

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РЕЦЕПТИВНОСТИ ЭНДОМЕТРИЯ

Минашкина Е.В.^{1,2}, Ожогина Е.В.², Озерская И.А.³

1 – ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет). г. Москва, Россия.

2 – Центр репродукции и генетики «Нова клиник», ООО «МедИнСервис». г. Москва, Россия.

3 – ФГБОУ ВПО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы». г. Москва, Россия.

Рецептивность эндометрия – периодически ограниченное гормонально зависимое состояние, при котором эндометрий достигает необходимой физиологической и морфологической зрелости для имплантации эмбриона. С учетом сложной демографической ситуации высоко востребованы знания в репродукции человека, в том числе во всестороннем изучении вопроса рецептивности. Всё большее значение в исследовании эндометрия приобретает ультразвуковая диагностика. Так, от простого измерения толщины эндометрия фокус сместился на исследования функциональных состояний и восприятия матки и её придатков как взаимосвязано действующего гормонально-эпителиально-мышечно-сосудистого механизма. Чем больше тонкостей в понимании состояния репродуктивной системы сможет дать ультразвуковое исследование, тем большей информацией, полученной неинвазивным, сравнительно дешевым методом, будет обладать репродуктолог. Высокое качество исследований обеспечивается использованием таких передовых методик и технологий ультразвука, как 3D-эхография, 3D-доплерометрия, эластография и использование ультразвуковых контрастных препаратов. В нашем обзоре мы постарались провести многофакторный анализ состояний матки, от комплексной взаимосвязи которых и зависит рецептивность эндометрия.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, рецептивность эндометрия, вспомогательные репродуктивные технологии.

Контактный автор: Минашкина Е.В., e-mail: minashkina.e@nova-clinic.ru

Для цитирования: Минашкина Е.В., Ожогина Е.В., Озерская И.А. Ультразвуковые методы диагностики рецептивности эндометрия. REJR 2025; 15(1):193-205. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-193-205.

Статья получена: 20.10.24

Статья принята: 02.03.25

ULTRASONIC METHODS FOR DIAGNOSTICS OF ENDOMETRIAL RECEPTIVITY

Minashkina E.V.^{1,2}, Ozhogina E.V.², Ozerskaya I.A.³

1 - Sechenov University.

2 - Center for Reproduction and Genetics «Nova Clinic».

3 - Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia. Moscow, Russia.

Еndometrial receptivity is a periodically limited hormonally dependent condition in which the endometrium reaches the necessary physiological and morphological maturity for embryo implantation. Given the complex demographic situation knowledge of human reproduction, including a comprehensive study of the receptivity issue, is in high demand. Ultrasound diagnostics is becoming increasingly important in the endometrium study. Thus, from simply measuring the thickness of the endometrium, the focus has shifted to studies of the functional states and perception of the uterus and its appendages as an interrelated hormonal-epithelial-muscular-vascular mechanism. The more subtleties in understanding the state of the reproductive

system an ultrasound examination can provide, the more information a reproductive specialist will have received by using a non-invasive, relatively inexpensive method. High quality research is ensured by the use of advanced ultrasound techniques and technologies, such as 3D echography, 3D Doppler, elastography and the use of ultrasound contrast agents. In our review, we tried to conduct a multifactorial analysis of the uterus condition, on the complex interrelation of which the receptivity of the endometrium depends.

Keywords: ultrasound diagnostics, endometrial receptivity, assisted reproductive technologies.

Corresponding author: Minashkina E.V., e-mail: minashkina.e@nova-clinic.ru

For citation: Minashkina E.V., Ozhogina E.V., Ozerskaya I.A. Ultrasonic methods for diagnostics of endometrial receptivity. REJR 2025; 15(1):193-205. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-193-205.

Received: 20.10.24

Accepted: 02.03.25

Современная репродуктивная медицина сталкивается с многочисленными трудностями, связанными с проблемами женской фертильности, в частности с вопросами успешной имплантации эмбриона. Это событие требует синхронного взаимодействия нескольких факторов: наличия компетентного эмбриона, рецептивного эндометрия и молекулярного «диалога» между ними, а также достаточной иммунной толерантности со стороны организма женщины [1]. На данный момент известно, что субоптимальная рецептивность эндометрия является причиной значительной доли неудач имплантации, что усложняет как естественное зачатие, так и наступление беременности в результате применения вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) [2].

Рецептивность эндометрия представляет собой периодически ограниченное гормонально зависимое состояние, при котором эндометрий достигает необходимой физиологической и морфологической зрелости для имплантации эмбриона. Этот период, известный как «окно имплантации», длится несколько дней в середине лютеиновой фазы менструального цикла. Успешная имплантация требует баланса между про- и анти- воспалительными механизмами, тонко настроенной иммунной реакции и точной координации гормональных сигналов. Однако различные заболевания матки нарушают этот баланс, существенно снижая вероятность успешного зачатия.

Ультразвуковая диагностика, благодаря своей неинвазивности, высокой точности и доступности, является одним из ведущих методов оценки состояния эндометрия и его рецептивности. Традиционные ультразвуковые методы позволяют оценить толщину эндометрия, его структуру и кровоток. Эти па-

раметры играют важную роль в прогнозировании успеха имплантации эмбриона и наступления беременности [3].

Влияние заболеваний матки на рецептивность эндометрия.

Заболевания матки являются одной из главных причин бесплодия и проблем с вынашиванием беременности. Патологические состояния не только изменяют морфологическую структуру эндометрия, но также нарушают молекулярные и клеточные механизмы, обеспечивающие успешную имплантацию эмбриона и начало беременности.

Аденомиоз – одно из наиболее распространенных гинекологических заболеваний. Оно вызывает хроническое воспаление, гипертрофию и фиброз миометрия, что приводит к деформации матки и нарушению её нормального функционирования. Исследования показывают, что до 30% женщин репродуктивного возраста страдают от аденомиоза, и это заболевание часто ассоциируется с бесплодием и неудачами имплантации эмбриона [4].

Молекулярные механизмы, лежащие в основе аденомиоза, включают изменение экспрессии генов, связанных с рецепторами прогестерона и эстрогена, а также повышенную продукцию провоспалительных цитокинов. Эти факторы приводят к нарушению взаимодействия между эндометрием и эмбрионом. В последние годы выявлены биомаркеры, например BCL6, которые служат индикаторами резистентности к прогестерону и нарушенной рецептивности эндометрия у женщин с аденомиозом. Кроме того, аденомиоз способствует нарушению имплантации за счет изменения экспрессии таких молекул адгезии, как интегрины, которые играют ключевую роль в nidации эмбриона [5].

Современные методы диагностики аде-



Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция в режиме HDLive, коронарное сечение.

Стрелкой указана неизменная соединительная зона матки. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 1. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction in HDLive mode, coronal section.

The arrow indicates the intact junctional zone of the uterus (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

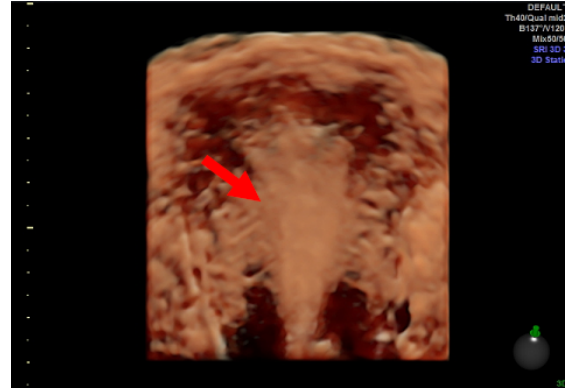


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция в режиме HDLive, коронарное сечение.

Стрелкой указана измененная вследствие аденомиоза соединительная зона матки и так называемый симптом «дерева». (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 2. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction in HDLive mode, coronal section.

The arrow indicates the junctional zone of the uterus altered by adenomyosis and the so-called “tree sign”. (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

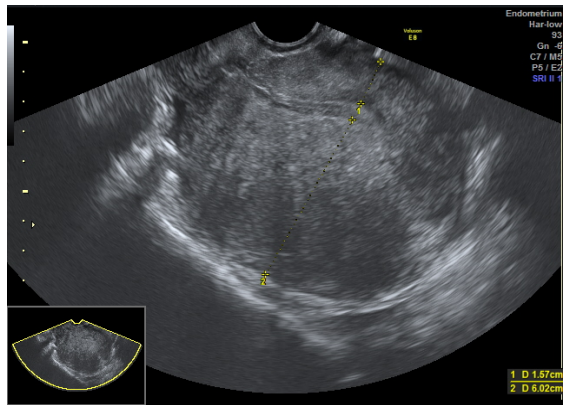


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Эхограмма, матка, 2D-сканирование, сагитальное сечение.

Выраженная асимметрия толщины передней и задней стенок матки при аденомиозе. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 3. Sonogram, uterus, 2D scanning, sagittal section.

Marked asymmetry of the thickness of the anterior and posterior walls of the uterus in adenomyosis (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

номиоза включают использование эхографии и магнитно-резонансной томографии (МРТ) [6]. 3D-ультразвуковое сканирование позволяет полипозиционно оценивать толщину миометрия, определять участки фиброза и исследовать зону метро-эндометриального контакта, что приводит к более точной диагностике аденомиоза (рис. 1-3).

В практической деятельности использование критериев Morphological Uterus Sonographic Assessment (MUSA) для ультразвуковой диагностики аденомиоза является одним из важных моментов для постановки

диагноза.

Проведение гормональной терапии аденомиоза способствует временному улучшению рецептивности эндометрия и увеличивает шансы на успешное наступление беременности, однако лечение заболевания остается сложной задачей, требующей дальнейших исследований и разработки новых подходов.

Миома матки по частоте встречаемости достигает 70% у женщин старше 35 лет, нередко она является причиной бесплодия и осложнений беременности [7].

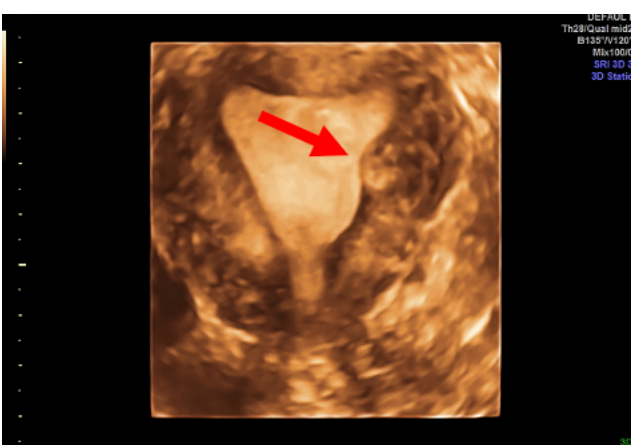


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция в режиме HDLive, коронарное сечение.

Миома матки, FIGO 2. Стрелкой указана незначительно выраженная деформация левой боковой стенки полости матки. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 4. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction in HDLive mode, coronal section.

A FIGO 2 uterine fibroid is present. The arrow indicates the mildly marked deformation of the left uterine wall (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

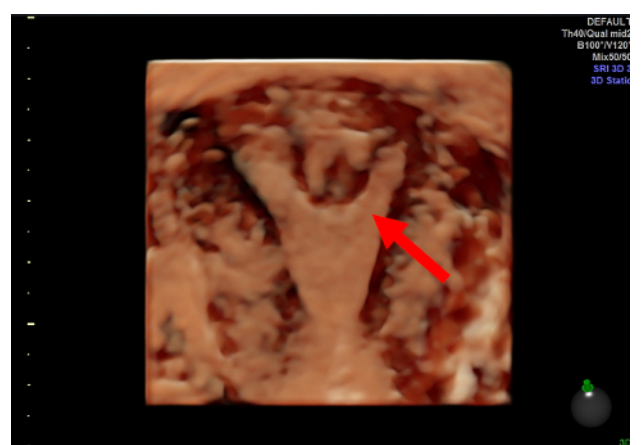


Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция в режиме HDLive, коронарное сечение.

Миома матки, FIGO 1. Стрелкой указана выраженная деформация полости матки миоматозным узлом. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 5. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction in HDLive mode, coronal section.

A FIGO 1 uterine fibroid is present. The arrow indicates the marked deformation of the uterine cavity caused by a fibroid (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

Миома матки, особенно подслизистого расположения, влияет на фертильность несколькими путями, включая деформацию полости, изменение кровотока в эндометрии, нарушение контрактильной активности матки, что в целом приводит к снижению рецептивности эндометрия (рис. 4, 5). Кроме того, миомы могут вызывать локальное воспаление и фиброз, что негативно сказывается на имплантации и развитии плода. Такие новые технологии, как 3D-УЗИ дают возможность получить более детализированное изображение полости матки и миоматозных узлов, что особенно важно для планирования хирургического вмешательства или других методов лечения.

Миомэктомия повышает шансы на успешную имплантацию и наступление беременности, особенно у женщин с подслизистыми узлами. Нередко применяется медикаментозное лечение для уменьшения размеров опухоли перед хирургическим вмешательством или в прегравидарной подготовке. Гормональная терапия в некоторых случаях позволяет избежать операции. Контроль за динамикой изменения размеров и состояния

миоматозных узлов осуществляется при помощи 3D-эхографии.

Хронический эндометрит (ХЭ) – это воспалительное заболевание слизистой оболочки матки, которое ассоциируется с бесплодием, повторными потерями беременности и неудачами имплантации эмбрионов. Распространенность хронического эндометрита среди женщин с бесплодием достигает 30-40%, что делает его значимой проблемой в репродуктивной медицине [8].

Триггером хронического эндометрита является любой бактериальный, вирусный или грибковый фактор, а также хронический эндометрит может быть связан с бактериальным вагинозом или неадекватным лечением послеродовых или послеоперационных инфекций. Воспаление эндометрия приводит к инфильтрации тканей плазматическими клетками, что нарушает нормальные процессы репарации и регенерации эндометрия, и как следствие, развитию эндометриальной дисфункции [9].

Диагностика хронического эндометрита традиционно осуществляется с помощью гистероскопии и биопсии эндометрия. Ги-

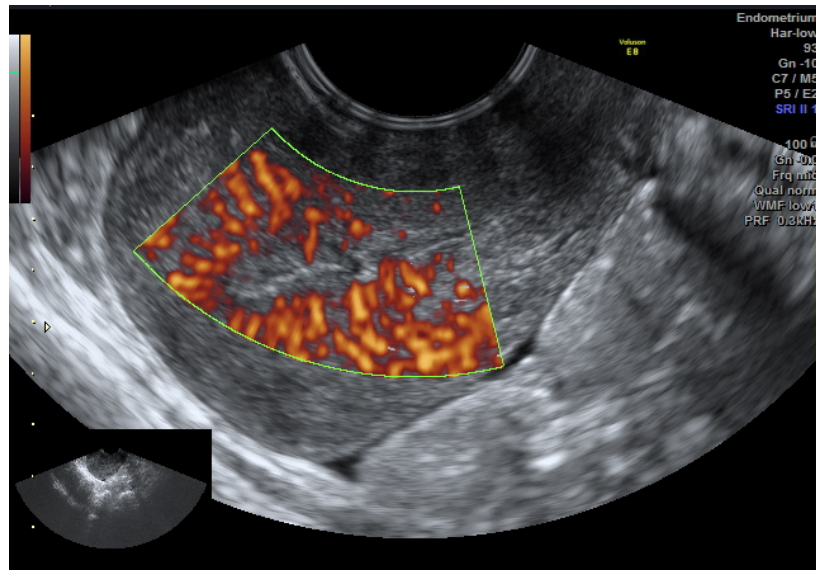


Рис. 6 (Fig. 6)

Рис. 6. Эхограмма матки, 2D-сканирование, сагиттальное сечение, дополненное энергетическим доплеровским картированием.

Эхографическая картина хронического эндометрита: отсутствие четкой визуализации линии базального слоя эндометрия, нечеткость и прерывистость срединной линии, васкуляризация эндометрия в раннюю пролиферативную фазу менструального цикла. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 6. Sonogram, uterus, 2D scanning, sagittal section with power Doppler mapping.

Echographic picture of chronic endometritis: lack of clear visualization of the basal layer line of the endometrium, blurring and discontinuity of the midline, vascularization of the endometrium in the early proliferative phase of the menstrual cycle (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

стопатологическое исследование позволяет выявить наличие плазматических клеток, что является ключевым признаком хронического эндометрита. Однако в последние годы большое внимание уделяется разработке неинвазивных методов диагностики хронического эндометрита. Многообразие эхографических признаков этого заболевания затрудняет их систематизацию, тем не менее, появились исследовательские работы, использующие международные критерии оценки эндометрия.

Было предложено к применению использование дескрипторов Международной группы по анализу опухолей эндометрия (International Endometrial Tumor Analysis, IETA) для диагностики хронического эндометрита [10]. Также значительный вклад в диагностику хронического эндометрита вносит ультразвуковая оценка кровотока в матке и эндометрии, позволяющая регистрировать изменения микроциркуляции, в том числе связанные с нарушением венозного оттока (рис. 6) [11, 22]. Нарушение венозного оттока является очень ярким, но непостоянным критерием хронического эндометрита.

Для оценки гипervasкуляризации недостаточно использование только 2D-режима в сочетании с доплеровским или энергетическим картированием. Наиболее демонстративно это изменение видно в режиме 3D-Angio, численные показатели данного состояния регистрируются васкуляризационными индексами матки.

Лечение хронического эндометрита включает антибиотикотерапию для устранения инфекции и восстановление нормальной структуры и функции эндометрия. В некоторых случаях после лечения отмечается улучшение результатов ВРТ, особенно у пациенток с повторными неудачами имплантации. Новейшие исследования подчеркивают важность контрольного ультразвукового исследования после проведенной терапии для подтверждения её эффективности и предотвращения рецидивов заболевания [13].

Такие анатомические аномалии матки, как полная и неполная внутриматочная перегородка, двурогая и однорогая матка, могут оказывать значительное влияние на рецептивность эндометрия [21] (рис. 7-9). Эти варианты развития матки связаны с повы-

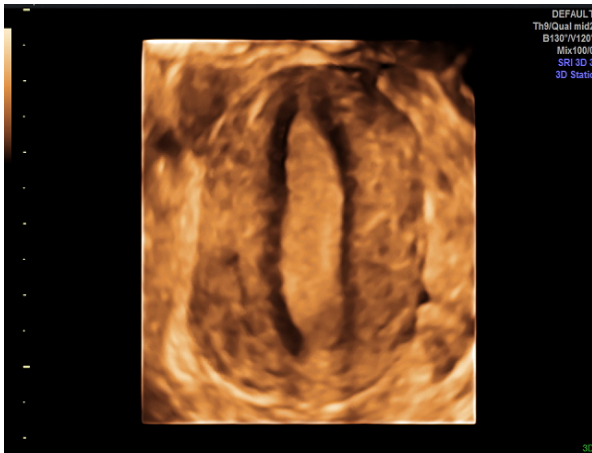


Рис. 7 (Fig. 7)

Рис. 7. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция, коронарное сечение.

Однорогая матка. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 7. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction, coronal section.

Unicornuate uterus (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

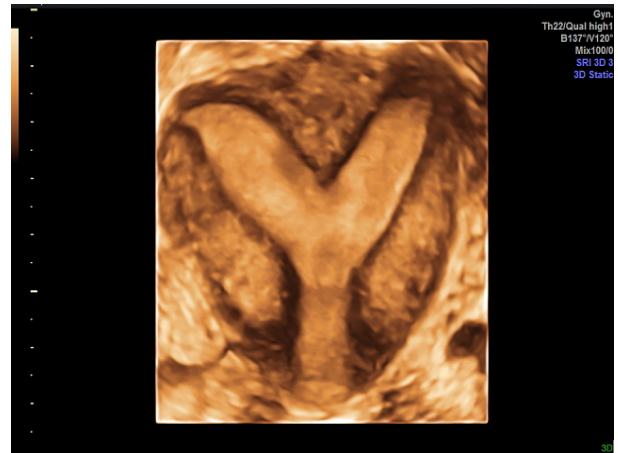


Рис. 8 (Fig. 8)

Рис. 8. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция, коронарное сечение.

Неполная внутриматочная перегородка. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 8. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction, coronal section.

Incomplete uterine septum is present (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

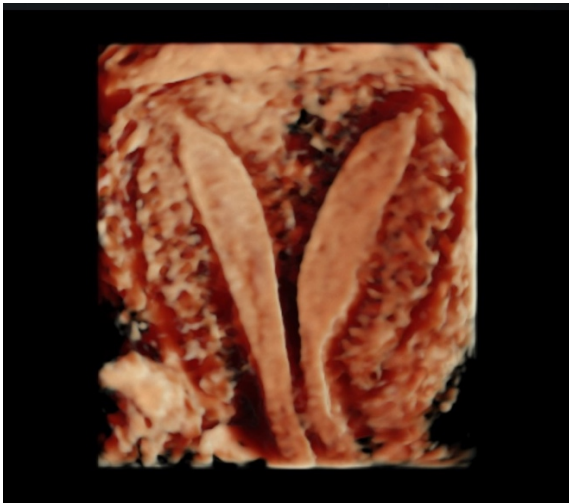


Рис. 9 (Fig. 9)

Рис. 9. Эхограмма матки, 3D-поверхностная реконструкция, коронарное сечение.

Полная внутриматочная перегородка. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 9. Sonogram, uterus, 3D surface reconstruction, coronal section.

Complete uterine septum is present (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).



Рис. 10 (Fig. 10)

Рис. 10. Ультразвуковое исследование матки, объёмная реконструкция полости матки с помощью прикладной программы VOCAL.

(Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 10. Ultrasound examination of the uterus, volume reconstruction of the uterine cavity using the Virtual Organ Computer-aided Analysis (VOCAL) technique.

(author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

шенной частотой выкидышей, преждевременных родов и репродуктивных неудач, что делает их важными факторами для диагностики и лечения при бесплодии [14].

Аномалии мюллеровых протоков приводят к нарушениям в структуре эндометрия. Женщины с анатомическими вариациями строения матки имеют повышенный риск хронического эндометрита, гиперплазии эндометрия и нарушений секреторной трансформации эндометрия [21]. Мюллеровы аномалии вызывают нарушение кровоснабжения эндометрия, увеличивающее риск выкидышей и преждевременных родов. В практической деятельности диагностика аномалий нередко вызывает затруднения. Однако грамотное использование 3D-реконструкции, знание классификаций аномалий и хорошее владение ультразвуковой системой является залогом правильной диагностики.

Для оптимизации лечения анатомических аномалий и улучшения рецептивности эндометрия у таких пациенток требуются дальнейшие исследования. Есть надежда, что в будущем сочетание хирургических и молекулярно-генетических методов поможет разработать более эффективные стратегии лечения этой группы пациенток.

Современные ультразвуковые критерии рецептивности эндометрия.

Современная ультразвуковая диагностика является неотъемлемым инструментом для оценки рецептивности эндометрия. Трансвагинальное ультразвуковое исследование позволяет определить основные параметры эндометрия: толщину, структуру, эхогенность и кровоток. Однако в последние годы были разработаны и внедрены новые ультразвуковые технологии, которые обладают большими возможностями для оценки рецептивных свойств эндометрия, что особенно важно для женщин, проходящих лечение бесплодия и участвующих в программах ВРТ.

Одним из первых изученных и наиболее распространенных критериев рецептивности эндометрия является его толщина. Оптимальная толщина эндометрия для имплантации обычно составляет от 7 до 14 мм на момент овуляции или переноса эмбриона при ВРТ. Было установлено, что слишком тонкий эндометрий (менее 7 мм) ассоциируется с более низкой вероятностью имплантации и наступления беременности. Актуальным является вопрос компактизации эндометрия, Casper R.F. и соавт. (2020) предположили, что последовательные измерения толщины эндометрия, проведенные между окончанием эстрогеновой фазы и временем переноса

эмбрионов могут быть более важными для прогнозирования исхода беременности, чем абсолютный показатель толщины эндометрия [4]. Однако единого мнения относительно значимости компактизации эндометрия для наступления беременности в настоящее время не существует. Кроме того, данный критерий требует строго соблюдения правил измерения эндометрия. В практической деятельности корректное измерение эндометрия, к сожалению, возможно не всегда ввиду variability расположения матки в полости малого таза. В этих случаях на помощь может прийти 3D-реконструкция.

При помощи трёхмерной ультразвуковой визуализации можно измерять объём эндометрия. Объём эндометрия более 3 см³ ассоциируется с более высокими шансами на успех ЭКО (рис. 10) [15].

В работе S. Martins и соавт. (2020) было установлено, что объём эндометрия в положительных циклах ВРТ значительно превышает объём в отрицательных циклах (рис. 10). Скорректированный объём эндометрия представляет собой отношение объёма эндометрия к объёму тела матки. Этот параметр становится всё более важным для оценки рецептивности эндометрия. Более высокий скорректированный объём эндометрия приводит к лучшим результатам ВРТ [16].

В течение менструального цикла эндометриальная ткань претерпевает быстрое и многократное remodelирование и регенерацию. В пролиферативной фазе менструального цикла эндометрий представлен тремя экзогенными линиями, между которыми расположены гипозоногенные слои; в перивуляторную фазу эндометрий изоэзоногенный и присутствует растушеванная срединная линия. В секреторную фазу менструального цикла эндометрий однородный, повышенной эхогенности и срединная линия не визуализируется (рис. 11) [17].

Оценка рецептивности эндометрия проводится в среднюю секреторную фазу менструального цикла. Важным прогностическим фактором хорошей рецептивности эндометрия служит повышенная эхогенность эндометрия, а не только его толщина в день забора ооцитов. Трёхслойность эндометрия в день введения ХГЧ при толщине эндометрия от 8 до 12 мм является хорошим прогностическим признаком для наступления беременности, а при толщине эндометрия менее 8 мм и однородной гипозоногенности вероятность наступления беременности низкая [18].

Измерение объёма матки также играет важную роль в оценке её способности к наступлению беременности. Увеличенный

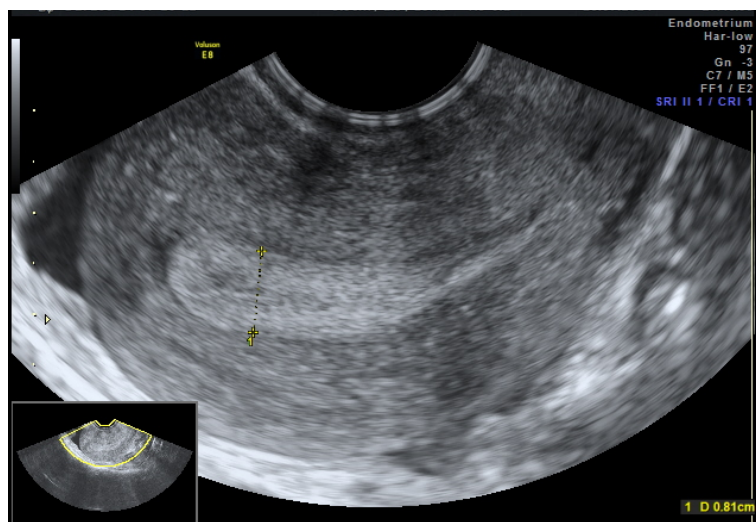


Рис. 11 (Fig. 11)

Рис. 11. Эхограмма матки, 2D-сканирование, сагиттальное сечение.

Секреторная фаза менструального цикла, эндометрий однородный, повышенной эхогенности, срединная линия практически не визуализируется. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 11. Sonogram, uterus, 2D scanning, sagittal section.

Secretory phase of the menstrual cycle, the endometrium is homogeneous, of increased echogenicity, the midline is almost not visualized (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

Объём матки нередко связан с такими патологическими состояниями, как миома или аденомиоз. В исследовании L. Peng и соавт. (2019) было установлено, что увеличение объёма матки у пациенток с эндометриозом связано с повышенным риском репродуктивных неудач [19]. Будущее ультразвуковой диагностики рецептивности эндометрия связано с развитием технологий трёхмерной и четырёхмерной визуализации, которые позволяют получать более точные и детализированные данные о состоянии эндометрия и матки.

Контрактивная активность матки является дополнительным фактором в обеспечении движения сперматозоидов и nidации эмбриона. Активная контрактивная сократимость препятствует успешной имплантации и приводит к неудачам ВРТ. Умеренная субэндометриальная активность способствует лучшему кровоснабжению и повышению шансов на успешное наступление беременности [20]. В настоящее время при проведении рутинных исследований по оценке рецептивности эндометрия всегда учитывается контрактивная активность, её интенсивность, направленность волн движения эндометрия.

Методы ультразвуковой оценки гемодинамики и функционального состояния эндометрия.

Оценка гемодинамики эндометрия с помощью ультразвуковых методов является важной составляющей при диагностике и прогнозировании успешности имплантации эмбриона. Различные гемодинамические параметры такие, как степень васкуляризации матки, субэндометриальной зоны и эндометрия, пульсационный индекс маточных артерий, дают ценную информацию о состоянии тканей и их готовности к имплантации (рис. 12, 13).

Большое количество исследовательских работ посвящено значимости пульсационного индекса (PI – pulsative index) маточных артерий как предиктора успешного наступления беременности. PI маточных артерий в группах с наличием клинической беременности значительно ниже, чем в группах с отсутствием беременности. Однако, индексы кровотока маточных артерий могут не указывать на надлежащую перфузию субэндометриальной зоны и эндометрия [21]. В связи с этим, появились исследования кровоснабжения субэндометриальной зоны. S. Martins и соавт. (2019) показали значимость субэндометриального кровотока в прогнозировании наступления беременности: чем ниже были значения PI артерий субэндометриальной зоны, тем выше шансы наступления беременности [22].

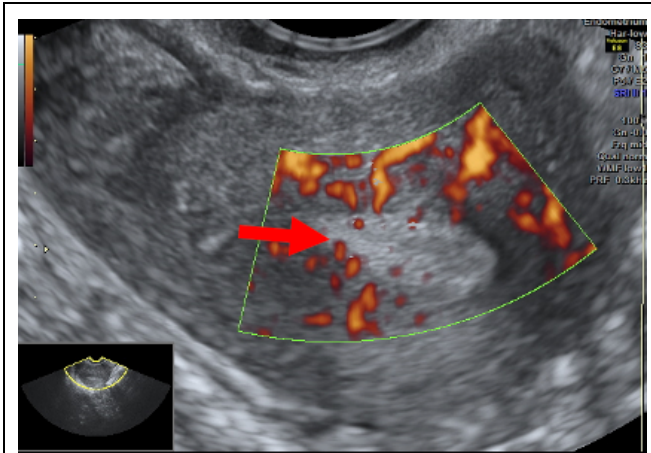


Рис. 12 (Fig. 12)

Рис. 12. Эхограмма матки, 2D-сканирование, дополненное энергетическим доплеровским картированием, сагиттальное сечение.

Сканирование проведено в день переноса криоконсервированного эмбриона. Стрелкой показана васкуляризация эндометрия. (Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 12. Sonogram, uterus, 2D scanning, sagittal section with power Doppler mapping.

The imaging was done on the day of frozen embryo transfer. The arrow indicates the vascularization of the endometrium (author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

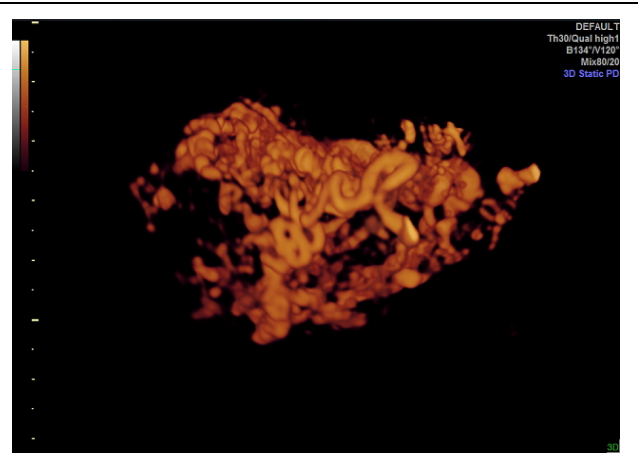


Рис. 13 (Fig. 13)

Рис. 13. Ультразвуковое исследование матки, объёмная реконструкция в режиме 3D-Angio.

(Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 13. Ultrasound examination of the uterus, 3D volume reconstruction in 3D Angio mode.

(author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

Наряду с триплексным исследованием гемодинамики матки и эндометрия в настоящее время активно используется 3D-доплерометрия, позволяющая количественно оценивать степень васкуляризации. С помощью прикладных программ рассчитывается васкуляризационный индекс (VI), потоковый индекс (FI) и васкуляризационно-потоковый индекс (VFI) (рис. 14). Ультразвуковые параметры эндометрия, определяемые трехмерным энергетическим доплером, могут быть эффективными индикаторами для прогнозирования восприимчивости эндометрия.

Пиковая систолическая скорость кровотока и усредненная по времени средняя скорость кровотока маточных артерий также являются дополнительными параметрами оценки кровоснабжения матки, которые чаще используются у пациенток с множественными неудачами имплантации и пренатальными потерями.

Применение контрастных веществ в ультразвуковой диагностике рецептивности эндометрия.

Ультразвуковая диагностика с приме-

нением контрастных веществ – это относительно новая технология, которая значительно расширяет возможности оценки состояния эндометрия. Контрастные вещества активно используются для улучшения визуализации кровотока при различных заболеваниях матки. В последние годы идут активные разработки по их применению в репродуктивной медицине для исследования рецептивности эндометрия.

Контрастные вещества представляют собой микропузырьки, которые в виде раствора вводят внутривенно. Они являются стабильными и безопасными для организма, а благодаря своей малой величине (1-4 мкм) способны проникать даже в самые мелкие капилляры. При попадании в сосудистую систему эндометрия микропузырьки усиливают отражение ультразвуковых волн, что создает более детальную ультразвуковую картину кровоснабжения [23]. Применение высокочастотных ультразвуковых датчиков совместно с контрастированием перспективно для оценки гемодинамики, а высокое качество изображения с большим количеством кадров в секунду позволяет уменьшить оператор-

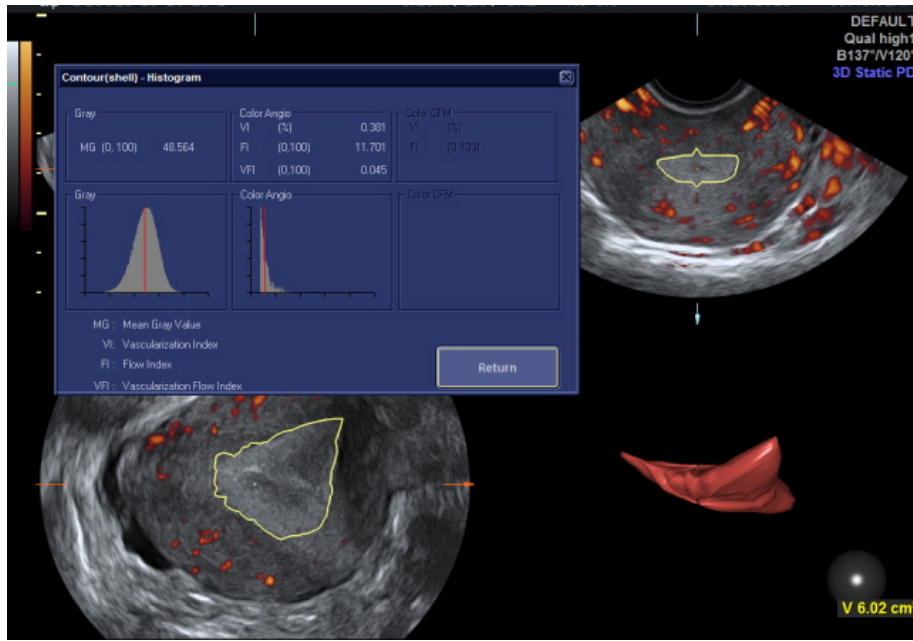


Рис. 14 (Fig. 14)

Рис. 14. Ультразвуковое исследование васкуляризационных индексов матки.

(Иллюстрация автора Минашкиной Е.В., 2024 г.).

Fig. 14. Ultrasound examination of the uterine vascularization indexes.

(author's illustration, Minashkina E.V., 2024).

зависимость метода, делая его более объективным. Визуализация кровоснабжения при помощи контрастных веществ помогает выявить недостатки ангиогенеза, которые являются причиной повторных неудач имплантации эмбриона. Использование контрастных веществ при ультразвуковом исследовании эндометрия обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами [24]:

1. повышенная точность визуализации кровотока: контрастные вещества улучшают разрешение ультразвуковых изображений и дают возможность увидеть мелкие сосуды, которые невозможно обнаружить при стандартном УЗИ без контрастирования;

2. минимальная инвазивность: контрастная эхография, в отличие от гистероскопии или биопсии, не требует вхождения в полость матки, нарушения целостности тканей эндометрия. Это делает её безопасной и легко переносимой процедурой для пациенток, проходящих лечение бесплодия;

3. прогнозирование успеха ВРТ: исследования показывают, что контрастная эхография помогает предсказать вероятность успешной имплантации эмбриона и наступления беременности в результате ВРТ. Адекватная

васкуляризация эндометрия, выявленная при помощи контрастного ультразвука, ассоциируется с более высокими шансами на успех ВРТ;

4. обнаружение патологии: контрастная эхография помогает диагностировать гиповаскуляризацию или гиперплазию эндометрия, которые могут указывать на хронический эндометрит или другие заболевания, влияющие на рецептивность эндометрия. Это делает данный метод полезным инструментом для выявления патологий, которые не всегда видны при рутинных методах визуализации.

В ближайшие годы можно ожидать дальнейшего развития этой технологии, включая более точные методы оценки кровоснабжения эндометрия, автоматизацию анализа данных и интеграцию с другими такими диагностическими методами, как МРТ и КТ. Это даст врачам более полные и точные данные для принятия решений в отношении лечения бесплодия и повысит шансы на успех ВРТ для женщин с различной патологией эндометрия.

Эластография как новый метод оценки рецептивности эндометрия.

Повышение жесткости ткани указыва-

ет на её фиброз или воспаление, что заведомо снижает шансы на успешную имплантацию эмбриона. В исследовании, проведённом М. Li и соавт. (2023), было показано, что эластография перед криопереносом эмбрионов служит важным предиктором благополучного наступления беременности. Разработанная на основе этих данных модель имела высокую чувствительность (83%) и специфичность (96%) для предсказания наступления беременности [25].

Развитие технологий и применение алгоритмов компьютерного анализа для расшифровки данных эластографии открывает новые возможности для персонализированной медицины в области репродукции.

Заключение.

В последние годы диагностика и лечение субоптимальной рецептивности эндометрия значительно продвинулись, благодаря разработкам в области ультразвуковых технологий и методов визуализации. Такие подходы, как трёхмерное ультразвуковое исследование, доплеровская визуализация и эластография, позволяют врачам неинвазивно оценивать состояния эндометрия, улучшая диагностику и прогнозирование исходов ВРТ. Кроме того, применение контрастных веществ открыло новые горизонты в оценке рецептивности эндометрия, позволяя про-

гнозировать имплантацию эмбриона.

Несмотря на то, что традиционные ультразвуковые маркеры (толщина, эхогенность и структура эндометрия) остаются важными факторами, современные исследования показывают, что такие более сложные параметры, как PI, васкуляризация и эластичность тканей, имеют большое значение для успеха имплантации. Использование этих методов даёт возможность изучения рецептивности эндометрия, индивидуализации подходов к лечению бесплодия, обеспечивая более высокие шансы на успешную беременность у женщин с повторными неудачами имплантации.

Дальнейшее развитие ультразвуковых технологий, включая применение искусственного интеллекта, улучшит качество диагностики и поможет врачам принимать решения, основанные на точных диагностических критериях, и повысит шансы на достижение желаемой беременности.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Neykova K., Tosto V., Giardina I., Tsibizova V., Vakrilov G. Endometrial receptivity and pregnancy outcome. *The journal of maternal-fetal & neonatal medicine: the official journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians.* 2022; 35 (13): 2591-2605.
2. Zhang C.-H., Chen C., Wang J.-R., Wang Y., Wen S.-X., Cao Y.-P., Qian W.-P. An endometrial receptivity scoring system basing on the endometrial thickness, volume, echo, peristalsis, and blood flow evaluated by ultrasonography. *Frontiers in endocrinology.* 2022; 13: 907874.
3. Casper R.F. Frozen embryo transfer: evidence-based markers for successful endometrial preparation. *Fertility and Sterility.* 2020; 113, Frozen embryo transfer (2): 248-251.
4. Vercellini P., Viganò P., Bandini V., Buggio L., Berlanda N., Somigliana E. Association of endometriosis and adenomyosis with pregnancy and infertility. *Fertility and sterility.* 2023; 119 (5): 727-740.
5. Тапильская Н.И., Гайдукос С.Н., Шанина Т.Б. Аденомиоз как самостоятельный фенотип дисфункции эндометрия. *Эффективная Фармакотерапия.* 2015; 5: 62-68.
6. Сергиеня О.В., Южно Е.А., Павловская Е.А., Фокин В.А., Труфанов Г.Е. Возможности магнитно-резонансной томографии в визуализации структурных изменений органов малого таза у женщин репродуктивного возраста при бесплодии. *REJR.* 2018; 8 (1):119-128. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-1-119-128.
7. Donnez J., Taylor H.S., Marcellin L., Dolmans M.-M. Uterine fibroid-related infertility: mechanisms and management. *Fertility and sterility.* 2024; 122 (1): 31-39. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.02.049.
8. Espinós J.J., Fabregues F., Fontes J., García-Velasco J.A., Llácer J., Requena A., Checa M.Á., Bellver J., Spanish Infertility SWOT Group (SISG) Impact of chronic endometritis in infertility: a SWOT analysis. *Reproductive biomedicine online.* 2021; 42 (5): 939-951. DOI: 10.1016/j.rbmo.2021.02.003.
9. Singh N., Sethi A. Endometritis - Diagnosis, Treatment and its impact on fertility - A Scoping Review. *JBRA assisted reproduction.* 2022; 26 (3): 538-546. DOI: 10.5935/1518-0557.20220015.
10. Озерская И.А., Казарян Г.Г., Минашкина Е.В., Гус А.И. Использование дескрипторов Международной группы по анализу опухолей эндометрия (International Endometrial Tumor Analysis, IETA) для диагностики хронического эндометрита. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2024; 0 (3): 50-66.
11. Казанцева Е.В., Траль Т.Г., Толибова Г.Х. Клинико-анамнестические данные и морфофункциональные особенности эндометрия у женщин с аномалиями развития матки. *Журнал акушерства и женских болезней.* 2021; 70 (2): 5-12.

12. Озерская И.А., Казарян Г.Г. Изменения кровоснабжения матки у женщин с хроническим эндометритом и разной длительностью бесплодия: Редакция журнала *StatusPraesens*. Тезисы XVI Общероссийского семинара «Репродуктивный потенциал России: версии и контрверсии» и IX Общероссийской конференции «FLORES VITAE. Контраверсии неонатальной медицины и педиатрии», Сочи, 07–10 сентября 2022 года. 2022. С. 55-56.
13. Озерская И.А., Казарян Г.Г., Гус А.И. Изменение ультразвуковых параметров на фоне лечения хронического эндометрита в зависимости от морфологического типа у женщин репродуктивного возраста. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2024; 2: 72-90. DOI: 10.24835/1607-0771-084
14. Qiu J., Du T., Chen C., Lyu Q., Mol B.W., Zhao M., Kuang Y. Impact of uterine malformations on pregnancy and neonatal outcomes of IVF/ICSI-frozen embryo transfer. *Human Reproduction*. 2022; 37 (3): 428-446. DOI: 10.1093/humrep/deac003.
15. Liu Y., Yue Q., Wang L., Wang M., Huang Y. Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles: a prospective study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2023; 13 Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles (6): 3915-3926.
16. Martins R.S., Oliani A.H., Oliani D.V., de Oliveira J.M. Continuous endometrial volumetric analysis for endometrial receptivity assessment on assisted reproductive technology cycles. *BMC pregnancy and childbirth*. 2020; 20 (1): 663. DOI: 10.1186/s12884-020-03372-2.
17. Owusu-Akyaw A., Krishnamoorthy K., Goldsmith L.T., Morelli S.S. The role of mesenchymal-epithelial transition in endometrial function. *Human Reproduction Update*. 2019; 25 (1): 114-133. DOI: 10.1093/humupd/dmy035.
18. Moustafa S.M., Garneau A.S., Goodman L.R. Elusive effect of endometrial thickness: through thick and thin. *Fertility and Sterility*. 2021; 115 (1): 89-90. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2020.09.135.
19. Peng L., Zhou W.-Q., Mao C.-P., Kang Q., Zhong Y.-Y., Zhou Y., Pan Z.-S. Predictive value of endometrial receptivity evaluated by three-dimensional ultrasound in ectopic pregnancy after in vitro fertilization-embryo transfer. *European review for medical and pharmacological sciences*. 2023; 27 (7): 3009-3015. DOI: 10.26355/eurrev_202304_31934
20. Silva Martins R., Helio Oliani A., Vaz Oliani D., Martinez de Oliveira J. Subendometrial resistance and pulsatility index assessment of endometrial receptivity in assisted reproductive technology cycles. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*. 2019; 17 (1): 62. DOI: 10.1186/s12958-019-0507-6.
21. Bahrami F., Eftekhar M., Zanbagh L. Uterine artery Doppler and endometrial blood flow in frozen embryo transfer: A cohort study. *International Journal of Reproductive Biomedicine*. 2023; 21 (3): 205-212. DOI: 10.18502/ijrm.v21i3.13196.
22. Silva Martins R., Helio Oliani A., Vaz Oliani D., Martinez de Oliveira J. Subendometrial resistance and pulsatility index assessment of endometrial receptivity in assisted reproductive technology cycles. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*. 2019; 17 (1): 62. DOI: 10.1186/s12958-019-0507-6. /IJN.S359065.
23. Tian Z., Yao H.-M., Wang Y.-Q., Chen N.-Z., Tang J., Geng J. Use of contrast-enhanced ultrasound during preoperative evaluation of endometrial carcinoma. *Gynecology and Obstetrics Clinical Medicine*. 2021; 1 (3): 148-152. DOI: 10.1016/j.gocm.2021.07.005.
24. Su Q., Sun Z., Lv G. Contrast enhanced ultrasound in diagnosis of endometrial carcinoma and endometrial hyperplasia. *Cellular and Molecular Biology*. 2018; 64 (11): 88-91. DOI: 10.14715/cmb/2018.64.11.16.
25. Li M., Zhu X., Wang L., Fu H., Zhao W., Zhou C., Chen L., Yao B. Evaluation of endometrial receptivity by ultrasound elastography to predict pregnancy outcome is a non-invasive and worthwhile method. *Biotechnology & genetic engineering reviews*. 2023; 1-15. DOI: 10.1080/02648725.2023.2183585.

References:

1. Neykova K., Tosto V., Giardina I., Tsibizova V., Vakrilov G. Endometrial receptivity and pregnancy outcome. *The journal of maternal-fetal & neonatal medicine: the official journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*. 2022; 35 (13): 2591-2605.
2. Zhang C.-H., Chen C., Wang J.-R., Wang Y., Wen S.-X., Cao Y.-P., Qian W.-P. An endometrial receptivity scoring system basing on the endometrial thickness, volume, echo, peristalsis, and blood flow evaluated by ultrasonography. *Frontiers in endocrinology*. 2022; 13: 907874.
3. Casper R.F. Frozen embryo transfer: evidence-based markers for successful endometrial preparation. *Fertility and Sterility*. 2020; 113, Frozen embryo transfer (2): 248-251.
4. Vercellini P., Viganò P., Bandini V., Buggio L., Berlanda N., Somigliana E. Association of endometriosis and adenomyosis with pregnancy and infertility. *Fertility and sterility*. 2023; 119 (5): 727-740.
5. Tapilskaya N.I., Gaidukov S.N., Shanina T.B. Adenomyosis as an independent phenotype of endomyometrium dysfunction. *Effective Pharmacotherapy*. 2015; 5: 62-68 (in Russian).
6. Sergienya O.V., Ukho E.A., Pavlovskaya E.A., Fokin V.A., Trufanov G.E. Magnetic resonance imaging in visualization of structural changes in the pelvic organs in women of reproductive age with infertility. *REJR* 2018; 8 (1):119-128. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-1-119-128 (in Russian).
7. Donnez J., Taylor H.S., Marcellin L., Dolmans M.-M. Uterine fibroid-related infertility: mechanisms and management. *Fertility and sterility*. 2024; 122 (1): 31-39. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.02.049.
8. Espinós J.J., Fabregues F., Fontes J., García-Velasco J.A., Llácer J., Requena A., Checa M.Á., Bellver J., Spanish Infertility SWOT Group (SISG) Impact of chronic endometritis in infertility: a SWOT analysis. *Reproductive biomedicine online*. 2021; 42 (5): 939-951. DOI: 10.1016/j.rbmo.2021.02.003.
9. Singh N., Sethi A. Endometritis - Diagnosis, Treatment and

- its impact on fertility - A Scoping Review. JBRA assisted reproduction. 2022; 26 (3): 538-546. DOI: 10.5935/1518-0557.20220015.
10. Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G., Minashkina E.V., Gus A.I. Use of descriptors of the International Endometrial Tumor Analysis (IETA) group for the diagnosis of chronic endometritis. *Ultrasound and functional diagnostics*. 2024; 0 (3): 50-66 (in Russian).
11. Kazantseva E.V., Tral' T.G., Tolibova G.Kh. Clinical and anamnestic data and morphofunctional features of the endometrium in women with uterine developmental anomalies. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*. 2021; 70 (2): 5-12 (in Russian).
12. Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G. Changes in the blood supply to the uterus in women with chronic endometritis and different duration of infertility: Editorial Board of the StatusPraesens journal. Abstracts of the XVI All-Russian Seminar "Reproductive Potential of Russia: Versions and Controversies" and the IX All-Russian Conference "FLORES VITAE. Contraversions in Neonatal Medicine and Pediatrics", Sochi, September 7-10, 2022. 2022. P. 55-56 (in Russian).
13. Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G., Gus A.I. Changes in ultrasound parameters during treatment of chronic endometritis depending on the morphological type in women of reproductive age. *Ultrasound and functional diagnostics*. 2024; 2: 72-90. DOI: 10.24835/1607-0771-084 (in Russian).
14. Qiu J., Du T., Chen C., Lyu Q., Mol B.W., Zhao M., Kuang Y. Impact of uterine malformations on pregnancy and neonatal outcomes of IVF/ICSI-frozen embryo transfer. *Human Reproduction*. 2022; 37 (3): 428-446. DOI: 10.1093/humrep/deac003.
15. Liu Y., Yue Q., Wang L., Wang M., Huang Y. Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles: a prospective study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2023; 13 Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles (6): 3915-3926.
16. Martins R.S., Oliani A.H., Oliani D.V., de Oliveira J.M. Continuous endometrial volumetric analysis for endometrial receptivity assessment on assisted reproductive technology cycles. *BMC pregnancy and childbirth*. 2020; 20 (1): 663. DOI: 10.1186/s12884-020-03372-2.
17. Owusu-Akyaw A., Krishnamoorthy K., Goldsmith L.T., Morelli S.S. The role of mesenchymal-epithelial transition in endometrial function. *Human Reproduction Update*. 2019; 25 (1): 114-133. DOI: 10.1093/humupd/dmy035.
18. Moustafa S.M., Garneau A.S., Goodman L.R. Elusive effect of endometrial thickness: through thick and thin. *Fertility and Sterility*. 2021; 115 (1): 89-90. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2020.09.135.
19. Peng L., Zhou W.-Q., Mao C.-P., Kang Q., Zhong Y.-Y., Zhou Y., Pan Z.-S. Predictive value of endometrial receptivity evaluated by three-dimensional ultrasound in ectopic pregnancy after in vitro fertilization-embryo transfer. *European review for medical and pharmacological sciences*. 2023; 27 (7): 3009-3015. DOI: 10.26355/eurev_202304_31934
20. Silva Martins R., Helio Oliani A., Vaz Oliani D., Martinez de Oliveira J. Subendometrial resistance and pulsatility index assessment of endometrial receptivity in assisted reproductive technology cycles. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*. 2019; 17 (1): 62. DOI: 10.1186/s12958-019-0507-6.
21. Bahrami F., Eftekhari M., Zangbar L. Uterine artery Doppler and endometrial blood flow in frozen embryo transfer: A cohort study. *International Journal of Reproductive Biomedicine*. 2023; 21 (3): 205-212. DOI: 10.18502/ijrm.v21i3.13196.
22. Silva Martins R., Helio Oliani A., Vaz Oliani D., Martinez de Oliveira J. Subendometrial resistance and pulsatility index assessment of endometrial receptivity in assisted reproductive technology cycles. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*. 2019; 17 (1): 62. DOI: 10.1186/s12958-019-0507-6. 47/IJN.S359065.
23. Tian Z., Yao H.-M., Wang Y.-Q., Chen N.-Z., Tang J., Geng J. Use of contrast-enhanced ultrasound during preoperative evaluation of endometrial carcinoma. *Gynecology and Obstetrics Clinical Medicine*. 2021; 1 (3): 148-152. DOI: 10.1016/j.gocm.2021.07.005.
24. Su Q., Sun Z., Lv G. Contrast enhanced ultrasound in diagnosis of endometrial carcinoma and endometrial hyperplasia. *Cellular and Molecular Biology*. 2018; 64 (11): 88-91. DOI: 10.14715/cmb/2018.64.11.16.
25. Li M., Zhu X., Wang L., Fu H., Zhao W., Zhou C., Chen L., Yao B. Evaluation of endometrial receptivity by ultrasound elastography to predict pregnancy outcome is a non-invasive and worthwhile method. *Biotechnology & genetic engineering reviews*. 2023; 1-15. DOI: 10.1080/02648725.2023.2183585.