

УДК 614.2; 618

DOI 10.24412/2312-2935-2025-2-705-714

К ВОПРОСУ ОСНАЩЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦЕНТРОВ ЭКО: РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Д.Ю. Каримова, Т.Х. Бехаева

*Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФГБУ
Государственный научный центр Российской Федерации «Федеральный медицинский
биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства
России. Г. Москва*

Введение. Сокращение населения в России представляет одну из наиболее острых социальных проблем, стоящих перед российским государством. При этом по-прежнему остается высокой статистика бесплодных браков до 15-20% от числа всех брачующихся. В связи с этим развитие репродуктивных технологий остается важным направлением медицины, способствующим решению демографических проблем.

Целью исследования стало изучение современных репродуктивных технологий, требующих соответствующей оснащенности центров ЭКО и тенденций в их развитии.

Материал и методы. Использованы различные методы поиска литературы по базам данных Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, РИНЦ, eLibrary.ru. По ключевым словам экстракорпоральное оплодотворение, оснащение клиник ЭКО, технологии ЭКО было отобрано 116 публикаций, в числе которых 82 иностранных источника. В данной работе представлен подробный анализ двадцати из них.

Результаты. Центры экстракорпорального оплодотворения становятся все более сложными с точки зрения оборудования, технологий и процессов. Происходит интеграция и упрощение этих систем, оптимизация лабораторных процессов с целью уменьшения количества шагов и сокращения обработки гамет и эмбрионов. Повсеместно ожидается внедрение систем искусственного интеллекта для оценки и отбора гамет и эмбрионов, сбор данных в режиме реального времени с интеграцией голосового ввода в электронные медицинские записи, разработка роботизированных решений для выполнения таких процедур, как инсеминация ооцитов (ИКСИ), подготовка чашек для культивирования, отбор проб сред и витрификация. В настоящее время существуют различные составы сред для выращивания эмбрионов, известны десятки производителей. Традиционные индикаторы эффективности лабораторий ЭКО, персонала и оборудования постоянно совершенствуются.

Выводы. В связи с развитием автоматизации и цифровизации роль эмбриологов и лаборантов ЭКО изменится. Повышение воспроизводимости процедур приведет к снижению необходимости в рутинной работе, что позволит сосредоточиться на сложных и аналитических задачах. Наличие современного оборудования и квалифицированного персонала является ключевым фактором успешности программ ЭКО.

Ключевые слова: экстракорпоральное оплодотворение, оснащение клиник ЭКО

ON THE ISSUE OF EQUIPPING MODERN IVF CENTERS: REALITIES AND PROSPECTS

D.Y. Karimova, T.H. Behayeva

Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution State Scientific Center of the Russian Federation "Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan" of the Federal Medical and Biological Agency of Russia. Moscow

Introduction. Population decline in Russia is one of the most acute social problems facing the Russian state. At the same time, the statistics of infertile marriages are still high, up to 15-20% of all those who marry. In this regard, the development of reproductive technologies remains an important area of medicine that contributes to solving demographic problems.

The purpose of the study was to study modern reproductive technologies that require appropriate equipment for IVF centers and trends in their development.

Materials and methods. Various literature search methods were used in the databases Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, RSCI, eLibrary.ru. According to the keywords in vitro fertilization, IVF clinic equipment, IVF technology, 116 publications were selected, including 82 foreign sources. This paper presents a detailed analysis of twenty of them.

Results. In vitro fertilization centers are becoming increasingly complex in terms of equipment, technology, and processes. These systems are being integrated and simplified, and laboratory processes are being optimized to reduce the number of steps and reduce processing of gametes and embryos. The introduction of artificial intelligence systems for the assessment and selection of gametes and embryos, real-time data collection with the integration of voice input into electronic medical records, the development of robotic solutions for performing procedures such as oocyte insemination (ICSI), preparation of culture plates, sampling media and vitrification is expected everywhere. Currently, there are various formulations of media for growing embryos, dozens of manufacturers are known. Traditional indicators of the effectiveness of IVF laboratories, personnel and equipment are constantly being improved.

Conclusions. Due to the development of automation and digitalization, the role of embryologists and IVF laboratory assistants will change. Increasing the reproducibility of procedures will reduce the need for routine work, which will allow you to focus on complex and analytical tasks. The availability of modern equipment and qualified personnel is a key factor in the success of IVF programs.

Keywords: in vitro fertilization, equipment of IVF clinics

Введение. По данным исследований ученых целого ряда стран, в мире произошел значительный спад количества детей, которых рождает на протяжении своей жизни среднестатистическая женщина. Так, большинство стран - членов Европейского Союза, в XXI веке имеют самую низкую рождаемость в истории своего существования. Для современной демографической ситуации в Европе характерен не только низкий уровень рождаемости, но и увеличение продолжительности жизни, а также общее сокращение численности коренного населения в сравнении с иными регионами мира [1,2].

Сокращение населения в России также представляет одну из наиболее острых социальных проблем, стоящих перед российским государством [3]. В этих условиях сбережение каждой жизни и сохранение каждой желанной беременности есть главная задача социальной политики и репродуктивной медицины [4,5,6].

При этом по-прежнему остается высокой статистика бесплодных браков до 15-20% от числа всех брачующихся. В связи с этим развитие репродуктивных технологий остается важным направлением медицины, способствующим решению демографических проблем и улучшению качества жизни семей, столкнувшихся с трудностями зачатия, и данному направлению уделяется существенное внимание на государственном уровне.

Целью исследования стало изучение современных репродуктивных технологий, требующих соответствующей оснащенности центров ЭКО и тенденций в их развитии

Материал и методы исследования. Использованы различные методы поиска литературы по базам данных Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, РИНЦ, eLibrary.ru. . По ключевым словам экстракорпоральное оплодотворение, оснащение клиник ЭКО, технологии ЭКО было отобрано 116 публикаций, в числе которых 82 иностранных источника. В данной работе представлен подробный анализ двадцати из них.

Результаты и обсуждение. Современные ЭКО-центры оснащены высокотехнологичным оборудованием, необходимым для проведения процедур оплодотворения и культивирования эмбрионов.

В России требования к оснащению центров репродуктивных технологий регулируются приложением № 3 к Порядку использования вспомогательных репродуктивных технологий, а также перечню противопоказаний и ограничений к их применению. Этот нормативный документ был утвержден приказом Минздрава РФ от 31 июля 2020 года № 803н и устанавливает стандарты оборудования и условий, необходимых для проведения процедур ВРТ.

Оснащение клиники ЭКО играет ключевую роль в эффективности и безопасности проведения процедур лечения бесплодия. Современные технологии и оборудование обеспечивают высокую точность диагностики, успешное культивирование эмбрионов и повышают вероятность наступления беременности.

Процесс экстракорпорального оплодотворения проходит поэтапно. На начальном этапе проводится стимуляция овуляции, начиная со 2-3 дня менструального цикла. Схема

стимуляции подбирается индивидуально, с учетом возраста пациентки, её овариального резерва и общего состояния здоровья. Когда фолликулы достигают необходимой зрелости, примерно на 13-15 день цикла проводится пункция фолликулов. Полученные яйцеклетки помещаются в специальные контейнеры с питательной средой. Сперма донора или супруга проходит предварительную обработку, чтобы в оплодотворении участвовали только самые подвижные и жизнеспособные сперматозоиды [7,8].

Оплодотворение яйцеклеток происходит методом классического ЭКО или с применением вспомогательных технологий (ИКСИ), если сперма имеет низкую подвижность. После оплодотворения эмбрионы культивируются в лаборатории в течение 3-5 дней, находясь в условиях, максимально приближенных к естественным. В этот период возможно проведение преимплантационной генетической диагностики (ПГД) для выявления хромосомных и генетических нарушений, что позволяет отобрать только здоровые эмбрионы для переноса в полость матки.

Перенос эмбрионов осуществляется на стадии развития. Процедура проводится под контролем УЗИ с использованием тонкого катетера. Обычно переносят один или два эмбриона, чтобы снизить риск многоплодной беременности. Оставшиеся жизнеспособные эмбрионы подвергаются криоконсервации методом витрификации, что позволяет использовать их в будущем при необходимости повторного цикла ЭКО. Далее назначается индивидуальная схема поддержки беременности [9].

Таким образом центры экстракорпорального оплодотворения становятся все более сложными с точки зрения оборудования, технологий и процессов. В ближайшее время возможно произойдет интеграция и упрощение этих систем, оптимизация лабораторных процессов с целью уменьшения количества шагов и сокращения обработки гамет и эмбрионов учеными лаборатории.

Уже широко применяются микрофлюидные технологии для облегчения подготовки спермы, традиционного ЭКО и промывания ооцитов.

Разработаны методы очистки спермы *in vitro*, которые стремятся имитировать процесс отбора *in vivo*, чтобы обеспечить максимально возможную вероятность оплодотворения ооцитов после искусственного осеменения [10]. Удаление значительной части семенной плазмы из эякулята может потенциально дать положительные результаты [11,12]. В Германии, Австрии, Нидерландах обычной практикой является удаление семенной плазмы из эякулята путем промывания спермы. Однако в Великобритании, Франции, Италии воздерживаются от

этого метода из-за опасений, что высокие центробежные силы, связанные с центрифугированием, могут отрицательно повлиять на качество спермы, потенциально приводя к повреждению хроматина спермы. Таким образом, вопрос оснащения центра вспомогательной репродукции сильно зависит от принятой в клинике методики.

Разрабатываются захват изображений, трехмерная реконструкция и автоматизированная интеллектуальная оценка оплодотворения, жизнеспособности и качества эмбрионов.

Осуществляется оптимизированный отбор культуральных сред или биопсийных клеток для оценки плоидности и генетического анализа, который можно будет проводить быстро и с минимальными шагами.

Большая часть процессов в лабораториях ЭКО будет автоматизирована. Реализация автоматизации, вероятно, будет происходить поэтапно, объединяя различные системы в единую цифровую экосистему. Возможны также комплексные решения, обеспечивающие полную автоматизацию определенных этапов.

Основные направления автоматизации должны включить быстрый анализ спермы с минимальным ручным вмешательством, повышенную точность и доступность тестирования фертильности на дому, подготовку чашек для культивирования и отбор проб сред для обеспечения качества.

Повсеместно ожидается внедрение систем искусственного интеллекта для оценки и отбора гамет и эмбрионов. Кроме того, сбор данных в режиме реального времени с интеграцией голосового ввода в электронные медицинские записи. Уже применяется биометрическая аутентификация (распознавание радужной оболочки глаза) для автоматической регистрации лабораторных действий в медицинской системе.

Возможна разработка роботизированных решений для выполнения таких процедур, как инсеминация ооцитов (ИКСИ), подготовка чашек для культивирования, отбор проб сред и витрификация/нагревание. Будет проводиться электронная маркировка (например, радиочастотная идентификация, RFID) всех лабораторных сосудов с гаметами и эмбрионами для повышения точности отслеживания и регистрации цепочки поставок.

В настоящее время существуют различные составы сред для выращивания эмбрионов, известны десятки производителей [13]. Критическая роль среды для культивирования эмбрионов общеизвестна. Доказано влияние среды на показатели успешности ЭКО и вес детей при рождении [14]. Современное положение вещей складывается так, что подробные сведения

о составе сред ограничиваются производителями. Постоянный спрос на большую прозрачность остается неудовлетворенным, что подчеркивает значительный барьер в оптимизации среды для культивирования эмбрионов человека [15-20].

Отчетность о результатах пациентов с обновлениями в реальном времени через мобильные приложения уже внедряется в клиниках.

Выводы. Традиционные индикаторы эффективности лабораторий ЭКО, персонала и оборудования постоянно совершенствуются. На основе больших данных будет создана система раннего оповещения, позволяющая выявлять малейшие изменения в работе лабораторий. Оптимальные временные параметры для каждого этапа ЭКО будут установлены на основе большого массива данных и рецензируемых доказательств. Это позволит лабораториям работать более эффективно и прогнозируемо.

Оценка качества гамет и эмбрионов станет более точной и автоматизированной. Современные возможности оборудования позволяют проводить быстрый анализ спермы с тестированием функциональных характеристик, морфологическую и биомеханическую оценку ооцитов с целью прогнозирования исходов лечения, использование цифровых технологий и искусственного интеллекта для минимизации субъективности в оценке эмбрионов, оценку развития эмбрионов по множественным параметрам, включая количество клеток, ориентацию, динамику развития и временные характеристики.

В связи с развитием автоматизации и цифровизации роль эмбриологов и лаборантов ЭКО изменится. Повышение воспроизводимости процедур приведет к снижению необходимости в рутинной работе, что позволит сосредоточиться на сложных и аналитических задачах.

Эмбриологи будут заниматься анализом данных, интерпретацией результатов и принятием стратегических решений. Лаборанты будут контролировать автоматизированные процессы, обеспечивать качество работы оборудования и управлять потоком данных. Технологическая поддержка и управление цифровыми платформами станут ключевыми навыками специалистов лабораторий.

Наличие современного оборудования и квалифицированного персонала является ключевым фактором успешности программ ЭКО.

Список литературы

1. Василенков С.С. Рождаемость в Европе подправят иммигранты .Pravda.ru, 2013/ - URL: [https:// www.pravda.ru/world/1165419-rojdaemost/](https://www.pravda.ru/world/1165419-rojdaemost/) (дата обращения: 15.12.2023).
2. Енина Е.Н., Ступак В.С., Атаев О.Г., Попов А.В., Ваньков Д.В. Современные тенденции старения населения зарубежных стран: проблемы и перспективы. Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2023;3:6-9.
3. Атаев О.Г., Ступак В.С., Стародубов В.И., Иванова М.А., Пахомов С.П. Социально-гигиенические аспекты репродуктивного поведения женщин в возрасте 40—45 лет. Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2024;32(1):16-21.
4. Мяготина Е.Д., Невежин В.П. Влияние уровня безработицы на рождаемость в России. Международный научно-исследовательский журнал. 2020;4(94):30-35.
5. Стародубов В.И., Ступаков И.Н., Самородская И.В. Факторы, влияющие на показатели и оценку состояния общественного здоровья и здравоохранения. Менеджер здравоохранения. 2005;10:38-44.
6. Атаев О.Г., Ступак В.С., Пахомов С.П. Региональные особенности воспроизводства населения в Белгородской области. Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2023;3:546-558.
8. Бейк Е. П., Сыркашева А. Г., Долгушина Н. В. Эффективность программ вспомогательных репродуктивных технологий у пациенток позднего репродуктивного возраста. Гинекология. 2018;20(1):109-112.
9. Абдурахманова Н. Ф., Гвоздева А.Д., Зиганшина М. М., Долгушина Н. В. Результаты программ вспомогательных репродуктивных технологий у пациенток с "тонким" эндометрием. Гинекология. 2019;21(1):23-27.
10. Неверова Е. Н., Николаева Е. В. Экстракорпоральное оплодотворение – эффективный метод лечения бесплодия. Оренбургский медицинский вестник, 2015;III(1):23–25.
11. Medica AJ, Gibb Z, Aitken RJ. Optimizing equine sperm quality: an alternative to single layer centrifugation for sperm isolation. Reprod Fertil. 2024 Nov 11;5(4):e230081. doi: 10.1530/RAF-23-0081. PMID: 39437190; PMCID: PMC11558927.
12. Barrier-Battut I Bonnet C Giraudo A Dubois C Caillaud M & Vidament M. 2013. Removal of seminal plasma enhances membrane stability on fresh and cooled stallion spermatozoa. Reproduction in Domestic Animals 48 64–71. (10.1111/j.1439-0531.2012.02026.x).

13. Lo CC Thompson JA Lowry VK & Varner DD. 2002. Effect of storage time and temperature on stallion sperm DNA and fertility. *Theriogenology* 57 1135–1142. (10.1016/s0093-691x(01)00689-6).
14. Zagers MS, Laverde M, Goddijn M, de Groot JJ, Schrauwen FAP, Vaz FM, Mastenbroek S. The composition of commercially available human embryo culture media. *Hum Reprod.* 2025 Jan 1;40(1):30-40. doi: 10.1093/humrep/deae248. PMID: 39585967; PMCID: PMC11700899.
15. Campbell, Alison et al. In vitro fertilization and andrology laboratory in 2030: expert visions. *Fertility and Sterility*, Volume 116, Issue 1, 4 – 12.
16. Hans Evers JL. Peanut butter. *Hum Reprod.* 2016 Oct;31(10):2159. doi: 10.1093/humrep/dew129. Epub 2016 Aug 23. PMID: 27554443.
17. Chronopoulou E, Harper JC. IVF culture media: past, present and future. *Hum Reprod Update* 2015;21:39–55.
18. Summers MC, Biggers JD. Chemically defined media and the culture of mammalian preimplantation embryos: historical perspective and current issues. *Hum Reprod Update* 2003;9:557–582.
19. Munoz-Maceda A, Priego-Gonzalez A, Núñez-Puente C, Rizos D, Cerdeira-Lozano J, Sanchez-Rodriguez A, Roldan ERS, Sánchez-Calabuig MJ. Enhancing felid conservation: Exploring the impact of in vitro culture media on domestic cat blastocyst production. *Reprod Domest Anim.* 2024 Oct;59 Suppl 3:e14645. doi: 10.1111/rda.14645. PMID: 39396873.
20. Chen JZ, Sheehan PM, Brennecke SP, Keogh RJ. Vessel remodelling, pregnancy hormones and extravillous trophoblast function. *Mol Cell Endocrinol.* 2012;349:138–144. doi: 10.1016/j.mce.2011.10.014.

References

1. Vasilenkov S.S. The birth rate in Europe will be corrected by immigrants. *Pravda.ru* , 2013/ - URL: [https:// www.pravda.ru/world/1165419-rojdaemost /](https://www.pravda.ru/world/1165419-rojdaemost/) (accessed: 12/15/2023).
2. Enina E.N., Stupak V.S., Ataev O.G., Popov A.V., Vankov D.V. Current trends in the aging of the population of foreign countries Problems and prospects. *Health, demography, ecology of the Finno-Ugric peoples.* 2023;3:6-9.
3. Ataev O.G., Stupak V.S., Starodubov V.I., Ivanova M.A., Pakhomov S.P. Socio-hygienic aspects of reproductive behavior of women aged 40-45 years. *Problems of social hygiene, public health and the history of medicine.* 2024;32(1):16-21.

4. Myagotina E.D., Nevezhin V.P. The impact of the unemployment rate on the birth rate in Russia. *International Scientific Research Journal*. 2020;4(94):30-35.
5. Starodubov V.I., Stupakov I.N., Samorodskaya I.V. Factors influencing indicators and assessment of public health and healthcare. *The health care manager*. 2005;10:38-44.
6. Ataev O.G., Stupak V.S., Pakhomov S.P. Regional peculiarities of population reproduction in the Belgorod region . *Modern problems of healthcare and medical statistics*. 2023;3:546-558.
8. Beik E. P., Syrkasheva A. G., Dolgushina N. V. The effectiveness of assisted reproductive technology programs in patients of late reproductive age. *Gynecology*. 2018;20(1):109-112.
9. Abdurakhmanova N. F., Gvozdeva A.D., Ziganshina M. M., Dolgushina N. V. The results of assisted reproductive technology programs in patients with "thin" endometrium. *Gynecology*. 2019;21(1):23-27.
10. Neverova E. N., Nikolaeva E. V. In Vitro fertilization is an effective method of infertility treatment. *Orenburg Medical Bulletin*, 2015;W(1):23-25.
11. Medica AJ, Gibb Z, Aitken RJ. Optimizing equine sperm quality: an alternative to single layer centrifugation for sperm isolation. *Reprod Fertil*. 2024 Nov 11;5(4):e230081. doi: 10.1530/RAF-23-0081. PMID: 39437190; PMCID: PMC11558927.
12. Barrier-Battut I Bonnet C Giraudo A Dubois C Caillaud M & Vidament M. 2013. Removal of seminal plasma enhances membrane stability on fresh and cooled stallion spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals* 48 64–71. (10.1111/j.1439-0531.2012.02026.x).
13. Lo CC Thompson JA Lowry VK & Varner DD. 2002. Effect of storage time and temperature on stallion sperm DNA and fertility. *Theriogenology* 57 1135–1142. (10.1016/s0093-691x(01)00689-6).
14. Zagers MS, Laverde M, Goddijn M, de Groot JJ, Schrauwen FAP, Vaz FM, Mastenbroek S. The composition of commercially available human embryo culture media. *Hum Reprod*. 2025 Jan 1;40(1):30-40. doi: 10.1093/humrep/deae248. PMID: 39585967; PMCID: PMC11700899.
15. Campbell, Alison et al. In vitro fertilization and andrology laboratory in 2030: expert visions. *Fertility and Sterility*, Volume 116, Issue 1, 4 – 12.
16. Hans Evers JL. Peanut butter. *Hum Reprod*. 2016 Oct;31(10):2159. doi: 10.1093/humrep/dew129. Epub 2016 Aug 23. PMID: 27554443.
17. Chronopoulou E, Harper JC. IVF culture media: past, present and future. *Hum Reprod Update* 2015;21:39–55.

18. Summers MC, Biggers JD. Chemically defined media and the culture of mammalian preimplantation embryos: historical perspective and current issues. Hum Reprod Update 2003;9:557–582.

19. Munoz-Maceda A, Priego-Gonzalez A, Núñez-Puente C, Rizos D, Cerdeira-Lozano J, Sanchez-Rodriguez A, Roldan ERS, Sánchez-Calabuig MJ. Enhancing felid conservation: Exploring the impact of in vitro culture media on domestic cat blastocyst production. Reprod Domest Anim. 2024 Oct;59 Suppl 3:e14645. doi: 10.1111/rda.14645. PMID: 39396873.

20. Chen JZ, Sheehan PM, Brennecke SP, Keogh RJ. Vessel remodelling, pregnancy hormones and extravillous trophoblast function. Mol Cell Endocrinol. 2012;349:138–144. doi: 10.1016/j.mce.2011.10.014.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Financing. The study had no sponsorship.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

Сведения об авторах

Каримова Дания Юсуфовна – доктор медицинских наук, профессор; профессор кафедры Общественное здоровье и здравоохранение Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ Государственный научный центр Российской Федерации «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, 123098, г. Москва, ул. Маршала Новикова, 23. E-mail: danika.karimova@mail.ru, ORCID 0000-0002-9971-8156, SPIN: 6518-0847

Бехаева Таисия Хамзатовна – врач клиники ЭКО «Поколение «NEXT Грозный», 364068, г. Грозный, бульвар Султана Дудаева, д.16а. E-mail: info.gr@pokolenie-nxt.ru/ ORCID 009-0002-0833-5027

Information about the authors

Karimova Daniia Yusufvna – Doctor of Medical Sciences, Professor; Professor of the Department of Public Health and Public Health of the Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, Federal State Budgetary Institution State Scientific Center of the Russian Federation "Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan" of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098.-mail: danika_karimova@mail.ru , ORCID 0000-0002-9971-8156, SPIN: 6518-0847

Bekhayeva Taisiya Khamzatovna – IVF clinic doctor "Generation "NEXT Grozny", 16a Sultan Dudaev Boulevard, Grozny, 364068. E-mail: info.gr@pokolenie-nxt.ru/ ORCID 009-0002-0833-5027

Статья получена: 13.03.2025 г.

Принята к публикации: 25.06.2025 г.