



## Многофакторная прогностическая модель рисков развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений после трансуретральной хирургии гиперплазии предстательной железы

© Сергей Н. Иванов<sup>1</sup>, Владимир Л. Медведев<sup>2,3</sup>, Юлия Л. Набока<sup>1</sup>, Михаил И. Коган<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ростовский государственный медицинский университет [Ростов-на-Дону, Россия]

<sup>2</sup> Кубанский государственный медицинский университет [Краснодар, Россия]

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница №1 им. проф. С. В. Очаповского [Краснодар, Россия]

### Аннотация

**Введение.** Инфекционно-воспалительные осложнения (ИВО) являются значимым, потенциально жизнеугрожающим состоянием, развивающимся при трансуретральной резекции (ТУР) предстательной железы с частотой от 0,5% до 20,0% случаев. Большая часть исследований предоставляет данные в отношении ближайших ИВО. При этом в текущее время в литературе отсутствуют работы с всесторонней оценкой отдалённых ИВО после ТУР.

**Цель исследования.** Анализ значимых предикторов ИВО для разработки прогностической модели рисков развития отдалённых инфекционных осложнений после ТУР предстательной железы.

**Материалы и методы.** В настоящее одноцентровое ретроспективное исследование включены данные 301 пациента, которым с 2016 по 2023 год была выполнена моно- и биполярная ТУР простаты. Критерии включения в исследование: объём предстательной железы 30 – 80 см<sup>3</sup>, отсутствие в анамнезе инфекций мочевых путей (ИМП) на момент госпитализации и лечения антибактериальными препаратами как минимум за 1 месяц до операции, возможное наличие латентных ИМП перед операцией, отсутствие рака предстательной железы. Критерием исключения служило несоответствие критериям включения. Оцениваемые инфекционные осложнения включали инфекции верхних и нижних мочевых путей, а также эпидидимит, орхит и простатит, подтверждённые на основании клинико-лабораторных данных.

**Результаты.** В отдалённом периоде у 47 (15,6%) пациентов развились ИВО: в 8 случаях развился уретрит, в 18 — эпидидимоорхит, в 9 — острый простатит, в остальных 12 случаях установлен цистит. Регрессионный анализ позволил выделить 3 статистически значимых предиктора: исходный уровень плотности ПСА, наличие дизурии на момент выписки из стационара и дискомфорта / боли в области мошонки в период госпитализации. Доля объяснённой вариации частоты развития отдалённых ИВО составила 37,4%; площадь под кривой при ROC-анализе достигла 0,83; 95% ДИ — 0,75 – 0,90.

**Заключение.** Внедрение разработанной прогностической модели в клиническую практику может повысить безопасность ТУР гиперплазии простаты, оптимизировать распределение ресурсов и повысить эффективность клинических результатов при лечении урологических инфекций. Прогностическая модель может быть использована при выписке пациента из стационара после выполнения трансуретральной хирургии по поводу гиперплазии предстательной железы.

**Ключевые слова:** гиперплазия предстательной железы; трансуретральная резекция предстательной железы; инфекционные осложнения; инфекции мочевых путей; плотность простатспецифического антигена; цистит; уретрит; эпидидимоорхит; простатит.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки. **Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Этическое заявление.** Исследование выполнено в соответствии с положениями Хельсинкской декларации, пересмотренной в Форталезе (Бразилия) в октябре 2013 года. **Этическое одобрение.** Исследование одобрено Локальным независимым этическим комитетом ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России (Протокол № 14 / 23 от 14 сентября 2023 года). **Информированное согласие.** Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных.

**Вклад авторов:** С.Н. Иванов — концепция исследования, разработка дизайна исследования, сбор данных, анализ данных, статистическая обработка, написание текста рукописи; М.И. Коган, Ю.Л. Набока — разработка дизайна исследования, научное руководство, научное редактирование; В.Л. Медведев — критический обзор, научное редактирование.

✉ **Корреспондирующий автор:** Сергей Никитич Иванов; [ivanovsergey19@gmail.com](mailto:ivanovsergey19@gmail.com)

**Поступила в редакцию:** 12.01.2025. **Принята к публикации:** 09.09.2025. **Опубликована:** 26.10.2025.

**Для цитирования:** Иванов С.Н., Медведев В.Л., Набока Ю.Л., Коган М.И. Многофакторная прогностическая модель рисков развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений после трансуретральной хирургии гиперплазии предстательной железы. *Вестник урологии*. 2025;13(5):16-27. DOI: 10.21886/2308-6424-2025-13-5-16-27.

# Multifactorial prognostic model for long-term infectious-inflammatory complications risk following transurethral surgery for benign prostatic hyperplasia

© Sergey N. Ivanov<sup>1</sup>, Vladimir L. Medvedev<sup>2,3</sup>, Yulia L. Naboka<sup>1</sup>, Mikhail I. Kogan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rostov State Medical University [Rostov-on-Don, Russian Federation]

<sup>2</sup> Kuban State Medical University [Krasnodar, Russian Federation]

<sup>3</sup> Research Institute — Prof. Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 [Krasnodar, Russian Federation]

## Abstract

**Introduction.** Infectious and inflammatory complications (ICs) are a significant, potentially life-threatening condition developing during transurethral resection of the prostate (TURP) with a frequency of 0.5% to 20.0% of cases. Most studies provide data on immediate ICs. However, there are currently no studies in the literature with a comprehensive assessment of late ICs after TURP.

**Objective.** To analyse the significant predictors of ICs for the development of a prognostic model for the risks of developing remote infectious complications TURP.

**Materials & methods.** This single-center retrospective study includes data from 301 patients who underwent mono- and bipolar TURP from 2016 to 2023. Inclusion criteria for the study: prostate volume (30–80 cc), no history of urinary tract infections (UTI) at the time of hospitalization and treatment with antibacterial drugs for at least one month before surgery, possible presence of latent UTI before surgery, absence of prostate cancer. The exclusion criterion was non-compliance with the inclusion criteria. The infectious complications assessed included upper and lower urinary tract infections, as well as epididymitis, orchitis and prostatitis, confirmed based on clinical and laboratory data.

**Results.** In the late period, 47 (15.6%) patients developed infectious and inflammatory complications: urethritis developed in 8 cases, epididymo-orchitis in 18, acute prostatitis in 9, and cystitis was diagnosed in the remaining 12 cases. Regression analysis revealed three statistically significant predictors: baseline PSA density, dysuria at hospital discharge, and scrotal discomfort / pain during hospitalization. The explained variance in the incidence of late ICs was 37.4%; the area under the curve in ROC analysis was 0.83; 95% CI [0.75; 0.90].

**Conclusion.** Implementation of the developed predictive model into clinical practice can improve the safety of transurethral surgery for BPH, optimize resource allocation, and improve the effectiveness of clinical outcomes in the treatment of urological infections. The predictive model can be used when discharging a patient from the hospital after TURP.

**Keywords:** benign prostatic hyperplasia; transurethral resection of the prostate; infectious complications; urinary tract infections; prostate-specific antigen density; cystitis; urethritis; epididymo-orchitis; prostatitis

**Funding.** The study was not sponsored. **Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. **Ethical statement.** The study was carried out in accordance with the provisions of the Helsinki Declaration revised in Fortaleza (Brazil) in October 2013. **Ethical approval.** The study was approved by the Local Independent Ethics Committee of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Protocol No. 14 / 23 dated September 14, 2023).

Informed consent. All patients signed informed consent to participate in the study and process their personal data.

**Authors' contribution:** S.N. Ivanov — study concept, study design development, data collection, data analysis, statistical processing, drafting the manuscript; M.I. Kogan, Yu.L. Naboka — research design, scientific supervision, scientific editing; V.L. Medvedev — critical review, scientific editing.

✉ **Corresponding author:** Sergey N. Ivanov; ivanovsergey19@gmail.com

**Received:** 12.01.2025. **Accepted:** 09.09.2025. **Published:** 26.10.2025.

**For citation:** Ivanov S.N., Medvedev V.L., Naboka Yu.L., Kogan M.I. Multifactorial prognostic model for long-term infectious-inflammatory complications risk following transurethral surgery for benign prostatic hyperplasia. *Urology Herald*. 2025;13(5):16-27. (In Russ.) DOI: 10.21886/2308-6424-2025-13-5-16-27.

## Введение

Трансуретральная резекция (ТУР) предстательной железы является одной из наиболее частых операций в урологии и считается «золотым стандартом» хирургического лечения гиперплазии предстательной железы (ГПЖ) [1, 2]. Эндоурологические вмешательства на предстательной железе несут с собой некоторые ограничения, из которых инфекционно-воспалительные

осложнения (ИВО) являются одними из наиболее значимых. Последние могут быть потенциально угрожающими жизни состояниями и зачастую трудно поддаются лечению.

Частота инфекционных осложнений при трансуретральной хирургии простаты колеблется от 0,5 до 20% [2 – 5]. Большая часть исследований предоставляет данные в отношении непосредственных и ближайших

ИВО. При этом в текущее время в литературе отсутствуют работы со всесторонней оценкой отдалённых ИВО после ТУР простаты. Проблема профилактики и лечения ИВО характеризуется также недостаточным пониманием роли неподтверждённого воспаления в тканях предстательной железы и отсутствием репрезентативных лабораторных маркеров.

**Цель исследования:** анализ значимых предикторов ИВО для разработки прогностической модели рисков развития отдалённых инфекционных осложнений после ТУР простаты.

### Материалы и методы

В настоящее одноцентровое ретроспективное исследование включены данные 301 пациента, которым с 2016 по 2023 год были выполнены моно- и биполярная ТУР предстательной железы. Критерии включения в исследование: объём предстательной железы 30 – 80 см<sup>3</sup>, отсутствие в анамнезе симптомных инфекций мочевых путей (ИМП) на момент госпитализации и лечения антибактериальными препаратами как минимум за 1 месяц до операции, возможное наличие латентных ИМП, отсутствие рака предстательной железы. Критерием исключения служило несоответствие критериям включения. Предоперационное обследование пациентов проходило в соответствии с утверждёнными стандартами, общий уровень простатспецифического антигена (ПСА) крови оценивали не более чем за двое суток до операции. Пациентам с общим уровнем ПСА крови > 4 нг/мл при наличии показаний выполняли биопсию предстательной железы как минимум за 3 месяца до предполагаемой трансуретральной хирургии простаты. Определение развития ИВО проводили в соответствии с общепринятыми стандартами, учитывали клиничко-лабораторные признаки инфекций верхних и нижних мочевых путей, также регистрировали эпизоды уретрита, эпидидимита, орхита, цистита и простатита. ИВО относили к отдалённым в случае их развития в период  $\geq 6$  месяцев после операции. В рамках послеоперационного наблюдения оценке подвергались лабораторные исследования (клинический и биохимический анализ крови, общий анализ мочи). К инструментальным методам исследований относилось ультразвуковое исследование

мочевого пузыря с определением объёма остаточной мочи, урофлоуметрия. Контроль проводили 1 раз в полгода. В режиме телефонного корреспондирования пациенты заполняли анкеты валидизированного опросника симптомов нарушения мочеиспускания IPSS. Развитие инфекционных осложнений в отдалённом послеоперационном периоде устанавливали в соответствии с утверждёнными стандартами, регистрации подлежали клинические и лабораторные признаки инфекций мочевыводящих путей, также фиксировали эпизоды уретрита, цистита, эпидидимоорхита и простатита.

С целью определения значимых предикторов развития осложнений анализу подвергались исходные клиничко-лабораторные показатели пациентов, а также интраоперационные и послеоперационные данные, включая длительность оперативного вмешательства и катетеризации, наличие дизурии в послеоперационном периоде, болевые ощущения в мошонке, промежности и при мочеиспускании (оцениваемых по адаптированной визуальной аналоговой шкале ВАШ), а также балл IPSS (ирритативный и обструктивный компоненты, сумма баллов) через 6 месяцев после выписки из стационара. Период послеоперационного наблюдения пациентов составлял не менее 2 лет, медиана наблюдения — 4,1 года (2,7 / 4,9).

**Статистический анализ.** Для проверки нормальности распределения использовали тест Колмогорова-Смирнова. Описательные статистики для количественных переменных с нормальным распределением представлены в виде среднего (M) и стандартного отклонения (SD), при отсутствии нормального распределения — медианы с 1-м и 3-м квартилями, Me [Q1; Q3]. Для сравнения показателей выборка пациентов была разделена на 2 группы: Группа 1 — не имевшие отдалённых ИВО (n = 254); Группа 2 — пациенты, у которых развились отдалённые ИВО. Для сравнения количественных переменных использовали t-test (с критерием Levene) и Mann-Whitney U-test для данных с нормальным распределением и без него соответственно. Сравнение частот проводили с помощью Хи-квадрата с поправкой Yates's correction. Размер выборки (301 пациент) позволил достигнуть 94%-го эффекта для логистической

регрессии. Логистический регрессионный анализ был использован для оценки значимых предикторов развития отдалённых послеоперационных осложнений. Nagelkerke R<sup>2</sup> использовали для расчёта доли дисперсии клинических результатов, которую можно было объяснить выбранными предикторами. ROC-кривые и соответствующая площадь под кривой использовались для оценки качества модели. Для вероятностной классификации и прогнозирования применяли построение двух типов Байесовских сетей: Tree Augmented Naïve Bayes и Markov Blanket networks. Статистический анализ проводили в среде статистической обработки данных IBM SPSS Statistics ver. 23.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

## Результаты

Анализ основных демографических и периоперационных данных  
Исходные характеристики выборки

и сравнительный анализ показателей в группах с ИВО и без ИВО представлен в таблице 1. Медиана наблюдения составила 2,7 (1,7 / 4,9) года. Группы были сопоставимы по показателям возраста, ИМТ, объёма простаты, количества дневных и ночных микций перед операцией. Группы имели статистически значимые различия показателей исходного общего ПСА крови и плотности ПСА.

Статистически значимые различия периоперационных показателей представлены в таблице 2. Так, статистически значимо различались частота развития болевых ощущений в мошонке в период госпитализации (46,8% в группе наличия отдалённых ИВО против 4,7% в группе сравнения соответственно,  $p < 0,001$ ) и частота развития дизурии на момент выписки из стационара (34,0% в группе наличия отдалённых ИВО против 9,8% в группе сравнения соответственно,  $p < 0,001$ ).

**Таблица 1.** Демографические данные и исходные показатели  
**Table 1.** Demographic details and baseline

Показатели   <i>Parameters</i>	Всего   <i>Total</i> (n = 301)	Без ИВО   <i>Non-infection</i> (n = 254)	ИВО   <i>Infection</i> (n = 47)	p
Возраст, лет <i>Age, years</i>	65,4 ± 6,7	66,2 ± 5,3	68,1 ± 6,1	0,688
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> <i>BMI, kg/m<sup>2</sup></i>	27,1 ± 5,1	27,9 ± 4,9	28,0 ± 3,8	0,749
Сахарный диабет II типа <i>Type II diabetes</i>	51 (16,9%)	47 (18,5%)	5 (10,6%)	0,215
Атеросклероз магистральных сосудов <i>Atherosclerosis of main arterial vessels</i>	67 (22,3%)	58 (22,8%)	9 (19,1%)	0,577
Артериальная гипертензия 1 – 3 степени <i>Hypertension grade 1 – 3</i>	220 (73,1%)	185 (72,8%)	35 (74,5%)	0,817
Цистостома <i>Suprapubic drainage</i>	72 (23,9%)	53 (20,8%)	13 (27,6%)	0,337
Объём простаты, см <sup>3</sup> <i>Prostate volume, cm<sup>3</sup></i>	72,5 ± 24,1	71,5 ± 22,0	73,2 ± 24,3	0,771
Общий ПСА, нг/мл <i>Total PSA, ng/ml</i>	3,3 [1,2; 6,9]	3,0 [1,5; 5,1]	4,5 [2,8; 9,9]	0,031*
Плотность ПСА, нг/мл <sup>2</sup> <i>PSAD, ng/ml<sup>2</sup></i>	0,05 [0,02; 0,08]	0,04 [0,02; 0,07]	0,08 [0,05; 0,12]	0,011*
Дневные микции <i>Day urination</i>	6,2 ± 1,5	6,1 ± 1,2	6,7 ± 1,4	0,627
Ночные микции <i>Night urination</i>	4,4 ± 2,2	4,7 ± 2,1	5,3 ± 3,1	0,549
Исходный балл IPSS <i>IPSS Baseline Score</i>	30,0 [27; 33]	29,9 [27; 33]	30 [27; 34]	1,000

**Примечание.** Различия значимы при  $p < 0,05$ ; для сравнения количественных переменных использовали t-test (с критерием Levene) и Mann-Whitney U test для данных с нормальным распределением и без него соответственно. Сравнение частот проводили с помощью Хи-квадрата с поправкой Yates's correction. M ± SD — среднее ± стандартное отклонение; Me [Q1; Q3] — медиана [1-й; 3-й квартиль]; n (%) — количество и доля пациентов

**Note.** Differences are significant at  $p < 0.05$ ; to compare quantitative variables t-test (with Levene's test) for data follow normal data and the Mann-Whitney U test for data do not follow normal distribution were used respectively. Frequency comparisons were made using Chi-square with Yates's correction. M ± SD — mean ± standard deviation; Me [Q1; Q3] — median [1st; 3rd quartile], n (%) — количество и доля пациентов

**Таблица 2.** Периоперационные данные и показатели в период госпитализации  
**Table 2.** Perioperative data and hospitalization variables

Показатели   Parameters	Всего   Total (n = 301)	Без ИВО   Non-infection (n = 254)	ИВО   Infection (n = 47)	p
Длительность операции, мин Operation time, min	63,0 [49,0; 78,0]	60,5 [48,8; 76,0]	68,9 [52,4; 85,7]	0,090
Промывание мочевого пузыря, часы Bladder irrigation, hours	17,0 [9,0; 23,5]	17,0 [9,0; 23,3]	18,0 [11,0; 24,0]	0,811
Длительность катетеризации, дни Duration of catheterization, days	3,0 [3,0; 4,0]	3,0 [3,0; 4,0]	3,0 [3,0; 4,0]	0,856
Срок госпитализации, дни Hospital stay, days	7,0 [7,0; 10,0]	7,0 [7,0; 9,3]	8,0 [7,0; 10,0]	0,719
Наличие дизурии на момент выписки Presence of dysuria at discharge	41 (13,6%)	25 (9,8%)	16 (34,0%)	< 0,001
Мошоночная боль Scrotal pain	34 (11,3%)	12 (4,7%)	22 (46,8%)	< 0,001

**Примечание.** Различия значимы при  $p < 0,05$ ; для сравнения количественных переменных использовали Mann-Whitney U test. Сравнение частот проводили с помощью Хи-квадрата с поправкой Yates's correction. Me [Q1; Q3] — медиана [1-й; 3-й квартиль], n (%) — количество и доля пациентов

**Note.** Differences are significant at  $p < 0.05$ ; the Mann-Whitney U test was used to compare quantitative variables. Frequencies were compared using the Chi-square test with Yates's correction. Me [Q1; Q3] — median [1st; 3rd quartile], n (%) — количество и доля пациентов

**Таблица 3.** Выраженность симптомов нарушения мочеиспускания через 6 месяцев после вмешательства  
**Table 3.** Severity of urinary symptoms 6 months after surgery

Показатели   Parameters	Всего   Total (n = 301)	Без ИВО   Non-infection (n = 254)	ИВО   Infection (n = 47)	p
Ирритативный балл IPSS (через 6 месяцев) Irritative score IPSS (after 6 months)	2,3 ± 3,8	2,0 ± 3,4	4,0 ± 5,2	0,032
Обструктивный балл IPSS (через 6 месяцев) Obstructive score IPSS (after 6 months)	2,3 ± 4,4	2,1 ± 4,1	3,5 ± 5,6	0,247
Дневные микции (через 6 месяцев) Day urination (after 6 months)	5,6 ± 1,2	5,5 ± 1,0	5,8 ± 1,6	0,852
Ночные микции (через 6 месяцев) Night urination (after 6 months)	1,9 ± 1,5	1,8 ± 1,3	2,7 ± 2,1	0,019

**Примечание.** Различия значимы при  $p < 0,05$ ; для сравнения количественных переменных использовали t-test (с критерием Levene). M ± SD — среднее ± стандартное отклонение

**Note.** Differences are significant at  $p < 0.05$ ; t-test (with Levene's test) was used to compare quantitative variables. M ± SD — mean ± standard deviation

Сравнение выраженности симптомов нарушения мочеиспускания через 6 месяцев после операции продемонстрировало статистически значимые различия в показателях ирритативного балла IPSS (5,2% в группе наличия отдалённых ИВО против 3,4% в группе сравнения соответственно,  $p = 0,032$ ). Также различались показатели выраженности ноктурии (2,1% в группе наличия отдалённых ИВО против 1,3% в группе сравнения соответственно,  $p = 0,019$ ).

В отдалённом периоде у 47 (15,6%) пациентов развились ИВО: в 8 случаях развился уретрит, в 18 — эпидидимоорхит, в 9 — острый простатит, в остальных 12 случаях установлен цистит. Корреляционный анализ позволил подтвердить статистически значимую корреляцию переменных: ис-

ходный уровень плотности ПСА ( $p < 0,001$ ); наличие выраженной дизурии в послеоперационном периоде перед выпиской из стационара ( $p = 0,001$ ); наличие мошоночной боли ( $p < 0,001$ ); ирритативный балл IPSS через 6 месяцев после выписки из стационара ( $p < 0,010$ ) — с развитием отдалённых послеоперационных ИВО (табл. 4).

### Построение регрессионной модели прогнозирования риска развития отдалённых ИВО

В качестве первого шага построения многофакторной прогностической модели риска развития отдалённых ИВО изучаемые переменные были поочередно оценены в рамках одномерного анализа, что позволило выделить 3 статистически значимых предиктора: исходный

**Таблица 4.** Значимые корреляции оцениваемых показателей с частотой инфекционно-воспалительных осложнений**Table 4.** Significant correlations of the assessed data with the IC incidence

Показатели <i>Parameters</i>	Отдалённые инфекционно-воспалительные осложнения <i>Late infectious complications</i>	
	Коэффициент корреляции <i>Correlation coefficient</i>	P
Плотность ПСА (пороговое значение 0,07 нг/мл <sup>2</sup> ) <i>PSA density (cut-off value 0.07 ng/ml<sup>2</sup>)</i>	0,207	< 0,001
Мошоночная боль <i>Scrotal pain</i>	0,483	< 0,001
Дизурия на момент выписки из стационара <i>Dysuria at hospital discharge</i>	0,256	< 0,001
Балл IPSS (ирритативные симптомы) через 6 месяцев после вмешательства <i>IPSS (irritative symptoms) Score 6 months after surgery</i>	0,178	0,010

**Примечание.** Различия значимы при  $p < 0,05$ ; коэффициент корреляции Spearman  
**Note.** Differences are significant at  $p < 0.05$ ; Spearman correlation coefficient

уровень плотности ПСА, наличие дизурии на момент выписки из стационара и дискомфорта / боли в области мошонки в период госпитализации. Несмотря на то, что балл ирритативных симптомов по шкале IPSS коррелировал с развитием отдалённых ИВО, его прогностическая мощность в рамках регрессионного анализа была невысокой. Кроме того, с точки зрения практической пользы применения разрабатываемой прогностической модели в клинической практике целесообразно использовать переменные, ограниченные сроками госпитализации.

При включении выбранных переменных в многофакторную модель статистическая значимость предикторов оставалась на высоком уровне (табл. 5).

Доля объяснённой вариации частоты развития отдалённых ИВО составила 37,4%; площадь под кривой при ROC-анализе достигла 0,83; 95% ДИ [0,75; 0,90], подробные характеристики модели представлены в таблице 6, график ROC-кривой представлен на рисунке 1. Значимость критерия согласованности Хосмера-Лемешева составила 0,974 (уровень значимости  $p < 0,05$ ), что позволяет определить модель как высокосогласованную.

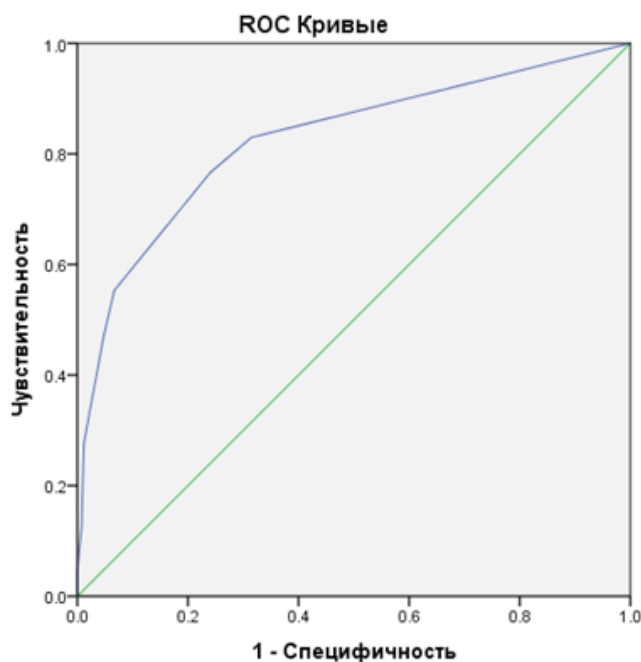
**Таблица 5.** Значимые предикторы развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений  
**Table 5.** Significant predictors of the development of late ICs

Предикторы <i>Predictors</i>	Среднеквадратичная ошибка <i>Root mean square error</i>	P
Плотность ПСА <i>PSA density</i>	0,408	< 0,001
Дизурия на момент выписки из стационара <i>Dysuria at hospital discharge</i>	0,448	0,001
Мошоночная боль в период госпитализации <i>Scrotal pain during hospitalization</i>	0,462	< 0,001

**Таблица 6.** Характеристики регрессионной модели риска развития инфекционно-воспалительных осложнений в отдалённом послеоперационном периоде**Table 6.** Characteristics of the regression model of the risk of developing infectious complications in the late postoperative period

Nagelkerke R <sup>2</sup>	ППК <i>AUC</i>	Нижняя граница ДИ <i>CI lower bound</i>	Верхняя граница ДИ <i>CI upper bound</i>	Чувствительность, (%) <i>Sensitivity, (%)</i>	Специфичность, (%) <i>Specificity, (%)</i>	P
0,374	0,825	0,752	0,899	83,0	68,5	< 0,001

**Примечание.** ППК — площадь под кривой; ДИ — доверительный интервал  
**Note.** AUC — area under the curve; CI — confidence interval



**Рисунок 1.** ROC-кривая оценки качества прогностической модели риска развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений

**Figure 1.** ROC-curve for assessing the quality of the prognostic model for the risk of developing late infectious complications

#### Построение вероятностной модели с использованием метода Байесовских сетей

Использование нескольких статистических методов с целью проверки гипотез, построения статистических моделей и формулирования выводов является подходом, позволяющим снизить вероятность ошибок в интерпретации, связанных с особенностями применения отдельных методик, а также получить дополнительную информацию об изучаемом вопросе. В проблеме классификации и прогнозирования событий в системах с большим количеством параметров Байесовская статистика позволяет достичь высокой точности, в особенности в системах принятия врачебных решений на основе алгоритмов машинного обучения. В сравнении с «частотными» выводами в классической статистике в Байесовской статистике оперируют вероятностями.

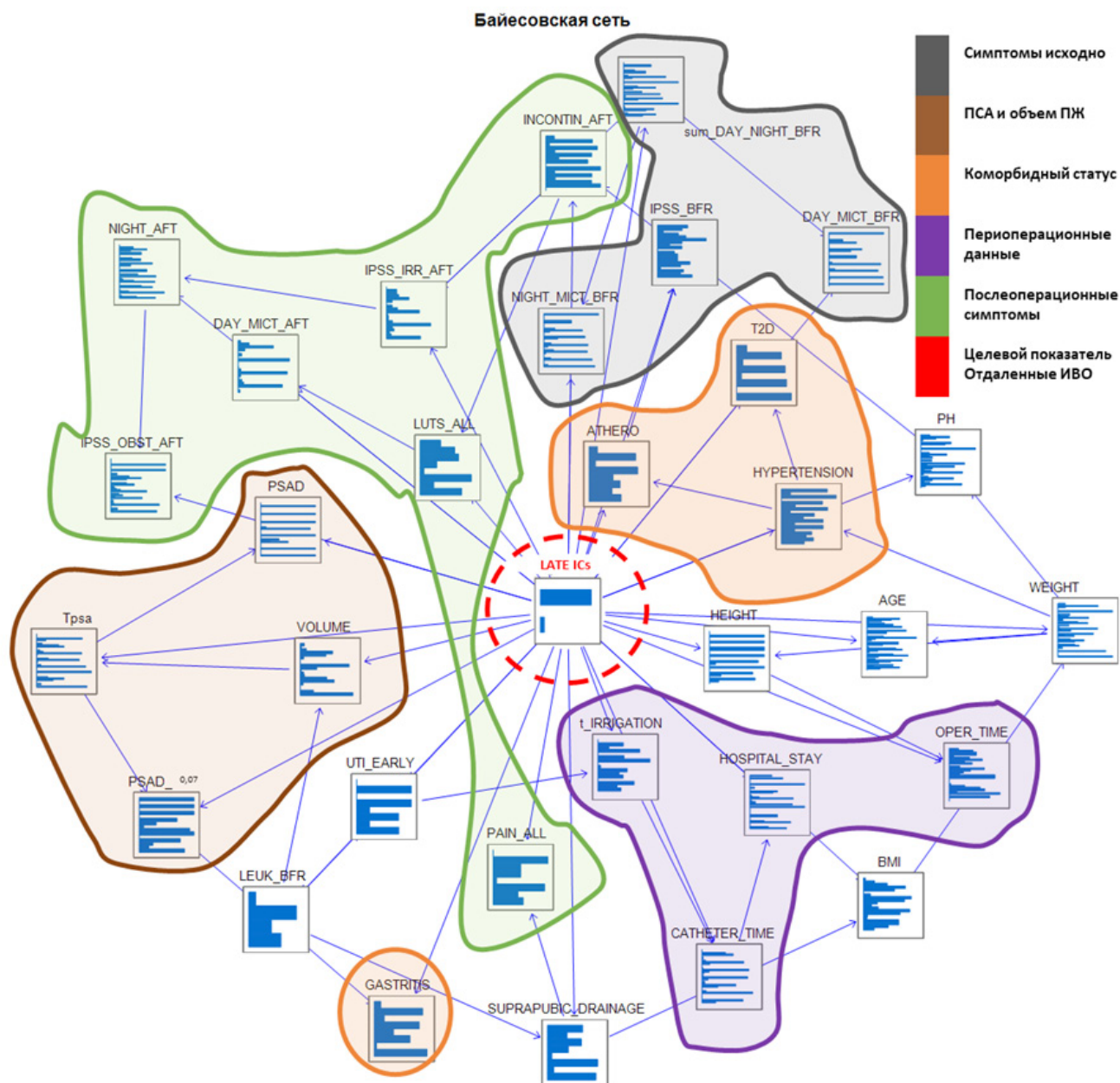
В настоящей работе использовали построение Байесовских сетей со следующими целями: 1) с целью определения взаимосвязей и их направленности в массиве переменных по отношению к целевому исходу — развитию отдалённых ИВО; 2) с целью определения наиболее значи-

мых предикторов, построения упрощённой Байесовской сети с ограниченным числом переменных; 3) с целью построения дерева вероятностей развития отдалённых ИВО в зависимости от статуса переменных-предикторов.

Первым этапом была выполнена наивная классификация с построением наивно-байесовской сети, основной особенностью которой являлось включение в сеть всех оцениваемых переменных с допущением независимости всех переменных и сопоставимости их значимости. Такой подход позволил построить сеть направленных взаимосвязей между переменными и целевым исходом — развитием отдалённых ИВО (корневой узел сети). Для удобства переменные были сгруппированы по цветам: 1) исходные симптомы нарушения мочеиспускания; 2) объём предстательной железы и уровни простат-специфического антигена; 3) коморбидный статус; 4) периоперационные данные; 5) симптомы нарушения мочеиспускания в послеоперационном периоде.

Представленные в графическом виде связи позволяют сделать важные наблюдения. Так, очевидно, исходный коморбидный статус тесно связан с профилем симптомов нарушенного мочеиспускания в предоперационном периоде. Основные периоперационные параметры и данные госпитализации, такие как продолжительность вмешательства, длительность послеоперационной катетеризации и продолжительность функционирования промывной системы, сроки послеоперационной катетеризации связаны с основными соматометрическими показателями пациента. Различные подкатегории домена послеоперационных симптомов нарушения мочеиспускания находятся в тесной сети взаимосвязей с исходным предоперационным статусом. Полученная сеть взаимосвязей представляется клинически обоснованной и позволяет в удобном графическом виде получить представления о взаимосвязях параметров внутри вероятностной сети по отношению к исходу отдалённых ИВО (рис. 2).

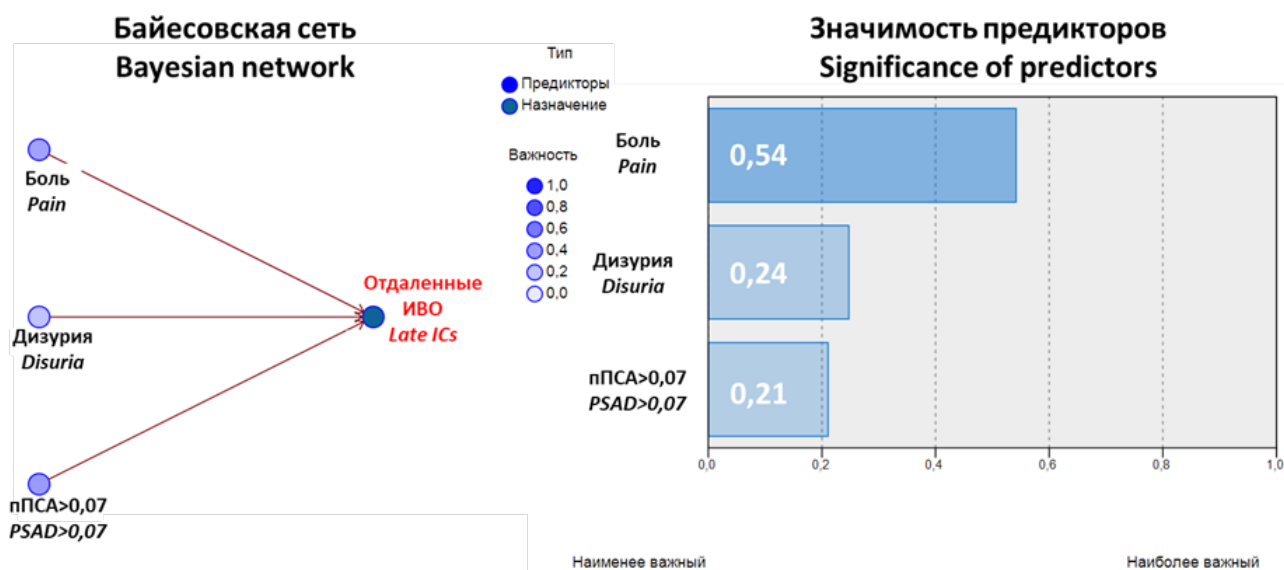
С целью построения сокращённой сети, содержащей наиболее значимые узлы для вероятностного прогнозирования, было выполнено Марковское ограждение, в результате которого были выделены основ-



**Рисунок 2.** Направленный ациклический граф риска развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений: LATE\_ICs — отдалённые инфекционно-воспалительные осложнения; LUTS\_ALL — дизурия на момент выписки из стационара; PAIN\_ALL — мошоночная боль в период госпитализации; PSAD — плотность простат-специфического антигена; PSAD\_0.07 — биномиальный показатель пПСА ( $\leq 0,07$ ;  $> 0,07$ ); WEIGHT — вес; HEIGHT — рост; BMI — индекс массы тела; AGE — возраст; T2D — сахарный диабет 2 типа; ATERO — наличие атеросклеротического поражения сосудов шеи, нижних, верхних конечностей или других магистральных артериальных сосудов; HYPERTENSION — артериальная гипертензия 1 – 3 степени; GASTRITIS — диагноз гастрита; pH – кислотно-щелочной показатель предоперационной мочи; TPSA — общий уровень простат-специфического антигена; VOLUME — объём простаты; OPER\_TIME — длительность операции; HOSPITAL\_STAY — длительность госпитализации; t\_IRRIGATION — длительность функционирования промывной системы; CATHETER\_TIME — срок послеоперационной катетеризации; UTI\_EARLY — инфекционно-воспалительные осложнения в период госпитализации; LEUK\_BFR — наличие лейкоцитурии более 10 в п. зр. при микроскопии мочи в предоперационном периоде; SUPRAPUBIC\_DRAINAGE — наличие цистостомы; IPSS\_BFR — исходный суммарный балл по шкале International Prostate Symptom Score (IPSS); DAY\_MICT\_BFR — число дневных микций до вмешательства; NIGHT\_MICT\_BFR — выраженность ноктурии до вмешательства; sum\_DAY\_NIGHT\_BFR — суммарное количество микций за сутки в предоперационном периоде; INCONTIN\_AFT — наличие недержания мочи в сроки до 6 месяцев после операции; IPSS\_IRR\_AFT — ирритативный балл

IPSS через 6 месяцев после вмешательства; IPSS\_OBST\_AFT — обструктивный балл IPSS через 6 месяцев после вмешательства; DAY\_MICT\_AFT — число дневных микций через 6 месяцев вмешательства; NIGHT\_AFT — число ночных микций через 6 месяцев вмешательства; ПЖ — предстательная железа; ИВО — инфекционно-воспалительные осложнения

**Figure 2.** Directed acyclic graph of the risk of developing late infectious complications: LATE\_ICs — late infectious and inflammatory complications; LUTS\_ALL — dysuria at hospital discharge; PAIN\_ALL — scrotal pain during hospitalization; PSAD — prostate-specific antigen density; PSAD\_0.07 — binomial pPSA value ( $\leq 0.07$ ;  $>0.07$ ); WEIGHT — weight; HEIGHT — height; BMI — body mass index; AGE — age; T2D — type 2 diabetes mellitus; ATHERO — presence of atherosclerotic lesions of the vessels of the neck, lower, upper extremities or other main arterial vessels; HYPERTENSION — arterial hypertension of grades 1-3; GASTRITIS — diagnosis of gastritis; pH — acid-base index of preoperative urine; TPSA — total level of prostate-specific antigen; VOLUME — prostate volume; OPER\_TIME — duration of surgery; HOSPITAL\_STAY — duration of hospital stay; t\_IRRIGATION — duration of irrigation system operation; CATHETER\_TIME — duration of postoperative catheterization; UTI\_EARLY — infectious and inflammatory complications during hospitalization; LEUK\_BFR — presence of leukocyturia more than 10 in the field of view during urine microscopy in the preoperative period; SUPRAPUBIC\_DRAINAGE — presence of cystostomy; IPSS\_BFR — initial total score according to the International Prostate Symptom Score (IPSS) scale; DAY\_MICT\_BFR — number of daytime urinations before the intervention; NIGHT\_MICT\_BFR — severity of nocturia before the intervention; sum\_DAY\_NIGHT\_BFR — total number of urinations per day in the preoperative period; INCONTIN\_AFT — presence of urinary incontinence for up to 6 months after surgery; IPSS\_IRR\_AFT — IPSS irritative score 6 months after the intervention; IPSS\_OBST\_AFT — IPSS obstructive score 6 months after the intervention; DAY\_MICT\_AFT — number of daytime urinations after 6 months of the intervention; NIGHT\_AFT — number of nighttime urinations after 6 months of the intervention; PH — prostate gland



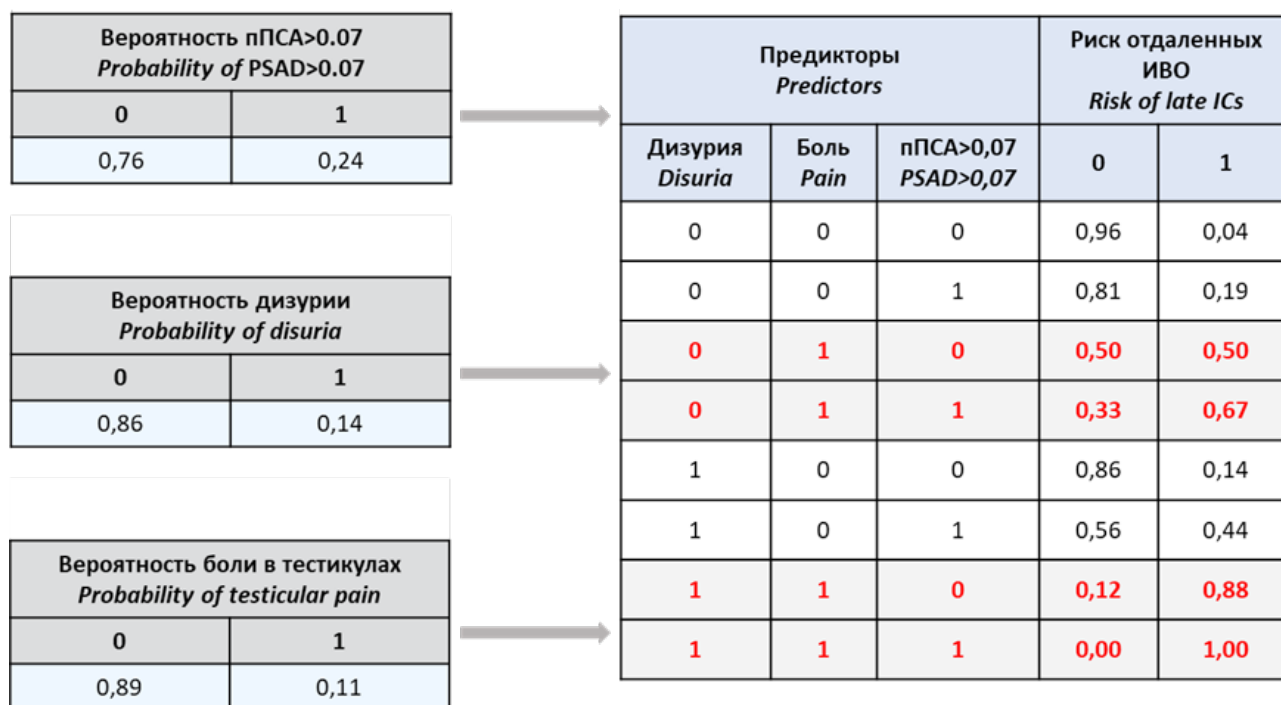
**Рисунок 3.** Сокращённая прогностическая модель риска развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений

**Figure 3.** Shortcut prognostic model for the risk of developing late infectious complications

ные, наиболее значимые предикторы: исходный уровень плотности ПСА, наличие выраженной дизурии в послеоперационном периоде перед выпиской из стационара и мошоночной боли в период госпитализации (рис. 3).

Древовидная диаграмма вероятностей на основе полученной сети представлена на рисунке 4. Так, фактор наличия мошоночной боли в период госпитализации обладал наибольшей прогностической силой: его изолированное присутствие определя-

ло 50%-ю вероятность развития отдалённых ИВО. Ввиду доминирующей роли этого фактора целесообразно определить его как «большой» критерий, тогда как остальные два предиктора — как «малые» критерии. Одновременное наличие фактора предоперационного уровня пПСА  $> 0,07$  нг/мл<sup>2</sup> повышало риск развития отдалённых ИВО до 67%. При пПСА  $\leq 0,07$  нг/мл<sup>2</sup> одновременное присутствие дизурии при выписке из стационара и мошоночной боли в период госпитализации определяло 88%-й риск



**Рисунок 4.** Древоидная диаграмма вероятностей наличия предикторов и риска развития отдалённых инфекционно-воспалительных осложнений (0 — отсутствие фактора; 1 — присутствие фактора)

**Figure 4.** Tree diagram of the probabilities of the presence of predictors and the risk of developing late infectious complications (0 — absence of factor; 1 — presence of factor)

развития отдалённых ИВО. В настоящей модели одновременное присутствие всех трёх факторов определяло 100%-ю вероятность наступления ИВО в отдалённом послеоперационном периоде, тогда как в отсутствие данных факторов риск таких осложнений не превышал 4%.

### Обсуждение

Развитие технологий сегодня даёт клиницистам крайне полезные инструменты, позволяющие осуществлять прогнозирование различных исходов в практике [6]. Одной из задач в рамках решения этой проблемы является повышение нашего понимания субклинического течения воспалительных процессов в тканях предстательной железы таких пациентов. В предыдущей нашей работе было предложено использовать плотность ПСА в качестве маркера таких процессов [7]. На выборке из 162 человек была обоснована прогностическая мощь такого показателя для оценки риска отдалённых ИВО при трансуретральной хирургии ГПЖ. Также впервые был определён порог этого показателя, определяющий значимое повы-

шения риска развития отдалённых ИВО, — 0,07 нг/мл<sup>2</sup>. В настоящей работе эти результаты были подтверждены на большей выборке, кроме того, для регрессионной модели использовали исследованный в предыдущей работе порог 0,07 нг/мл<sup>2</sup>.

Проведённое в 2023 году ретроспективное исследование J. Lin et al. (2023), объединившее данные 1169 пациентов с ГПЖ, продемонстрировало факторы риска развития послеоперационной инфекции в раннем послеоперационном периоде [8]. Была создана модель прогнозирования ранних ИВО после ТУР предстательной железы. Так, длительность операции, наличие постоянного уретрального катетера в предоперационном периоде и положительный результат предоперационного бактериологического исследования мочи были независимыми факторами риска ( $p < 0,05$ ). Интересно, что виды патогенов в предоперационной моче ( $P_{\text{Enterococcus faecium}} = 0,014$ ,  $P_{\text{Pseudomonas aeruginosa}} = 0,086$ ) также были независимыми факторами риска. Пациенты, из мочи которых выделяли *Enterococcus faecium* (37,50%), с наибольшей вероятностью имели послеоперационные ИВО. Ав-

торы построили две модели с  $AUC_1 = 0,709$  (95% ДИ 0,656 – 0,763) и  $AUC_2 = 0,705$  (95% ДИ 0,650 – 0,760). Однако прогнозирование отдалённых ИВО после трансуретральной хирургии предстательной железы, развивающихся через длительный период времени после выписки пациента из стационара, является крайне сложной задачей ввиду отсутствия репрезентативных маркеров латентных инфекционно-воспалительных процессов и сложности осуществления длительного послеоперационного наблюдения пациентов. Именно эти данные и представляют результаты нашего исследования. Важно отметить, что состав значимых предикторов отдалённых ИВО значительно отличается от таковых для ранних ИВО, что очевидно при сравнении нашей модели и моделей, полученных J. Lin et al. (2023). Данный факт может быть обусловлен тем, что проводимые общепринятые профилактические мероприятия в отношении ИВО, такие как стандартная антибиотикопрофилактика, своевременная замена мочевых дренажей, соблюдение нормы длительности оперативного вмешательства, эффективны с точки зрения профилактики инфекционных осложнений в раннем послеоперационном периоде, но не имеют никакого влияния в отдалённом периоде.

Очевидно, прогностическая модель, которая способна точно оценивать факторы риска ИВО и вероятность таких осложнений, может значительно улучшить результаты лечения пациентов и определять вектор клинических решений. В этой статье представлены данные разработки новой прогностической модели для оценки поздних инфекционных осложнений после трансуретральной хирургии простаты. Из ключевых периоперационных переменных, таких как демографические данные, коморбидность, клинико-лабораторные показатели, основные факторы интра- и послеоперационного периода, в ходе анализа были отобраны те, которые обладали наиболее значимой прогностической мощностью для формирования комплексного инструмента оценки риска ИВО. Помимо широко известного регрессионного подхода в текущей работе применён один из базовых методов, лежащих в основе машинного обучения и систем принятия врачебных решений. Действительно, Байесовские сети сегодня широко используются, такая сеть состоит

из узлов (переменных), соединённых направленными рёбрами и набором условных вероятностей. При этом сгенерированная модель является динамической, а вероятность всех переменных трансформируется путём изменения состояния любой переменной. В итоге внедрение предложенной прогностической модели может улучшить мониторинг за пациентами, оптимизировать распределение ресурсов и улучшить общие клинические результаты при лечении урологических инфекций.

**Ограничения исследования:** небольшой объём выборки (301 пациент), ретроспективный характер исследования.

### Заключение

Внедрение разработанной прогностической модели в клиническую практику может повысить безопасность трансуретральной хирургии ГПЖ, оптимизировать распределение ресурсов и повысить эффективность клинических результатов при лечении урологических инфекций. Прогностическая модель может быть использована при выписке пациента из стационара после выполнения трансуретральной хирургии по поводу ГПЖ.

### Практические рекомендации:

1) Специалисту, выполняющему оперативное лечение по поводу ГПЖ, необходимо индивидуально подходить к оценке риска развития отдалённых послеоперационных ИВО как фактора персистенции симптомов нарушенного мочеиспускания в послеоперационном периоде, снижения качества жизни, удовлетворённости пациента проведённым вмешательством, а также ввиду риска отягощения урологического морбидного фона, необходимости обращения в учреждения скорой медицинской помощи и ассоциированных рисков развития угрожающих жизни состояний, инвалидизации.

2) Клиническим специалистам в период госпитализации пациента для прохождения трансуретральной хирургии ГПЖ следует оценивать исходный уровень плотности ПСА, наличие мошоночной боли и дизурии на момент выписки из стационара как значимых предикторов развития отдалённых послеоперационных ИВО.

3) Наличие одного «большого» критерия (мошоночная боль в период госпитализации) определяет риск развития отдалённых

ИВО  $\geq 50\%$  и предполагает регулярное амбулаторное наблюдение после операции (1 раз в 6 месяцев на протяжении 1-го и 2-го года после операции, затем 1 раз в год) с выполнением расширенного бактериологического исследования мочи и общего анализа мочи.

4) Наличие одного «большого» критерия (мошоночная боль в период госпитализации) в ассоциации с «малыми» критериями

(исходный уровень пПСА  $> 0,07$  нг/мл<sup>2</sup> и наличие дизурии при выписке из стационара) определяет риск развития отдалённых ИВО от 67% до 100% и предполагает режим усиленного амбулаторного наблюдения после операции (1 раз в 3 месяца на протяжении 1-го и 2-го года после операции, затем 1 раз в год) с выполнением расширенного бактериологического исследования мочи и общего анализа мочи.

### Список литературы | References

1. Jo JK, Shinn SH, Kim KS, Moon HS. Changes in Prevalence and Treatment Pattern of Benign Prostatic Hyperplasia in Korea. *Int Neurourol J.* 2021;25(4):347-354. DOI: 10.5213/inj.2040412.206
2. Lin YH, Hou CP, Chen TH, Juang HH, Chang PL, Yang PS, Chen CL, Tsui KH. Transurethral resection of the prostate provides more favorable clinical outcomes compared with conservative medical treatment in patients with urinary retention caused by benign prostatic obstruction. *BMC Geriatr.* 2018;18(1):15. DOI: 10.1186/s12877-018-0709-3
3. Vivien A, Lazard T, Rauss A, Laisné MJ, Bonnet F. Infection after transurethral resection of the prostate: variation among centers and correlation with a long-lasting surgical procedure. *Association pour la Recherche en Anesthésie-Réanimation. Eur Urol.* 1998;33(4):365-369. DOI: 10.1159/000019617
4. Guo RQ, Yu W, Meng YS, Zhang K, Xu B, Xiao YX, Wu SL, Pan BN. Correlation of benign prostatic obstruction-related complications with clinical outcomes in patients after transurethral resection of the prostate. *Kaohsiung J Med Sci.* 2017;33(3):144-151. DOI: 10.1016/j.kjms.2017.01.002
5. Mayer EK, Kroeze SG, Chopra S, Bottle A, Patel A. Examining the 'gold standard': a comparative critical analysis of three consecutive decades of monopolar transurethral resection of the prostate (TURP) outcomes. *BJU Int.* 2012;110(11):1595-1601. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2012.11119.x
6. Bail C, Harth V, Mache S. Digitalization in Urology-A Multimethod Study of the Relationships between Physicians' Technostress, Burnout, Work Engagement and Job Satisfaction. *Healthcare (Basel).* 2023;11(16):2255. DOI: 10.3390/healthcare11162255
7. Иванов С.Н., Коган М.И., Набока Ю.Л., Медведев В.Л., Палагута Г.А. Плотность ПСА как предиктор отдалённых инфекционных осложнений при трансуретральной резекции простаты: определение оптимального порогового значения показателя. *Вестник урологии.* 2024;12(1):19-26. Ivanov S.N., Kogan M.I., Naboka Yu.L., Medvedev V.L., Palaguta G.A. PSA density as a predictor of long-term infectious complications during transurethral resection of the prostate: determining an optimal cut-off value. *Urology Herald.* 2024;12(1):19-26. (In Russian). DOI: 10.21886/2308-6424-2024-12-1-19-26
8. Lin J, Yang Z, Ye L, Hong Y, Cai W, Pan H, Fu H, Wu J. Pathogen species are the risk factors for postoperative infection of patients with transurethral resection of the prostate: a retrospective study. *Sci Rep.* 2023;13(1):20943. DOI: 10.1038/s41598-023-47773-7

### Сведения об авторах | Information about the authors

**Сергей Никитич Иванов | Sergey N. Ivanov**

<https://orcid.org/0000-0002-9772-937X>; [ivanovsergey19@gmail.com](mailto:ivanovsergey19@gmail.com)

**Владимир Леонидович Медведев** — д-р мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ | **Vladimir L. Medvedev** — Dr.Sc.(Med), Full Prof., Hons. Sci. of the Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0001-8335-2578>; [medvedev\\_vl@mail.ru](mailto:medvedev_vl@mail.ru)

**Юлия Лазаревна Набока** — д-р мед. наук, профессор | **Yulia L. Naboka** — Dr.Sc.(Med), Full Prof.

<https://orcid.org/0000-0002-0937-4573>; [nula33@mail.ru](mailto:nula33@mail.ru)

**Михаил Иосифович Коган** — д-р мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ | **Mikhail I. Kogan** — Dr.Sc.(Med), Full Prof., Hons. Sci. of the Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0002-1710-0169>; [dept\\_kogan@mail.ru](mailto:dept_kogan@mail.ru)