

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ НЕОТЛОЖНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ
ХИРУРГИИ ИМ. В.К. ГУСАКА

На правах рукописи

ДМИТРИЕВ АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСУДИСТЫХ
ДИХОТОМИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА
(АНАТОМО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)**

Специальность 14.03.01 – Анатомия человека
(медицинские науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Донецк – 2023

Работа выполнена в отделении рентгенэндоваскулярной хирургии Института неотложной и восстановительной хирургии имени В.К. Гусака Министерства здравоохранения Донецкой Народной Республики

Научный консультант: Зенин Олег Константинович

доктор медицинских наук, профессор, Медицинский институт ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», профессор кафедры анатомии человека (г. Пенза, РФ)

Официальные оппоненты: Глотов Владимир Александрович

доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет», заведующий кафедрой анатомии человека (г. Смоленск, РФ)

Вакуленко Иван Петрович

доктор медицинских наук, профессор, ГОУ ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии (г. Донецк, РФ)

Лежнина Оксана Юрьевна

доктор медицинских наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет», профессор кафедры анатомии (г. Ставрополь, РФ)

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (г. Симферополь, РФ)

Защита диссертации состоится «20» апреля 2023 в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 001.005.01 в ГУ ЛНР «ЛГМУ ИМЕНИ СВЯТИТЕЛЯ ЛУКИ» по адресу: 91045, РФ, ЛНР, г. Луганск, кв. 50-летия Оборона Луганска, дом 1г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ ЛНР «ЛГМУ ИМ. СВЯТИТЕЛЯ ЛУКИ» (91045, РФ, ЛНР, г. Луганск, кв. 50-летия Оборона Луганска, дом 1г, библиотека).

Автореферат разослан «16» марта 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 001.005.01
кандидат медицинских наук, доцент

И. А. Белик

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сердечно-сосудистая патология остается ведущей причиной инвалидизации и смертности населения [Myers L., 2014; Wong N.D., 2014; Нармухамедова Н.А., 2019]. По данным Росстата заболеваемость населения Российской Федерации болезнями системы кровообращения в период с 2000 по 2019 гг. выросла в 2,09 раза [Ахмедов В.А., 2019]. Всемирная организация здравоохранения считает сердечно-сосудистые заболевания основной причиной смерти во всем мире [Бюл. ВОЗ. 9 дек. 2020; Шляхто Е.В., 2019]. Высокая частота встречаемости и особая тяжесть этих заболеваний требует разработки новых эффективных средств диагностики и лечения [Кафаров Э.С., 2020]. Однако это невозможно без достаточного теоретического обоснования, каковым является морфологическое исследование [Лежина О.Ю., 2019; Зенин О.К. и др., 2021]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые современной медициной, остается большое количество нерешенных проблем. Например:

1) Проблема ранней объективной диагностики патологии сосудистого русла сердца и почек. Современные цифровые технологии прижизненной визуализации сосудистого русла открывают новые возможности для ранней диагностики его патологии. Однако отсутствие в настоящее время количественных структурных критериев нормы существенно сдерживает развитие этого перспективного направления клинической медицины [Silva J.M.L. et al., 2016].

2) Проблема прогнозирования исходов ангиопластических операций. Используемые в настоящее время оперативные методы коррекции патологически измененного сосудистого русла не всегда дают желаемые результаты. Это обусловлено тем, что в артериальном русле, при известных приближениях, действуют законы, аналогичные законам электрической цепи, и изменение сопротивления одного участка неизбежно приводит к изменению сопротивления не только в этом участке, но и в системе в целом. Поэтому в условиях множественного поражения сосудов, что обычно наблюдается при атеросклерозе, врач не может достаточно точно предсказать, какие изменения кровообращения произойдут при том или ином оперативном пособии, а значит, не может выбрать наилучший вариант операции [Семченко А.Н., 2018; Magliano C.A.D.S. et al., 2018; Malik T.F., 2021].

3) Образовательная проблема. В настоящее время электронные учебники, компьютерные анатомические атласы, виртуальные 3d-модели внутренних органов человека все шире применяются в мире для

дистанционного информирования и обучения. Дополнительным толчком к развитию электронного дистанционного обучения явилась пандемия COVID-19 [Гармаева Д.К. и др., 2020, 2022]. В связи с этим, создание медицинских средств электронного обучения, в частности, предназначенных для визуального представления анатомии кровеносной системы человека, следует считать актуальным. Основное требование, предъявляемое к медицинским обучающим моделям – адекватное представление типичных конфигураций сосудистого русла, как в норме, так и с патологией. Кроме того, модель должна достаточно просто настраиваться на тот или иной орган (например, сердце и почки) или патологию. Исходными данными для построения моделей учебного назначения являются значения параметров, количественно характеризующие сосудистое русло. Последние могут быть получены путем статистической обработки результатов морфометрии реального сосудистого русла или его численного моделирования.

Оптимальным способом решения данных проблем является математическое моделирование строения внутриорганного сосудистого русла и внутрисосудистой гемодинамики, что практически невозможно в связи с отсутствием объективных знаний о морфометрических и функциональных особенностях сосудистых дихотомий – морфофункциональных элементов этой системы.

Степень разработанности проблемы исследования. Сравнительное исследование дихотомий артериальных русел функционально разных внутренних органов – сердца (полый мышечный орган) и почки (паренхиматозный орган) является актуальной задачей современной морфологии [Лежнина О.Ю., 2019; Зенин О.К. и др., 2021]. Так как, во-первых, повреждения стенки артерий (например, венечных артерий сердца) чаще всего расположены в участках разветвления или вблизи них [Аргунов В.А. и др., 2007; Kalpana R., 2012; Ахмедов В.А. и др., 2019]. Во-вторых, наибольшее количество обращений за медицинской помощью приходится на сердечно-сосудистую [Шляхто Е.В., 2019; Wong N.D., 2014] и/или почечную патологии [Цыганова О.А., 2022; Xie L. et al., 2019]. В-третьих, сердечно-сосудистая и почечная патологии часто сопровождаются чрезвычайно неблагоприятным гипертензивным синдромом [Карпов Ю.А., 2014; Бойцов С.А. и др., 2017; Драпкина О.М. и др., 2021]. И, в-четвертых, до сегодняшнего дня в среде исследователей, занимающихся проблемой фрактального строения внутриорганного артериального русла, существует мнение об универсальности принципа оптимальности В. Ру, применимого для всех без исключения внутренних органов [Muray C.D., 1926; Ulings H.B., 1977], что нуждается в практической проверке.

Артериальную дихотомию можно рассматривать в качестве морфофункционального элемента ВАРС и ВАРП [Owen B. et al., 2018]. Известно, что артериальная дихотомия обеспечивает проведение крови [Сапин М.Р., 2015; Черкасов В.Г., 2019; Гайворонский И.В., 2020], ее распределение между участками органа [Zenin O.K. et al., 2007; Drake R., 2020], а также выполняет опорную функцию, служит в качестве структурного элемента сосудистого русла, которое, кроме всего прочего, играет роль «мягкого скелета» [Петренко В.М., 2016]. В литературе имеется немало работ, посвященных исследованию таких функций артериального русла, как проведение и распределение крови [Randles A.E., 2019], тогда как опорная функция артериального русла остается незаслуженно малоизученной [Петренко В.М., 2014]. Дихотомию удобно использовать как элемент конструкции ВАРС и ВАРП для численного моделирования его структуры и функции [Owen B. et al., 2018].

На сегодняшний день известны различные морфофункциональные группы («оптимальные» и «неоптимальные» в соответствии с критериями Muray C.D., 1926 и Ulings H.B.M., 1977) [Muray C.D., 1926; Ulings H.B., 1977] и типы дихотомий (полная асимметрия, боковая асимметрия, односторонняя симметрия, полная симметрия) [Зенин О.К., 2004]. Высказывается обоснованное предположение, что дихотомии отличаются, не только структурно, но и функционально, поэтому название «морфофункциональные особенности и морфофункциональный элемент» логически обосновано, но нуждается в дальнейшем изучении.

Кроме различных морфофункциональных групп и типов дихотомий, умозрительно можно предположить наличие трех различных видов дихотомий: открытый (1) – когда величина внутреннего диаметра (D) материнского (проксимального) артериального сегмента меньше суммы внутренних диаметров (d_{max} и d_{min}) дочерних (дистальных) сегментов: $D < d_{max} + d_{min}$; нейтральный (0) – когда величина внутреннего диаметра материнского (проксимального) артериального сегмента равна сумме внутренних диаметров дочерних (дистальных) сегментов: $D = d_{max} + d_{min}$; закрытый (2) – когда величина внутреннего диаметра материнского (проксимального) артериального сегмента больше суммы внутренних диаметров дочерних (дистальных) сегментов: $D > d_{max} + d_{min}$.

Для дальнейшего практического использования морфометрических характеристик дихотомий различных групп, видов и типов в качестве эталона нормального строения ВАРС и ВАРП целесообразно исследовать их количественную анатомию, биомеханические свойства

(например, жесткость конструкции) и их способность к проведению и распределению крови.

В качестве объектов для морфометрии различных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП можно использовать коррозионные препараты и рентгенограммы [Лежнина О.Ю., 2019; Зенин О.К. и др., 2021]. Для численного моделирования гемодинамики внутри различных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП, а также проведения виртуального исследования их опорной функции (например, испытание жесткости конструкции) можно использовать готовый программный комплекс ANSYS.

Объект исследования: дихотомия как морфофункциональный элемент артериального русла

Предмет исследования: морфометрические и функциональные особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме.

Цель исследования: установить морфометрические и функциональные особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП у лиц разных половых и возрастных групп в норме.

Задачи исследования:

1. Определить морфометрические особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС у лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста в норме.
2. Выявить морфометрические особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРП у лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста в норме.
3. Разработать технологию генерации геометрической 3d-модели сосудистого русла и на базе морфометрических данных создать виртуальные модели различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП.
4. Определить функциональные (пропускная способность, распределительная и опорная функции) особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС путем численного моделирования с использованием их виртуальных моделей, основанных на морфометрических данных.
5. Выявить функциональные (пропускная способность, распределительная и опорная функции) особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРП путем численного моделирования с использованием их виртуальных моделей, основанных на морфометрических данных.

6. Провести сравнительный анализ морфометрических и функциональных особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме.

Научная новизна исследования. Проведенное на достаточном по объему фактическом материале, а также путем численного моделирования, комплексное сравнительное исследование морфометрических и функциональных особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме, позволило сформулировать новое научное направление в морфологии – исследование морфофункциональных элементов внутриорганных артериальных русел. Кроме того, был получен ряд принципиально важных для последующих исследований в этом направлении сведений о строении и функции артериальных дихотомий.

А именно:

- впервые дано определение такому понятию, как «морфофункциональный элемент внутриорганных артериальных русел»;
- предложена и обоснована новая классификация артериальных дихотомий – деление их на различные морфофункциональные виды;
- получены значения морфометрических параметров характеризующих особенности различных морфофункциональных видов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме;
- разработана новая методика исследования опорной функции морфофункциональных элементов внутриорганных артериальных русел;
- впервые получены значения параметров, количественно характеризующих опорную функцию (жесткость конструкции) различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме;
- впервые получены значения параметров, количественно характеризующих пропускную способность различных морфофункциональных видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме;
- предложена и разработана новая методика определения распределительной функции морфофункциональных элементов внутриорганных артериальных русел;
- впервые получены значения параметров, количественно характеризующих распределительную функцию различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме;
- проведен сравнительный анализ значений параметров характеризующих морфометрические и функциональные особенности

различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме.

Разработана технология и создана компьютерная программа «3D-Vasculograph», генерирующая геометрические 3d-модели сосудистого русла, на базе морфометрических данных путем процедурно-математической трансформации пространства по закону логарифмической спирали.

Дополнены сведения о значениях морфометрических параметров характеризующих особенности различных морфофункциональных групп и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме.

Теоретическая и практическая значимость работы. Сформулированное в ходе выполнения работы новое научное направление в морфологии – исследование морфофункциональных элементов внутриорганных артериальных русел – будет способствовать дальнейшему совершенствованию знаний в этой области и решению ряда проблем современной медицины, а именно:

1. Решению проблемы ранней и объективной диагностики патологии сосудистого русла сердца и почек. Установленные в ходе работы морфометрические особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП у лиц разных половых и возрастных групп будут способствовать развитию цифровых технологий прижизненной визуализации сосудистого русла. Использование количественных данных о нормальном строении различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в будущем, в клинических условиях, после соответствующих доработок позволит в автоматическом режиме диагностировать отклонения от нормы, судить об адекватности кровоснабжения.

2. Решению проблемы прогнозирования исходов ангиопластических операций будет способствовать создание математических моделей на базе количественных сведений об особенностях различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП, которые в условиях виртуального эксперимента позволят объективно прогнозировать исход ангиопластических операций. Это, в свою очередь, даст возможность эффективно планировать мероприятия по реконструкции патологически измененного артериального русла.

3. Решению образовательной проблемы будет способствовать разработанная компьютерная программа «3D-Vasculograph», способная генерировать геометрические 3d-модели внутриорганных сосудистого русла на базе численного моделирования и/или морфометрических

данных о реальных сосудистых руслах. Полученные в результате работы физические и виртуальные 3d-модели можно использовать в качестве наглядных учебных пособий в условиях электронного и дистанционного обучения анатомии человека.

Сведения об особенностях различных морфофункциональных групп, видах и типах дихотомий ВАРС и ВАРП могут быть включены в лекционный материал медицинских вузов, учебные пособия, в том числе и виртуальные, по дисциплинам «анатомия человека», «патологическая анатомия», «кардиология», «нефрология» и «судебная медицина».

Методология и методы исследования. Методологической основой работы послужили: Постановление Совмина ЛНР 762/17 от 06.12.2017 "Об утверждении положения о присуждении ученых степеней"; паспорт специальности ВАК ЛНР 14.03.01. Анатомия человека, руководства по анатомии, физиологии, биофизики, математики, сопротивлению материалов, посвященные вопросам исследования структуры и функции внутриорганных сосудистых русел, а также численному моделированию. Дизайн исследования состоял из восьми этапов (Таблица 1).

Положения, выносимые на защиту:

1. Артериальная дихотомия является морфофункциональным элементом ВАРС и ВАРП, т.к. это наименьшая структурная частица артериального русла, выполняющая его основные известные на сегодняшний день функции: проведение и распределение крови, а также функцию опоры.

2. Морфометрия и численное моделирование структуры и функции различных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП является адекватным и эффективным методом исследования их морфофункциональных особенностей и может служить для объективной оценки состояния артериального русла сердца и почки.

3. В норме ВАРС и ВАРП состоят из различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий, для которых характерно такое свойство, как органоспецифичность, которые занимают определенное место в структуре русла и имеют специфические морфометрические и функциональные особенности. Это необходимо учитывать при диагностике отклонений от нормального строения русла и численном моделировании его формы и функции.

4. Разработанная компьютерная программа «3D-Vasculograph», генерирующая геометрические 3d-модели сосудистого русла на базе морфометрических данных путем процедурно-математической

трансформации пространства, способна создавать адекватные визуальные образы внутриорганных сосудистых русел.

Таблица 1 - Дизайн исследования

№ этапа исследования	Название этапа исследования	Методологическая основа
1	Математическое планирование оптимального объема исследуемой выборки	Реброва О.Ю., 2011; Лях Ю.Е. и др., 2006
2	Изготовление коррозионных препаратов и сбор цифровых рентгенограмм ВАРС и ВАРП	Кафаров Э.С., 2021; Лежина О.Ю., 2019
3	Морфометрию коррозионных препаратов и цифровых рентгенограмм ВАРС и ВАРП	Зенин О.К., 2004; инструкции к ангиографам
4	Статистический анализ результатов морфометрии	Реброва О.Ю., 2011; Лях Ю.Е. и др., 2006
5	Численное моделирование структуры различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП	Косников Ю.Н., 2021; Муйземнек А.Ю., 2019
6	Численное моделирование движения крови в различных морфофункциональных группах, видах и типах дихотомий ВАРС и ВАРП	Johnston В.М., 2004;
7	Численное моделирование испытаний опорной функции (жесткости конструкции) различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП	Петренко В.М., 2016; Муйземнек А.Ю., 2019; руководство по работе с ANSYS Student
8	Сравнительный анализ и обобщение результатов исследования	Паспорт специальности ВАК ЛНР 14.03.01. Анатомия человека

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов, изложенных в работе, обеспечивается разносторонним теоретическим анализом проблемы, комплексным использованием имеющегося инструментария, соответствующего предмету и задачам исследования; репрезентативной выборкой объектов исследования; содержательным количественным и качественным анализом полученных данных; корректным использованием методов численного моделирования и статистического анализа. Положения, изложенные в диссертации, построены на детально изученных, воспроизводимых и проверяемых фактах, они согласуются с имеющимися опубликованными данными.

Основные положения работы были представлены на: юбилейной международной конференции «Современные проблемы математики и её приложения в естественных науках и информационных технологиях», посвященной 50-летию образования механико-математического факультета Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, г. Харьков, 2011 г.; Международной научной конференции «Актуальные вопросы морфологии» посвященной 100-летию со дня рождения профессора Б.З. Перлина, г. Кишинев, 2012 г.; Международной научно-практической конференции «Макро-микроскопическая анатомия органов и систем в норме, эксперименте и патологии» посвященной 100-летию со дня рождения профессора Зои Измайловны Ибрагимовой, г. Витебск, 2014 г.; I международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности», г. Донецк, 2016 г.; III Всероссийской с международным участием студенческой научно-образовательной конференции «Актуальные вопросы студенческой медицинской науки и образования», г. Рязань, 2017 г.; Международной научной конференции «Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2017)», г. Пенза, 2017 г.; XIV Конгрессе Международной ассоциации морфологов (МАМ), г. Астрахань, 2018 г.; VIII Съезде НМОАГЭ, г. Воронеж, 2019 г.; VII Международной научной конференции, посвященной 80-летию Пензенской области и 20-летию Медицинского института Пензенского государственного университета г. Пенза, 2019 г.; XV Конгрессе международной ассоциации морфологов, г. Ханты-Мансийск, 2020 г.; Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию юбилею Медицинского института ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» (Грозный, 2020); V Международном медицинском форуме Донбасса «Наука побеждать... болезнь», г. Донецк, 2021 г.; Республиканской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы

детской кардиологии», посвященной памяти профессора С.С. Остропольца, г. Донецк, 2021 г.; XVI EACA-XII ISCAA joint congress, 16th Congress of the European Association of Clinical Anatomy (EACA) jointly with the XII Meeting of the International Symposium of Clinical and Applied Anatomy (ISCAA), Padua, 2021 г.; Научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии и математическое моделирование в экспериментальной морфологии и клинической медицине», посвященной 70-летию д.мед.н., профессора, заслуженного работника высшей школы РФ Пантелеева Сергея Михайловича, г. Тюмень, 2022 г.; Международном форуме молодых изобретателей и инноваторов в г. Великий Новгород, 2022 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 печатных работы, из которых одна монография (в соавторстве), 11 статей в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией ЛНР для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук; 2 патента, 12 статей в журналах, сборниках научных трудов и материалов конференций, 2 работы опубликованы самостоятельно.

Структура диссертации. Диссертация состоит из содержания, введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, семи разделов собственных исследований, анализа и обобщения результатов исследования, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы. Текст изложен на 321 страницах компьютерного текста, иллюстрирован 94 таблицами и 51 рисунками, список использованной литературы включает 317 источников (из них 210 – латиницей).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. В соответствии с целью и задачами работы были исследованы препараты ВАРС и ВАРП, полученные в результате коррозионного препарирования сердца и почек (аутопсийный материал) 120 людей, умерших от причин, не связанных с заболеваниями сосудов. Из них: лиц второго периода зрелого возраста – 60 человек и пожилого возраста – 60 человек, мужского пола – 60 человек, женского пола – 60 человек. Кроме того, были ретроспективно изучены 240 цифровых прижизненных рентгенограмм ВАРС и ВАРП 240 пациентов отделения рентгенэндоваскулярной хирургии ИНВХ им. В.К. Гусака МЗ ДНР. Из них, лиц второго периода зрелого возраста – 120 человек и пожилого возраста – 120 человек, мужского пола – 120

человек, женского пола – 120 человек. Исследование проводилось на протяжении 2015–2022 годов на базе отделения рентгенэндоваскулярной хирургии Института неотложной и восстановительной хирургии (ИНВХ) им. В.К. Гусака МЗ ДНР. Тема диссертационного исследования была утверждена на заседании Координационного совета Института неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака от 10.12.2021 г., протокол № 3. Протокол комиссии по вопросам биоэтики ИНВХ им. В.К. Гусака № 1 от 14.03.2022 г.

Использовали:

- коррозионное препарирование ВАРС и ВАРП; ретроспективное исследование цифровых рентгенограмм ВАРС и ВАРП; морфометрию коррозионных препаратов и рентгенограмм проводили в соответствии с дихотомической концептуальной моделью строения сосудистого русла. Полученные значения фиксировались и заносились в компьютерную базу данных в Microsoft EXCEL 6.0; определяли: D (мм) – внутренний диаметр материнского сегмента; dmax (мм) – внутренний диаметр дочернего сегмента с большим диаметром; dmin (мм) – внутренний диаметр дочернего сегмента с меньшим диаметром; $FF1=L/r$ – фактор формы; Gr – номер генерации; i – уровень деления; L (мм) – длину сегмента; η – коэффициент ветвления из уравнения: $\eta=(dmax^2 + dmin^2)/D^2$; γ – коэффициент асимметрии из уравнения: $\gamma=(dmin/dmax)^2$; численное моделирование структуры различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП («Vasculograph» и «3D-Vasculograph» [Зенин О.К., 2021; Косников Ю.Н., 2021]); численное моделирование движения крови в различных морфофункциональных группах, видах и типах дихотомий ВАРС и ВАРП (ANSYS Student); численное моделирование процедуры испытания опорной функции (жесткости конструкции) различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП (ANSYS Student). Все дихотомии были разделены на 4 группы: «оптимальные» (ОДМ) и «неоптимальные» (НДМ) в соответствии с критерием С.Д. Murray ($D^5=dmax^5 + dmin^5$), ОДМ - $\xi = 2,55 - 3,02$, «оптимальные» (ОДУ) и «неоптимальные» (НДУ) в соответствии с критерием Н. В. М. Ulings ($\eta=(dmax^2+dmin^2)/D^2$), ОДУ - $1<\eta\leq 1,26$. Три вида: открытый (1) – $D<dmax+dmin$, нейтральный (0) – $D=dmax+dmin$, закрытый (2) – $D>dmax+dmin$. И 4 типа: полная асимметрия $D\neq dmax\neq dmin$; боковая асимметрия $D=dmax$, $dmax\neq dmin$; односторонняя симметрия $D\neq dmax$; $dmax=dmin$; полная симметрия $D=dmax=dmin$.

Статистический анализ полученных результатов проводили при помощи пакетов программ Statistica for Windows 13.3 и MedStat. Он включал: проверку распределения величин изучаемых показателей на соответствие нормальному закону распределения методом Шапиро-Уилка. Рассчитывали групповые показатели описательной статистики для нормального распределения: среднюю арифметическую величину (M), стандартное отклонение (SD), минимум ($\min$) и максимум ($\max$) значений в выборке. Для распределения, отличного от нормального определяли: медиану (Me), ошибку медианы (m), нижний (q_{25}) и верхний квартили (q_{75}), коэффициент вариации, доверительный интервал ($ДИ$). Для оценки различий между средними значениями в группах сравнения применялся непараметрический тест Манна-Уитни или Крускала-Уоллиса.

Результаты собственных исследований и их обсуждение. В разделе 3.1. Распределение величин изучаемых показателей ВАРС отлично от нормального закона распределения. Относительное количество «оптимальных» дихотомий (на коррозионных препаратах их количество составило: ОДМ – 2,9%, ОДУ – 27%; на рентгенограммах: ОДМ – 10,6%, ОДУ – 35%) оказалось существенно меньше, чем «неоптимальных». Относительное количество «оптимальных» дихотомий, составляющих ВАРС представителей различных половых групп, а также левой и правой венечных артерий, значимо не отличается. Относительное количество «оптимальных» дихотомий ОДУ, составляющих ВАРС у пожилых лиц (36%) больше, чем у лиц второго периода зрелого возраста (25%). Относительное количество «оптимальных» дихотомий, установленное на коррозионных препаратах, оказалось несколько меньше, чем на рентгенограммах ВАРС. Величины всех изучаемых показателей, которые определялись на коррозионных препаратах, оказались значимо больше у «оптимальных», чем у «неоптимальных» дихотомий, исключение – фактор формы FF1, значения которого для ОДМ и НДМ существенно не отличаются. Исключение также составляет величина коэффициента асимметрии γ , которая у «неоптимальных» дихотомий оказалась равна: для НДМ – $0,59 \pm 0,02$, для НДУ – $0,56 \pm 0,01$, что несколько больше, чем у «оптимальных» дихотомий: эта величина составила для ОДМ – $0,44 \pm 0,01$, для ОДУ – $0,25 \pm 0,01$. При исследовании рентгенограмм значимые отличия наблюдаются между значениями диаметров больших дочерних (дистальных) ветвей: $d_{\max}$: величины данной переменной составили для ОДМ $3,55 \pm 0,12$ мм, для НДМ $3,0 \pm 0,04$ мм; для оптимальных дихотомий величина диаметра большей дочерней ветви составляет для ОДУ $3,1 \pm 0,06$ мм, для НДУ $2,95 \pm 0,05$ мм. Медианы

значений этого показателя оказались значимо больше у «оптимальных» дихотомий. Медиана коэффициента асимметрии больше у «неоптимальных» дихотомий: величина медианы исследуемой переменной оказалась равна для НДУ $0,58 \pm 0,02$, у «оптимальных» дихотомий – $0,41 \pm 0,02$ (для ОДУ). Вероятно, принципы оптимальности для дихотомий проксимальных и дистальных участков ВАРС различны. Возможно, дихотомии дистальных участков русла ориентированы не только на проведения крови с наименьшими затратами энергии, но и на равномерное распределение потока крови на максимально возможной площади. С увеличением уровня деления и номера генерации относительное количество «неоптимальных» дихотомий увеличивается, а «оптимальных» уменьшается.

Установлено наличие трех видов дихотомий ВАРС: открытый – их относительное количество на коррозионных препаратах составило 85%, на рентгенограммах – 98,94%; нейтральный – относительное количество дихотомий данного типа составило на коррозионных препаратах 7%, на рентгенограммах – 0,26%; закрытый – на коррозионных препаратах дихотомий данного типа оказалось 8%, на рентгенограммах – 0,79%. Отличия в относительном количестве дихотомий ВАРС на коррозионных препаратах и рентгенограммах может быть связано с тем, что: а) на рентгенограммах видны только первые уровни деления и начальные генерации ВАРС; б) прижизненное рентгенографическое исследование ВАРС не позволяет визуализировать все нейтральные и закрытые дихотомии из-за возможностей метода или особенностей функционирования ВАРС. В связи с небольшим количеством нейтральных и закрытых видов дихотомий, их детальный анализ не проводили. На коррозионных препаратах ВАРС лиц мужского пола и пожилого возраста относительное количество открытых дихотомий больше (86% и 90% соответственно), чем у лиц женского пола и второго периода зрелого возраста (82 и 83% соответственно). Относительное количество нейтральных и закрытых дихотомий больше у лиц женского пола (8% и 11%) и второго периода зрелого возраста (8% и 9%), соответственно. Диаметры материнского (проксимального) сегмента D открытых и закрытых видов дихотомий равны и несколько больше величины диаметра нейтральных дихотомий: $0,8 \pm 0,1$ мм; $0,8 \pm 0,05$ мм и $0,5 \pm 0,04$ мм, соответственно. Значение длин сегментов L имеют наибольшие значения медиан у закрытых дихотомий ($Me \pm m$): $4,4 \pm 0,25$ мм, наименьшие – у нейтральных ($Me \pm m$): $3,5 \pm 0,23$ мм, среднее положение в ряду значений изучаемых показателей занимает величина длины открытых дихотомий ($Me \pm m$): $4,10 \pm 0,08$ мм ($p < 0,05$). Среди значений фактора формы FF1 максимальная его величина оказалась у

нейтральных дихотомий, минимальная – у открытых, средняя – у закрытых ($Me \pm m$): $17,14 \pm 1,34$; $10,77 \pm 0,3$ и $12,24 \pm 0,75$ ($p < 0,05$), соответственно. В ряду значений коэффициента ветвления η максимальной его величиной обладают открытые дихотомии, среднее положение занимают нейтральные дихотомии и минимальное – закрытые дихотомии ($Me \pm m$): $1,11 \pm 0,01$; $0,5 \pm 0,01$ и $0,3 \pm 0,01$ ($p < 0,05$) соответственно. Величины коэффициента асимметрии γ равны у открытых и закрытых дихотомий ($Me \pm m$): $0,44 \pm 0,01$ и $0,44 \pm 0,02$ соответственно, при этом, они оказались несколько меньше, чем у нейтральных дихотомий – ($Me \pm m$): $1,0 \pm 0,02$ ($p < 0,05$), которые фактически являются самыми симметричными. Нейтральные дихотомии располагаются на 17-м и 22-м уровнях деления, а закрытые – на 15-м уровне, все остальные уровни заняты открытыми дихотомиями. Нейтральные и закрытые дихотомии незначительно представлены только на 2-м и 3-м номерах генераций. Стоит сказать, что коррозионное препарирование по сравнению с рентгенологическим исследованием позволяет изучить более дистально расположенные участки ВАРС.

Обнаружено наличие следующих морфофункциональных типов дихотомий ВАРП: полная асимметрия (на коррозионных препаратах их относительное количество составило 48%, на рентгенограммах – 93%); боковая асимметрия (27% составили дихотомии этого типа на коррозионных препаратах, 3% – на рентгенограммах); односторонняя симметрия (на коррозионных препаратах их относительное количество составило 19%, на рентгенограммах – 4%); полная симметрия (6% составили дихотомии этого типа на коррозионных препаратах). Дихотомий 4-го типа на рентгенограммах обнаружить не удалось. Отличие в относительном количестве различных типов дихотомий, обнаруженное при исследовании коррозионных препаратов и рентгенограмм ВАРС, может быть связано с тем, что: а) на рентгенограммах видны только первые уровни деления и начальные генерации ВАРС; б) прижизненное рентгенографическое исследование ВАРС не позволяет визуализировать некоторые типы дихотомий из-за возможностей метода или особенностей функционирования ВАРС. На коррозионных препаратах ВАРС относительное количество дихотомий различных морфофункциональных типов у лиц разного пола и разных возрастных групп примерно одинаково. У лиц второго периода зрелого возраста относительное количество дихотомий второго типа несколько меньше (25%), а четвертого типа несколько больше (7%), чем у лиц пожилого возраста (34% и 4% соответственно). На рентгенограммах ВАРС относительное количество различных типов дихотомий у лиц

разного пола оказалось примерно одинаково. У лиц зрелого возраста относительное количество дихотомий первого типа (94%) больше, а третьего типа (3%) меньше, чем у лиц пожилого возраста: 91% и 5% соответственно. Русло левой венечной артерии состоит из большего относительного количества дихотомий второго типа (94%) и меньшего относительного количества дихотомий четвертого типа (2%), чем русло правой венечной артерии – 91% и 5%, соответственно. Значение медиан диаметров и длин сегментов, составляющих дихотомию ВАРС коррозионных препаратов, уменьшается в направлении: 1 тип – 2 тип – 3 тип – 4 тип ($Me \pm m$): $0,9 \pm 0,02$ мм; $0,8 \pm 0,02$ мм; $0,5 \pm 0,01$ мм; $0,3 \pm 0,02$ мм ($p < 0,05$) соответственно. Это можно объяснить расположением дихотомий 1-го и 2-го типов преимущественно на проксимальных участках ВАРС, а дихотомий 3-го и 4-го типов – на дистальных участках ВАРС. Величина фактора формы FF1 возрастает в направлении ($Me \pm m$): 2 тип – 1 тип – 3 тип – 4 тип ($Me \pm m$): $9,69 \pm 0,43$; $10,0 \pm 0,27$; $15,0 \pm 0,66$; $22,75 \pm 2,49$ ($p < 0,05$) соответственно. Это является результатом того, что величины диаметров и длин сегментов с увеличением уровня деления и номера генерации изменяются непропорционально. Величина коэффициента ветвления уменьшается в направлении: 4 тип – 2 тип – 3 тип – 1 тип ($Me \pm m$): $2,0 \pm 0,001$; $1,25 \pm 0,01$; $0,89 \pm 0,01$; $0,86 \pm 0,01$ ($p < 0,05$) соответственно. Хорошо заметно увеличение значения γ в направлении: 2 тип – 1 тип – 3 тип – 4 тип ($Me \pm m$): $0,25 \pm 0,01$; $0,31 \pm 0,01$; $1,0 \pm 0,001$; $1,0 \pm 0,001$ ($p < 0,05$) соответственно, что свидетельствует о росте симметричности дихотомий. Дихотомии первого и третьего типов представлены практически на всех уровнях деления и номерах генерации ВАРС, за исключением начальных проксимальных и последних дистальных уровней деления. Дихотомии второго типа располагаются на всех уровнях деления и номерах генераций. Дихотомии четвертого типа находятся не на всех уровнях деления и номерах генерации. Однако четко видимых закономерностей распределения дихотомий разных типов по уровням деления и номерам генераций обнаружить не удалось.

В разделе 3.2. Распределение величин изучаемых показателей ВАРП отлично от нормального закона распределения. Относительное количество «оптимальных» дихотомий на коррозионных препаратах ВАРП составило: ОДМ – 3,1% и ОДУ – 13,3%, что оказалось существенно меньше, чем «неоптимальных» (НДМ – 96,9% и НДУ – 86,7%). Относительное количество «оптимальных» дихотомий, образующих коррозионные препараты ВАРП у мужчин, составило: ОДМ – 2,5% и ОДУ – 11,3%, что оказалось несколько меньше, чем у женщин (ОДМ – 3,7% и ОДУ – 15,1%). Тогда, как относительное

количество «оптимальных» дихотомий, составляющих ВАРП (на коррозионных препаратах) у лиц второго периода зрелого возраста оказалось: ОДМ – 3,2% и ОДУ – 13,7%, что практически равно величине соответствующего показателя у пожилых (ОДМ – 3,1% и ОДУ – 12,8%). Процент «оптимальных» дихотомий оказался больше при исследовании рентгенограмм: ОДМ – 6,1% и ОДУ – 20,5%, чем коррозионных препаратов (ОДМ – 3,1% и ОДУ – 13,3%) ВАРП. Относительное количество «оптимальных» дихотомий, составляющих ВАРП на рентгенограммах у мужчин (ОДМ – 5,5% и ОДУ – 18,3%) несколько отличается от величины соответствующего показателя у женщин (ОДМ – 6,9% и ОДУ – 23,3%). Не обнаружено отличий в количестве оптимальных дихотомий на рентгенограммах ВАРП левой (ОДМ – 6,0% и ОДУ – 22,1%) и правой (ОДМ – 6,2% и ОДУ – 18,9%) почечных артерий. Хорошо заметно, что относительное количество «оптимальных» дихотомий на рентгенограммах ВАРП лиц второго периода зрелого возраста (ОДМ – 7,5% и ОДУ – 27,2%) заметно больше соответствующего показателя у лиц пожилого возраста (ОДМ – 4,7 % и ОДУ – 14,1 %). Такое соотношение значений относительного количества «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий у лиц разного возраста должно проявлять себя изменением функции почек с увеличением возраста. Рентгеновское исследование позволяет визуализировать более проксимальные участки ВАРП. На дистальных участка ВАРП расположено больше «неоптимальных» дихотомий. Это позволяет предположить, что принципы оптимальности дихотомий проксимальных и дистальных участков ВАРП различны. Вероятно, дихотомии дистальных участков русла ориентированы не только на проведения крови с наименьшими затратами энергии, но и на равномерное распределение потока крови на максимально возможной площади. Значения практически всех изучаемых параметров «оптимальных» дихотомий ВАРП коррозионных препаратов значимо ($p < 0,001$) больше, чем «неоптимальных»: D ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=0,8±0,05 и ОДУ=0,7±0,02; НДМ=0,6±0,01 и НДУ=0,6±0,01; d_{max} ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=0,7±0,04 и ОДУ=0,6±0,02; НДМ=0,4±0,01 и НДУ=0,3±0,01; d_{min} ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=0,5±0,04 и ОДУ= 0,5±0,02; НДМ=0,3±0,001 и НДУ=0,2±0,001; L ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=7±0,17 и ОДУ=6±0,08; НДМ=4±0,03 и НДУ=4±0,03; $FF1$ ($Me \pm m$): ОДМ=14,29±0,35 и ОДУ=14,29±0,24; НДМ=13,33±0,11 и НДУ=13,33±0,12; η ($Me \pm m$): ОДМ=1,24±0,002 и ОДУ=1,14±0,002; НДМ=0,81±0,01 и НДУ=0,69±0,01. Исключение составляет значение коэффициента асимметрии, величина которого значимо ($p < 0,001$) больше у «неоптимальных» дихотомий ВАРП, чем «оптимальных»: γ

($Me \pm m$): НДМ=0,72±0,001 и НДУ=0,73±0,003; ОДМ=0,69±0,01 и ОДУ=0,64±0,01. «Неоптимальные» дихотомии более «симметричны» чем «оптимальные». На рентгенограммах ВАРП практически все установленные закономерности сохраняются. Значения диаметров материнских сегментов «оптимальных» дихотомий ВАРП значимо ($p < 0,001$) больше, чем «неоптимальных» – D ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=1,7±0,08 и ОДУ=1,8±0,04; НДМ=1,5±0,02 и НДУ=1,4±0,02; d_{max} ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=1,5±0,07 и ОДУ=1,6±0,04; НДМ=1,1±0,02 и НДУ=1±0,02; d_{min} ($Me \pm m$) (мм): ОДМ=1,1±0,06 и ОДУ=1±0,03; НДМ=0,7±0,01 и НДУ=0,7±0,01; η ($Me \pm m$): ОДМ=1,2±0,002 и ОДУ=1,13±0,002; НДМ=0,81±0,01 и НДУ=0,75±0,01. Исключение составляет величина коэффициента асимметрии, которая у «неоптимальных» дихотомий оказалась значимо ($p = 0,0001$) больше, чем у «оптимальных» – γ ($Me \pm m$): ОДМ=0,5±0,004 и НДМ=0,61±0,01. Медианы показателей D , d_{max} и d_{min} оказались меньше у дихотомий коррозионных препаратов, чем рентгенограмм. А медианы η и γ у дихотомий коррозионных препаратов и рентгенограмм ВАРП практически не отличаются. Относительное количество «оптимальных» (ОДМ и ОДУ) дихотомий с увеличением уровня деления и номера генерации уменьшается. Это прослеживается и на коррозионных препаратах, и на рентгенограммах ВАРП, и является еще одним аргументом в пользу того, что принципы оптимальности строения артериальных дихотомий ВАРП должны быть различны для проксимальных и дистальных участков русла.

При исследовании коррозионных препаратов ВАРП установлено, что русло включает в себя наибольшее относительное количество открытых дихотомий (63,1%), среднее количество закрытых (26,5%) и наименьшее количество нейтральных (10,4%) дихотомий. Относительное количество нейтральных (9,1%) и закрытых (14,6%) дихотомий оказалось меньше на рентгенограммах, чем на коррозионных препаратах ВАРП. Исследование коррозионных препаратов ВАРП показало, что относительное количество открытых дихотомий у лиц женского пола (67,68%) и пожилого возраста (67,42%) больше, чем у лиц мужского пола (58,14%) и лиц второго периода зрелого возраста (58,49%). Тогда как, закрытых дихотомий у лиц женского пола (21,30%) и пожилого возраста (21,88%) меньше, чем у лиц мужского пола (32,12%) и второго периода зрелого возраста (31,42%). Исследование рентгенограмм ВАРП таких закономерностей не выявило. Однако обнаружено, что относительное количество нейтральных (2,5%) и закрытых (10,1%) видов дихотомий у лиц второго периода зрелого возраста значительно меньше, чем у пожилых

(нейтральные – 15,4%; закрытые – 18,8%). Возможно, такое соотношение относительного количества дихотомий различного вида сказывается на функции ВАРП у лиц различных возрастных групп. Относительное количество дихотомий разного вида, принадлежащих руслу левой и правой почечных артерий, практически одинаково. На коррозионных препаратах ВАРП диаметр материнских (проксимальных) сегментов D открытых видов дихотомий больше, чем величина этого показателя закрытых и нейтральных дихотомий ($Me \pm m$): $0,7 \pm 0,01$ мм; $0,5 \pm 0,01$ мм и $0,4 \pm 0,01$ мм соответственно ($p=0,0001$). Длина сегментов L максимальна у открытых дихотомий ($Me \pm m$): $5 \pm 0,04$ мм, минимальна – у закрытых ($Me \pm m$) $2,4 \pm 0,04$ мм, среднее положение в ряду значений занимает величина длины нейтральных дихотомий ($Me \pm m$): $3,1 \pm 0,06$ мм ($p=0,0001$). Значение фактора формы FF1 максимально у нейтральных дихотомий, минимально – у закрытых и среднее – у открытых ($Me \pm m$): $20 \pm 0,34$; $9,6 \pm 0,11$ и $15,5 \pm 0,14$, соответственно ($p=0,0001$). В ряду значений η (коэффициент ветвления) максимальной величиной обладают открытые дихотомии ($Me \pm m$): $(1,13 \pm 0,01)$, среднее положение занимают нейтральные дихотомии: $(0,5 \pm 0,001)$ и минимальное значение η имеют закрытые дихотомии: $(0,15 \pm 0,003)$ ($p=0,0001$). Величины коэффициента асимметрии γ равны у нейтральных и закрытых дихотомий ($Me \pm m$): $1 \pm 0,01$ и $1 \pm 0,010$, и больше, чем у открытых ($Me \pm m$): $0,64 \pm 0$ ($p=0,0001$). На рентгенограммах ВАРП диаметр материнских (проксимальных) сегментов D открытых ($1,6 \pm 0,02$ мм) дихотомий значимо больше, чем величина этого показателя закрытых ($1,2 \pm 0,04$ мм) и нейтральных ($0,8 \pm 0,03$ мм) ($p=0,0001$) дихотомий. В среднем, величины медиан изучаемых параметров на коррозионных препаратах значимо меньше, чем на рентгенограммах. Вероятно, это объясняется тем, что коррозионное препарирование позволяет исследовать более дистальные участки ВАРП, чем рентгеновское исследование. На рентгенограммах в ряду значений η (коэффициент ветвления) максимальной величиной ($Me \pm m$) обладают открытые дихотомии ($0,98 \pm 0,01$), среднее положение занимают нейтральные дихотомии ($0,51 \pm 0,002$), минимальное – закрытые дихотомии ($0,36 \pm 0,004$) ($p=0,0001$). Величины коэффициента асимметрии γ равны у нейтральных и закрытых дихотомий ($Me \pm m$): $0,56 \pm 0,01$ и $0,56 \pm 0,01$ соответственно, и больше, чем у открытых ($Me \pm m$): $0,44 \pm 0,01$ ($p=0,0001$). Относительное количество нейтральных дихотомий на коррозионных препаратах ВАРП увеличивается, а открытых – уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации. Открытые дихотомии занимают более проксимальные участки ВАРП. Закрытые дихотомии располагаются на 3-21-м уровнях

деления и 1-11-м номерах генераций. Их максимальное относительное количество присутствует на 9-м и 10-м уровнях деления и 4-м, 5-м номерах генераций.

Относительное количество дихотомий ВАРП 1-го типа (полная асимметрия) составляет 51,4% и 86,4% (на коррозионных препаратах и рентгенограммах соответственно); 2-го типа (боковая асимметрия): 9,7% и 9,3% соответственно, 3-го типа (односторонняя симметрия): 34,3% и 4% соответственно, 4-го типа (полная симметрия): 4,6% и 0,3% соответственно. Отличия в относительном количестве морфофункциональных типов дихотомий, образующих коррозионные препараты и рентгенограммы ВАРП, может быть связано с тем, что: а) на рентгенограммах видны только первые уровни деления и начальные генерации ВАРП; б) прижизненное рентгенографическое исследование ВАРП не позволяет визуализировать некоторые типы дихотомий из-за возможностей метода. Исследование коррозионных препаратов ВАРП показало, что относительное количество морфофункциональных типов дихотомий практически не отличается у лиц разного пола. Относительное количество дихотомий у лиц второго периода зрелого возраста первого (52,7%), второго (10,6%) и третьего (34,8%) типов больше, а четвертого типа (1,9%) – заметно меньше, чем у лиц пожилого возраста (50,1%, 8,8%, 33,9% и 7,2% соответственно).

На рентгенограммах ВАРП лиц мужского пола относительное количество дихотомий первого типа (87,7%) больше, а третьего типа (2,7%) – меньше, чем у лиц женского пола (84,7% и 5,7% соответственно). Относительное количество дихотомий у лиц второго периода зрелого возраста первого типа (74,4%) меньше, а второго (18,1%) и третьего (7%) – заметно больше, чем у лиц пожилого возраста (97,9%, 0,8% и 1,2% соответственно). Относительное количество дихотомий разного типа ВАРП, принадлежащих руслу левой и правой почечных артерий, практически одинаково. Величины диаметров D ($Me \pm m$) (мм) и длин L ($Me \pm m$) (мм) сегментов, составляющих дихотомию ВАРП коррозионных препаратов, уменьшаются в направлении: 1 тип – 2 тип – 3 тип – 4 тип (величины диаметров (мм): $0,7 \pm 0,01$; $0,6 \pm 0,02$; $0,5 \pm 0,01$ и $0,1 \pm 0,02$ ($p=0,0001$) соответственно; величины длин (мм): $5 \pm 0,04$; $4 \pm 0,08$; $3 \pm 0,04$ и $2,2 \pm 0,09$ ($p=0,0001$) соответственно). Значение фактора формы FF1 ($Me \pm m$) убывает в направлении 4 тип ($38 \pm 0,93$) – 2 тип ($15,56 \pm 0,35$) – 3 тип ($13,33 \pm 0,16$) – 1 тип ($12,5 \pm 0,11$) ($p=0,0001$). Величина показателя η ($Me \pm m$) максимальна у дихотомий 4-го типа (2 ± 0), минимальна – у дихотомий третьего типа ($0,5 \pm 0,01$), у дихотомий второго типа равна $1,44 \pm 0,01$, а первого – составляет $0,81 \pm 0,01$ ($p=0,0001$). Значения γ ($Me \pm m$) равны у 1-го и 2-го

типов ($0,44 \pm 0,01$) дихотомий, что несколько меньше, чем у 3-го и 4-го типов (1 ± 0), величины которых также равны между собой ($p=0,0001$). Величины диаметров D ($Me \pm m$) (мм) артериальных сегментов, составляющих дихотомию ВАРП на рентгенограммах, уменьшаются в направлении: 1 тип ($1,5 \pm 0,02$) – 2 тип ($1,5 \pm 0,06$) – 3 тип ($1,3 \pm 0,08$) – 4 тип ($1,15 \pm 0,15$) ($p=0,008$). Величина показателя η ($Me \pm m$) максимальна у дихотомий 4-го типа (2 ± 0), минимальна – у дихотомий третьего типа ($0,75 \pm 0,03$), у дихотомий первого и второго типов равна $1,37 \pm 0,01$ и $1,37 \pm 0,01$ ($p=0,0001$) соответственно. Значения γ ($Me \pm m$) равны у 1-го и 2-го типов ($0,37 \pm 0,01$), что меньше, чем у 3-го и 4-го типов (1 ± 0) дихотомий, величины которых также равны между собой ($p=0,0001$). Медианы диаметров дихотомий рентгенограмм ВАРП заметно больше, чем значения соответствующих показателей коррозионных препаратов. Это может служить еще одним подтверждением тезиса о том, что для морфометрического исследования рентгенограмм доступны проксимальные участки ВАРП, тогда как на коррозионных препаратах можно измерять, в том числе, и дистальные участки русла. Величины параметров γ дихотомий 1-го и 2-го типов, полученных путем морфометрии коррозионных препаратов и рентгенограмм ВАРП, свидетельствует о менее выраженной «асимметрии» последних. На коррозионных препаратах относительное количество дихотомий 1-го типа заметно уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации, 2-го типа – практически не меняется, а 3-го и 4-го типов – существенно возрастает. ВАРП представляет собой псевдофрактальную структуру. В его состав входят дихотомии различных групп, видов и типов.

В разделе 3.3 описана технология генерации геометрической 3d-модели сосудистого русла на базе морфометрических данных различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП, а также описана компьютерная программа «3D-Vasculograph» с интуитивно-понятным интерфейсом. Работа программы осуществляется в два этапа: на первом этапе на основании морфометрических данных геометрии реального сосудистого русла строится 2d-модель определенного фрагмента, отражающая количественные характеристики сосудов; на втором этапе добавляется информация о третьей пространственной координате элементов сосудистого русла и строится 3d-модель участка русла. Программа может изгибать кровеносные сосуды и менять начальное и конечное сечение диаметров сегментов. Интерфейс программы состоит из меню и рабочей области с настройками и индикатором. В меню расположен элемент «Файл», содержащий оператор «Открыть файл». С его

помощью пользователь загружает данные морфометрии в виде текстового файла с расширением «.txt» морфометрических данных геометрии реального сосудистого русла. Данные представляются в виде связанного графа, вершины которого соответствуют точкам разветвления сосудов, а ребра – сосудистым сегментам. Первый столбец соответствует условному адресу сегмента, обозначающий номер вершины, которая служит началом сегмента, второй – условный адрес сегмента – номер вершины, являющейся концом сегмента, третий столбец – диаметр сегмента в мм, четвертый – длина сегмента в мм. Рабочая область программы позволяет настраивать угол, спираль, кривизну, размеры и позицию эллипсоидов a , b и c относительно трех координат, число граней цилиндра. Существует два режима работы программы с углами дихотомий: подсчет угла в соответствии с формулами С.Д. Мургау и подбор случайного угла в заданном диапазоне. Для использования последнего режима необходимо установить флажок «Случайный угол» и указать диапазон в полях от и до. Поле «Спираль» позволят управлять параметром закручивания модели вокруг центральной оси. В случае, если флажок «Не искривлять» установлен, сосудистые сегменты дихотомий не будут искривляться. Для достижения более реалистичной картины сосудистого русла данный флажок необходимо снять и откорректировать параметр «Кривизна» в специальном поле. Размеры и положение относительно x_0 , y_0 , z_0 эллипсоидов a , b и c , в которые вписывается 3d-модель сосудистого русла, устанавливаются в соответствующих полях «Эллипсоид a », «Эллипсоид b », «Эллипсоид c », « x_0 », « y_0 », « z_0 », это функции задают параметры эллипсоида с центром в точке x_0 , y_0 , z_0 поверхность которого ограничивает сосудистое дерево. С помощью специального поля можно настраивать число граней цилиндра для сглаживания сосудистых сегментов, составляющих внутриорганное сосудистое русло. После установки настроек пользователь последовательно нажимает на кнопки «Расчет осей», «Поворот». Как только индикатор выполнения заполнен полностью, следует нажать кнопку «Выгрузить .obj» для получения финального результата. В каталоге программы создается файл «unl.obj», представляющий собой 3d-модель сосудистого русла (Рисунок 1).

В дальнейшем файл может быть открыт с помощью CAD-программ, например «GLC_Player».

В разделе 3.4 представлены результаты исследования функциональных (пропускная способность, распределительная и опорная функции) особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС у лиц разного пола, второго

периода зрелого и пожилого возраста в норме. Установлено, что «оптимальные» дихотомии ВАРС проводят кровь с меньшим сопротивлением, чем «неоптимальные». Это может служить подтверждением правильности выбранных нами подходов к исследованию морфофункциональных особенностей различных групп, видов и типов дихотомий. Среди дихотомий различного вида ВАРС наибольшей величиной пропускной способности обладают открытые дихотомии, наименьшей – закрытые, средней – нейтральные дихотомии.

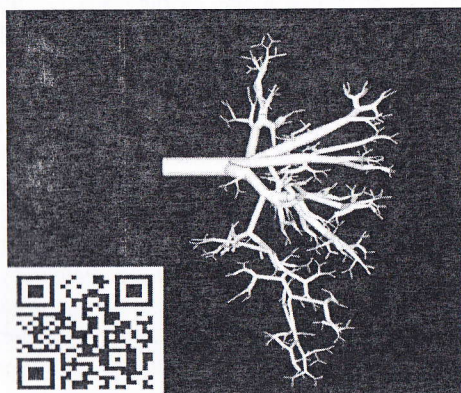


Рисунок 1 – Результат работы программы: 3d-модель ВАРП

В порядке убывания величины параметра, количественно характеризующего пропускную способность, дихотомии ВАРС расположились следующим образом: второго типа (боковая асимметрия), далее – первого типа (полная асимметрия), затем – четвертого типа (полная симметрия), замыкают данный ряд дихотомии третьего типа. Наибольший размер и наиболее широкая форма площади покрытия характерны для ОДМ, наименьший размер и наиболее узкая форма присуща дихотомиям ОДУ. По величинам данного показателя НДМ и НДУ занимают промежуточное положение. В ряду дихотомий ВАРС различных видов наибольший размер площади покрытия характерен для дихотомий открытого вида, наименьший – закрытого, среднее положение занимает величина площади покрытия дихотомий нейтрального вида. Наиболее широкая форма области покрытия характерна для нейтральных и закрытых дихотомий, наименее широкая – для открытых дихотомий. Среди дихотомий ВАРС различных типов наибольшим размером площади покрытия обладают дихотомии четвертого типа, наименьшим – дихотомии третьего типа. Значения этого показателя у дихотомий первого и второго типов занимают

средние положения. Наименее широкой является площадь покрытия дихотомий первого типа, а наиболее широкой – дихотомий четвертого типа. Величины исследуемого показателя у дихотомий второго и третьего типов занимают промежуточное положение.

«Оптимальные» (ОДМ) и «неоптимальные» (НДМ) дихотомии ВАРС умеренно влияют на опорную функцию ВАРС; «оптимальные» (ОДУ) дихотомии обладают максимальной жесткостью, «неоптимальные» (НДУ) – занимают среднее положение в ряду значений параметров, характеризующих жесткость.

Среди дихотомий различного вида ВАРС наиболее жесткими являются открытые дихотомии, наименее – нейтральные, среднее значение жесткости имеют закрытые дихотомии. Среди дихотомий различного типа ВАРС наибольшей величиной жесткости обладают дихотомии первого (полная асимметрия) и второго (боковая асимметрия) типов, наименьшее значение жесткости – у дихотомий четвертого типа (полная симметрия), среднее значение – у дихотомий третьего типа (односторонняя симметрия).

В разделе 3.5 представлены результаты исследования функциональных (пропускная способность, распределительная и опорная функции) особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРП у лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста в норме. Установлено, что «оптимальные» дихотомии ВАРП проводят кровь с меньшим сопротивлением, чем «неоптимальные».

Это может служить подтверждением правильности выбранных нами подходов к исследованию морфофункциональных особенностей различных групп, видов и типов дихотомий. Среди дихотомий различного вида ВАРП наибольшей величиной пропускной способности обладают открытые дихотомии, наименьшей – закрытые, средней – нейтральные дихотомии. В порядке убывания величины параметра, количественно характеризующего пропускную способность, дихотомии ВАРП расположились следующим образом: второго типа (боковая асимметрия), далее – первого типа (полная асимметрия), затем – четвертого типа (полная симметрия), замыкают данный ряд дихотомии третьего типа. Наибольшим размером площади покрытия обладают дихотомии ОДУ, а наиболее широкая форма покрытия характерна для ОДМ.

Наименьшие значения площади покрытия характерны для НДУ, а наиболее узкая форма присуща НДМ. По величине показателя площади покрытия НДМ и ОДУ занимают промежуточное положение.

Наибольший размер площади покрытия характерен для дихотомий открытого вида, наименьший – закрытого, среднее положение занимает величина площади покрытия дихотомий нейтрального вида. Наиболее широкая форма площади покрытия характерна для нейтральных дихотомий, наименее широкая – для закрытых дихотомий, среднее положение – у открытых дихотомий. Наибольшим размером площади покрытия обладают дихотомии второго типа (боковая асимметрия), наименьшим – дихотомии третьего типа (односторонняя симметрия) (Рисунок 2).

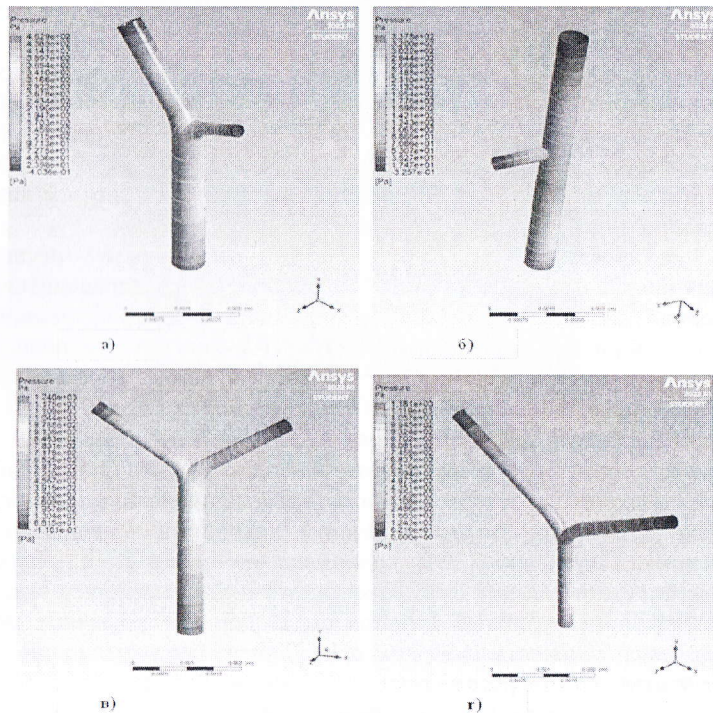


Рисунок 2 - Пример результата виртуальных испытаний гемодинамического импеданса (сопротивления) различных морфофункциональных типов дихотомий ВАРС

Значения изучаемого показателя у дихотомий первого (полная асимметрия) и четвертого (полная симметрия) типов занимают средние положения. Наименее широкой является площадь покрытия дихотомий

третьего типа (односторонняя симметрия), а наиболее широкой – дихотомия четвертого типа (полная симметрия).

Величины исследуемого показателя у дихотомий первого (полная асимметрия) и второго (боковая асимметрия) типов занимают промежуточное положение. «Оптимальные» ОДМ и ОДУ дихотомии ВАРП менее жесткие, чем «неоптимальные» НДМ и НДУ.

Величины исследуемого показателя у дихотомий первого (полная асимметрия) и второго (боковая асимметрия) типов занимают промежуточное положение. «Оптимальные» ОДМ и ОДУ дихотомии ВАРП менее жесткие, чем «неоптимальные» НДМ и НДУ. Среди дихотомий различного вида ВАРП наиболее жесткими являются закрытые дихотомии, среднее значение жесткости имеют открытые и нейтральные дихотомии. Среди дихотомий ВАРП различного типа наименьшее значение жесткости у дихотомий второго (боковая асимметрия) и четвертого (полная симметрия) типов, среднее значение – у дихотомий первого (полная асимметрия) и третьего (односторонняя симметрия) типов.

В разделе 3.6.1 представлены результаты сравнительного анализа морфометрических особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме. ВАРС и ВАРП имеют одинаковую форму, но разные типы. Для ВАРС характерна древовидная форма, магистральный и лептоареальный тип, для ВАРП – древовидная форма, рассыпной и эвриареальный тип. Для визуального представления ВАРС можно ограничиться 2d-моделями, тогда как для представления ВАРП необходимо использовать 3d-модели. Для коррозионного препарирования ВАРС доступны 25 уровней деления и 6 генераций, а ВАРП – 22 уровня деления и 13 генераций. Ангиография ВАРС и ВАРП позволяет осуществлять прижизненную визуализацию артериального русла. Однако морфометрия получаемых двумерных изображений не дает возможности точно определять длины артериальных сегментов, составляющих дихотомию. Кроме того, трудно судить об уровне деления и номере генерации. Распределение величин изучаемых показателей, определяемых на коррозионных препаратах и рентгенограммах ВАРС и ВАРП, отличаются от нормального закона. Величины медиан диаметров сегментов, составляющих дихотомию коррозионных препаратов и рентгенограмм ВАРС, заметно больше, чем ВАРП. Значение медианы длины сегментов дихотомий ВАРС меньше или равно величинам соответствующего показателя ВАРП. Величина медианы фактора формы у дихотомий ВАРС меньше, чем у ВАРП. Величина медианы коэффициента ветвления больше, а

коэффициента асимметрии – меньше у дихотомий ВАРС, чем ВАРП. Это характерно для «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий. Дихотомии ВАРС более «оптимальны» и менее «симметричны», чем ВАРП, т.е. для артериальных дихотомий характерна органоспецифичность. Без учета органоспецифичности можно заметить, что чем больше диаметр материнского сегмента, тем дихотомия более «оптимальна» и менее «симметрична». Относительное количество «оптимальных» дихотомий больше в составе ВАРС, чем ВАРП. Эта закономерность характерна для ВАРС и ВАРП представителей различных половых и возрастных групп. Относительное количество «оптимальных» дихотомий с увеличением уровня деления и номера генерации уменьшается. Особенно это хорошо заметно на коррозионных препаратах ВАРП и в меньшей степени – ВАРС. Сказанное является еще одним аргументом в пользу того, что принципы оптимальности строения артериальных дихотомий должны быть различны для проксимальных и дистальных участков ВАРС и ВАРП. Относительное количество нейтральных и, особенно, закрытых дихотомий в структуре ВАРП заметно больше, чем в структуре ВАРС. Соответственно, открытых дихотомий меньше у ВАРП и больше – у ВАРС. Небольшое относительное количество нейтральных и закрытых дихотомий ВАРС на рентгенограммах делает невозможным их детальное исследование. Возможно, это связано с тем, что на рентгенограммах видны только первые уровни деления и начальные генерации ВАРС. Вероятно, ангиографическое исследование ВАРС не позволяет визуализировать данные виды дихотомий. В структуре ВАРС и ВАРП лиц разных половых и возрастных групп наблюдается максимальное количество открытых, среднее – закрытых и минимальное количество – нейтральных. Эти закономерности не связаны с полом и возрастной группой. Значения диаметров материнских сегментов дихотомий всех видов больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величины параметра $d_{\max}$ больше у нейтральных и закрытых дихотомий ВАРС, чем ВАРП. Величины параметра $d_{\max}$ у открытых дихотомий ВАРС и ВАРП равны. Значение параметра $d_{\min}$ одинаково у открытых и нейтральных дихотомий ВАРС и ВАРП. У закрытых дихотомий величина указанной переменной больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величина параметра L меньше у открытых дихотомий ВАРС, чем ВАРП, но больше у нейтральных и закрытых. Значение фактора формы открытых и нейтральных дихотомий меньше, а закрытых – больше у ВАРС, чем у ВАРП. Открытые дихотомии ВАРС и ВАРП «оптимальны» в равной степени, а нейтральные и закрытые одинаково «неоптимальны». Нейтральные дихотомии ВАРС и ВАРП

в равной степени «симметричны», а открытые и закрытые менее «симметричны» у ВАРС, чем у ВАРП. Нейтральные дихотомии ВАРС располагаются на 17-м и 22-м уровнях деления, а закрытые на 15-м, все остальные уровни заняты открытыми дихотомиями. Нейтральные и закрытые дихотомии ВАРС в небольшом количестве присутствуют только на 2-м и 3-м номерах генераций. Относительное количество нейтральных дихотомий ВАРП увеличивается, а открытых – уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации. Закрытые дихотомии ВАРП располагаются на 3-21-м уровнях деления и 1-11-м номерах генераций. Больше всего они присутствуют на 9-м и 10-м уровнях деления и 4-м, 5-м номерах генераций. Относительное количество дихотомий первого типа и третьего типа меньше, а дихотомий второго типа и четвертого типа – больше в составе коррозионных препаратов ВАРС, чем ВАРП. На рентгенограммах ВАРС дихотомии четвертого типа обнаружены не были. Относительное количество дихотомий первого типа больше, дихотомий второго типа меньше у ВАРС, чем у ВАРП. Относительное количество дихотомий третьего типа одинаково у ВАРС и ВАРП. При исследовании коррозионных препаратов установлено, что относительное количество дихотомий первого типа и третьего типа меньше, а второго типа больше у ВАРС, чем у ВАРП во всех половых и возрастных группах. Относительное количество дихотомий четвертого типа больше у лиц второго периода зрелого возраста, тогда как, у лиц пожилого возраста меньше у ВАРС, чем у ВАРП. На рентгенограммах относительное количество дихотомий первого типа больше у ВАРС, чем у ВАРП во всех половых и возрастных группах. Относительное количество дихотомий второго типа меньше в различных половых группах и у лиц второго периода зрелого возраста, тогда как у лиц пожилого возраста больше у ВАРС, чем у ВАРП. Относительное количество дихотомий третьего типа меньше в различных половых группах и у лиц второго периода зрелого возраста, тогда как у лиц пожилого возраста больше у ВАРС, чем у ВАРП. На коррозионных препаратах величины D и $d_{\max}$ всех типов дихотомий больше у ВАРС, чем у ВАРП. Значения $d_{\min}$ дихотомий первого и второго типов равны, а третьего и четвертого типов больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величины L практически не отличаются у ВАРС и ВАРП. Значения коэффициента ветвления дихотомий первого и третьего типов больше, а дихотомий второго типа меньше у ВАРС, чем у ВАРП, и одинаково у дихотомий четвертого типа. Величины коэффициента асимметрии у дихотомий первого и второго типов у ВАРС меньше, чем у ВАРП, у дихотомий третьего типа и четвертого типа значения этого коэффициента равны.

На рентгенограммах диаметры материнского и дочерних сегментов больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величины коэффициента ветвления дихотомий первого и второго типов меньше, а третьего больше у ВАРС, чем у ВАРП. Значение коэффициента асимметрии дихотомий первого типа больше, второго типа меньше у ВАРС, чем у ВАРП, величины этого показателя у дихотомий третьего типа равны у ВАРС и ВАРП. Дихотомии первого и третьего типов представлены практически на всех уровнях деления и номерах генераций ВАРС, за исключением начальных проксимальных и последних дистальных уровней деления по данным сравнительного морфометрического анализа коррозионных препаратов. Дихотомии второго типа располагаются на всех уровнях деления и номерах генераций. Дихотомии четвертого типа находятся не на всех уровнях деления и номерах генераций. Для ВАРС какой-либо четко просматриваемой тенденции в изменении соотношений относительного количества разных типов дихотомий не установлено. Для ВАРП характерно то, что относительное количество дихотомий 1-го типа заметно уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации, 2-го типа – практически не меняется, а 3-го и 4-го типов – существенно возрастает.

В разделе 3.6.2 представлены результаты сравнительного анализа величин, характеризующих пропускную, распределительную и опорную функции различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме. Значения показателей, характеризующих пропускную способность «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий ВАРС, заметно больше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП. Величины показателя пропускной способности у ОДМ ВАРС примерно в полтора раза больше, чем у ОДМ ВАРП, тогда как значение этого показателя у НДМ ВАРС больше, чем у НДМ ВАРП примерно в 1,2 раза. Значения показателя пропускной способности у ОДУ ВАРС примерно в два раза больше, чем у ОДУ ВАРП, тогда как значение этого показателя у НДУ ВАРС больше, чем у НДУ ВАРП примерно в три раза. Величины показателя, количественно характеризующего пропускную способность дихотомий открытого вида ВАРС, меньше, а дихотомий нейтрального и закрытого видов – больше, чем у соответствующих видов дихотомий ВАРП. Значения показателя, количественно характеризующего пропускную способность дихотомий разного типа заметно больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величина площади покрытия и показателя формы у ОДМ больше, а у ОДУ – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. У «неоптимальных» дихотомий значение исследуемого показателя больше у ВАРС, чем у ВАРП, тогда как, величины

показателя формы у дихотомий ВАРС меньше, чем у дихотомий ВАРП. Размер площади покрытия у открытых дихотомий меньше, а у нейтральных и закрытых – больше у ВАРС, чем у ВАРП. Значения показателя формы у открытых и закрытых дихотомий больше, а нейтральных – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. Размер площади покрытия дихотомий первого, третьего и четвертого типов больше, а дихотомий второго типа – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. Величины показателя формы дихотомий первого и второго типов меньше, а дихотомий третьего и четвертого типов – больше у ВАРС, чем у ВАРП. Значения показателя жесткости «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий ВАРС заметно больше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП. Величины показателя жесткости у ОДМ ВАРС примерно в три раза больше, чем у ОДМ ВАРП, тогда как, значение этого показателя у НДМ ВАРС больше, чем у НДМ ВАРП только примерно в 1,5 раза. Значения показателя жесткости у ОДУ ВАРС примерно в пять раз больше, чем у ОДУ ВАРП, тогда как, значение этого показателя у НДУ ВАРС больше, чем у НДУ ВАРП, только примерно в 1,5 раза. Величины показателя, характеризующего опорную функцию дихотомий открытого вида ВАРС, больше, а дихотомий нейтрального и закрытого видов – меньше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП. Значения показателя, характеризующего опорную функцию дихотомий первого, второго и четвертого типов, заметно больше, а третьего типа – меньше у дихотомий ВАРС, чем у дихотомий ВАРП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе осуществлено теоретическое обобщение и приведено решение научной проблемы определения морфометрических и функциональных особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП в норме. Проблема решена путем определения величин морфометрических показателей и параметров, количественно характеризующих пропускную способность (гемодинамический импеданс), распределительную (форма и площадь участка кровоснабжения) и опорную (жесткость конструкции) функции дихотомий. Результаты исследования позволили сформулировать следующие выводы:

1. Внутриорганный артериальный русло функционально-разных органов (сердца и почек) представляет собой псевдофрактальную систему, конструктивным элементом которой является дихотомия. Дихотомии бывают различных морфофункциональных групп, видов и

типов. Относительное количество дихотомий различных морфофункциональных групп, видов и типов, величины параметров их характеризующих, а также их расположение по уровням деления и номерам генераций определяется видом органа (сердце или почка), полом и возрастной группой обследуемых.

2. Для дихотомий ВАРС характерно то, что относительное количество «оптимальных» дихотомий существенно меньше, чем «неоптимальных». Относительное количество «оптимальных» дихотомий у представителей разных половых групп, а также принадлежащих руслу левой и правой венечных артерий значимо не отличается. Однако у пожилых лиц оно больше, чем у лиц второго периода зрелого возраста. Величины показателей D и L значимо больше, а γ – меньше у «оптимальных», чем у «неоптимальных» дихотомий, значения FF1 и η значимо не отличаются в указанных группах. С увеличением уровня деления и номера генерации относительное количество «неоптимальных» дихотомий увеличивается.

Относительное количество дихотомий различных видов уменьшается в следующей последовательности: открытые – закрытые – нейтральные. Относительное количество дихотомий открытого вида больше у лиц мужского пола и пожилого возраста. Медианы значений D открытых и закрытых видов дихотомий равны и несколько больше диаметра нейтральных дихотомий. Значения L уменьшаются в следующей последовательности: закрытые – открытые – нейтральные дихотомии; а η : открытые – нейтральные – закрытые дихотомии. Величины γ равны у открытых и закрытых и меньше, чем у нейтральных дихотомий. Нейтральные дихотомии располагаются на 17-м и 22-м уровнях деления, а закрытые на 15-м. Все остальные уровни заняты открытыми дихотомиями. Нейтральные и закрытые дихотомии незначительно представлены только на 2-м и 3-м номерах генераций.

Относительное количество дихотомий различных типов уменьшается в следующей последовательности: 1 тип – 2 тип – 3 тип – 4 тип. На рентгенограммах дихотомии 4-го типа отсутствуют. Относительное количество дихотомий различных типов у лиц разных гендерных групп значимо не отличается. У лиц второго периода зрелого возраста относительное количество дихотомий второго типа меньше, а четвертого типа – больше, чем у лиц пожилого возраста. Значения медиан D и L уменьшаются в направлении: 1 тип – 2 тип – 3 тип – 4 тип, а FF1 возрастает в противоположном направлении: 4 тип – 3 тип – 2 тип – 1 тип. Величина η возрастает в направлении: 1 тип – 3 тип – 2 тип – 4 тип, а γ – в направлении: 2 тип – 1 тип – 3 тип – 4 тип. Дихотомии 1-го и 3-го типов представлены практически на всех уровнях деления и

номерах генераций, за исключением начальных проксимальных и последних дистальных уровней деления. Дихотомии 2-го типа располагаются на всех уровнях деления и номерах генераций.

3. Для дихотомий ВАРП характерно то, что относительное количество «оптимальных» дихотомий, меньше, чем «неоптимальных». Относительное количество «оптимальных» дихотомий у мужчин меньше, чем у женщин. Отсутствуют отличия в относительном количестве «оптимальных» дихотомий, принадлежащих руслу левой и правой почечных артерий. Величины показателей D, L, FF1 и η значимо больше, а γ – меньше у «оптимальных», чем у «неоптимальных». С увеличением уровня деления и номера генерации относительное количество «неоптимальных» дихотомий увеличивается.

Относительное количество дихотомий различных видов уменьшается в следующей последовательности: открытые – закрытые – нейтральные. У лиц женского пола и пожилого возраста относительное количество открытых дихотомий больше, а закрытых – меньше, чем у лиц мужского пола и второго периода зрелого возраста. Значения медиан D, L и η уменьшаются в направлении: открытые – нейтральные – закрытые дихотомии. Величина FF1 убывает в направлении: нейтральные – открытые – закрытые дихотомии. Значение γ нейтральных и закрытых дихотомий одинаково и значимо больше, чем открытых. Относительное количество нейтральных дихотомий увеличивается, а открытых – уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации. Закрытые дихотомии располагаются на 3-м и 21-м уровнях деления и 1-11-м номерах генераций.

Наибольшее относительное количество дихотомий – 1-го типа, наименьшее – 4-го типа. Относительное количество дихотомий разных типов практически не отличается у лиц различных гендерных групп. Относительное количество дихотомий 1-го и 2-го типов оказалось больше, а 4-го – меньше у лиц второго периода зрелого возраста, чем у лиц пожилого возраста. Величины диаметров D и длин L сегментов уменьшаются в направлении: 1 тип – 2 тип – 3 тип – 4 тип. Значение FF1 уменьшается в направлении: 4 тип – 2 тип – 3 тип – 1 тип. Величина показателя η уменьшается в направлении: 4 тип – 2 тип – 1 тип – 3 тип. Значения γ равны у 1-го и 2-го типов, и меньше, чем у 3-го и 4-го типов дихотомий. Относительное количество дихотомий 1-го типа заметно уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации, 2-го типа – практически не меняется, а 3-го и 4-го типов – существенно возрастает.

4. «Оптимальные» дихотомии ВАРС проводят кровь с меньшим сопротивлением, чем «неоптимальные». Наибольший размер и наиболее

широкая форма площади покрытия характерны для ОДМ, наименьшие значения размера и наиболее узкая форма присуща ОДУ. По величинам этих показателей НДМ и НДУ занимают промежуточное положение. ОДУ обладают максимальной жесткостью. НДУ занимают среднее положение в ряду значений параметров, которые характеризуют опорную функцию дихотомий.

Наибольшей величиной пропускной способности обладают открытые, наименьшей – закрытые и средней – нейтральные дихотомии. Наибольший размер площади покрытия характерен для дихотомий открытого вида, наименьший – закрытого, и среднее положение занимает величина площади покрытия дихотомии нейтрального вида. Наиболее широкая форма области покрытия характерна для нейтральных и закрытых дихотомий, наименее широкая – для открытых дихотомий. Наиболее жесткими являются открытые дихотомии, наименее – нейтральные, среднее значение жесткости имеют закрытые дихотомии.

В порядке убывания величины параметра, количественно характеризующего пропускную способность, дихотомии расположились следующим образом: 2 тип – 1 тип – 4 тип – 3 тип. Наибольшим размером площади покрытия обладает дихотомия 4-го типа, наименьшим – 3-го типа. Значения этого показателя для дихотомий 1-го и 2-го типов занимают средние положения. Наименее широкой является площадь покрытия дихотомий 1-го типа, а наиболее широкой – 4-го типа. Величины исследуемого показателя у дихотомий 2-го и 3-го типов занимают промежуточное положение. Наибольшей величиной жесткости обладают дихотомии 1-го и 2-го типов, наименьшее значение жесткости – у 4-го типа, среднее значение – у дихотомий 3-го типа.

5. «Оптимальные» дихотомии ВАРП проводят кровь с меньшим сопротивлением, чем «неоптимальные». Наибольшим размером площади покрытия обладают дихотомии ОДМ, а наиболее широкая форма – у ОДУ. Наименьшие значения площади покрытия характерны для НДУ, а наиболее узкая форма присуща ОДМ. «Оптимальные» дихотомии менее жесткие, чем «неоптимальные».

Наибольшей величиной пропускной способности обладают открытые, наименьшей – закрытые и средней – нейтральные дихотомии. Наибольший размер площади покрытия у дихотомий открытого вида, наименьший – у закрытого, среднее положение занимает величина площади покрытия дихотомий нейтрального вида. Наиболее широкая форма площади покрытия у нейтральных дихотомий, наименее широкая – у закрытых дихотомий, среднее положение – у открытых дихотомий.

Наиболее жесткими являются закрытые дихотомии, среднее значение жесткости имеют нейтральные, наименьшее – открытые дихотомии.

В порядке убывания величины параметра, количественно характеризующего пропускную способность, дихотомии различных типов расположились следующим образом: 2 тип – 1 тип – 4 тип – 3 тип. Размер площади покрытия в порядке убывания: 2 тип – 1 тип – 4 тип – 3 тип, ширина площади покрытия в порядке убывания: 4 тип – 2 тип – 1 тип – 3 тип. По убыванию величины показателя жесткости, дихотомии разных типов расположились следующим образом: 3 тип – 1 тип – 2 тип – 4 тип.

6. Медианы изучаемых морфометрических показателей дихотомий ВАРС заметно больше, чем дихотомий ВАРП, исключение составляют значения медиан FF1, L и γ : они оказались больше у дихотомий ВАРП, чем ВАРС. Относительное количество «оптимальных» дихотомий у ВАРС больше, чем у ВАРП. У ВАРП уменьшение относительного количества «оптимальных» дихотомий с увеличением номера генерации и уровня деления имеет характер четкой закономерности.

Относительное количество дихотомий открытого вида в составе ВАРС больше, а закрытого и нейтрального – меньше, чем в составе ВАРП. Значения медиан D и η у всех видов дихотомий ВАРС больше, а γ – меньше, чем ВАРП. Величина медианы L меньше у открытых, но больше у нейтральных и закрытых дихотомий ВАРС, чем ВАРП. Значение медианы FF1 открытых и нейтральных дихотомий меньше, а закрытых больше у ВАРС, чем у ВАРП. Хорошо заметна закономерность в расположении дихотомий ВАРП разных видов по номерам генераций и уровням деления, однако это не так явно заметно у ВАРС.

Относительное количество дихотомий 1-го и 3-го типов меньше, а 2-го и 4-го – больше в составе коррозионных препаратов ВАРС, чем ВАРП. На рентгенограммах ВАРС дихотомии 4-го типа обнаружены не были. На рентгенограммах относительное количество дихотомий 1-го типа больше, 2-го – меньше у ВАРС, чем у ВАРП, а 3-го типа – одинаково. Значения медиан D больше у всех типов дихотомий ВАРС, чем ВАРП. Отношения величины медианы L, FF1, η и γ у дихотомий разных типов ВАРС и ВАРП зависят от их типа. Для ВАРП характерно то, что относительное количество дихотомий 1-го типа заметно уменьшается с увеличением уровня деления и номера генерации, 2-го типа – практически не меняется, а 3-го и 4-го типов – существенно возрастает. У ВАРС такая четкая связь отсутствует.

7. Значения показателей, характеризующих пропускную способность «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий ВАРС,

заметно больше, чем у ВАРП. Величина площади покрытия и показателя формы у ОДМ больше, а у ОДУ – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. У «неоптимальных» дихотомий значение площади покрытия больше у ВАРС, чем у ВАРП, тогда как величина показателя формы у ВАРС, меньше, чем у ВАРП. Значения показателя жесткости «оптимальных» и «неоптимальных» дихотомий ВАРС, заметно больше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП.

Величина показателя, количественно характеризующего пропускную способность дихотомий открытого вида ВАРС, меньше, а дихотомий нейтрального и закрытого видов – больше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП. Размер площади покрытия у открытых дихотомий меньше, а у нейтральных и закрытых – больше у ВАРС, чем у ВАРП. Значение показателя формы у открытых и закрытых дихотомий больше, а нейтральных – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. Величина показателя, характеризующего опорную функцию дихотомий открытого вида ВАРС, больше, а дихотомий нейтрального и закрытого видов – меньше, чем у соответствующих дихотомий ВАРП.

Значение показателя, количественно характеризующего пропускную способность дихотомий всех типов, заметно больше у ВАРС, чем у ВАРП. Размер площади покрытия дихотомий 1-го, 3-го и 4-го типов больше, а 2-го – меньше у ВАРС, чем у ВАРП. Величина формы площади покрытия дихотомий 1-го и 2-го типов меньше, а 3-го и 4-го типов дихотомий – больше у ВАРС, чем у ВАРП. Величина показателя, характеризующего опорную функцию дихотомий 1-го, 2-го и 4-го типов, заметно больше, а 3-го – меньше у дихотомий ВАРС, чем у дихотомий ВАРП.

8. В состав структуры ВАРС входит наибольшее количество дихотомий, имеющих максимальные значения показателей, характеризующих распределительную, опорную и пропускную функции, отсутствуют дихотомии, имеющие минимальное значение изучаемых показателей. В составе ВАРП отсутствуют дихотомии, имеющие максимальные значения изучаемых показателей, но присутствует наибольшее количество дихотомий, имеющих минимальные значения показателей, характеризующих распределительную, опорную и пропускную функции. Количество дихотомий, имеющих средние величины изучаемых показателей в составе ВАРС и ВАРП, примерно, одинаково. Дихотомии различных групп, видов и типов обладают таким свойством как органоспецифичность. Морфофункциональные принципы оптимальности не являются универсальными для артериальных русел разных органов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предложенные в ходе исследования новые подходы к изучению морфофункциональных особенностей сосудистых русел следует использовать для дальнейших исследований в этой области специалистам различных направлений теоретической и практической медицины.

2. Установленные морфометрические особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП у лиц разных половых и возрастных групп в норме следует использовать для: а) развития цифровых технологий прижизненной визуализации сосудистого русла; б) создания методов автоматической диагностики нормы его строения; в) численного моделирования, что, в условиях виртуального эксперимента, позволит объективно прогнозировать исход ангиопластических операций.

3. Разработанную технологию генерации геометрических 3d-моделей сосудистого русла на базе морфометрических данных различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП, и созданную на ее базе компьютерную программу «3D-Vasculograph», следует использовать для генерации виртуальных моделей сосудистого дерева.

4. Полученные в результате работы физические и виртуальные 3d-модели следует использовать в качестве наглядных учебных пособий в условиях электронного и дистанционного обучения анатомии человека.

5. Сведения об особенностях различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП следует включить в лекционный материал медицинских вузов, учебные пособия, в том числе, и виртуальные, по дисциплинам «анатомия человека», «патологическая анатомия», «кардиология», «нефрология» и «судебная медицина».

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

Монографии, брошюры, учебники и учебные пособия

1. Аналитическая и трехмерная (3D) анатомия сосудистого русла почки человека: монография / О.К. Зенин, Э.С. Кафаров, Ю.Н. Косников, И.Х. Байсултанов, А.В. Дмитриев, Х.М. Батаев – Грозный: Изд-во Чеченского гос. ун-та, 2021. – 218 с.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при МОН ЛНР для публикации основных результатов диссертационных исследований

2. Дмитриев, А. В. Математическое моделирование кровотока / А. В. Дмитриев, Я. А. Лысых, О. К. Зенин // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 3-10.
3. Дмитриев, А. В. Математические модели структуры сосудистого русла тела человека (обзор литературы) / А. В. Дмитриев, Я. А. Лысых, О. К. Зенин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2019. – № 2(50). – С. 78-88.
4. Зенин, О. К. Морфометрическая характеристика артериального русла головного мозга человека в соответствии с дихотомической моделью его строения / О. К. Зенин, А. В. Дмитриев, Ю. В. Довгялло // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2019. – № 4(52). – С. 111-118.
5. Морфометрическая характеристика артериального русла головного мозга человека в соответствии с сегментарной моделью его строения / О. К. Зенин, А. В. Дмитриев, Ю. В. Довгялло, М. А. Гаврюшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2020. – № 1 (53). – С. 76-82.
6. Новая полимерная рентгенконтрастная композиция для изготовления коррозионных анатомических препаратов / Э. С. Кафаров, А. В. Дмитриев, О. К. Зенин [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2021. – № 4. – С. 121-125.
7. Новый способ эндоваскулярной имплантации эндокардиального электрода / О.К. Зенин, О.С. Антонюк, А.С. Кузнецов, А.Н. Митрошин, Н.А. Кузнецов, А.В. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2021. – № 1 (57). – С. 42-47.
8. Особенности гемодинамики в структурно-различных внутриорганных артериальных бифуркациях сердца человека, выявляемые с помощью численного моделирования / О. К. Зенин, В. С. Оверко, А. В. Дмитриев [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture — 2021. — Т.13 — № 2 — С. 11-31.
9. Морфометрический анализ применимости уравнений Murray С. D. для численного моделирования сосудистых дихотомий почки человека / О. К. Зенин, И. С. Милтых, А.В. Дмитриев [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture — 2021. — Т.13 — № 3 — С. 170-192.
10. Дмитриев, А. В. Количественная анатомия структурно-различных дихотомий внутриоргального артериального сердца человека

/ А.В. Дмитриев // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2021. – №3. – С. 56-62.

11. Дмитриев, А. В. Особенности дихотомий различных морфофункциональных групп внутриоргального артериального русла сердца человека / А.В. Дмитриев // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2022. – №1. – С. 48-56
12. Компьютерная программа «3D-Vasculograph» для моделирования геометрии внутриоргального сосудистого русла внутренних органов человека / О.К. Зенин, Ю.Н. Косников, О.В. Никитин, Э.С. Кафаров, А.В. Дмитриев, И.С. Милтых // Медицинская наука и образование Урала. – 2022. – Т. 22. – №1. – С. 75-77.

Статьи в журналах, сборниках научных трудов и материалов конференций

13. Компьютерное моделирование течения крови в структурно-различных артериальных дихотомиях / В. С. Оверко, О. К. Зенин, А. В. Дмитриев [и др.] // Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2017): сб. статей VI Международной научной конференции. - Пенза, 14–15 сентября 2017 года. – С. 55-58.
14. Потапов, В. В. Особенности течения крови в структурно-различных артериальных дихотомиях / В. В. Потапов, О. К. Зенин, А. В. Дмитриев // Университетская клиника. – 2017. – № 4-2(25). – С. 151-154.
15. Дмитриев, А. В. Математическая морфология русла артерий сердца человека / А. В. Дмитриев, О. К. Зенин, И. В. Бочкарева // Морфология. – 2018. – Т. 153. – № 3. – С. 97-98.
16. Устройство для исследования биомеханических свойств полых органов / А. В. Дмитриев, О. К. Зенин, А. В. Задера, Д. А. Степанов // Морфология. – 2018. – Т. 153. – № 3. – С. 98.
17. Применение методов геометрического моделирования для расчета объема сегмента органа, который кровоснабжается заданным артериальным руслом / Ю.Н. Косников, О.К. Зенин, Э.С. Кафаров, А.В. Дмитриев, О.В. Никитин, И.У. Вагабов // Современная медицина: новые подходы и актуальные исследования: сб. материалов международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию юбилею Медицинского института ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет». – Грозный, 22 октября 2020 г. – С. 449-453.
18. Влияние формы различных по структуре типов артериальных дихотомий почки на их биомеханические свойства / Э. С. Кафаров, А. В. Дмитриев, О. К. Зенин [и др.] // Морфология. – 2020. – Т. 157. – № 2-3. – С. 96.

19. Математическая морфология артериального русла почки человека / Э. С. Кафаров, А. В. Дмитриев, О. К. Зенин [и др.] // Морфология. - 2020. - Т. 157. - № 2-3. - С. 96.

20. Влияние структуры основных типов артериальных дихотомий на их биомеханические свойства / Э. С. Кафаров, А. В. Дмитриев, О. К. Зенин [и др.] // Морфология. - 2020. - Т. 157. - № 2-3. - С. 96.

21. Дмитриев, А.В. Принцип оптимальности в морфофункциональной организации артериального русла сердца человека / А.В. Дмитриев, О.К. Зенин // Морфология. - 2020. - Т. 155. - № 2. - С. 101.

22. Обзор возможности применения уравнений С.Д. Мугау для моделирования сосудистых дихотомий почек человека / И.С. Милтых, А.В. Дмитриев, О.О. Юрченко, О.К. Зенин // Университетская клиника: материалы V Международного медицинского форума Донбасса. — 2021. — №S1. — С. 311.

23. Исследование гемодинамики в структурно-различных артериальных дихотомиях сердца / И. С. Милтых, А. В. Дмитриев, О. О. Юрченко, О. К. Зенин // Университетская клиника. — № 3 (40). — 2021. — С. 178-179.

24. Морфометрическая характеристика некоторых вариантов дихотомий внутриорганных артериального русла сердца человека / А.В. Дмитриев, О.К. Зенин, В.А. Мишин, И.С. Милтых // В сборнике: Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2022). Сборник статей по материалам VIII Международной научной конференции. - Пенза, 2022. - С. 10-14.

Патенты

25. Патент № 145561 України, МПК A01N 1/02 (2006.01). Полімерна рентгеноконтрастна композиція для виготовлення корозійних анатомічних препаратів: № u 2020 03471: заявл. 09.06.2020: опубл. 28.12.2020: Бюл. № 24 / Кафаров Е.С., Дмитрієв А.В., Зенін О.К., Везірханов А.З., Вагабов І.У., Мілтих І.С. — 6 с.

26. Патент № 2727881 РФ, МПК A61M 25/01, A61N 1/05 (2006.01). Способ эндоваскулярной имплантации эндокардиального электрода: № 2019115230: заявл. 2019.05.17: опубл. 2020.07.24: Бюл. № 21 / Зенин О.К., Антонюк О.С., Кузнецов А.С., Митрошин А.Н., Кузнецов Н.А., Дмитриев А.В. — 5 с.

АННОТАЦИЯ

Дмитриев А.В. Морфофункциональные особенности сосудистых дихотомий внутренних органов человека (анатомо-экспериментальное исследование). – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук по специальности 14.03.01 – Анатомия человека (медицинские науки). – ГУ ЛНР «ЛГМУ ИМ.СВЯТИТЕЛЯ ЛУКИ». – Луганск, 2023.

Диссертация посвящена изучению морфометрических и функциональных особенностей различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП у лиц разных половых и возрастных групп в норме. Установленные морфометрические особенности различных морфофункциональных групп, видов и типов дихотомий ВАРС и ВАРП у лиц разных половых и возрастных групп в норме будут способствовать развитию цифровых технологий прижизненной визуализации сосудистого русла, открывать новые возможности для ранней диагностики его патологии.

Ключевые слова: дихотомии, внутриорганные артериальное русло, сердце, почки, численное моделирование.

ABSTRACT

Dmitriev A.V. Morphofunctional features of vascular dichotomies of human internal organs (anatomical experimental research). - Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences in 14.03.01 - Human anatomy (medical sciences). - SAINT LUKA LSMU. - Lugansk, 2023.

The dissertation is devoted to the study of morphometric and functional features of various morphofunctional groups, types and types of dichotomies of IABH and IABK in people of different gender and age groups in the norm. The established morphometric features of various morphofunctional groups, types and types of IABH and IABK dichotomies in people of different gender and age groups will normally contribute to the development of digital technologies for intravital visualization of the vascular bed, open up new opportunities for early diagnosis of its pathology.

Key words: dichotomies, intraorganic arterial bed, heart, kidneys, numerical modeling.

Список сокращений и условных обозначений

ВАРП	–	внутриорганный артериальный русло
ВАРС	–	внутриорганный артериальный русло сердца
ИБС	–	ишемическая болезнь сердца
НДМ	–	«неоптимальная» дихотомия (критерий Murray C.D.)
НДУ	–	«неоптимальная» дихотомия (критерий Ulings H.B.M.)
ОДМ	–	«оптимальная» дихотомия (критерий Murray C.D.)
ОДУ	–	«оптимальная» дихотомия (критерий Ulings H.B.M.)
СКД	–	система координат дихотомии
СКО	–	система координат органа
СКС	–	система координат сегмента
D	–	внутренний диаметр материнского артериального сегмента (мм)
dmax	–	внутренний диаметр дочернего артериального сегмента с большим диаметром (мм)
dmin	–	внутренний диаметр дочернего артериального сегмента с меньшим диаметром (мм)
FFI	–	фактор формы (length-to-radius ratio) - отношение длины сосуда к его радиусу: L/r
Gr	–	номер генерации – порядковый номер вновь образовавшейся группы артерий, к которой относится данный сегмент. При этом под «артерией» подразумевали линейную конструкцию, состоящую из дочерних сегментов с большим внутренним диаметром
i	–	уровень деления – вновь образовавшийся ряд артериальных сегментов
L	–	длина артериального сегмента – кратчайшее расстояние между двумя ближайшими точками ветвления (мм)
η	–	(area ratio) – коэффициент ветвления: $\eta = (d_{max}^2 + d_{min}^2)/D^2$
γ	–	(asymmetry ratio) – коэффициент асимметрии дочерних ветвей: $\gamma = (d_{min}/d_{max})^2$

Подписано в печать 27.02.2023 г.

Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Печать офсетная. Усл. печ. лист 2,0.

Тираж 100 экз. Зак. № 118.

Цена договорная.

Отпечатано в

типографии издательства «Шико»

на цифровом издательском комплексе Rank Xerox DocuTech 135.

91490, г. Луганск, пос. Тепличное, ул. Совхозная, д. 4а, кв. 6,

тел. 050-874-16-76.