

Инновации в гастроэнтерологии

Н. В. Барышникова^{1,2,3}, Н. А. Щапков⁴

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» Минобрнауки России, Санкт-Петербург, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Система здравоохранения непрерывно совершенствуется, в том числе путем внедрения инноваций. Мы проанализировали несколько инновационных областей исследований: искусственный интеллект, виртуальная реальность, телемедицина, микробиом, эндоскопия высокого разрешения и робототехника. Искусственный интеллект применяется для анализа данных, прогнозирования исходов заболеваний, анализа эндоскопических изображений в реальном времени и после процедуры. Позволяет улучшить диагностику, стратификацию пациентов и персонализировать лечение. Также полезен для научной работы (поиск информации, редактирование текстов). Виртуальная реальность перспективна для обучения студентов и хирургов (симуляторы), планирования операций, снижения тревожности и боли у пациентов во время процедур, а также для реабилитации (например, при нарушениях моторики желудочно-кишечного тракта). Телемедицина оптимизирует ведение пациентов, особенно с хроническими заболеваниями, улучшает приверженность лечению и обеспечивает постоянный контакт с врачом. Важность телемедицины возросла во время пандемии COVID-19. Изучение микробиома открывает новые возможности для понимания и лечения заболеваний (например, воспалительных заболеваний кишечника и онкологической патологии), рассматриваются перспективы трансплантации фекального микробиома, использования аутопробиотиков и метабитиков (таргетных бактериальных метаболитов) в комплексном лечении пациентов с гастроэнтерологической патологией. Внедрение эндоскопов высокого разрешения, увеличительной эндоскопии и других технических улучшений повышает точность диагностики. Роботизированные системы используются для капсульной эндоскопии с магнитной навигацией и терапевтических процедур. Внедрение инноваций в гастроэнтерологию не заменяет врача, но существенно облегчает его работу, способствует повышению качества диагностики, лечения и ухода за пациентами, а также оптимизирует медицинские процессы, может улучшить обучение врачей и пациентов, а также доступ пациентов к медицинской помощи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инновации, искусственный интеллект (ИИ), виртуальная реальность (VR), телемедицина, микробиом, эндоскопия, робототехника.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Innovations in gastroenterology

N. V. Baryshnikova^{1,2,3}, N. A. Shchapkov⁴

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

² Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

³ Institute of experimental medicine, St. Petersburg, Russia

⁴ Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

SUMMARY

The healthcare system is continuously being improved, including through the introduction of innovations. We analyzed several innovative research areas: artificial intelligence, virtual reality, telemedicine, microbiome, high-resolution endoscopy, and robotics. Artificial Intelligence: Used for data analysis, predicting disease outcomes, analysing endoscopic images in real time and after the procedure. It allows for improved diagnosis, patient stratification, and personalized treatment. It is also useful for scientific work (information search, text editing). Virtual reality: Promising for teaching students and surgeons (simulations), planning operations, reducing anxiety and pain in patients during procedures, as well as for rehabilitation (for example, in cases of gastrointestinal motility disorders). Telemedicine optimizes the management of patients, especially with chronic diseases, improves treatment adherence and ensures constant contact with a doctor. The importance of telemedicine has increased during the COVID-19 pandemic. The study of the microbiome opens up new opportunities for understanding and treating diseases (for example, inflammatory bowel diseases and oncological pathology), the prospects of fecal microbiome transplantation, the use of autoprobiotics and metabiotics (targeted bacterial metabolites) in the complex treatment of patients with gastroenterological pathology are being considered. The introduction of high-resolution endoscopes, magnifying endoscopy, and other technical improvements improves diagnostic accuracy. Robotic systems are used for capsule endoscopy with magnetic navigation and therapeutic procedures. The introduction of innovations in gastroenterology does not replace a doctor, but significantly facilitates his work, improves the quality of diagnosis, treatment and patient care, and optimizes medical processes, can improve the training of doctors and patients, as well as patients' access to medical care.

KEYWORDS: innovation, artificial intelligence (AI), virtual reality (VR), telemedicine, microbiome, endoscopy, robotics.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

Термин «инновация» (от латинского *innovatio* — «существование от глагола *innovare* — «изменять или осовременивать») зародился не в какой-то отдельной научной или промышленной отрасли, а вначале применялся в социокультурной сфере как определение чего-либо нового в языке, праве,

культуре. Одно из первых определений было предложено в начале XX века известным экономистом Йозефом Шумпетером: «инновации — процесс создания новой производственной функции или новой комбинации производственных факторов, осуществляемой предпринимателем» [1]. Инновации могут

создаваться не только в экономической или технологической сфере, но и на любом этапе производственного процесса, включая изменения в организации деятельности компаний и взаимодействиях с другими субъектами [1].

Система здравоохранения может извлечь огромную пользу из принятия и внедрения инновационных мер, а масштабные проблемы, возникшие в результате пандемии коронавирусной инфекции 2019 г. (COVID-19), еще больше подчеркнули важность внедрения инноваций в здравоохранении. Однако в реальной жизни, особенно при напряженных рабочих нагрузках и неоптимальных физических, экономических и нормативных условиях, внедрение новых стратегий работы может оказаться чрезвычайно сложной задачей [2].

Наше исследование было сосредоточено на шести важных областях исследований, которые соответствуют инновациям: искусственный интеллект, виртуальная реальность, телемедицина, микробиом, эндоскопия высокого разрешения и робототехника.

Искусственный интеллект

Искусственный интеллект – это машинный интеллект, который впервые появился в 1956 г. Термин «искусственный интеллект» (ИИ) обычно использовался для описания машин (или компьютеров), которые имитируют человеческие «когнитивные» функции (например, обучение и решение проблем), связанные с человеческим мышлением [3]. ИИ имеет иерархию из четырех подтипов (доменов) [4]:

1. Искусственный интеллект (artificial intelligence) – алгоритмы, выполняющие задачи, которые обычно требуют человеческого интеллекта, например, процесс диагностики.
2. Машинное обучение (machine learning) – подтип искусственного интеллекта, в котором алгоритмы обучаются выполнению задач путем изучения шаблонов из данных, а не путем явного программирования, например, диагностического алгоритма.
3. Обучение представлению (representation learning) – подтип машинного обучения, при котором алгоритмы самостоятельно изучают наилучшие функции, необходимые для классификации данных.
4. Глубокое обучение (deep learning) – тип обучения представлению, при котором алгоритмы изучают композицию признаков, отражающих иерархию структур в данных, и обеспечивают вывод детальной классификации изображений.

Количество публикаций об искусственном интеллекте в литературе по гастроэнтерологии за последние пару лет выросло в геометрической прогрессии. В настоящее время мы используем системы искусственного интеллекта для анализа данных [5–7], для моделей прогнозирования исходов заболевания, прогноза и реакции на лечение [8–11], а также для анализа изображений во время эндоскопии вживую [12, 13] и анализа изображений после эндоскопии [14–16]. Более активное сотрудничество с экспертами в области искусственного интеллекта может улучшить вышеуказанные модели с помощью анализа больших данных. Таким образом, мы

можем прийти к более обоснованным выводам по конкретному случаю, улучшить стратификацию пациентов и предложить индивидуальное лечение. Усовершенствованный анализ данных с использованием передовых алгоритмов для бесплатного анализа текста позволит добиться дальнейшего прогресса. Кроме того, улучшенный анализ изображений может обеспечить более высокий уровень обработки данных. Это может обеспечить точный анализ патологии в режиме реального времени, облегчая принятие решений и даже делая биопсию ненужной в отдельных случаях [17].

Важна также технология «интеллектуального анализа текста», основанная на современных вычислительных мощностях и машинном обучении, что позволяет извлекать широкомасштабные данные и может быть использовано для характеристики тенденций и изучения динамики в области исследований [18].

Для оптимизации работы медицинских сотрудников, которые занимаются также научной деятельностью, искусственный интеллект может быть полезен для быстрого поиска нужной информации, редактирования и перевода текстов. Таким образом, врач из категории узкого специалиста сможет перейти в категорию востребованного Т-специалиста, обладающего навыками работать с новейшими технологиями (Т-специалист (T-shaped) – это специалист, являющийся экспертом в своей узкой нише, но разбирающийся и в других областях).

Виртуальная реальность

В настоящее время виртуальная реальность (VR) практически не используется в медицинской повседневной практике. В ближайшей перспективе VR-визуализация может использоваться в учебных целях.

Наиболее известным из существующих вариантов применения виртуальной реальности являются авиасимуляторы, а виртуальная реальность является краеугольным камнем при обучении пилотов. За последние два десятилетия виртуальная реальность набирает популярность и в медицинской практике, в частности при подготовке хирургов.

Естественно, виртуальная реальность имеет большие преимущества при использовании трехмерной (3D) модели для обучения [19, 20]. Кроме того, 3D-модели могут помочь хирургам в планировании и репетиции будущих операций, а также в обучении пациентов и понимании предстоящей процедуры. Другие темы исследований касаются использования виртуальной реальности пациентами во время реабилитации в связи с различными заболеваниями. Особый интерес был связан с использованием виртуальной реальности в качестве метода отвлечения внимания во время лечения боли и хронических болей, вызывая нейрофизиологические изменения, выходящие за рамки простого отвлечения, например, при травмах спинного мозга и даже фантомных болях после ампутации [21–24].

Виртуальная реальность может быть полезна при обучении студентов, ординаторов, при обучении эндоскопии и планировании сложных эндоскопических процедур. Кроме того, внедрение виртуальной реальности может уменьшить боль во время эндоскопических процедур

Таблица
**Классификация средств для коррекции нарушений
микробиоты кишечника**

Антибактериальные препараты	Системные Невсасывающиеся (действуют преимущественно в желудочно-кишечном тракте)
Пробиотики – живые микроорганизмы, которые при введении в адекватном количестве оказывают положительный эффект на здоровые организмы	Моноштаммовые Мультиштаммовые
Пребиотики – компоненты пищи, которые не перевариваются и не усваиваются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, но ферментируются индигенной микробиотой кишечника человека и стимулируют ее рост и жизнедеятельность	Однокомпонентные Поликомпонентные
Комбинированные средства	Синбиотики – комбинация пробиотиков и пребиотиков Симбиотики – мультиштаммовые пробиотики
Метабиотики (постбиотики) – бактериальные метаболиты и/или сигнальные молекулы с известной химической структурой, которые оптимизируют состав и функции индигенной микробиоты	Однокомпонентные Поликомпонентные
Таргетные метабиотики – метабиотики, способствующие восстановлению и поддержанию микробиоты при заболеваниях отдельных органов и систем	Однокомпонентные Поликомпонентные
Трансплантация фекальной микробиоты	
Аутопробиотики, в том числе из биобанка	

и избавить от необходимости применения усиленных седативных препаратов. Пациенты могут воспользоваться 3D-моделями предстоящих медицинских процедур и манипуляций, что будет способствовать улучшению их информированности о предстоящем исследовании, а также снятию тревожности и страха перед обследованием или операцией. В реабилитации пациентов виртуальная реальность, вероятно, может быть использована для лечения нарушений моторики желудочно-кишечного тракта, симптомов хронической тазовой боли и т. д.

Телемедицина

Телемедицина может существенно оптимизировать ведение пациентов, с ее помощью можно держать связь с больными для направления их в сторону оптимизации повседневной деятельности и коррекции неправильного образа жизни. Кроме того, она может улучшить соблюдение пациентами назначений специалистов и обеспечить постоянную и расширенную связь с медицинскими работниками. Этот метод особенно полезен у больных хроническими заболеваниями, особенно нуждающихся в динамическом наблюдении [25, 26]. Важность телемедицины при регулярном уходе за пациентами была особенно продемонстрирована во время пандемии COVID-19, которая подчеркнула необходимость удаленного наблюдения за пациентами [27, 28]. Широкое внедрение телемедицины может потребовать обучения конкретных пациентов,

лиц, осуществляющих уход за ними, и инноваций для преодоления барьеров, препятствующих ее частому использованию, таких как недостаточная осведомленность и страх перед новыми технологиями [29, 30]. Благодаря улучшенному анализу данных внедрение телемедицины может улучшить уход за пациентами и процесс принятия решений при одновременном поддержании регулярного медицинского наблюдения за ними, сталкивающимися с различными медицинскими проблемами.

Микробиом

Тематика микробиома характеризуется большим количеством публикаций в области гастроэнтерологии и гепатологии, что отражает очевидную связь с физиологией и патофизиологией желудочно-кишечного тракта. Современные исследования микробиома сосредоточены как на изучении влияния определенных таксонов на развитие различных заболеваний, включая воспалительные заболевания кишечника (ВЗК) и злокачественные новообразования желудочно-кишечного тракта [31–34], так и на поиске эффективных способов коррекции нарушений кишечной микробиоты.

Эволюция развития биотических препаратов для коррекции изменений микробиоты кишечника шла от применения системных антибиотиков к появлению жидких пробиотиков, пребиотиков, а затем через капсульные мультисимбиотики и синбиотики к появлению таргетных метабиотиков (*табл.*).

Отдельно хочется отметить инновации в области биотехнологий, которые связаны с разработкой метабиотиков. В состав метабиотиков, или постбиотики, входят бактериальные метаболиты и/или сигнальные молекулы с известной химической структурой, которые оптимизируют состав и функции индигенной микробиоты, в том числе способствуют улучшению иммунитета и метаболизма человека. Большинство современных метабиотиков являются однокомпонентными и содержат только активные метаболиты в виде основных короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), преимущественно бутирата. Важность создания поликомпонентных метабиотиков, содержащих несколько групп активных метаболитов, обсуждалась на XII Российском форуме технологий OPENBIO, посвященном инновационным биотехнологическим разработкам [35]. Актуально также использование таргетных метабиотиков, т. е. метабиотиков, способствующих восстановлению и поддержанию микробиоты при заболеваниях отдельных органов и систем. Таргетные метабиотики, как правило, содержат не только бактериальные метаболиты, но и дополнительные вещества, обладающие позитивными эффектами, направленными на оптимизацию функционирования определенного органа или системы. Яркими представителями таргетных метабиотиков являются инновационные российские продукты, объединяющие в своей формуле возможности метабиотиков (лизатов пробиотических бактерий) с лечебными свойствами лекарственных растений, – фитолизаты, разработанные новосибирскими учеными из наукограда Кольцово. Фитолизаты представляют собой четырехкомпонентные таргетные метабиотики, которые получают за счет сложной молекулярно-биологической методики трехэтапного бережного ферментативного лизиса 24 штаммов нормобионтов. Помимо

активных метаболитов, в скрале которых находится более 30 КЦЖК (а не только бутират), в составе фитолизатов также содержатся еще три важных компонента:

1. Бактериоцины подавляют размножение патогенных микроорганизмов при дисбактериозе кишечника.
2. Антиоксиданты способствуют снижению воспалительного процесса в желудочно-кишечном тракте.
3. Структурные компоненты клеточных мембран усиливают борьбу иммунной системы против вирусной, бактериальной и грибковой инфекции в кишечнике.

Дополнительно в фитолизаты добавляются биологически активные соединения – стандартизированные экстракты горечей, витаминно-минеральные комплексы, пептиды, которые усиливают действие метаболитов в нужном векторе.

В качестве альтернативной персонифицированной микробной терапии рассматривается трансплантация фекального микробиома (ТФМ) в комплексном лечении различных заболеваний, в том числе псевдомембранозного колита, ВЗК и целого ряда злокачественных заболеваний [31–34]. Однако следует помнить, что ТФМ – это трансплантация органа, следовательно, требования к донору должны быть достаточно высокими, чтобы избежать осложнений, к которым относятся не только проявления диспепсии (метеоризм, диарея, дискомфорт и/или боли в животе, тошнота и/или рвота, повышение температуры тела), но и синдром системного воспалительного ответа и повышенный риск инфицирования бактериями и/или вирусами из фекалий донора [36]. Более безопасной и патогенетически обоснованной альтернативой ТФМ может быть использование аутопробиотиков – штаммов нормальной (индигенной) микробиоты, выделенных от конкретного индивидуума и предназначенных для коррекции его микробиоты [37].

Усовершенствованная эндоскопия

В последние годы были внедрены различные технические усовершенствования, включая эндоскопы с высоким разрешением и большим увеличением, которые позволяют улучшить обнаружение патологий, зонды малого диаметра с высоким разрешением, микроэндоскопы с высоким разрешением (HRME), узкополосную визуализацию и т.д. [38–41]. Усовершенствования и исследования в этой области являются обычной практикой, и в ближайшие годы прогнозируются новые технические усовершенствования, которые позволят улучшить эндоскопический обзор и улучшить работу эндоскопа (включая лучшую очистку кишечника) [42, 43].

Робототехника

Рука об руку с эндоскопией высокого разрешения идет робототехника, которая все чаще используется в диагностических целях. Например, в капсульной эндоскопии роботизированная магнитная навигационная система позволяет точно направлять движение капсулы со встроенным магнитом во время эндоскопических манипуляций. Это позволяет получать подробные изображения внутренних органов без традиционных инвазивных процедур; выполнять терапевтические процедуры, например биопсию или удаление полипа, благодаря тому, что капсула снабжена небольшим тросом.

Для терапевтической эндоскопии доступны различные роботизированные эндоскопические системы [44]. Интересен тактильный телехирургический робототехнический комплекс, который позволяет исследовать ткань в зоне эндоскопического осмотра на предмет ее однородности и плотности, создавая эффект осязания [45]. Для обеспечения дальнейшего успеха и внедрения роботизированного эндоскопа в клиническую практику важны три аспекта: 1) демонстрация клинической безопасности и экономической эффективности устройства; 2) широкая доступность возможностей целенаправленного обучения для повышения технических навыков специалистов; 3) постоянное выявление новых клинических применений, выходящих за рамки текущего использования эндоскопа [46].

Также актуальна инновационная разработка робота-хирурга, которую в перспективе можно будет использовать в различных областях хирургии, в том числе в абдоминальной хирургии. Применение этой инновации позволит достичь высокой точности и обеспечить устранение тремора, что критически важно при работе с тончайшими сосудами и нервами. Создание же телеуправления и 3D-визуализация обеспечат возможность проводить операции дистанционно (в перспективе) и предоставят хирургу стереоскопическое изображение операционного поля, что значительно улучшит восприятие глубины [47, 48].

К сожалению, пока не все медицинские учреждения обладают роботизированными системами и обученными специалистами, а стоимость оборудования может быть высокой.

Заключение

Следует отметить, что активное внедрение инновационных технологий – искусственного интеллекта, виртуальной реальности, телемедицины, исследований микробиома, усовершенствованной эндоскопии и робототехники – открывает новую эру в гастроэнтерологии. Эти инструменты кардинально преобразуют подходы к диагностике, лечению и реабилитации пациентов, способствуя переходу к персонализированной и предиктивной медицине. Они не только повышают точность и эффективность медицинских вмешательств, но и оптимизируют работу врачей, улучшают доступность помощи и снижают затраты. Несмотря на существующие ограничения, такие как стоимость внедрения и необходимость обучения, будущее гастроэнтерологии видится неразрывно связанным с дальнейшей интеграцией и развитием этих технологий. Важно, что они призваны не заменить специалиста, а стать мощным инструментом в его руках для достижения главной цели – улучшения качества жизни и здоровья пациентов.

Список литературы / References

1. Экономика инноваций: учебник / под ред. Иващенко Н.П. М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2024. ISBN 978-5-907690-72-1 [Электронный ресурс]. URL: <https://books.econ.msu.ru/Economics-of-innovation/> (дата обращения: 12.10.2025). Economics of Innovation: textbook / ed. Ivashchenko, N.P. M.: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 2024. ISBN 978-5-907690-72-1 [Electronic resource]. URL: <https://books.econ.msu.ru/Economics-of-innovation/> (access date: 12.10.2025).
2. Klang E, Soffer S, Tsur A, Shachar E, Lahat A. Innovation in Gastroenterology-Can We Do Better? *Biomimetics* (Basel). 2022 Mar 19; 7 (1): 33. DOI: 10.3390/biomimetics7010033. PMID: 35323190; PMCID: PMC8945015.
3. Yang YJ, Bang CS. Application of artificial intelligence in gastroenterology. *World J Gastroenterol*. 2019 Apr 14; 25 (14): 1666–1683. DOI: 10.3748/wjg.v25.i14.1666. PMID: 31011253; PMCID: PMC6465941.
4. Goodfellow I, Bengio Y., Courville A. MIT Press; Cambridge, MA: 2016. Deep learning. ISBN: 978-0262035613.
5. Massimino L, Lamparelli L.A., Houshyar Y., D'Alessio S., Peyrin-Biroulet L., Vetrano S., Danese S., Ungaro F. The inflammatory bowel disease transcriptome and metatranscriptome meta-analysis (IBD TaMMA) framework. *Nat. Comput. Sci*. 2021; 1: 511–515. DOI: 10.1038/s43588-021-00114-y
6. Modos D., Thomas J.P., Korcsmaros T. A handy meta-analysis tool for IBD research. *Nat. Comput. Sci*. 2021; 1: 571–572. DOI: 10.1038/s43588-021-00124-w

7. Sahoo D., Swanson L., Sayed I.M., Katkar G.D., Ibeawuchi S.-R., Mittal Y., Pranadina R.F., Tindle C., Fuller M., Stec D.L. Artificial intelligence guided discovery of a barrier-protective therapy in inflammatory bowel disease. *Nat. Commun.* 2021; 12: 4246. DOI: 10.1038/s41467-021-24470-5
8. Biasci D., Lee J.C., Noor N.M., Pombal D.R., Hou M., Lewis N., Ahmad T., Hart A., Parkes M., McKinney E.F. A blood-based prognostic biomarker in IBD. *Gut*. 2019; 68: 1386–1395. DOI: 10.1136/gutjnl-2019-318343
9. Wajee A.K., Lipson R., Wiitala W.L., Zhang Y., Liu B., Zhu J., Wallace B., Govani S.M., Sridham R.W., Hayward R. Predicting hospitalization and outpatient corticosteroid use in inflammatory bowel disease patients using machine learning. *Inflamm. Bowel Dis.* 2018; 24: 45–53. DOI: 10.1093/ibd/izx007
10. Wajee A.K., Sauder K., Patel A., Segar S., Liu B., Zhang Y., Zhu J., Sridham R.W., Bailis U., Higgins P.D. Machine learning algorithms for objective remission and clinical outcomes with thiopurines. *J. Crohn's Colitis*. 2017; 11: 801–810. DOI: 10.1093/ecco-jcc/jjx014
11. Wajee A.K., Wallace B.L., Cohen-Mekelburg S., Liu Y., Liu B., Sauder K., Sridham R.W., Zhu J., Higgins P.D. Development and validation of machine learning models in prediction of remission in patients with moderate to severe Crohn disease. *JAMA Netw. Open*. 2019; 2: e193721. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.3721
12. Milluzzo S.M., Cesaro P., Grazioli L.M., Olivari N., Spada C. Artificial intelligence in lower gastrointestinal endoscopy: The current status and future perspective. *Clin. Endosc.* 2021; 54: 329. DOI: 10.5946/ce.2020.082
13. Repici A., Spadaccini M., Antonelli G., Corrao L., Maselli R., Galtieri P.A., Pellegatta G., Capogreco A., Milluzzo S.M., Lallo G. Artificial intelligence and colonoscopy experience: Lessons from two randomised trials. *Gut*. 2022; 71: 757–765. DOI: 10.1136/gutjnl-2021-324471
14. Klang E., Barash Y., Levartovsky A., Lederer N.B., Lahat A. Differentiation Between Malignant and Benign Endoscopic Images of Gastric Ulcers Using Deep Learning. *Clin. Exp. Gastroenterol.* 2021; 14: 155. DOI: 10.2147/CEG.S292857
15. Soffer S., Klang E., Shimon O., Nachmias N., Eliakim R., Ben-Horin S., Kopylov U., Barash Y. Deep learning for wireless capsule endoscopy: A systematic review and meta-analysis. *Gastrointest. Endosc.* 2020; 92: 831–839.e8. DOI: 10.1016/j.gie.2020.04.039
16. Klang E., Barash Y., Yehuda Margalit R., Soffer S., Shimon O., Alshesh A., Ben-Horin S., Michal Amitai M., Eliakim R., Kopylov U. Deep learning algorithms for automated detection of Crohn's disease ulcers by video capsule endoscopy. *Gastrointest. Endosc.* 2020; 91: 606–613. e2. DOI: 10.1016/j.gie.2019.11.012
17. Le Berre C., Sandborn W.J., Atrichi S., Devignes M.D., Fournier L., Smail-Tabbone M., Danese S., Peyrin-Biroulet L. Application of Artificial Intelligence to Gastroenterology and Hepatology. *Gastroenterology*. 2020; 158: 76–94.e2. DOI: 10.1053/j.gastro.2019.08.058
18. Song M., Kim S.Y. Detecting the knowledge structure of bioinformatics by mining full-text collections. *Scientometrics*. 2013; 96: 183–201. DOI: 10.1007/s11192-012-0900-9
19. Seymour N.E., Gallagher A.G., Roman S.A., O'Brien M.K., Bansal V.K., Andersen D.K., Satava R.M. Virtual reality training improves operating room performance: Results of a randomized, double-blinded study. *Ann. Surg.* 2002; 236: 458. DOI: 10.1097/0000658-200210000-00008
20. Lewis T., Aggarwal R., Rajaratnam N., Grantcharov T., Darzi A. Training in surgical oncology – The role of VR simulation. *Surg. Oncol.* 2011; 20: 134–139. DOI: 10.1016/j.suronc.2011.04.005
21. Yeung A.W.K., Tosevska A., Klager E., Eibensteiner F., Laxar D., Stoyanov J., Glisic M., Zeiner S., Kulnik S.T., Cruzten R. Virtual and augmented reality applications in medicine: Analysis of the scientific literature. *J. Med. Internet Res.* 2021; 23: e25499. DOI: 10.2196/j25499
22. Spiegel B.M. Virtual medicine: How virtual reality is easing pain, calming nerves and improving health. *Med. J. Aust.* 2018; 209: 245–247. DOI: 10.5694/mja17.00540
23. Gupta A., Scott K., Dukewich M. Innovative technology using virtual reality in the treatment of pain: Does it reduce pain via distraction, or is there more to it? *Pain Med.* 2018; 19: 151–159. DOI: 10.1093/pm/pnx109
24. Pozeg P., Palluel E., Ronchi R., Solcà M., Al-Khodairy A.-W., Jordan X., Kassouha A., Blanke O. Virtual reality improves embodiment and neuropathic pain caused by spinal cord injury. *Neurology*. 2017; 89: 1894–1903. DOI: 10.1212/WNL.00000000000004585
25. Cross R.K., Langenberg P., Regueiro M., Schwartz D.A., Tracy J.K., Collins J.F., Katz J., Ghazi L., Patil S.A., Quesada S.M. A randomized controlled trial of TELeMedicine for patients with inflammatory bowel disease (TELE-IBD) Off. J. Am. Coll. Gastroenterol. ACG. 2019; 114: 472–482. DOI: 10.1038/s41395-018-0272-8
26. Su G.L., Glass L., Tapper E.B., Van T., Wajee A.K., Sales A.E. Virtual Consultations Through the Veterans Administration SCAN-ECHO Project Improves Survival for Veterans with Liver Disease. *Hepatology*. 2018; 68: 2317–2324. DOI: 10.1002/hep.30074
27. Lahat A., Shatz Z. Telemedicine in clinical gastroenterology practice: What do patients prefer? *Ther. Adv. Gastroenterol.* 2021; 14: 1756284821989178. DOI: 10.1177/1756284821989178
28. Shah E.D., Amann S.T., Karltz J.J. The time is now: A guide to sustainable telemedicine during COVID-19 and beyond. *Am. J. Gastroenterol.* 2020; 115: 1371–1375. DOI: 10.14309/ajg.0000000000000767
29. Scott Kruse C., Karem P., Shifflett K., Vegi L., Ravi K., Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review. *J. Telemed. Telecare*. 2018; 24: 4–12. DOI: 10.1177/1357633X16674087
30. Kontos E., Blake K.D., Chou W.-Y.S., Prestin A. Predictors of eHealth usage: Insights on the digital divide from the Health Information National Trends Survey 2012. *J. Med. Internet Res.* 2014; 16: e3117. DOI: 10.2196/jmir.3117
31. Schirmer M., Garner A., Vlamakis H., Xavier R. J. Microbial genes and pathways in inflammatory bowel disease. *Nat. Rev. Microbiol.* 2019; 17: 497–511. DOI: 10.1038/s41579-019-0213-6
32. Lee M., Chang E.B. Inflammatory bowel diseases (IBD) and the microbiome – Searching the crime scene for clues. *Gastroenterology*. 2021; 160: 524–537. DOI: 10.1053/j.gastro.2020.09.056
33. Smef A., Kupcinkas J., Link A., Hold G.L., Barnschein J. The role of microbiota in gastrointestinal cancer and cancer treatment – chance or curse? *Cell. Mol. Gastroenterol. Hepatol.* 2022; 13: 857–874. DOI: 10.1016/j.jcmgh.2021.08.013
34. Baruch E.N., Youngster I., Ben-Betzalel G., Ortenberg R., Lahat A., Katz L., Adler K., Dick-Necula D., Raskin S., Bloch N. Fecal microbiota transplant promotes response in immunotherapy-refractory melanoma patients. *Science*. 2021; 371: 602–609. DOI: 10.1126/science.abb5920
35. Материалы круглого стола «Микробиом и метаболическое здоровье человека», проведенного 24.09.2025 в рамках XII Российского форума технологий OPENBIO [Электронный ресурс]. URL: <https://program.openbio.ru/#/tab/1303017111-2> [дата обращения: 05.10.2025].
Proceedings of the round table «Microbiome and Human Metabolic Health» held on September 24, 2025, as part of the XII Russian Technology Forum OPENBIO [electronic resource]. URL: <https://program.openbio.ru/#/tab/1303017111-2> (accessed October 5, 2025). (In Russ.).
36. Wang S., Xu M., Wang W., Cao X., Piao M., Khan S., Yan F., Cao H., Wang B. Systematic Review: Adverse Events of Fecal Microbiota Transplantation. *PLoS One*. 2016 Aug 16; 11 (8): e0161174. DOI: 10.1371/journal.pone.0161174. PMID: 27529553; PMCID: PMC4986962
37. Suvarov A., Karaseva A., Kotyleva M., et al. Autoprobiotics as an approach for restoration of personalised microbiota. *Front. Microbiol.* 2018; 9: 1869. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01869
38. Zeidan A., Do D., Kang D., Ikuta M., Ryu J., Tearey G.J. High-Resolution, Wide-Field, Forward-Viewing Spectrally Encoded Endoscope. *Lasers Surg. Med.* 2019; 51: 808–814. DOI: 10.1002/lsm.23102
39. Kwon R.S., Adler D.G., Chand B., Conway J.D., Diehl D.L., Kantsevov S.V., Mamula P., Rodriguez S.A., Shah R.J., Song L.M.W.K. High-resolution and high-magnification endoscopes. *Gastrointest. Endosc.* 2009; 69: 399–407. DOI: 10.1016/j.gie.2008.12.049
40. Louie J.S., Richards-Kortum R., Anandasabapathy S. Applications and advancements in the use of high-resolution microendoscopy for detection of gastrointestinal neoplasia. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2014; 12: 1789–1792. DOI: 10.1016/j.cgh.2014.08.004
41. Doyama H., Nakanishi H., Yao K. Image-enhanced endoscopy and its corresponding histopathology in the stomach. *Gut Liver*. 2021; 15: 329. DOI: 10.5009/gnl19392
42. Gross S.A., Gerson L.B., Lewis B.S., Ganz R.A. A novel device for improving visualization in an inadequately prepared colon. *Gastrointest. Endosc.* 2018; 87: 883–888. DOI: 10.1016/j.gie.2017.10.028
43. van Keulen K.E., Neumann H., Schattgenberg J.M., van Esch A.A., Kievit W., Spaander M.C., Siersema P.D. A novel device for intracolonic cleansing of inadequately prepared colonoscopy patients: A feasibility study. *Endoscopy*. 2019; 51: 85–92. DOI: 10.1055/a-0632-1927
44. Ho S.H., Chiu P.W. Robotic endoscopy in gastroenterology: Has it come of age? *JGH Open*. 2020 Oct 21; 4 (5): 782–783. DOI: 10.1002/jgh3.12413. PMID: 33102744; PMCID: PMC7578321
45. Буданов В.М., Козорезов Ю.Ю., Мартыненко Ю.Г., Перов Ю.А., Соколов М.Э., Фрета М. Возможность использования тактильного телехирургического робототехнического комплекса при обследовании верхних отделов желудочно-кишечного тракта. Вестник новых медицинских технологий. 2006; XIII (1): 126–128
Budanov V.M., Kozorezov Yu. Yu., Martynenko Yu.G., Perov Yu.L., Sokolov M.E., Fleta M. Possibility of using a tactile telesurgical robotic complex in examining the upper gastrointestinal tract. *Bulletin of New Medical Technologies*. 2006; XIII (1): 126–128. (In Russ.).
46. Kaan H.L., Ho K.Y. Clinical adoption of robotics in endoscopy: Challenges and solutions. *JGH Open*. 2020 Sep 9; 4 (5): 790–794. DOI: 10.1002/jgh3.12412. PMID: 33102746; PMCID: PMC7578317
47. Потапов П.А., Тимошенко Д.С., Армашов В.П., Матвеев Н.А., Белоусов А.М. Роботическая хирургия: вчера, сегодня, завтра. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2022; (11): 29–35.
Potapov P.A., Timoshenko D.S., Armashev V.P., Matveev N.L., Belousov A.M. Robotic-assisted surgery: yesterday, today, tomorrow. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022; (11): 29–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia20221129>
48. Хитарян А.Г., Матвеев Н.А., Веллев К.С. и др. Первый клинический опыт использования новой телеуправляемой роботизированной системы Senhance в общей хирургии в России. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2022; (9): 5–13.
Khitaryan A.G., Matveev N.L., Veliev K.S. et al. The first clinical experience of using the new Senhance remote-controlled robotic system in general surgery in Russia. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022; (9): 5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia20220915>

Статья поступила / Received 18.08.2025

Получена после рецензирования / Revised 15.10.2025

Принята в печать / Accepted 15.10.2025

Сведения об авторах

Барышникова Наталья Владимировна, к.м.н., доцент, младший научный сотрудник лаборатории медико-социальных проблем педиатрии¹, доцент кафедры внутренних болезней стоматологического факультета², научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии³.
E-mail: baryshnikova_nv@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7429-0336

Шапов Николай Андреевич, студент 5-го курса бакалавриата⁴.
E-mail: mehanik144@gmail.com

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» Минобрнауки России, Санкт-Петербург, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Россия

Автор для переписки: Барышникова Наталья Владимировна.
E-mail: baryshnikova_nv@mail.ru

About authors

Baryshnikova Natalia V., PhD Med, associate professor, junior researcher at the Laboratory of Medical and Social Problems of Pediatrics¹, associate professor at Dept of Internal Medicine at the Faculty of Dentistry², researcher at the Laboratory of Molecular Microbiology³. E-mail: baryshnikova_nv@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7429-0336

Shchapkov Nikolay A., 5th-year undergraduate student⁴.
E-mail: mehanik144@gmail.com

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

² Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

³ Institute of experimental medicine, St. Petersburg, Russia

⁴ Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Baryshnikova Natalia V. E-mail: baryshnikova_nv@mail.ru

