

# МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья

УДК 616-006.66

DOI: 10.17816/pmj413109-119

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗВИТИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ПРОСТАТЭКТОМИИ У ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

**М.А. Полиданов<sup>1,2\*</sup>, М.А. Барулина<sup>4,5</sup>, В.С. Марченко<sup>3</sup>, В.А. Волков<sup>3</sup>, А.П. Дягель<sup>3</sup>,  
Н.А. Лужнов<sup>6</sup>, В.Н. Кудашкин<sup>6</sup>, Н.В. Колпакова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург,

<sup>2</sup> Медицинский университет «Реавиз», г. Саратов,

<sup>3</sup> Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского,

<sup>4</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет,

<sup>5</sup> Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов,

<sup>6</sup> Самарский государственный медицинский университет, Российская Федерация

---

© Полиданов М.А., Барулина М.А., Марченко В.С., Волков В.А., Дягель А.П., Лужнов Н.А., Кудашкин В.Н., Колпакова Н.В., 2024

тел. +7 960 358 74 00

e-mail: maksim.polidanoff@yandex.ru

[Полиданов М.А. (контактное лицо) – специалист научно-исследовательского отдела, ассистент кафедры медико-биологических дисциплин, аспирант кафедры хирургических болезней; ORCID: 0000-0001-7538-7412; Барулина М.А. – доктор физико-математических наук, директор Физико-математического института, заведующий лабораторией «Анализ и синтез динамических систем в прецизионной механике», главный научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-3867-648X; Марченко В.С. – ординатор кафедры урологии, ORCID: 0009-0006-8652-5298; Волков В.А. – студент II курса лечебного факультета, ORCID: 0000-0002-3803-2644; Дягель А.П. – студент II курса лечебного факультета, ORCID: 0009-0004-5983-2116; Лужнов Н.А. – студент V курса Института педиатрии, ORCID: 0009-0008-0628-4389; Кудашкин В.Н. – студент VI курса Института педиатрии, ORCID: 0000-0001-9099-3517; Колпакова Н.В. – студентка VI курса лечебного факультета, ORCID: 0009-0006-4837-584X].

© Polidanov M.A., Barulina M.A., Marchenko V.S., Volkov V.A., Dyagel A.P., Luzhnov N.A., Kudashkin V.N., Kolkpakova N.V., 2024

tel. +7 960 358 74 00

e-mail: maksim.polidanoff@yandex.ru

[Polidanov M.A. (\*contact person) – Research Department Specialist, Assistant of the Department of Biomedical Disciplines, Postgraduate Student of the Department of Surgical Diseases, ORCID: 0000-0001-7538-7412; Barulina M.A. – DSc (Physics and Mathematics), Director of the Institute of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory «Analysis and Synthesis of Dynamic Systems in Precision Mechanics», Chief Researcher, ORCID: 0000-0003-3867-648X; Marchenko V.S. – resident of the Department of Urology, ORCID: 0009-0006-8652-5298; Volkov V.A. – 2<sup>nd</sup>-year student of the Medical Faculty, ORCID: 0000-0002-3803-2644; Dyagel A.P. – 2<sup>nd</sup>-year student of the Medical Faculty, ORCID: 0009-0004-5983-2116; Luzhnov N.A. – 5<sup>th</sup>-year student of the Institute of Pediatrics, ORCID: 0009-0008-0628-4389; Kudashkin V.N. – 6<sup>th</sup>-year student of the Institute of Pediatrics, ORCID: 0000-0001-9099-3517; Kolkpakova N.V. – 6<sup>th</sup>-year student of the Medical Faculty, ORCID: 0009-0006-4837-584X].

## PREDICTING THE PROBABILITY OF COMPLICATIONS DURING PROSTATECTOMY IN PATIENTS WITH PROSTATE CANCER USING MACHINE LEARNING METHODS

*M.A. Polidanov<sup>1,2,\*</sup>, M.A. Barulina<sup>4,5</sup>, V.S. Marchenko<sup>3</sup>, V.A. Volkov<sup>3</sup>, A.P. Dyagel<sup>3</sup>, N.A. Luzhnov<sup>6</sup>, V.N. Kudashkin<sup>6</sup>, N.V. Kolpakova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> University «Reaviz», Saint Petersburg,

<sup>2</sup> Medical University «Reaviz», Saratov,

<sup>3</sup> Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky,

<sup>4</sup> Perm State National Research University,

<sup>5</sup> Institute of Problems of Precision Mechanics and Control of RAS,

<sup>6</sup> Samara State Medical University, Russian Federation

**Цель.** Определение возможностей прогнозирования вероятности возникновения осложнений после перенесенного оперативного вмешательства у пациентов, поступивших с диагнозом раком предстательной железы, с помощью методов искусственного интеллекта.

**Материалы и методы.** В исследовании были проанализированы данные историй болезни 701 пациента, которым была выполнена простатэктомия. Проведена оценка анамнеза, данных клинико-лабораторных и инструментальных методов исследования, а также объективных данных клинических наблюдений. Средний возраст пациентов составил 64,72 г. Исходя из комплекса результатов обследования, были отобраны пациенты, соответствующие следующим критериям включения: больные раком предстательной железы без подтвержденных метастазов со стадией заболевания от T1N0M0 до T3N0M0; отсутствие предшествующего и сопутствующего специального лечения (иммунотерапия или таргетная терапия); наличие информированного согласия на проводимое оперативное вмешательство. В качестве модели машинного обучения применялась логистическая регрессия – бинарный классификатор, использующий сигмоидную функцию активации на линейные комбинации признаков.

**Результаты.** Установлено, что на отобранных параметрах (объем простаты, болевой синдром, длительность заболевания) модель логистической регрессии достаточно хорошо предсказывает вероятность возникновения осложнений (TPR = 1). Общая точность модели составляет Accuracy = 0,98. При этом из матрицы согласования видно, что обученная модель «перестраховывается» и классифицирует часть случаев без осложнений неправильно – в 5,3 % (FNR = 0,053). Однако модель ни разу не ошиблась и не отнесла случаи, в которых высока вероятность возникновения осложнений, к случаям, где такая возможность маловероятна.

**Выводы.** Полученные результаты показывают, что на основе всего трех параметров (объем простаты, болевой синдром, длительность заболевания) можно построить достаточно хорошую предсказательную модель вероятности возникновения осложнений после простатэктомии на основе такого метода машинного обучения, как логистическая регрессия.

**Ключевые слова.** Рак предстательной железы, простатэктомия, диагностика, раннее выявление осложнений, прогнозирование осложнений, логистическая регрессия.

**Objective.** To determine the probabilities of predicting possible complications after surgery in patients with the diagnosis of prostate cancer using artificial intelligence methods.

**Materials and methods.** Case histories of 701 patients who underwent prostatectomy were analyzed in the study. The anamnesis, findings of clinical, laboratory and instrumental study, as well as objective data of clinical observations were evaluated. The average age was 64.72. On the basis of the set of examination results, patients were selected according to the following inclusion criteria: prostate cancer patients without confirmed metastases with disease stage from T1N0M0 to T3N0M0; absence of previous and concomitant special treat-

ment (immunotherapy or targeted therapy); informed consent to the surgery. Logistic regression, a binary classifier using a sigmoidal activation function on linear combinations of features, was used as a machine learning model.

**Results.** It was determined that the logistic regression model based on selected parameters (prostate volume, pain syndrome, disease duration), predicts the probability of complications quite well (TPR = 1). The overall accuracy of the model is: Accuracy = 0.98. At the same time, it can be noticed from the agreement matrix that the trained model plays it safe and classifies some cases without complications incorrectly in 5.3 % (FNR = 0.053). However, the model never made an error and did not classify cases with a high risk of complications as those in which such a possibility was unlikely.

**Conclusions.** The results obtained show that on the basis of just three parameters (prostate volume, pain syndrome, duration of the disease), it is possible to build a fairly good predictive model of the probability of complications after prostatectomy based on such machine learning method as logistic regression.

**Keywords.** Prostate cancer; prostatectomy; diagnostics; early detection of complications; prediction of complications; logistic regression.

## ВВЕДЕНИЕ

В России заболеваемость раком предстательной железы (РПЖ) в последнее десятилетие стремительно возрастает. В структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями мужского населения РПЖ занимает 4-е место (6,9 % опухолей всех локализаций) после рака легкого, желудка и опухолей кожи [1–4]. С внедрением в практику скрининговых программ с использованием тестирования простатического специфического антигена (ПСА) значительно возросло число больных с локализованными формами РПЖ [5–7]. У 10–30 % пациентов после оперативных вмешательств развивается рецидив РПЖ, который на ранних этапах определяется ростом значений уровня ПСА [8–11]. Совершенствование техники простатэктомии происходит соответственно эволюции изучения анатомии этой области, более точного понимания особенностей расположения и строения фасциальных слоев и функционально важных анатомических структур [12; 13]. В связи с активным развитием искусственного интеллекта стало возможно создание системы помощи принятия врачебных решений по прогнозу возникновения осложне-

ний при различных заболеваниях, в том числе при РПЖ. В настоящее время уже разрабатываются и внедряются системы поддержки принятия решений врача на основе ретроспективного анализа карт амбулаторного больного и клинической истории болезни; системы реального времени для больных в реанимации, позволяющих предупредить лечащий персонал о наступлении критических состояний; носимые системы для мониторинга и последующего ретроспективного анализа данных анамнеза.

Одним из путей улучшения результатов лечения РПЖ после простатэктомии видится возможность выявления и прогнозирования процента выживаемости пациентов после перенесенного оперативного вмешательства, а также процента возникновения осложнений на ранней стадии с помощью методов градиентного бустинга, что, несомненно, сможет значительно упростить построение и стратегию лечения.

*Цель исследования* – определение возможностей прогнозирования вероятности возникновения осложнений после перенесенного оперативного вмешательства у пациентов, поступивших с диагнозом РПЖ, с помощью методов искусственного интеллекта.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании были проанализированы данные историй болезни 701 пациента, которым была выполнена простатэктомия. Проведена оценка анамнеза, данных клинико-лабораторных и инструментальных методов исследования, а также объективных данных клинических наблюдений. Средний возраст составил 64,72 г. Всем включенным в исследование больным было проведено комплексное обследование согласно клиническим рекомендациям по диагностике и лечению больных раком предстательной железы. Морфологическое исследование полученного материала (после проведенного оперативного лечения) проводилось по стандартной технологии. При обзорном морфологическом анализе срезы, окрашенные гематоксилином и эозином, использовали для определения гистологического типа опухоли, степени дифференцировки, выраженности вторичных изменений и распространенности опухолевого процесса по классификации ВОЗ. Исходя из комплекса результатов обследования, отобраны пациенты, соответствующие следующим критериям включения: больные РПЖ без подтвержденных метастазов со стадией заболевания от T1N0M0 до T3N0M0; отсутствие предшествующего и сопутствующего специального лечения (иммунотерапия или таргетная терапия); наличие информированного согласия на проводимое оперативное вмешательство и участие в исследовании. Критериями же исключения явились: больные РПЖ с подтвержденными метастазами; предшествующее и сопутствующее специальное лечение; а также наличие обострений хронических заболеваний. При клиническом обследовании было установлено, что уровни ПСА колебались от 3,98 до 30,49 нг/мл; число Глиссона было от 3 до 7,

размер опухоли предстательной железы – от 33,04 до 143,88 см<sup>3</sup>.

В качестве модели машинного обучения применялась логистическая регрессия – бинарный классификатор, использующий сигмоидную функцию активации на линейные комбинации признаков. Этот метод машинного обучения является наиболее простым классификатором, который при этом показывает достаточно хорошие результаты на определенных задачах. При этом он позволяет выяснить наличие линейно-зависимых параметров в наборе данных.

В качестве метрик использовались следующие:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Матрица согласований в виде:

$$\begin{bmatrix} TPR & FNR \\ FPR & TNR \end{bmatrix},$$

где

$$TPR = \frac{TP}{TP + FP}; \quad FPR = \frac{FP}{TP + FP};$$

$$TNR = \frac{TN}{TN + FN}; \quad FNR = \frac{FN}{TN + FN};$$

*TPR* – доля пациентов, у которых было осложнение, и модель предсказала осложнение, из всех пациентов, у которых было предсказано осложнение; *FPR* – доля пациентов, у которых не было осложнений, но модель предсказала осложнение, из всех пациентов, у которых было предсказано осложнение; *FNR* – доля пациентов, у которых были осложнения, но модель не предсказала осложнение, из всех пациентов, у которых было предсказано отсутствие осложнений; *TNR* – доля пациентов, у которых не было осложнений, и модель предсказала

отсутствие осложнения, из всех пациентов, у которых было предсказано отсутствие осложнений;  $TP$  – количество пациентов, у которых было осложнение, и модель предсказала осложнение;  $FP$  – количество пациентов, у которых не было осложнений, но модель предсказала осложнение;  $FN$  – количество пациентов, у которых были осложнения, но модель не предсказала осложнение;  $TN$  – количество пациентов, у которых не было осложнения, и модель предсказала отсутствие осложнения.

Разрешение на проведение исследования отражено локальным этическим комитетом (ЛЭК) Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского (протокол ЛЭК № 2 от 16.09.2023). Исследование проводили при наличии добровольных информированных

согласий пациентов в соответствии с декларацией о соблюдении международных, а также российских этических принципов и норм (выписка из протокола № 19 заседания комитета по биоэтике от 26 октября 2018 г.). Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Собранный набор данных, помимо стадированных по системе TNM диагнозов (на момент поступления в стационар и после гистологического подтверждения), содержал следующие параметры ( $I$  – интервал значений,  $m$  – среднее,  $s$  – стандартное отклонение), отраженные в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры исследуемого набора данных**

Название параметра	Диапазон значений	Код
Возраст, лет	$I = [50...80]$ $m = 64,73$ $s = 8,14$	ВОЗРАСТ
Длительность заболевания, количество месяцев	$I = [7...120]$ $m = 26,87$ $s = 19,08$	ДЗ
Уровень ПСА до операции, нг/мл'	$I = [3,98...30,49]$ $m = 17,21$ $s = 7,74$	ПСАДО
Число Глиссона по TNM для операции	$I = [3,00...7,00]$ $m = 4,90$ $s = 1,42$	ГЛИССОНДО
УЗИ простаты на момент поступления в стационар, см	$I = [3,00...5,89]$ $m = 4,28$ $s = 0,71$	УЗИ1
УЗИ простаты после оперативного вмешательства, см	$I = [2,91...8,78]$ $m = 4,23$ $s = 0,83$	УЗИ2
УЗИ простаты на момент выписки, см	$I = [2,89...9,70]$ $m = 4,25$ $s = 0,86$	УЗИ3

Название параметра	Диапазон значений	Код
Объем простаты, см <sup>3</sup>	$I = [25,90...180,20]$ $m = 87,84$ $s = 32,05$	ОБЪЕМПР
Была ли остаточная моча	Да/Нет	ОСТМОЧА
Инфицированная моча до операции (у всех пациентов значение было равно «Нет». Параметр был исключен из исследования)	Да/Нет	
Сопутствующие заболевания	Да/Нет	СОПУТ
Сопутствующие заболевания сердечно-сосудистой системы	Да/Нет	ССС
Сопутствующие заболевания желудочно-кишечного тракта	Да/Нет	ЖКТ
Сопутствующие заболевания дыхательной системы	Да/Нет	ДС
Операция в анамнезе	Да/Нет	ОПАНАМ
Вид операции (пациентам в зависимости от стадии опухолевого процесса выполнялись следующие виды операций: позадилоная радикальная простатэктомия; лапароскопическая позадилоная простатэктомия; радикальная простатэктомия промежностным доступом)	Позадилоная простатэктомия Лапароскопическая простатэктомия Простатэктомия промежностным доступом	ВИДОП
Число Глиссона по TNM после операции	$I = [3,00...10,00]$ $m = 6,45$ $s = 2,17$	ГЛИССОНПО
Совпадение диагноза по шкале Глиссона	Да/Нет	ГЛИССОНСОВП
Примесь крови в моче после операции	Да/Нет	КРОВЬМОЧА
Время нахождения в стационаре после операции, дни	$I = [7,00...41,00]$ $m = 19,69$ $s = 8,34$	СТАЦИОН
Выписали с катетером	Да/Нет	КАТЕТЕТ
Кровопотеря	Да/Нет	КРОВОП
Потребность в переливании крови	Да/Нет	ПЕРЕЛИВ
Интероперационные осложнения	Да/Нет	ИНТЕРОП
Послеоперационные осложнения	Да/Нет	ПОСЛЕОП
Осложнения, непосредственно не связанные с проводимой операцией	Да/Нет	ОСЛОЖН
Вялая струя мочи до операции	Да/Нет	ВЯЛСТРУЯ
Выраженный болевой синдром	Да/Нет	БОЛСИНДР
Ноктурия	Да/Нет	НОКТ

На рис. 1 показано процентное соотношение пациентов по видам проведенной операции, на рис. 2 – распределение пациентов по возрасту.

Как видно из данных рис. 1, набор сведений несбалансирован по типу проведенной операции. Большинству пациентов (58,6 %) была проведена позадилоная про-

статэктомия. Лапароскопическая простатэктомия была проведена 26,2 % пациентам, а простатэктомия промежностным доступом – 15,1 %. При этом, как видно из данных рис. 2, количество пациентов с возникшими осложнениями и без них было примерно одинаковым.



Рис. 1. Процентное соотношение пациентов по видам операции

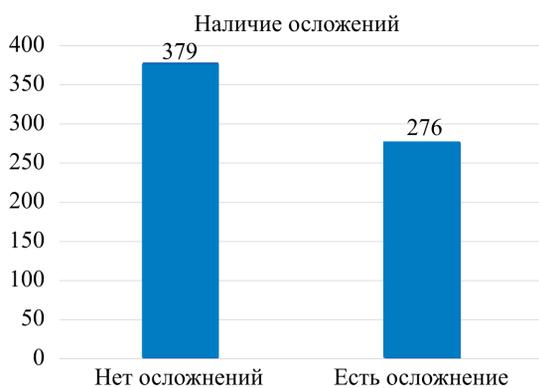


Рис. 2. Распределение пациентов по наличию и отсутствию осложнений: 0 – осложнений не было, 1 – осложнения были

Для дальнейшего исследования были убраны параметры, значения которых были или уникальны, или одинаковы для всех пациентов. В результате остались следующие параметры: «ВОЗРАСТ» (возраст исследуемых пациентов), «ДЗ» (длительность заболевания (в месяцах)), «TNM.T» (размеры опухоли по классификации TNM), «TNM.N» (стадии с поражением лимфоузлов по классификации TNM), «ПСАДО (уровень ПСА до

операции, нг/мл)», «ГЛИССОНДО» (число Глиссона по TNM для операции), «УЗИ1» (УЗИ простаты на момент поступления в стационар, см), «УЗИ2» (УЗИ простаты после оперативного вмешательства, см), «УЗИ3» (УЗИ простаты на момент выписки, см), «ОБЪЕМПР» (объем простаты, см<sup>3</sup>), «ОСТМОЧА» (была ли остаточная моча), «ССС» (сопутствующие заболевания сердечно-сосудистой системы), «ЖКТ» (сопутствующие заболевания желудочно-кишечного тракта), «ДС» (сопутствующие заболевания дыхательной системы), «ОПАНАМ» (операция в анамнезе), «ВИДОП» (вид операции; пациентам в зависимости от стадии опухолевого процесса выполнялись следующие виды операций: позадилонная радикальная простатэктомия; лапароскопическая позадилонная простатэктомия; промежностная простатэктомия; радикальная простатэктомия промежностным доступом), «ГЛИССОНПО» (число Глиссона по TNM после операции), «гTNM.T» (гистологическая верификация опухоли по классификации TNM), «ГЛИССОНСОВП» (совпадение диагноза по шкале Глиссона), «КРОВЬМОЧА» (примесь крови в моче после операции), «КАТЕТЕТ» (выписали с катетером), «КРОВОП» (кровопотеря), «ПЕРЕЛИВ» (потребность в переливании крови), «БОЛСИНДР» (выраженный болевой синдром), «НОКТ» (ноктурия). Целевая переменная для предсказания «ПОСЛЕОП» (послеоперационные осложнения).

С помощью логистической регрессии определены параметры, которые были линейно зависимыми от остальных. Результаты расчета важности оставшихся линейно независимых параметров приведены в табл. 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 2, наиболее важными параметрами, определяющими вероятность возникновения осложнений, являются объем простаты (ОБЪЕМПР,  $p = 0,0435$ ), болевой синдром

**Результаты расчета важности оставшихся независимых параметров**

Model	Logit		Method		MLE	
Dependent Variable:	ПОСЛЕОП		Pseudo R-squared:		0.853	
Date:	2024-03-29 20:26		AIC:		186.4373	
No. Observations:	701		BIC:		291.1450	
Df Model:	22		Log-Likelihood:		-70.219	
Df Residuals:	678		LL-Null:		-478.59	
Converged:	1.0000		LLR p-value:		1.6073e-158	
No. Iterations:	11.0000		Scale:		1.0000	
	Coef.	Std.Err.	z	P >  z	[0,025	0,975]
ВОЗРАСТ	-0,0220	0,0270	-0,8158	0,4146	-0,0750	0,0309
ДЗ	-0,0204	0,0091	-2,2558	0,0241	-0,0382	-0,0027
TNM.T	-0,0465	0,6236	-0,0745	0,9406	-1,2688	1,1759
TNM.N	0,0198	1,9323	0,0102	0,9918	-3,7674	3,8069
ПСАДО	0,0146	0,0320	0,4565	0,6480	-0,0480	0,0772
ГЛИССОНДО	-0,1571	0,1754	-0,8955	0,3705	-0,5009	0,1867
УЗИ1	-0,0702	0,3461	-0,2028	0,8393	-0,7486	0,6082
УЗИ2	-0,4671	0,2545	-1,8349	0,0665	-0,9659	0,0318
УЗИ3	-0,0195	0,2300	-0,0850	0,9323	-0,4704	0,4313
ОБЪЕМПР	-0,0148	0,0073	-2,0188	0,0435	-0,0292	-0,0004
ОСТМОЧА	0,0001	0,0329	0,0018	0,9985	0,0645	0,0646
ССС	-1,0520	1,1430	-0,9204	0,3574	-3,2923	1,1883
ЖКТ	-0,6683	0,5550	-1,2041	0,2286	-1,7560	0,4195
ДС	1,1087	1,5938	0,6956	0,4866	-2,0150	4,2324
ОПАНАМ	1,0268	0,9198	1,1163	0,2643	-0,7760	2,8297
ВИДОП	0,3699	0,4353	0,8499	0,3954	-0,4832	1,2231
ГЛИССОНПО	-0,0891	0,1207	-0,7381	0,4605	-0,3256	0,1475
rTNM.T	1,1078	0,8687	1,2752	0,2022	-0,5948	2,8104
ГЛИССОНСОВП	-0,0751	0,5762	-0,1303	0,8963	-1,2044	1,0542
КРОВЬМОЧА	0,0498	1,4686	0,0339	0,9730	-2,8286	2,9281
КАТЕТЕТ	-0,9088	0,7519	-1,2087	0,2268	-2,3824	0,5649
КРОВОП	-0,0786	1,4563	-0,0539	0,9570	-2,9329	2,7758
БОЛСИНДР	10,4449	1,5913	6,5636	0,0000	7,3259	13,5638

(БОЛСИНДР,  $p = 0,0000$ ), длительность заболевания (ДЗ,  $p = 0,0241$ ).

Далее на этих параметрах была обучена логистическая регрессия для определения вероятности возникновения осложнений.

Для обучения и вычисления метрик исходный набор данных был разделен в пропорции 70 % /30 % так, чтобы распределения целевой переменной (ПОСЛЕОП) были ста-

тистически не различимыми в тренировочной и вариационной метрике.

В результате тестирования обученной модели на валидационной выборке метрика Ассигасу составила 0,98. Матрица согласованных показана на рис. 3. Как видим, доля пациентов, у которых были осложнения и у которых модель предсказала осложнения, составила  $TPR = 1$ . Модель ни разу не ошиблась и не

отнесла пациентов с осложнениями к пациентам без осложнений ( $FPR = 0$ ). При этом модель «перестраховывалась», и для 5,3 % пациентов было предсказано возникновение осложнений, хотя у них осложнение не возникло ( $FNR = 0,053$  и  $TNR = 0,95$ ).

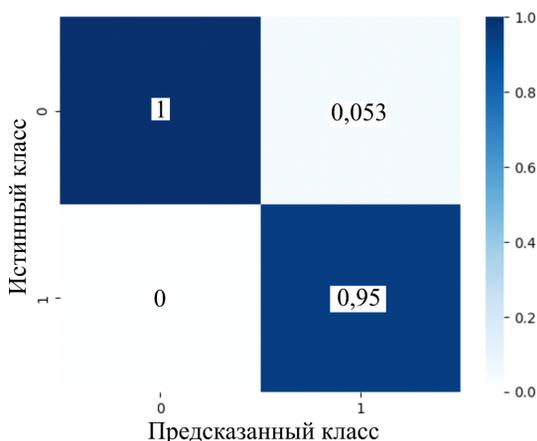


Рис. 3. Матрица согласований

Стоит также отметить, что на сегодняшний день также уже получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ «Система предсказания прогнозирования осложнений при простатэктомии при раке предстательной железы» (№ 2024613673)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024613673 / 04.03.2024. Заявка от 18.02.2024. Барулина М.А., Марченко В.С., Полиданов М.А., Волков К.А., Понукалин А.Н., Дурнов Д.А., Лужнов Н.А. Система предсказания прогнозирования осложнений при простатэктомии при раке предстательной железы. Ссылка активна на 29.03.2024: <https://fips.ru/EGD/a125bea5-0e3f-4e72-9fd7-331b654580f3> [Certificate of registration of computer program № 2024613673 / 04.03.2024. Application from 18.02.2024. Barulina M.A., Marchenko V.S., Polidantov M.A., Volkov K.A., Ponukalin A.N., Durnov D.A., Luzhnov N.A. System of prediction of complications prediction at prostatectomy for prostate cancer. The link is active as of 29.03.2024: <https://fips.ru/EGD/a125bea5-0e3f-4e72-9fd7-331b654580f3>].

## ВЫВОДЫ

Как видно из полученных метрик, на отобранных параметрах (объем простаты (ОБЪЕМПР), болевой синдром (БОЛСИНДР), длительность заболевания (ДЗ)) модель логистической регрессии достаточно хорошо предсказывает вероятность возникновения осложнений ( $TPR = 1$ ). Общая точность модели составляет  $Accuracy = 0,98$ . Но, как видно из матрицы согласования, модель «перестраховывается», и классифицирует часть случаев без осложнений неправильно. Так, 5,3 % ( $FNR = 0,053$ ) были неправильно классифицированы как случаи, где высока вероятность возникновения осложнений. При этом модель ни разу не ошиблась и не отнесла случаи, в которых высока вероятность возникновения осложнений, к случаям, где такая возможность маловероятна.

Таким образом, полученные результаты показывают, что на основе всего трех параметров (объем простаты (ОБЪЕМПР), болевой синдром (БОЛСИНДР), длительность заболевания (ДЗ)) можно построить достаточно хорошую предсказательную модель вероятности возникновения осложнений после простатэктомии на основе такого метода машинного обучения, как логистическая регрессия. При необходимости повысить метрики модели можно увеличить выборку пациентов и обучить модель на более сложных методах машинного обучения и искусственного интеллекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Sekboacha M., Riet K., Motloung P., Gumtenku L., Adegoke A., Mashele S. Prostate Cancer Review: Genetics, Diagnosis, Treatment Options, and Alternative Approaches. *Molecules*. 2022; 27 (17): 5730.

2. *Алипов В.В., Тахмезов А.Э., Полиданов М.А., Мусаелян А.Г., Кондрашкин И.Е., Волков К.А., Алипов А.И.* Улучшение результатов лечения и диагностики послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии с применением многофункционального устройства. *Медицинская наука и образование Урала.* 2023; 24 (1–113): 67–71 / *Alipov V.V., Takhmezov A.E., Polidanov M.A., Musaelyan A.G., Kondrashkin I.E., Volkov K.A., Alipov A.I.* Improvement of the results of treatment and diagnosis of postoperative complications in abdominal surgery with the use of multifunctional device. *Medical Science and Education of the Urals* 2023; 24 (1–113): 67–71 (in Russian).
3. *Wasim S., Lee S.Y., Kim J.* Complexities of Prostate Cancer. *Int J Mol Sci.* 2022; 23 (22): 142–157.
4. *Desai K., McManus J.M., Sharifi N.* Hormonal Therapy for Prostate Cancer. *Endocr Rev.* 2021; 42 (3): 354–373.
5. *Achard V., Putora P.M., Omlin A., Zilli T., Fischer S.* Metastatic Prostate Cancer: Treatment Options. *Oncology.* 2022; 100 (1): 48–59.
6. *Williams I.S., McVey A., Perera S., O'Brien J.S., Kostos L., Chen K., Siva S., Azad A.A., Murphy D.G., Kasivisvanathan V., Lawrentschuk N., Frydenberg M.* Modern paradigms for prostate cancer detection and management. *Med J Aust.* 2022; 217 (8): 424–433.
7. *Rizzo A., Santoni M., Mollica V., Fiorentino M., Brandi G., Massari F.* Microbiota and prostate cancer. *Semin Cancer Biol.* 2022; 86: 1058–1065.
8. *Eifler J.B., Feng Z., Lin B.M., Partin M.T., Humphreys E.B., Han M., Epstein J.I., Walsh P.C., Trock B.J., Partin A.W.* An updated prostate cancer staging nomogram (Partin tables) based on cases from 2006 to 2011. *BJU Int.* 2023; 111 (1): 22–29.
9. *Пушкарь Д.Ю., Раснер П.И.* Диагностика и лечение локализованного рака предстательной железы. М.: МЕДпресс-информ 2008: 320 / *Pushkar D.Y., Rasner P.I.* Diagnostics and treatment of localized prostate cancer. Moscow: MEDpress-Inform 2008: 320 (in Russian).
10. *Велиев Е.И., Голубцова Е.Н., Томилов А.А.* Клинический случай: хирургическое лечение прогрессирующего рака предстательной железы. *Онкоурология.* 2014; 3: 95–100 / *Veliev E.I., Golubtsova E.N., Tomilov A.A.* Surgical treatment for progressive prostate cancer: A clinical case. *Onkourologiya* 2014; 3: 95–100 (in Russian).
11. *Велиев Е.И., Томилов А.А., Богданов А.Б.* Спасительная лимфаденэктомия у пациентов с подтвержденным ПЭТ/КТ олигометастатическим рецидивом рака предстательной железы. *Онкоурология.* 2018; 4: 79–86 / *Veliev E.I., Tomilov A.A., Bogdanov A.B.* Salvage lymphadenectomy in patients with PET/CT-confirmed oligometastatic recurrence of prostate cancer. *Oncourology* 2018; 4: 79–86 (in Russian).
12. *Евсюкова О.И., Черняев В.А., Халмурзаев О.А., Хафизов К.А., Хачатурян А.В., Тхакохов М.М., Матвеев В.Б.* Оценка безопасности и целесообразности сальважной лимфаденэктомии у пациентов с лимфогенными метастазами рака предстательной железы после радикального лечения. *Онкоурология.* 2017; 4: 64–69 / *Evsyukova O.I., Chernyaev V.A., Khamurzaev O.A., Khabizov K.A., Khabaturyan A.V., Tkhakokhov M.M., Matveev V.B.* Evaluation of safety and feasibility of salvage lymphadenectomy in patients with lymphogenic metastases of prostate cancer after radical treatment. *Oncourology* 2017; 4: 64–69 (in Russian).
13. *Перепечай В.А., Васильев О.Н.* Лапароскопическая радикальная простатэк-

томия. Вестник урологии. 2018; 3: 57–72 / *Perepechai V.A., Vasiliev O.N. Laparoscopic radical prostatectomy. Bulletin of Urology* 2018; 3: 57–72 (in Russian).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Поступила: 30.03.2024

Одобрена: 19.04.2024

Принята к публикации: 15.05.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Прогнозирование методами машинного обучения вероятности развития осложнений при простатэктомии у пациентов с раком предстательной железы / М.А. Полиданов, М.А. Барулина, В.С. Марченко, В.А. Волков, А.П. Дягель, Н.А. Лужнов, В.Н. Кудашкин, Н.В. Колпакова //Пермский медицинский журнал. – 2024. – Т. 41, № 3. – С. 109–119. DOI: 10.17816/pmj413109-119

Please cite this article in English as: Polidanov M.A., Barulina M.A., Marchenko V.S., Volkov V.A., Dyagel A.P., Luzhnov N.A., Kudashkin V.N., Kolpakova N.V. Predicting the probability of complications during prostatectomy in patients with prostate cancer using machine learning methods *Perm Medical Journal*, 2024, vol. 41, no. 3, pp. 109-119. DOI: 10.17816/pmj413109-119