

ISSN 2313-7347 (print)

ISSN 2500-3194 (online)

# АКУШЕРСТВО ГИНЕКОЛОГИЯ РЕПРОДУКЦИЯ

Включен в перечень ведущих  
рецензируемых журналов и изданий ВАК

2025 • том 19 • № 3



OBSTETRICS, GYNECOLOGY AND REPRODUCTION

2025 Vol. 19 No 3

<https://gynecology.su>

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта <http://www.gynecology.su>. Не предназначено для использования в коммерческих целях. Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: [info@ibfist.ru](mailto:info@ibfist.ru).



# Возможности и ограничения внедрения технологий искусственного интеллекта в репродуктивную медицину

В.А. Лебина<sup>1</sup>, О.Х. Шихалахова<sup>2</sup>, А.А. Кохан<sup>3</sup>, И.Ю. Рашидов<sup>4</sup>, К.А. Тажев<sup>4</sup>,  
А.В. Филиппова<sup>3</sup>, Е.П. Мышинская<sup>3</sup>, Ю.В. Сымолкина<sup>3</sup>, Ю.И. Ибуев<sup>4</sup>,  
А.А. Матаева<sup>4</sup>, А.Н. Сиротенко<sup>4</sup>, Т.Т. Габараева<sup>3</sup>, А.И. Аскерова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 394036 Воронеж, Студенческая ул., д. 10;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 362019 Республика Северная Осетия–Алания, Владикавказ, ул. Пушкинская, д. 40;

<sup>3</sup>ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1;

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 127006 Москва, Долгоруковская ул., д. 4

**Для контактов:** Валерия Алексеевна Лебина, e-mail: [lera.lebina.00@mail.ru](mailto:lera.lebina.00@mail.ru)

## Резюме

В условиях возрастающей проблемы бесплодия в Российской Федерации вспомогательные репродуктивные технологии (ВРТ) зарекомендовали себя как один из самых эффективных способов лечения данного заболевания. Примечательно, что внедрение методов ВРТ, в частности экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), подтолкнуло к значительному увеличению рождаемости за последние 2 десятилетия. Исследования показывают, что алгоритмы машинного обучения могут обрабатывать изображения эмбрионов для оценки их качества, что способствует выбору наиболее жизнеспособных вариантов для переноса. Существуют этические и технические препятствия, мешающие широкому внедрению искусственного интеллекта (ИИ) в клиническую практику, включая вопросы конфиденциальности данных и необходимости подготовки специалистов для работы с новыми технологиями. ИИ способен анализировать обширные наборы данных, включая медицинские истории болезней и результаты исследований, для более точного прогнозирования исходов беременности. Это позволяет врачам принимать более обоснованные клинические решения. В будущем алгоритмы ИИ смогут анализировать данные пациентов более эффективно, помогая выявлять причины бесплодия на ранних стадиях.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, ИИ, вспомогательные репродуктивные технологии, ВРТ, бесплодие, экстракорпоральное оплодотворение, ЭКО, этика, репродукция, репродуктивная медицина

**Для цитирования:** Лебина В.А., Шихалахова О.Х., Кохан А.А., Рашидов И.Ю., Тажев К.А., Филиппова А.В., Мышинская Е.П., Сымолкина Ю.В., Ибуев Ю.И., Матаева А.А., Сиротенко А.Н., Габараева Т.Т., Аскерова А.И. Возможности и ограничения внедрения технологий искусственного интеллекта в репродуктивную медицину. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2025;19(3):423–442. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2025.591>.

## Opportunities and limitations of introducing artificial intelligence technologies into reproductive medicine

Valeriya A. Lebina<sup>1</sup>, Oksana Kh. Shikhalakhova<sup>2</sup>, Anna A. Kokhan<sup>3</sup>, Islam Yu. Rashidov<sup>4</sup>, Kantemir A. Tazhev<sup>4</sup>,  
Aleksandra V. Filippova<sup>3</sup>, Elizaveta P. Myshinskaya<sup>3</sup>, Yulia V. Symolkina<sup>3</sup>, Yunus I. Ibuev<sup>4</sup>, Aina A. Mataeva<sup>4</sup>,  
Anastasia N. Sirotenko<sup>4</sup>, Tamara T. Gabaraeva<sup>3</sup>, Amina I. Askerova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Burdenko Voronezh State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation;  
10 Studentskaya Str., Voronezh 394036, Russia;

<sup>2</sup>North Ossetian State Medical Academy, Ministry of Health of the Russian Federation;  
40 Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia–Alania 362019, Russia;

<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation;  
1 Ostrovityanova Str., Moscow 117513, Russia;

<sup>4</sup>Russian University of Medicine, Ministry of Health of the Russian Federation; 4 Dolgorukovskaya Str., Moscow 127006, Russia

**Corresponding author:** Valeriya A. Lebina, e-mail: lera.lebina.00@mail.ru

## Abstract

Given the increasing problem of infertility in the Russian Federation, assisted reproductive technologies (ART) have proven to be one of the most effective treatments for this condition. Notably, the introduction of ART methods, particularly in vitro fertilization (IVF), has led to markedly increased birth rates over the past two decades. Studies show that machine learning algorithms can process images of embryos to assess their quality, thus facilitating the selection of the most viable among them for transfer. There are ethical and technical barriers hindering the widespread adoption of artificial intelligence (AI) in clinical practice, including concerns over data privacy as well as a need to train specialists to deal with new technologies. AI can analyze vast amounts of data, including medical histories and research results, to more accurately predict pregnancy outcomes. This enables doctors to make more justified clinical decisions. In the future, AI algorithms will be able to analyze patient data more efficiently, helping to identify the causes of infertility at earlier stages.

**Keywords:** artificial intelligence, AI, assisted reproductive technologies, ART, infertility, in vitro fertilization, IVF, ethics, reproduction, reproductive medicine

**For citation:** Lebina V.A., Shikhalakhova O.Kh., Kokhan A.A., Rashidov I.Yu., Tazhev K.A., Filippova A.V., Myshinskaya E.P., Symolkina Yu.V., Ibuev Yu.I., Mataeva A.A., Sirotenko A.N., Gabaraeva T.T., Askerova A.I. Opportunities and limitations of introducing artificial intelligence technologies into reproductive medicine. *Akusherstvo, Ginekologia i Reprodukcija = Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2025;19(3):423–442. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2025.591>.

## Введение / Introduction

В последние годы была выявлена тревожная статистика, согласно которой каждый шестой человек в мире страдает от бесплодия [1]. В условиях этой проблемы вспомогательные репродуктивные технологии (ВРТ) зарекомендовали себя как один из самых эффективных способов лечения данного заболевания. Примечательно, что внедрение методов ВРТ, в частности экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), подтолкнуло к значительному увеличению рождаемости за последние 2 десятилетия [2]. Тем не менее, несмотря на то, что количество циклов ВРТ ежегодно возрастает, процент успешности процедуры на уровне около 30 % в каждом цикле остается неизменным уже на протяжении 10 лет [2, 3]. Для многих людей, сталкивающихся с бесплодием, ЭКО все еще является непростым процессом. Ведутся активные работы по улучшению эффективности лечения и оптимизации результатов ЭКО.

Существует множество аспектов, которые требуют дальнейшего совершенствования, включая процесс выбора гамет и эмбрионов, а также внедрение персонализированных подходов. Однако субъективность в процессе ЭКО значительно затрудняет прогресс [4,

5]. В этой связи внедрение принципов объективности и эффективности представляет собой многообещающий путь для улучшения результатов ЭКО.

Искусственный интеллект (ИИ) включает в себя ряд методов, таких как машинное обучение (МО), которое делится на традиционные методы машинного обучения и алгоритмы глубокого обучения (ГО). Применение этих технологий позволяет анализировать большие объемы медицинских данных, минимизируя субъективные искажения [6, 7]. ИИ отлично подходит для обработки и анализа обширных и постоянно обновляющихся массивов данных, которые генерируются в процессе ВРТ [8]. Большие объемы информации, собранной в ходе циклов ЭКО, позволяют разрабатывать методологии искусственного оплодотворения, которые используют персонализированные подходы. Благодаря симбиозу клинического опыта и персонализированных рекомендаций, предоставляемых моделями ИИ, основанными на миллионах циклов ЭКО, проводимых ежегодно, существует потенциал для значительного улучшения клинических результатов [9]. Данный подход является широко признанным и эффективным инструментом для диагностики, лечения и прогнозирования заболеваний, открывающим новые возможности для клинической практики.

## Основные моменты

### Что уже известно об этой теме?

- ▶ Нередко субъективность, встречающаяся на различных этапах экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), снижает эффективность процедуры. В этой связи внедрение принципов объективности и эффективности представляет собой многообещающий путь для улучшения результатов ЭКО. В решении данной проблемы важную роль могут сыграть технологии искусственного интеллекта (ИИ).
- ▶ Цифровые платформы на базе ИИ могут стать эффективными инструментами для автоматизации и мониторинга качества лечения. В целом, ИИ имеет огромный потенциал для улучшения как клинических результатов, так и эффективности работы эмбриологов, что особенно актуально на фоне растущего спроса на процедуры ЭКО по всей стране.

### Что нового дает статья?

- ▶ Алгоритмы машинного обучения могут обрабатывать изображение эмбрионов для оценки их качества, что способствует выбору наиболее жизнеспособных вариантов для переноса.
- ▶ Существуют этические и технические препятствия, которые мешают широкому внедрению ИИ в клиническую практику. Вопросы конфиденциальности данных и необходимость подготовки специалистов для работы с новыми технологиями также вызывают озабоченность.
- ▶ ИИ может анализировать обширные наборы данных, включая медицинские истории болезней и результаты исследований, для более точного прогнозирования исходов беременности. Это позволяет врачам принимать более обоснованные клинические решения.

### Как это может повлиять на клиническую практику в обозримом будущем?

- ▶ В обозримом будущем алгоритмы ИИ смогут анализировать данные пациентов более эффективно, помогая выявлять причины бесплодия на ранних стадиях.
- ▶ Мультимодальные модели, которые объединяют разные типы данных, могут значительно повысить точность прогнозирования исходов беременности.
- ▶ ИИ может улучшить процесс ведения пациентов путем оптимизации записи на прием, мониторинга состояния здоровья и предоставления персонализированных рекомендаций по образу жизни.

Искусственный интеллект находит применение на всех этапах ВРТ, начиная с первичной консультации пациента и заканчивая трансплантацией эмбриона [10]. Исследование, проведенное С.Л. Vogtman с соавт., продемонстрировало, что модель ИИ, обученная на основе однократных точечных изображений эмбрионов, собранных через 113 часов после ЭКО, достигла впечатляющей точности – до 90 % при отборе эмбрионов самой высокой категории качества [11]. Кроме того, было доказано, что программное обеспечение с использованием ИИ может улучшить процесс принятия клинических решений в области ВРТ. В частности, из каждого набора данных, состоящего из 20 изображений, система ЕМА (англ. Exponential Moving Average) смогла идентифицировать 2 дополнительные blastocysts, подходящие для замораживания, что увеличило потенциальное количество «решений о заморажива-

## Highlights

### What is already known about this subject?

- ▶ Subjectivity, which often occurs at various stages of in vitro fertilization (IVF), reduces its effectiveness. In this regard, the introduction of principles of objectivity and effectiveness is a promising way to improve IVF outcomes. Artificial intelligence (AI) technologies can play an important role in solving this problem.
- ▶ AI-based digital platforms can become effective tools for automating and monitoring quality of treatment. In general, it has a great potential to improve both clinical results and the effectiveness of embryologist work, which is especially important upon growing country-wide demand for IVF procedures.

### What are the new findings?

- ▶ Machine learning algorithms can process the image of embryos to assess their quality, which contributes to the selection of the viable among them for transfer.
- ▶ There are ethical and technical obstacles that prevent the widespread adoption of AI in clinical practice. Data privacy issues and the need to train specialists to deal with new technologies are also of concern.
- ▶ AI can analyze extensive datasets, including medical records and research results, to more accurately predict pregnancy outcomes. This allows doctors to make more justified clinical decisions.

### How might it impact on clinical practice in the foreseeable future?

- ▶ In the foreseeable future, AI can significantly transform the clinical practice of reproductive medicine by improving the process of diagnostics and treatment of infertility.
- ▶ Multimodal models that combine different data types can significantly improve the accuracy of predicting pregnancy outcomes.
- ▶ AI can improve patient management by optimizing doctors' appointments, monitoring health conditions, and providing personalized lifestyle recommendations.

нии» на 10 % [12]. Исследования также показывают, что цифровые платформы могут стать инновационными и эффективными инструментами для автоматизации, постоянного мониторинга и контроля качества лечения. В целом, ИИ имеет огромный потенциал для улучшения как клинических результатов, так и эффективности работы эмбриологов, что особенно актуально на фоне растущего спроса на процедуры ЭКО по всей стране [13].

Тем не менее применение ИИ в области репродуктивной медицины требует дальнейшего изучения, и с ним связаны определенные проблемы, требующие внимания. В дополнение к постоянно меняющейся сложности атрибутов моделей стоят вопросы надежности и процесса принятия решений на их основе. Таким образом, несмотря на очевидные преимущества, внедрение технологий должно проходить взвешенно

и осторожно, чтобы оптимизировать результаты для пациентов и расширить клинический опыт врачей.

Хотя применение ИИ в процедуре ЭКО активно развивается, публикации на эту тему ограничены, что обуславливает актуальность дальнейшего исследования данной темы.

### Искусственный интеллект: основные понятия / Artificial intelligence: basic concepts

Искусственный интеллект – это область науки и технологий, которая занимается созданием компьютерных систем, способных выполнять задачи, требующие интеллектуальных способностей человека, такие как распознавание речи, визуальное восприятие, принятие решений и перевод текста. В медицине ИИ используется для анализа больших объемов данных, диагностики заболеваний и разработки новых методов лечения [6–8, 10].

Машинное обучение – это подмножество ИИ, которое позволяет компьютерам учиться на основе данных и делать прогнозы на основе этого обучения. МО включает несколько типов алгоритмов [14]:

- обучение с учителем: алгоритмы обучаются на размеченных данных, где каждому набору входных данных соответствует известный выходной результат; примеры включают деревья решений и случайные леса;

- обучение без учителя: алгоритмы выявляют скрытые структуры и отношения в неразмеченных данных; примером является кластеризация методом К-средних;

- обратное усиление: алгоритм учится путем проб и ошибок, используя вознаграждение за правильные действия, что часто используется в робототехнике и играх.

Нейронная сеть – это математическая модель, вдохновленная структурой мозга, состоящая из взаимосвязанных узлов (нейронов). Нейронные сети используются для обработки сложных данных, таких как изображения и речь. ГО – это разновидность нейронных сетей с большим количеством слоев, которые позволяют обрабатывать данные с высокой степенью сложности [15].

Дерево решений (англ. Decision Tree) и случайный лес (англ. Random Forest) – это 2 популярных алгоритма МО, которые активно применяются в репродуктивной медицине для решения различных задач.

Дерево решений – это метод классификации, который разбивает данные на отдельные ответвления, формируя структуру, напоминающую дерево. Он прост в понимании и интерпретации, что делает его удобным для анализа данных и принятия решений [15]. Случайный лес – это расширение дерева решений. Основная идея заключается в том, что каждое «дерево» принимает независимое «решение», а общий результат получается путем «голосования» среди всех «деревьев».

Это позволяет скорректировать риск переобучения, который возникает, когда модель слишком хорошо работает с тренировочными данными, но плохо справляется с новыми, неизвестными ей данными [15].

### Искусственный интеллект в УЗИ-фолликулометрии / Artificial intelligence in ultrasound folliculometry

Мониторинг роста фолликулов яичников с использованием трансвагинального ультразвукового исследования (ТВУЗИ) является ключевым этапом для получения высококачественных яйцеклеток в процессе ЭКО. Однако этот процесс трудоемкий, и результаты в значительной степени зависят от опыта конкретного врача. Внедрение 3D-ультразвука решает некоторые из этих проблем, так как снижает зависимость от опыта пользователя и улучшает общую эффективность работы [16]. Сегментация яичников и фолликулов при помощи 3D-ультразвука стала важным инструментом в процедуре ЭКО, особенно учитывая потребность в точных и эффективных методах сегментации, которые минимизируют трудности ручной обработки и вариативность результатов. Технологии автоматической сегментации изображений, основанные на ИИ, выступают как решение, которое не только ускоряет процесс обследования, но и значительно снижает разногласия между врачами.

Н. Li с соавт. предложили новую составную сеть под названием CR-Unet (англ. Contrastive Learning-based Residual U-Net; U-Net с остаточными связями и контрастивным обучением), которая предназначена для одновременной сегментации изображений яичников и фолликулов, полученных при проведении ТВУЗИ. В сравнении с другими современными методами CR-Unet продемонстрировала выдающуюся эффективность в сегментации изображений как яичника, так и фолликулов [17]. Данный метод позволил достичь исключительно высокой скорости распознавания фолликулов, а также подтвердил свою надежность при сегментации двумерных ультразвуковых изображений яичников. Более того, алгоритм легко адаптируется для обеспечения 3D-сегментации яичников и фолликулов, что создает новые возможности для мониторинга и анализа процесса лечения бесплодия. Однако, несмотря на успехи в области автоматической сегментации, исследование имеет определенные ограничения. Одним из таких ограничений является отсутствие механизмов для обнаружения фолликулов за пределами яичника, что может привести к неточной идентификации границы яичника. Для преодоления этих недостатков Р. Mathur с соавт. предложили модель S-Net (англ. Siamese Network; Сиамская нейронная сеть), способную одновременно сегментировать 3D-изображения ТВУЗИ яичников и фолликулов [18]. Эта усовершенствованная система позволяет осуществлять точный



пользует модели, основанные на ИИ, для оценки биологических характеристик, которые влияют на результаты этих процессов. Дополнительная информация о морфокинетики ооцитов, предоставляемая такими инструментами, как CHLOE, обеспечивает более точное прогнозирование и индивидуализированный подход к каждому эмбриону. Однако, несмотря на достижения в этой области, значительного прогресса в оценке качества ооцитов с использованием технологий помимо традиционного морфологического наблюдения достигнуто не было [25].

Современное состояние неинвазивных методов визуализации ооцитов в ВРТ считается недостаточно развитым и требует дальнейшего исследования. Эта проблема требует неотложного внимания в области ВРТ. В настоящее время применение ИИ также распространяется на прогнозирование количества яйцеклеток, полученных при контролируемой стимуляции яичников. Новые модели прогнозирования, созданные для оценки количества яйцеклеток, имеют потенциал стать основой для будущих инструментов принятия клинических решений в этой области [26].

### **Искусственный интеллект и овариальная стимуляция / Artificial intelligence and ovarian stimulation**

Протоколы стимуляции яичников играют ключевую роль в успехе ЭКО, так как они оптимизируют количество и качество ооцитов, полученных при пункции [27]. Обычно такие протоколы включают введение гонадотропинов для стимуляции яичников с целью образования множественных фолликулов и получения достаточного количества зрелых ооцитов, которые могут быть оплодотворены для создания жизнеспособных эмбрионов [28]. Важность персонализации протоколов стимуляции яичников возросла из-за различий в характеристиках пациентов, таких как возраст, резерв яичников и гормональный фон [29, 30]. Например, молодым пациенткам с высоким резервом яичников могут потребоваться иные протоколы стимуляции по сравнению с женщинами старшего возраста или теми, у кого запас ооцитов снижен. Несмотря на персонализированные подходы, прогнозирование индивидуальных реакций пациентов на стимуляцию остается сложной задачей. Субоптимальная стимуляция может привести к ряду проблем, включая синдром гиперстимуляции яичников (СГЯ), ухудшение качества ооцитов и, в конечном счете, снижение показателей успешности ЭКО [31].

Искусственный интеллект потенциально может революционизировать персонализацию протоколов стимуляции яичников, используя огромные массивы данных и продвинутые аналитические методы [32, 33]. Последние достижения в области ИИ, особенно в области МО и ГО, показали перспективу в улучшении

точности и эффективности этих протоколов. ИИ может анализировать обширные наборы данных, включающие характеристики пациентов, исторические реакции на протоколы стимуляции и результаты ЭКО [34, 35]. ИИ может предоставить информацию, которую трудно обнаружить при традиционном анализе, выявляя закономерности и корреляции в этих наборах данных [36]. Например, ИИ может выявить тонкие корреляции между специфическими профилями пациентов и их реакциями на разные протоколы стимуляции, что позволяет более точно адаптировать лечение.

Алгоритмы МО могут создавать предиктивные модели для оценки оптимального типа и дозы гонадотропинов для каждого пациента [37]. Эти модели учитывают различные факторы, включая возраст, индекс массы тела, подсчет антральных фолликулов и уровни антимюллерова гормона. Модели ИИ могут предсказывать лучший день для мониторинга пациента, варианты триггерного дня и количество ооцитов [38]. Системы ИИ могут интегрировать данные предыдущих циклов ЭКО для уточнения прогнозов для будущих курсов лечения. Этот итеративный процесс обучения позволяет системе ИИ непрерывно улучшать свои рекомендации. Включая исторические данные пациентов, ИИ может усилить персонализацию протоколов стимуляции, что приводит к улучшению клинических результатов. Кроме того, ИИ может облегчить внесение изменений в реальном времени в протоколы стимуляции [39]. Отслеживая реакции пациентов во время фазы стимуляции, алгоритмы ИИ могут рекомендовать изменения дозировки или типа гонадотропинов. Этот динамичный подход гарантирует, что протоколы постоянно оптимизируются для достижения наилучших возможных результатов, снижая частоту осложнений, таких как СГЯ, и повышая общую эффективность лечения.

### **Искусственный интеллект в выборе эмбриона / Artificial intelligence in embryo selection**

Определение приоритетности отбора эмбрионов высшего качества является критически важным аспектом, поскольку совершенствование методов отбора эмбрионов для достижения успешной беременности остается основной целью ЭКО [40]. В дополнение к этому возрастают требования к сокращению числа многоплодных беременностей, что делает особенно важным разработку методов отбора эмбрионов для минимизации количества переносимых эмбрионов и выявления тех, которые обладают наибольшим потенциалом для успешной имплантации [41]. Несмотря на общее улучшение современных методов выбора эмбрионов, процедура ЭКО по-прежнему сталкивается с неэффективностью использования половых клеток и потерей эмбрионов, что представляет собой значительное препятствие для повышения успешно-

сти процедуры [41, 42]. Программы, основанные на ИИ, обладают способностью точно идентифицировать такие характеристики эмбрионов, которые не всегда поддаются ручной оценке [22]. При внедрении ИИ в лаборатории ЭКО первоначальное внимание также уделяется именно развитию и отбору эмбрионов, так как имеется множество высококачественных визуальных данных, а эффективный отбор эмбрионов играет решающую роль в определении успеха процедуры ЭКО [43]. Таким образом, использование инструментов ИИ может привести к значительным улучшениям в выборе эмбрионов и, в конечном итоге, повысить вероятность успешной беременности для пар, сталкивающихся с проблемой бесплодия.

### Прогнозирование потенциального развития эмбриона и имплантации / Prediction of potential embryo development and implantation

В настоящее время существует острая необходимость повысить вероятность успеха процедуры ЭКО за счет квалифицированной оценки способности эмбриона к развитию и точного прогнозирования его потенциала к имплантации. Из морфокинетических параметров можно получить ценную информацию для оценки потенциального успеха имплантации эмбриона при ЭКО. Система Timelapse (англ. timelapse system, TLS) объединяет оптическую микроскопическую систему с инкубатором, позволяя получать изображения эмбрионов с заданными интервалами для динамического и непрерывного наблюдения и записи процесса их развития [44]. Морфологические параметры, наблюдаемые во время покадрового наблюдения, по-видимому, служат надежными показателями потенциала развития эмбрионов [45]. Однако исследования показали, что использование только TLS не продемонстрировало каких-либо существенных преимуществ в период клинической беременности или в показателях живорождения по сравнению с традиционной морфологической оценкой [46]. Автоматический морфометрический анализ может служить эффективным и надежным инструментом для улучшения процесса отбора эмбрионов [47]. Применение алгоритмов ИИ при анализе TLS потенциально может стать мощным инструментом в ЭКО и может обеспечить точную оценку прогностических возможностей морфокинетической информации [48]. Кроме того, ИИ может также эффективно устранить проблему субъективности, присущую традиционной морфологической оценке.

L. Votri с соавт. разработали модель, основанную на комбинации морфокинетических и морфологических характеристик отдельных эмбрионов, оцененных с помощью TLS для прогнозирования вероятности имплантации. Эта модель, использующая искусственную нейронную сеть (англ. artificial neural network, ANN), продемонстрировала более высокую точность прогнозирования имплантации, обеспечив площадь под

кривой (англ. area under curve, AUC), равной 0,77, в то время как традиционные методы морфокинетики достигли лишь 0,64 [49]. Таким образом, модель ИИ показала более высокую производительность в оценке вероятности имплантации бластоцист по сравнению с ручной оценкой эмбриологом. В целом, AUC для глубокой нейронной сети была выше, чем у эмбриологов (0,70 против 0,61) [50]. R. Milewski с соавт. разработали прогностическую модель с использованием передовых методов ИИ. Результаты исследования показали, что модель обладает высокой эффективностью, что подтверждается значением AUC = 0,75 [51].

Развитие бластоцисты имеет значительное влияние на вероятность успешной имплантации эмбриона [52]. Технология инкубации Time-Lapse Geri позволяет наблюдать за эмбрионами на любой стадии их развития без их извлечения из инкубатора. В исследовании, проведенном S. Canosa с соавт., были использованы количественные данные как морфологических, так и морфокинетических характеристик для разработки инновационной системы машинного обучения. Регистрация морфокинетики эмбрионов осуществлялась с помощью системы Time-Lapse Geri plus. Инновационная система успешно идентифицировала определенные правила, включая комбинации морфологических и морфокинетических переменных, что позволило эффективно выявить эмбрионы с наивысшей способностью к развитию, достигающие стадии расширенной бластоцисты на 5-й день [53]. Результаты показали прогностическую способность с AUC = 0,84 и точностью 81 %. Однако внедрение ИИ в систему TLS сопряжено с рядом сложностей, включая отсутствие общей доступности технологии, ограниченные размеры выборки и отсутствие проверки внешними исследователями [54]. Эти препятствия значительно снижают эффективность моделей в обеспечении надежных прогнозов. Алгоритмы ИИ в значительной степени зависят от наличия больших объемов высококачественных данных для обучения. Вышеописанные ограничения затрудняют понимание критериев, используемых для прогнозирования результатов. Для укрепления доверия и повышения осведомленности крайне важно обеспечить наличие полных наборов данных и увеличить прозрачность моделей ИИ.

Разработка различных коммерческих алгоритмов для прогнозирования результатов ЭКО на основе морфокинетических характеристик эмбрионов продемонстрировала свою эффективность в различных клинических ситуациях. Одним из таких инструментов является универсальный морфокинетический алгоритм KIDScore (англ. known implantation data score; шкала данных успешной имплантации), который был создан для помощи эмбриологам в определении наиболее подходящего эмбриона для переноса [55]. Прогностические модели KIDScore на 5-й день демонстрируют сильную корреляцию с показателями успешно-

сти имплантации после переноса одной бластоцисты [56]. В циклах переноса однократных или криоконсервированных эмбрионов KIDScore демонстрирует более высокую точность прогнозирования имплантации бластоцисты и частоту наступления беременности по сравнению с обычной морфологической оценкой по Гарднеру [57]. Результаты исследований показывают, что пациенты с более высоким качеством эмбрионов имеют наиболее благоприятные клинические исходы при ЭКО [58]. Тем не менее перед использованием алгоритмов KIDScore может потребоваться ручное аннотирование морфокинетических параметров, что делает этот процесс довольно трудоемким и времязатратным [59]. В ответ на эти сложности несколько исследований продемонстрировали, что iDAScore (англ. intelligent Data Analysis Score; шкала интеллектуального анализа данных) – полностью автоматическая модель для объективной оценки эмбрионов – превосходит KIDScore и критерии Гарднера в прогнозировании наступления беременности [60]. Кроме того, iDAScore продемонстрировала заметную связь между морфокинетическими и морфологическими изменениями предимплантационных эмбрионов, особенно на поздних стадиях их развития [61].

Также стоит отметить, что система оценки эмбрионов EMA представляет собой полностью автоматизированную модель глубокого обучения. Эта система присваивает каждому эмбриону оценку в диапазоне от 1,0 до 9,9 в зависимости от его качества и потенциала для успешной беременности, что позволяет преодолевать ограничения, связанные с традиционной дискретной шкалой оценки, используемой эмбриологами. Система EMA обеспечивает количественную оценку каждого эмбриона, которая точно отражает его качество и способность к развитию. Недавние исследования также подчеркнули значительную вариабельность в эффективности моделей машинного обучения для прогнозирования жизнеспособности эмбрионов в различных клиниках с различным распределением матерей по возрасту. В одном из исследований авторы предложили стандартизировать показатели AUC моделей в зависимости от возраста, что помогло сократить различия между клиниками на 16 %. Однако авторы отмечают, что этот метод стандартизации особенно чувствителен к возрастному распределению внутри эталонной популяции и может привести к искажению данных в определенных возрастных группах, которые характеризуются низким количеством эмбрионов. В результате сохраняется неопределенность в отношении эффективности обобщения этих моделей для применения в ЭКО [62].

### Прогнозирование плоидности эмбриона / Prediction of embryo ploidy

Прогнозирование плоидности эмбриона остается одной из ключевых задач в области репродуктивной медицины, так как эмбриональная анеуплоидия явля-

ется основной причиной неудачных исходов циклов ЭКО [63]. Это может приводить к различным последствиям, таким как задержка развития эмбриона, невозможность имплантации, выкидыш в I триместре беременности или врожденные аномалии [64–66]. С момента внедрения предимплантационного генетического тестирования (ПГТ) в начале 1990-х годов появилась возможность выявления и исключения эмбрионов с аномальным числом хромосом перед их переносом. Перенос нормальных эмбрионов осуществляется на основе хромосомного анализа с использованием предимплантационного генетического тестирования на анеуплоидию (ПГТ-А) для предотвращения передачи хромосомных аномалий [67]. Тем не менее эффективность ПГТ-А в качестве скринингового теста на зуплоидию эмбрионов остается предметом обсуждения, как указано в недавнем заключении комитета Американского общества репродуктивной медицины (англ. American Society for Reproductive Medicine, ASRM) [68]. Интересно, что ИИ отлично подходит для распознавания образов и может оказать ценную помощь в прогнозировании плоидности эмбрионов. Недавние исследования показали, что интеграция систем ИИ в процесс селекции бластоцист значительно повысила эффективность ПГТ-А, что выразалось в увеличении средних показателей успешной имплантации на 11,1 % [69]. J. Buldo-Licciardi с соавт. продемонстрировали, что комбинация ПГТ-А с ИИ значительно повышает точность классификации зуплоидии и увеличивает вероятность продолжающейся беременности и/или живорождений, одновременно уменьшая количество случаев биохимической беременности по сравнению с традиционным секвенированием нового поколения [70].

Усовершенствованные методы отбора эмбрионов являются критически важными для повышения показателей успешности беременности. Ранее оценка ИИ в эмбриоанализе сосредоточилась на использовании критериев, подходящих для бинарной классификации, что не всегда точно отражает клиническое применение и предполагаемое использование ИИ для отбора эмбрионов из группы пациентов с несколькими эмбрионами. Обучение инструмента ИИ ранжированию эмбрионов на основе плоидности и потенциала имплантации с использованием одного статического изображения эмбриона представляет собой потенциально значительное преимущество в выборе наилучшего эмбриона [71]. S.M. Diakiw с соавт. разработали новый метод оценки эффективности моделей ИИ при ранжировании эмбрионов в одной группе пациентов в течение одного цикла ЭКО, что позволило выбрать наилучший эмбрион для переноса. Это исследование показало, что по сравнению с морфологическими методами представленные модели улучшили исходы беременности и увеличили вероятность успешного завершения первого цикла на 11,1 % [72].

Для обеспечения способности ИИ формировать более надежные классификаторы с дополненными данными необходимо проведение более масштабных, рандомизированных и проспективных исследований. Кроме того, для будущих исследований критически важно приоритизировать оценку воспроизводимости различных наборов данных, поскольку это будет способствовать оптимизации алгоритмов и улучшению итоговых клинических результатов.

По сравнению с переносом зуплоидных эмбрионов перенос мозаичных эмбрионов обычно связан с более низкой частотой имплантации, пониженной частотой наступления беременности, а также с худшими клиническими исходами, включая более высокую частоту выкидышей [73, 74]. Тем не менее после первых успешных родов здоровых младенцев от мозаичных эмбрионов, которые были зарегистрированы в 2015 г., перенос таких эмбрионов стал неплохой альтернативой в случаях, когда зуплоидные эмбрионы отсутствуют [75]. Исследования показывают, что шкала iDAScore может быть применима для ранжирования как зуплоидных, так и мозаичных эмбрионов в клинических условиях [59]. В одном из исследований статус плоидности каждой бластоцисты был классифицирован на различные группы в зависимости от уровня мозаичности: зуплоидный (уровень мозаичности  $\leq 20\%$ ), низкий уровень мозаичности (уровень мозаичности  $> 20\%$  и  $< 50\%$ ), высокий уровень мозаичности ( $\geq 50\%$  и  $\leq 80\%$ ), анеуплоидный (уровень мозаичности  $> 80\%$ ). Кроме того, исследования подтвердили, что мозаичным эмбрионам с высоким уровнем анеуплоидии ( $\geq 60\%$ ) должен быть присвоен более низкий приоритет при переносе [76, 77]. Качество эмбрионов является надежным предиктором их анеуплоидии, и эмбрионы низкого качества (классы C и D) показывают более высокую частоту хромосомных аномалий по сравнению с эмбрионами высокого качества (классы A и B) [78].

Использование ИИ для классификации эмбрионов на основе различий в кинетических характеристиках между хромосомно нормальными и аномальными эмбрионами может существенно повысить вероятность успешного отбора жизнеспособных эмбрионов. Более того, было установлено, что применение ИИ в неинвазивном хромосомном скрининге улучшает показатели использования эмбрионов и живорождения, особенно у женщин старше 35 лет. Приоритет в переносе должен отдаваться эмбрионам класса A, затем эмбрионам класса B [79]. Исследования подтвердили возможность прогнозирования анеуплоидии и мозаицизма эмбрионов на основе специфических характеристик как самих пациентов, так и их эмбрионов с использованием модели MO NICS (англ. noninvasive chromosome screening; неинвазивный скрининг хромосом) [80]. Возраст матери был определен как один из важнейших факторов данной модели. Также под-

тверждено, что модели MO учитывают многоклассовую переменную для прогнозирования мозаичности и анеуплоидии. Алгоритм случайного леса (Random Forest) продемонстрировал наибольшую точность в прогнозировании для обоих условий.

Применение ПГТ-А с использованием ИИ потенциально может стать неинвазивной и экономически эффективной альтернативой для пациентов, у которых отсутствуют бластоцисты, или у которых имеются финансовые ограничения [81]. Результаты исследований подчеркивают значительное влияние клинических признаков на улучшение прогнозирования развития эмбрионов. Ожидается, что интеграция ИИ с клиническими данными для предсказания плоидности эмбрионов значительно повысит его прогностическую эффективность [82].

Тем не менее прогностическая эффективность моделей ИИ в контексте ВРТ все еще требует дальнейшего изучения. Например, Z. Yuan с соавт. разработали модель ИИ для прогнозирования зуплоидии бластоцист и живорождения при ПГТ. Результаты их исследований показали, что модель оказалась эффективной в прогнозировании зуплоидии с  $AUC = 0,879$ , однако эффективность прогнозирования живорождения после переноса замороженных эмбрионов была низкой [83].

Что касается корреляции между эффективностью ИИ в определении статуса плоидности и его клиническим применением, следует отметить, что логистическая регрессия оказалась недостаточной для точного различения зуплоидных эмбрионов от мозаичных. Это может привести к ошибочной классификации мозаичных эмбрионов как зуплоидных. Частота истинного биологического (или клинически значимого) мозаицизма, выявляемого с помощью ПГТ у человеческих эмбрионов, остается относительно низкой, что, возможно, объясняет ограниченные прогностические возможности, наблюдаемые в моделях ПГТ [84]. В этом контексте становится маловероятным, что ИИ сможет полностью заменить ПГТ. Кроме того, конечная точка – зуплоидия была основана исключительно на клинических результатах ПГТ-А. Следовательно, при интерпретации эффективности модели ИИ необходимо учитывать некоторую степень вариабельности результатов ПГТ-А [85].

Таким образом, всесторонняя оценка морфологического качества и плоидности эмбрионов является необходимым условием для отбора эмбрионов и определения их потенциала для успешной имплантации в клинической практике. Однако важно учитывать также и другие факторы, которые могут влиять на процесс имплантации, особенно те, что связаны с восприимчивостью эндометрия [86]. Зрелый эмбрион и восприимчивый эндометрий составляют 2 основные составляющие успешной имплантации [87]. Исследования показывают, что примерно в 30 % циклов ЭКО наблюдается отсутствие синхронности между эмбри-

оном и эндометрием [88]. Поэтому после тщательного анализа морфокинетических данных изучение аспектов восприимчивости эндометрия может стать перспективным направлением для повышения точности прогнозирования успешной имплантации в будущем.

Продemonстрировано, что модель ANN, основанная на факторах, связанных с иммунной инфильтрацией, может эффективно оценивать восприимчивость эндометрия, предоставляя ценную информацию для оценки беременности и формирования персонализированных стратегий клинического ведения [89]. Более того, недавние исследования также показали, что мультимодальная модель слияния, которая объединяет радиомикроскопию глубокого обучения на основе ультразвука с клиническими параметрами, позволяет проводить персонализированную оценку восприимчивости эндометрия [90].

Объединив ИИ с неинвазивными технологиями и клиническими характеристиками, можно провести комплексную оценку качества эмбрионов, восприимчивости эндометрия и их синхронизации. Это позволит более точно определить способность эмбриона к имплантации и оптимальные сроки для процедуры имплантации. Ожидается, что такая интеграция повысит эффективность ВРТ и одновременно будет способствовать дальнейшему развитию и применению ИИ в этой области [91].

Тем не менее количество существующих исследований по персонализированной оценке восприимчивости эндометрия с использованием технологий ИИ ограничено, и необходимо активное развитие этого направления для достижения более глубокого понимания и возможности практического применения.

### **Искусственный интеллект в прогнозировании исходов беременности / Artificial intelligence in predicting pregnancy outcomes**

Искусственный интеллект постепенно находит применение в прогнозировании клинических исходов беременности в рамках ВРТ [91]. В 2005 г. М. Wald с соавт. использовали такие переменные, как возраст матери, тип мужского фактора бесплодия, методика извлечения спермы и тип сперматозоидов для построения нейронной сети. Результаты их исследования, основанные на обратном регрессионном анализе, показали, что статистически значимыми переменными были только возраст матери и тип сперматозоидов [92]. Это исследование предоставило эмпирические доказательства того, что модели на основе нейронных сетей обладают высокими возможностями для точного прогнозирования исходов ЭКО. Также было показано, что интеграция медицинских изображений и количественных клинических данных может повысить эффективность прогнозирования исходов для отдельных случаев.

Дополнительные исследования подтверждают, что комбинация радиомикроскопии глубокого обучения на основе ультразвука с клиническими параметрами может служить точным и высокоэффективным методом прогнозирования клинической беременности после переноса замороженных эмбрионов [90]. Основной целью таких исследований является извлечение характеристик медицинских изображений и строительство прогнозирующих моделей с использованием радиомикроскопии – метода, позволяющего повышать точность диагностики и прогнозирования.

М. Benchaib с соавт. разработали неглубокие нейронные сети, которые, основываясь на морфокинетических параметрах и параметрах ВРТ с использованием технологии TLS, способны прогнозировать живорождение с AUC, превышающей 0,70 в тестируемой группе данных [93]. Модель KIDScore Day 5 (шкала данных успешной имплантации 5 дней – оценивает эмбрионы до 5-го дня развития) доказала свою эффективность в точном прогнозировании исходов беременности у пациенток пожилого возраста, показывая снижение успешных живорождений по мере уменьшения баллов KIDScore [94].

Дополнительно, М. Ver Milyea с соавт. использовали комбинацию методов компьютерного зрения и глубокого обучения для создания неинвазивной модели ИИ под названием Life Whisperer (дословно «заклинатель жизни»). Эта модель выявляет тонкие морфологические характеристики, связанные с жизнеспособностью эмбрионов, часто незаметные для человеческого глаза, и точно предсказывает жизнеспособность эмбриона на основании клинических исходов беременности, используя одиночные статические изображения бластоцист на 5-й день, полученные с помощью стандартных оптических микроскопов [95]. Исключительная точность данной модели обещает повысить показатели успешности беременности при проведении процедур ЭКО: метод бинарного сравнения продемонстрировал превосходство на 24,7 % по сравнению с результатами эмбриологов, в то время как метод пятиполосного ранжирования – на 42,0 % [95].

Кроме того, исследование, проведенное U. Aroga с соавт., представляет новый подход, использующий модели МО для классификации структуры ультразвуковых изображений плаценты. Этот метод позволяет с высокой точностью отличать нормальную плаценту на I и III триместре от патологий, приводящих к неблагоприятным исходам беременности [96]. Определение текстуры изображения плаценты с помощью МО является инновационным методом, который ранее не применялся для анализа ультразвуковых изображений. Такой подход открывает новые возможности для прогнозирования неблагоприятных исходов беременности, основанных на точной дифференциации текстур изображений плаценты в различных триместрах.

В настоящее время использование ИИ для прогнозирования исходов беременности предварительно подтверждается клиническими данными [52, 59, 91, 93, 94, 96]. Однако в большинстве исследований конечной точкой является клиническая беременность, определяемая по наличию сердцебиения плода. Важно отметить, что этот показатель не всегда отражает вероятность рождения живого ребенка [73, 95].

Кроме того, относительно ограниченный набор данных может стать серьезным недостатком. Более крупный и разнообразный набор данных обеспечил бы наиболее оптимальные условия для анализа, сведя к минимуму риск недостаточной или чрезмерной подгонки модели [96]. Подчеркивается, что несмотря на усилия по разработке алгоритмов ИИ, способных прогнозировать исходы беременности и отбирать эмбрионы с наивысшим потенциалом для имплантации, эти программы пока не считаются готовыми к внедрению в практику ЭКО [40]. Это связано с тем, что многие модели прогнозирования не демонстрируют значительного превосходства по эффективности и надежности.

Также отмечается потенциальный основополагающий фактор – отсутствие всеобъемлющей модели, которая учитывала бы клинические характеристики как мужчин, так и женщин, морфологические и морфокинетические данные об эмбрионах, а также условия их культивирования. Разработка такой программы требует обширных обучающих данных, включая множество циклов ЭКО и подробные данные о тестировании, связанных с установленными показателями имплантации и исходами беременности, которые необходимо собрать и проанализировать. Это открывает перспективы для дальнейших исследований и внедрения более интегрированных подходов в будущем.

### **Роль искусственного интеллекта в прегравидарной подготовке / A role of artificial intelligence in pre-conception preparation**

Прегравидарная подготовка (ПП) – это комплекс мероприятий, направленных на подготовку организма женщины к беременности и родам, а также на снижение рисков возникновения осложнений во время беременности и родов. Важность ПП трудно переоценить, ведь она играет ключевую роль в обеспечении здоровья будущего ребенка и матери, особенно в контексте ВРТ [97].

Одним из важных компонентов ПП является нутрициальная поддержка. Основными витаминами и витаминоподобными веществами, которые рекомендуются женщинам на этапе подготовки к беременности, являются фолиевая кислота (витамин B<sub>9</sub>), витамин D, железо и йод. Фолиевая кислота играет ключевую роль в профилактике дефектов нервной трубки у плода, витамин D участвует в регулировании множества метаболических процессов, включая иммунный ответ и усвоение кальция, железо предотвращает анемию,

а йод необходим для синтеза гормонов щитовидной железы, играющих важную роль в развитии мозга плода [98].

Сопутствующая терапия включает в себя применение лекарственных препаратов и немедикаментозных методов, направленных на поддержание здоровья женщины и создание благоприятных условий для зачатия и протекания беременности. Основные цели сопутствующей терапии включают коррекцию хронических заболеваний, профилактику инфекций, передаваемых половым путем, контроль массы тела и коррекцию пищевых привычек, физическую активность и психологическую подготовку к беременности [99, 100].

С развитием информационных технологий появилось множество программ и приложений, предназначенных для поддержки женщин на этапе планирования беременности. Так, ИИ-чатботы оказались эффективными в улучшении различных аспектов здоровья женщин, включая снижение тревожности, депрессии, поддержку здорового образа жизни и улучшение знаний в области репродуктивного здоровья. Метаанализ показал значительное уменьшение уровня тревожности (–0,30; 95 % ДИ от –0,42 до –0,18) [101]. Успешно внедряется изучение отслеживания перемещений пациентки с использованием ИИ для понимания влияния окружающей среды и социально-экономических факторов на здоровье женщины перед зачатием [102]. Кроме того, модели МО успешно применялись для прогнозирования развития гестационного сахарного диабета на этапе планирования беременности [103].

Применение ИИ позволяет создавать индивидуализированные планы приема витаминов и добавок, предлагать персонализированные рекомендации по питанию и физической активности, отслеживать физическое и эмоциональное состояние женщины, предотвращать возможные риски и осложнения [104]. Эти технологии делают процесс подготовки к беременности более осознанным и безопасным, предоставляя женщинам доступ к персонализированным рекомендациям и поддержке на каждом этапе пути к материнству.

### **Этические аспекты применения искусственного интеллекта в репродуктивной медицине / Ethical aspects for using of artificial intelligence in reproductive medicine**

В соответствии с Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» была утверждена Национальная стратегия развития ИИ на период до 2030 г., в том числе в области репродуктологии. Данная стратегия направлена на реализацию комплексных мер по развитию ИИ с целью повышения эффективности диагностики и лечения бесплодия, а также усовершенствования репродуктивных технологий и методов. Стратегия предполагает проведение широкомасштаб-

ных научных исследований и инновационных разработок, а также содействие внедрению передовых технологий и методов в практику репродуктологических центров по всей территории России. Она также ориентирована на укрепление институциональной базы в области репродуктологии и формирование новых кадровых резервов, способных реализовать передовые разработки и технологии [105].

Этическое исследование приложений ИИ в области репродуктивной медицины поднимает множество вопросов, особенно в контексте использования ИИ в процедуре ЭКО. Полный переход на ИИ в настоящее время представляет собой вызов, так как существует значительный разрыв между текущими практиками и готовностью системы к широкому клиническому внедрению ИИ. Существующие методы сталкиваются с рядом проблем, включая неадекватную оптимизацию наборов данных, отсутствие внешней валидации, недостаточную стандартизацию моделей ИИ, а также недостаточные тестирования в различных клиниках [106].

Одна из центральных проблем заключается в природе «черного ящика», присущего некоторым алгоритмам ИИ, которые ориентируются на установление взаимосвязей между входными и выходными переменными исключительно на основе обучающих данных. Часто данные для обучения берутся из относительно ограниченной выборки пациентов, что вызывает опасения по поводу возможности обобщения результатов на новых пациентов, не входивших в исходную выборку. Поэтому критически важно устранить потенциальные искажения в данных.

Наиболее приемлемым решением может стать сбор данных из нескольких клинических центров с созданием обширной базы данных и проведением многоцентровых исследований. Эти исследования позволят изучить методы интеграции многомерных разнородных данных и повысят клиническую применимость получаемых моделей. Учитывая богатство и разнообразие данных, также важно увеличить вычислительную мощность для обеспечения объективной поддержки в создании надежных моделей.

Тем не менее создание обширных общедоступных баз данных неизбежно вызывает беспокойство по поводу конфиденциальности данных и этических последствий. В ряде рекомендаций подчеркивается, что автономия личности должна оставаться приоритетной в здравоохранении [107]. Чтобы обеспечить защиту личной информации пациентов, важно обеспечить анонимизацию данных и получить информированное согласие пациентов на участие в исследованиях и обмен данными.

Более того, концепция и разработка систем ИИ должны быть направлены на расширение и усовершенствование человеческих возможностей, а не на замену или вытеснение людей. Настоятельно рекомен-

дуется использовать решения на основе ИИ в качестве вспомогательного инструмента для врачей, при этом собирая и накапливая данные на протяжении всего процесса, чтобы повысить точность и применимость этих инструментов. Даже если в конечном итоге будет поставлен точный диагноз, клиницисты не должны слепо полагаться на прогнозы моделей ИИ [108]. Недавние исследования недвусмысленно продемонстрировали незаменимую роль человека в современной репродуктивной медицине [109]. Врачи должны постоянно анализировать логическую согласованность структуры модели и ее совместимость с реальными клиническими сценариями.

Учитывая как практические, так и этические аспекты, разработка таких методов может существенно сократить разрыв между теоретическими данными и клинической практикой [110, 111]. Для обеспечения благополучия как пациентов, так и клиницистов крайне важно, чтобы потенциальное клиническое применение ИИ сопровождалось всесторонним этическим обсуждением [112, 113]. Поэтому проведение комплексной оценки и установление стандартов одобрения, которые гарантируют безопасность внедрения ИИ в практику ЭКО, имеет критическое значение [114]. При создании законодательной и регуляторной базы важно обеспечить, чтобы эти рамки основывались на этических принципах и основных ценностях [115]. Модели ИИ должны пройти тщательную оценку для подтверждения их прочности и надежности.

Крайне важно сформировать междисциплинарную группу экспертов, которая обеспечит продуманный и информированный прогресс, а также внедрение ИИ в области репродуктивной медицины. Появление ИИ таит в себе потенциал для значительных изменений, которые могут быть наиболее эффективно реализованы благодаря гармоничному сотрудничеству и синергии между людьми и ИИ [116]. Сотрудничество между медицинскими работниками, учеными, политиками и техническими экспертами необходимо для создания надежной основы интеграции ИИ в клиническую практику с эффективным решением этических, нормативных и технических вопросов.

## Перспективы на будущее / Future prospects

### Интеграция искусственного интеллекта с неинвазивными методами диагностики / Integration of artificial intelligence with non-invasive diagnostic methods

#### *Морфокинетика эмбрионов / Embryo morphokinetics*

Искусственный интеллект уже показывает значительный потенциал в анализе морфокинетики эмбрионов – процесса, который позволяет отслеживать развитие эмбрионов в режиме реального времени. Со-

временные системы, такие как технология TLS, уже позволяют записывать видеоизображения эмбрионов каждые несколько минут, фиксируя мельчайшие изменения в их структуре и движении [44–46]. Однако обработка такого огромного объема данных вручную занимает слишком много времени и подвержена субъективным ошибкам.

Искусственный интеллект может значительно ускорить и улучшить этот процесс. Благодаря использованию алгоритмов МО, ИИ способен автоматически анализировать морфокинетические параметры эмбрионов, такие как скорость клеточного деления, форму и размер клеток, а также другие важные признаки [48]. Это позволяет выделить эмбрионы с наибольшим потенциалом к успешной имплантации и развитию.

#### *Диагностика состояния эндометрия / Diagnostics of endometrial condition*

Важную роль в успешной имплантации эмбриона играет состояние эндометрия – внутренней оболочки матки. Традиционно диагностика состояния эндометрия проводится с помощью УЗИ, которое предоставляет двухмерные изображения. Однако современные методы, такие как радиомика ГО, сочетают УЗИ с ИИ для создания трехмерных моделей эндометрия и анализа его структуры [19–21].

Этот подход позволяет не только оценить толщину и структуру эндометрия, но и выявить возможные патологии, которые могут помешать успешной имплантации эмбриона. Такие модели могут быть разработаны на основе анализа большого количества данных, собранных в различных клиниках, что повышает их точность и надежность.

#### **Модели, учитывающие клинические и генетические данные пациента / Models accounting for clinical and genetic patient data**

##### *Мультимодальные модели / Multimodal patterns*

Современные ИИ-системы уже способны обрабатывать большое количество данных, включая медицинские изображения, клинические записи и генетическую информацию. Однако для создания действительно эффективных моделей требуется интеграция всех этих данных в единую систему. Мультимодальные модели, которые объединяют разные типы данных, могут значительно повысить точность прогнозирования исходов беременности.

Например, комбинирование данных о возрасте пациентки, ее медицинской истории, результатах генетических тестов и характеристиках эмбрионов может позволить создать модель, которая с высокой точностью предскажет вероятность успешной имплантации и развития беременности [15, 104]. Такие модели могут помочь врачам принимать более обоснованные решения о выборе стратегии лечения и планировании процедур ЭКО.

#### *Индивидуальные планы лечения / Personalized treatment plans*

Одной из главных целей репродуктивной медицины является создание индивидуализированных планов лечения для каждого пациента. ИИ может сыграть ключевую роль в этом процессе, анализируя большой объем данных о пациенте и предлагая оптимальные варианты лечения. Например, ИИ может рекомендовать конкретный протокол стимуляции яичников, исходя из анамнеза пациентки, ее генетических особенностей и характеристик эмбрионов.

Такие системы могут также учитывать взаимодействие между различными препаратами и реакциями организма, что позволяет минимизировать побочные эффекты и повысить эффективность лечения. В перспективе ИИ может стать незаменимым инструментом для создания персонализированных планов лечения, которые максимально соответствуют потребностям каждого пациента [103, 104].

Эти направления представляют собой лишь часть возможных путей развития ИИ в репродуктивной медицине. Их реализация потребует совместных усилий ученых, медиков, инженеров и юристов, а также создания благоприятных условий для внедрения инноваций в здравоохранение.

#### **Заключение / Conclusion**

В контексте оптимизации цикла ЭКО ИИ представляет собой важный подход к принятию решений, который обеспечивает объективность и воспроизводимость. Это может помочь клиницистам в разработке индивидуальных планов лечения для пациентов. Несмотря на свой потенциал, использование ИИ в клинической практике по-прежнему находится на начальной стадии и сталкивается с многочисленными этическими, нормативными и техническими препятствиями, требующими внимания.

Кроме того, требования к производительности, предъявляемые к моделям ИИ, неуклонно растут, что подтверждается проведенным анализом существующих исследований. Таким образом, соблюдение этических принципов становится приоритетом при внедрении ИИ в клиническую практику. Крайне важно составить содержательный и всеобъемлющий набор для обучения и тестирования, чтобы гарантировать применимость технологий в различных контекстах. Одновременно решающее значение имеет повышение прозрачности наборов данных, используемых в моделях ИИ.

Самое главное, развитие ИИ зависит от создания комплексных моделей, охватывающих множество функций, и проведения крупномасштабных рандомизированных клинических испытаний, которые последовательно способствуют клиническим преобразованиям. Кроме того, необходимо изучить методы объединения многомерных разнородных данных для

повышения клинической применимости полученных моделей.

Внедрение ИИ также может способствовать улучшению диагностики бесплодия и ведения пациентов; кроме того, он играет важную роль в улучшении контроля качества и производительности лабораторных

исследований. Если будут соблюдены вышеупомянутые критерии, у ИИ появится большой потенциал для оказания помощи медицинским работникам в разработке персонализированных методов лечения для пар, сталкивающихся с проблемами бесплодия, и повышения эффективности ВРТ.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
<p>Поступила: 06.12.2024. В доработанном виде: 12.02.2025. Принята к печати: 06.03.2025. Опубликована онлайн: 14.03.2025.</p>	<p>Received: 06.12.2024. Revision received: 12.02.2025. Accepted: 06.03.2025. Published online: 14.03.2025.</p>
Вклад авторов	Author's contribution
Все авторы внесли равный вклад в написание и подготовку рукописи.	All authors contributed equally to the article.
Все авторы прочитали и утвердили окончательный вариант рукописи.	All authors have read and approved the final version of the manuscript.
Конфликт интересов	Conflict of interests
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interests.
Финансирование	Funding
Авторы заявляют об отсутствии финансовой поддержки.	The authors declare no funding.
Комментарий издателя	Publisher's note
Содержащиеся в этой публикации утверждения, мнения и данные были созданы ее авторами, а не издательством ИРБИС (ООО «ИРБИС»). Издательство ИРБИС снимает с себя ответственность за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или препаратов, упомянутых в публикации.	The statements, opinions, and data contained in this publication were generated by the authors and not by IRBIS Publishing (IRBIS LLC). IRBIS Publishing disclaims any responsibility for any injury to peoples or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred in the content.
Права и полномочия	Rights and permissions
ООО «ИРБИС» обладает исключительными правами на эту статью по Договору с автором (авторами) или другим правообладателем (правообладателями). Использование этой статьи регулируется исключительно условиями этого Договора и действующим законодательством.	IRBIS LLC holds exclusive rights to this paper under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s). Usage of this paper is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

## Литература:

- Shah P.K., Gher J.M. Human rights approaches to reducing infertility. *Int J Gynaecol Obstet.* 2023;162(1):368–74. <https://doi.org/10.1002/ijgo.14878>.
- Корсак В.С., Смирнова А.А., Шурыгина О.В. Регистр ВРТ Российской ассоциации репродукции человека. Отчет за 2019 год. *Проблемы репродукции.* 2021;27(6):14–29. <https://doi.org/10.17116/repro20212706114>.
- Villani M.T., Morini D., Spaggiari G. et al. Are sperm parameters able to predict the success of assisted reproductive technology? A retrospective analysis of over 22,000 assisted reproductive technology cycles. *Andrology.* 2022;10(2):310–21. <https://doi.org/10.1111/andr.13123>.
- Louis C.M., Erwin A., Handayani N. et al. Review of computer vision application in vitro fertilization: the application of deep learning-based computer vision technology in the world of IVF. *J Assist Reprod Genet.* 2021;38(7):1627–39. <https://doi.org/10.1007/s10815-021-02123-2>.
- Khosravi P., Kazemi E., Zhan Q. et al. Deep learning enables robust assessment and selection of human blastocysts after in vitro fertilization. *NPJ Digit Med.* 2019;2:21. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0096-y>.
- Ламоткин А.И., Корабельников Д.И., Ламоткин И.А. и др. Искусственный интеллект в здравоохранении и медицине: история ключевых событий, его значимость для врачей, уровень развития в разных странах. *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология.* 2024;17(2):243–50. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoekonomika.2024.254>.
- Мелдо А.А., Уткин Л.В., Трофимова Т.Н. Искусственный интеллект в медицине: современное состояние и основные направления развития интеллектуальной диагностики. *Лучевая диагностика и терапия.* 2020;11(1):9–17. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-9-17>.
- Адамян Л.В. Использование искусственного интеллекта в репродуктивной медицине. *Проблемы репродукции.* 2021;27(3):6–13. <https://doi.org/10.17116/repro2021270316>.
- Hanassab S., Abbara A., Yeung A.C. et al. The prospect of artificial intelligence to personalize assisted reproductive technology. *NPJ Digit Med.* 2024;7(1):55. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01006-x>.
- Jiang V.S., Pavlovic Z.J., Hariton E. The role of artificial intelligence and machine learning in assisted reproductive technologies. *Obstet Gynecol Clin North Am.* 2023;50(4):747–62. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2023.09.003>.
- Bormann C.L., Kanakasabapathy M.K., Thirumalaraju P. et al. Performance of a deep learning based neural network in the selection of human blastocysts for implantation. *Elife.* 2020;9:e55301. <https://doi.org/10.7554/eLife.55301>.
- Curchoe C.L., Bormann C., Hammond E. et al. Assuring quality in assisted reproduction laboratories: assessing the performance of ART Compass – a digital art staff management platform. *J Assist Reprod Genet.* 2023;40(2):265–78. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02713-2>.
- Jiang V.S., Bormann C.L. Artificial intelligence in the in vitro fertilization laboratory: a review of advancements over the last decade. *Fertil Steril.* 2023;120(1):17–23. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.149>.
- Wang R., Pan W., Jin L. et al. Artificial intelligence in reproductive medicine. *Reproduction.* 2019;158(4):R139–R154. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0523>.
- Ившин А.А., Багаудин Т.З., Гусев А.В. Искусственный интеллект на страже репродуктивного здоровья. *Акушерство и гинекология.* 2021;(5):17–24. <https://doi.org/10.18565/aig.2021.5.17-24>.
- Coelho Neto M.A., Ludwin A., Borrell A. et al. Counting ovarian antral follicles by ultrasound: a practical guide. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2018;51(1):10–20. <https://doi.org/10.1002/uog.18945>.
- Li H., Fang J., Liu S. et al. CR-Unet: A Composite Network for Ovary and Follicle Segmentation in Ultrasound Images. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2020;24(4):974–83. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2946092>.
- Mathur P., Kakwani K., Kudavelly S., Ramaraju G.A. Deep learning based quantification of ovary and follicles using 3D transvaginal ultrasound in assisted reproduction. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2020;2020:2109–12. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176703>.
- Yang X., Li H., Wang Y. et al. Contrastive rendering with semi-supervised

- learning for ovary and follicle segmentation from 3D ultrasound. *Med Image Anal.* 2021;73:102134. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102134>.
20. Liang X., Liang J., Zeng F. et al. Evaluation of oocyte maturity using artificial intelligence quantification of follicle volume biomarker by three-dimensional ultrasound. *Reprod Biomed Online.* 2022;45(6):1197–206. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.07.012>.
21. Noor N., Vignarajan C.P., Malhotra N., Vanamail P. Three-dimensional automated volume calculation (sonography-based automated volume count) versus two-dimensional manual ultrasonography for follicular tracking and oocyte retrieval in women undergoing in vitro fertilization-embryo transfer: a randomized controlled trial. *J Hum Reprod Sci.* 2020;13(4):296–302. [https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS\\_91\\_20](https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS_91_20).
22. Андреева Е.А., Хонина Н.А., Пасман Н.М., Черных Е.Р. Цитокины в регуляции овариального фолликулогенеза (обзор литературы). *Проблемы репродукции.* 2017;23(1):8–14. <https://doi.org/10.17116/repro20172318-14>.
23. Manna C., Nanni L., Lumini A., Pappalardo S. Artificial intelligence techniques for embryo and oocyte classification. *Reprod Biomed Online.* 2013;26(1):42–9. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2012.09.015>.
24. Targosz A., Przystalka P., Wiaderkiewicz R., Mrugacz G. Semantic segmentation of human oocyte images using deep neural networks. *Biomed Eng Online.* 2021;20(1):40. <https://doi.org/10.1186/s12938-021-00864-w>.
25. Fjeldstad J., Qi W., Mercuri N. et al. An artificial intelligence tool predicts blastocyst development from static images of fresh mature oocytes. *Reprod Biomed Online.* 2024;48(6):103842. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2024.103842>.
26. Boylan C.F., Sambo K.M., Neal-Perry G., Brayboy L.M. Ex ovo omnia-why don't we know more about egg quality via imaging? *Biol Reprod.* 2024;110(6):1201–12. <https://doi.org/10.1093/biolre/iaoe080>.
27. Alper M.M., Fauser B.C. Ovarian stimulation protocols for IVF: is more better than less? *Reprod Biomed Online.* 2017;34(4):345–53. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2017.01.010>.
28. Glujovsky D., Pesce R., Miguens M. et al. How effective are the non-conventional ovarian stimulation protocols in ART? A systematic review and meta-analysis. *J Assist Reprod Genet.* 2020;37(12):2913–28. <https://doi.org/10.1007/s10815-020-01966-5>.
29. Mol B.W., Bossuyt P.M., Sunkara S.K. et al. Personalized ovarian stimulation for assisted reproductive technology: study design considerations to move from hype to added value for patients. *Fertil Steril.* 2018;109(6):968–79. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.04.037>.
30. Doroftei B., Ilie O.D., Anton N. et al. A narrative review discussing the efficiency of personalized dosing algorithm of follitropin delta for ovarian stimulation and the reproductive and clinical outcomes. *Diagnostics.* 2023;13(2):177. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020177>.
31. Haahr T., Esteves S.C., Humaidan P. Individualized controlled ovarian stimulation in expected poor-responders: an update. *Reprod Biol Endocrinol.* 2018;16(1):20. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0342-1>.
32. Hariton E., Pavlovic Z., Fanton M., Jiang V.S. Applications of artificial intelligence in ovarian stimulation: a tool for improving efficiency and outcomes. *Fertil Steril.* 2023;120(1):8–16. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.148>.
33. AlSaad R., Abd-Alrazaq A., Choucair F. et al. Harnessing artificial intelligence to predict ovarian stimulation outcomes in in vitro fertilization: scoping review. *J Med Internet Res.* 2024;26:e53396. <https://doi.org/10.2196/53396>.
34. Curchoe C.L., Bormann C.L. Artificial intelligence and machine learning for human reproduction and embryology presented at ASRM and ESHRE 2018. *J Assist Reprod Genet.* 2019;36(4):591–600. <https://doi.org/10.1007/s10815-019-01408-x>.
35. Siristatidis C., Stavros S., Drakeley A. et al. Omics and artificial intelligence to improve in vitro fertilization (IVF) success: a proposed protocol. *Diagnostics.* 2021;11(5):743. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050743>.
36. Mann M., Kumar C., Zeng W.F., Strauss M.T. Artificial intelligence for proteomics and biomarker discovery. *Cell Syst.* 2021;12(8):759–70. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2021.06.006>.
37. Zieliński K., Puksza S., Mickiewicz M. et al. Personalized prediction of the secondary oocytes number after ovarian stimulation: a machine learning model based on clinical and genetic data. *PLoS Comput Biol.* 2023;19(4):e1011020. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011020>.
38. Letterie G., MacDonald A., Shi Z. An artificial intelligence platform to optimize workflow during ovarian stimulation and IVF: process improvement and outcome-based predictions. *Reprod Biomed Online.* 2022;44(2):254–60. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2021.10.006>.
39. Cesario A., D'Oria M., Bove F. et al. Personalized clinical phenotyping through systems medicine and artificial intelligence. *J Pers Med.* 2021;11(4):265. <https://doi.org/10.3390/jpm11040265>.
40. Ferrand T., Boulant J., He C. et al. Predicting the number of oocytes retrieved from controlled ovarian hyperstimulation with machine learning. *Hum Reprod.* 2023;38(10):1918–26. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead163>.
41. Simopoulou M., Sfakianoudis K., Maziotis E. et al. Are computational applications the "crystal ball" in the IVF laboratory? The evolution from mathematics to artificial intelligence. *J Assist Reprod Genet.* 2018;35(9):1545–57. <https://doi.org/10.1007/s10815-018-1266-6>.
42. Basile N., Elkhatib I., Meseguer M. A strength, weaknesses, opportunities and threats analysis on time lapse. *Curr Opin Obstet Gynecol.* 2019;31(3):148–55. <https://doi.org/10.1097/GCO.0000000000000534>.
43. Zaninovic N., Rosenwaks Z. Artificial intelligence in human in vitro fertilization and embryology. *Fertil Steril.* 2020;114(5):914–20. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2020.09.157>.
44. Capalbo A., Rienzi L., Cimadomo D. et al. Correlation between standard blastocyst morphology, ploidy and implantation: an observational study in two centers involving 956 screened blastocysts. *Hum Reprod.* 2014;29(6):1173–81. <https://doi.org/10.1093/humrep/deu033>.
45. Gardner D.K., Meseguer M., Rubio C., Treff N.R. Diagnosis of human preimplantation embryo viability. *Hum Reprod Update.* 2015;21(6):727–47. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmu064>.
46. Rubio I., Galán A., Larreategui Z. et al. Clinical validation of embryo culture and selection by morphokinetic analysis: a randomized, controlled trial of the EmbryoScope. *Fertil Steril.* 2014;102(5):1287–1294.e5. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2014.07.738>.
47. Meng Q., Xu Y., Zheng A. et al. Noninvasive embryo evaluation and selection by time-lapse monitoring vs. conventional morphologic assessment in women undergoing in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection: a single-center randomized controlled study. *Fertil Steril.* 2022;117(6):1203–12. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2022.02.015>.
48. Fruchter-Goldmeier Y., Kantor B., Ben-Meir A. et al. An artificial intelligence algorithm for automated blastocyst morphometric parameters demonstrates a positive association with implantation potential. *Sci Rep.* 2023;13(1):14617. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40923-x>.
49. Siristatidis C., Pouliakis A., Chreliax C., Kassanos D. Artificial intelligence in IVF: a need. *Syst Biol Reprod Med.* 2011;57(4):179–85. <https://doi.org/10.3109/19396368.2011.558607>.
50. Bori L., Paya E., Alegre L. et al. Novel and conventional embryo parameters as input data for artificial neural networks: an artificial intelligence model applied for prediction of the implantation potential. *Fertil Steril.* 2020;114(6):1232–41. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2020.08.023>.
51. Fordham D.E., Rosentraub D., Polsky A.L. et al. Embryologist agreement when assessing blastocyst implantation probability: is data-driven prediction the solution to embryo assessment subjectivity? *Hum Reprod.* 2022;37(10):2275–90. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac171>.
52. Milewski R., Kuczyńska A., Stankiewicz B., Kuczyński W. How much information about embryo implantation potential is included in morphokinetic data? A prediction model based on artificial neural networks and principal component analysis. *Adv Med Sci.* 2017;62(1):202–6. <https://doi.org/10.1016/j.advms.2017.02.001>.
53. Liu X., Lou H., Zhang J. et al. Clinical outcome analysis of frozen-thawed embryo transfer on Day 7. *Front Endocrinol.* 2022;13:1082597. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1082597>.
54. Canosa S., Licheri N., Bergandi L. et al. A novel machine-learning framework based on early embryo morphokinetics identifies a feature signature associated with blastocyst development. *J Ovarian Res.* 2024;17(1):63. <https://doi.org/10.1186/s13048-024-01376-6>.
55. Luong T.M., Le N.Q.K. Artificial intelligence in time-lapse system: advances, applications, and future perspectives in reproductive medicine. *J Assist Reprod Genet.* 2024;41(2):239–52. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02973-y>.
56. Petersen B.M., Boel M., Montag M., Gardner D.K. Development of a generally applicable morphokinetic algorithm capable of predicting the implantation potential of embryos transferred on Day 3. *Hum Reprod.* 2016;31(10):2231–44. <https://doi.org/10.1093/humrep/dew188>.
57. Reignier A., Girard J.M., Lammers J. et al. Performance of Day 5 KIDScore™ morphokinetic prediction models of implantation and live birth after single blastocyst transfer. *J Assist Reprod Genet.* 2019;36(11):2279–85. <https://doi.org/10.1007/s10815-019-01567-x>.
58. Tartia A.P., Wu C.Q., Gale J. et al. Time-lapse KIDScoreD5 for prediction of embryo pregnancy potential in fresh and vitrified-warmed single-

- embryo transfers. *Reprod Biomed Online*. 2022;45(1):46–53. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.03.019>.
59. Брусиловский И.А., Лившиц И.В. Морфологическая оценка эмбрионов человека. «Коллеги, давайте договоримся!». *Проблемы репродукции*. 2018;24(2):63–8. <https://doi.org/10.17116/repro201824263-68>.
  60. Lee C.I., Huang C.C., Lee T.H. et al. Associations between the artificial intelligence scoring system and live birth outcomes in preimplantation genetic testing for aneuploidy cycles. *Reprod Biol Endocrinol*. 2024;22(1):12. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01185-y>.
  61. Ueno S., Berntsen J., Ito M. et al. Pregnancy prediction performance of an annotation-free embryo scoring system on the basis of deep learning after single vitrified-warmed blastocyst transfer: a single-center large cohort retrospective study. *Fertil Steril*. 2021;116(4):1172–80. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2021.06.001>.
  62. Ezoe K., Shimazaki K., Miki T. et al. Association between a deep learning-based scoring system with morphokinetics and morphological alterations in human embryos. *Reprod Biomed Online*. 2022;45(6):1124–32. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.08.098>.
  63. Johansen M.N., Parner E.T., Kragh M.F. et al. Comparing performance between clinics of an embryo evaluation algorithm based on time-lapse images and machine learning. *J Assist Reprod Genet*. 2023;40(9):2129–37. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02871-3>.
  64. Жигалина Д.И., Скрябин Н.А., Канбекова О.Р. и др. Структура хромосомных аномалий в циклах ЭКО-ПГС. *Медицинская генетика*. 2019;18(3):47–54. <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2019.03.47-54>.
  65. Alfawati S., Fragouli E., Colls P. et al. The relationship between blastocyst morphology, chromosomal abnormality, and embryo gender. *Fertil Steril*. 2011;95(2):520–4. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2010.04.003>.
  66. Fragouli E. Next generation sequencing for preimplantation genetic testing for aneuploidy: friend or foe? *Fertil Steril*. 2018;109(4):606–7. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.01.028>.
  67. Sato T., Sugiura-Ogasawara M., Ozawa F. et al. Preimplantation genetic testing for aneuploidy: a comparison of live birth rates in patients with recurrent pregnancy loss due to embryonic aneuploidy or recurrent implantation failure. *Hum Reprod*. 2019;34(12):2340–8. <https://doi.org/10.1093/humrep/dez229>.
  68. Cozzolino M., Diaz-Gimeno P., Pellicer A., Garrido N. Evaluation of the endometrial receptivity assay and the preimplantation genetic test for aneuploidy in overcoming recurrent implantation failure. *J Assist Reprod Genet*. 2020;37(12):2989–97. <https://doi.org/10.1007/s10815-020-01948-7>.
  69. Practice Committees of the American Society for Reproductive Medicine and the Society for Assisted Reproductive Technology. Electronic address: ASRM@asrm.org; Practice Committees of the American Society for Reproductive Medicine and the Society for Assisted Reproductive Technology. The use of preimplantation genetic testing for aneuploidy (PGT-A): a committee opinion. *Fertil Steril*. 2018;109(3):429–36. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.01.002>.
  70. Fitz V.W., Kanakasabapathy M.K., Thirumalaraju P. et al. Should there be an "AI" in TEAM? Embryologists selection of high implantation potential embryos improves with the aid of an artificial intelligence algorithm. *J Assist Reprod Genet*. 2021;38(10):2663–70. <https://doi.org/10.1007/s10815-021-02318-7>.
  71. Buldo-Licciardi J., Large M.J., McCulloh D.H. et al. Utilization of standardized preimplantation genetic testing for aneuploidy (PGT-A) via artificial intelligence (AI) technology is correlated with improved pregnancy outcomes in single thawed euploid embryo transfer (STEET) cycles. *J Assist Reprod Genet*. 2023;40(2):289–99. <https://doi.org/10.1007/s10815-022-02695-7>.
  72. Chavez-Badiola A., Flores-Saiffe-Farías A., Mendizabal-Ruiz G. et al. Embryo Ranking Intelligent Classification Algorithm (ERICA): artificial intelligence clinical assistant predicting embryo ploidy and implantation. *Reprod Biomed Online*. 2020;41(4):585–93. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2020.07.003>.
  73. Diakiw S.M., Hall J.M.M., VerMilyea M. et al. An artificial intelligence model correlated with morphological and genetic features of blastocyst quality improves ranking of viable embryos. *Reprod Biomed Online*. 2022;45(6):1105–17. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.07.018>.
  74. Popovic M., Borot L., Lorenzon A.R. et al. Implicit bias in diagnosing mosaicism amongst preimplantation genetic testing providers: results from a multicenter study of 36395 blastocysts. *Hum Reprod*. 2024;39(1):258–74. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead213>.
  75. Muñoz E., Bronet F., Lledo B. et al. Representing the Special Interest Group in Reproductive Genetics of the Spanish Society of Fertility. To transfer or not to transfer: the dilemma of mosaic embryos – a narrative review. *Reprod Biomed Online*. 2024;48(3):103664. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.103664>.
  76. Greco E., Minasi M.G., Fiorentino F. Healthy babies after intrauterine transfer of mosaic aneuploid blastocysts. *N Engl J Med*. 2015;373(21):2089–90. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1500421>.
  77. Greco E., Greco P.F., Listorti I. et al. The mosaic embryo: what it means for the doctor and the patient. *Minerva Obstet Gynecol*. 2024;76(1):89–101. <https://doi.org/10.23736/S2724-606X.23.05281-8>.
  78. Yakovlev P., Vyatkin S., Polyakov A. et al. Neonatal and clinical outcomes after transfer of a mosaic embryo identified by preimplantation genetic testing for aneuploidies. *Reprod Biomed Online*. 2022;45(1):88–100. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.01.010>.
  79. Basile N., Nogales Mdel C., Bronet F. et al. Increasing the probability of selecting chromosomally normal embryos by time-lapse morphokinetics analysis. *Fertil Steril*. 2014;101(3):699–704. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2013.12.005>.
  80. Li X., Yao Y., Zhao D. et al. Clinical outcomes of single blastocyst transfer with machine learning guided noninvasive chromosome screening grading system in infertile patients. *Reprod Biol Endocrinol*. 2024;22(1):61. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01231-9>.
  81. Ortiz J.A., Morales R., Lledó B. et al. Application of machine learning to predict aneuploidy and mosaicism in embryos from in vitro fertilization cycles. *AJOG Glob Rep*. 2022;2(4):100103. <https://doi.org/10.1016/j.xagr.2022.100103>.
  82. Ma B.X., Zhao G.N., Yi Z.F. et al. Enhancing clinical utility: deep learning-based embryo scoring model for non-invasive aneuploidy prediction. *Reprod Biol Endocrinol*. 2024;22(1):58. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01230-w>.
  83. Zou Y., Pan Y., Ge N. et al. Can the combination of time-lapse parameters and clinical features predict embryonic ploidy status or implantation? *Reprod Biomed Online*. 2022;45(4):643–51. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.06.007>.
  84. Yuan Z., Yuan M., Song X. et al. Development of an artificial intelligence based model for predicting the euploidy of blastocysts in PGT-A treatments. *Sci Rep*. 2023;13(1):2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29319-z>.
  85. Popovic M., Dhaenens L., Boel A. et al. Chromosomal mosaicism in human blastocysts: the ultimate diagnostic dilemma. *Hum Reprod Update*. 2020;26(3):313–34. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmz050>.
  86. Diakiw S.M., Hall J.M.M., VerMilyea M.D. et al. Development of an artificial intelligence model for predicting the likelihood of human embryo euploidy based on blastocyst images from multiple imaging systems during IVF. *Hum Reprod*. 2022;37(8):1746–59. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac131>.
  87. Weimar C.H., Post Uiterweer E.D., Teklenburg G. et al. In-vitro model systems for the study of human embryo-endometrium interactions. *Reprod Biomed Online*. 2013;27(5):461–76. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2013.08.002>.
  88. Laccioni V., Massimiani M., Carriero I. et al. When the embryo meets the endometrium: identifying the features required for successful embryo implantation. *Int J Mol Sci*. 2024;25(5):2834. <https://doi.org/10.3390/ijms25052834>.
  89. Ruiz-Alonso M., Valbuena D., Gomez C. et al. Endometrial Receptivity Analysis (ERA): data versus opinions. *Hum Reprod Open*. 2021;2021(2):hoab011. <https://doi.org/10.1093/hropen/hoab011>.
  90. Li B., Duan H., Wang S. et al. Establishment of an artificial neural network model using immune-infiltration related factors for endometrial receptivity assessment. *Vaccines*. 2022;10(2):139. <https://doi.org/10.3390/vaccines10020139>.
  91. Liang X., He J., He L. et al. An ultrasound-based deep learning radiomic model combined with clinical data to predict clinical pregnancy after frozen embryo transfer: a pilot cohort study. *Reprod Biomed Online*. 2023;47(2):103204. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.03.015>.
  92. Сысоева А.П., Макарова Н.П., Калинина Е.А. и др. Повышение эффективности вспомогательных репродуктивных технологий с помощью искусственного интеллекта и машинного обучения на эмбриологическом этапе. *Акушерство и гинекология*. 2020;(7):28–36. <https://doi.org/10.18565/aig.2020.7.28-36>.
  93. Wald M., Sparks A., Sandlow J. et al. Computational models for prediction of IVF/ICSI outcomes with surgically retrieved spermatozoa. *Reprod Biomed Online*. 2005;11(3):325–31. [https://doi.org/10.1016/s1472-6483\(10\)60840-1](https://doi.org/10.1016/s1472-6483(10)60840-1).
  94. Benchaib M., Labruene E., Giscard d'Estaing S. et al. Shallow artificial networks with morphokinetic time-lapse parameters coupled to ART data

- allow to predict live birth. *Reprod Med Biol.* 2022;21(1):e12486. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12486>.
95. Kato K., Ueno S., Berntsen J. et al. Comparing prediction of ongoing pregnancy and live birth outcomes in patients with advanced and younger maternal age patients using KIDScore™ day 5: a large-cohort retrospective study with single vitrified-warmed blastocyst transfer. *Reprod Biol Endocrinol.* 2021;19(1):98. <https://doi.org/10.1186/s12958-021-00767-4>.
96. VerMilyea M., Hall J.M.M., Diakiv S.M. et al. Development of an artificial intelligence-based assessment model for prediction of embryo viability using static images captured by optical light microscopy during IVF. *Hum Reprod.* 2020;35(4):770–84. <https://doi.org/10.1093/humrep/deaa013>.
97. Савельева Г.М., Конопляников А.Г., Гергерт Е.В. и др. Прегравидарная подготовка у больных с бесплодием и неэффективностью экстракорпорального оплодотворения в анамнезе. *Российский вестник акушера-гинеколога.* 2019;19(5):43–51. <https://doi.org/10.17116/rosakush20191905143>.
98. Доброхотова Ю.Э., Джохадзе Л.С. Комплексная прегравидарная подготовка – реальный путь улучшения перинатальных исходов. *Проблемы репродукции.* 2019;25(6):38–43. <https://doi.org/10.17116/gero20192506138>.
99. Доскина Е.В., Саркисова А.А. Прегравидарная подготовка и особенности пациентов с эндокринными патологиями. *Справочник поликлинического врача.* 2018;(3):60–4.
100. Щербакова Л.Н., Гаврикова П.А., Куприян А.А. и др. Значение медикаментозной прегравидарной подготовки в реализации репродуктивной функции при бесплодии, обусловленном наружным генитальным эндометриозом. *Клиническая фармакология и терапия.* 2018;27(4):18–22.
101. Kim H.K. The effects of artificial intelligence chatbots on women's health: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare (Basel).* 2024;12(5):534. <https://doi.org/10.3390/healthcare12050534>.
102. Segundo E., Carrere-Molina J., Aragón M., Mallol-Parera R. Advancing geospatial preconception health research in primary care through medical informatics and artificial intelligence. *Health Place.* 2024;89:103337. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2024.103337>.
103. Kaya Y., Bütün Z., Çelik Ö. et al. The early prediction of gestational diabetes mellitus by machine learning models. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2024;24(1):574. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06783-7>.
104. Fraire-Zamora J.J., Ali Z.E., Makieva S. et al. #ESHREjc report: on the road to preconception and personalized counselling with machine learning models. *Hum Reprod.* 2022;37(8):1955–7. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac111>.
105. Arora U., Sengupta D., Kumar M. et al. Perceiving placental ultrasound image texture evolution during pregnancy with normal and adverse outcome through machine learning prism. *Placenta.* 2023;140:109–16. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2023.07.014>.
106. Демкина Е.А., Иванова Н.А. Правовые и этические аспекты использования искусственного интеллекта в репродуктивной медицине. *Вестник Саратовской государственной юридической академии.* 2024;3(158):122–7. <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2024-3-122-127>.
107. Si K., Huang B., Jin L. Application of artificial intelligence in gametes and embryos selection. *Hum Fertil.* 2023;26(4):757–77. <https://doi.org/10.1080/14647273.2023.2256980>.
108. Hogan N.R., Davidge E.Q., Corabian G. On the ethics and practicalities of artificial intelligence, risk assessment, and race. *J Am Acad Psychiatry Law.* 2021;49(3):326–34. <https://doi.org/10.29158/JAAPL.200116-20>.
109. Serdarogullari M., Liperis G., Sharma K. et al. Unpacking the artificial intelligence toolbox for embryo ploidy prediction. *Hum Reprod.* 2023;38(12):2538–42. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead223>.
110. Allahbadia G.N., Allahbadia S.G., Gupta A. In contemporary reproductive medicine human beings are not yet dispensable. *J Obstet Gynaecol India.* 2023;73(4):295–300. <https://doi.org/10.1007/s13224-023-01747-x>.
111. Senders J.T., Zaki M.M., Karhade A.V. et al. An introduction and overview of machine learning in neurosurgical care. *Acta Neurochir.* 2018;160(1):29–38. <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3385-8>.
112. Horer S., Feichtinger M., Rosner M., Hengstschlager M. Pluripotent stem cell-derived in vitro gametogenesis and synthetic embryos – it is never too early for an ethical debate. *Stem Cells Transl Med.* 2023;12(9):569–75. <https://doi.org/10.1093/stctm/szad042>.
113. Hengstschlager M. Artificial intelligence as a door opener for a new era of human reproduction. *Hum Reprod Open.* 2023;2023(4):hoad043. <https://doi.org/10.1093/hropen/hoad043>.
114. Harper J., Magli M.C., Lundin K. et al. When and how should new technology be introduced into the IVF laboratory? *Hum Reprod.* 2012;27(2):303–13. <https://doi.org/10.1093/humrep/der414>.
115. Medenica S., Zivanovic D., Batkoska L. et al. The future is coming: artificial intelligence in the treatment of infertility could improve assisted reproduction outcomes – the value of regulatory frameworks. *Diagnostics.* 2022;12(12):2979. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12122979>.
116. Драпкина Ю.С., Калинина Е.А., Макарова Н.П. и др. Искусственный интеллект в репродуктивной медицине: этические и клинические аспекты. *Акушерство и гинекология.* 2022;(11):37–44. <https://doi.org/10.18565/aig.2022.11.37-44>.

## References:

1. Shah P.K., Gher J.M. Human rights approaches to reducing infertility. *Int J Gynaecol Obstet.* 2023;162(1):368–74. <https://doi.org/10.1002/ijgo.14878>.
2. Korsak V.S., Smirnova A.A., Shurygina O.V.. ART Register of RAHR, 2019. [Registr VRT Rossijskoj associacii reprodukcii cheloveka. Otchet za 2019 god]. *Problemy reprodukcii.* 2021;27(6):14–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro20212706114>.
3. Villani M.T., Morini D., Spaggiari G. et al. Are sperm parameters able to predict the success of assisted reproductive technology? A retrospective analysis of over 22,000 assisted reproductive technology cycles. *Andrology.* 2022;10(2):310–21. <https://doi.org/10.1111/andr.13123>.
4. Louis C.M., Erwin A., Handayani N. et al. Review of computer vision application in in vitro fertilization: the application of deep learning-based computer vision technology in the world of IVF. *J Assist Reprod Genet.* 2021;38(7):1627–39. <https://doi.org/10.1007/s10815-021-02123-2>.
5. Khosravi P., Kazemi E., Zhan Q. et al. Deep learning enables robust assessment and selection of human blastocysts after in vitro fertilization. *NPJ Digit Med.* 2019;2:21. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0096-y>.
6. Lamotkin A.I., Korabelnikov D.I., Lamotkin I.A. et al. Artificial intelligence in healthcare and medicine: the history of key events, its significance for doctors, the level of development in different countries, its significance for the level of development in different countries. [Iskusstvennyj intellekt v zdravooohranenii i medicine: istoriya klyucheovyh sobytij, ego znachimost' dlya vrachej, uroven' razvitiya v raznyh stranah]. *FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology.* 2024;17(2):243–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoekonomika.2024.254>.
7. Meldo A.A., Utkin L.V., Trofimova T.N. Artificial intelligence in medicine: current state and main directions of development of the intellectual diagnostics. [Iskusstvennyj intellekt v medicine: sovremennoe sostoyanie i osnovnye napravleniya razvitiya intellektual'noj diagnostiki]. *Luchevaya diagnostika i terapiya.* 2020;11(1):9–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-9-17>.
8. Adamyan L.V. The use of artificial intelligence in reproductive medicine. [Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v reproduktivnoj medicine]. *Problemy reprodukcii.* 2021;27(3):6–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro2021270316>.
9. Hanassab S., Abbara A., Yeung A.C. et al. The prospect of artificial intelligence to personalize assisted reproductive technology. *NPJ Digit Med.* 2024;7(1):55. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01006-x>.
10. Jiang V.S., Pavlovic Z.J., Hariton E. The role of artificial intelligence and machine learning in assisted reproductive technologies. *Obstet Gynecol Clin North Am.* 2023;50(4):747–62. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2023.09.003>.
11. Bormann C.L., Kanakasabapathy M.K., Thirumalaraju P. et al. Performance of a deep learning based neural network in the selection of human blastocysts for implantation. *Elife.* 2020;9:e55301. <https://doi.org/10.7554/eLife.55301>.
12. Curchoe C.L., Bormann C., Hammond E. et al. Assuring quality in assisted reproduction laboratories: assessing the performance of ART Compass – a digital art staff management platform. *J Assist Reprod Genet.* 2023;40(2):265–78. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02713-2>.
13. Jiang V.S., Bormann C.L. Artificial intelligence in the in vitro fertilization laboratory: a review of advancements over the last decade. *Fertil Steril.* 2023;120(1):17–23. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.149>.
14. Wang R., Pan W., Jin L. et al. Artificial intelligence in reproductive medicine. *Reproduction.* 2019;158(4):R139–R154. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0523>.
15. Ivshin A.A., Bagaudin T.Z., Gusev A.V. Artificial intelligence on guard of reproductive health. [Iskusstvennyj intellekt na strazhe reproduktivnogo

- zdorov'ya]. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2021;(5):17–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.18565/aig.2021.5.17-24>.
16. Coelho Neto M.A., Ludwin A., Borrell A. et al. Counting ovarian antral follicles by ultrasound: a practical guide. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2018;51(1):10–20. <https://doi.org/10.1002/uog.18945>.
  17. Li H., Fang J., Liu S. et al. CR-Unet: A Composite Network for Ovary and Follicle Segmentation in Ultrasound Images. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2020;24(4):974–83. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2946092>.
  18. Mathur P., Kakwani K., Kudavelly S., Ramaraju G.A. Deep learning based quantification of ovary and follicles using 3D transvaginal ultrasound in assisted reproduction. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2020;2020:2109–12. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176703>.
  19. Yang X., Li H., Wang Y. et al. Contrastive rendering with semi-supervised learning for ovary and follicle segmentation from 3D ultrasound. *Med Image Anal*. 2021;73:102134. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102134>.
  20. Liang X., Liang J., Zeng F. et al. Evaluation of oocyte maturity using artificial intelligence quantification of follicle volume biomarker by three-dimensional ultrasound. *Reprod Biomed Online*. 2022;45(6):1197–206. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.07.012>.
  21. Noor N., Vignarajan C.P., Malhotra N., Vanamail P. Three-dimensional automated volume calculation (sonography-based automated volume count) versus two-dimensional manual ultrasonography for follicular tracking and oocyte retrieval in women undergoing in vitro fertilization-embryo transfer: a randomized controlled trial. *J Hum Reprod Sci*. 2020;13(4):296–302. [https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS\\_91\\_20](https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS_91_20).
  22. Andreeva E.A., Khonina N.A., Pasman N.M., Chernykh E.R. Cytokins in the regulation of ovarian folliculogenesis (a review). [Cytokiny v regulyatsii ovarial'nogo follikulogeneza (obzor literatury)]. *Problemy reprodukcii*. 2017;23(1):8–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro20172318-14>.
  23. Manna C., Nanni L., Lumini A., Pappalardo S. Artificial intelligence techniques for embryo and oocyte classification. *Reprod Biomed Online*. 2013;26(1):42–9. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2012.09.015>.
  24. Targosz A., Przystalka P., Wiaderekiewicz R., Mrugacz G. Semantic segmentation of human oocyte images using deep neural networks. *Biomed Eng Online*. 2021;20(1):40. <https://doi.org/10.1186/s12938-021-00864-w>.
  25. Fjeldstad J., Qi W., Mercuri N. et al. An artificial intelligence tool predicts blastocyst development from static images of fresh mature oocytes. *Reprod Biomed Online*. 2024;48(6):103842. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2024.103842>.
  26. Boylan C.F., Sambo K.M., Neal-Perry G., Brayboy L.M. Ex ovo omnia-why don't we know more about egg quality via imaging? *Biol Reprod*. 2024;110(6):1201–12. <https://doi.org/10.1093/biolre/iaoe080>.
  27. Alper M.M., Fauser B.C. Ovarian stimulation protocols for IVF: is more better than less? *Reprod Biomed Online*. 2017;34(4):345–53. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2017.01.010>.
  28. Glujovsky D., Pesce R., Miguens M. et al. How effective are the non-conventional ovarian stimulation protocols in ART? A systematic review and meta-analysis. *J Assist Reprod Genet*. 2020;37(12):2913–28. <https://doi.org/10.1007/s10815-020-01966-5>.
  29. Mol B.W., Bossuyt P.M., Sunkara S.K. et al. Personalized ovarian stimulation for assisted reproductive technology: study design considerations to move from hype to added value for patients. *Fertil Steril*. 2018;109(6):968–79. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.04.037>.
  30. Doroftei B., Ilie O.D., Anton N. et al. A narrative review discussing the efficiency of personalized dosing algorithm of follitropin delta for ovarian stimulation and the reproductive and clinical outcomes. *Diagnostics*. 2023;13(2):177. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020177>.
  31. Haahr T., Esteves S.C., Humaidan P. Individualized controlled ovarian stimulation in expected poor-responders: an update. *Reprod Biol Endocrinol*. 2018;16(1):20. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0342-1>.
  32. Hariton E., Pavlovic Z., Fanton M., Jiang V.S. Applications of artificial intelligence in ovarian stimulation: a tool for improving efficiency and outcomes. *Fertil Steril*. 2023;120(1):8–16. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.148>.
  33. AlSaad R., Abd-Alrazaq A., Choucair F. et al. Harnessing artificial intelligence to predict ovarian stimulation outcomes in in vitro fertilization: scoping review. *J Med Internet Res*. 2024;26:e53396. <https://doi.org/10.2196/53396>.
  34. Curchoe C.L., Bormann C.L. Artificial intelligence and machine learning for human reproduction and embryology presented at ASRM and ESHRE 2018. *J Assist Reprod Genet*. 2019;36(4):591–600. <https://doi.org/10.1007/s10815-019-01408-x>.
  35. Siristatidis C., Stavros S., Drakeley A. et al. Omics and artificial intelligence to improve in vitro fertilization (IVF) success: a proposed protocol. *Diagnostics*. 2021;11(5):743. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050743>.
  36. Mann M., Kumar C., Zeng W.F., Strauss M.T. Artificial intelligence for proteomics and biomarker discovery. *Cell Syst*. 2021;12(8):759–70. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2021.06.006>.
  37. Zieliński K., Puksza S., Mickiewicz M. et al. Personalized prediction of the secondary oocytes number after ovarian stimulation: a machine learning model based on clinical and genetic data. *PLoS Comput Biol*. 2023;19(4):e1011020. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011020>.
  38. Letterie G., MacDonald A., Shi Z. An artificial intelligence platform to optimize workflow during ovarian stimulation and IVF: process improvement and outcome-based predictions. *Reprod Biomed Online*. 2022;44(2):254–60. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2021.10.006>.
  39. Cesario A., D'Orta M., Bove F. et al. Personalized clinical phenotyping through systems medicine and artificial intelligence. *J Pers Med*. 2021;11(4):265. <https://doi.org/10.3390/jpm11040265>.
  40. Ferrand T., Boulant J., He C. et al. Predicting the number of oocytes retrieved from controlled ovarian hyperstimulation with machine learning. *Hum Reprod*. 2023;38(10):1918–26. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead163>.
  41. Simopoulou M., Sfakianoudis K., Maziotis E. et al. Are computational applications the "crystal ball" in the IVF laboratory? The evolution from mathematics to artificial intelligence. *J Assist Reprod Genet*. 2018;35(9):1545–57. <https://doi.org/10.1007/s10815-018-1266-6>.
  42. Basile N., Elkhatib I., Meseguer M. A strength, weaknesses, opportunities and threats analysis on time lapse. *Curr Opin Obstet Gynecol*. 2019;31(3):148–55. <https://doi.org/10.1097/GCO.0000000000000534>.
  43. Zaninovic N., Rosenwaks Z. Artificial intelligence in human in vitro fertilization and embryology. *Fertil Steril*. 2020;114(5):914–20. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2020.09.157>.
  44. Capalbo A., Rienzi L., Cimadomo D. et al. Correlation between standard blastocyst morphology, euploidy and implantation: an observational study in two centers involving 956 screened blastocysts. *Hum Reprod*. 2014;29(6):1173–81. <https://doi.org/10.1093/humrep/deu033>.
  45. Gardner D.K., Meseguer M., Rubio C., Treff N.R. Diagnosis of human preimplantation embryo viability. *Hum Reprod Update*. 2015;21(6):727–47. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmu064>.
  46. Rubio I., Galán A., Larreategui Z. et al. Clinical validation of embryo culture and selection by morphokinetic analysis: a randomized, controlled trial of the EmbryoScope. *Fertil Steril*. 2014;102(5):1287–1294.e5. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2014.07.738>.
  47. Meng Q., Xu Y., Zheng A. et al. Noninvasive embryo evaluation and selection by time-lapse monitoring vs. conventional morphologic assessment in women undergoing in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection: a single-center randomized controlled study. *Fertil Steril*. 2022;117(6):1203–12. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2022.02.015>.
  48. Fruchter-Goldmeier Y., Kantor B., Ben-Meir A. et al. An artificial intelligence algorithm for automated blastocyst morphometric parameters demonstrates a positive association with implantation potential. *Sci Rep*. 2023;13(1):14617. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40923-x>.
  49. Siristatidis C., Pouliakis A., Chrelia C., Kassaros D. Artificial intelligence in IVF: a need. *Syst Biol Reprod Med*. 2011;57(4):179–85. <https://doi.org/10.3109/19396368.2011.558607>.
  50. Bori L., Paya E., Alegre L. et al. Novel and conventional embryo parameters as input data for artificial neural networks: an artificial intelligence model applied for prediction of the implantation potential. *Fertil Steril*. 2020;114(6):1232–41. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2020.08.023>.
  51. Fordham D.E., Rosentraub D., Polsky A.L. et al. Embryologist agreement when assessing blastocyst implantation probability: is data-driven prediction the solution to embryo assessment subjectivity? *Hum Reprod*. 2022;37(10):2275–90. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac171>.
  52. Milewski R., Kuczyńska A., Stankiewicz B., Kuczyński W. How much information about embryo implantation potential is included in morphokinetic data? A prediction model based on artificial neural networks and principal component analysis. *Adv Med Sci*. 2017;62(1):202–6. <https://doi.org/10.1016/j.advms.2017.02.001>.
  53. Liu X., Lou H., Zhang J. et al. Clinical outcome analysis of frozen-thawed embryo transfer on Day 7. *Front Endocrinol*. 2022;13:1082597. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1082597>.
  54. Canosa S., Licheri N., Bergandi L. et al. A novel machine-learning framework based on early embryo morphokinetics identifies a feature signature associated with blastocyst development. *J Ovarian Res*. 2024;17(1):63. <https://doi.org/10.1186/s13048-024-01376-6>.

55. Luong T.M., Le N.Q.K. Artificial intelligence in time-lapse system: advances, applications, and future perspectives in reproductive medicine. *J Assist Reprod Genet.* 2024;41(2):239–52. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02973-y>.
56. Petersen B.M., Boel M., Montag M., Gardner D.K. Development of a generally applicable morphokinetic algorithm capable of predicting the implantation potential of embryos transferred on Day 3. *Hum Reprod.* 2016;31(10):2231–44. <https://doi.org/10.1093/humrep/dew188>.
57. Reignier A., Girard J.M., Lammers J. et al. Performance of Day 5 KIDScore™ morphokinetic prediction models of implantation and live birth after single blastocyst transfer. *J Assist Reprod Genet.* 2019;36(11):2279–85. <https://doi.org/10.1007/s10815-019-01567-x>.
58. Tartia A.P., Wu C.Q., Gale J. et al. Time-lapse KIDScoreD5 for prediction of embryo pregnancy potential in fresh and vitrified-warmed single-embryo transfers. *Reprod Biomed Online.* 2022;45(1):46–53. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.03.019>.
59. Brusilovskiy I.A., Livshyts I.V. Morphological assessment of human embryos. «Colleagues, let's make an arrangement!». [Morfologicheskaya ocenka embrionov cheloveka. «Kollegi, davajte dogovorimsya!»]. *Problemy reprodukcii.* 2018;24(2):63–8. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro201824263-68>.
60. Lee C.I., Huang C.C., Lee T.H. et al. Associations between the artificial intelligence scoring system and live birth outcomes in preimplantation genetic testing for aneuploidy cycles. *Reprod Biol Endocrinol.* 2024;22(1):12. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01185-y>.
61. Ueno S., Berntsen J., Ito M. et al. Pregnancy prediction performance of an annotation-free embryo scoring system on the basis of deep learning after single vitrified-warmed blastocyst transfer: a single-center large cohort retrospective study. *Fertil Steril.* 2021;116(4):1172–80. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2021.06.001>.
62. Ezoe K., Shimazaki K., Miki T. et al. Association between a deep learning-based scoring system with morphokinetics and morphological alterations in human embryos. *Reprod Biomed Online.* 2022;45(6):1124–32. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.08.098>.
63. Johansen M.N., Parner E.T., Kragh M.F. et al. Comparing performance between clinics of an embryo evaluation algorithm based on time-lapse images and machine learning. *J Assist Reprod Genet.* 2023;40(9):2129–37. <https://doi.org/10.1007/s10815-023-02871-3>.
64. Zhigalina D.I., Skryabin N.A., Kanbekova O.R. et al. Structure of chromosomal abnormalities in the cycles of IVF-PGS. [Struktura hromosomnyh anomalij v ciklah EKO-PGS]. *Medicinskaya genetika.* 2019;18(3):47–54 (In Russ.). <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2019.03.47-54>.
65. Alfarawati S., Fragouli E., Colls P. et al. The relationship between blastocyst morphology, chromosomal abnormality, and embryo gender. *Fertil Steril.* 2011;95(2):520–4. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2010.04.003>.
66. Fragouli E. Next generation sequencing for preimplantation genetic testing for aneuploidy: friend or foe? *Fertil Steril.* 2018;109(4):606–7. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.01.028>.
67. Sato T., Sugiura-Ogasawara M., Ozawa F. et al. Preimplantation genetic testing for aneuploidy: a comparison of live birth rates in patients with recurrent pregnancy loss due to embryonic aneuploidy or recurrent implantation failure. *Hum Reprod.* 2019;34(12):2340–8. <https://doi.org/10.1093/humrep/dez229>.
68. Cozzolino M., Diaz-Gimeno P., Pellicer A., Garrido N. Evaluation of the endometrial receptivity assay and the preimplantation genetic test for aneuploidy in overcoming recurrent implantation failure. *J Assist Reprod Genet.* 2020;37(12):2989–97. <https://doi.org/10.1007/s10815-020-01948-7>.
69. Practice Committees of the American Society for Reproductive Medicine and the Society for Assisted Reproductive Technology. Electronic address: ASRM@asrm.org; Practice Committees of the American Society for Reproductive Medicine and the Society for Assisted Reproductive Technology. The use of preimplantation genetic testing for aneuploidy (PGT-A): a committee opinion. *Fertil Steril.* 2018;109(3):429–36. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.01.002>.
70. Fitz V.W., Kanakasabapathy M.K., Thirumalaraju P. et al. Should there be an "AI" in TEAM? Embryologists selection of high implantation potential embryos improves with the aid of an artificial intelligence algorithm. *J Assist Reprod Genet.* 2021;38(10):2663–70. <https://doi.org/10.1007/s10815-021-02318-7>.
71. Buldo-Licciardi J., Large M.J., McCulloh D.H. et al. Utilization of standardized preimplantation genetic testing for aneuploidy (PGT-A) via artificial intelligence (AI) technology is correlated with improved pregnancy outcomes in single thawed euploid embryo transfer (STEET) cycles. *J Assist Reprod Genet.* 2023;40(2):289–99. <https://doi.org/10.1007/s10815-022-02695-7>.
72. Chavez-Badiola A., Flores-Saiffe-Farías A., Mendizabal-Ruiz G. et al. Embryo Ranking Intelligent Classification Algorithm (ERICA): artificial intelligence clinical assistant predicting embryo ploidy and implantation. *Reprod Biomed Online.* 2020;41(4):585–93. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2020.07.003>.
73. Diakiw S.M., Hall J.M.M., VerMilyea M. et al. An artificial intelligence model correlated with morphological and genetic features of blastocyst quality improves ranking of viable embryos. *Reprod Biomed Online.* 2022;45(6):1105–17. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.07.018>.
74. Popovic M., Borot L., Lorenzon A.R. et al. Implicit bias in diagnosing mosaicism amongst preimplantation genetic testing providers: results from a multicenter study of 36395 blastocysts. *Hum Reprod.* 2024;39(1):258–74. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead213>.
75. Muñoz E., Bronet F., Lledo B. et al. Representing the Special Interest Group in Reproductive Genetics of the Spanish Society of Fertility. To transfer or not to transfer: the dilemma of mosaic embryos – a narrative review. *Reprod Biomed Online.* 2024;48(3):103664. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.103664>.
76. Greco E., Minasi M.G., Fiorentino F. Healthy babies after intrauterine transfer of mosaic aneuploid blastocysts. *N Engl J Med.* 2015;373(21):2089–90. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1500421>.
77. Greco E., Greco P.F., Listorti I. et al. The mosaic embryo: what it means for the doctor and the patient. *Minerva Obstet Gynecol.* 2024;76(1):89–101. <https://doi.org/10.23736/S2724-606X.23.05281-8>.
78. Yakovlev P., Vyatkina S., Polyakov A. et al. Neonatal and clinical outcomes after transfer of a mosaic embryo identified by preimplantation genetic testing for aneuploidies. *Reprod Biomed Online.* 2022;45(1):88–100. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.01.010>.
79. Basile N., Nogales Mdel C., Bronet F. et al. Increasing the probability of selecting chromosomally normal embryos by time-lapse morphokinetics analysis. *Fertil Steril.* 2014;101(3):699–704. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2013.12.005>.
80. Li X., Yao Y., Zhao D. et al. Clinical outcomes of single blastocyst transfer with machine learning guided noninvasive chromosome screening grading system in infertile patients. *Reprod Biol Endocrinol.* 2024;22(1):61. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01231-9>.
81. Ortiz J.A., Morales R., Lledó B. et al. Application of machine learning to predict aneuploidy and mosaicism in embryos from in vitro fertilization cycles. *AJOG Glob Rep.* 2022;2(4):100103. <https://doi.org/10.1016/j.xagr.2022.100103>.
82. Ma B.X., Zhao G.N., Yi Z.F. et al. Enhancing clinical utility: deep learning-based embryo scoring model for non-invasive aneuploidy prediction. *Reprod Biol Endocrinol.* 2024;22(1):58. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01230-w>.
83. Zou Y., Pan Y., Ge N. et al. Can the combination of time-lapse parameters and clinical features predict embryonic ploidy status or implantation? *Reprod Biomed Online.* 2022;45(4):643–51. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.06.007>.
84. Yuan Z., Yuan M., Song X. et al. Development of an artificial intelligence based model for predicting the euploidy of blastocysts in PGT-A treatments. *Sci Rep.* 2023;13(1):2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29319-z>.
85. Popovic M., Dhaenens L., Boel A. et al. Chromosomal mosaicism in human blastocysts: the ultimate diagnostic dilemma. *Hum Reprod Update.* 2020;26(3):313–34. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmz050>.
86. Diakiw S.M., Hall J.M.M., VerMilyea M.D. et al. Development of an artificial intelligence model for predicting the likelihood of human embryo euploidy based on blastocyst images from multiple imaging systems during IVF. *Hum Reprod.* 2022;37(8):1746–59. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac131>.
87. Weimar C.H., Post Uiterweer E.D., Teklenburg G. et al. In-vitro model systems for the study of human embryo-endometrium interactions. *Reprod Biomed Online.* 2013;27(5):461–76. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2013.08.002>.
88. Lacconi V., Massimiani M., Carriero I. et al. When the embryo meets the endometrium: identifying the features required for successful embryo implantation. *Int J Mol Sci.* 2024;25(5):2834. <https://doi.org/10.3390/ijms25052834>.
89. Ruiz-Alonso M., Valbuena D., Gomez C. et al. Endometrial Receptivity Analysis (ERA): data versus opinions. *Hum Reprod Open.* 2021;2021(2):hoab011. <https://doi.org/10.1093/hropen/hoab011>.
90. Li B., Duan H., Wang S. et al. Establishment of an artificial neural network

- model using immune-infiltration related factors for endometrial receptivity assessment. *Vaccines*. 2022;10(2):139. <https://doi.org/10.3390/vaccines10020139>.
91. Liang X., He J., He L. et al. An ultrasound-based deep learning radiomic model combined with clinical data to predict clinical pregnancy after frozen embryo transfer: a pilot cohort study. *Reprod Biomed Online*. 2023;47(2):103204. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.03.015>.
  92. Sysoeva A.P., Makarova N.P., Kalinina E.A. et al. Enhancing the efficiency of assisted reproductive technologies using artificial intelligence and machine learning at the embryological stage. [Povyshenie effektivnosti vspomogatel'nykh reproduktivnykh tekhnologij s pomoshch'yu iskusstvennogo intellekta i mashinnogo obucheniya na embriologicheskom etape]. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2020;(7):28–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.18565/aig.2020.7.28-36>.
  93. Wald M., Sparks A., Sandlow J. et al. Computational models for prediction of IVF/ICSI outcomes with surgically retrieved spermatozoa. *Reprod Biomed Online*. 2005;11(3):325–31. [https://doi.org/10.1016/s1472-6483\(10\)60840-1](https://doi.org/10.1016/s1472-6483(10)60840-1).
  94. Benchaib M., Labrune E., Giscard d'Estaing S. et al. Shallow artificial networks with morphokinetic time-lapse parameters coupled to ART data allow to predict live birth. *Reprod Med Biol*. 2022;21(1):e12486. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12486>.
  95. Kato K., Ueno S., Berntsen J. et al. Comparing prediction of ongoing pregnancy and live birth outcomes in patients with advanced and younger maternal age patients using KIDScore™ day 5: a large-cohort retrospective study with single vitrified-warmed blastocyst transfer. *Reprod Biol Endocrinol*. 2021;19(1):98. <https://doi.org/10.1186/s12958-021-00767-4>.
  96. VerMilyea M., Hall J.M.M., Diakiw S.M. et al. Development of an artificial intelligence-based assessment model for prediction of embryo viability using static images captured by optical light microscopy during IVF. *Hum Reprod*. 2020;35(4):770–84. <https://doi.org/10.1093/humrep/deaa013>.
  97. Savel'eva G.M., Konoplyannikov A.G., Gergert E.V. et al. Pregravid preparation for patients with a history of infertility and inefficacy of in vitro fertilization. [Pregravidarnaya podgotovka u bol'nykh s besplodiem i neeffektivnost'yu ekstrakorporal'nogo oplodotvoreniya v anamneze]. *Rossiiskij vestnik akushera-ginekologa*. 2019;19(5):43–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/rosakush20191905143>.
  98. Dobrokhotova Yu.E., Dzhokhadze L.S. Preconception care as a real way to improve the perinatal outcomes. [Kompleksnaya pregravidarnaya podgotovka – real'nyj put' uluchsheniya perinatal'nykh iskhodov]. *Problemy reprodukcii*. 2019;25(6):38–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro20192506138>.
  99. Doskina E.V., Sarkisova A.A. Pregravid preparation and features of patients with endocrine pathologies. [Pregravidarnaya podgotovka i osobennosti pacientok s endokrinnyimi patologiyami]. *Spravochnik poliklinicheskogo vracha*. 2018;(3):60–4. (In Russ.).
  100. Shcherbakova L.N., Gavrikova P.A., Kupriyan A.A. et al. Reproductive potential regaining in patients with endometriosis-associated infertility. [Znachenie medikamentoznoj pregravidarnoj podgotovki v realizacii reproduktivnoj funkcii pri besplodii, obuslovlennom naruzhnykh genital'nykh endometriozom]. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya*. 2018;27(4):18–22. (In Russ.).
  101. Kim H.K. The effects of artificial intelligence chatbots on women's health: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare (Basel)*. 2024;12(5):534. <https://doi.org/10.3390/healthcare12050534>.
  102. Segundo E., Carrere-Molina J., Aragón M., Mallo-Parera R. Advancing geospatial preconception health research in primary care through medical informatics and artificial intelligence. *Health Place*. 2024;89:103337. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2024.103337>.
  103. Kaya Y., Bütün Z., Çelik Ö. et al. The early prediction of gestational diabetes mellitus by machine learning models. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2024;24(1):574. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06783-7>.
  104. Fraire-Zamora J.J., Ali Z.E., Makieva S. et al. #ESHREjc report: on the road to preconception and personalized counselling with machine learning models. *Hum Reprod*. 2022;37(8):1955–7. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac111>.
  105. Arora U., Sengupta D., Kumar M. et al. Perceiving placental ultrasound image texture evolution during pregnancy with normal and adverse outcome through machine learning prism. *Placenta*. 2023;140:109–16. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2023.07.014>.
  106. Demkina E.A., Ivanova N.A. Legal and ethical aspects of the use of artificial intelligence in reproductive medicine. [Pravovye i eticheskie aspekty ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v reproduktivnoj medicinie]. *Vestnik Saratovskoj gosudarstvennoj yuridicheskoy akademii*. 2024;3(158):122–7. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2024-3-122-127>.
  107. Si K., Huang B., Jin L. Application of artificial intelligence in gametes and embryos selection. *Hum Fertil*. 2023;26(4):757–77. <https://doi.org/10.1080/14647273.2023.2256980>.
  108. Hogan N.R., Davidge E.Q., Corabian G. On the ethics and practicalities of artificial intelligence, risk assessment, and race. *J Am Acad Psychiatry Law*. 2021;49(3):326–34. <https://doi.org/10.29158/JAAPL.200116-20>.
  109. Serdarogullari M., Liperis G., Sharma K. et al. Unpacking the artificial intelligence toolbox for embryo ploidy prediction. *Hum Reprod*. 2023;38(12):2538–42. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead223>.
  110. Allahbadia G.N., Allahbadia S.G., Gupta A. In contemporary reproductive medicine human beings are not yet dispensable. *J Obstet Gynaecol India*. 2023;73(4):295–300. <https://doi.org/10.1007/s13224-023-01747-x>.
  111. Senders J.T., Zaki M.M., Karhade A.V. et al. An introduction and overview of machine learning in neurosurgical care. *Acta Neurochir*. 2018;160(1):29–38. <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3385-8>.
  112. Horer S., Feichtinger M., Rosner M., Hengstschläger M. Pluripotent stem cell-derived in vitro gametogenesis and synthetic embryos – it is never too early for an ethical debate. *Stem Cells Transl Med*. 2023;12(9):569–75. <https://doi.org/10.1093/stcltm/szad042>.
  113. Hengstschläger M. Artificial intelligence as a door opener for a new era of human reproduction. *Hum Reprod Open*. 2023;2023(4):hoad043. <https://doi.org/10.1093/hropen/hoad043>.
  114. Harper J., Magli M.C., Lundin K. et al. When and how should new technology be introduced into the IVF laboratory? *Hum Reprod*. 2012;27(2):303–13. <https://doi.org/10.1093/humrep/der414>.
  115. Medenica S., Zivanovic D., Batkoska L. et al. The future is coming: artificial intelligence in the treatment of infertility could improve assisted reproduction outcomes – the value of regulatory frameworks. *Diagnostics*. 2022;12(12):2979. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12122979>.
  116. Drapkina Yu.S., Kalinina E.A., Makarova N.P. et al. Artificial intelligence in reproductive medicine: ethical and clinical aspects. [Iskusstvennyj intellekt v reproduktivnoj medicinie: eticheskie i klinicheskie aspekty]. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2022;(11):37–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.18565/aig.2022.11.37-44>.

#### Сведения об авторах / About the authors:

Лебина Валерия Алексеевна / Valeriya A. Leбина. E-mail: lera.lebina.00@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7725-4095>.

Шихалахова Оксана Хазреталиевна / Oksana Kh. Shikhalakhova. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6170-8824>.

Кохан Анна Александровна / Anna A. Kokhan. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5764-7888>.

Рашидов Ислам Юнусович / Islam Yu. Rashidov. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1525-4110>.

Тажев Кантемир Арсенович / Kantemir A. Tazhev. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2068-8903>.

Филиппова Александра Владиславовна / Aleksandra V. Filippova. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2274-8270>.

Мышинская Елизавета Павловна / Elizaveta P. Myshinskaya. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6781-1866>.

Сымолкина Юлия Владимировна / Yulia V. Symolkina. <https://orcid.org/0009-0007-5949-7380>.

Ибуев Юнус Имранович / Yunus I. Ibuyev. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8992-595X>.

Матаева Айна Антиевна / Aina A. Mataeva. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3888-6317>.

Сиротенко Анастасия Николаевна / Anastasiya N. Sirotenko. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7134-2418>.

Габараева Тамара Тамазовна / Tamara T. Gabaraeva. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7276-6852>.

Аскерова Амина Имрановна / Amina I. Askerova. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0951-2155>.