

Трушель Н.А., Мансуров В.А., Солодкая Д.А.

**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
АОРТЫ ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА**

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В настоящем исследовании установлены морфометрические характеристики аорты взрослого человека обоего пола в норме и при наличии аневризм и аневризматических расширений. Выявлены и гемодинамические предпосылки развития последних методом математического моделирования кровотока.

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

Trushel N.A., Mansurov V.A., Solodkaya D.A.
**MORPHOMETRIC AND HEMODYNAMIC FEATURES
OF THE AORTA OF AN ADULT**

Abstract. In the present study, the morphometric characteristics of the aorta of an adult of both sexes were established in the norm and in the presence of aneurysms and aneurysmal dilatations. The hemodynamic prerequisites for the development of the latter were also revealed using the method of mathematical modeling of blood flow.

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 и при наличии кардиоваскулярной патологии 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 [1-4].

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.

Материал и методы исследования. Материалом для исследования послужили сканы компьютерной томографии (КТ) тела человека 10 здоровых пациентов: 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: 12 женщин, 28 мужчин в возрасте 40-80 лет. Пациенты последней группы имели следующие заболевания: ишемическую болезнь сердца, атеросклероз, артериальную гипертензию и кардиосклероз. Материал был предоставлен отделением компьютерной томографии Минской областной клинической больницы с соблюдением правил биомедицинской этики.

На сканах КТ тела пациентов определяли диаметр аневризм и АР, а также их протяженность в разных частях аорты и ее ветвей, измеряли также 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, с помощью 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 считалось как аневризматическое расширение, если $>150\%$, то - аневризма.

Установлен диаметр аорты в различных ее частях и ее ветвях на основе исследования сканов КТ тела взрослых пациентов, не имеющих кардиоваскулярную патологию, который варьировал от 28 до 34 мм: восходящая часть аорты – 30 ± 3 мм, дуга аорты – $29 \pm 2,5$ мм, грудная аорта – 28 ± 4 мм, инфраrenalный отдел – $34 \pm 4,5$ мм, диаметр общих подвздошных артерий (ОПА) – 14 ± 2 мм.

У пациентов 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 встречались по 4,2% случая соответственно, в инфраrenalном 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 инфраrenalном 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 инфраrenalном 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/АР 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 (инфракардиальный 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 - Восходящий отдел



Рис. 2 - Дуга аорты

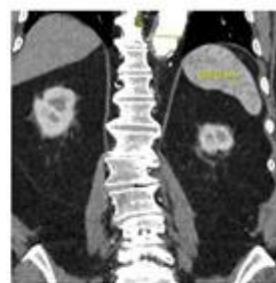


Рис. 3 - Нисходящий отдел

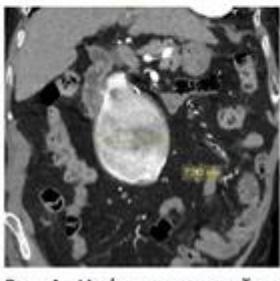


Рис. 4 - Инфракардиальный отдел

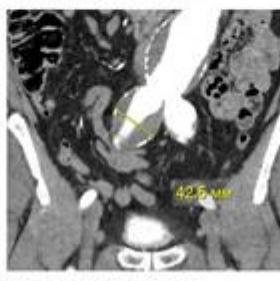


Рис. 5 - Правая ОПА



Рис. 6 - Левая ОПА

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

В ходе исследования установлено, что в более молодом возрасте выявляется больше АР, чем аневризм. Количество аневризм с возрастом человека возрастает, однако количество АР в 1,7-2,3 раза больше, чем аневризм в любом возрасте человека, кроме инфракардиального отдела, где их количество примерно одинаково. В возрасте человека 60-69 лет чаще выявляются аневризмы и АР в инфракардиальном отделе аорты, в 70-79 лет – в восходящей части аорты и левой ОПА.

У мужчин в 50-59 лет аневризмы чаще выявляются в левой ОПА, а в 70-79 лет – в инфраrenalном отделе аорты. Наиболее часто встречаются АР у людей в 70-79 лет также в инфраrenalном отделе аорты, в восходящей ее части и левой ОПА. У женщин в 60-69 лет аневризмы чаще выявляются в восходящей и грудной частях аорты, а в 70-79 лет – в инфраrenalном отделе. Наиболее часто встречаются АР в возрасте 60-69 лет в инфраrenalном отделе, а 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, начиная с 40 лет, а у женщин - с 60 лет, при этом у мужчин они достигают больших размеров. Так, например, в инфраrenalном отделе аорты 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 инфраrenalном отделе аорты размеры аневризм и АР наименьшие, однако здесь они образуются чаще по сравнению с другими частями аорты.

Используя параметры кровотока, полученные путем математического моделирования и морфометрического анализа КТ-изображений, была разработана модель, описывающая деформацию стенок аорты (рис. 2).

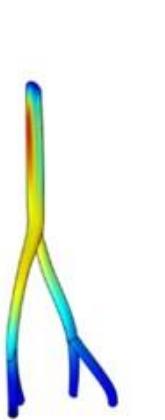


Рис. 1 - Модель деформации стенок аорты

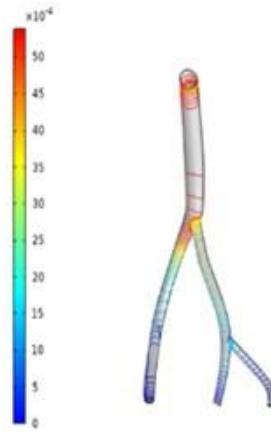


Рис. 2 - Модель давление внутри аорты

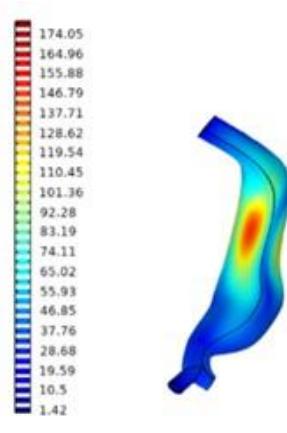


Рис. 3 - Модель деформации стенок аорты (патология)

Рис. 2. Математическое моделирование кровотока в аорте взрослого человека

Выявлено, что наибольшие деформационные изменения происходят в инфраrenalной части аорты, где по данным КТ наиболее часто локализуются аневризмы, что позволяет предположить причинно-следственную связь между этими явлениями. Неравномерность деформации, вероятно, объясняется наличием местных гидравлических сопротивлений, связанных со сложной геометрией течения (анатомическим строением участка аорты) [1]. Анализ, основанный на математическом моделировании, выявил повышенное давление в инфраrenalном отделе аорты. Кроме того, отмечена асимметрия давления в общих подвздошных артериях, с более высоким давлением в левой артерии, что, возможно, обусловлено особенностями ее анатомии (она короче правой ОПА). Это может объяснить более высокую распространенность и

более выраженный характер аневризм и АР в левой общей подвздошной артерии.

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 стенки аорты 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 кардиоваскулярными заболеваниями аневризматические расширения аорты (АР) наиболее чаще встречаются в восходящей части аорты (34,8%), реже – в инфраrenalном отделе (21,7%), левой ОПА (17,4%), правой ОПА (13,0%), грудной части (8,7%), дуге аорты (2,2%). Аневризмы аорты, напротив, чаще всего обнаруживаются в инфраrenalном отделе (41,7%), а также в правой ВПА (4,2%), в левой и правой ОПА (по 16,7%), левой ВПА (8,3%).

2. Риск АР аорты несколько выше в более молодом возрасте, в то время как аневризмы чаще развиваются у людей старшего поколения. Частота обоих состояний увеличивается с возрастом, при этом расслоения АР встречаются чаще, чем аневризмы, в соотношении примерно 2:1.

3. Наиболее опасными с точки зрения потенциального разрыва являются аневризмы и АР в дуге аорты и общих подвздошных артериях, где они достигают максимальных размеров. Аневризмы и АР инфраrenalного отдела аорты, как правило, характеризуются меньшими размерами.

4. Аневризмы/АР чаще (примерно 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 инфраrenalном отделе - более пожилом. В восходящей и грудной частях аорты у женщин они появляются в более молодом возрасте, а в инфраrenalном отделе аорты - в пожилом возрасте.

5. Результаты математического моделирования указывают на то, что размер аневризмы увеличивается с возрастом человека, что подчеркивает важность ранней диагностики и мониторинга состояния.

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 микроспиралями (осложнения и механические трудности) / В. В. Сухоруков [и др.] // Вопр. нейрохирургии. – 2002. – № 3. – С. 11-15