

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-2-28-35>

Использование искусственного интеллекта в выборе метода хирургического лечения доброкачественной гиперплазии предстательной железы

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

О.В. Абаимов¹, Б.А. Неймарк²

¹ Многопрофильный медицинский центр «Евромед», Новосибирск, Россия

² Клиническая больница «РЖД-Медицина», Барнаул, Россия

Контакт: Абаимов Олег Владимирович, olegabaimov@gmail.com

Аннотация:

Введение. Выбор оптимального метода хирургического лечения доброкачественной гиперплазии предстательной железы (ДГПЖ) остается одной из наиболее сложных клинических задач в современной урологии. Наличие нескольких эффективных вмешательств – трансуретральной резекции предстательной железы (ТУР ПЖ), трансуретральной энуклеации предстательной железы (ТУЭ ПЖ) и эмболизации простатических артерий (ЭПА) – повышает вариабельность врачебных решений и увеличивает риск субъективного выбора.

Цель исследования. Оценить возможность применения нейросетевой модели на основе нелинейной логистической регрессии для поддержки выбора оптимального метода хирургического лечения ДГПЖ на этапе предоперационного обследования.

Материалы и методы. В исследование включены 105 пациентов с ДГПЖ, проходивших лечение в 2019–2025 гг. Пациенты были разделены на три группы в зависимости от выполненного вмешательства: ТУРП (n=35), ТУЭ ПЖ (n=35), ЭПА (n=35). Для построения модели использованы клиничко-функциональные параметры: уровень простатического специфического антигена, показатели урофлоуметрии (Qmax, Qav), объем предстательной железы, объем остаточной мочи и анестезиологический риск по ASA (American Society of Anesthesiologists – Американское общество анестезиологов). На основе этих данных разработана нейросетевая модель, обученная прогнозировать предпочтительный метод операции. Оценка качества проводилась с использованием ROC-анализа.

Результаты. Совпадение рекомендаций нейросети с экспертным решением хирургов составило 83,8%. Площадь под ROC-кривой (AUC) достигла 0,88, что соответствует высокому уровню дискриминационной способности. Наибольшая точность отмечена при прогнозировании ТУР ПЖ (91%), несколько ниже – при выборе ТУЭ ПЖ (85,7%) и ЭПА (81,2%). В ряде клинических случаев рекомендации модели оказались более безопасными по сравнению с фактически выполненным вмешательством.

Заключение. Использование нейросетевой модели на основе стандартных клиничко-функциональных показателей позволяет повысить эффективность выбора метода хирургического лечения ДГПЖ и может служить эффективным инструментом поддержки клинических решений.

Ключевые слова: доброкачественная гиперплазия предстательной железы; искусственный интеллект; нейросеть; трансуретральная резекция предстательной железы; трансуретральная энуклеация предстательной железы; эмболизация простатических артерий; поддержка клинических решений.

Для цитирования: Абаимов О.В., Неймарк Б.А. Использование искусственного интеллекта в выборе метода хирургического лечения доброкачественной гиперплазии предстательной железы. Экспериментальная и клиническая урология. 2026;19(2):28-35; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-2-28-35>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-2-28-35>

Artificial intelligence in the selection of surgical approach for benign prostatic hyperplasia

CLINICAL STUDY

O. V. Abaimov¹, B. A. Neymark²

¹ Multidisciplinary Medical Center «Euromed», Novosibirsk, Russia

² Clinical Hospital «Russian Railways-Medicine», Barnaul, Russia

Contacts: Oleg V. Abaimov, olegabaimov@gmail.com

Summary:

Introduction. Choosing the optimal method of surgical treatment of benign prostatic hyperplasia (BPH) remains one of the most difficult clinical tasks in modern urology. The presence of several effective interventions – transurethral resection of the prostate (TURP), transurethral enucleation of the prostate (TUEP) and embolization of the prostatic arteries (EPA) increases the variability of medical decisions and increases the risk of subjective choice.

The purpose of the study. To evaluate the possibility of using a neural network model based on nonlinear logistic regression to support the choice of the optimal method of surgical treatment of BPH at the stage of preoperative examination.

Materials and methods. The study included 105 patients with BPH who were treated in 2019–2025. The patients were divided into three groups depending on the performed intervention: TURP (n=35), TUEP (n=35), EPA (n=35). To build the model, clinical and functional parameters were used: PSA level, uroflowmetry parameters (Qmax, Qav), prostate volume, residual urine volume and anaesthetic risk according to ASA. Based on these data, a neural network model has been developed, trained to predict the preferred method of operation. The quality assessment was carried out using ROC analysis.

Results. The coincidence of the recommendations of the neural network with the expert decision of surgeons was 83.8%. The area under the ROC curve (AUC) reached 0.88, which corresponds to a high level of discrimination ability. The highest accuracy was noted when predicting TURP (91%), slightly lower when choosing TUE (85,7%) and EPA (81.2%). In a number of clinical cases, the recommendations of the model turned out to be safer than the actual intervention performed.

Conclusion. The use of a neural network model based on standard clinical and functional indicators makes it possible to increase the objectivity of the choice of surgical treatment for BPH and can serve as an effective tool for supporting clinical decisions.

Key words: benign prostatic hyperplasia; artificial intelligence; neural network; TURP; TUEP; embolization of prostatic arteries; support of clinical decisions.

For citation: Abaimov O.V., Neymark B.A. The use of artificial Intelligence in the choice of surgical treatment for benign prostatic hyperplasia. A comparative analysis. *Experimental and Clinical Urology*. 2026;19(2):28-35; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-2-28-35>

ВВЕДЕНИЕ

Доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) является одним из наиболее распространенных урологических заболеваний у мужчин старших возрастных групп и ведущей причиной развития симптомов нарушения функции нижних мочевых путей. По данным эпидемиологических исследований, клинически значимые проявления ДГПЖ выявляются более чем у 50% мужчин старше 60 лет, а с возрастом распространенность заболевания неуклонно возрастает [1, 2].

По мере старения населения увеличивается число пациентов, нуждающихся в активном хирургическом лечении ДГПЖ, что сопровождается ростом нагрузки на систему здравоохранения и повышением требований к качеству и обоснованности клинических решений [3].

В течение длительного времени трансуретральная резекция предстательной железы (ТУРПЖ) рассматривалась как «золотой стандарт» хирургического лечения ДГПЖ. Однако в последние десятилетия внедрение лазерных технологий, в частности трансуретральной энуклеации предстательной железы (ТУЭПЖ), а также развитие рентгеноэндоваскулярных методик, включая эмболизацию простатических артерий (ЭПА), существенно расширили спектр доступных вмешательств [1, 4].

Каждый из указанных методов демонстрирует высокую клиническую эффективность, однако имеет собственные показания, ограничения и профиль осложнений. В результате перед практикующим урологом все чаще встает задача не выбора универсального метода лечения, а определения наиболее рациональной хирургической тактики для конкретного пациента с учетом анатомических особенностей, функционального состояния нижних мочевых путей и соматического статуса [2, 4].

Существующие клинические рекомендации формируют общие принципы выбора метода хирургиче-

ского лечения ДГПЖ, однако не предоставляют количественных инструментов для интегральной оценки совокупности клинико-функциональных параметров. В реальной клинической практике это нередко приводит к вариативности решений, основанных на субъективном опыте врача, доступности оборудования и локальных традициях [1, 3].

В последние годы методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения все активнее внедряются в различные области медицины, включая урологию. Алгоритмы, способные анализировать многомерные клинические данные и выявлять сложные нелинейные зависимости, рассматриваются как перспективный инструмент поддержки принятия клинических решений в условиях множественности терапевтических опций [4].

В связи с этим представляется актуальной разработка и клиническая оценка нейросетевых моделей, направленных на поддержку выбора метода хирургического лечения ДГПЖ на основе стандартных данных предоперационного обследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено многоцентровое ретроспективно-проспективное клиническое исследование, направленное на оценку возможности применения нейросетевого алгоритма для поддержки выбора метода хирургического лечения ДГПЖ на этапе предоперационного обследования пациентов, что соответствует современным подходам к клинической валидации интеллектуальных систем в медицине [5, 6].

Исследование выполнено на клинической базе многопрофильного медицинского центра «Евромед» (г. Новосибирск) и клинической больницы «РЖД-Медицина» (г. Барнаул) в период с 2019 по 2025 гг. ■

Планирование исследования и обработка данных осуществлялись с учетом принципов доказательной медицины и рекомендаций по применению методов машинного обучения в клинических исследованиях [7].

Характеристика пациентов

В исследование включены 105 пациентов с клинически и инструментально подтвержденным диагнозом ДГПЖ, которым планировалось оперативное лечение в связи с неэффективностью медикаментозной терапии или наличием осложнений инфравезикальной обструкции. В зависимости от фактически выполненного вмешательства пациенты были распределены на три равные группы по 35 человек:

- 1-я группа – ТУР ПЖ;
- 2-я группа – ТУЭ ПЖ;
- 3-я группа – ЭПА.

Подобный подход к формированию сравнимых клинических групп широко применяется в исследованиях, посвященных анализу хирургических методов лечения ДГПЖ и оценке их эффективности [8, 9].

Возраст пациентов варьировал от 52 до 84 лет (средний возраст – 69 ± 7 лет), что соответствует типичной возрастной структуре больных с клинически значимой ДГПЖ [1, 2].

Критерии включения:

- клинически и инструментально подтвержденный диагноз ДГПЖ;
- выраженность симптомов нижних мочевых путей ≥ 8 баллов по шкале IPSS (International Prostate Symptom Score – Международная система суммарной оценки заболеваний предстательной железы в баллах);
- объем ПЖ от 30 до 250 см³ по данным ультразвукового исследования;
- наличие признаков инфравезикальной обструкции;
- отсутствие данных за злокачественное новообразование ПЖ.

Выбор данных критериев основан на действующих клинических рекомендациях и отражает общепринятые показания к хирургическому лечению ДГПЖ [1, 4].

Критерии исключения:

- подозрение на рак ПЖ (PI-RADS ≥ 4);
- перенесенная ранее открытая аденомэктомия;
- острые воспалительные заболевания мочевых путей;
- декомпенсированные соматические заболевания;
- перенесенный инфаркт миокарда или инсульт менее чем за 6 мес до включения;
- отказ пациента от участия в исследовании.

Методы обследования

Всем пациентам выполнялся стандартный ком-

плекс предоперационного обследования, включавший клинические, лабораторные и функциональные методы, рекомендованные для оценки степени инфравезикальной обструкции и определения пока-заний к хирургическому лечению ДГПЖ [1, 2]: анкетирование по международной шкале IPSS с оценкой качества жизни (QoL); лабораторные исследования, включая общий и биохимический анализы крови, общий анализ мочи, уровень общего простатического специфического антигена (ПСА); ультразвуковое исследование ПЖ с определением ее объема и объема остаточной мочи; урофлоуметрия с оценкой максимальной (Qmax) и средней (Qave) скорости потока мочи; оценка анестезиологического риска по классификации ASA.

Использование данных параметров в качестве исходных клинических признаков широко применяется в исследованиях, посвященных прогнозированию исходов хирургического лечения ДГПЖ [8–10].

Структура данных

Все исходные клиничко-функциональные показатели заносились в единую электронную базу данных. В качестве входных параметров для обучения нейросетевой модели использовались:

- уровень ПСА;
- максимальная скорость потока мочи;
- средняя скорость потока мочи;
- объем ПЖ;
- объем остаточной мочи (ООМ);
- анестезиологический риск по шкале ASA (American Society of Anesthesiologists – Американское общество анестезиологов).

Выходной переменной являлся категориальный признак – тип рекомендованного оперативного вмешательства (ТУР ПЖ, ТУЭ ПЖ или ЭПА). Подобный подход к формированию входных и выходных параметров соответствует методологии построения клинических моделей машинного обучения [6, 7]. Показатель IPSS не включали в модель ввиду отсутствия достоверной корреляции с выбором метода хирургического лечения по результатам предварительного корреляционного анализа, что согласуется с данными литературы о его ограниченной прогностической ценности при выборе конкретной хирургической техники [9].

Построение нейросетевой модели

Для поддержки клинического выбора метода оперативного вмешательства использовалась нейросетевая модель, основанная на нелинейной логистической регрессии. Выбор данного подхода обусловлен необходимостью учета нелинейных взаимодействий между клиничко-функциональными параметрами при сохранении интерпретируемости алгоритма, что является прин-

ципиально важным условием клинического применения систем ИИ [5, 6]. Перед обучением модели все входные переменные подвергались нормализации к диапазону от -1 до $+1$. Обучение осуществлялось с использованием стандартных методов оптимизации с учетом межфакторных корреляций, выявленных на этапе предварительного анализа данных. Для обучения и тестирования модели исходный набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80 и 20% соответственно. Обучение алгоритма проводилось на обучающей выборке, тогда как оценка качества модели выполнялась на независимой тестовой выборке. С целью повышения устойчивости модели и снижения риска переобучения дополнительно применялась перекрестная валидация (*k-fold cross-validation*), что соответствует современным рекомендациям по разработке алгоритмов машинного обучения в клинических исследованиях.

Следует подчеркнуть, что целью разработки алгоритма являлось не определение «оптимального» метода хирургического лечения в абстрактном смысле, а формализация и воспроизводимое моделирование экспертной клинической логики, используемой при принятии решений в реальной практике. Таким образом, нейросетевая модель рассматривается как инструмент поддержки принятия решений, отражающий совокупный опыт хирургов и позволяющий снизить вариабельность выбора метода лечения в клинически сопоставимых ситуациях.

Оценка качества модели

Оценка эффективности нейросетевого алгоритма проводилась путем сопоставления его рекомендаций с фактическим выбором метода операции, выполненным экспертами-хирургами. Такой подход широко используется при клинической валидации систем поддержки принятия решений и позволяет оценить степень согласованности алгоритма с реальной врачебной практикой [6, 7]. Качество модели анализировалось с использованием

ROC-анализа с расчетом площади под кривой (AUC), а также показателей чувствительности и специфичности для каждого варианта хирургического вмешательства.

Статистическая обработка

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакетов SPSS Statistics v.26 и Python (библиотеки *pandas*, *scikit-learn*). Нормальность распределения количественных показателей оценивалась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для межгрупповых сравнений применялись параметрические и непараметрические методы статистического анализа в зависимости от характера распределения данных. Различия считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$, что соответствует общепринятым стандартам биомедицинских исследований [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительная характеристика групп пациентов

В исследование включены 105 пациентов с ДГПЖ, распределенных на три равные группы по 35 человек в зависимости от выполненного метода хирургического лечения. Исходные клиничко-функциональные характеристики пациентов представлены в табл. 1.

Статистически значимые различия между группами выявлены по объему ПЖ, уровню ПСА, объему остаточной мочи и анестезиологическому риску. Это отражает клинически обоснованный отбор пациентов для различных методов лечения. Сравнительный анализ исходных клиничко-функциональных характеристик пациентов показал, что группы были сопоставимы по возрасту и выраженности симптомов нарушения функции нижних мочевых путей, однако достоверно различались по ряду параметров, отражающих клиническую логику выбора метода операции. Так, пациенты, которым выполнялась

Таблица 1. Исходные характеристики пациентов

Table 1. Baseline characteristic of patients

Показатель Parameter	ТУР ПЖ, $n=35$ TURP, $n=35$	ТУЭ ПЖ, $n=35$ TUER, $n=35$	ЭПА, $n=35$ PAE, $n=35$	p
Возраст, лет Age, years	68,4±6,5	69,1±7,3	70,3±6,9	$>0,05$
Объем предстательной железы, см ³ Prostate volume, cm ³	82,6±27,3	96,1±31,2	110,4±34,8	$<0,05$
ПСА, нг/мл PSA, ng/ml	5,9±4,1	6,8±4,7	9,2±5,3	$<0,05$
IPSS, баллы IPSS score	18,3±3,7	19,1±4,2	17,9±3,9	$>0,05$
Qmax, мл/с Qmax, ml/s	11,8±3,9	12,2±4,1	10,4±4,3	$>0,05$
Qav, мл/с Qav, ml/s	5,3±2,1	5,5±2,2	4,7±2,4	$>0,05$
Остаточная моча, мл Postvoid residual volume, ml	95±82	112±93	185±110	$<0,05$
ASA-риск ASA score	1,8±0,7	2,0±0,6	2,9±0,9	$<0,01$

Примечание. Количественные показатели представлены в виде $M \pm SD$ при нормальном распределении
Note. Quantitative indicators are presented as $M \pm SD$ with a normal distribution

ЭПА, характеризовались статистически значимо большим объемом ПЖ, более высоким уровнем ПСА, большим объемом остаточной мочи и более высоким анестезиологическим риском по шкале ASA. Подобное распределение соответствует данным отечественных и зарубежных исследований, указывающих на преимущественное использование ЭПА у пациентов с высоким соматическим риском и выраженной сопутствующей патологией [11, 12].

В группах ТУР ПЖ и ТУЭ ПЖ различия по возрасту и показателям урофлоуметрии носили недостоверный характер, что согласуется с опубликованными данными о схожести исходных функциональных параметров у пациентов, направляемых на трансуретральные методы лечения ДГПЖ [9].

Результаты работы нейросетевой модели

Нейросетевая модель была обучена на основе клинико-функциональных данных пациентов и протестирована на независимой части выборки. Для каждого наблюдения рассчитывались вероятности принадлежности к одному из 3 вариантов оперативного вмешательства. В качестве рекомендуемого метода выбирался вариант с максимальным значением вероятности. Общая точность совпадения рекомендаций нейросети с фактически выполненными хирургическими вмешательствами составила 83,8%, что сопоставимо с результатами аналогичных исследований, посвященных применению методов машинного обучения для поддержки клинических решений в хирургии (табл. 2) [13–15].

Наибольшая точность отмечена при прогнозировании ТУР ПЖ (91,4%). Для ТУЭ ПЖ и ЭПА точность составила 85,7 и 81,2% соответственно. Более низкие показатели для ЭПА, вероятно, обусловлены большей вариабельностью клинических показаний и значительным влиянием соматического статуса пациентов, что ранее отмечалось в литературе [11, 16].

ROC-анализ и диагностическая точность

Для количественной оценки дискриминационной способности нейросетевой модели выполнен ROC-анализ. Площадь под ROC-кривой (AUC) для различных методов хирургического лечения варьировала от 0,85 до 0,91, при среднем значении 0,88. Значения площади под ROC-кривой (AUC) представлены в табл. 3.

Полученные значения AUC соответствуют высокому уровню диагностической надежности и сопоставимы с результатами исследований, в которых алгоритмы машинного обучения применялись для прогнозирования исходов урологических вмешательств и выбора лечебной тактики [14, 15]. Следует отметить, что наибольшая чувствительность и специфичность были достигнуты при выборе ТУР ПЖ, тогда как для ЭПА оптимальные пороговые значения вероятности оказались ниже. Это отражает более сложный и мультифакторный характер принятия решений в отношении ЭПА, что также подчеркивается в клинических публикациях [12, 16].

Анализ случаев расхождения рекомендаций

В 17 (16,2%) случаях рекомендации модели не совпали с фактически выполненным методом хирургического лечения. В большинстве наблюдений алгоритм рекомендовал менее инвазивную тактику пациентам с высоким анестезиологическим риском, тогда как в клинической практике было выполнено трансуретральное вмешательство. В послеоперационном периоде у части этих пациентов отмечались осложнения, включая эпизоды макрогематурии, острую задержку мочеиспускания и инфекционно-воспалительные осложнения, что подчеркивает потенциальную клиническую значимость алгоритма в выявлении групп повышенного риска.

Подобные расхождения представляют особый интерес, поскольку подчеркивают потенциальную роль интеллектуальных систем в выявлении клинически уязвимых

Таблица 2. Совпадение рекомендаций нейросети с экспертными решениями

Table 2. Agreement between neural network recommendations and expert surgical decisions

Метод операции Surgical method	Совпадений, n Matches, n	Несовпадений, n Mismatches, n	Точность, % Accuracy, %
ТУР ПЖ TURP	32	3	91,4
ТУЭ ПЖ TUER	30	5	85,7
ЭПА PAE	26	9	81,2
Всего Total	88	17	83,8

Таблица 3. Показатели ROC-анализа нейросетевой модели

Table 3. ROC analysis performance of the neural network model

Метод операции Surgical method	AUC	Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity
ТУР ПЖ TURP	0,91	0,87	0,89
ТУЭ ПЖ TUER	0,88	0,83	0,86
ЭПА PAE	0,85	0,81	0,84

пациентов и снижении риска осложнений, что ранее обсуждалось в работах, посвященных использованию ИИ для повышения безопасности хирургического лечения [15, 17].

Клиническая иллюстрация

Пациент № 47. ПСА=5,3 нг/мл; Qmax=11,7 мл/с; Qave=5,8 мл/с; объем ПЖ=69 см³; OOM=77 мл; ASA=2. После нормирования и расчета логистических функций получены значения, представленные в табл. 4. Максимальная вероятность соответствует ТУР ПЖ (0,81), что совпадает с экспертной оценкой хирургов и данными обучающей выборки.

Таблица 4. Вероятностные значения для пациента № 47
Table 4. Probability values for Patient No. 47

Операция Surgical method	Выход сумматора, S Summation output, S	Функция активации, Y Activation function output, Y
ТУР ПЖ TURP	1,446	0,81
ТУЭ ПЖ TUER	-1,97	0,12
ЭПА PAE	-4,07	0,017

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в настоящем исследовании результаты подтверждают возможность практического применения нейросетевых алгоритмов для поддержки выбора метода хирургического лечения ДГПЖ. Высокий уровень согласованности рекомендаций модели с экспертными решениями хирургов и значимые показатели дискриминационной способности свидетельствуют, что алгоритм корректно отражает клиническую логику принятия решений и способен интегрировать разнородные клинико-функциональные параметры в единый прогностический вывод.

Современные клинические рекомендации по лечению ДГПЖ предлагают ориентироваться на объем ПЖ, выраженность симптомов нарушения функции нижних мочевых путей, уродинамические показатели и соматический статус пациента. Однако данные рекомендации не содержат количественных инструментов для комплексной оценки совокупности факторов, что приводит к вариабельности клинических решений, особенно в пограничных ситуациях [18]. В этом контексте использование методов ИИ позволяет формализовать существующие экспертные подходы и повысить воспроизводимость выбора хирургической тактики.

Результаты анализа структуры входных параметров показали, что наибольшее влияние на рекомендации модели оказывали объем ПЖ, уровень ПСА, объем остаточной мочи и анестезиологический риск по шкале ASA. Подобное распределение факторов полностью соответствует клиническим данным, представленным в отечественных и зарубежных исследованиях, подчеркиваю-

щих ключевую роль соматического статуса пациента и анатомических характеристик ПЖ при выборе между трансуретральными и эндоваскулярными методами лечения [11, 12, 18].

Особое значение имеют случаи расхождения рекомендаций инструментов поддержки принятия решений с фактически выполненной операцией. В большинстве таких наблюдений алгоритм предлагал менее инвазивную тактику лечения пациентам с высоким операционно-анестезиологическим риском. Этот факт согласуется с концепцией использования интеллектуальных систем в качестве инструмента повышения безопасности хирургического лечения и снижения частоты осложнений, что ранее подчеркивалось в публикациях, посвященных клиническому внедрению ИИ [19].

Важным преимуществом разработанной модели является ее интерпретируемость. В отличие от сложных архитектур глубокого обучения, используемый подход нелинейной логистической регрессии позволяет анализировать вклад отдельных клинико-функциональных параметров в итоговую рекомендацию. Это принципиально важно для клинической практики, поскольку снижает риск некритического следования алгоритму и обеспечивает сохранение ведущей роли врача в процессе принятия решений [6].

В доступной литературе большинство работ, посвященных применению машинного обучения в урологии, фокусируются на прогнозировании исходов отдельных методов лечения или оценке риска осложнений. Исследования, направленные непосредственно на выбор метода хирургического лечения ДГПЖ, остаются единичными. В этом отношении представленная работа обладает практической новизной, поскольку ориентирована на амбулаторный этап принятия решения и использует параметры, входящие в стандартный объем предоперационного обследования, без необходимости привлечения дополнительных методов визуализации или лабораторных маркеров [19].

Ограничением исследования является однотипность клинической базы и относительно небольшой объем выборки. Вместе с тем на первом этапе разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений такая особенность может рассматриваться как преимущество, поскольку обеспечивает клиническую интерпретируемость модели и ее соответствие реальной практике конкретных центров, что особенно важно для последующей внешней валидации. Тем не менее даже в существующей конфигурации модель продемонстрировала устойчивые и клинически интерпретируемые результаты, сопоставимые с данными аналогичных исследований [18, 19].

Не менее важным методологическим ограничением настоящего исследования является то, что обучение нейросетевой модели выполнялось на ретроспективных клинических данных пациентов, которым уже было

проведено хирургическое лечение. В качестве целевой переменной использовался фактически выполненный метод операции, выбранный экспертами-хирургами. Таким образом, модель в первую очередь воспроизводит логику клинического принятия решений, сформированную в конкретных медицинских учреждениях, а не определяет «абсолютно оптимальный» метод хирургического лечения в строгом доказательном смысле. Подобный подход широко используется при разработке систем поддержки принятия клинических решений, однако он предполагает, что алгоритм отражает совокупный опыт экспертов и особенности клинической практики конкретных центров, включая доступность технологий, предпочтения хирургов и локальные организационные факторы.

Отсутствие анализа отдаленных клинических результатов (follow-up) не позволяет в рамках данного исследования сопоставить рекомендации модели с объективными исходами лечения. В связи с этим дальнейшие исследования должны быть направлены на проведение проспективной валидации алгоритма с анализом функциональных результатов и частоты осложнений после различных методов хирургического лечения ДГПЖ.

Еще одним ограничением исследования является отсутствие независимой внешней валидации модели на данных медицинских учреждений, не участвовавших в ее разработке. Несмотря на использование данных двух клинических центров, переносимость результатов на учреждения с иной структурой пациентов, различным уровнем оснащения и хирургическим опытом требует дополнительного подтверждения. Проведение многоцентровых исследований с участием различных урологических клиник позволит оценить воспроизводимость алгоритма и повысить его обобщающую способность при применении в реальной клинической практике.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением обучающей выборки, включением дополнительных клинических и визуализационных параметров, а также с интеграцией нейросетевых алгоритмов в электронные медицинские системы. Такой подход может обеспечить интеллектуальную маршрутизацию пациентов и повысить персонализацию хирургического лечения ДГПЖ в условиях реальной клинической практики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нейросетевых технологий в урологии является частью более широкого процесса цифровой трансформации здравоохранения и включает поддержку клинических решений, анализ медицинских данных, персонализацию диагностики и лечения, развитие дистанционного взаимодействия врача и пациента, а также профилактических программ; при этом

внедрение искусственного интеллекта требует обязательного учета вопросов информационной безопасности, правового суверенитета личности, клинической ответственности и регуляторных ограничений [18-26].

Использование нейросетевой модели на основе стандартных клиничко-функциональных показателей позволяет с высокой степенью достоверности поддерживать клиническое принятие решений при выборе метода хирургического лечения ДГПЖ на этапе предоперационного обследования.

Разработанный алгоритм показал высокий уровень согласованности с экспертными решениями хирургов и продемонстрировал высокую диагностическую надежность, что подтверждает возможность его практического применения в реальных клинических условиях. Использование объективных параметров, входящих в стандартный объем обследования пациентов с ДГПЖ, обеспечивает воспроизводимость рекомендаций и снижает влияние субъективных факторов при выборе хирургической тактики, что соответствует современным тенденциям персонализированной медицины [18, 19].

Принципиальным преимуществом предложенного подхода является его клиническая ориентированность и интерпретируемость. В отличие от сложных моделей глубокого обучения, использование нейросетевого алгоритма с прозрачной структурой позволяет врачу понимать логику формирования рекомендаций и использовать их в качестве инструмента поддержки, а не замены клинического мышления. Это особенно важно в условиях высокой вариабельности пациентов с ДГПЖ и наличия нескольких равноэффективных методов лечения [6, 7].

Полученные данные свидетельствуют, что внедрение интеллектуальных систем поддержки принятия решений потенциально может способствовать повышению объективности выбора хирургической тактики и снижению риска осложнений у пациентов с ДГПЖ и более рациональному использованию малоинвазивных технологий, включая ЭПА у пациентов с высоким соматическим риском [18, 20].

Несмотря на ряд ограничений, связанных с объемом выборки и составом входных параметров, представленные результаты подтверждают перспективность дальнейшего развития и клинической валидации нейросетевых алгоритмов в хирургии ДГПЖ. Расширение набора данных, включение дополнительных клинических и визуализационных показателей, а также интеграция подобных моделей в электронные медицинские системы могут существенно повысить уровень персонализации и обоснованности хирургического лечения в урологической практике. ■

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Раснер П.И., Сивков А.В., Харчилава Р.Р. Клинические рекомендации: Доброкачественная гиперплазия предстательной железы. Разработчик клинической рекомендации: Российское общество урологов. Согласованы: Научным советом Министерства Здравоохранения Российской Федерации. 13.06.2024. 95 с. [Rasner P.I., Sivkov A.V., Kharchilava R.R. Clinical guidelines: Benign prostatic hyperplasia. Clinical guideline developer: Russian Society of Urologists. Approved by: Scientific Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. June 13, 2024. 95 p. (In Russian)]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/6_2.
2. Урология. Национальное руководство / под ред. Н.А. Лопаткина. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2013, 1024 с. [Urology. National Leadership / edited by N.A. Lopatkin. Moscow: GEOTAR-Media, 2013, 1024 p. (In Russian)].
3. Wei JT, Calhoun E, Jacobsen SJ. Urologic diseases in America project: benign prostatic hyperplasia. *J Urol*. 2005;173(4):1256-61. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000155709.37840.fe>.
4. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*. 2017;69S:S36-S40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
5. Oelke M, Bachmann A, Descalcaud A, Emberton M, Gravas S, Michel MC, et al. EAU Guidelines on the treatment and follow-up of non-neurogenic male lower urinary tract symptoms including benign prostatic obstruction. *Eur Urol*. 2013;64(1):118-40. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2013.03.004>.
6. Cabrita F, Rasoini R, Gensini GE. Unintended consequences of machine learning in medicine. *JAMA*. 2017;318(6):517-8. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.7797>.
7. Кобринский Б.А. Системы искусственного интеллекта в хирургии: возможности, ограничения и перспективы. Обзор литературы. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2023;13(3):385-404. [Kobrin B.A. Artificial intelligence systems in surgery: A review of opportunities, limitations, and prospects. Review. *Rossiyskiy vestnik detskoy khirurgii, anesteziologii i reanimatologii* = Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care. 2023;13(3):385-404. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17816/psa1547>.
8. Rassweiler J, Teber D, Kuntz R, Hofmann R. Complications of transurethral resection of the prostate (TURP) – incidence, management, and prevention. *Eur Urol*. 2006;50(5):969-80. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2005.12.042>.
9. Пешехонов К.С., Шпиленя Е.С., Комяков Б.К. Сравнительная оценка клинической эффективности, безопасности и экономических затрат двух эндоскопических методов лечения гиперплазии предстательной железы у пациентов пожилого возраста. *Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова*. 2020;12(3):41-54. [Peshekhonov KS, Shpilnya ES, Komyakov BK. Comparative assessment of the clinical efficacy, safety and economic costs of two endoscopic methods for the treatment of prostatic hyperplasia in elderly patients. *Vestnik Severo-Zapadnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. I.I. Mechnikova* = Herald of the Northwestern State Medical University named after I.I. Mechnikov. 2020;12(3):41-54. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17816/mechnikov34052>.
10. Pisco JM, Bilhim T, Pinheiro LC, Fernandes L, Pereira J, Costa NV, et al. Medium- and long-term outcome of prostate artery embolization for patients with benign prostatic hyperplasia: results in 630 patients. *J Vasc Interv Radiol*. 2016;27(8):1115-22. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2016.04.001>.
11. Carnevale FC, Antunes AA, da Motta Leal Filho JM, de Oliveira Cerri LM, Baroni RH, Marcelino AS, et al. Prostatic artery resection of the prostate: a prospective multicenter evaluation of 10,654 patients. *J Urol*. 2008;180(1):246-9. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.03.058>.
12. Reich O, Gratzke C, Bachmann A, Seitz M, Schlenker B, Hermanek P, et al. Morbidity, mortality and early outcome of transurethral resection of the prostate: a prospective multicenter evaluation of 10,654 patients. *J Urol*. 2008;180(1):246-9. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.03.058>.
13. Esteve A, Robicquet A, Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nat Med*. 2019;25(1):24-9. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>.
14. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019;25(1):44-56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>.
15. Nedbal C, Tramanzoli P, Somani BK, De Stefano V, Stramucci S, Pirola GM, et al. Current utility of artificial intelligence in benign prostate surgery: a review of literature on behalf of the EAU section of endourology. *World J Urol*. 2025;43(1):631. <https://doi.org/10.1007/s00345-025-05524-5>.
16. Шамхалова К.К., Меринов Д.С., Артемов А.В., Гурбанов Ш.Ш. Искусственный интеллект и нейронные сети в урологии. *Экспериментальная и клиническая урология*. 2023;16(2):32-7. [Shchamkhalova KK, Merinov DS, Artemov AV, Gurbanov ShSh. Artificial intelligence and neural networks in urology. *Ekspperimentalnaya i klinicheskaya urologiya*. = *Experimental and Clinical Urology*. 2023;16(2):32-7. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2023-16-2-32-37>.
17. Gratzke C, Bachmann A, Descalcaud A, Drake MJ, Madersbacher S, Mamoulakis C, et al. EAU guidelines on the assessment of non-neurogenic male lower urinary tract symptoms including benign prostatic obstruction. *Eur Urol*. 2015;67(6):1099-109. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.12.038>.
18. Kelly CJ, Karthikesalingam A, Suleyman M, Corrado G, King D. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Med*. 2019;17(1):195. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1426-2>.
19. Shah M, Naik N, Hameed BMZ, Paul R, Shetty DK, Ibrahim S, et al. Current applications of artificial intelligence in benign prostatic hyperplasia. *Turk J Urol*. 2022;48(4):262-7. <https://doi.org/10.5152/tud.2022.22028>.
20. Гусев А.А. Какие нейросети и как может использовать врач-уролог в своей ежедневной работе: практические рекомендации. *Вестник урологии*. 2025;13(1):99-109. [Gusev A.A. What neural networks and how a urologist can use in his daily work: practical recommendations. *Vestnik urologii*. = *Urology Herald*. 2025;13(1):99-109. (In Russian)]. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2025-13-1-99-109>.
21. Прионович А.А., Исмаилов А.К., Карельская Н.А., Костин А.А., Кармазановский Г.Г., Грицкевич А.А. Искусственный интеллект в диагностике и лечении мочекаменной болезни. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2022;8(1):42-57. [Pranovich A.A., Ismailov A.K., Karelskaya N.A., Kostin A.A., Karmazanovsky G.G., Gritskovich A.A. Artificial intelligence in the diagnosis and treatment of kidney stone disease. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2022;8(1):42-57. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-1-42-57>.
22. Монаков Д.М., Шадеркина В.А., Рева С.А., Грицкевич А.А. Защита персональных данных пациентов при использовании телемедицинских технологий в период пандемии COVID-19. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2021;7(4):48-57. [Monakov D.M., Shaderkina V.A., Reva S.A., Gritskovich A.A. Protection of patients' personal data when using telemedicine technologies during the COVID-19 pandemic. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2021;7(4):48-57. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-4-48-57>.
23. Шадеркин И.А. Правовой суверенитет личности в цифровом здравоохранении в эпоху искусственного интеллекта. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2025;11(4):7-16. [Shaderkin I.A. Digital Health: Legal Sovereignty of the Individual in Digital Healthcare in the Era of Artificial Intelligence. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2025;11(4):7-16. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-4-7-16>.
24. Шадеркин И.А., Шадеркина В.А. Цифровое здравоохранение: прогноз на 2025-2030 гг. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2025;11(3):7-18. [Shaderkin I.A., Shaderkina V.A. Digital Health: Forecast for 2025-2030. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2025;11(3):7-18. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-3-7-18>.
25. Шадеркин И.А., Шадеркина В.А. Социальные сети как инструмент общения врача и пациента: анализ рисков, клинические результаты и регуляторные барьеры. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2025;11(2):34-44. [Shaderkin I.A., Shaderkina V.A. Social media as a communication tool between physician and patient: analysis of risks, clinical outcomes, and regulatory barriers. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2025;11(2):34-44. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-2-34-44>.
26. Шадеркин И.А., Шадеркина В.А. Цифровые технологии для укрепления здоровья и профилактики заболеваний у пожилых людей. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2025;11(1):7-22. [Shaderkin I.A., Shaderkina V.A. Digital technologies for health promotion and disease prevention in older adults. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya* = Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2025;11(1):7-22. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-1-7-22>.

Сведения об авторах:

Абаимов О.В. – врач-уролог, руководитель урологического направления многопрофильного медицинского центра «Евромед», Новосибирск, Россия; РИНЦ Author ID: 1326460, <https://orcid.org/0009-0003-1736-4433>

Неймарк Б.А. – д.м.н., профессор кафедры урологии и андрологии с курсом ДПО ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России, Барнаул, Россия; РИНЦ Author ID: 737759, <https://orcid.org/0000-0001-8009-3777>

Вклад авторов:

Абаимов О.В. – сбор данных, статистическая обработка и написание текста, 40%
Неймарк Б.А. – сбор данных концепция, дизайн исследования, научное редактирование, 60%

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена без финансовой поддержки.

Соблюдение прав пациентов. Пациенты подписали информированное согласие на публикацию.

Статья поступила: 19.01.2026

Результаты рецензирования: 05.03.2026

Исправления получены: 13.03.2026

Принята к публикации: 22.03.2026

Information about authors:

Abaimov O.V. – urologist, Head of the Urological Department of the Multidisciplinary Medical Center «Euromed», Novosibirsk, Russia; RSCI Author ID: 1326460, <https://orcid.org/0009-0003-1736-4433>

Neymark B.A. – Dr. Sci., Professor, Department of Urology and Andrology with Advanced Training Course, Altai State Medical University; Head of Urology Department, Clinical Hospital «Russian Railways-Medicine», Barnaul, Russia; RSCI Author ID: 737759, <https://orcid.org/0000-0001-8009-3777>

Authors' contributions:

Abaimov O.V. – data collection, statistical processing and text writing, 40%
Neymark B.A. – data collection, concept, research design, scientific editing, 60%

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was made without financial support.

Compliance with patient rights. The patients gave written informed consent to the publication.

Received: 19.01.2026

Peer review: 05.03.2026

Corrections received: 13.03.2026

Accepted for publication: 22.03.2026