

ВЫШЕДКЕВИЧ  
ЕЛЕНА ДМИТРИЕВНА

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ПЕЛЬВИО- И ФЕТОМЕТРИЯ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГРУППАХ  
ВЫСОКОГО РИСКА

3.1.25. Лучевая диагностика

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург

2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель: доктор медицинских наук, доцент  
Ефимцев Александр Юрьевич

Официальные оппоненты: Лукина Ольга Васильевна  
доктор медицинских наук, и.о. заведующего кафедрой  
рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ  
ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный  
медицинский университет имени академика И.П.  
Павлова» Минздрава России

Коростышевская Александра Михайловна  
доктор медицинских наук, ведущий научный сотруд-  
ник ФГБУН «Международный Томографический  
Центр» Сибирского Отделения Российской Академии  
Наук

Ведущая организация: ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им.  
С.М. Кирова» Минобороны России

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г. в \_\_\_\_ час на заседании  
диссертационного совета 21.1.028.03 при ФГБУ «Национальный медицинский  
исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России (191014, Санкт-  
Петербург, ул. Маяковского, д. 12)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского  
научно-исследовательского нейрохирургического института им. А.Л. Поленова и  
на сайте: <http://www.almazovcentre.ru>

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор медицинских наук, профессор Иванова Наталия Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Беременность высокого (перинатального) риска - беременность с ранее существовавшими или текущими состояниями, которые подвергают мать, плод или новорожденного ребенка более высокому, чем обычно, риску осложнений во время или после беременности и родов (Беженарь В.Ф. и соавт., 2020; Al Hussaini H.A. et al., 2024; Kodali V.S., et al., 2024).

Вопрос о способе родоразрешения в группах риска остается нерешенным. Рандомизированные клинические исследования показали, что плановое кесарево сечение в группах высокого риска снижает перинатальную заболеваемость и смертность (Атласов В.О., 2008; Dodd J.M. et al., 2004; Berhan Y., Haileamlak A., 2016). Однако, более современные исследования показывают, что строгие критерии отбора в группу естественных родов позволяют снизить материнскую заболеваемость, связанную с кесаревым сечением (Клинические рекомендации РОАГ, 2021; Матевосян И.Э. 2021; Волкова Т.И., Журавлева Э.К., Стёпина Е.Д., 2021; Агабабян Л.Р., Насима З.С., 2024; Dahlquist K., Stuart A., Källén K., 2022; Adewale V. et al., 2023). В связи с этим, разработка критериев для планирования естественных родов в группах высокого риска может позволить снизить количество кесаревых сечений.

Одной из причин оперативных родоразрешений у групп высокого риска является развитие клинического несоответствия (син. клинически узкий таз, диспропорция размеров таза матери и плода) между размерами плода и таза матери, препятствующее его продвижению по родовому каналу (Клинические рекомендации РОАГ, 2021).

Частота клинически узкого таза остается относительно стабильной и составляет 1,3-17% родов, сочетаясь с возрастанием частоты оперативного родоразрешения, перинатальной и материнской заболеваемости и смертности (Чернуха Е.А., Волобуев А.И., Пучко Т.К., 2005; Shimelis Fantu et al., 2010; Stansfield S., 2013; Ayenew A.A., 2021). Своевременная диагностика клинически узкого таза позволяет снизить количество перинатальных осложнений, родового травматизма матери и плода (Клинические рекомендации РОАГ, 2021; Ergo A., et al., 2020).

В настоящее время основным методом оценки размеров таза и плода остается наружная пельвиометрия. Однако, по мнению абсолютного большинства авторов, этот метод характеризуется низкой информативностью в определении размеров таза из-за частого несоответствия между размерами большого и малого таза (Шмедык Н.Ю., 2016; El-Sayed Y.Y., 2012; Mayer C., 2013; Garg R. et al., 2023).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – это неионизирующий метод исследования, позволяющий получить изображение таза беременной в любой плоскости, измерить размеры таза женщины и головки плода, а также оценить состояние мягких тканей малого таза, в том числе состояние нижнего сегмента матки у беременных с рубцом, что позволяет на пренатальном этапе выявить риски не только тазово-плодовой диспропорции, но и такого осложнения, как разрыв матки (Семенова Е.С. и соавт., 2020; van Beek EJR et al., 2019; Gatta G. et al., 2021; Wang K. et al., 2022).

#### Степень разработанности темы

К настоящему времени магнитно-резонансная (МР)-пельвио- и фетометрия является наиболее информативной и безопасной методикой, позволяющей получить изображения таза беременной и головки плода в любой плоскости при полном отсутствии ионизирующего излучения (Lum M., Tsiouris A.J., 2020; Kim E., Boyd B., 2022).

Применение методики МР-пельвио- и фетометрии позволяет получить точные размеры таза матери и головки плода для оценки риска тазово-плодовой диспропорции (von Bismarck A., 2019; Shimaoka R. et al., 2023). В ряде работ анализируются результаты МР-пельвио- и фетометрии беременных и сопоставляются с методом родоразрешения, демонстрируя высокую информативность данного метода (Franz M., 2017; Liao KD et al., 2018; Li Y.G. et al., 2018). Однако, данные работы носят неоднозначный характер, так как в них рассматриваются только физиологические роды при нормальной массе плода в переднем виде затылочного предлежания.

Существуют работы, посвященные 3D моделированию костей таза матери и головки плода, основанные на использовании МР-томограмм беременных (Li, Y.-G. et al., 2018; Liao K.D. et al., 2018), однако в эти исследования включены беременные не из групп высокого перинатального риска.

Кроме того, не существует работ, посвященных анализу взаимосвязи между размерами малого таза, размерами плода и исходами родов, а именно, не изучено влияния вышеперечисленных параметров на частоту кесарева сечения по различным причинам, а не только в связи с клиническим несоответствием.

До настоящего времени не определены МР-критерии прогнозирования родов у таких групп высокого риска как: беременные с крупным плодом, беременные с рубцом на матке и беременные с уменьшенными размерами большого таза.

Существуют работы, посвященные применению нейросетей и искусственного интеллекта в медицине (Лысова М.Е., Кузнецов М.Е., 2023; Задорожная Е.А., Мороз К.А., 2024; Malani S.N., Shrivastava D., Raka M.S., 2023). Имеются единичные исследования, в которых применялся нейросетевой анализ данных для прогнозирования клинически узкого таза, однако в этих работах не были использованы методы лучевой диагностики (Зиганшин А.М., Дикке Г.Б., Мудров В.А., 2023). Исследования, в которых применялось бы нейросетевое моделирование костей таза матери и головки плода для повышения информативности МР-пельвио- и фетометрии в литературе отсутствуют. Всё вышеперечисленное и определяет актуальность данной темы.

#### Цель исследования

Улучшение прогнозирования исходов родов у беременных высокого риска путем выполнения магнитно-резонансной пельвио- и фетометрии с применением нейросетевого моделирования.

#### Задачи исследования

1. Разработать методику МР-пельвио- и фетометрии у беременных с последующим нейросетевым моделированием.
2. Определить возможности МРТ в прогнозировании исхода родов у беременных из групп высокого риска (с крупным плодом, с рубцом на матке, с уменьшенными размерами таза) с построением прогностических моделей.
3. Определить состояние нижнего сегмента матки у беременных с рубцом и без рубца на матке путем измерения его толщины для оценки риска акушерских осложнений.
4. Сопоставить результаты МР-пельвио- и фетометрии с нейросетевым моделированием со способом родоразрешения с определением ее информативности.

### Научная новизна исследования

Впервые разработана методика МР-пельвио- и фетометрии с применением нейросетевого моделирования, применение которой позволяет прогнозировать способ родоразрешения.

На основании результатов МР-пельвио- и фетометрии разработаны прогностические модели логистической регрессии исхода родов, с выявлением статистически достоверных критериев высокой вероятности экстренного кесарева сечения, которые представляют собой пороговые значения некоторых размеров малого таза беременных в исследуемых группах.

Доказано, что толщина переднего нижнего сегмента матки у беременных с рубцом на матке меньше, чем у беременных без рубца ( $1,94 \pm 0,49$  мм vs.  $2,49 \pm 1,03$  мм, соответственно), ( $p=0,017$ ). При этом истончение переднего нижнего сегмента до 1,0 мм может наблюдаться в обеих группах, что свидетельствует о низкой значимости этого параметра в прогнозировании риска акушерских осложнений у беременных с рубцом на матке.

При сопоставлении результатов МР-пельвио- и фетометрии в оценке рисков тазово-плодовой диспропорции с исходами родов установлена высокая чувствительность и специфичность метода (87,0 и 97,7%, соответственно).

### Теоретическая и практическая значимость исследования

Разработаны теоретические положения, совокупность которых подтверждена внедрением в клиническую практику методики МР-пельвио- и фетометрии.

Методика МР-пельвио- и фетометрии разработана с использованием программы T1 Dixon Vibe, характеризующейся быстрым временем сбора данных, что позволяет сократить время сканирования до 2-х минут и таким образом снизить уровень нагревания тканей беременной и плода (SAR), а также минимизировать риск развития синдрома сдавления нижней полой вены. Благодаря срезам, толщиной 1,2 мм, использование программы T1 Dixon Vibe позволяет получать 3D реконструкцию костей таза беременной и головки плода в любой необходимой плоскости.

Выявлены статистически достоверные критерии прогнозирования способа разрешения в группах риска, представляющие собой пороговые значения некоторых размеров малого таза беременных в исследуемых группах, при которых определяется высокая вероятность кесарева сечения.

Своевременное выявление рисков тазово-плодовой диспропорции позволяет повысить безопасность родов и сократить количество экстренных кесаревых сечений, и на пренатальном этапе спланировать тактику и способ родоразрешения.

#### Методология и методы исследования

Диссертационное исследование является когортным проспективным.

Методология исследования основана на теоретических и практических аспектах лучевой диагностики в акушерстве. В ходе исследования применялись различные научные методы – клинический, инструментальный, сравнительно-сопоставительный, статистический.

Предмет исследования – возможности разработанной методики магнитно-резонансной пельвио- и фетометрии с применением нейросетевого моделирования. Объект исследования – беременные высокого риска (с крупным плодом, с рубцом на матке, с уменьшенными размерами большого таза).

#### Положения, выносимые на защиту

1. Применение методики МР-пельвио- и фетометрии с нейросетевым моделированием с использованием тонкосрезовой программы T1 Dixon Vibe позволяет точно определить размеры таза беременной и головки плода для определения риска тазово-плодовой диспропорции и прогнозирования способа родоразрешения в группах риска.

2. Статистически достоверные критерии риска кесарева сечения у беременных могут быть определены на основании уменьшения размеров таза беременных ниже выявленного порогового значения в группах риска (у беременных с крупным плодом, с рубцом на матке, с уменьшенными размерами таза).

3. Толщина переднего нижнего сегмента матки по данным МРТ у беременных с рубцом на матке не является прогностически значимым критерием в оценке риска акушерских осложнений, поскольку истончение переднего нижнего сегмента до 1,0 мм может наблюдаться как у беременных с рубцом на матке, так и у беременных без рубца.

#### Степень достоверности и апробация диссертационной работы

Достоверность проведенного диссертационного исследования определяется достаточным количеством клинических наблюдений (n=181), репрезентативной выборкой пациентов и адекватной статистической обработкой результатов иссле-

дования. На основании полученных данных сформулированы положения, выводы и практические рекомендации.

Основные результаты работы доложены и обсуждены на: Невском радиологическом форуме (СПб., 2022-2024); Научно-практической конференции «Лучевая диагностика в перинатологии и педиатрии» (СПб, 2022); Алмазовском молодежном медицинском форуме (СПб., 2022); заседании Санкт-Петербургского радиологического общества (СПб., 2023); Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (СПб., 2023).

Апробация работы проведена на совместном заседании Проблемной комиссии по неонатологии, педиатрии, акушерству и гинекологии и кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России от «24» апреля 2024 протокол № 13.

#### Публикации

По теме диссертационного исследования опубликовано 12 печатных работ, из них 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Внедрение результатов работы

Результаты диссертации использованы при выполнении Государственного задания «Разработка системы нейросетевого моделирования для МР-пельвио- и фетометрии для определения рисков затрудненных родов» Рег. № 123021000134-5.

Результаты работы внедрены в работу: отделения магнитно-резонансной томографии, а также используются в учебном процессе на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России; отделения функциональной и лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии и учебного процесса кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии им. профессора С.А. Рейнберга ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»; научно-клинического центра лучевой диагностики ФГБОУ ВО «ПСПбГМУ имени академика И.П. Павлова» Минздрава России.

#### Личный вклад автора

Тема и план диссертации, ее основные идеи и содержание разработаны совместно с научным руководителем. Автор самостоятельно сформулировала и



обосновала актуальность темы диссертации, цель, задачи и этапы научного исследования. Лично автором была создана электронная база данных пациентов. Диссертант лично обследовала 181 женщину, проведя им МР-пельвио- и фетометрию с нейросетевым моделированием. Личный вклад автора в изучение литературы, сбор, обобщение, анализ полученных данных и написание диссертации – 100%.

#### Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 163 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием пациентов и методов исследования, глав с результатами исследования, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, перспектив дальнейшего развития и списка литературы (182), включающего 67 отечественных и 115 зарубежных источников. Работа иллюстрирована 40 таблицами, 30 рисунками.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### Общая характеристика обследованных пациентов

Всего обследована 181 беременная, обратившихся амбулаторно и/или находившихся на обследовании и лечении в дородовом отделении Перинатального центра ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России в период с 2021 по 2024 год.

На основании показаний к МР-пельвио- и фетометрии все беременные были разделены на четыре группы:

Группа I (n=49) – крупный плод, с предполагаемой массой 4000 г и более по результатам УЗИ.

Группа II (n=44) – беременные с одним рубцом на матке после кесарева сечения или миомэктомии.

Группа III (n=49) – беременные с уменьшенными размерами большого таза (сужение хотя бы одного из наружных размеров таза на 2,0 см и более по сравнению со стандартной нормой).

Группа IV (n=39) – беременные с условной нормой, которые в последствие имели физиологические роды. В эту группу вошли беременные, которым было выполнена МРТ по другим показаниям и дополнительно проведена МР-пельвио- и фетометрия.

Была разработана методика МР-пельвио- и фетометрии. МРТ выполняли на томографе с силой индукции магнитного поля 1,5 Тесла. Средний срок гестации на момент проведения МРТ составил 38,5 нед. Для сбора данных применяли поверхностную мягкую матричную катушку для тела (CP Body Array Coil).

МР-пельвио- и фетометрию проводили по стандартному и оптимизированному протоколу. Стандартный протокол включал использование двух отдельных блоков программ: для МР-пельвиометрии и для МР-фетометрии. Оптимизированный протокол включал использование одной программы T1 Dixon Vibe.

Для стандартной МР-пельвиометрии выполняли две программы Turbo Spin Echo (TSE) с получением T1-ВИ в сагиттальной и косо-аксиальной плоскостях, ориентированных по тазу беременной (Рисунок 1).

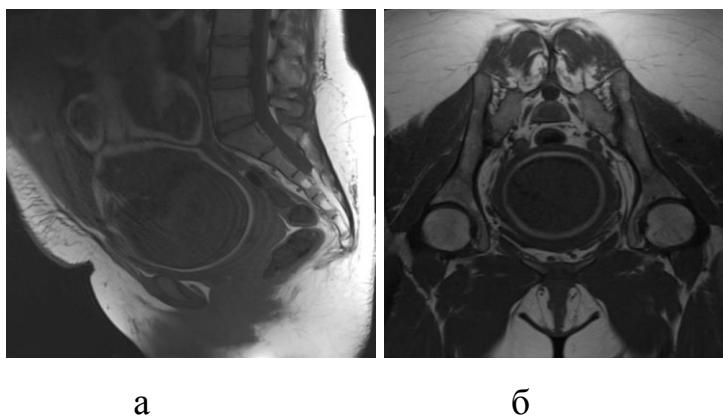


Рисунок 1 – МР-томограммы таза беременной в сагиттальной (а) и косо-аксиальной (б) плоскостях для МР-пельвиометрии, T1 TSE

Для стандартной МР-фетометрии выполняли две программы Turbo Spin Echo (TSE) с получением изображений головки плода в сагиттальной и косо-аксиальной плоскостях (Рисунок 2).

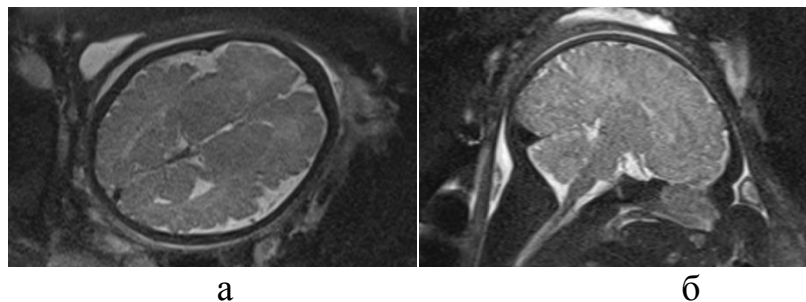


Рисунок 2 – МР-томограммы головки плода в аксиальной (а) и сагиттальной плоскостях (б)

Нами предложено использование оптимизированного протокола, состоящего из одной тонкосрезовой программы T1 Dixon Vibe, который применяли после выполнения стандартного протокола для МР-пельвио- и фето-метрии (Таблица 1).

Таблица 1 – Параметры оптимизированного протокола

Импульсная последовательность	TR (мс)	TE (мс)	Матрица	Th (мм)	FOV (мм)	ТА (мин: сек)
T1 Dixon Vibe	6,8	2,4	256x123	1,5	320x350	1:20

В результате получали одну МР-томограмму в сагиттальной плоскости (Рисунок 3). При ориентации программы ведущее значение имели размеры поля обзора – необходимо, чтобы полностью захватывались структуры тазового костного кольца и головка плода.

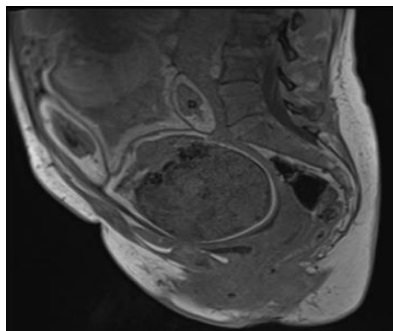


Рисунок 3 – МР-томограмма таза беременной и плода в сагиттальной плоскости, полученная с использованием импульсной последовательности T1 Dixon Vibe

Таким образом, в результате сканирования получали двухмерные МР-томограммы таза беременной и головки плода в различных плоскостях из стандартного протокола, и трехмерные изображения в сагиттальной плоскости (3D T1 Dixon Vibe) из оптимизированного протокола.

Дальнейшая постпроцессинговая обработка данных включала использование программы T1 Dixon Vibe для сегментации костей малого таза беременной и головки плода, с вычислением необходимых размеров по заданным костным ориентирам. Маски костей таза были получены в программе Inobitec с помощью совмещения и корегистрации изображений двух модальностей – КТ и МРТ – выполненных одним и тем же пациентам (Рисунок 4). Маски головки плода были получены по МР-изображениям беременных методом ручной сегментации с

использованием программы MedSeg. Далее проводилось обучение нейронной сети с использованием масок и применением специально разработанного алгоритма. Таким образом, мы имели возможность получить необходимые размеры малого таза и головки плода в любой плоскости.

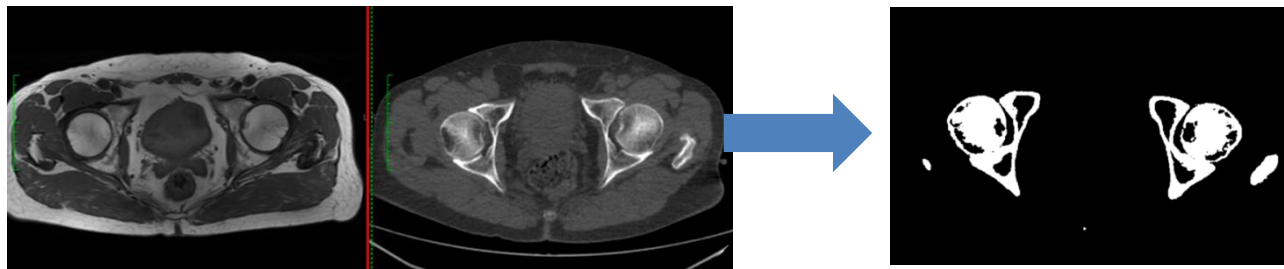


Рисунок 4 – Корегистрация (совмещение) изображений МРТ и КТ с получением масок

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

### Результаты МР-пельвио- и фетометрии в группе с крупным плодом и группе с нормой

По данным МР-пельвиометрии не выявлено статистически значимых межгрупповых различий в размерах малого таза беременных между группами I и IV ( $p > 0,05$ ). Однако, в обеих группах были выявлены беременные с уменьшением размеров малого таза по данным МРТ, у которых по данным В обеих группах имелись женщины с сужением малого таза I и II степени, согласно классификации Пучко Т.К. и соавт., (2005) - уменьшение размеров таза на 1,0 см и не более, чем на 2,0 см, соответственно. Так, в I группе отмечались уменьшения размеров малого таза у 4 женщин, в IV группе - у 3 женщин.

По результатам МР-фетометрии, в группе I отмечается статистически значимое увеличение измеряемых размеров головки плода по сравнению с группой IV – бипариетального размера и окружности головки по малому косому размеру (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты измерения размеров головки плода по данным МР-пельвио- и фетометрии в группах I и IV

Показатели	Группа I	Группа IV	p
Максимальный бипариетальный размер	10,20 [9,90; 10,60]	10,00 [9,80; 10,20]	0,024*
Лобно-затылочный размер головы плода,	12,10 [11,80; 12,40]	12,20 [11,90; 12,50]	0,665
Малый косой размер головы плода,	9,80 [9,25; 10,00]	9,70 [9,10; 9,80]	0,116
Окружность головки по малому косому размеру	31,70 [30,42; 32,30]	30,15 [29,80; 31,55]	0,003*

Примечание: \* - значение p статистически значимо

Согласно таблице 2, в группе I (крупный плод) отмечается статистически значимое увеличение бипариетального размера и окружности головки по малому косому размеру.

Результаты МР-пельвио- и фетометрии в группе с рубцом на матке и группе с нормой

Статистически значимых межгрупповых различий в размерах малого таза беременных и головки плода между группами II и IV выявлено не было.

Результаты МР-пельвио- и фетометрии в группе с уменьшенными размерами большого таза и группе с нормой (Таблица 3)

Таблица 3 – Результаты измерения размеров малого таза беременной и головки плода по данным МР-пельвио- и фетометрии в группах III и IV

Показатели	Группа III	группа IV	p
1	2	3	4
Максимальный бипариетальный	9,60 [9,20; 10,00]	10,00 [9,80; 10,20]	< 0,001*
Лобно-затылочный размер головы плода	11,80 [11,30; 12,00]	12,20 [11,90; 12,50]	< 0,001*
Малый косой размер головы плода	9,30 [8,80; 9,50]	9,70 [9,10; 9,80]	0,015*
Окружность головки по МРТ	29,80 [28,60; 30,30]	30,15 [29,80; 31,55]	0,011*

Продолжение таблицы 3

Прямой размер входа таза	12,30 [11,43; 12,70]	12,50 [12,20; 12,70]	0,048*
Прямой размер широкой части полости малого таза	12,40 [12,20; 12,80]	13,00 [12,50; 13,75]	0,005*
Прямой размер узкой части полости малого таза	10,9 [10,1; 11,7]	11,9 [11,0; 12,3]	< 0,001*
Прямой размер выхода таза	8,70 [8,30; 9,10]	9,20 [9,00; 9,50]	< 0,001*
Наибольший поперечный размер входа	12,50 [11,90; 12,80]	13,60 [12,95; 14,30]	< 0,001*
Поперечный размер широкой части полости	10,50 [10,00; 11,20]	11,60 [11,30; 12,00]	< 0,001*
Межостный размер	11,30 [10,80; 11,80]	12,10 [11,90; 12,70]	< 0,001*
Битуберозный размер	12,00 [11,20; 12,70]	12,00 [11,20; 12,70]	0,001*

Примечание: \* - значение p статистически значимо

Выявлены межгрупповые различия во всех размерах малого таза беременных и головки плода между группами III и IV – все размеры были меньше в группе III.

#### Анализ переднего нижнего сегмента матки

По результатам МРТ было выявлено статистически значимое различие в толщине переднего нижнего сегмента матки у беременных с рубцом и без рубца на матке. Нижний сегмент матки был тоньше у пациенток с рубцом на матке ( $1,94 \pm 0,49$  мм), чем у беременных без рубца в контрольной группы ( $2,49 \pm 1,03$  мм). При этом, истончение переднего нижнего сегмента до 1,0 мм наблюдалось у 9 (23%) женщин без предыдущего кесарева сечения и у 15 (34%) женщин с рубцом на матке.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

#### Результаты статистического анализа в группе I (беременные с крупным плодом)

Была разработана прогностическая модель для определения исхода родов (естественные роды или кесарево сечение) в зависимости от каждого отдельного размера малого таза беременной и головки плода методом бинарной логистической регрессии.

Был проведен ROC-анализ взаимосвязи показателей размеров таза беременной и исхода родов по-отдельности. Площадь под ROC-кривой, интерпретируемая как диагностическая информативность каждого из них в

отдельности для прогнозирования вероятности исхода родов, находилась в пределах от 0,689 до 0,865 (Таблица 4, Рисунок 5).

Таблица 4 – Характеристики ROC-кривых для размеров таза беременной при оценке риска кесарева сечения

Параметр	Площадь под ROC-кривой	95% ДИ	Значимость модели, p	Точка cut-off (см)	Чувствительность модели, %	Специфичность модели, %
Прямой размер выхода таза	0,689 ± 0,075	0,541 – 0,836	p = 0,024*	9,0	45,5	81,5
Наибольший поперечный размер входа	0,734 ± 0,071	0,595 – 0,873	p = 0,005*	12,2	86,4	59,3
Поперечный размер широкой части полости	0,789 ± 0,064	0,662 – 0,915	p < 0,001*	12,0	95,5	55,6
Межостный размер	0,865 ± 0,052	0,763 – 0,967	p < 0,001*	11,3	72,7	92,6
Битуберозный размер	0,756 ± 0,06	0,621 – 0,890	p = 0,002*	12,2	90,9	55,6

Исходя из таблицы, кесарево сечение в группе I прогнозировалось при значении наибольшего поперечный размера входа ниже 12,2 см; прямого размера входа таза ниже 9,0 см; поперечного размера широкой части полости ниже 12,0 см; межостного размера ниже 11,3 см; битуберозного размера ниже 12,2 см.

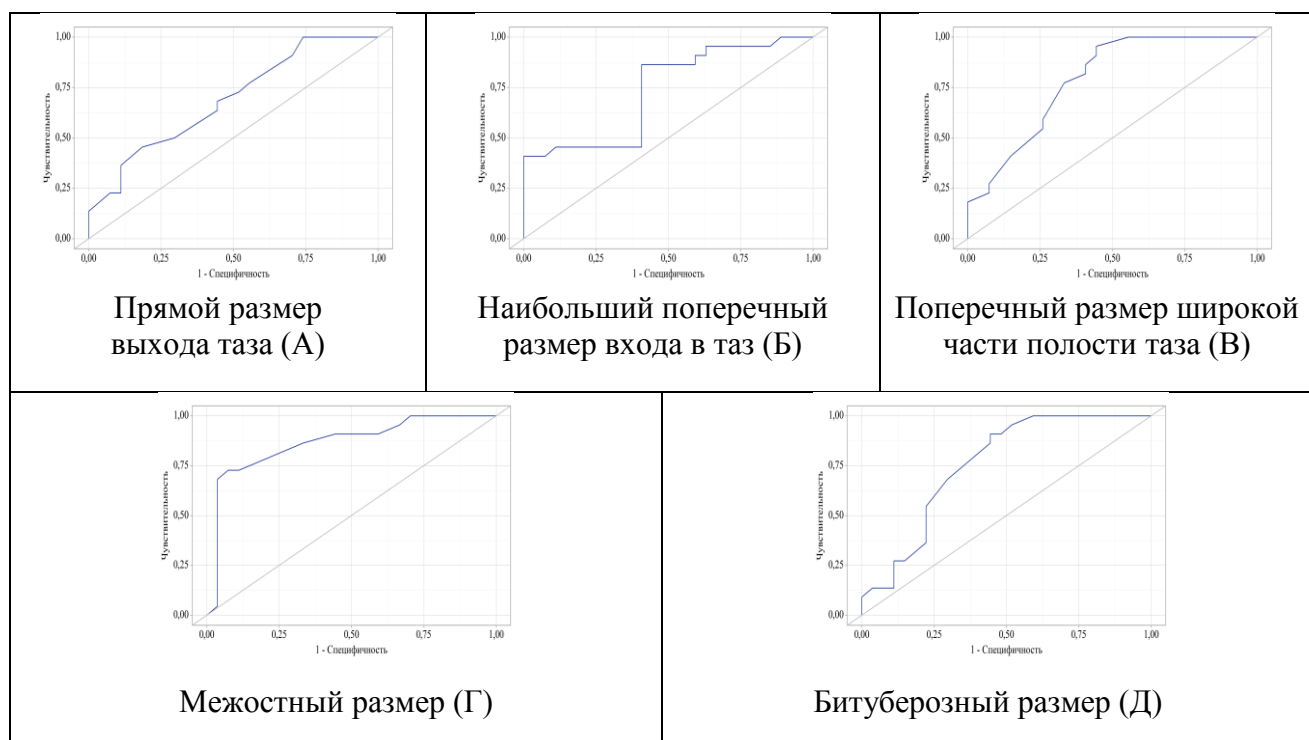


Рисунок 5 – ROC-кривые, характеризующие зависимости вероятности исхода родов от следующих параметров: А - прямой размер выхода таза, Б - наибольший поперечный размер входа, В - поперечный размер широкой части полости, Г - межкостный размер таза, Д - битуберозный размер

#### Результаты статистического анализа в группе II (беременные с рубцом на матке)

Был проведен ROC-анализ взаимосвязи показателей размеров таза беременной и исхода родов по-отдельности. Площадь под ROC-кривой, интерпретируемая как диагностическая информативность каждого из них в отдельности для прогнозирования вероятности исхода родов, находилась в пределах от 0,682 до 0,724 (Таблица 5, Рисунок 6).

Таблица 5 – Характеристики ROC-кривых для размеров малого таза беременной при оценке риска кесарева сечения

Параметр	Площадь под ROC-кривой	95% ДИ	Значимость модели, р	точка cut-off (см)	Чувствительность модели, %	Специфичность модели, %
Прямой размер входа таза	0,682 ± 0,080	0,524 – 0,839	0,041*	11,4	88,9	53,8
Прямой размер выхода таза	0,724 ± 0,076	0,575 – 0,873	0,012*	9,1	55,6	84,6



Исходя из данных таблицы 5, кесарево сечение прогнозировалось при значении прямого размера входа таза ниже 11,4 см.; при значении прямого размера выхода таза ниже 9,1 см.

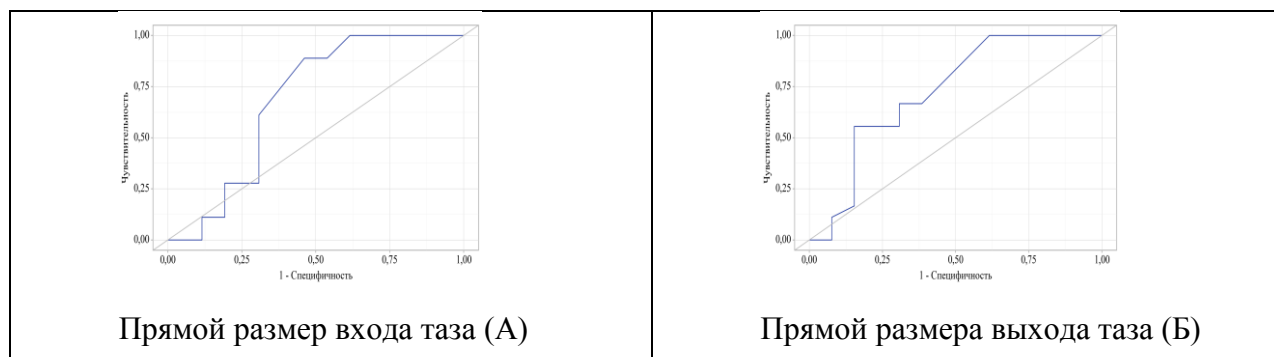


Рисунок 6 – ROC-кривые, характеризующие зависимости вероятности исхода родов от следующих параметров: А - от прямого размера входа таза, Б - от прямого размера выхода таза

### Результаты статистического анализа в группе III (беременные с уменьшенными размерами большого таза)

Был проведен ROC-анализ взаимосвязи показателей размеров таза беременной и исхода родов.

Таблица 6 – Характеристики ROC-кривых для размеров таза беременной при оценке риска кесарева сечения

Параметр	Площадь под ROC-кривой	95% ДИ	Значимость модели, р	точка cut-off	Чувствительность модели, %	Специфичность модели, %
Прямой размер входа таза	0,776 ± 0,067	0,646 – 0,906	р = 0,001	10,8	100,0	50,0
Прямой размер широкой части полости малого таза	0,690 ± 0,075	0,542 – 0,837	р = 0,025	11,8	90,0	55,2

Кесарево сечение прогнозировалось при значении прямого размера входа таза ниже 10,8 см, при значении прямого размера широкой части полости малого таза ниже 11,8 см.

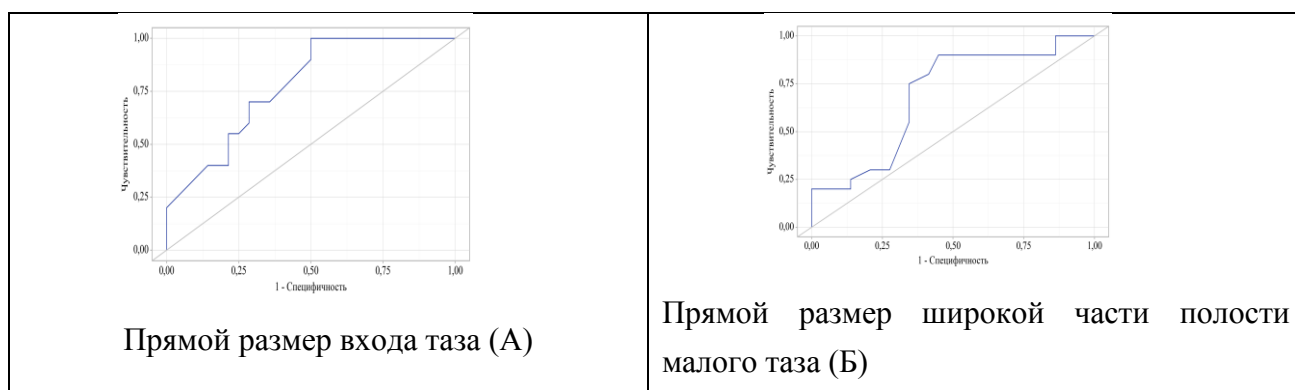


Рисунок 6 – ROC-кривые, характеризующая зависимость вероятности исхода рода от следующих параметров: А - прямого размера входа таза, Б - прямого размера широкой части полости малого таза

### Анализ исхода родов

Тазово-головная диспропорция была установлена в 16 случаях: 7 в группе I, 4 в группе II, 5 в группе III. В группе с крупным плодом в 57,1% (n=4) случаев тазово-головная диспропорция случалась при сочетании с уменьшенными размерами таза, в 42,9% (n=3) при неблагоприятном вставлении головки; в группе с рубцом на матке в 100% (n=4) случаев по причине неблагоприятных вставлений головки, в группе с суженным тазом в 50% (n=3) при нормальной массе плода и переднем виде затылочного вставления, в 50% при неблагоприятных вставлениях головки плода (n=2).

### Результаты анализа сопоставимости результатов МРТ в прогнозировании риска тазово-головной диспропорции с исходами родов

Прогностическая модель для определения вероятности исхода родов в зависимости от выявленного риска тазово-головной диспропорции по данным МРТ была проведена методом бинарной логистической регрессии. Число наблюдений составило 142 (Таблица 7).

Полученная регрессионная модель является статистически значимой ( $p < 0,001$ ). Исходя из значения коэффициента детерминации Найджелкерка, модель объясняет 62,9% наблюдаемой дисперсии исхода рода. При отсутствии риска тазово-головной диспропорции по данным МРТ шансы на ее отсутствие во время родов увеличивались в 168 раз.

Таблица 7 – Характеристики связи предикторов модели с вероятностью выявления исхода рода

Предикторы	Нескорректированный результат		Скорректированный результат	
	COR; 95% ДИ	p	AOR; 95% ДИ	p
Риск диспропорции по МРТ: да	168,006; 30,508 – 925,191	< 0,001*	168,006; 30,508 – 925,191	< 0,001*

Примечание: \* – влияние предиктора статистически значимо ( $p < 0,05$ ); COR – нескорректированное отношение шансов, AOR – скорректированного соотношения шансов

При оценке зависимости вероятности отсутствия диспропорции от значения логистической функции P с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая (Рисунок 7).

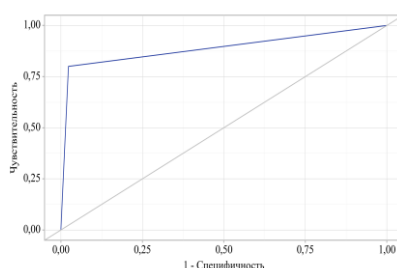


Рисунок 7 – ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности исхода рода от значения логистической функции P

Площадь под ROC-кривой составила  $0,888 \pm 0,057$  с 95% ДИ: 0,777 – 0,999. Полученная модель была статистически значимой ( $p < 0,001$ ).

Пороговое значение логистической функции P в точке cut-off составило 0,8. Чувствительность и специфичность модели составили 87,0% и 97,7%, соответственно.

#### Результаты разработанной методики

Был разработан алгоритм, который, используя ИП T1 Dixon Vibe в качестве входных данных, выполняет сегментацию и 3D реконструкцию костей таза беременной и головки плода и автоматически определяет необходимые размеры (Рисунок 8).

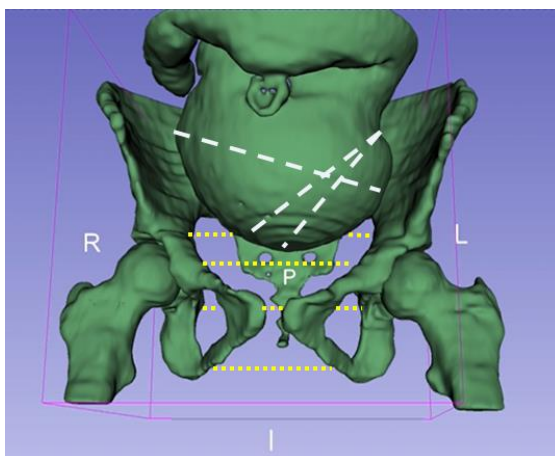


Рисунок 8 – 3D модель таза беременной и головки плода со схематическим изображением автоматически определяемых размеров малого таза (желтый пунктир) и головки плода (белый пунктир)

При сравнительном анализе данных, полученных при использовании стандартной методики, оптимизированного протокола и разработанного алгоритма автоматического вычисления размеров, не выявлено статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработана методика МР-пельвио- и фетометрии с применением нейросетевого моделирования, применение которой позволяет прогнозировать исход родов. МР-пельвио- и фетометрия была выполнена на томографе с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла с применением поверхностной радиочастотной катушки с охватом ими живота беременной.

Всего обследована 181 беременная. Все беременные были разделены на четыре группы: группа I ( $n=49$ ) - крупный плод, с предполагаемой массой 4000 г и более по результатам УЗИ; группа II ( $n=44$ ) – беременные с одним рубцом на матке после кесарева сечения или миомэктомии; группа III ( $n=49$ ) – беременные с уменьшенными размерами большого таза (сужение хотя бы одного из наружных размеров таза на 2,0 см и более по сравнению со стандартной нормой), группа IV ( $n=39$ ) – беременные с условной нормой, которые в последствие имели физиологические роды.

Для МР-пельвио- и фетометрии применялся стандартный протокол с использованием импульсных последовательностей TSE и HASTE, и оптимизированный, состоящий из одной тонкосрезовой программы T1 Dixon Vibe.

В результате сканирования получали двухмерные МР-томограммы таза беременной и головки плода в различных плоскостях из стандартного протокола, и одну трехмерную программу в сагиттальной плоскости из оптимизированного протокола. В дальнейшем программа из оптимизированного протокола T1 Dixon Vibe использовалась в алгоритме нейросетевого моделирования.

В результате проведенного статистического анализа не выявлено значимых межгрупповых различий в размерах малого таза беременных между группами I и IV. Однако, в обеих группах были выявлены беременные с уменьшением размеров малого таза по данным МРТ, у которых по данным наружной антропометрии размеры большого таза были нормальными. При анализе результатов МР-фетометрии выявлено увеличение бипариетального размера и окружности головки плода в группе I (крупный плод) по сравнению с группой IV (норма).

Между группами II (рубец на матке) и IV (норма) статистически значимых различий в размерах таза беременной и головки плода выявлено не было.

Было выявлено различие в размерах малого таза беременной и головки плода в группах III (уменьшенные размеры большого таза) и IV (норма) – в группе III все размеры были меньше.

Истончение переднего нижнего сегмента матки до 1,0 мм может быть нормальным явлением у беременных без рубца, что позволяет сделать вывод о низкой прогностической ценности данного параметра в оценки рисков такого акушерского осложнения, как разрыв матки у беременных с рубцом на матке.

Выявлены статистически достоверные критерии прогнозирования исхода родов в различных группах риска, включающие пороговые значения некоторых размеров малого таза беременных в исследуемых группах, при которых определяется высокая вероятность кесарева сечения.

Доказано, что МР-пельвио- и фетометрия в прогнозировании риска тазово-головной диспропорции обладает высокой чувствительностью и специфичностью.

Полученные данные позволяют повысить безопасность родов и сократить количество экстренных кесаревых сечений, и на пренатальном этапе спланировать тактику и способ родоразрешения.

## ВЫВОДЫ

1. Методика МР-пельвио- и фетометрии с нейросетевым моделированием, выполненная по разработанному протоколу с использованием тонкосрезовой программы T1 Dixon Vibe, позволяющему сократить время сканирования до двух минут, является высокоточным методом определения размеров таза беременной и головки плода и не имеет достоверных различий при сравнении с измерениями, полученными при использовании стандартного протокола ( $p > 0,064$ ).

2. Разработанная прогностическая модель логистической регрессии позволила выделить статистически достоверные факторы риска экстренного кесарева сечения на основании размеров малого таза беременных по данным МРТ. Кесарево сечение прогнозировалось: в группе I – при значении наибольшего поперечного размера входа ниже 12,2 см ( $p = 0,005$ ), межкостного размера ниже 11,3 см ( $p < 0,001$ ), битуберозного размера ниже 12,2 см ( $p = 0,002$ ), прямого размера входа таза ниже 9,0 см ( $p = 0,024$ ); в группе II кесарево – при значении прямого размера входа таза ниже 11,4 см ( $p = 0,041$ ), прямого размера выхода таза ниже 9,1 см ( $p = 0,012$ ); в группе III – при значении прямого размера входа таза ниже 10,8 см ( $p = 0,001$ ), прямого размера широкой части полости малого таза ниже 11,8 см ( $p = 0,025$ ).

3. При выполнении МРТ у беременных с рубцом на матке выявлено, что толщина переднего нижнего сегмента матки меньше, чем у беременных без рубца ( $1,94 \pm 0,49$  мм и  $2,49 \pm 1,03$  мм, соответственно),  $p = 0,017$ . Истончение переднего нижнего сегмента до 1,0 мм может наблюдаться как у беременных с рубцом на матке, так и у беременных без рубца, что свидетельствует о низкой информативности этого параметра в прогнозировании риска акушерских осложнений у беременных с рубцом на матке.

4. МР-пельвио- и фетометрия с нейросетевым моделированием является достоверным методом для прогнозирования исхода родов. Чувствительность и специфичность МР-пельвио- и фетометрии в прогнозировании риска тазово-плодовой диспропорции составила 87,0 и 97,7%, соответственно.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. МР-пельвио- и фетометрию с нейросетевым моделированием целесообразно применять в специализированных Перинатальных центрах III уровня, оснащенных высокопольными томографами, при обследовании беременных в

группах рисках (беременность крупным плодом, наличие рубца на матке, беременные с уменьшенными размерами таза).

2. Рекомендуются использовать оптимизированный протокол МРТ, состоящий из одной тонкосрезовой программы T1 Dixon Vibe для снижения сокращения время сканирования, снижения уровня нагревания тканей беременной и плода (SAR), а также минимизации риска развития синдрома сдавления нижней поллой вены.

3. Для планирования способа родоразрешения по данным МРТ целесообразно использовать разработанный нейросетевой алгоритм, который позволяет автоматически рассчитать риск тазово-плодовой диспропорции при различных вариантах вставления головки плода.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы и данного направления научного исследования связана с более широким внедрением данной методики исследования в Перинатальных центрах страны.

Актуальным является значительное увеличение количества проводимых исследований и использование больших данных (Big data) для машинного обучения с последующим применением искусственного интеллекта. Применение искусственного интеллекта позволит автоматически проводить все измерения, извлекать новую медицинскую информацию для оказания помощи врачам лучевой диагностики, а также акушерам-гинекологам при прогнозировании исходов родов.

### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Вышедкевич, Е.Д. Оптимизированная методика магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Е.Д. Вышедкевич // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2022. – С. 49-50.

2. Вышедкевич, Е.Д. Усовершенствованная методика магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Палеева И.С., Вышедкевич Е.Д., Шериев С.Р. // Трансляционная медицина. – 2023. – Приложение 3. – С. 205.

3. Вышедкевич, Е.Д. Разработанная методика трехплоскостной магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Е.Д. Вышедкевич, С.Р. Шериев, А.Ю. Ефимцев и соавт. // Трансляционная медицина. – 2023. – Т. 10, № 5. – С. 455-465.

4. Выshedkevich, E.D. МРТ. Органы малого таза у женщин: руководство для врачей / Е.Д. Выshedkevich / Под ред. Г.Е. Труфанова, В.А. Фокина. – СПб: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 448 с.

5. Выshedkevich, E.D. Современные возможности магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Е.Д. Выshedkevich // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2023. – С. 39-40.

6. Выshedkevich, E.D. Оптимизированная методика магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Е. Д. Выshedkevich, И.С. Палеева, С.Р. Шериев // Лучевая диагностика и терапия. – № 14 (s). – 2023. – С. 140.

7. Выshedkevich, E.D. Результаты магнитно-резонансной пельвиофетометрии при беременности крупным плодом / Е.Д. Выshedkevich, С.Р. Шериев, И.С. Палеева и соавт. // **Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — №3 (141). — Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/3-141-2024-march/10.23670/IRJ.2024.141.36>**

8. Выshedkevich, E.D. Анализ исхода родов при беременности крупным плодом в зависимости от размеров малого таза беременных по данным магнитно-резонансной томографии / Е. Д. Выshedkevich // Лучевая диагностика и терапия. – № 15 (s). – 2024. – С. 133.

9. Выshedkevich, E.D. Магнитно-резонансная пельвиофетометрия при беременности крупным плодом / Е.Д. Выshedkevich, И.С. Палеева, С.Р. Шериев // Лучевая диагностика и терапия. – № S (15). – 2024. – С. 133-134.

10. Выshedkevich, E.D. Магнитно-резонансная томография в оценке переднего нижнего сегмента матки у беременных с рубцом и без рубца на матке при доношенной беременности / Е.Д. Выshedkevich, И.С. Палеева, Г.Е. Труфанов // Трансляционная медицина. – 2024. – Приложение 2. – С. 35.

11. Выshedkevich, E.D. Оценка зависимости исхода родов крупным плодом от размеров малого таза беременных по данным магнитно-резонансной пельвиофетометрии/ Е.Д. Выshedkevich // Трансляционная медицина. – 2024. – Приложение 2. – С. 36.

12. Выshedkevich, E.D. Современная методика магнитно-резонансной пельвиофетометрии / Е.Д. Выshedkevich, С.Р. Шериев, Д.А. Береговский и соавт.// **Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №7 (145). —**



**Режим доступа:** <https://research-journal.org/archive/7-145-2024-july/10.60797/TRJ.2024.145.114>

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДВИ – диффузионно-взвешенные изображения

ДИ – доверительный интервал

ИП – импульсная последовательность

МР – магнитно-резонансный (ое, ая, ые)

МРТ – магнитно-резонансная томография

T1-ВИ – T1-взвешенное изображение

T2-ВИ – T2-взвешенное изображение

УЗ – ультразвуковой (ое, ая, ые)

УЗИ – ультразвуковое исследование