>2</sup>	3,5 (3–3,8)	1 (0,8–1,3)	0,00008913
Количество ламеллярных единиц в 10 мкм	1 (0,87–1,19)	1,47 (1,2–1,75)	0,00003412
Толщина окончатых эластических мембран, мкм	3,91 (3,16–4,58)	2,2 (1,75–2,75)	0,0001842
Ширина межмембранных промежутков, мкм	6, 23 (5,245–7,12)	6, 43 (4,66–8,49)	> 0,05

и затем пересчитывался для обоих видов животных на 10 мкм.

Учитывая, что распределение количественных параметров в большинстве выборок отличалось от нормального, для описательной статистики и выявления достоверности отличий использовались непараметрические методы статистической обработки данных. Данные обрабатывались в программе STATISTICA 10. Результаты представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха между 25 и 75 процентилями. Достоверность различий оценивалась по коэффициенту Манна-Уитни.

### Результаты и обсуждение

Стенка аорты представлена тремя оболочками. Внутренняя оболочка, или интима (*tunica intima*), состоит из одного слоя эндотелиальных клеток, лежащих на базальной мембране, подэндотелиального слоя, образованного рыхлой соединительной тканью с отдельными гладкомышечными клетками, лимфоцитами, макрофагами, малодифференцированными клетками, аморфным веществом с большим содержанием гликозаминогликанов и внутренней эластической мембраной, представляющей собой густое сплетение эластических волокон.

Средняя оболочка аорты (*tunica media*) представлена соединительной тканью и состоит из гладкомышечных клеток, расположенных по полой спирали. В стенке интактной аорты фибробласты отсутствуют. Между миоцитами локализуются пучки эластических волокон и окончатые эластические мембраны. Пространство, включающее одну окончатую эластическую мембрану и межмембранный промежуток, называется ламеллярной единицей. Мышечные и эластические элементы окружены сетью тонких ретикулярных и коллагеновых волокон, оплетающих их и соединяющих все элементы стенки в единую структуру.

Наружная оболочка (*tunica adventitia*) образована рыхлой соединительной тканью, состоит, главным образом, из коллагеновых и эластических волокон, единичных гладкомышечных клеток, фибробластов, жировых клеток, содержит сосуды, нервы.

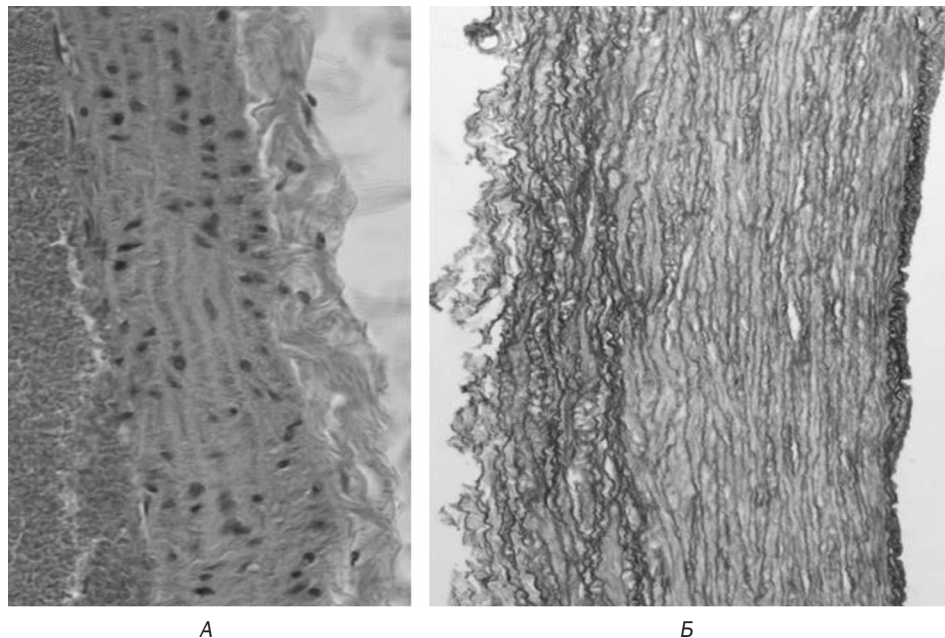
Предметом нашего исследования явилась именно средняя оболочка аорты, так как она обеспечивает механическую прочность сосудистой стенки благодаря наличию выраженного эластического каркаса.

При проведении сравнительного морфометрического анализа было установлено, что толщина средней оболочки стенки аорты крысы имеет достоверно меньшие значения по сравнению с данным параметром у собак (таблица 2). Вместе с тем количество гладкомышечных клеток в средней оболочке аорты на единицу анализируемой площади у крыс достоверно больше. Количество ламеллярных единиц, напротив, имеет меньшие значения по сравнению с аналогичным показателем у собак.

Анализ толщины окончатых эластических мембран выявил, что значения данного показателя у крыс имеют существенно большие значения по сравнению с его значениями у собак. Ширина межмембранных промежутков у крыс и собак статистически значимых различий не имеет.

У крысы, как у более мелкого животного, масса невысока, гемодинамическая нагрузка по сравнению с собакой меньше, соответственно, толщина стенки аорты и непосредственно толщина ее средней оболочки меньше. Гладкомышечные клетки участвуют в формировании внеклеточного матрикса (аморфного его компонента и волокон). В связи с этим можно предположить, что гемодинамическая нагрузка существенно не меняется и остается относительно стабильной, необходимость в усиленном синтезе компонентов экстрацеллюлярного матрикса гладкими миоцитами отсутствует. Следовательно, внеклеточный матрикс не ярко выражен, а сформированные окончатые эластические мембраны толстые, формируется небольшое количество ламеллярных единиц (рисунок, А).

Собака более крупное животное, с большей массой и большей гемодинамической нагрузкой на стенку сосуда. В связи с этим, толщина стенки аорты и ее средней оболочки больше. Вероятно, более активные изменения гемодинамической нагрузки приводят к тому, что гладкомышеч-



А

Б

Рисунок. А – фрагмент стенки аорты крысы (окраска гематоксилин-эозин, увеличение 40×); Б – фрагмент стенки аорты собаки (окраска по Вейгерту, увеличение 10×)

ные клетки активно участвуют в процессе синтеза компонентов экстрацеллюлярного матрикса, обеспечивая формирование адекватного нагрузкам эластического каркаса (рисунок, Б). Можно предположить, что более активное формирование ламеллярных единиц, по сравнению с более стабильными их показателями у крыс, отражается и на их толщине: для формирования более толстых эластических мембран требуется больше времени, а так как у собак формирование эластического каркаса идет очень интенсивно, то соответственно окончательные эластические мембраны не успевают нарастить большую толщину. Кроме того, пульсовая волна также способствует перерастяжению сосудистой стенки и уменьшению извилистости и толщины эластических мембран, что и находит свое отражение в количественных параметрах. Таким образом, несмотря на меньшую толщину эластических мембран их количество на единицу длины у собак больше.

Количество гладкомышечных клеток в абсолютных значениях в средней оболочке аорты собак больше, чем у крысы, но на единицу площади их приходится меньше, так как основным компонентом, обеспечивающим биомеханические свойства сосудистой стенки при возрастающих гемодинамических нагрузках, остается эластический каркас. Данное явление находит свое отражение в архитектонике средней оболочки стенки аорты.

Таким образом, в связи с увеличением массы животного и изменением гемодинамических усло-

вий происходит усложнение структурной организации сосудистой стенки. У более крупных животных:

- 1) средняя оболочка аорты толще;
- 2) количество гладкомышечных клеток в единице площади меньше;
- 3) количество окончательных эластических мембран на единицу длины больше;
- 4) толщина окончательных эластических мембран меньше.

Данные особенности строения средней оболочки аорты необходимо учитывать при выборе животного для моделирования патологических процессов.

### Литература

1. Archer, S. L. Diversity of phenotype and function of vascular smooth muscle cells / S. L. Archer // *The J. of Lab. and Clin. Med.* – 1996. – Vol. 127, № 6. – P. 524–529.
2. Davis, E. C. Smooth muscle cell to elastic lamina connections in developing mouse aorta. Role in aortic medial organization / E. C. Davis // *Lab. Invest.* – 1993. – Vol. 68, № 1. – P. 89–99.
3. Fujiwara, T. The cytoarchitecture of the medial layer in rat thoracic aorta: a scanning electron-microscopic study / T. Fujiwara, Y. Uehara // *Cell and Tissue Res.* – 1992. – Vol. 270, № 1. – P. 165–172.
4. Segmental differences in the orientation of smooth muscle cells in the tunica media of porcine aortae / Z. Tonar [et al.] // *Biomech. and Model. in Mechanobiol.* – 2015. – Vol. 14, № 2. – P. 315–332.
5. The three-dimensional micro- and nanostructure of the aortic medial lamellar unit measured using 3D confocal and electron microscopy imaging / M. K. O’Connell [et al.] // *Matrix Biology.* – 2008. – Vol. 27, № 3. – P. 171–181.

Поступила 18.04.2019 г.