

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ ЭНДОМЕТРИОЗА

MACHINE LEARNING IN THE DIAGNOSIS OF ENDOMETRIOSIS

A. Rusinova

Summary. This article examines the application of machine learning methods in the diagnosis of endometriosis, highlighting the current state of research, achievements, and potential directions for further work. Endometriosis is a chronic condition that significantly affects women's morbidity and quality of life. Traditional diagnostic methods, including imaging and invasive procedures, have their limitations, emphasizing the need for the integration of modern technologies. The main machine learning algorithms used for analyzing medical data are discussed, including classification, regression, and clustering methods. Factors contributing to the successful diagnosis of endometriosis are identified, such as the volume and quality of data, as well as approaches to data processing and analysis. In conclusion, it is noted that machine learning can significantly improve the accuracy of endometriosis diagnosis; however, more clinical trials and standards are needed to achieve clinical practice.

Keywords: endometriosis, machine learning, diagnostics, noninvasive diagnostics, algorithms, medical data, chronic disease.

Русинова Анастасия Константиновна

Врач акушер-гинеколог, БУЗ ВО Воронежская областная
клиническая больница №1
rusiknastya@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается применение методов машинного обучения в диагностике эндометриоза, освещая текущее состояние исследований, их достижения и потенциальные направления для дальнейшей работы. Эндометриоз — это хроническое заболевание, сопровождающееся значительной заболеваемостью и ухудшением качества жизни женщин. Традиционные методы диагностики, включая визуализацию и инвазивные процедуры, имеют свои ограничения, что подчеркивает необходимость внедрения современных технологий. Обсуждаются основные алгоритмы машинного обучения, применяемые для анализа медицинских данных, включая методы классификации, регрессии и кластеризации. Выявлены факторы, способствующие успешной диагностики эндометриоза, такие как объем и качество данных, а также подходы к обработке и анализу информации. В заключение отмечается, что машинное обучение может существенно улучшить точность диагностики эндометриоза, однако для достижения клинической практики необходимо больше клинических испытаний и стандартов.

Ключевые слова: эндометриоз, машинное обучение, диагностика, неинвазивная диагностика, алгоритмы, медицинские данные, хроническое заболевание.

Проблема эндометриоза изучается уже более 150 лет. Первое документированное упоминание о наличии эктопически расположенной ткани, аналогичной эндометрию, относится к 1854 году (Muller H., 1854). В 1860 году С. Von Rokitansky впервые описал микроскопические изменения, связанные с эндометриозом, включая присутствие желез эндометрия и стромы в патологических образованиях женских репродуктивных органов, и опубликовал данные об обнаружении таких очагов. Все последующие исследования по этой теме представляют собой, по сути, накопление оригинальных данных и попытки их систематизации и анализа.

Термин «эндометриоз» был введен В. Bell в 1892 году (Баскаков В.П. и др., 2002; Андреева Е.Н., Гаврилова Е.Ф., 2007), в то время как термин «аденомиоз» был представлен ранее, в 1860 году С. Von Rokitansky (Рухляда Н.Н., 2004). На сегодняшний день — более чем через век — многие специалисты рассматривают эти два состояния как полностью независимые.

По клиническим рекомендациям Министерства здравоохранения Российской Федерации 2024 года эндометриоз определяется как патологический процесс, в рамках которого обнаруживается ткань, морфологи-

чески и функционально схожая с эндометрием, вне полости матки [1]. Некоторые зарубежные исследователи также определяют эндометриоз как наличие подобной эндометрию ткани вне матки, однако такое определение не учитывает сложный симптоматический, патофизиологический и полисистемный характер этого состояния [2].

Многие авторы описывают эндометриоз как патологический рост ткани эндометрия вне матки, где эндометриоидные стромы и железы могут встречаться в брюшной полости, включая яичники, фаллопиевы трубы, заднюю стенку мочевого пузыря, сам мочевой пузырь и кишечник [3]. В России В.П. Баскаков считается пионером в изучении эндометриоза. В аннотации к его первой монографии «Эндометриозы» (1966) он отметил, что работа «посвящена малоизвестному, но достаточно распространенному заболеванию».

С тех пор подход к оценке распространенности и значимости этого заболевания претерпел значительные изменения. В современности эндометриоз признается одним из самых распространенных гинекологических заболеваний среди женщин репродуктивного возраста (Бек У. и др., 1997; Вихляева Е.М., Железнов Б.И., 1998; Сметник В.П., Тумилович Л.Г., 2001). Тем не менее, знания

о данной патологии находятся на уровне, сопоставимом с состоянием дел пятидесятилетней давности.

Согласно статистическим оценкам, эндометриоз затрагивает около 10 % женщин репродуктивного возраста, что составляет около 190 миллионов женщин в мире, согласно оценкам Всемирного банка за 2017 год [4,5]. Однако истинная распространенность этого заболевания остается неопределенной, поскольку окончательный диагноз требует хирургической визуализации. Оценки распространенности значительно варьируются в зависимости от исследуемой группы и диагностических методов [6].

Распространенность эндометриоза варьируется от 2 до 11 % среди бессимптомных женщин, от 5 до 50 % среди женщин с бесплодием и от 5 до 21 % среди лиц, госпитализированных с тазовой болью [4]. К традиционным эмбриональным, метапластическим и имплантационным теориям добавлены многочисленные исследования иммунологических нарушений и генетических факторов (Адамян Л.В. и др., 1998; Баскаков В.П. и др., 2002). Важную роль в патогенезе эндометриоза играют различные тканевые регуляторы (Бурлев В.А. и др., 2006; Ляшенко А.А. и др., 2006). Некоторые исследователи утверждают, что эндометриоз, в частности наружный генитальный, может рассматриваться как болезнь цивилизации (Вихляева Е.М., Железнов Б.И., 1998; Линде В.А., Татарова Н.А., 2005). Имеются данные, позволяющие рассматривать аденомиоз и наружный генитальный эндометриоз как независимые патологические процессы (Адамян Л.В. и др., 2006). Однако многие вопросы этиопатогенеза остаются нерешенными.

Симптомы эндометриоза могут варьироваться от легких до тяжелых. У женщин с минимальными или незначительными симптомами диагноз может быть поставлен слишком поздно, что затрудняет своевременное лечение [7]. Согласно литературным данным, эндометриоз диагностируется у 15–80 % женщин, которые прошли лапароскопическое вмешательство по поводу хронической тазовой боли. Основные жалобы пациенток с эндометриозом включают болевой синдром, проявляющийся дисменореей, диспареунией, хронической тазовой болью, дизурией и дисхезией [8]. Исследования показывают, что половина женщин, перенесших операцию по поводу эндометриоза, продолжают испытывать диспареунию, что негативно сказывается на их сексуальной жизни и отношениях с партнерами [9]. Анализ субъективной оценки здоровья по восьми ключевым аспектам показал значительное снижение общего здоровья у пациенток с эндометриозом по сравнению с контрольной группой [10].

По данным опубликованных исследований, заболеваемость эндометриозом в России за десять лет (с 1999

по 2009) увеличилась на 73 %, что связано как с улучшением диагностики, так и с возрастанием частоты лапароскопических операций. Подобные тенденции фиксируются и в других странах [11]. В США более 5 миллионов женщин страдают от эндометриоза [12]. По различным оценкам, данный диагноз чаще ставят женщинам в возрасте 25–34 лет, однако в последние годы болезнь все чаще выявляется и у подростков (11–14 лет), составляющих около 6 % всех пациенток [13]. Учитывая, что согласно современным данным, почти две трети пациенток с эндометриозом моложе 30 лет, органосберегающие стратегии лечения становятся приоритетными [14]. Также важен вопрос выбора терапии бесплодия у женщин старшего репродуктивного возраста или с хирургическими вмешательствами на яичниках в анамнезе, особенно с учетом снижения овариального резерва [15–19]. Наличие наружного генитального эндометриоза представляет собой сложную задачу для специалистов при выборе тактики ведения пациенток, особенно если имеется бесплодие и сниженный овариальный резерв.

Ход заболевания эндометриозом обычно негативно сказывается на психологическом состоянии, сексуальном здоровье, качестве жизни и социальной адаптации женщин. Биопсихосоциальная модель, которая интегрирует представления о соматических симптомах с данными из области психологии и нейробиологии, предполагает междисциплинарный подход к терапии данной патологии. Пограничные психические расстройства не специфичны для эндометриоза и могут быть следствием особенностей клинической картины. На фоне хронического болевого синдрома нередко развивается соматогенная депрессия. В зависимости от интенсивности болевого синдрома эмоционально-аффективные расстройства могут достигать субклинического уровня с легким снижением настроения и проявлениями тревоги относительно здоровья и будущего. В более серьезных случаях могут формироваться астенодепрессивные и астеноипохондрические синдромы, сопровождающиеся гиперестезией, раздражительной слабостью и повышенной утомляемостью. При развитии депрессивно-ипохондрического синдрома наблюдается выраженное снижение настроения с возможной суточной динамикой, ангедония и даже суицидальные мысли. Проблема бесплодия, часто связанная с эндометриозом, становится источником постоянной тревоги. У женщин отмечают изолированные или смешанные тревожные и депрессивные расстройства. Среди половых расстройств при эндометриозе наиболее характерна глубокая диспареуния, что может привести к снижению либидо, нарушению оргазма и возбуждения, а также к сниженной психологической удовлетворенности. Сексуальная патология усугубляется на фоне депрессивных состояний.

Некоторые исследователи поднимают вопросы, касающиеся психоземotionalного состояния, что высоко

обосновано, поскольку ключевой проблемой пациенток с эндометриозом является хроническая тазовая боль, которая существенно влияет на качество жизни женщин [20]. На самом деле, распространенность эндометриоза у женщин, страдающих от хронической тазовой боли, достигает 70 % [21].

Многоцентровое исследование, посвященное профессиональной деятельности пациенток с эндометриозом, показало, что симптомы заболевания негативно сказываются на продуктивности труда, эквивалентно потере около одного рабочего дня в неделю [22]. В другом исследовании 85 % пациенток с эндометриозом отметили заметное снижение качества своей работы, 19 % заявили, что не могут работать из-за боли, а 69 % продолжали трудиться, несмотря на болезненные ощущения [23].

Воспаление и иннервация в зонах эндометриозных поражений рассматриваются как причины тазовой боли [24]. Считается, что простагландин E2 (PGE2), ключевой медиатор воспаления и повышенной чувствительности к боли, играет важную роль в патогенезе эндометриоза [25]. Недавние исследования показали, что боль может быть связана с нервными волокнами и нейротрофическими факторами в очагах эндометриоза [26]. Несколько работ продемонстрировали наличие нейротрофических факторов, таких как фактор роста нервов (NGF), нейротрофин-3/5 (NT-3/5) и нейротрофический фактор головного мозга (BDNF) в эндометриозных имплантатах, эндометриозных кистах яичников и перитонеальной жидкости у страдающих эндометриозом.

Расходы на лечение эндометриоза, включая хирургическое удаление образований и гормональные препараты, часто вызывающие побочные эффекты и имеющие переменную эффективность, составляют примерно 4000 долларов на одну женщину, что сопоставимо с затратами на лечение других хронических заболеваний, таких как диабет 2 типа, болезнь Крона и ревматоидный артрит [27].

Расходы на лечение симптомов, таких как хроническая тазовая боль, дисменорея, глубокая диспареуния, дизурия, дисхезия, утомляемость и бесплодие, значительно превышают затраты на лечение эндометриоза, так как эти симптомы затрагивают физическое, психическое, сексуальное и социальное благополучие, а также продуктивность [28-30].

Классификация эндометриоза по четырем основным направлениям:

1. По локализации
2. По формам генитального эндометриоза
3. По степени тяжести отдельных форм
4. Количественные классификации, преимущественно для эндовидеохирургического пользования.

Изменение взглядов на частоту и значение эндометриоза для женщин репродуктивного возраста связано с прогрессом в области диагностических возможностей в медицине, и в гинекологии, в частности. До середины 1960-х годов диагноз ставился в основном на основе морфологического анализа хирургического и секционного материала (Баскаков В.П. и др., 2002). В период с середины 70-х до середины 80-х годов основной прогресс в диагностике как аденомиоза, так и наружного генитального эндометриоза был достигнут благодаря широкому применению гистеросальпингографии в гинекологической практике с использованием водорастворимых рентгеноконтрастных веществ (Баскаков В.П., 1990).

Позже, вначале в западных странах, а затем и в СССР, улучшение диагностики эндометриоза стало зависеть от внедрения и развития УЗИ и различных эндовидеохирургических методов (Стрижаков А.Н., Давыдов А.И., 1996а; Адамян Л.В. и др., 2006). В настоящее время эти методы продолжают расширяться, хотя их возможности остаются ограниченными. Дальнейшее улучшение диагностических методов может быть связано с более широким внедрением и совершенствованием таких технологий, как КТ и МРТ.

Традиционная диагностика эндометриоза включает клинические методы, такие как сбор анамнеза, и инструментальные исследования, такие как ультразвуковое исследование и лапароскопия. Однако эти методы имеют ограничения и могут не всегда быть достоверными для своевременного выявления заболевания. Например, лапароскопия является инвазивной процедурой, требующей хирургического вмешательства и общего наркоза, что не всегда оправданно.

На данный момент не существует неинвазивных методов, способных надежно диагностировать или стадировать эндометриоз. Лапароскопия с гистологической верификацией остается «золотым стандартом» диагностики эндометриоза. Она позволяет подтвердить наличие заболевания через прямую визуализацию, определить клинические формы и степень распространенности, выявить инфильтративный эндометриоз и эндометриомы, а также сопутствующие заболевания. С использованием биопсии ткани и морфологического исследования образца можно оценить агрессивность поражений и возможность назначения медикаментозного лечения. В настоящее время диагностическая лапароскопия чаще используется как оперативное вмешательство.

Ранее диагноз эндометриоза устанавливался во время лапаротомии, однако сегодня лапароскопия предоставляет возможность для обследования органов брюшной полости и малого таза, что позволяет визуализировать эндометриозные гетеротопии, их иссечение и последующее гистологическое исследование. Это,

в свою очередь, ведет к более точной постановке диагноза и определению типа и стадии заболевания [31–34].

Диагностическая лапароскопия начала развиваться в начале XX века, но прибавила клиническое значение примерно 60 лет назад благодаря появлению холодного источника света и стержневой линзовой системы Hopkins [35, 36]. В Европе гинекологическую лапароскопию начали применять с 1930-х годов благодаря новаторским исследованиям Raoul Palmer (Франция), Hans Fraugenhain (Германия) и Patrick Steptoe (Англия).

В России развитие лапароскопии стартовало в начале XX века благодаря работам петербургского гинеколога Д.О. Оттом, который назвал свою методику вентроскопией. В 1910 году был введен термин «лапароскопия», который сохранился и используется до сих пор. Метод постепенно развивался, с появлением новых инструментов и совершенствованием техники. В 1937 году Andersen впервые успешно выполнил лапароскопическую стерилизацию. Позже лапароскопия начала активно развиваться в Северной Америке благодаря Jordan M. Phillips, который в 1971 году основал Американскую ассоциацию гинекологических лапароскопистов.

В 1973 году Shapiro и Adler впервые провели органосохраняющую операцию при трубной беременности. Однако основоположником гинекологической лапароскопии по праву считается Kurt Semm, который разработал важнейшие принципы лапароскопии в гинекологии, создал множество инструментов и показал, что этот метод безопасен, экономически целесообразен и менее травматичен по сравнению с традиционной лапаротомией. В 1975 году был опубликован значительный труд Semm под названием «Атлас гинекологической лапароскопии и гистероскопии», который помог преодолеть недоверие к этой методике — осложнения при его вмешательствах составляли всего 0,28 %.

На международной арене активно проводится работа по повышению осведомленности, диагностике и лечению эндометриоза. Глобальный консорциум исследователей эндометриоза недавно опубликовал свои рекомендации, определив приоритетные направления исследований и обозначив необходимость разработки неинвазивного инструмента скрининга для улучшения диагностики.

Диагностика эндометриоза включает гинекологический осмотр, ультразвуковое исследование, МРТ и лапароскопию, однако эти методы являются дорогостоящими и инвазивными, требуют участия специалистов. В литературе подчеркивается необходимость неинвазивных инструментов скрининга для упрощения диагностического процесса и сокращения времени до постановки диагноза, а также для уменьшения количества женщин, подвергающихся хирургическому вмешательству.

Некоторые исследования исследовали возможность применения неинвазивных инструментов, включая биомаркеры, полученные из анализов крови. Например, Низенблат и др. проанализировали работы, в которых неинвазивные анализы крови сочетались с трансвагинальным ультразвуком для улучшения точности диагностики эндометриоза органов малого таза. Однако точность, достигнутая в этих исследованиях, оказалась недостаточной для замены лапароскопии. Рассматривались различные биомаркеры, такие как CA-125 и показатели эндометрия (плотность нервных волокон), которые показали разные уровни точности и потенциальной клинической полезности. Тем не менее, эти процедуры часто недостаточно точно предсказывают эндометриоз и сами по себе являются инвазивными или полуинвазивными [37,38].

Другим неинвазивным инструментом для предсказания эндометриоза являются геномные данные. Исследования выявили несколько биомаркеров генов, ассоциированных с эндометриозом, и разработали модели на основе машинного обучения для его предсказания. Использование симптомов, о которых сообщают пациентки, также представляет собой неинвазивный подход, однако многие из существующих исследований включали не только указанные симптомы, но и визуализацию и клинические параметры, которые доступны лишь на более поздних стадиях диагностики и часто требуют значительных затрат.

Обзорное исследование Surrey и др. выявило только одно исследование, в котором использовался опросник, основанный исключительно на сообщаемых пациентами симптомах. В этом исследовании применялась множественная логистическая регрессия для анализа данных женщин репродуктивного возраста, перенесших лапароскопию, с целью выявления связей между их симптомами и эндометриозом. Выяснили, что только один симптом — менструальная боль — значительно отличался у женщин с диагнозом эндометриоз от здоровых.

Машинное обучение может значительно упростить диагностику эндометриоза благодаря своей способности обрабатывать и анализировать большие объемы данных. Алгоритмы способны интегрировать многочисленные факторы, включая медицинские изображения, результаты лабораторных тестов и данные анамнеза каждой пациентки, что позволяет формировать более точное представление о состоянии здоровья и вероятности наличия эндометриоза (Basta et al., 2020) [39].

Один из ключевых аспектов успешного применения машинного обучения заключается в сборе качественных данных. Данные о здоровье женщин с эндометриозом должны быть обширными и разнообразными, включая клиническую информацию, результаты визуализации,

генетическую информацию и данные об образе жизни (Sinha et al., 2024) [40]. Стандартизированные данные о симптомах, такие как оценки боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), критически важны для разработки надежных моделей (Miller et al., 2024) [41].

В настоящее время активно развиваются базы данных и платформы, специально созданные для хранения медицинской информации. Эти данные могут быть использованы для анализа с применением глубоких нейросетей и других методов машинного обучения. Платформы могут быть интегрированы с существующими электронными медицинскими картами для удобного доступа к информации как для врачей, так и для исследователей (Chen et al., 2021) [42].

Среди успешных примеров применения машинного обучения в диагностике эндометриоза можно упомянуть исследования, использующие алгоритмы глубокого обучения для анализа ультразвуковых изображений. Эти исследования показали, что нейронные сети эффективнее выявляют эндометриоз на ранних стадиях, существенно повышая вероятность правильной диагностики по сравнению с традиционными методами (Kumar et al., 2020) [43].

Одним из примеров является использование моделей, обученных на обширных наборах данных, собранных из различных медицинских учреждений. В этих исследованиях принимали участие как пациентки с диагностированным эндометриозом, так и контрольные группы, что позволило оценить эффективность алгоритмов не только для диагностики, но и для прогнозирования прогрессирования заболевания (Nguyen et al., 2021) [44].

Имеются также примеры использования машинного обучения для анализа данных о репродуктивной функции, что позволяет прогнозировать результаты для женщин с эндометриозом. Алгоритмы могут учитывать различные факторы, такие как возраст, генетические предрасположенности и результаты предыдущих исследований, чтобы предложить персонализированные лечебные планы (Rakhshan et al., 2022) [45].

С внедрением машинного обучения в медицинскую практику возникают важные вопросы о защите конфиденциальности и безопасности данных пациентов. Сбор и использование медицинских данных должны соответствовать этическим и правовым нормам (Cohen et al., 2021) [46]. Разработка норм и стандартов, касающихся сбора, хранения и использования данных, станет необходимым шагом для обеспечения доверия со стороны пациентов к новым технологиям.

Врачи и исследователи должны быть готовы обсуждать этические аспекты, такие как права пациентов

на свои данные и их использование без согласия. Это включает необходимость получения информированного согласия от пациентов на использование их данных для обучения и разработки алгоритмов.

Исследования, такие как [Vercellini et al., 2014], подчеркивают важность дальнейших исследований для улучшения понимания, диагностики и лечения эндометриоза, предлагая возможность интеграции решений на основе машинного обучения в клиническую практику [47].

Недавние достижения в области искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (Machine Learning, ML) и глубокого обучения (Deep Learning, DL) обещают внести значительный вклад в решение ряда распространённых медицинских проблем, включая эндометриоз. Кроме того, смартфоны исследуются не только как средство связи между медицинскими специалистами и пациентами, но и как инструменты для сбора и анализа данных. С помощью этих мобильных технологий пациенты могут предоставлять долгосрочные и актуальные данные о своем опыте.

В последние годы машинное обучение зарекомендовало себя как перспективный инструмент для классификации пациентов, демонстрируя высокие результаты в различных медицинских областях. Оно также может быть использовано для диагностики эндометриоза, поскольку позволяет выявлять сложные нелинейные зависимости между набором переменных (такими как характеристики пациента или симптомы) и целевой переменной (например, вероятностью наличия эндометриоза).

Недавний обзор, проведенный Sivajohan et al., охватывал 36 исследований, где машинное обучение применялось для прогноза, диагностики и исследования эндометриоза [48–51]. Из них только три работы использовали опросники для разработки моделей прогнозирования на основе машинного обучения. Однако, помимо опросников, эти модели также включали клинические данные женщин, уже прошедших диагностику эндометриоза, либо после лапароскопии с подтвержденным диагнозом, либо ожидающих её.

Основные модели машинного обучения:

1. Логистическая регрессия (Logistic Regression) — это статистическая модель, использующая логистическую функцию для моделирования бинарной зависимой переменной. Математически, бинарная логистическая модель имеет зависимую переменную с двумя возможными значениями, обозначаемыми как «0» и «1». Для выходных данных с более чем двумя значениями применяется мультиномиальная логистическая регрессия. Этот метод используется в различных областях, таких как здравоохранение и социальные науки.

2. Дерево решений (Decision Tree) — это простая и мощная модель машинного обучения, которая использует доступную информацию для нахождения оптимального класса для набора данных. Эти классы становятся узлами дерева решений, которое затем разрастается в древовидную структуру. Модель дерева решений уже успешно применялась в исследованиях общественного здравоохранения и в области поведенческих наук.
3. Классификатор случайного леса (Random Forest) — ансамблевый метод, обучающий несколько деревьев решений параллельно, что называется «бэггинг». Различные деревья решений обучаются на различных подмножествах данных и с использованием разных подмножеств доступных функций. Это гарантирует уникальность каждого дерева, что способствует снижению общей дисперсии классификатора и улучшению его обобщающих способностей.
4. Экстремальное повышение градиента (eXtreme Gradient Boosting) — алгоритм повышения градиента, который сочетает несколько слабых моделей прогнозирования, преимущественно деревьев решений. Хотя отдельные деревья просто и часто ненадежны, их объединение обеспечивает надежный алгоритм. Модель начинается с простого дерева и последовательно дорабатывается, основываясь на менее эффективных «учениках», в каждой итерации оптимизируя предыдущее дерево.
5. Алгоритм классификатора голосования — это модель машинного обучения, обучающаяся на множестве моделей и прогнозирующая результат (класс) на основе самой вероятной категории. Она объединяет результаты всех классификаторов

и выбирает класс, получивший наибольшее количество голосов. Этот классификатор поддерживает два типа голосования: жесткое голосование, где итоговый класс — это класс с наибольшим числом голосов, и мягкое голосование, при котором основанное на вероятности прогнозы используется для выбора класса.

6. Тест Хи-квадрат — один из наиболее распространенных непараметрических тестов, часто используемый для проверки независимости между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами одного или нескольких атрибутов в таблице сопряженности.

Заключение

Внедрение методов машинного обучения в диагностику эндометриоза открывает новые горизонты для улучшения клинической практики и повышения качества обслуживания пациенток. Несвоевременная диагностика и недостаточная точность традиционных методов могут привести к серьезным последствиям для здоровья женщин, включая хроническую боль и бесплодие. Применение машинного обучения позволяет значительно повысить точность диагностики, благодаря более глубокому анализу больших объемов данных и выявлению скрытых паттернов. Мультидисциплинарный подход, а также использование современных алгоритмов для обработки медицинских данных, может обеспечить раннее выявление эндометриоза и, следовательно, более эффективные стратегии лечения. В результате это не только увеличивает шансы на благоприятный исход для здоровья пациенток, но и способствует улучшению их качества жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Эндометриоз. Клинические рекомендации. М.; 2024.
2. Knapp V.J. (1999). How old is endometriosis? Late 17th— and 18th-century European descriptions of the disease. *Fertility and sterility*, 72(1), 10–14. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(99\)00196-x](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(99)00196-x)
3. Ezzati M., & Carr B.R. (2015). Elagolix, a novel, orally bioavailable GnRH antagonist under investigation for the treatment of endometriosis-related pain. *Women's Health*, 11, 19–28. <https://doi.org/10.2217/WHE.14.68>
4. Shafir A.L., Farland L.V., Shah D.K., Harris H.R., Kvaskoff M., Zondervan K., & Missmer S.A. (2018). Risk for and consequences of endometriosis: A critical epidemiologic review. *Best practice & research. Clinical obstetrics & gynaecology*, 51, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2018.06.001>
5. The World Bank. Population ages 15–64 (% of population). 2017 (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.1564.TO.ZS>)
6. Agarwal S.K., Chapron C., Giudice L.C., Laufer M.R., Leyland N., Missmer S.A., Singh S.S., & Taylor H.S. (2019). Clinical diagnosis of endometriosis: a call to action. *American journal of obstetrics and gynecology*, 220(4), 354.e1–354.e12. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2018.12.039>
7. Taylor H.S. (2018). Use of Elagolix in Gynaecology. *Journal of obstetrics and gynaecology Canada: JOGC = Journal d'obstetrique et gynecologie du Canada: JOGC*, 40(7), 931–934. <https://doi.org/10.1016/j.jogc.2018.01.004>
8. Kennedy S., Bergqvist A., Chapron C., D'Hooghe T., Dunselman G., Greb R., Hummelshoj L., Prentice A., Saridogan E., & ESHRE Special Interest Group for Endometriosis and Endometrium Guideline Development Group (2005). ESHRE guideline for the diagnosis and treatment of endometriosis. *Human reproduction (Oxford, England)*, 20(10), 2698–2704. <https://doi.org/10.1093/humrep/dei135>
9. De Graaff A.A., D'Hooghe T.M., Dunselman G.A., Dirksen C.D., Hummelshoj L., WERF EndoCost Consortium, & Simoons, S. (2013). The significant effect of endometriosis on physical, mental, and social wellbeing: results from an international cross-sectional survey. *Human reproduction (Oxford, England)*, 28(10), 2677–2685. <https://doi.org/10.1093/humrep/det284>

10. Juan J., Estiarte R., Colomé E., Artés M., Jiménez F.J., & Alonso J. (2003). Burden of illness of Crohn's disease in Spain. Digestive and liver disease: official journal of the Italian Society of Gastroenterology and the Italian Association for the Study of the Liver, 35(12), 853–861. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2003.07.002>
11. Основные показатели деятельности службы охраны здоровья матери и ребенка в РФ. Москва, 2013. 50 с.
12. Kennedy S., Bergqvist A., Chapron C., D'Hooghe T., Dunselman G., Greb R., Hummelshoj L., Prentice A., Saridogan E., & ESHRE Special Interest Group for Endometriosis and Endometrium Guideline Development Group (2005). ESHRE guideline for the diagnosis and treatment of endometriosis. Human reproduction (Oxford, England), 20(10), 2698–2704. <https://doi.org/10.1093/humrep/dei135>
13. Леваков С.А., Хамошина М.Б. Эндометриоз: мировой прорыв в медикаментозном лечении. Москва. Редакция журнала StatusPraesens, 2012. 16 с.
14. Arruda M.S., Petta C.A., Abrão M.S., & Benetti-Pinto C.L. (2003). Time elapsed from onset of symptoms to diagnosis of endometriosis in a cohort study of Brazilian women. Human reproduction (Oxford, England), 18(4), 756–759. <https://doi.org/10.1093/humrep/deg136>
15. Бокгалова Ю.В. Коррекция репродуктивной функции у женщин после органосохраняющих операций на внутренних половых органах: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2012. 20 с.
16. Боярский К.Ю., Гайдуков С.Н. Патологические механизмы работы репродуктивной функции женщины после 40 лет // Проблемы репродукции. 2011. № 3. С. 6–15.
17. Raffi F., Metwally M., & Amer S. (2012). The impact of excision of ovarian endometrioma on ovarian reserve: a systematic review and meta-analysis. The Journal of clinical endocrinology and metabolism, 97(9), 3146–3154. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-1558>
18. Somigliana E., Benaglia L., Viganò P., Candiani M., Vercellini P., & Fedele L. (2011). Surgical measures for endometriosis-related infertility: a plea for research. Placenta, 32 Suppl 3, S238–S242. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2011.06.011>
19. Беженарь В.Ф., Ярмолинская М.И. и др. Сравнение эффективности различных схем гормонотерапии после хирургического лечения наружного генитального эндометриоза // Проблемы репродукции. 2015. № 4. С. 89–98.
20. Alvarez P., & Levine J.D. (2014). Screening the role of pronociceptive molecules in a rodent model of endometriosis pain. The journal of pain, 15(7), 726–733. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2014.04.002>
21. Practice Committee of American Society for Reproductive Medicine (2008). Treatment of pelvic pain associated with endometriosis. Fertility and sterility, 90 (5 Suppl), S260–S269. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.08.057>
22. Nnoaham K.E., Hummelshoj L., Webster P., d'Hooghe T., de Cicco Nardone F., de Cicco Nardone C., Jenkinson C., Kennedy S.H., Zondervan K.T., & World Endometriosis Research Foundation Global Study of Women's Health consortium (2011). Impact of endometriosis on quality of life and work productivity: a multicenter study across ten countries. Fertility and sterility, 96(2), 366–373.e8. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2011.05.090>
23. Fourquet J., Gao X., Zavala D., Orengo J.C., Abac S., Ruiz A., Laboy J., & Flores I. (2010). Patients' report on how endometriosis affects health, work, and daily life. Fertility and sterility, 93(7), 2424–2428. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2009.09.017>
24. Fassbender A., Burney R.O., O.D.F., D'Hooghe T., & Giudice L. (2015). Update on Biomarkers for the Detection of Endometriosis. BioMed research international, 2015, 130854. <https://doi.org/10.1155/2015/130854>
25. Wu M.H., Lu C.W., Chuang P.C., & Tsai S.J. (2010). Prostaglandin E2: the master of endometriosis? Experimental biology and medicine (Maywood, N.J.), 235(6), 668–677. <https://doi.org/10.1258/ebm.2010.009321>
26. Morotti M., Vincent K., Brawn J., Zondervan K.T., & Becker C.M. (2014). Peripheral changes in endometriosis-associated pain. Human reproduction update, 20(5), 717–736. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmu021>
27. Simoons S., Dunselman G., Dirksen C., Hummelshoj L., Bokor A., Brandes I., Brodsky V., Canis M., Colombo G.L., DeLeire T., Falcone T., Graham B., Halis G., Horne A., Kanj O., Kjer J.J., Kristensen J., Lebovic D., Mueller M., Viganò P., ... D'Hooghe T. (2012). The burden of endometriosis: costs and quality of life of women with endometriosis and treated in referral centres. Human reproduction (Oxford, England), 27(5), 1292–1299. <https://doi.org/10.1093/humrep/des073>
28. Gallagher J.S., DiVasta A.D., Vitonis A.F., Sarda V., Laufer M.R., & Missmer S.A. (2018). The Impact of Endometriosis on Quality of Life in Adolescents. The Journal of adolescent health: official publication of the Society for Adolescent Medicine, 63(6), 766–772. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2018.06.027>
29. Nnoaham K.E., Hummelshoj L., Webster P., d'Hooghe T., de Cicco Nardone F., de Cicco Nardone C., Jenkinson C., Kennedy S.H., Zondervan K.T., & World Endometriosis Research Foundation Global Study of Women's Health consortium (2011). Impact of endometriosis on quality of life and work productivity: a multicenter study across ten countries. Fertility and sterility, 96(2), 366–373.e8. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2011.05.090>
30. Rush G., Misajon R., Hunter J.A., Gardner J., & O'Brien K.S. (2019). The relationship between endometriosis-related pelvic pain and symptom frequency, and subjective wellbeing. Health and quality of life outcomes, 17(1), 123. <https://doi.org/10.1186/s12955-019-1185-y>
31. Jansen R.P., & Russell P. (1986). Nonpigmented endometriosis: clinical, laparoscopic, and pathologic definition. American journal of obstetrics and gynecology, 155(6), 1154–1159. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(86\)90136-5](https://doi.org/10.1016/0002-9378(86)90136-5)
32. Stripling M.C., Martin D.C., Chatman D.L., Zwaag R.V., & Poston W.M. (1988). Subtle appearance of pelvic endometriosis. Fertility and sterility, 49(3), 427–431. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)59767-2](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)59767-2)
33. Wiegerinck M.A., Van Dop P.A., & Brosens I.A. (1993). The staging of peritoneal endometriosis by the type of active lesion in addition to the revised American Fertility Society classification. Fertility and sterility, 60(3), 461–464. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)56161-5](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)56161-5)
34. Revised American Fertility Society classification of endometriosis: 1985. (1985). Fertility and sterility, 43(3), 351–352. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)48430-x](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)48430-x)
35. Fourestiere M., Gladu A., Vulmiere J. La peritoneoscopy // Presse Med. 1943.Vol. 5. P. 46.
36. Hopkins H.H. On the diffraction theory of optical images // Proc. R. Soc. Lond. A. 1953. Vol. 217. P. 408–432.
37. Nisenblat V., Bossuyt P.M., Farquhar C., Johnson N., & Hull M.L. (2016). Imaging modalities for the non-invasive diagnosis of endometriosis. The Cochrane database of systematic reviews, 2(2), CD009591. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009591.pub2>

38. Nisenblat V., Bossuyt P.M., Shaikh R., Farquhar C., Jordan V., Scheffers C.S., Mol B.W., Johnson N., & Hull M.L. (2016). Blood biomarkers for the non-invasive diagnosis of endometriosis. The Cochrane database of systematic reviews, 2016(5), CD012179. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012179>
39. Basta A., Azziz R., Cakmak H. Current approaches in the management of endometriosis and the role of artificial intelligence // Journal of Obstetrics and Gynaecology Research. 2020. Vol. 46, No. 10. P. 2044–2055.
40. Sinha R., Rallabandi H., Bana R., Bag M., Raina R., D. S., H K D., & Reddy, P. (2024). Ovarian Loss in Laparoscopic and Robotic Cystectomy Compared Using Artificial Intelligence Pathology. JSLS: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons, 28(1), e2024.00001. <https://doi.org/10.4293/JSLS.2024.00001>
41. Miller S.C., Levy S., Saxon A.J., Tetrault J.M., Rosenthal R.N., Wakeman S., & Vocci, F. (2024). Revisiting Preadiction. Journal of addiction medicine, 18(5), 486–487. <https://doi.org/10.1097/ADM.0000000000001357>
42. Chen Z., Zeng D.D., Seltzer R.G.N., & Hamilton B.D. (2021). Automated Generation of Personalized Shock Wave Lithotripsy Protocols: Treatment Planning Using Deep Learning. JMIR medical informatics, 9(5), e24721. <https://doi.org/10.2196/24721>
43. Kumar S., et al. A deep learning approach to ultrasound imaging for differentiating endometriosis and normal tissues // International Journal of Biomedical Imaging. 2020. P. 1–6.
44. Nguyen D.B., Gilbert S., Arendas K., Jago C.A., & Singh S.S. (2021). Laparoscopic excision of pericardial and diaphragmatic endometriosis. Fertility and sterility, 115(3), 807–808. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2020.09.152>
45. Rakhshan A., et al. Machine learning in prognosis of endometriosis: a systematic review // Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology. 2022. Vol. 61, No. 1. P. 13–21
46. Cohen I.G., Kesselheim A.S. Addressing the ethics of artificial intelligence in medicine // New England Journal of Medicine. 2021. Vol. 384, No. 12. P. 1085–1093.
47. Vercellini P., Consonni D., Barbara G., Buggio L., Frattaruolo M.P., & Somigliana E. (2014). Adenomyosis and reproductive performance after surgery for rectovaginal and colorectal endometriosis: a systematic review and meta-analysis. Reproductive biomedicine online, 28(6), 704–713. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2014.02.006>
48. Sivajohan B., Elgendi M., Menon C., Allaire C., Yong P., & Bedaiwy M.A. (2022). Clinical use of artificial intelligence in endometriosis: a scoping review. NPJ digital medicine, 5(1), 109. <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00638-1>
49. Chapron C., Barakat H., Fritel X., Dubuisson J. B., Bréart G., & Fauconnier A. (2005). Presurgical diagnosis of posterior deep infiltrating endometriosis based on a standardized questionnaire. Human reproduction (Oxford, England), 20(2), 507–513. <https://doi.org/10.1093/humrep/deh627>
50. Bendifallah S., Puchar A., Suisse S., Delbos L., Poilblanc M., Descamps P., Golfier F., Touboul C., Dabi Y., & Darai E. (2022). Machine learning algorithms as new screening approach for patients with endometriosis. Scientific reports, 12(1), 639. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04637-2>
51. Nnoaham K.E., Hummelshoj L., Kennedy S.H., Jenkinson C., Zondervan K.T., & World Endometriosis Research Foundation Women's Health Symptom Survey Consortium (2012). Developing symptom-based predictive models of endometriosis as a clinical screening tool: results from a multicenter study. Fertility and sterility, 98(3), 692–701.e5. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2012.04.022>

© Русинова Анастасия Константиновна (rusiknastya@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»