

¹ Морозовская
детская городская
клиническая больница,
Москва

² Российский
национальный
исследовательский
медицинский
университет
им. Н.И. Пирогова

³ Российская детская
клиническая
больница – филиал
Российского
национального
исследовательского
медицинского
университета
им. Н.И. Пирогова

⁴ Российский
университет
медицины

Моделирование нового поколения: перспективы и возможности 3D-технологий в гинекологии

А.Ю. Курмангалеева^{1, 2}, Е.В. Сибирская, д.м.н., проф.^{1, 2, 3, 4}

Адрес для переписки: Алия Юнусовна Курмангалеева, askarova -aliya@yandex.ru

Для цитирования: Курмангалеева А.Ю., Сибирская Е.В. Моделирование нового поколения: перспективы и возможности 3D-технологий в гинекологии. Эффективная фармакотерапия. 2024; 20 (19): 82–87.

DOI 10.33978/2307-3586-2024-20-19-82-87

В статье представлены новейшие достижения в области 3D-моделирования и трехмерной печати, их применение, перспективы и возможности. Сегодня медицина высоких технологий является одной из самых быстро развивающихся отраслей благодаря активному использованию инновационного оборудования, разработанного на основе последних научных и технических достижений.

Ключевые слова: 3D-моделирование, трехмерная печать, биопечать, оперативная гинекология, хирургия, репродуктивное здоровье

Современные технологии в области 3D-визуализации открывают докторам широкие возможности для использования этих инновационных методов в значимых и важных сферах гинекологии и хирургии. Создание искусственной человеческой кожи, тканей и органов может звучать как сценарий научной фантастики, однако это становится реальностью. В мировых научных лабораториях и медицинских учреждениях прогресс в технологиях 3D-печати и моделирования открывает новые перспективы для лечения пациентов и проведения научных исследований. В ближайшем будущем биопечать обещает стать значительным достижением в области здравоохранения и развития персонализированного подхода в медицине. В хирургической практике специалисты традиционно опираются на предыдущий опыт и знания, а также на визуальные данные, полученные с помощью ультразвукового исследования,

магнитно-резонансной (МРТ) или компьютерной томографии (КТ). Однако из-за сложности анатомического строения оперируемой области двухмерные или виртуальные изображения иногда оказываются недостаточными для точной передачи структурных деталей. Тогда трехмерная печать модели анатомии пациента будет способствовать персонализированному предоперационному планированию [1].

Вместо просмотра объемных моделей на плоском экране компьютера физические модели, созданные путем 3D-печати, предлагают реальное ощущение глубины и тактильную обратную связь. Исследования показали, что хирурги, применяющие 3D-печатные модели для предоперационного планирования, достигают лучших результатов, включая сокращение продолжительности операции, снижение кровопотери и уменьшение длины хирургического разреза [2, 3].

Глобальная стратегия Всемирной организации здравоохранения в области цифрового здравоохранения на 2020–2025 гг. направлена на улучшение глобального здоровья через интеграцию и оптимальное использование цифровых технологий [4]. Стратегия предполагает разработку стандартов, укрепление управления данными, повышение цифровой грамотности и поддержку инноваций для обеспечения доступного и качественного здравоохранения. Основная идея направлена на повышение уровня здоровья каждого человека за счет активизации разработки и внедрения доступных, экономичных, масштабируемых и эффективных цифровых инструментов в медицине.

Модели, созданные с помощью 3D-печати, имеют ряд преимуществ. Например, они улучшают тактильное понимание строения анатомических структур, позволяют с высокой точностью отрепетировать все хирургические этапы операции, создать индивидуальные импланты и протезы, облегчить доступ к операционному полю, а также улучшить контакт между хирургом и пациентом. Технология трехмерной печати – инновационная технология, набирающая популярность благодаря доступности, высокой эффективности и быстрому производству. Она позволяет создавать трехмерные объекты из CAD-моделей (Computer Aided Design – системы автоматизированного проектирования) за счет послойного нанесения материала с помощью специализированных принтеров из оригинального 3D-цифрового изображения [5, 6].

Благодаря уменьшению стоимости производства 3D-принтеров и улучшению их точности и скорости отрасль 3D-печати получила мощный импульс к развитию во многих секторах, в том числе в медицине. В медицинской сфере 3D-печать активно применяется в производстве слуховых аппаратов, протезировании конечностей, создании имплантов, изготовлении точных моделей органов. В зависимости от потребностей эти предметы могут быть изготовлены из разнообразных материалов, включая полимеры, металлы и керамику.

Создание 3D-моделей на основе МРТ или КТ происходит в три этапа: получение изображения, его обработка и 3D-печать.

Современные методы обучения и исследования в области медицины включают использование как цифровых, так и печатных моделей. Они оказываются ценным инструментом для изучения структуры женских репродуктивных органов и плода, демонстрируя как анатомические особенности, так и патологические изменения [7–10]. Возможности врачей, ученых и студентов в отношении изучения объемной анатомии человеческого эмбриона были ограничены, в том числе из-за этических аспектов. Однако новые цифровые модели, созданные для 3D-визуализации

и печати, призваны помочь в изучении процессов развития человеческого эмбриона [11].

Еще одной областью применения 3D-печати является производство инструментов для хирургических и гинекологических операций [12–14]. Такие инструменты могут быть полезны не только в рутинной клинической работе, но и при выполнении уникальных операций. 3D-печать дает возможность адаптировать и индивидуализировать существующие хирургические приспособления, а также разрабатывать новые модели с нуля. Эта технология предоставляет широкие возможности для сокращения затрат на создание новых инструментов и способствует распространению новаторских идей в области хирургического инструментария [15].

3D-моделирование как инструмент визуализации в предоперационной подготовке

М. Barbosa и соавт. [16] не только изучили применение 3D-моделирования в репродуктивной гинекологии. Разработав модели на основе изображений МРТ у пациенток с бесплодием, они сообщили, что модели обеспечили более качественное предоперационное планирование, способствовали снижению количества осложнений, травматизации во время процедуры получения ооцитов, способствуя сохранению овариального резерва.

S. Aluwee и соавт. [17] в целях улучшения хирургического планирования создали предоперационные модели матки у пяти пациенток с выявленным раком эндометрия. Результаты показали, что модели имеют высокую точность с ошибкой от 1,19 до 2,22 мм и положительно воспринимаются как хирургами для планирования операций, так и пациентами для повышения осведомленности.

A. Maskey и соавт. [18] в качестве предоперационного планирования создали трехмерную напечатанную модель матки, полученной на основе МРТ беременной пациентки с множественной миомой матки перед операцией кесарева сечения. Модель точно отображала количество, размер и расположение миомы матки и была представлена на акушерском многопрофильном совещании. Во время операции модель напрямую коррелировала с анатомией пациентки для определения оптимального доступа. Исходы матери и плода были превосходными.

C. Cooke и соавт. [19] в целях предоперационной подготовки (перед миомэктомией) напечатали 3D-модели мультифиброидной матки двух пациенток. Изучение данных моделей помогло хирургам четко спланировать объем операции, методы остановки кровотечения, продолжительность операции и оценить риск возможных осложнений. Это укрепило уверенность в разработанном хирургическом плане и положительно отразилось на исходе операции.

Интересно, что анализ экономии затрат, проведенный D. Ballard и соавт. [20], показал, что использование 3D-печатных моделей для предоперационного планирования или в качестве интраоперационных хирургических направляющих в ортопедии либо челюстно-лицевой хирургии в среднем сокращает время операции на 60 минут.

В недавнем исследовании P. Ravi и соавт. [21] были проанализированы затраты и эффективность использования 3D-печати в академической больнице в течение года: расчетное экономленное время процедуры в среднем составило 29,9 минуты.

Применение 3D-моделирования и дополненной реальности

Инновационная система навигации, основанная на принципах дополненной реальности (augmented reality – AR), – передовая технология, предоставляющая хирургам возможность визуализации структур, расположенных под поверхностью тканей, непосредственно во время просмотра эндоскопических видеозаписей. Ее ключевая функция заключается в интеграции трехмерных виртуальных моделей, созданных на основе данных КТ или МРТ, в реальный хирургический процесс в режиме реального времени. Накоплен опыт использования AR-систем при различных хирургических вмешательствах, в частности при простатэктомии, адреналэктомии, резекции печени, а также в нейрохирургии и ортопедии [22].

В Мюнхене на Международном симпозиуме смешанной и дополненной реальности (International Symposium on Mixed and Augmented Reality – ISMAR) в 2014 г. T. Collins и соавт. впервые представили систему интраоперационной навигации для гинекологов, использующую AR для визуализации миомы матки [23]. Разработка включала в себя две ключевые фазы – сегментации и слияния. На этапе сегментации происходит разделение внешней поверхности матки и миомы на отдельные сегменты с помощью предоперационной МРТ, после чего рентгенолог создает трехмерную модель органа. Далее, в фазе слияния, модель синхронизируется с лапароскопическим изображением матки, что позволяет хирургу видеть миому внутри матки как бы сквозь прозрачную поверхность. Процесс слияния проходит автоматически, обеспечивая точность позиционирования до 1 мм даже при движении матки. Система демонстрирует высокую устойчивость к различным внешним воздействиям, включая движения хирургических инструментов и камеры, а также к размытию изображения. Алгоритмы системы могут эффективно функционировать на стандартных персональных компьютерах с видеокартами, оборудованными графическими процессорами.

Впоследствии N. Bourdel и соавт. [24] провели исследование оценки дополненной реальности (AR) при выполнении миомэктомии. 3D-модель матки с смоделированными шестью миомами размером 20 мм, созданная благодаря трехмерной печати, была помещена в лапароскопический тренажер. Исследователи сравнивали точность локализации миом хирургами при использовании технологии AR и без нее, в условиях, максимально приближенных к «золотому стандарту», когда доступна только МРТ. Десять резидентов, используя инструменты на тренажере, определяли точки на поверхности модели матки, ближайшие к миоме. Результаты показали существенное улучшение точности при использовании AR: средняя точность в контрольной группе составила 16,80 мм, в группе с AR – 0,64 мм. Время выполнения задания было сопоставимо в обеих группах, а оценка сложности задания значительно ниже в группе AR. Показано, что система AR способна увеличить точность локализации миомы в 20 раз, улучшить комфорт хирургов и потенциально сделать лапароскопическую миомэктомию проще, безопаснее и эффективнее. Данная технология также позволяет заранее планировать этапы операции, например оптимизировать разрезы до начала лапароскопии и визуализировать их в реальном времени в ходе операции.

Применение персонализированных 3D-моделей в гинекологической практике

J. Hakim и соавт. [25] применили 3D-моделирование при создании вагинальных стентов и расширителей для детей и подростков после хирургических операций по поводу атрезии влагалища. Предполагается, что такой подход улучшает процесс заживления тканей: стенты и расширители адаптируются в зависимости от возраста и состояния тканей, а также степени и направления их растяжения.

L. Ravan и соавт. [26] представили модифицированную технику лечения синдрома Майера – Рокитанского – Кюстера – Хаузера с помощью вагинопластики с гетерологичным трансплантатом и специального индивидуального расширителя, созданного 3D-принтером, из полимолочной кислоты.

В настоящее время особое внимание уделяется моделированию устройств для брахитерапии, систем для баллонной тампонады при послеродовых кровотечениях, вагинальных колец.

Брахитерапия – метод радиационного лечения, при котором радиоактивный материал (например, Ra-226, Ir-192, I-125, Cs-137, Co-60) помещается непосредственно внутрь пораженного органа. Такой подход позволяет доставлять высокие дозы радиации прямо к центру опухоли и интересующей зоне, при этом минимизируя воздействие на окружающие критические органы и ткани. Метод широко применяется в терапии рака

шейки матки, матки, простаты, влагалища, пищевода, прямой кишки, языка и др. Смоделированные устройства обычно представляют собой адаптированные аппликаторы для вагинальных цилиндров или шаблоны для игл, используемые в интерстициальной брахитерапии у больных раком влагалища, шейки матки или эндометрия (первичные, локально распространенные или рецидивирующие формы) [27].

В настоящее время доступен ряд биосовместимых материалов для 3D-печати, каждый из которых обладает различными уникальными радиологическими характеристиками, что делает их ценными для применения в медицине. Эти материалы состоят в основном из комбинации биосовместимых поликарбонатной и полипропиленовой смол. Некоторые из них обогащены тяжелыми металлами, что открывает новые возможности для точной 3D-модуляции доз облучения в тканях пациента [28].

P. Jiang и соавт. [29] оценили эффективность и безопасность высокодозной брахитерапии у 32 пациенток с помощью печати индивидуальных моделей при рецидивирующем раке шейки матки (n = 17), эндометрия (n = 4), влагалища (n = 2), яичников (n = 3), карциноме культи влагалища (n = 4), вульвы (n = 1), эндометриальной стромальной саркоме (n = 1). Индивидуальные 3D-модели, используемые в исследовании, повысили точность имплантации, упростили интраоперационную процедуру. Изучение и обучение этой технике должны быть продолжены.

В исследованиях H.V.Z. Logar и соавт. [30], а также H. Yuan и соавт. [31] в отличие от стандартных устройств использование индивидуальных аппликаторов и шаблонов для наведения при брахитерапии позволило увеличить дозу облучения на целевые области и снизить дозу на соседние органы у пациентов с гинекологическими злокачественными новообразованиями, предварительно обработанными внешним лучевым облучением.

В исследовании A. Qu и соавт. [32] применение 3D-печатных шаблонов в ходе направляемой абляционной брахитерапии с использованием йода-125 способствовало уменьшению ошибок совмещения и повышению точности прокола иглы у 38 пациенток с гинекологическими злокачественными новообразованиями.

Еще одна область применения 3D-моделирования – изготовление пессариев. Так, M. Barsky и соавт. [33] разработали индивидуальный силиконовый пессарий с помощью трехмерной печати и доказали эффективность в лечении стрессового недержания мочи в отсутствие осложнений.

S. Eder и соавт. [34] провели исследование в целях улучшения вагинальных пессариев для лечения стрессового недержания мочи с помощью 3D-печати из термопластичных полиуретанов разной твердости и гидрофильности. Особое внимание

уделялось одновременному высвобождению лекарственного вещества. Ученые достигли данного эффекта за счет погружения пессария в раствор с лекарственным средством.

Последнее десятилетие трехмерная печать активно развивается в сфере фармации, доставки лекарственных средств в виде адаптированных лекарственных форм в соответствии с потребностями каждого пациента.

M. Tiboni и соавт. [35] изготовили вагинальное кольцо, наполненное клотримазолом, путем моделирования 3D-печати методом наплавления, объединив лекарственное средство с термопластичным полиуретаном с использованием экструзии горячего расплава. Кольца были разработаны с помощью компьютера, а затем напечатаны с двумя различными концентрациями лекарственного средства (2 и 10%). Для оценки эффективности против *Candida albicans* интравагинальные кольца сначала прошли тест на диффузию в агар. Кольцо с нагрузкой 10% было выбрано для дальнейших исследований. Высвобождение лекарственного средства оценивали в двух различных средах (50%-ном этаноле и вагинальной жидкости). Отмечалось замедленное высвобождение в течение семи дней. Затем был проведен анализ времени уничтожения *in vitro* против *C. albicans* в вагинальной жидкости. Наблюдалось полное ингибирование роста через пять дней по сравнению с контролем.

Пролапс тазовых органов поражает до 50% рожавших женщин. Традиционно используемые пессарии имеют ряд недостатков: вызывают дискомфорт, эрозию, кровотечение, требуют частого применения кремов с эстрогеном.

В рамках исследования J. Long и соавт. [36] с помощью 3D-печати был разработан пессарий, высвобождающий эстриол в течение трех месяцев. Пессарий с содержанием 10%-ного эстриола обеспечивал оптимальную дозу 0,8 мг ежедневно.

S. Nonh и соавт. оценили удовлетворенность лечением у восьми пациенток с пролапсом тазовых органов до и после трехнедельного испытания. Все пациентки сообщили об улучшении или отсутствии изменений, а также отметили простоту использования и комфорт.

I. Koutsamanis и соавт. [37] в целях повышения и сохранения высокого уровня комплаентности и персонализации применения лекарственных средств представили устройства длительного действия (пессарии) на основе небiorазлагаемого материала, а именно термопластичного эластомера на основе полиэстера, и сравнили с обычными имплантами на основе EVA и силиконов, высвобождающих прогестерон. Как выяснилось, изготовленные на 3D-принтере импланты, приготовленные по разработанной технологии погружения в растворитель, обеспечивают высвобождение прогестерона с фармакологически значимой скоростью, аналогичной

скорости высвобождения лекарственных средств на основе EVA и силиконов. Но термопластичный эластомер продемонстрировал исключительную способность к индивидуальной печати сложных геометрических фигур.

Немаловажным преимуществом трехмерной печати является и создание многокамерных капсульных устройств для индивидуальных комбинаций лекарственных средств, доз с учетом кинетики высвобождения. Такие капсульные устройства, способные транспортировать несовместимые лекарственные средства или разные лекарственные средства, были успешно изготовлены из термопластичных материалов А. Maroni и соавт. [38].

Заключение

Применение 3D-печати в медицине, а именно в гинекологической практике, является рево-

люционным шагом, позволяющим не только улучшить качество и доступность медицинской помощи, но и значительно расширить границы возможного в лечении и реабилитации больных. Основные направления использования этой технологии – от создания точных анатомических моделей для обучения и планирования операций до инновационного производства персонализированных лекарственных форм и имплантатов – демонстрируют ее многообещающий потенциал в обеспечении более точного, эффективного и персонализированного подхода к лечению. Перед медицинским сообществом стоит задача дальнейшего исследования и оптимизации подобных технологий, чтобы максимально раскрыть потенциал и сделать их доступными для широкого применения. 📌

Литература

1. Ganguli A., Pagan-Diaz G.J., Grant L., et al. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. *Biomed. Microdevices*. 2018; 20 (3): 65.
2. Marconi S., Pugliese L., Botti M., et al. Value of 3D printing for the comprehension of surgical anatomy. *Surg. Endosc.* 2017; 31 (10): 4102–4110.
3. Punyaratabandhu T., Liacouras C., Pairojboriboon S. Using 3D models in orthopedic oncology: presenting personalized advantages in surgical planning and intraoperative outcomes. *3D Print. Med.* 2018; 4 (1):12.
4. Глобальная стратегия в области цифрового здравоохранения на 2020–2025 гг. (Global Strategy on Digital Health 2020–2025). Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2021. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
5. AlRawi A., Basha T., Elmeligy A.O., et al. The role of three-dimensional printed models in women's health. *Women's Health*. 2023; 19: 17455057231199040.
6. Flaxman T.E., Cooke C.M., Miguel O.X., et al. A review and guide to creating patient specific 3D printed anatomical models from MRI for benign gynecologic surgery. *3D Print. Med.* 2021; 7 (1): 17.
7. Brumpt E., Bertin E., Tatu L., Louvrier A. 3D printing as a pedagogical tool for teaching normal human anatomy: a systematic review. *BMC Med. Educ.* 2023; 23 (1): 783.1.
8. Young J.C., Quayle M.R., Adams J.W., et al. Three-dimensional printing of archived human fetal material for teaching purposes. *Anat. Sci. Educ.* 2019; 12 (1): 90–96.
9. Jones D.G. Three-dimensional printing in anatomy education: assessing potential ethical dimensions. *Anat. Sci. Educ.* 2019; 12 (4): 435–443.
10. Yuen J. What is the role of 3D printing in undergraduate anatomy education? A scoping review of current literature and recommendations. *Med. Sci. Educ.* 2020; 30 (3): 1321–1329.
11. Azkue J.J. External surface anatomy of the postfolding human embryo: computer-aided, three-dimensional reconstruction of printable digital specimens. *J. Anatomy*. 2021; 239 (6): 1438–1451.
12. George M., Aroom K., Hawes H.G., et al. 3D printed surgical instruments – the design and fabrication process. *World J. Surg.* 2017; 41 (1): 314–319.
13. Hoang D., Perrault D., Stevanovic M., Ghiassi A. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started. *Ann. Transl. Med.* 2016; 4 (23): 456.
14. Alzoubi L., Aljabali A.A.A., Tambuwala M.M. Empowering precision medicine: the impact of 3D printing on personalized therapeutic. *AAPS PharmSciTech.* 2023; 24 (8): 228.
15. Кудрявцева Е.В., Ковалев В.В., Закуринова Е.С. и др. Ближайшие и отдаленные перспективы 3D-printing в акушерстве и гинекологии. *Уральский медицинский журнал*. 2021; 20 (1): 76–81.
16. Barbosa M.Z., Zylbersztejn D.S., Mattos L.A. Three-dimensionally-printed models in reproductive surgery: systematic review and clinical applications. *Minerva Ginecol.* 2019; 71 (3): 235–244.
17. Sayed Aluwee S.A.Z.B., Zhou X., Kato H., et al. Evaluation of pre-surgical models for uterine surgery by use of three-dimensional printing and mold casting. *Radiol. Phys. Technol.* 2017; 10 (3): 279–285.
18. Mackey A., Ng J.I., Core J., et al. Three-dimensional-printed uterine model for surgical planning of a cesarean delivery complicated by multiple myomas. *Obstet. Gynecol.* 2019; 133 (4): 720–724.
19. Cooke C., Flaxman T., Sheikh A., et al. 3D Printing in gynecologic surgery – an innovative tool for surgical planning. *J. Min. Inv. Gynecol.* 2019; 26 (7 Suppl): S19–S20.

20. Ballard D.H., Mills P., Duszak R., et al. Medical 3D printing cost-savings in orthopedic and maxillofacial surgery: cost analysis of operating room time saved with 3D printed anatomic models and surgical guides. *Acad. Radiol.* 2020; 27 (8): 1103–1113.
21. Ravi P., Burch M.B., Farahani S., et al. Utility and costs during the initial year of 3D printing in an academic hospital. *J. Am. Coll. Radiol.* 2023; 20 (2): 193–204.
22. Мелкозерова О.А., Мурзин А.В. Новые технологии визуализации в оперативной гинекологии: стратегии и перспективы. *Российский вестник акушера-гинеколога.* 2022; 22 (1): 52–57.
23. Collins T., Pizarro D., Bartoli A., et al. Computer-assisted laparoscopic myomectomy by augmenting the uterus with pre-operative MRI data. 2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). Munich, Germany, 2014; 243–248.
24. Bourdel N., Collins T., Pizarro D., et al. Augmented reality in gynecologic surgery: evaluation of potential benefits for myomectomy in an experimental uterine model. *Surg. Endosc.* 2017; 31 (1): 456–461.
25. Hakim J., Smith P.A., Cohn W.E., Dietrich J.E. Innovative use of 3D printers in pediatric and adolescent gynecology. *J. Ped. Adolesc. Gynecol.* 2016; 29 (2): 205–206.
26. Pavan L.L., Bourguignon G.A., Ubertazzi E.P. Vaginoplasty: modified McIndoe using xenograft and a tailored 3D-printer mold. *Int. Urogynecol. J.* 2021; 32 (8): 2283–2285.
27. Sekii S., Tsujino K., Kosaka K. Inversely designed, 3D-printed personalized template-guided interstitial brachytherapy for vaginal tumors. *J. Contemp. Brachytherapy.* 2018; 10 (5): 470–477.
28. Semeniuk O., Cherpak A., Robar J. Design and evaluation of 3D printable patient-specific applicators for gynecologic HDR brachytherapy. *Med. Phys.* 2021; 48 (7): 4053–4063.
29. Jiang P., Qu A., Wei S. The preliminary results of 3-dimensional printed individual template assisted 192Ir high-dose rate interstitial brachytherapy for central recurrent gynecologic cancer. *Technol. Cancer Res. Treat.* 2020; 19: 1533033820971607.
30. Logar H.B.Z., Hudej R., Segedin B. Development and assessment of 3D-printed individual applicators in gynecological MRI-guided brachytherapy. *J. Contemp. Brachytherapy.* 2019; 11 (2): 128–136.
31. Yuan X., Zhang Y., Miao J. Dosimetric analysis of 3D-printed minimally invasive-guided template in the combined intracavitary/interstitial brachytherapy treatment of locally advanced cervical cancer. *Int. J. Gynecologic Cancer.* 2019.
32. Qu A., Jiang P., Wei S. Accuracy and dosimetric parameters comparison of 3D-printed non-coplanar template-assisted computed tomography-guided iodine-125 seed ablative brachytherapy in pelvic lateral recurrence of gynecological carcinomas. *J. Contemp. Brachytherapy.* 2021; 13 (1): 39–45.
33. Barsky M., Kelley R., Bhora F.Y. Customized pessary fabrication using three-dimensional printing technology. *Obstet. Gynecol.* 2018; 131 (3): 493–497.
34. Eder S., Wiltschko L., Koutsamanis I., et al. Toward a new generation of vaginal pessaries via 3D-printing: concomitant mechanical support and drug delivery. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2022; 174: 77–89.
35. Tiboni M., Campana R., Frangipani E. 3D printed clotrimazole intravaginal ring for the treatment of recurrent vaginal candidiasis. *Int. J. Pharm.* 2021; 596: 120290.
36. Long J., Zidan G., Seyfoddin A., et al. An estriol-eluting pessary to treat pelvic organ prolapse. *Sci. Rep.* 2022; 12 (1): 20021.
37. Koutsamanis I., Paudel A., Alva Zúñiga C.P., et al. Novel polyester-based thermoplastic elastomers for 3D-printed long-acting drug delivery applications. *J. Control. Release.* 2021; 335: 290–305.
38. Maroni A., Melocchi A., Parietti F., et al. 3D printed multi-compartment capsular devices for two-pulse oral drug delivery. *J. Control. Release.* 2017; 268: 10–18.

The Role of 3D Modeling and Printing in Gynecology: Prospects and Opportunities

A.Yu. Kurmangaleeva^{1,2}, Ye.V. Sibirskaya, PhD, Prof.^{1,2,3,4}

¹ *Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, Moscow*

² *N.I. Pirogov Russian National Research Medical University*

³ *Russian Children's Clinical Hospital – a Branch of N.I. Pirogov Russian National Research Medical University*

⁴ *Russian University of Medicine*

Contact person: Aliya Yu. Kurmangaleeva, askarova-aliya@yandex.ru

The article presents the latest advances in the field of 3D modeling and three-dimensional printing, their application, prospects, and opportunities. High-tech medicine today is one of the fastest-growing industries, thanks to the active use of innovative equipment developed based on the latest scientific and technical achievements.

Keywords: 3D modeling, three-dimensional printing, bioprinting, surgical gynecology, surgery, reproductive health