

*Д.А. Солодкая*  
**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ АОРТЫ ЧЕЛОВЕКА РАЗНОГО ПОЛА И ВОЗРАСТА**

*Научные руководители: д-р мед. наук, проф. Трушель Н.А.,  
канд. техн. наук, доц. Мансуров В.А.*

*Кафедра нормальной анатомии  
Кафедра медицинской и биологической физики  
Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

*D.A. Solodkaya*  
**MORPHOLOGICAL AND HEMODYNAMIC FEATURES OF THE HUMAN  
AORTA OF DIFFERENT GENDER AND AGE**

*Tutors: professor N.A. Trushel, associate professor V.A. Mansurov*

*Department of Normal Anatomy  
Department of Medical and Biological Physics  
Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** В настоящем исследовании установлены морфометрические характеристики аорты взрослых людей, не имеющих кардиоваскулярную патологию, и пациентов с данной патологией, а также выявлены и гемодинамические предпосылки развития аневризм и аневризматических расширений. Установлены половые и возрастные особенности образования аневризм и аневризматических расширений.

**Ключевые слова:** аорта, аневризма, аневризматическое расширение, гемодинамика.

**Resume.** In the present study, the morphometric characteristics of the aorta of adults without cardiovascular pathology and patients with this pathology were established, and hemodynamic prerequisites for the development of aneurysms and aneurysmal dilations were revealed. Gender and age characteristics of the formation of aneurysms and aneurysmal dilations were established.

**Keywords:** aorta, aneurysm, aneurysmal dilation, hemodynamics.

**Актуальность.** Исследование особенностей строения аорты человека, в том числе в зависимости от пола и его возраста, является актуальным направлением в связи с тем, что с возрастом человека могут возникать аневризмы и аневризматические расширения (АР) на протяжении аорты, которые встречаются в среднем у 5-20 человек на 100 тысяч населения в год во всем мире. Летальность от разрыва аневризм аорты достигает 40-50 %, а инвалидность развивается у 70-75 % выживших. Разрыв аневризмы требует экстренной операции, во время которой выполняется протезирование или реконструкция повреждённого сосуда [3, 4].

По данным научной литературы [3] аневризма представляет собой патологическое расширение стенки кровеносного сосуда, которое часто возникает в результате истончения и ослабления его стенки. Диагноз «аневризма аорты» ставится в случае, если ее диаметр больше диаметра аорты (вне аневризмы) на 50% и более, а «аневризматическое расширение» - в случае, когда диаметр его менее 50% от диаметра аорты (вне расширения).

**Цель:** установить морфологические и морфометрические особенности аорты людей разного пола и возраста в норме и при кардиоваскулярной патологии, а также

выявить гемодинамические предпосылки, приводящие к возникновению аневризм и аневризматических расширений на ее протяжении.

**Задачи:**

1. Установить особенности анатомии и морфометрических показателей аорты у взрослого человека в норме и при патологии;
2. Выявить особенности топографии и морфометрических характеристик аневризм и аневризматических расширений на протяжении аорты в зависимости от возраста и пола человека;
3. Выявить особенности кровотока, приводящие к возникновению аневризм и аневризматических расширений на протяжении аорты и ее ветвей.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили сканы компьютерной томографии (КТ) 10 здоровых пациентов (контрольная группа): 6 женщин, 4 – мужчин (средний возраст женщин составил 52 года, мужчин – 43 года), а также сканы КТ 40 пациентов с наличием аневризм и аневризматических расширений (АР) на протяжении аорты и страдающих кардиоваскулярной патологией (опытная группа): 12 женщин, 28 мужчин в возрасте 40-80 лет. Пациенты опытной группы имели следующие заболевания: ишемическую болезнь сердца, атеросклероз, артериальную гипертензию и кардиосклероз. Материал был предоставлен отделением компьютерной томографии Минской областной клинической больницы.

На сканах КТ пациентов определяли диаметр аневризм и АР, а также их протяженность в разных частях аорты и ее ветвей, измеряли диаметр аорты вне аневризм и АР. Исследование проводилось в программе «Dicom viewer lite». Методом математического моделирования в программе «КОМПАС -3D home» была построена трехмерная геометрическая модель аорты, на основе которой устанавливали особенности кровотока. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программного обеспечения «Microsoft Excel 2021» методом описательной статистики.

**Результаты и их обсуждение.** Для выявления аневризм и АР у взрослых пациентов была введена формула:  $\frac{D \text{ аневризм/АР}}{D \text{ аорты}} * 100\%$ ; если результат <150%, то это аневризматическое расширение, если >150%, то это аневризма.

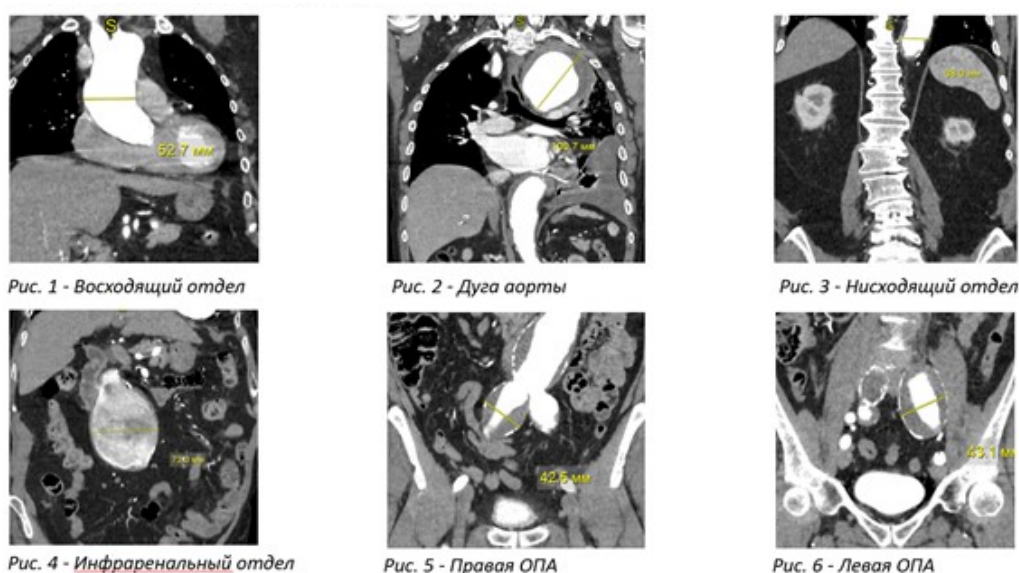
В результате исследования сканов КТ тела взрослых пациентов контрольной группы, не имеющей кардиоваскулярной патологии, был установлен диаметр аорты в различных ее частях и ветвях, который варьировал от 28 до 34 мм: восходящая часть – 30±3 мм, дуга аорты – 29±2,5 мм, грудная аорта – 28±4 мм, инфраренальный отдел – 34±4,5 мм, общих подвздошных артериях (ОПА) – 14±2 мм.

У пациентов опытной группы с кардиоваскулярной патологией на сканах КТ тела была подсчитана частота встречаемости аневризм и АР в различных частях аорты. В восходящей части аорты, дуге аорты и грудной части аневризмы встречаются по 4,2% случая соответственно, в инфраренальном отделе – 41,7% наблюдений, в обеих ОПА – 16,7%, левой внутренней подвздошной артерии (ВПА) – в 8,3% случаев, правой ВПА – 4,2%. АР были выявлены в восходящей части аорты в 34,8% случаев, в дуге аорты – у 1-го пациента, в грудной части – в 8,7%, в инфраренальном отделе – в 21,7%, в правой ОПА – в 13,7% случаев, в левой ОПА – в 17,4%. Анализ полученных

данных показал, что наибольшее количество аневризм встречается в инфраренальном отделе, а АР – в восходящей части аорты.

Установлено, что в восходящей части аорты средний диаметр аневризм составил 53 мм (увеличение на 176% от нормы), а средний диаметр АР в этом отделе аорты равен 40,9 мм (увеличение на 136% от нормы). Средняя протяженность аневризм/АВ составила 101 мм. В дуге аорты средний диаметр аневризм составил 101 мм (увеличение на 348% от нормы); средний диаметр АР равен 40 мм (увеличение на 137% от нормы). Средняя протяженность аневризм/АР в дуге аорты равна 70 мм. В грудной части аорты средний диаметр аневризм составил 46 мм (увеличение на 164% от нормы); средний диаметр АР – 38 мм (увеличение на 136% от нормы). Средняя протяженность аневризм/АР составила 50 мм. В брюшной части аорты (инфраренальный отдел) средний диаметр аневризм был равен 60 мм (увеличение на 176% от нормы). При этом у мужчин он равен 62,3 мм, а у женщин – 54,7 мм. Средний диаметр АР составил 35,8 мм (увеличение на 105% от нормы): у мужчин – 36,25 мм, у женщин – 35,3 мм. Средняя протяженность аневризм/АР – 67 мм (макс. – 110 мм, мин. – 20). При этом у мужчин аневризмы и АР достигают больших размеров по сравнению с женщинами. В ОПА средний диаметр аневризм составил 31,7 мм (увеличение на 226% от нормы), средний поперечный размер АР равен 19,3 мм (увеличение на 137% от нормы). Средняя протяженность аневризм/АР равна 51 мм. В левой ОПА средний диаметр аневризм составил 34,3 мм (увеличение на 245% от нормы), а средний диаметр АР – 19,5 мм (увеличение на 139% от нормы). Средняя протяженность их равна 54 мм.

На рис. 1 показаны аневризмы и АР в разных частях аорты пациентов опытной группы.

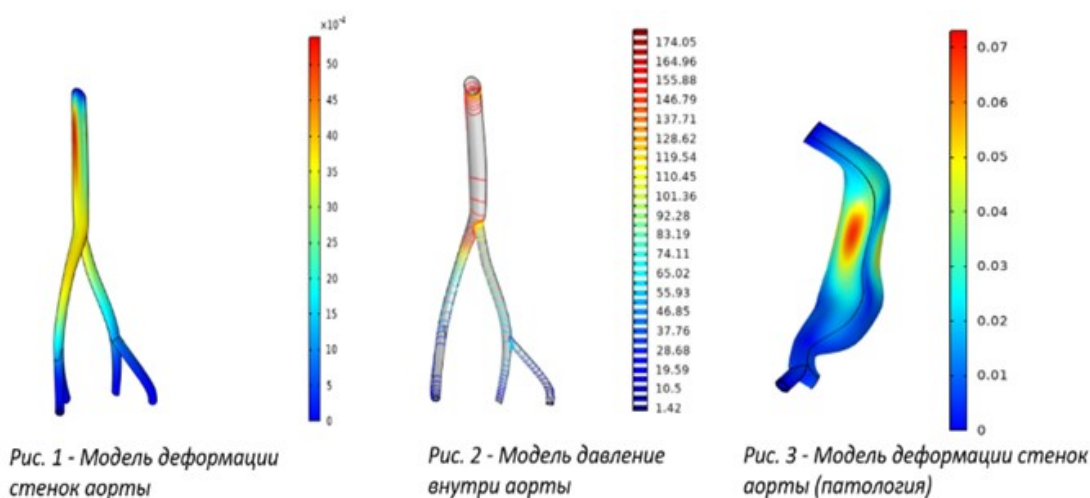


**Рис. 1** – Аневризмы и АР в различных частях аорты взрослых пациентов с кардиоваскулярной патологией (линия указывает на диаметр аорты и АР)

При анализе возрастных особенностей установлено, что в более молодом возрасте выявляется больше АР, чем аневризм. С возрастом человека количество аневризм возрастает, однако количество АР в 1,7-2,3 раза больше, чем аневризм в

любом возрасте человека, кроме инфраренального отдела, где их количество примерно одинаково. В возрасте человека 60-69 лет чаще выявляются аневризмы и АР инфраренальном отделе аорты, в 70-79 лет – в восходящей части аорты и левой ОПА. У мужчин аневризмы чаще выявляются в 50-59 лет в левой ОПА, а в 70-79 лет – в инфраренальном отделе. АР у людей 70-79 лет также чаще встречаются в инфраренальном отделе, в восходящей части аорты и левой ОПА. У женщин 60-69 лет аневризмы чаще выявляются в восходящей и грудной части аорты, а в 70-79 лет – в инфраренальном отделе. А в возрасте 60-69 лет АР встречается чаще в инфраренальном отделе, в 70-79 лет в восходящей части аорты и левой ОПА, а в 60-79 лет – в правой ОПА. У мужчин аневризмы и АР выявляются с 40 лет, а у женщин - с 60 лет и достигают больших размеров у мужчин. Так, например, в инфраренальном отделе у мужчин средний диаметр аневризм более 6 см, а у женщин - около 5,5 см. Средний возраст мужчин, в котором выявляются аневризмы и АР составил 67,6 лет, а женщин - 75 лет. В инфраренальном отделе аорты размеры аневризм и АР наименьшие, однако здесь они образуются чаще по сравнению с другими частями аорты.

Методом математического моделирования кровотока по параметрам, установленным морфометрическим методом на сканах КТ тела пациентов была построена модель деформации стенок аорты (рис. 2).



**Рис. 2** – Математическое моделирование кровотока в аорте

Установлено, что наибольшая деформация стенок аорты наблюдается в инфраренальном ее отделе. Можно предположить, что в месте максимальной деформации стенки возрастает вероятность возникновения аневризм, что подтверждается данными КТ. Неравномерность деформации, вероятно, объясняется наличием местных гидравлических сопротивлений, связанных со сложной геометрией течения (анатомическим строением участка аорты) [1]. В ходе математического моделирования установлено, что наибольшее давление наблюдается в инфраренальном отделе аорты, однако замечены различия в обеих ОПА: в левой ОПА давление больше, чем в правой ОПА, что объясняется асимметрией их топографии. Поэтому в левой ОПА чаще возникают аневризмы и АР, которые достигают больших размеров.

Геометрия патологического участка в месте аневризмы или АР характеризуется большой сложностью по сравнению с нормальным строением аорты в силу неравномерности роста аневризмы [2]. Неоднородность деформации стенки аорты вероятно связана со сложной геометрией течения крови, обусловленной анатомическим строением рассматриваемого участка аорты и патологическим изменением толщины стенки на фоне увеличенного гидростатического давления. Наибольшая деформация наблюдается в области, где аневризма достигает меньшего размера (верхняя часть аневризмы) по сравнению с нижней частью ее, из чего можно предположить дальнейшее образование (расширение) аневризмы по ходу аорты.

#### **Выводы:**

1. У пациентов с кардиоваскулярной патологией АР встречаются в восходящей части аорты в 34,8 % случаев, дуге аорты – 2,2 %, грудной части – 8,7 %, в инфраренальном отделе - в 21,7 %, левой ОПА – 17,4 %, правой ОПА – 13,0 %. Аневризмы выявляются в восходящей и грудной частях и дуге аорты, а также правой ВПА по 4,2 % случая, в инфраренальном отделе - в 41,7 % наблюдений, в левой и правой ОПА – 16,7 % случаев, левой ВПА – 8,3%.

2. В более молодом возрасте человека чаще возникают АР, а в более старшем – аневризмы. С возрастом человека количество аневризм и АР растет, однако количество АР в любом возрасте выявляется чаще (в 1,7-2,3 раза), чем аневризм.

3. Наибольших размеров достигают аневризмы/АР в дуге аорты и обеих ОПА, что может привести к их разрыву, а наименьшие по размеру аневризмы и АР наблюдаются в инфраренальном отделе аорты.

4. Аневризмы/АР чаще (в 2 раза) встречаются у мужчин, начиная с 40 лет; у женщин - начиная с 60 лет. В ОПА аневризмы появляются у мужчин в более молодом возрасте, а в инфраренальном отделе - более пожилым. В восходящей и грудной частях аорты у женщин они появляются в более молодом возрасте, а в более пожилом - в инфраренальном отделе аорты.

5. Математическое моделирование кровотока в области аневризмы предполагает ее расширение с возрастом человека.

#### **Литература**

1. Лебедева, Е. А. Исследование изменения гемодинамических параметров в кровеносных сосудах с аневризмой / Е. А. Лебедева // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). – 2018. - №7. – С. 90-101.

2. Моделирование гемодинамических изменений в аневризме средней мозговой артерии на фоне патологии периферического кровотока / Крылов В.В., Гаврилов А.В., Ятченко А.М. и др. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2016. – №116(5). – С. 57-64.

3. Сербиненко, Ф. А. Опыт эндоваскулярной окклюзии артериальных аневризм сосудов головного мозга с помощью микроспиралей / Ф. А. Сербиненко, С. Б. Яковлев, А. Р. Бочаров // Вопр. нейрохирургии. – 2002. – № 3. – С. 5-11.

4. Эмболизация артериальных аневризм головного мозга управляемыми микро-спиральями (осложнения и механические трудности) / В. В. Сухоруков [и др.] // Вопр. нейрохирургии. – 2002. – № 3. – С. 11-15.