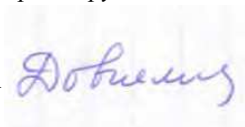


МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ НЕОТЛОЖНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ
ХИРУРГИИ ИМ. В.К. ГУСАКА

На правах рукописи

ДОВГЯЛЛО ЮЛИЯ ВИКТОРОВНА



**МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ АРТЕРИАЛЬНОГО
РУСЛА БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

Специальность 14.03.01 – Анатомия человека
(медицинские науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Донецк – 2022

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

Официальные оппоненты: Дыдыкин Сергей Сергеевич

доктор медицинских наук, профессор, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), заведующий кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии (г. Москва, РФ)

Кафаров Эдгар Сабирович

доктор медицинских наук, профессор, Медицинский институт ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова», заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией (г. Грозный, РФ)

Фоминых Татьяна Аркадьевна

доктор медицинских наук, профессор, Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», заведующая кафедрой судебной медицины (г. Симферополь, РФ)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (г. Астрахань, РФ)

Защита диссертации состоится «21» октября 2022 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 001.005.01 в ГУ ЛНР «ЛГМУ ИМЕНИ СВЯТИТЕЛЯ ЛУКИ» по адресу: 91045, ЛНР, г. Луганск, кв. 50-летия Обороны Луганска, дом 1г.

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

Автореферат разослан «16» сентября 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 001.005.01
кандидат медицинских наук, доцент

И.А. Белик

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Ишемические поражения головного мозга занимают одно из ведущих мест в структуре общей заболеваемости и являются одной из основных причин инвалидизации и смертности населения (Стаховская Л.В. и соавт., 2013; Гусев Е.И., 2015; Шамалов Н.А. и соавт., 2019). От инсультов во всем мире умирает больше людей, чем от всех форм рака вместе взятых (Титов Б.В., 2015; Карпова Е.Н. и соавт., 2015; Гончар И.А. и соавт., 2015; Gray B.D., 2018).

Совершенствование и широкое внедрение методов прижизненной визуализации сосудистого русла требует новых данных относительно индивидуальных вариантов строения артерий мозга, а также подробного изучения таких вариантов строения поверхностной артериальной сети, которые в дальнейшем могут стать одним из факторов риска развития различного рода нарушений мозгового кровообращения (Ламонов Д.М., 2009; Атаниязов М.К., 2016; Хаджибаев А.М. и соавт., 2016; Литвак С.О., 2018). Кроме того, неоднородность распределения поверхностных артерий позволяет думать о том, что при незначительном изменении кровотока в той или иной области, могут возникать транзиторные ишемические состояния, приводящие к нарушению перфузии и, как следствие, к ухудшению мозговой функции (Чернявский В.В. и соавт., 2009; Зиновьева Г.А. и соавт., 2012; Papantchev V., 2013; Трушель Н.А., 2014; Каплан М.Л. и соавт., 2015; Davison M.A. и соавт., 2018). Поэтому подробное изучение пространственной геометрии поверхностных мозговых артерий, определение морфометрических эталонов нормы их строения является важнейшей задачей современной медицинской науки.

Известно, что кровоснабжение структур головного мозга осуществляется посредством крупных артериальных стволов, отходящих от внутренней сонной или позвоночной артерий, пиальной артериальной сети, составляющей поверхностное русло мозга, и внутримозговых сосудов (Kido D.K. и соавт., 1983; Привес М.Г. и соавт., 2010; Синельников, Р.Д., 2010). Каждая группа сосудов имеет индивидуальные морфологические и функциональные особенности и отличается характером взаимоотношения их друг с другом, а также с окружающими структурными компонентами тканей (Рабинович Р.М., 2008; Ермолаева И.Е., 2014). Подробное изучение морфометрических особенностей поверхностного артериального русла конвексимальной поверхности больших полушарий (полушарий большого мозга), его пространственной геометрии позволит получить полное представление о вариантах индивидуальной изменчивости и возможных вариантах

нормы его строения (Гайворонский И.В., Байбаков С.Е., 2008; Воронцова И.Л. и соавт., 2014; Вовк Ю.Н., Вовк О.Ю., 2016). Уточнения также требуют величины внутренних диаметров артериальных стволов, образующих артериальное кольцо основания мозга (Самотесов П.А., 2013; Тимофеев В.Е., 2019).

Степень разработанности проблемы исследования. Данные литературы относительно вариантной анатомии магистральных артерий головного мозга несколько многочисленны, настолько и разноречивы. Описание возможных вариантов индивидуальной анатомической изменчивости мозговых артерий ограничивается лишь артериальным кольцом большого мозга, в то время как артериальное русло древовидной формы, находящееся дистальнее и обеспечивающее основной приток крови к структурам головного мозга, практически не изучено исследователями (Дьяченко А.П., 1992; Гладилин Ю.А., 2004; Пармаг Н. и соавт., 2005; Горбунов А.В., 2006; Сенько И.В. и соавт., 2012; Немировская Т.А. и соавт., 2013; Горбунов А.В., 2013; Чаплыгина Е.В. и соавт., 2015; Павлов А.В. и соавт., 2017). Даже незначительные отклонения от нормального строения артерий этого звена могут быть причиной и предпосылкой развития острой и хронической цереброваскулярной патологии. В доступной литературе обнаружены довольно подробные сведения о возможных вариантах хода, внутреннем диаметре, толщине стенки и других морфометрических и топографо-анатомических характеристиках внутренней сонной артерии, однако удалось обнаружить лишь единичные данные относительно величин внутренних диаметров артериальных стволов, образующих артериальное кольцо большого мозга (Железкова А.А. и соавт., 2013; Каплан М.Л. и соавт., 2015; Усов В.Ю. и соавт., 2019).

Степень васкуляризации различных отделов головного мозга зависит от многих факторов, в том числе, и от функциональной нагрузки: и тому или иному сосудистому региону присущи определенные характеристики, которые соответствуют конкретному строению и условиям функционирования его частей. В этом плане большой интерес представляет изучение специфики организации поверхностной артериальной сети различных по функциональной значимости участков коры больших полушарий головного мозга (полушарий большого мозга) человека. Ряд исследований, проведенных в данном направлении, касается лишь изучения ангиоархитектоники внутрикорковых сосудов отдельных цитоархитектонических полей коры, а также изучения существующей неоднородности в строении пиальной артериальной сети (Кононова Е.П. и соавт., 1949; Чайковская И.И., 1960; Замбрийский И.А. и соавт., 1972; Вартанян Л.В., 1985).

Последнее исследование датируется прошлым веком, а современные подходы к изучению распространенности элементов поверхностного артериального русла больших полушарий требуют новых данных в этой области (Капустина Е.П., 1952; Кушакотская Л.И., 1972). Остается невыясненной степень билатеральной асимметрии поверхностного сосудистого русла полушарий в целом, а также отдельных его участков. Нет систематизированных данных о развитии поверхностной артериальной сети в позднем онтогенезе (второй период зрелого возраста и пожилого возраста). Между тем такие сведения представляют большой интерес, поскольку отклонения от нормального строения артериального дерева могут стать предпосылкой развития острых и хронических нарушений мозгового кровообращения.

В литературе не удалось найти сведений относительно наличия или отсутствия зависимости формы артериальной геометрии поверхностной артериальной сети от такого фактора, как наружный диаметр магистральных артерий (внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой), образующих конвекситальное артериальное дерево.

Комплексное морфофункциональное исследование артериального русла головного мозга в целом, а не только артериального круга основания мозга, позволит обосновать морфометрические нормы его структуры и установить такие варианты строения, которые позволяют судить об адекватности кровоснабжения того или иного участка больших полушарий головного мозга.

Объект исследования: магистральные артериальные стволы (внутренняя сонная артерия, средняя мозговая артерия, задняя мозговая артерия) и поверхностное артериальное русло конвекситальной поверхности больших полушарий головного мозга человека.

Предмет исследования: количественная анатомия и параметры мультифрактального анализа поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий головного мозга человека в норме.

Цель исследования: выявить закономерности и локальные особенности структурной организации пространственной геометрии конвекситальной артериальной сети полушарий головного мозга человека и обосновать морфометрические критерии нормы параметров мультифрактального анализа у лиц разного пола первого периода зрелого возраста, второго периода зрелого возраста, пожилого возраста.

Задачи исследования:

1. Установить частоту встречаемости того или иного варианта и феномена строения артериального кольца большого мозга в популяции у лиц разного пола первого периода зрелого возраста, второго периода

зрелого возраста, пожилого возраста в норме.

2. Установить морфометрические характеристики (величина наружного диаметра, величина внутреннего диаметра) магистральных артерий, образующих конвекситальную артериальную сеть больших полушарий (внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой) контрлатеральных сторон у лиц разного пола первого периода зрелого возраста, второго периода зрелого возраста, пожилого возраста в норме.

3. Установить количественный эталон нормы величины фрактального индекса поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

4. Установить наличие линейных корреляционных связей между величинами фрактального индекса поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий и наружным диаметром магистральных артерий, образующих поверхностную артериальную сеть ипсилатеральной стороны, в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

5. Установить количественный эталон нормы величины индекса лакунарности поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

6. Установить наличие линейных корреляционных связей между величинами индекса лакунарности поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий и наружным диаметром магистральных артерий, образующих поверхностную артериальную сеть, ипсилатеральной стороны в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

7. Установить наличие и количественную характеристику билатеральной и ипсилатеральной асимметрии пространственной геометрии поверхностного артериального русла конвекситальной поверхности больших полушарий в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

8. Обосновать применение и установить количественный эталон нормы величин фрактального и лакунарного векторов асимметрии, фрактального и лакунарного модулей асимметрии, фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии поверхностного артериального русла полушарий головного мозга в зависимости от пола, возрастной группы и доли полушария.

Научная новизна исследования. Впервые на достаточном по объему фактическом материале проведено комплексное исследование артерий основания мозга, а также поверхностное артериальное русло

конвексительной поверхности больших полушарий головного мозга человека, включающее в себя мультифрактальный анализ. Определены показатели фрактального индекса, индекса лакунарности, которые могут быть использованы в качестве эталона нормы у лиц разного пола и разных возрастных групп. Установлено наличие линейных корреляционных связей между величинами наружных диаметров магистральных артерий, формирующих поверхностное артериальное русло конвексительной поверхности больших полушарий, и величинами показателей фрактального индекса и индекса лакунарности различных отделов русла у лиц разного пола и разных возрастных групп. Построены уравнения регрессии, которые позволяют эмпирически моделировать изменения пространственной геометрии поверхностного артериального русла полушарий головного мозга в зависимости от величины наружного диаметра магистральной артерии. Установлены корреляционные связи между величинами показателей фрактального индекса и индекса лакунарности и возрастом обследуемых. Предложена методика определения индекса лакунарности на бинаризованных изображениях поверхностного артериального русла полушарий головного мозга. Для оценки билатеральной асимметрии поверхностного артериального русла предложено использование фрактального и лакунарного векторов асимметрии, фрактального и лакунарного модулей асимметрии, фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии в качестве параметров, оценивающих соотношение элементов артериального русла на различных участках конвексительной поверхности больших полушарий.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Предложенные научно обоснованные количественные закономерности строения поверхностного артериального русла конвексительной поверхности больших полушарий могут быть использованы для оценки адекватности кровоснабжения различных отделов мозга у лиц разного пола и разных возрастных групп, рисков развития сосудистых катастроф и хронических нарушений мозгового кровообращения, в том числе, и без участия врача-диагноста. Полученные данные могут служить основой для математического моделирования структуры поверхностного артериального русла мозга. Использование количественного эталона нормы фрактального индекса и индекса лакунарности поверхностного артериального русла в будущем, в клинических условиях, после соответствующих доработок позволит в автоматическом режиме диагностировать его патологию, прогнозировать объем и площадь кровоснабжаемого участка полушария, судить об адекватности кровоснабжения. Также возможно создание на базе морфометрического

эталоны математической модели, которая в условиях виртуального эксперимента позволит объективно прогнозировать исход ангиопластических операций и эффективно планировать мероприятия по реконструкции патологически измененного поверхностного конвексимального артериального русла. Данные относительно особенностей пространственной артериальной геометрии больших полушарий могут быть использованы при составлении анатомических атласов, иллюстрирующих особенности кровоснабжения полушарий головного мозга.

Методология и методы исследования:

– морфометрические методы, в том числе:

а) определение наружного диаметра магистральных артерий, формирующих поверхностную артериальную сеть конвексимальной поверхности больших полушарий (внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой артерий обеих сторон), на нативных препаратах головного мозга человека практически здоровых людей обоего пола первого периода зрелого возраста, второго периода зрелого возраста и пожилого возраста;

б) определение внутреннего диаметра магистральных артерий, участвующих в образовании артериального кольца мозга (внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой артерий обеих сторон) на селективных ангиограммах внутренней сонной артерии и позвоночной артерии;

– фотографирование и цифровая обработка полученных снимков: для определения абсолютных размеров исследуемых структур, наложения морфометрической сетки и бинаризации изображений;

– мультифрактальный анализ: определение величин фрактального индекса и индекса лакунарности поверхностного артериального русла конвексимальной поверхности больших полушарий головного мозга человека методом box counting на цифровых и бинаризованных изображениях;

– статистические методы: статистическая оценка полученных морфометрических данных, данных мультифрактального анализа, в том числе:

а) описательная статистика – для статистического оценивания диапазона изменчивости значений изучаемой величины;

б) определение статистического закона распределения значений изучаемых величин – для выбора параметрических или непараметрических критериев оценки значимости отличий и наличия и силы корреляционной связи между изучаемыми величинами;

в) корреляционный и регрессионный анализ – для установления

закономерностей изменчивости и статистической связи между изучаемыми величинами;

г) расчет доверительных интервалов – для определения критериев нормы исследуемых величин;

в) оценивание значимости установленных отличий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Пространственная геометрия поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга зависит от ряда факторов, таких как: функциональная нагрузка того или иного участка коры больших полушарий, возрастная группа, пол, диаметр магистральной артерии, образующей соответствующий участок поверхностной артериальной сети.

2. Мультифрактальный анализ является адекватным и эффективным методом оценки пространственного распределения артерий на поверхности той или иной доли больших полушарий для определения риска развития острой и хронической сосудистой патологии головного мозга.

3. В норме имеется контрлатеральная и ипсилатеральная асимметрия поверхностной артериальной геометрии. Парные соотношения величин показателей фрактального индекса и индекса лакунарности поверхностного артериального русла разных долей больших полушарий могут служить показателем адекватности поверхностного мозгового кровообращения.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов исследования определяется достаточным объемом и корректным формированием изучаемых групп (220 нативных препарата головного мозга людей первого периода зрелого возраста – 74 препарата, второго периода зрелого возраста – 74 препарата, пожилого возраста – 74 препарата, из них 111 мужчин и 111 женщин, 150 наборов селективных ангиограмм общей сонной артерии и позвоночной артерии людей первого периода зрелого возраста – 50 наборов, второго периода зрелого возраста – 50 наборов, пожилого возраста – 50 наборов, из них 75 мужчин и 7 женщин). современных методов исследования, адекватностью математических методов обработки данных поставленным задачам. Все этапы проведения исследования выполнены с использованием стандартизированного подхода при соблюдении биоэтических норм. Исследования были проведены на аппаратуре, которая прошла метрологический контроль, что подтверждается актом метрологической экспертизы. Проверка первичной документации свидетельствует о полной достоверности всех материалов, на основании которых выполнена диссертационная работа.

Изложенные в диссертации материалы получены в результате исследования и обработки достоверных фактов. Поэтому при сверке обобщенных данных с фактическими материалами обнаружено их полное соответствие (получен соответствующий акт). Сформированные выводы и практические рекомендации соответствуют поставленным задачам и вытекают из результатов исследования. Все выводы и рекомендации опубликованы в рецензируемых периодических изданиях, критические замечания отсутствуют.

Основные положения работы были представлены на первом Дальневосточном Международном медицинском конгрессе (г. Хабаровск, Российская Федерация, октябрь 2020 г.), Всероссийской конференции с международным участием «Современные подходы в клинико-морфологической диагностике заболеваний человека» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 12 февраля 2021 г.), II Международной научно-практической конференции «От фундаментальных знаний к «тонкому владению скальпелем», посвященной памяти профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого (г. Курск, Российская Федерация, 23-24 сентября 2021 г.), втором Дальневосточном Международном медицинском конгрессе (г. Хабаровск, Российская Федерация, 1-15 октября 2021 г.), Международной конференции «Наука побеждать...болезнь» (г. Донецк, ДНР, ноябрь 2021 г.), 12-й Международной научно-практической интернет-конференции «Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты» (Чита-Семей-Донецк, 23-26 ноября 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Медицинская наука в эру цифровой трансформации» (г. Курс, Российская Федерация, 10 декабря 2021 г.), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современная патология: опыт, проблемы, перспективы» (г. Самара, Российская Федерация, декабрь 2021 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 печатные работы, из которых 13 статей в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Луганской Народной Республики для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук; 5 статей в журналах, сборниках научных трудов и материалов конференций; 4 тезиса и доклада на конференциях и форумах, 8 работ опубликованы самостоятельно.

Структура диссертации. Диссертация изложена на русском языке, состоит из содержания, вступления, десяти разделов, анализа и обобщения результатов исследования, заключения, практических

рекомендаций, списка литературы. Текст изложен на 407 страницах компьютерного текста, иллюстрирован 86 таблицами и 92 рисунками, список использованной литературы включает 298 источников (из них 145 – латиницей).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. В соответствии с целью и задачами работы были исследованы магистральные артерии основания мозга и поверхностное артериальное русло конвексимальной поверхности полушарий головного мозга у 222 людей, погибших от причин, не связанных с заболеваниями сосудов или нервной системы. Из них, первого периода зрелого возраста – 74 человека, второго периода зрелого возраста – 74 человека и пожилого возраста – 74 человека (в каждой возрастной группе 37 мужчин и 37 женщин). Морфометрия и фотосъемка артерий основания мозга и поверхностного конвексимального артериального русла проводились в ходе судебно-медицинского исследования трупа в присутствии врача – судебно-медицинского эксперта. В процессе работы заполнялся бланк морфометрического исследования, разработанный автором в соответствии с задачами работы. Использовалась возрастная периодизация, принятая на симпозиуме Академии педагогических наук СССР (1965).

Определялся наружный диаметр магистральных артерий основания головного мозга: внутренней сонной артерии (ВСА), средней мозговой артерии (СМА) и задней мозговой артерии (ЗМА) контрлатеральных сторон у лиц разного пола и разных возрастных групп. Наружный диаметр определялся при помощи штангенциркуля «Калиброн» ШШЦ-1 с механической и электронной шкалой с точностью измерения до 0,01 мм (заводской номер 040137).

Полученные значения (мм) фиксировались и заносились в бланк морфометрических исследований. Наружный диаметр внутренней сонной артерии определялся после отделения головного мозга от твердой мозговой оболочки и извлечения его из полости черепа в мозговой ее части, в сегменте СЗ. Наружный диаметр средней мозговой артерии определялся в сегменте М1, сразу же после отхождения ее от внутренней сонной артерии и до вхождения в латеральную борозду верхнелатеральной поверхности полушария. Наружный диаметр задней мозговой артерии определялся в сегменте Р1 сразу после отхождения ее от базилярной артерии и до соединения задней мозговой артерии с задней соединительной артерией. Измерение наружного диаметра каждой артерии проводилось троекратно, после чего вычислялось

среднее значение, которое заносилось в бланк.

Также были исследованы морфометрические характеристики, а именно, – внутренний диаметр внутренней сонной артерии, средней мозговой артерии и задней мозговой артерии на 150 наборах селективных ангиограмм людей, не имеющих патологии сосудистого русла в возрасте от 26 до 73 лет (три возрастные группы: 1-го периода зрелого возраста – 50, из них 25 мужчин и 25 женщин, 2-го периода зрелого возраста – 50, из них 25 мужчин и 25 женщин, пожилого возраста – 50, из них 25 мужчин и 25 женщин).

Измерение внутренних диаметров внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой артерий осуществлялось при помощи лицензионной компьютерной программы Quantcor на ангиографическом аппарате «Infinitix VC-i» (заводской номер E6B1392019) фирмы Toshiba, в соответствии с прилагаемыми к аппарату инструкциями (Рисунок 1).

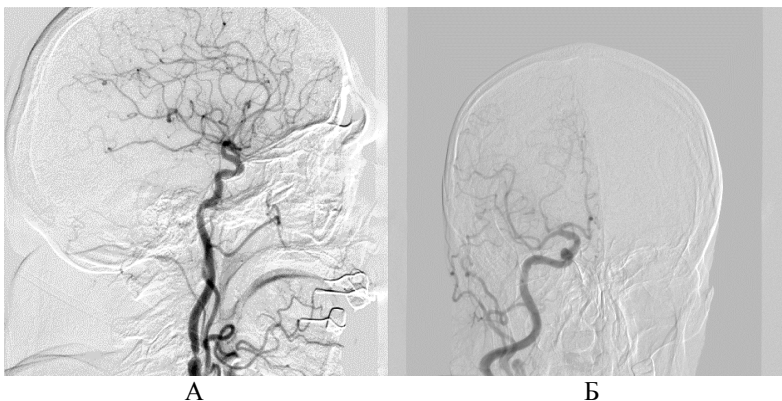


Рисунок 1 – Селективные ангиограммы общей сонной артерии женщины 36 лет (А), мужчины 57 лет (Б)

Оценивались ангиограммы пациентов, которые проходили обследование в период с июня 2014 года по октябрь 2022 года на базе отделения рентгенэндоваскулярной хирургии Института неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака.

Были определены и статистически обработаны количественные характеристики показателя фрактального индекса поверхностной артериальной сети функционально-различных участков конвексительной поверхности полушарий головного мозга у лиц разного пола и разных возрастных групп.

Расчет фрактального индекса осуществлялся согласно методике box-counting и включал наложение морфометрической сетки на

изображение конвекситальной артериальной сети и подсчет количества ячеек стандартного размера, содержащих элементы артериального русла (Рисунок 2).

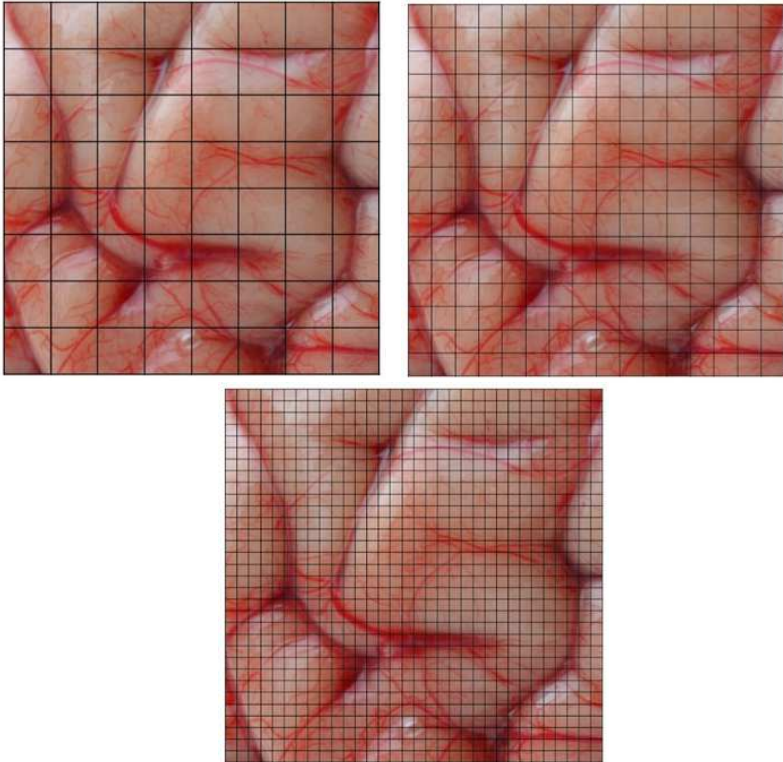


Рисунок 2 – Этапы расчета фрактального индекса поверхностного артериального русла путем наложения морфометрической сетки согласно методике box-counting

Также определялись количественные значения индекса лакунарности конвекситального артериального русла полушарий в соответствии с методикой box-counting. Рассчитывали меру лакунарности для каждого этапа по формуле:

$$L = \left(\frac{N}{N_0} \right)^{\frac{1}{D-1}}, \quad (1)$$

где L – мера лакунарности для каждого этапа,

σ – среднее квадратичное отклонение единичных элементов сосудистой сети в ячейках заданного размера,

μ – среднее значение единичных элементов сосудистой сети в ячейках заданного размера.

При этом, среднее значение количества элементов артериальной сети определялось на бинаризованных изображениях поверхностного конвексительного артериального русла полушарий мозга (Рисунок 3).

Данные заносились в таблицы и использовались для дальнейших расчетов.

В соответствии с целью и седьмой задачей работы оценивалась асимметричность пространственной геометрии поверхностного артериального русла конвексительной поверхности полушарий, для чего были предложены следующие коэффициенты:

1. Фрактальный и лакунарный векторы асимметрии, которые представляют собой разницу значений фрактального индекса либо индекса лакунарности поверхностного артериального русла верхнелатеральной поверхности левого и правого полушарий. Фрактальный вектор асимметрии имел положительные значения, если величина фрактального индекса оказывалась справа больше, чем слева, и наоборот. Лакунарный вектор асимметрии имел положительные значения, если величина индекса лакунарности оказывалась слева больше, чем справа, и наоборот.

2. Фрактальный и лакунарный модули асимметрии, которые численно характеризуют величину билатеральной асимметрии поверхностного артериального русла. Фрактальный модуль асимметрии, определялся по формуле (2):

$$\Phi MA = \sqrt{(\Phi I_{\text{л}} - \Phi I_{\text{пр}})^2}, \quad (2)$$

где ΦMA – фрактальный модуль асимметрии,

$\Phi I_{\text{л}}$ – значение величины фрактального индекса в левом полушарии,

$\Phi I_{\text{пр}}$ – значение величины фрактального индекса в правом полушарии.

Лакунарный модуль асимметрии определяется по следующей формуле (3):

$$LMA = \sqrt{(LI_{\text{л}} - LI_{\text{пр}})^2}, \quad (3)$$

где LMA – лакунарный модуль асимметрии,

$ИЛ_{\text{л}}$ – значение величины индекса лакуарности в левом полушарии,

$ИЛ_{\text{пр}}$ – значение величины индекса лакуарности в правом полушарии.

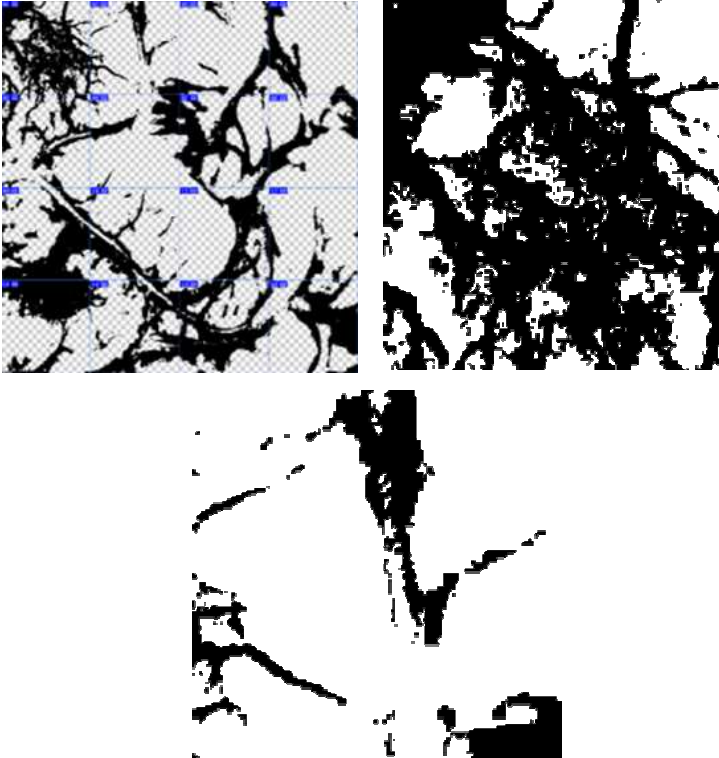


Рисунок 3 – Этапы расчета индекса лакуарности поверхностного артериального русла путем наложения морфометрической сетки на бинаризированное изображение согласно методике box-counting

3. Фрактальный и лакуарный коэффициенты асимметрии, которые количественно оценивают разброс величин фрактального и лакуарного модулей асимметрии относительно среднего значения или медианы. Фрактальный и лакуарный коэффициенты асимметрии рассчитывались как отношение фрактального или лакуарного модуля асимметрии и среднего значения фрактального индекса либо индекса

лакунарности. Асимметричность объектов оценивалась как низкая при значениях коэффициента асимметрии менее 10%.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась при помощи компьютерной программы Statistica 10 и пакета прикладных статистических программ Statmed.

Результаты собственных исследований и их обсуждение.

Визуальная оценка артериального круга основания мозга (круга Виллизия) позволила установить, что типичное строение артерий основания мозга оказалось чуть более чем в половине случаев (121 случай, что составляет 54,5%, из которых 52 женщины и 69 мужчин). Такая частота встречаемости типичного строения круга Виллизия несколько превышает данные других авторов, что может быть связано с этнотерриториальными особенностями строения артерий основания мозга. Различные феномены и варианты строения и топографии отдельных артерий или всего круга в целом (согласно терминологии, предложенной А.В. Горбуновым (2007)) были обнаружены в 45,5% (101 случай).

Из всех изученных вариантов строения артерий, образующих круг Виллизия, наибольшее практическое значение имеет его разомкнутость.

Разомкнутость переднего отдела круга была связана со следующими причинами: в двух случаях наблюдалась аплазия передней соединительной артерии (ПСА, здесь и далее по тексту) (1,8%), в двух случаях – односторонняя аплазия передней мозговой артерии (ПМА, здесь и далее по тексту) (1,8%).

Разомкнутость заднего отдела артериального кольца большого мозга (задняя соединительная или задняя мозговая артерии) была обнаружена в 23,4%. В 15,85% эта разомкнутость была связана с односторонней аплазией задней соединительной артерии (ЗСА, здесь и далее по тексту), в 6,3% – с двусторонней аплазией ЗСА. В 1,8% случаев отмечалась односторонняя аплазия ЗМА в сочетании с односторонней гипоплазией ЗСА.

Изучение величин наружного диаметра ВСА, СМА и ЗМА позволило установить, что медиана величин наружного диаметра правой ВСА составила $4,57 \pm 0,05$ мм ($M \pm m$, здесь и далее по тексту), левой ВСА – $4,59 \pm 0,05$ мм. Отличия между величинами наружного диаметра правой и левой ВСА оказались статистически не значимы ($p^* = 0,918$, где p^* – уровень достоверности отличий при коэффициенте Вилкоксона, здесь и далее по тексту); не было установлено статистически значимых отличий между величинами наружного диаметра правой и левой ВСА во всех исследуемых возрастных

группах ($p^*=0,971$, $p=0,928$ и $p=0,889$ для первого, второго периодов зрелого возраста, пожилого возраста соответственно, где p – уровень достоверности отличий при коэффициенте Стьюдента, здесь и далее по тексту), а также отдельно в группе лиц мужского и женского пола ($p^*=0,943$ и $p^*=0,951$ у мужчин и женщин соответственно). Важнейшим вопросом в изучении анатомии сосудов является определение изменений, происходящих с их морфометрическими показателями с возрастом.

Так, установлена средняя по силе положительная линейная корреляционная связь между величинами наружного диаметра как правой, так и левой ВСА и возрастом всех обследуемых ($r^*=0,742$ и $r^*=0,739$ справа и слева соответственно, на уровне значимости $p<0,05$, где r^* – коэффициент корреляции Спирмена, p – уровень значимости при коэффициенте Спирмена, здесь и далее по тексту).

Величины наружного диаметра как правой, так и левой ВСА оказались достоверно больше в пожилом возрасте, чем в первом и втором периодах зрелости, а во втором периоде зрелого возраста достоверно больше, чем в первом периоде зрелости ($p<0,001$ и $p^*<0,001$). Этот факт также подтверждает возрастные изменения ВСА, выражающиеся в увеличении ее наружного диаметра.

На следующем этапе работы были определены параметры описательной статистики величин наружного диаметра мозгового отдела правой и левой СМА в сегменте М1 в зависимости от пола, возрастной группы и стороны исследования. Медиана величин наружного диаметра правой СМА составила $2,85 \pm 0,05$ мм, левой СМА – $2,875 \pm 0,043$ мм.

При проведении статистического сравнения оказалось, что отличия величин наружного диаметра правой и левой СМА статистически не значимы ($p^*=0,358$), статистически незначимы оказались и отличия между величинами правой и левой СМА в каждой из исследуемых возрастных групп ($p^*=0,081$, $p^*=0,460$ и $p^*=0,962$ для первого и второго периодов зрелости, пожилого возраста соответственно), отдельно в группе лиц мужского и женского пола ($p^*=0,484$ и $p^*=0,485$ у мужчин и женщин соответственно). Установлена средняя по силе положительная линейная корреляционная связь между величинами наружного диаметра правой СМА и возрастом обследуемых ($r^*=0,341$, $p<0,01$). С левой стороны такая связь характеризуется как слабая положительная линейная ($r^*=0,297$, $p<0,01$).

Величины наружного диаметра СМА оказались достоверно больше в пожилом возрасте, чем в первом и втором периодах зрелости

($p^* < 0,005$). То есть происходит равномерный рост величины наружного диаметра СМА от второго периода зрелости к пожилому возрасту. Статистически значимых отличий между величинами наружного диаметра СМА в первом и втором периодах зрелого возраста одноименных сторон не установлено ($p^* = 0,489$ и $p^* = 0,539$ справа и слева соответственно).

На следующем этапе работы были определены параметры описательной статистики величин наружного диаметра правой и левой ЗМА в сегменте Р1. Медиана величин наружного диаметра правой ЗМА составила $2,49 \pm 0,05$ мм, левой ЗМА – $2,535 \pm 0,048$ мм

В зависимости от величины наружного диаметра прекоммуникационного сегмента, ЗМА классифицируют на узкие с диаметром менее 1,9 мм, средние (1,9–2,9 мм) и широкие (более 2,9 мм). В данной работе оказалось 44 случая обеих узких ЗМА, 59 случаев узкой только правой ЗМА, 47 случаев узкой только левой ЗМА. Средний возраст обследуемых с обеими узкими ЗМА составил $31,34 \pm 0,69$ года.

Средние по диаметру правую и левую ЗМА имели 86 человек, 101 человек – только правую среднюю по диаметру ЗМА, 102 человека – только левую среднюю по диаметру ЗМА. Возраст обследуемых, имеющих обе ЗМА, классифицирующиеся как средние, оказался в среднем равен $47,34 \pm 1,14$ года. Широкие, в соответствии с указанной классификацией, ЗМА с обеих сторон имели 30 человек, только правую широкую ЗМА имели 62 человека, только левую широкую ЗМА – 73 человека. Средний возраст обследуемых, имеющих обе широкие ЗМА, составил $65,93 \pm 1,07$ года. При этом, обследуемые, имеющие обе широкие задние мозговые артерии оказались в 1,4 раза старше тех, кто имел обе средние по диаметру ЗМА, а обследуемые, имеющие обе средние по диаметру ЗМА, в 1,5 раза старше тех, кто имел обе узкие ЗМА.

Отличия между величинами наружного диаметра ЗМА правой и левой сторон оказались статистически не значимы ($p^* = 0,325$), также статистически незначимы оказались отличия между величинами наружного диаметра ЗМА во всех исследуемых возрастных группах ($p = 0,063$, $p^* = 0,259$, $p = 0,072$ для первого периода и второго периодов зрелого возраста, пожилого возраста соответственно), а также в группе лиц мужского и женского пола ($p^* = 0,504$ и $p^* = 0,407$ у мужчин и женщин соответственно). Изучение характера корреляционных связей между величинами наружного диаметра ЗМА и возрастом всех обследуемых выявило сильную положительную линейную корреляционную связь как для правой, так и для левой сторон

($r^*=0,887$ и $r^*=0,898$ на уровне значимости $p<0,01$ справа и слева соответственно).

Как с правой, так и с левой стороны имеет место рост величины исследуемого показателя от первого периода зрелого возраста к пожилому возрасту: выявлены статистически значимые отличия величин наружного диаметра ЗМА в пожилом возрасте и во втором периоде зрелого возраста, в пожилом возрасте и в первом периоде зрелого возраста на уровне значимости $p^*<0,001$.

Морфометрическая характеристика сосудов основания мозга не исчерпывается изложенным выше описанием показателей их наружных диаметров. Это объясняется тем, что индивидуальной, контралатеральной, половой и возрастной анатомической изменчивости подвержены не только абсолютные значения наружного диаметра, но и толщина стенки сосудов, поэтому на следующем этапе работы определялись величины внутреннего диаметров ВСА, СМА и ЗМА в зависимости от пола, возрастной группы и стороны исследования в норме, которые могут быть использованы в качестве морфометрического эталона нормы.

Медиана величин внутреннего диаметра правой ВСА оказалось равна $3,515\pm 0,05$ мм, левой ВСА – $3,525\pm 0,05$ мм. При проведении парных сравнений статистически значимых отличий между величинами внутреннего диаметра правой и левой ВСА установлено не было ($p^*=0,995$), также статистически значимых отличий не было обнаружено и отдельно у представителей исследуемых возрастных групп ($p^*=0,909$, $p=0,881$, $p=0,944$ в группах лиц первого периода зрелости, второго периода зрелости, пожилого возраста соответственно), отдельно у мужчин и женщин ($p^*=0,845$ и $p^*=0,871$ у мужчин и женщин соответственно). Не обнаружено и статистически значимых отличий между значениями внутреннего диаметра ВСА у мужчин и женщин как с правой, так и с левой стороны ($p^*=0,145$ и $p^*=0,327$ с правой и левой стороны соответственно).

Корреляционный анализ между величинами изучаемого показателя и возрастом обследуемых показал наличие сильной линейной положительной корреляционной связи как с правой, так и с левой стороны ($r^*=0,729$ и $r^*=0,738$ справа и слева соответственно на уровне значимости $p<0,01$).

Возрастные группы по величине значений внутреннего диаметра ВСА как справа, так и слева в порядке возрастания расположились следующим образом: первый период зрелого, второй период зрелого, пожилой возраст.

Медиана величин внутреннего диаметра правой СМА составила

2,11±0,0457 мм, левой СМА – 2,01±0,04372 мм. В ходе сравнения величин изучаемого показателя с правой и с левой сторон статистически значимых отличий установить не удалось ($p^*=0,822$), такие отличия не были установлены и в каждой исследуемой возрастной группе ($p^*=0,18$, $p^*=0,915$ и $p^*=0,941$ для первого периода зрелого возраста, второго периода зрелого возраста и пожилого возраста соответственно), а также отдельно в группе лиц мужского и женского пола ($p^*=0,901$ и $p^*=0,819$ в группе лиц мужского и женского пола соответственно). Также не удалось установить статистически значимых отличий между величинами изучаемого показателя у мужчин и женщин как справа, так и слева ($p^*=0,504$ и $p^*=0,566$).

Корреляционный анализ между величинами внутреннего диаметра правой и левой СМА и возрастом обследуемых показал наличие слабых по силе положительных линейных корреляционных связей как с правой, так и с левой стороны ($r^*=0,194$, $p<0,01$ справа и $r^*=0,159$, $p=0,03$ слева).

Вышесказанное позволяет утверждать, что возрастные перестройки морфометрических характеристик наружного и внутреннего диаметров ВСА и СМА не приводит к асимметричности диаметров указанных артерий и с обеих сторон происходит достаточно равномерно.

Медиана величин внутреннего диаметра правой ЗМА составила 1,56±0,04401 мм, левой ЗМА – 1,43±0,0344 мм.

Статистически значимых отличий между величинами внутреннего диаметра правой и левой ЗМА установлено не было ($p^*=0,139$). Не выявлено статистически значимых отличий между показателями внутреннего диаметра ЗМА правой и левой сторон как у мужчин, так и у женщин ($p^*=0,140$ и $p^*=0,567$ для лиц мужского и женского пола соответственно). В первом и втором периодах зрелости отличия между значениями внутреннего диаметра ЗМА с правой и левой сторон оказались также статистически не значимы ($p=0,065$ и $p=0,203$ для первого и второго периодов зрелого возраста соответственно).

При проведении парных сравнений изучаемого показателя справа и слева в разных возрастных группах установлены статистически значимые отличия между величинами внутреннего диаметра правой и левой ЗМА в группе лиц пожилого возраста ($p^*<0,001$). Так, величины изучаемой переменной оказались с правой стороны достоверно больше, чем с левой. Также внутренний диаметр ЗМА достоверно не отличался у мужчин и женщин как справа, так и слева ($p^*=0,902$ и $p^*=0,277$ справа и слева соответственно).

В ходе изучения характера корреляционных связей между

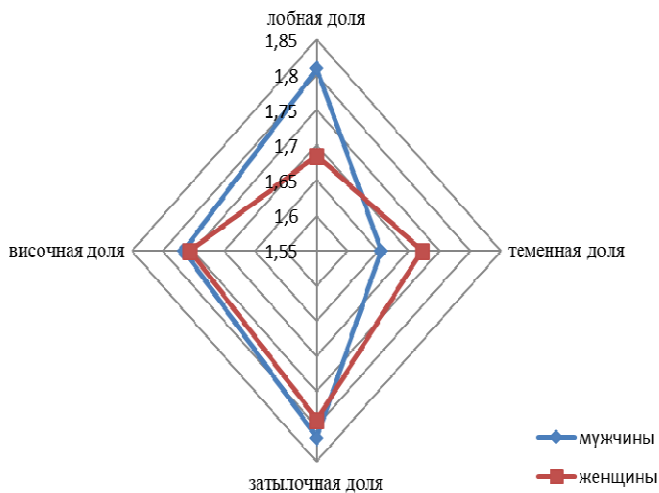
величинами внутреннего диаметра ЗМА и возрастом обследуемых была обнаружена сильная положительная линейная корреляционная связь между изучаемыми показателями как справа, так и слева ($r^*=0,859$ и $r^*=0,715$ на уровне значимости $p<0,01$ для правой и левой сторон соответственно). Величина внутреннего диаметра ЗМА оказалась достоверно больше в пожилом возрасте, чем в первом и втором периодах зрелости, а также достоверно больше во втором периоде зрелости по сравнению с первым периодом зрелого возраста как с правой, так и с левой стороны ($p<0,001$ и $p^*<0,001$).

Далее изучались особенности и закономерности организации поверхностного кровоснабжения полушарий головного мозга. С точки зрения математики, поверхностное конвекситальное артериальное русло больших полушарий головного мозга представляет собой фрактальную структуру, а значит, может быть количественно охарактеризовано при помощи параметров мультифрактального анализа: фрактального индекса (ФИ) и индекса лакунарности (ИЛ). С точки зрения математики ФИ представляет собой число, определяющее меру заполнения пространства элементами артериальной сети. Относительно поверхностного артериального русла (ПАР) конвекситальной поверхности полушарий фрактальный индекс характеризует плотность расположения элементов артериальной сети на участке определенной площади. Численная объективная характеристика фрактальной геометрии ПАР полушарий головного мозга может служить морфологической основой оценки адекватности кровоснабжения того или иного его участка.

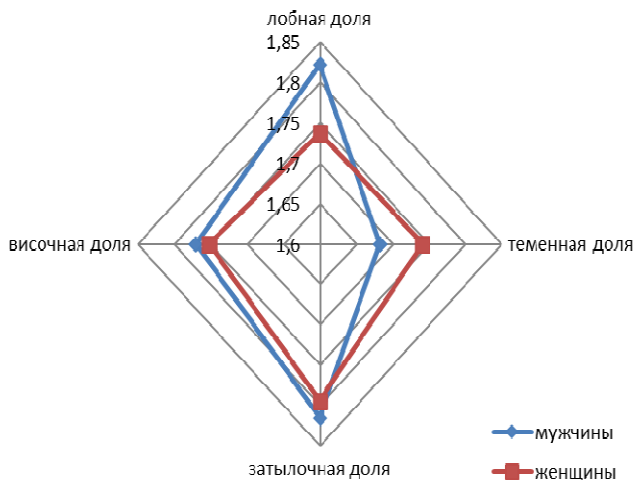
Медианы величин ФИ ПАР оказались следующие: в правом полушарии – $1,74\pm 0,04$, в левом полушарии – $1,72\pm 0,03$. Установлено, что как в правом, так и в левом полушариях величины ФИ ПАР оказались достоверно больше в лобной, височной и затылочной долях, чем в теменной, а также достоверно больше в затылочной доле, чем в лобной и височной ($p^*=0,001$, $p^*<0,001$ для правого и левого полушарий мозга соответственно).

При этом, как справа, так и слева величины показателей ФИ ПАР не имели статистически значимых отличий в лобной и височной долях ($p^*=0,065$ и $p^*=0,094$ справа и слева соответственно). При этом величины ФИ ПАР отличались у лиц разного пола и разных возрастных групп (Рисунок 4).

Таким образом, плотность распределения элементов ПАР конвекситальной поверхности полушарий увеличивается спереди назад: от лобной доли к затылочной как в правом, так и в левом полушариях.



А



Б

Рисунок 4 – Величины фрактального индекса поверхностного артериального русла разных долей правого (А) и левого (Б) полушарий мозга у лиц разного пола

Известно, что промежуточному типу артериального русла соответствуют значения ФИ ПАР, лежащие в диапазоне ($M \pm S$), магистральному – от (min) до ($M-S$), рассыпному – от ($M+S$) до (max),

где M – медиана значений ФИ ПАР; S – среднее квадратичное отклонение величины; $\min$ – минимальное значение, $\max$ – максимальное значение.

Учитывая полученные в результате статистической обработки величины описательной статистики показателя ФИ ПАР различных долей полушарий, можно утверждать, что артериальная сеть затылочной доли правого и левого полушарий относится к рассыпному типу, а русло остальных долей правого и левого полушарий – к промежуточному типу, что несколько противоречит общепринятым представлениям.

Что касается возрастной перестройки пространственной геометрии поверхностного артериального русла, то это вопрос, который требует уточнения и тщательного изучения, поскольку с возрастом происходит структурная перестройка артерий головного мозга.

Так, установлены средние по силе положительные линейные корреляционные связи между величинами ФИ ПАР и возрастом обследуемых в обеих лобных, теменных и затылочных долях ($r^*=0,414$ и $r^*=0,393$ для правой и левой лобных долей; $r^*=0,356$ и $r^*=0,332$ для правой и левой теменных долей; $r^*=0,384$ и $r^*=0,472$ для правой и левой затылочных долей соответственно) на уровне значимости $p<0,01$. Между величинами ФИ ПАР правой и левой височных долей и возрастом обследуемых линейные корреляционные связи отсутствовали ($r^*=0$, $p>0,05$).

Уравнения линейной регрессии, описывающие существующие корреляционные связи между величинами ФИ ПАР и возрастом представлены в таблице (Таблица 1).

Таблица 1 – Уравнения линейной регрессии, описывающие зависимость между величинами ФИ ПАР разных долей полушарий и возрастом всех обследуемых

Доля полушария	Правое полушарие	Левое полушарие
Лобная доля	$y=0,0034x+1,5918$ $R^2=0,281$	$y=0,0034x+1,5786$ $R^2=0,2663$
Теменная доля	$y=0,0023x+1,5983$ $R^2=0,2384$	$y=0,0023x+1,5814$ $R^2=0,2169$
Затылочная доля	$y=0,0014x+1,7312$ $R^2=0,2109$	$y=0,0017x+1,7198$ $R^2=0,2017$

Примечание – R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации

Изучение характера связей между величинами наружного диаметра ВСА, СМА, ЗМА и ФИ ПАР верхнелатеральной поверхности

ипсилатерального полушария в целом, а также его отдельных долей является важным с точки зрения понимания возрастных преобразований артериального русла мозга.

Так, величины ФИ ПАР правой и левой лобных долей, правой и левой теменных долей и правой височной доли, в целом, зависят от наружного диаметра ипсилатеральной ВСА (величины указанных переменных связаны средними по силе положительными линейными корреляционными связями) (величины коэффициента Пирсона и уровень значимости при данном коэффициенте представлены в таблице (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты параметрического корреляционного анализа между величинами наружного диаметра правой и левой ВСА и ФИ ПАР разных долей верхнелатеральной поверхности полушарий мозга (n=222)

ФИ ПАР	Наружный диаметр правой ВСА	Наружный диаметр левой ВСА
Правая лобная доля	$r=0,567$; $p<0,01$	-
Правая теменная доля	$r=0,437$; $p<0,01$	-
Правая височная доля	$r=0,314$; $p<0,01$	-
Левая лобная доля	-	$r=0,543$; $p<0,01$
Левая теменная доля	-	$r=0,469$; $p<0,01$
Левая височная доля	-	$r=0,283$; $p<0,01$

Примечание – r – коэффициент корреляции Пирсона, p – уровень значимости, n – количество исследованных полушарий с каждой стороны

В группе лиц первого периода зрелого возраста такие же связи были установлены между величинами наружного диаметра ВСА и ФИ ПАР обеих лобных ($r^*=0,451$, $p<0,01$; $r=0,378$, $p<0,01$ справа и слева соответственно) и обеих теменных долей соответствующего полушария ($r=0,302$, $p<0,01$; $r=0,388$, $p<0,01$ справа и слева соответственно), в группе лиц второго периода зрелого возраста – обеих лобных долей ($r=0,428$, $p<0,01$; $r=0,445$, $p<0,01$ в правом и левом полушариях соответственно) и правой теменной доли ($r=0,320$, $p<0,01$), в группе лиц пожилого возраста – обеих лобных долей ($r=0,353$, $p<0,01$; $r=0,37$, $p<0,01$ справа и слева соответственно), левой теменной доли ($r=0,312$, $p=0,06$ справа и слева соответственно), правой и левой височных долей ($r=0,509$, $p<0,001$; $r=0,423$, $p<0,01$ справа и слева соответственно).

В группе лиц мужского пола установлены средние по силе

положительные линейные корреляционные связи между величинами наружного диаметра ВСА соответствующей стороны и величинами ФИ ПАР обеих лобных ($r=0,590$, $p<0,01$; $r=0,601$, $p<0,01$ справа и слева соответственно) и обеих теменных долей ($r=0,466$, $p<0,01$; $r=0,446$, $p<0,01$ справа и слева соответственно). В группе лиц женского пола такие же связи установлены между указанными переменными в обеих лобных ($r=0,577$, $p<0,01$; $r=0,594$, $p<0,01$ справа и слева соответственно), обеих теменных долях ($r=0,535$, $p<0,01$; $r=0,512$, $p<0,01$ справа и слева соответственно) и левой височной доле ($r=0,308$, $p<0,01$).

Величины ФИ ПАР правой и левой затылочных долей связаны с величинами наружного диаметра ипсилатеральной ЗМА средними по силе положительными линейными корреляционными связями ($r=0,386$, $p<0,01$; $r=0,450$, $p<0,01$ справа и слева соответственно). При этом, отдельно в каждой из исследуемых возрастных групп связи между величинами указанных переменных отсутствовали ($r=0$, $p>0,05$). В группе лиц мужского пола средние по силе положительные линейные корреляционные связи были установлены между наружным диаметром ЗМА соответствующей стороны и величинами ФИ ПАР правой затылочной доли ($r=0,411$, $p<0,01$), а в группе лиц женского пола такие связи были установлены в обеих затылочных долях ($r=0,397$, $p<0,01$; $r=0,436$, $p<0,01$ справа и слева соответственно).

Таким образом, величины наружного диаметра магистральных для конкретного региона артерий, в целом, обуславливают плотность расположения элементов поверхностного артериального русла.

Индекс лакуарности в качестве показателя оценки фрактальной геометрии структур используется сравнительно недавно, однако уже сейчас понятно, что его применение наряду с другими параметрами мультифрактального анализа довольно перспективно.

Так, были определены наличие и степень неоднородности распределения ПАР верхнелатеральной поверхности полушарий головного мозга в зависимости от пола, возраста, а также доли полушария. Для количественной оценки этой неоднородности распределения элементов ПАР полушарий в норме использовался индекс лакуарности (ИЛ), который наряду с показателем фрактальной размерности позволяет оценить пространственную геометрию артериального русла, а именно – отношение выявленных «пустых» участков, или лакун к общему числу анализируемых единиц.

Медиана значений ИЛ ПАР конвексительной поверхности правого полушария составила $0,6292 \pm 0,0053$, левого – $0,6157 \pm 0,0046$. Величины указанной переменной несколько отличались в разных долях правого и левого полушарий (Рисунок 5).

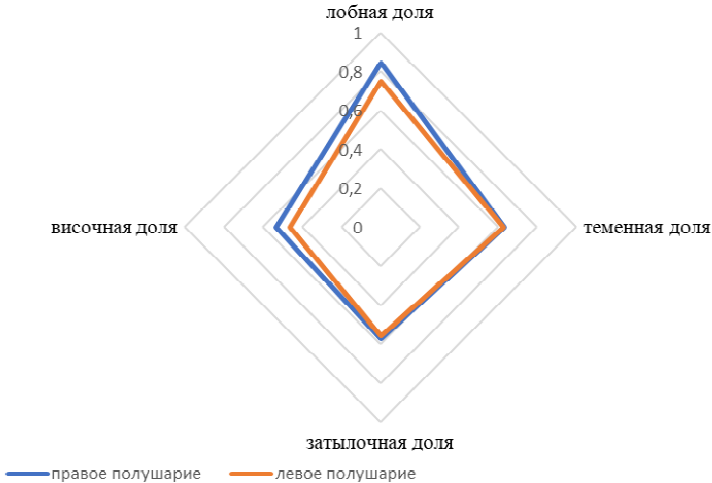


Рисунок 5 – Величины индекса лакунарности поверхностного артериального русла в зависимости от доли полушария

При сравнении величин ИЛ ПАР соответствующих долей правого и левого полушарий выяснено, что исследуемый показатель не имел статистически значимых отличий справа и слева, а значит эталонные значения данной переменной не зависят от стороны исследования ($p^* > 0,05$). Не установлено статистически значимых отличий между величинами индекса лакунарности поверхностного артериального русла в правом и левом полушариях также отдельно в группе лиц пожилого возраста, отдельно в группах лиц мужского и женского пола ($p^* > 0,05$). В первом периоде зрелого возраста величины ИЛ ПАР оказались достоверно больше в левой височной доле, чем в правой, а также в правой затылочной доле, чем в левой; во втором периоде зрелого возраста величины указанного показателя оказались достоверно больше в левой теменной доле, чем в правой.

Индивидуальные возрастные перестройки мозговых сосудов нередко обеспечивают кардинальные изменения всей пространственной структуры поверхностного артериального русла полушарий, что может отражаться на риске развития сосудистой патологии, в том числе, ишемического генеза. Для определения наличия и характера связи величин ИЛ ПАР с возрастом всех обследуемых был проведен корреляционный анализ с использованием непараметрического критерия Спирмена. Результаты статистической обработки позволяют утверждать, что значения ИЛ ПАР правой затылочной ($r^* = -0,196$) и левой височной ($r^* = -0,253$) долей связаны с показателем возраста

слабой отрицательной линейной корреляционной связью, а между исследуемым показателем в правой ($r^*=-0,350$) и левой ($r^*=-0,354$) лобных долях с одной стороны и возрастом обследуемых с другой существует средняя по силе отрицательная линейная корреляционная связь на уровне значимости $p^*<0,01$.

При этом связь между величинами ИЛ ПАР в правой височной, левой затылочной и обеих теменных долях и возрастом отсутствует ($r^*=0$, $p>0,05$). Таким образом, связь величин показателя ИЛ ПАР с возрастом всех обследуемых прослеживается только в лобной доле. Подобные связи установлены и отдельно в группе лиц мужского пола. В первом периоде и втором периодах зрелого возраста, пожилом возрасте корреляционные связи между указанными переменными отсутствуют или являются слабыми по силе во всех долях обоих полушарий мозга ($r^*=0$, $p>0,05$).

Ранее считалось, что ФИ и ИЛ представляют собой обратно противоположные показатели: с уменьшением одного пропорционально должен увеличиваться и другой. Современные представления позволяют отказаться от этого жесткого тезиса, не объясняя при этом характер связи между критериями. Важным представлялся вопрос выяснения наличия и силы корреляционных связей между показателями фрактального индекса и индекса лакунарности ПАР полушарий головного мозга.

В результате статистического анализа установлено, что во всех долях обоих полушарий головного мозга, кроме правой лобной доли, связь между величинами ФИ ПАР и ИЛ ПАР отсутствует ($r^*=0$, $p>0,05$). При этом характер связи между величинами изучаемых переменных в правой лобной доли оценивается как слабая по силе линейная отрицательная ($r^*=-0,136$, $p=0,04$). Полученные результаты подтверждают понятия о переменных, составляющих мультифрактальный анализ, и позволяют говорить о необходимости использования разных критериев для характеристики одной и той же морфологической структуры, рассматриваемой в качестве регулярного или нерегулярного фрактала.

Выяснение вопроса о наличии и характере корреляционной связи между величинами показателя ИЛ ПАР полушарий и наружного диаметра артерии, являющейся для данного региона магистральной, в зависимости доли полушария, пола и возрастной группы позволяет расширить спектр данных об анатомической изменчивости данного критерия, а также решить вопрос о применении одного и того же эталонного значения изучаемой переменной в группах лиц разного пола и разных возрастных групп.

Непараметрический корреляционный анализ выявил слабые по силе отрицательные линейные корреляционные связи или их отсутствие между величинами наружного диаметра ВСА ипсилатеральной стороны и ИЛ ПАР во всех долях правого и левого полушарий головного мозга (Таблица 3).

Таблица 3 – Результаты непараметрического корреляционного анализа между величинами наружного диаметра правой и левой ВСА и ИЛ ПАР разных долей верхнелатеральной поверхности полушарий головного мозга (n=222)

Доля полушария	Наружный диаметр правой ВСА	Наружный диаметр левой ВСА
Правая лобная доля	$r^*=0; p>0,05$	-
Правая теменная доля	$r^*=0; p>0,05$	-
Правая височная доля	$r^*=0; p>0,05$	-
Левая лобная доля	-	$r^*=-0,198; p<0,01$
Левая теменная доля	-	$r^*=0; p>0,05$
Левая височная доля	-	$r^*=-0,134; p=0,04$

Примечание – r^* – коэффициент корреляции Спирмена, p – уровень значимости

В первом периоде зрелого возраста средние по силе отрицательные линейные, корреляционные связи установлены между величинами наружного диаметра ВСА и ИЛ ПАР лобной доли ипсилатеральной стороны в обоих полушариях головного мозга ($r=0,657, p<0,01$; $r=0,475; p<0,01$ справа и слева соответственно). В других долях корреляционные связи между величинами указанных переменных у лиц данной возрастной группы не установлены или являются слабыми по силе.

Во втором периоде зрелого возраста средняя по силе линейная положительная корреляционная связь установлена между величинами наружного диаметра левой ВСА и ИЛ ПАР левой лобной доли ($r^*=0,447, p<0,01$). В группе лиц пожилого возраста – между величинами наружного диаметра левой ВСА и ИЛ ПАР левой височной доли ($r^*=0,563, p<0,01$). В других долях обоих полушарий корреляционные связи между величинами указанных переменных у лиц первого и второго периодов зрелости не установлены. В группе лиц мужского пола установлены средние по силе отрицательные линейные корреляционные связи между величинами наружного диаметра ВСА и ИЛ ПАР ипсилатеральной лобной доли в обоих полушариях ($r^*=-0,315, p<0,01$; $r^*=-0,448, p<0,01$ слева соответственно). В группе лиц женского

пола такой же характер связи установлен и между величинами наружного диаметра левой ВСА и ИЛ ПАР левой височной доли ($r^* = -0,300$, $p < 0,01$). В остальных долях корреляционных связей между указанными величинами у лиц мужского и женского пола установить не удалось.

Изучение корреляционных связей между величинами наружного диаметра ЗМА и ИЛ ПАР затылочных долей полушарий позволило установить следующие закономерности: слабые по силе отрицательные линейные корреляционные связи или отсутствие таковых было установлено между величинами наружного диаметра ЗМА и ИЛ ПАР затылочной доли ипсилатеральной стороны у всех обследуемых ($r^* = -0,200$, $p < 0,01$; $r^* = -0,133$, $p = 0,05$ справа и слева соответственно), а также отдельно в изучаемых возрастных группах, отдельно в группах лиц мужского и женского пола ($r^* < 0,3$, $p > 0,05$).

Таким образом, в отличие от величины ФИ ПАР индекс лакунарности ПАР практически не связан с величинами наружного диаметра магистральной для данного участка верхнелатеральной поверхности полушария артерии.

Широко известно, что ПАР асимметрично, оно имеет разную плотность и равномерность на поверхности правого и левого полушарий. Однако до настоящего времени такая асимметричность оценивалась лишь визуально. Для количественной, а значит объективной оценки билатеральной и ипсилатеральной асимметрии предложено использовать фрактальный и лакунарный векторы асимметрии (ФВА и ЛВА, здесь и далее по тексту), фрактальный и лакунарный модули асимметрии (ФМА и ЛМА, здесь и далее по тексту), фрактальный и лакунарный коэффициенты асимметрии (ФКА и ЛКА, здесь и далее по тексту). Фрактальный и лакунарный векторы асимметрии оценивают направленность асимметрии, то есть то, в каком из полушарий поверхностное артериальное русло имеет большую плотность и равномерность. Удельный вес объектов, имеющих положительный либо отрицательный ФВА и ЛВА, представлены в таблице (Таблица 4).

У большинства исследованных объектов и плотность, и равномерность элементов артериальной сети была примерно одинакова, кроме затылочной доли, где плотность распределения артериальной сети практически у всех объектов оказалась больше слева.

Количественная оценка билатеральной асимметрии поверхностного артериального русла в каждой из долей полушарий – определение значений ФМА и ЛМА в норме – позволяет говорить о том, что асимметричность в плотности распределения артериальных

элементов поверхностной артериальной сети наиболее выражена в затылочной доле, наименее – в височной доле; асимметричность в равномерности распределения элементов наиболее выражена также в затылочной доли, наименее – в лобной доле.

Таблица 4 – Относительное количество объектов, имеющих положительный или отрицательный ФВА и ЛВА ПАР в разных долях конвексительной поверхности полушарий мозга, в % (n=222)

Доля полушария	Относительное количество (в%)			
	Фрактальный вектор асимметрии		Лакунарный вектор асимметрии	
	+	-	+	-
Лобная	54,1	45,9	41,44	58,56
Теменная	54,5	45,5	50	50
Затылочная	4,5	95,5	44,14	55,86
Височная	45,05	54,95	55,41	44,59

Примечания:

1. n – количество исследованных полушарий головного мозга с каждой стороны,
2. «+» - положительный вектор, «-» - отрицательный вектор.

Существующая асимметричность в плотности распределения элементов поверхностной конвексительной артериальной сети полушарий несколько уменьшается в направлении спереди назад, не изменяясь от лобной доли к теменной, а затем уменьшаясь от теменной доли к затылочной.

В направлении сверху вниз (от теменной доли к височной) асимметричность в плотности распределения конвексительного артериального русла также уменьшается. Существующая асимметричность в равномерности распределения элементов артериальной сети возрастает в направлении спереди назад, увеличиваясь от лобной доли к теменной, и далее к затылочной. При этом в направлении сверху вниз (от теменной доли к височной) асимметричность в равномерности распределения конвексительного артериального русла также увеличивается (Рисунок 6).

Вопрос о том, как меняется билатеральная асимметричность артериального русла является важным для понимания возрастных преобразований артерий. Так, непараметрический корреляционный анализ Спирмена позволил установить, что линейная корреляционная

связь между величинами показателя ФМА ПАР и возрастом всех обследуемых в лобной, затылочной и теменной долях отсутствует ($r^*=0$, $p>0,05$), связь между величинами показателя ФМА и возрастом в височной доле характеризуется как линейная положительная слабая по силе ($r^*=0,153$, $p=0,02$).

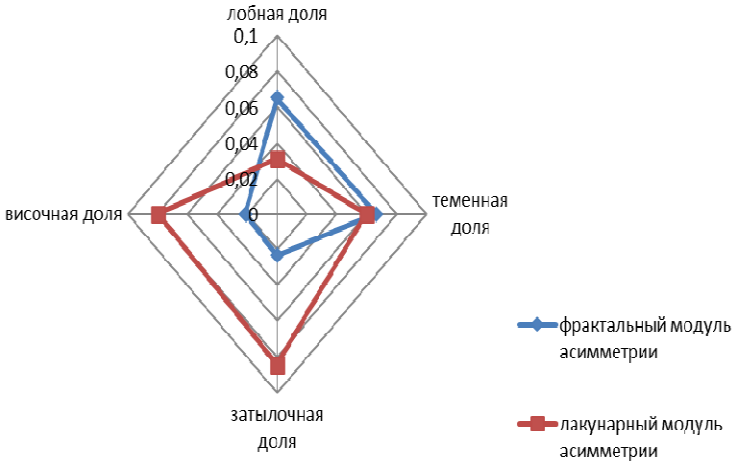


Рисунок 6 – Величины фрактального и лакунарного модулей асимметрии в зависимости от доли полушария

Что касается ЛМА, то линейная корреляционная связь между величинами показателя ЛМА ПАР и возрастом обследуемых в затылочной и теменной долях отсутствует ($r^*=0$, $p>0,05$), связь между величинами показателя ЛМА и возрастом в лобной доле характеризуется как линейная слабая по силе положительная ($r^*=0,182$, $p<0,01$), а в височной доле как линейная слабая по силе отрицательная ($r^*=-0,225$, $p<0,01$). Таким образом, асимметричность ни в плотности, ни в равномерности распределения элементов артериального русла с возрастом не связана.

В целом, ПАР полушарий головного мозга можно считать умеренно асимметричным, поскольку треть исследованных объектов имеют величины фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии более 10% (Рисунок 7).

Установленные величины вышеуказанных коэффициентов в норме в зависимости от доли полушария, пола и возрастной группы позволят оценить плотность и равномерность распределения элементов ПАР, сделать выводы относительно его состояния.

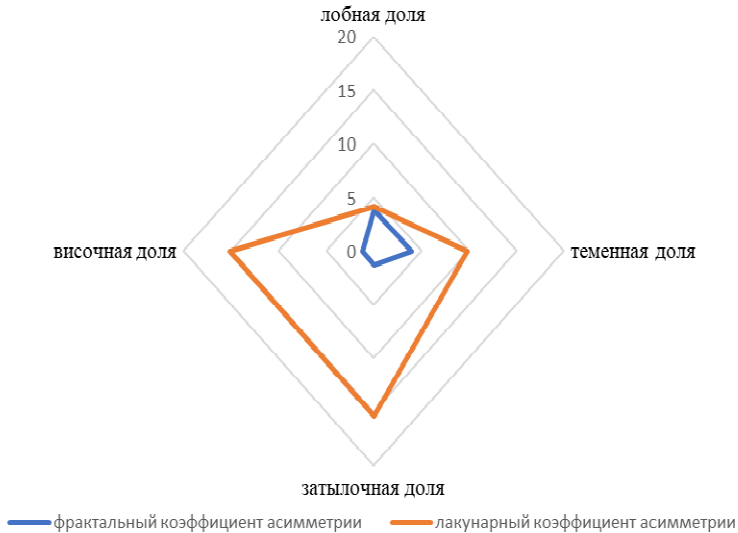


Рисунок 7 – Величины фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии в зависимости от доли полушария

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе осуществлено теоретическое обобщение и приведено решение новой научной проблемы по обоснованию морфометрических эталонов нормы строения поверхностного конвексимального артериального русла полушарий головного мозга человека с использованием параметров мультифрактального анализа. Проблема решена на основе установления величин фрактального индекса и индекса лакунарности, оценки билатеральной и ипсилатеральной асимметрии поверхностного артериального русла практически здоровых людей в норме, установлении зависимостей между наружным диаметром магистральной артерии и параметрами мультифрактального анализа в зависимости от доли полушария, пола и возрастной группы.

1. Типичное «классическое» строение артериального кольца мозга (круга Виллизия) было обнаружено в 54,5% случаев. Разомкнутость круга Виллизия в большинстве случаев была связана с односторонней аплазией задней соединительной артерии (6,8%). Самыми редкими вариантами отхождения, количества и хода сосудов основания мозга оказались: односторонняя гипоплазия внутренней сонной артерии,

аплазия передней соединительной артерии, девиация базилярной артерии (по 0,45% каждый).

2. Установлены величины наружных диаметров внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой артерий в норме в зависимости от пола и возрастной группы, которые могут быть использованы в качестве морфометрического эталона нормы. Установлено, что с возрастом происходит рост величин как наружного, так и внутреннего диаметров правой и левой внутренних сонных артерий, правой и левой задних мозговых артерий. При этом такой рост происходит относительно симметрично, поскольку статистически значимых отличий между величинами наружного и внутреннего диаметров указанных магистральных артериальных стволов с правой и левой сторон установлено не было во всех возрастных и гендерных группах; также не было установлено статистически значимых отличий между величинами наружного и внутреннего диаметров правой и левой средних мозговых артерий. Величины как наружного, так и внутреннего диаметра правой и левой средних мозговых артерий не связаны корреляционными связями с показателем возраста как у всех обследуемых, так и отдельно в каждой исследуемой возрастной и гендерной группе.

3. Установлены величины фрактального индекса поверхностного артериального русла полушарий мозга в норме, которые позволяют количественно, а значит, объективно оценить распространенность элементов поверхностной конвексительной артериальной сети. Разветвленность и распространенность поверхностного артериального русла конвексительной поверхности полушарий увеличивается спереди назад: от лобной доли к затылочной как в правом, так и в левом полушарии. Во всех возрастных группах отмечается рост разветвленности русла от «центра» (теменная доля) к «периферии» (лобная, затылочная и височная доли). Установлены статистически значимые отличия между величинами ФИ ПАР соответствующих долей у мужчин и женщин, а также во всех исследуемых возрастных группах, следовательно, для оценки распространенности ПАР у лиц разного пола и возраста должны быть использованы разные эталонные значения ФИ.

4. Установлено, что значения фрактального индекса поверхностного конвексительного артериального русла, в целом, обусловлены величинами наружного диаметра ипсилатеральной ВСА и ЗМА, что позволяет эмпирически рассчитать величину ФИ ПАР той или иной доли полушария благодаря построенным уравнениям регрессии для указанных зависимостей. Установлено наличие средней по силе, положительной, линейной корреляционной связи между величинами

наружного диаметра правой и левой внутренних сонных артерий и фрактального индекса поверхностного артериального русла обеих лобных, обеих теменных и правой височной долей ипсилатерального полушария (в первом периоде зрелого возраста – в обеих лобных, обеих теменных и правой височной доле, во втором периоде зрелого возраста: в обеих лобных и обеих теменных долях, в пожилом возрасте – в обеих лобных, правой теменной и обеих височных долях). У мужчин средняя по силе, положительная линейная корреляционная связь установлена между величинами наружного диаметра внутренней сонной артерии и фрактальным индексом конвексимального русла ипсилатеральной стороны в обеих лобных и теменных долях, у женщин: в обеих лобных, теменных и правой височной доле. Средняя по силе, положительная, линейная корреляционная связь установлена между величинами наружного диаметра правой и левой задних мозговых артерий и величинами фрактального индекса русла затылочной доли ипсилатеральной стороны (однако для каждой исследуемой возрастной группы отдельно такие связи отсутствовали). У мужчин средняя по силе, положительная, линейная корреляционная связь между вышеуказанными переменными установлена только с правой стороны, у женщин – с обеих сторон.

5. Установлены величины индекса лакунарности поверхностного артериального русла в зависимости от пола и возрастной группы в норме, которые могут быть использованы для количественной оценки равномерности распределения артериального русла на поверхности полушарий мозга. Установлено, что величины индекса лакунарности достоверно не отличаются в правом и левом полушариях у всех обследуемых, а также отдельно у представителей изучаемых возрастных и гендерных групп во всех долях обоих полушарий. В целом, можно говорить о том, что показатель индекса лакунарности не связан с возрастом обследуемых, а значит, одно и то же эталонное значение данной переменной может быть использовано у лиц разного возраста. В порядке убывания по долям величины индекса лакунарности справа и слева расположились следующим образом: лобная, теменная, затылочная, височная.

Корреляционная связь между величинами фрактального индекса и индекса лакунарности артериального русла во всех долях правого и левого полушарий головного мозга отсутствует, что говорит о необходимости использования нескольких показателей мультифрактального анализа для количественной морфометрической характеристики поверхностного артериального русла.

6. При определении характера связей между величинами индекса

лакунарности артериального русла и наружного диаметра внутренней сонной артерии ипсилатеральной стороны оказалось, что указанные переменные не связаны друг с другом линейными корреляционными связями. У лиц первого периода зрелого возраста установлены средние по силе, положительные, линейные корреляционные связи между величинами ИЛ ПАР и возрастом только в правой и левой лобных долях, у лиц второго периода зрелого возраста – в левой лобной доле, у лиц пожилого возраста – в левой височной доле. У мужчин средние по силе, отрицательные, линейные корреляционные связи установлены между величинами указанных переменных в обеих лобных долях, у женщин – в левой височной доле. Корреляционных связей между величинами индекса лакунарности русла правой и левой затылочных долей и наружным диаметром задней мозговой артерии ипсилатеральной стороны отсутствуют как у всех обследуемых, так и отдельно у представителей исследуемых возрастных групп, а также отдельно в группах лиц мужского и женского пола.

7. Для количественной оценки существующей асимметрии поверхностного конвексимального артериального русла в данной работе было предложено использовать следующие показатели: фрактальный и лакунарные векторы асимметрии, фрактальный и лакунарный модули асимметрии, фрактальный и лакунарный коэффициенты асимметрии, которые позволяют оценить существующую неравномерность в распределении элементов конвексимального артериального русла в правом и левом полушариях.

8. Определена направленность и количественная характеристика существующей асимметрии конвексимального артериального русла полушарий головного мозга, установлены показатели фрактального и лакунарного модулей асимметрии, фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии в норме у представителей разного пола и разных возрастных групп, которые могут быть использованы в качестве морфометрического эталона нормы. Положительный ФВА имели 57,2% исследованных объектов, отрицательный – 42,8%. Положительный лакунарный вектор асимметрии имели 51,8% исследованных объектов, отрицательный – 48,2%. Наибольшая разница между количеством объектов с положительным и отрицательным фрактальным вектором асимметрии установлено в затылочной доле, между количеством объектов с положительным и отрицательным лакунарным вектором асимметрии – в лобной доле. В разных долях полушарий количество объектов с положительным либо отрицательным фрактальным и лакунарным векторами асимметрии несколько меняется в зависимости от возрастной группы, у представителей разного пола.

Количественная оценка существующей асимметрии в пространственной геометрии конвексительного артериального русла позволила установить, что наиболее изменчива с возрастом плотность расположения артериальных элементов затылочной доли полушарий. Асимметричность артериального русла лобной, теменной и височной долей с возрастом не претерпевает резких изменений.

Существующая асимметричность в плотности распределения элементов поверхностной конвексительной артериальной сети полушарий несколько уменьшается в направлении спереди назад, не изменяясь от лобной доли к теменной, а затем уменьшаясь от теменной доли к затылочной. При этом в направлении сверху вниз (от теменной доли к височной) асимметричность в плотности распределения конвексительного артериального русла также уменьшается. Линейная корреляционная связь между величинами показателя фрактального модуля асимметрии артериального русла и возрастом всех обследуемых во всех долях отсутствует или является слабой по силе. Имеющаяся асимметричность в равномерности распределения элементов поверхностной конвексительной артериальной сети полушарий возрастает в направлении спереди назад, увеличиваясь от лобной доли к теменной, и далее к затылочной. При этом в направлении сверху вниз (от теменной доли к височной) асимметричность в равномерности распределения конвексительного артериального русла также увеличивается.

У более, чем трети исследованных объектов фрактальный и лакунарный коэффициенты асимметрии имеют значение более 10%, что позволяет говорить, что ПАР полушарий мозга, в целом, асимметрично.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Полученные в данной работе сведения относительно величин фрактального индекса, индекса лакунарности, фрактального и лакунарного векторов асимметрии, фрактального и лакунарного модулей асимметрии, фрактального и лакунарного коэффициентов асимметрии в норме у представителей разного пола и разных возрастных групп могут быть использованы врачами-диагностами для оценки состояния конвексительного артериального русла, определения наличия или отсутствия отклонений от нормы, поскольку изменения фрактальной геометрии поверхностного конвексительного артериального русла могут служить предпосылкой развития острых и хронических нарушений мозгового кровообращения.

2. Установленные морфометрические эталоны нормы величин

изучаемых переменных у лиц разного пола и разных возрастных групп могут стать основой аппаратно-программного комплекса, позволяющего оценить пространственную геометрию конвекситального артериального русла полушарий головного мозга в автоматическом режиме без участия врача-диагноста.

3. Построенные уравнения регрессии, описывающие существующие корреляционные связи между величинами изучаемых переменных, могут служить прогностическим инструментом, позволяющим эмпирически рассчитать нормальные величины соответствующих диаметров артерий основания мозга в том или ином возрасте, величины фрактального индекса и индекса лакунарности у лиц разного пола и разных возрастных групп.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

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

1. 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.

2. 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.

3. Довгялло, Ю.В. Фрактальный анализ как метод морфометрической характеристики поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. – 2020. – Т.5. – №2. – С.74-78.

4. Довгялло, Ю.В. Оценка билатеральной симметрии поверхностной артериальной сети больших полушарий головного мозга методом фрактального анализа / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. – 2020. – Т.5. - №3. – С. 56-61.

5. Басий, Р.В. Фрактальный анализ геометрии поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга / Р.В. Басий,

Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Университетская клиника. – 2020. – №4(37). – С. 10-13.

6. Довгялло, Ю.В. Возрастная изменчивость величины фрактального индекса поверхностной артериальной сети больших полушарий в зависимости от величины показателя наружного диаметра внутренних сонных артерий / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева // Университетская клиника. – 2021. – №2(39). – С. 36-43.

7. Довгялло, Ю.В. Лакунарность как показатель пространственной геометрии поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло // Университетская клиника. – 2021. – №3(40). – С. 67-71.

8. Довгялло, Ю.В. Гендерные различия возрастных изменений величины показателя наружного диаметра внутренних сонных артерий / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. – 2021. – Т.6. – №3. – С.53-58.

9. Довгялло, Ю.В. Возрастная изменчивость величины просвета внутренних сонных артерий / Ю.В. Довгялло // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2021. – Т.19, №3. – С. 30-34.

10. Довгялло, Ю.В. Межполушарная асимметрия поверхностного артериального русла полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. – 2021. – Т.6. – №4. – С.57-62.

11. Довгялло, Ю.В. Зависимость величины индекса лакунарности от наружного диаметра внутренней сонной артерии у представителей разных возрастных групп / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Университетская клиника. – 2021. – №4(41). – С. 45-49.

12. Довгялло, Ю.В. Применение векторов асимметрии для количественной характеристики поверхностного артериального русла больших полушарий / Ю.В. Довгялло // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2022. – Т.20, №1. – С. 36-41.

13. Довгялло, Ю.В. Величина индекса лакунарности поверхностного артериального русла полушарий головного мозга в зависимости от пола / Ю.В. Довгялло // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. – 2022. – Т.7. – №1. – С.82-86.

Статьи в журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций

14. Довгялло, Ю.В. Возрастная изменчивость величины показателя наружного диаметра внутренних сонных артерий / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева // Университетская клиника. – 2020. – №4(37). – С. 37-41.

15. Басий, Р.В. Использование фрактального анализа для изучения поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга / Р.В. Басий, Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Новообразование. – 2020. – Т.12. – №2(29). – С. 78-81.

16. Довгялло, Ю.В. Некоторые показатели билатеральной асимметрии поверхностной сосудистой сети больших полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма // Сборник материалов 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современная патология: опыт, проблемы, перспективы». – Самара, 2021. – С. 28-33.

17. Довгялло, Ю.В. Зависимость индекса лакунарности поверхностного артериального русла отдельных долей больших полушарий от диаметра внутренней сонной артерии / Ю.В. Довгялло // Сборник научных статей по материалам 12-й Международной научно-практической интернет-конференции «Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты». – Чита-Семей-Донецк, 2021. – С. 96-97.

18. Довгялло, Ю.В. Билатеральная и ипсилатеральная асимметрия поверхностного артериального русла полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Медицинская наука в эру цифровой трансформации». – Курск, 2021. – С. 123-126.

Доклады на научных конференциях

19. Довгялло, Ю.В. Мультифрактальный анализ как подход к профилактике и ранней диагностике мозговых инсультов / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева // Сборник трудов по материалам 2-й Международной научно-практической конференции «От фундаментальных знаний к «тонкому владению скальпелем», посвященная памяти профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого. – Курск, 2021. – С. 25 - 26.

20. Довгялло, Ю.В. Перспективы применения фрактального анализа для определения патологических изменений артериального русла головного мозга / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева // Сборник научных трудов по материалам Всероссийской конференции с международным участием «Современные подходы в клинкоморфологической диагностике заболеваний человека». – Санкт-Петербург, 2021. – С. 58-60.

21. Довгялло, Ю.В. Мультифрактальный анализ как метод оценки состояния поверхностного артериального русла больших полушарий головного мозга / Ю.В. Довгялло // Сборник научных трудов по

материалам Международного медицинского форума Донбасса «Наука побеждать...болезнь». – Донецк, 2021. – С. 144.

22. Возрастная изменчивость величины фрактального индекса поверхностного артериального русла затылочной доли больших полушарий в зависимости от наружного диаметра задних мозговых артерий / Ю.В. Довгялло, К.М. Вельма, Е.А. Горбачева, Э.Л. Крюков // Сборник научных трудов по материалам Международного медицинского форума Донбасса «Наука побеждать...болезнь». – Донецк, 2021. – С. 143.

АННОТАЦИЯ

Довгялло Ю.В. Морфометрическая характеристика пространственной геометрии артериального русла больших полушарий головного мозга. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук по специальности 14.03.01 – Анатомия человека (медицинские науки). – Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака. – Донецк, 2022.

Диссертация посвящена изучению морфометрических характеристик артериального русла полушарий мозга в норме. Уточнены величины наружного и внутреннего диаметров сосудов основания мозга: внутренней сонной, средней мозговой и задней мозговой артерий, определены величины фрактального индекса и индекса лакуарности, которые позволяют численно оценить распределение элементов поверхностной артериальной сети полушарий мозга, количественно оценена асимметричность поверхностного артериального русла полушарий.

Ключевые слова: поверхностное артериальное русло, полушария мозга, мультифрактальный анализ, фрактальный индекс, индекс лакуарности.

ABSTRACT

Dovgyallo Yu.V. Morphometrical characteristics of the cerebral hemispheres arterial bed spatial geometry. - Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences in 14.03.01 - Human anatomy (medical sciences). –Institute of urgent and reconstructive surgery named V. K. Gusak. - Donetsk, 2022.

The dissertation researches focus on studying the characteristics of the cerebral hemispheres arterial bed in norm. The values of the external and internal diameters of vessels of the base of the brain were clarified: the internal carotid, middle cerebral and posterior cerebral arteries, the values of the fractal index and the lacunarity index were determined, which make it possible to numerically evaluate the distribution of elements of the superficial arterial network, quantitatively assessed the asymmetry of the cerebral hemispheres superficial arterial bed.

Key words: superficial arterial bed, cerebral hemispheres, multifractal analysis, fractal index, lacunar index.

Список сокращений и условных обозначений

ВСА	–	внутренняя сонная артерия
ЗМА	–	задняя мозговая артерия
ИЛ	–	индекс лакуарности
ЛВА	–	лакуарный вектор асимметрии
ЛКА	–	лакуарный коэффициент асимметрии
ЛМА	–	лакуарный модуль асимметрии
СМА	–	средняя мозговая артерия
ПАР	–	поверхностное артериальное русло
ФВА	–	фрактальный вектор асимметрии
ФИ	–	фрактальный индекс
ФКА	–	фрактальный коэффициент асимметрии
ФМА	–	фрактальный модуль асимметрии
p	–	уровень значимости при коэффициенте Стьюдента
p*	–	уровень значимости при коэффициенте Вилкоксона
r	–	коэффициент корреляции Пирсона
r*	–	коэффициент корреляции Спирмена

Подписано в печать 08.09.2022 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Усл. печ. лист 2,0.
Тираж 100 экз. Зак. № 214
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.

