

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АОРТЫ ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ

¹Трушель Н.А., ¹Мансуров В.А., ²Римашевский В.Б., ¹Солодкая Д.А.

¹Кафедра нормальной анатомии, кафедра медицинской и биологической физики,
УО «Белорусский государственный медицинский университет», Беларусь

²Отделение компьютерной томографии Минской областной клинической больницы
E-mail: trusheln@rambler.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность

Установление морфологических и гемодинамических особенностей аорты взрослых людей разного пола является актуальным направлением в связи с часто встречаемыми на ее протяжении аневризмами и аневризматическими расширениями [1].

Так, в мире в среднем они выявляются у 5-20 человек на 100 тысяч населения в год. Летальность от разрыва аневризм аорты достигает 40-50 %, а инвалидность развивается у 70-75 % выживших.

Цель исследования

Установить топографо-анатомические и морфометрические особенности аорты и ее ветвей у взрослого человека в норме и при патологии, а также выявить гемодинамические предпосылки, приводящие к возникновению аневризм и аневризматических расширений (АР) на ее протяжении.

Материал и методы

Материалом для исследования явились сканы компьютерной томографии (КТ) тела 10 здоровых пациентов разного пола в возрасте 40-60 лет и 40 пациентов разного пола в возрасте 40-80 лет с аневризмами и АР на протяжении аорты и ее ветвях.

Использовались морфометрический метод, метод математического моделирования кровотока и статистический.

Результаты

В ходе исследования сканов КТ тела здоровых взрослых пациентов установлены морфометрические показатели аорты в различных ее частях, которые находились в пределах возрастной нормы. При изучении строения аорты пациентов с аневризмами и АР была выявлена частота их встречаемости в разных частях аорты.

Установлено, что АР встречаются чаще (34,8% случаев) в восходящей части аорты, а аневризмы – в инфраренальном отделе (41,7%), что подтверждается данными проведенного математического моделирования кровотока.

Наибольших размеров аневризмы и АР достигают в дуге аорты и обеих общих подвздошных артериях (ОПА), что может привести к их разрыву.

Выявлены половые и возрастные особенности, которые характеризуются встречаемостью аневризм и АР у мужчин, начиная с 40 лет, а у женщин – с 60 лет. В ОПА аневризмы появляются у мужчин в более молодом возрасте, а в инфраренальном отделе – в пожилом.

В восходящей и грудной частях аорты у женщин аневризмы и АР обнаруживаются в более молодом возрасте, а в инфраренальном отделе – в пожилом возрасте.

Методом математического моделирования кровотока выявлены гемодинамические особенности в аорте, позволяющие прогнозировать образованием АР и аневризм и их расширение.

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

ВВЕДЕНИЕ

Исследование морфологических и гемодинамических особенностей аорты взрослых людей разного пола является актуальным направлением в связи с частой встречаемостью аневризм и АР на ее протяжении.

Так, в мире они выявляются у 5-20 человек на 100 тысяч населения в год. 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].

По данным научной литературы [2], 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).

В настоящее время для объяснения образования аневризм в сосудах тела человека используют метод математического моделирования кровотока, позволяющего прогнозировать возрастные изменения стенки сосудов и образование АР и аневризм [3, 4].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили сканы КТ тела 10 здоровых пациентов: 6 женщин, 4 – мужчин (средний возраст женщин составил 52 года, мужчин – 43 года), а также сканы КТ тела 40 пациентов (12 женщин, 28 мужчин) в возрасте 40-80 лет с аневризмами и АР.

Последние 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 аневризмы и АР на протяжении всей аорты и ее ветвях, измеряли их диаметр и диаметр аорты вне аневризм и АР.

Исследование проводилось в программе «Dicom viewer lite». Методом математического моделирования в программе «КОМПАС -3D v23» 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

В результате исследования сканов КТ тела здоровых взрослых пациентов был установлен диаметр аорты в различных ее частях и ветвях.

Диаметр аорты варьировал от 28 до 34 мм: восходящий отдел – 30 ± 3 мм, дуга аорты – $29 \pm 2,5$ мм, грудная аорта – 28 ± 4 мм, инфраренальный отдел – $34 \pm 4,5$ мм, ОПА – 14 ± 2 мм.

У пациентов с АР и аневризмами установлено, что в восходящем отделе аорты, дуге аорты и грудной части аневризмы встречаются в 4,2% случаев, в инфраренальном отделе – 41,7% наблюдений, в обеих ОПА – 16,7%, левой внутренней подвздошной артерии (ВПА) – 8,3%, правой ВПА – 4,2% наблюдений. АР были выявлены в восходящей части аорты в 34,8% случаев, в дуге аорты – в 2,2%, в грудной части в 8,7%, в инфраренальном отделе – 21,7%, в правой ОПА – в 13,7% случаев, в левой ОПА – 17,4% наблюдений.

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

С помощью, встроенной в программу «Dicom viewer lite» линейки был установлен поперечный размер и протяженность обнаруженных аневризм и АР на протяжении аорты.

Выявлено, что в восходящей части аорты средний диаметр аневризм составил 53 мм (увеличение на 176% от нормы), а средний диаметр АР – 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 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.

Сравнив диаметры аневризм и АР в правой и левой ОПА выявлено, что их диаметры больше в левой ОПА, в ней же и наблюдается большее количество АР.

На рис. 1 показаны аневризмы и АР в разных частях аорты пациентов с сердечно-сосудистой патологией.

Анализ сканов компьютерной томографии



Рис. 1 - Восходящий отдел



Рис. 2 - Дуга аорты

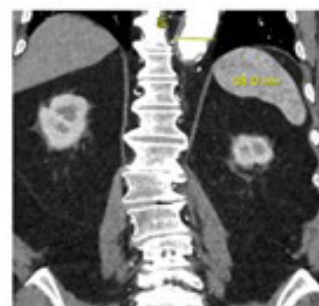


Рис. 3 - Нисходящий отдел

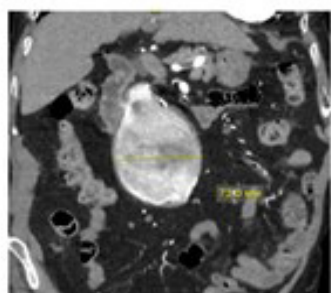


Рис. 4 - Инфраренальный отдел



Рис. 5 - Правая ОПА

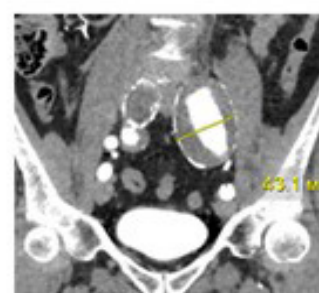


Рис. 6 - Левая ОПА

Рис. 1. Аневризмы и АР в разных частях аорты и ее ветвях взрослых пациентов с сердечно-сосудистой патологией (линия указывает на диаметр АР или аневризмы).

При анализе полученных данных были выявлены возрастные особенности строения аорты.

В более молодом возрасте больше выявляется АР, чем аневризмы.

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 ходе исследования было установлено, что в 60-69 лет человека чаще выявляются аневризмы и АР в инфраренальном отделе аорты, а 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.

АР встречается в инфраренальном отделе больше по сравнению с аневризмами в более молодом возрасте (60-69 лет) и в 70-79 лет они чаще выявляются в восходящей части аорты и левой ОПА, а в 60-69 лет – в правой ОПА.

У мужчин АР и аневризмы встречаются чаще (в 2 раза) и выявляются с 40 лет, а у женщин – с 60 лет. По диаметру АР и аневризмы больше 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).

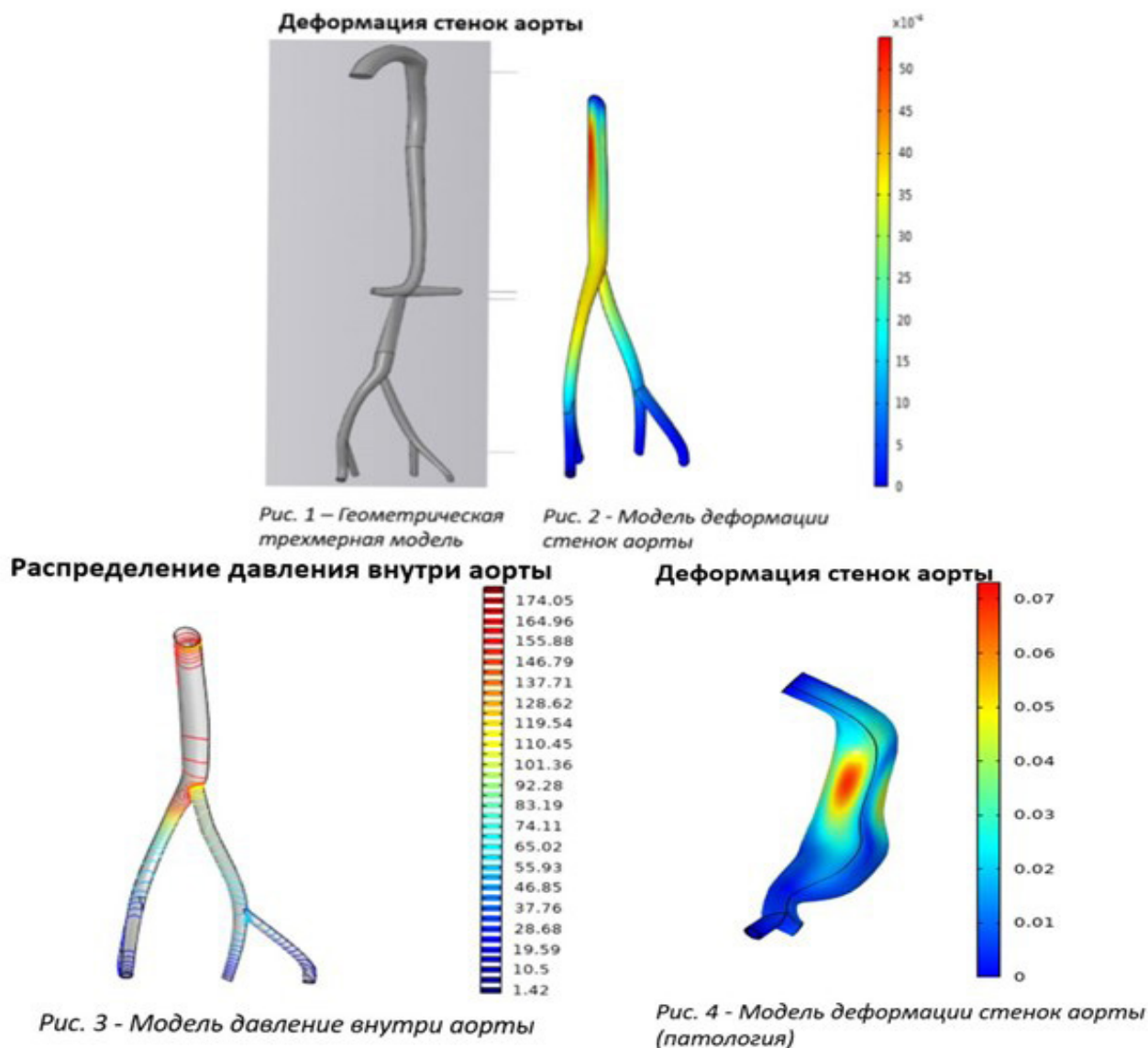


Рис. 2. Математическое моделирование кровотока в аорте.

Установлено, что наибольшая деформация стенок аорты наблюдается в инфраренальном ее отделе. Можно предположить, что в месте максимальной деформации стенки возрастет вероятность возникновения аневризм, что подтверждается данными КТ.

Неравномерность деформации, вероятно, объясняется наличием местных гидравлических сопротивлений, связанных со сложной геометрией течения, связанной с анатомическим строением рассматриваемого участка аорты [3].

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 [4].

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

Таким образом, были получены следующие результаты:

1. У пациентов с кардиоваскулярной патологией встречаются аневризмы и АР, которые отличаются своей топографией. Так, АР встречаются в восходящей части аорты в 34,8 % случаев, дуге аорты – 2,2 % случая, грудной части – 8,7 %, в инфраренальном отделе – в 21,7 %, левой ОПА – 17,4 %, правой ОПА – 13,0% наблюдений. Аневризмы выявляются в восходящей и грудной частях и дуге аорты, а также правой ВПА в 4,2 % случаев, 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, в более старшем – аневризмы. С возрастом человека количество аневризм и АР растет, однако количество АР в любом возрасте больше 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 размеры аневризм/АР наблюдаются в инфраренальном отделе аорты.

4. Возрастные особенности аорты характеризуются тем, что аневризмы/АР чаще (в 2 раза) встречаются у мужчин, начиная с 40 лет. У женщин они выявляются реже – начиная с 60 лет. В ОПА аневризмы появляются у мужчин в более молодом возрасте, а в инфраренальном отделе – в пожилом. В восходящей и грудной частях аорты у женщин они появляются в более молодом возрасте, а в инфраренальном отделе – в пожилом.

5. Математическое моделирование кровотока позволило сделать вывод о расширении аневризмы/АР в большей степени по ходу аорты (книзу).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. НИИ кардиологии Томского НИМЦ [Электронный ресурс] / Томский НИМЦ НИИ кардиологии. – Электрон. дан. – Томск: Томский НИМЦ НИИ кардиологии, 2018. – Режим доступа к журн.: <https://www.cardio-tomsk.ru>. (дата обращения: 12.11.2024).
2. Аневризмы брюшной аорты / Адил Ахмед, Адам Хейес, Джаградж Пандхер и др. // Лондон. – 2021.
3. 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.
4. 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.

**MINISTRY OF HEALTH
NICOLAE TESTEMITANU STATE UNIVERSITY OF MEDICINE AND PHARMACY
SCIENTIFIC ASSOCIATION OF MORPHOLOGY
REPUBLIC OF MOLDOVA**

ACTUAL ISSUES OF MORPHOLOGY

Materials of the International Scientific Conference
dedicated to the 80th Anniversary of the Founding of
Nicolae Testemitanu State University of Medicine and
Pharmacy of the Republic of Moldova

Chisinau, October 17-18, 2025

PROBLEME ACTUALE ALE MORFOLOGIEI

**Materialele Conferinței științifice internaționale
dedicată aniversării a 80 de ani de la fondarea Universității de Stat
de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”
din Republica Moldova**

Chișinău, 17-18 octombrie, 2025

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МОРФОЛОГИИ

**Материалы Международной научной конференции
посв. 80-летнему юбилею Государственного Медицинского и
Фармацевтического Университета
им. Николае Тестемицану Республики Молдова**

Кишинэу, 17-18 октября 2025 года

**Chisinau
Centrul Editorial-Poligrafic *Medicina*
2025**