

УДК 314.14: 519.237.5

DOI: 10.34215/1609-1175-2025-2-45-49



Прогностическая модель летальности на основе логистической регрессии лабораторных показателей

А.Н. Мозоль

Хасанская центральная районная больница, п.г.т. Славянка, Россия

Цель: разработка и валидация математической модели для прогнозирования риска летальных исходов на основе лабораторных показателей крови и мочи пациентов. **Материалы и методы.** В исследовании проанализированы клинические данные пациентов, включая результаты лабораторных исследований крови и мочи. Для создания модели использовались методы математического моделирования и статистического анализа. **Результаты.** Разработана прогностическая модель, демонстрирующая высокую точность в определении риска неблагоприятного исхода. Модель основана на доступных лабораторных показателях и может быть легко интегрирована в клиническую практику. **Заключение.** Предложенная математическая модель представляет собой эффективный инструмент для ранней диагностики риска летальных исходов. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования разработанной модели в различных областях клинической медицины для оптимизации лечебно-диагностического процесса.

Ключевые слова: прогностическая модель летальности, математическое моделирование смерти, риск летального исхода

Поступила в редакцию: 05.03.2025. Получена после доработки: 31.03.2025, 13.04.2024, 25.04.2025.

Принята к публикации: 11.06.2025

Для цитирования: Мозоль А.Н. Прогностическая модель летальности на основе логистической регрессии лабораторных показателей. *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2025;2:45–49. doi: 10.34215/1609-1175-2025-2-45-49

Для корреспонденции: Мозоль Андрей Николаевич – заместитель главного врача по медицинской части Хасанской центральной районной больницы (692701, Приморский край, Хасанский МО, п.г.т. Славянка, ул. Молодежная, 3); ORCID: 0009-0009-1622-0511; e-mail: usteerus@yandex.ru

Predictive model of mortality based on logistic regression of laboratory indicators

A.N. Mozol

Khasanskaya Central District Hospital, Slavyanka, Russia

Objective. To develop and validate a mathematical model for predicting the risk of mortality based on patients' laboratory indicators from blood and urine tests. **Materials and methods.** Clinical data of patients, including laboratory test results of blood and urine, were analyzed. Mathematical modeling and statistical analysis methods were used to develop the predictive model. **Results.** A predictive model demonstrating high accuracy in assessing the risk of adverse outcomes was developed. The model is based on readily available laboratory indicators and can be easily integrated into clinical practice. **Conclusion.** The proposed mathematical model represents an effective tool for early diagnosis of mortality risk. The practical significance of the study lies in the potential application of the developed model across various fields of clinical medicine to optimize the diagnostic and therapeutic process.

Keywords: predictive mortality model, mathematical modeling of mortality, risk of fatal outcome

Received 5 March 2025; Revised 30 March, 13, 25 April 2025; Accepted 11 June 2025

For citation: Mozol A.N. Predictive model of mortality based on logistic regression of laboratory indicators. *Pacific Medical Journal.* 2025;2:45–49. doi: 10.34215/1609-1175-2025-2-45-49

Corresponding author: Andrei N. Mozol, Deputy Chief Physician for Medical Affairs «Khasanskaya Central District Hospital» (3 Molodezhnaya st., Slavyanka urban-type settlement, Khasansky MO, Primorsky Krai, 692701, Russian Federation); ORCID: 0009-0009-1622-0511; e-mail: usteerus@yandex.ru

Прогнозирование исходов заболеваний является критически важной задачей современной медицины. Традиционные подходы к оценке лабораторных показателей часто не позволяют своевременно выявить риск неблагоприятного исхода, особенно у амбулаторных пациентов.

Разработка системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на основе логистической регрессии открывает новые возможности для прогнозирования летальности или серьезных осложнений,

требующих оказания помощи в формате интенсивной терапии или даже реанимации. Предложенный в статье метод позволяет анализировать множество параметров одновременно и количественно оценивать риск развития неблагоприятного исхода.

Цель исследования: создание прогностической модели летальности на основе анализа лабораторных показателей с использованием логистической регрессии для внедрения в систему поддержки принятия врачебных решений.

Материалы и методы

Объектом исследования является процесс принятия врачебных решений при оценке прогноза летальности пациентов на основе лабораторных показателей крови и мочи.

Данный объект исследования включает в себя: сведения о пациентах, которым выполнены анализы (пол, возраст, данные о факте смерти или его отсутствии); показатели последнего анализа у каждого пациента; математические методы анализа данных (логистическая регрессия); систему поддержки принятия решений как конечный продукт.

Такой объект исследования позволяет изучить взаимосвязи между лабораторными показателями и исходом заболевания, разработать математическую модель прогнозирования, создать инструмент поддержки врачебных решений, улучшить качество и эффективность медицинской помощи.

Выборка представляет собой всех пациентов, которым выполнены лабораторные анализы крови и мочи. Критериями исключения являются пациенты, умершие от внешних причин и травм (коды по МКБ-10: S00-T98 и V01-Y98); пациенты, которые не прикреплены по страховому медицинскому полису на момент исследования и не были прикреплены ранее к КГБУЗ «Ханская ЦРБ»; пациенты, которые не сдавали анализы.

В выборку включены 21 962 пациента, которые сдавали анализы в период с 01.01.2021 по 01.02.2025 г., из которых 942 умерло и 21 020 живы на момент проведения исследования. С целью поиска взаимосвязей были использованы результаты следующих лабораторных анализов.

1. Общий (клинический) анализ крови, в том числе развернутый. Для дальнейшей компьютерной обработки анализ декомпозирован по показателям:

- 1.1. Hct.
- 1.2. Атипичные лимфоциты (ALY%).
- 1.3. Атипичные лимфоциты абс. (ALY#).
- 1.4. Базофилы (BASO%).
- 1.5. Базофилы абс. (BASO#).
- 1.6. Гемоглобин (HGB).
- 1.7. Гранулоциты (GR%).
- 1.8. Гранулоциты абс. (GR#).
- 1.9. Гранулоциты незрелые (LIC%).
- 1.10. Гранулоциты незрелые абс. (LIC#).
- 1.11. Крупные тромбоциты (PLCR).
- 1.12. Крупные тромбоциты (PLCC).
- 1.13. Лейкоциты (WBC).
- 1.14. Лимфоциты (LYMPH%).
- 1.15. Лимфоциты абс. (LYMPH#).
- 1.16. Моноциты (MONO%).
- 1.17. Моноциты абс. (MONO#).
- 1.18. Нейтрофилы (NEUT%).
- 1.19. Нейтрофилы абс. (NEUT#).
- 1.20. Нормоциты абс. (NRBC#).
- 1.21. Нормоциты отн. (NRBC%).
- 1.22. Ретикулоциты (RET%).

- 1.23. Ретикулоциты абс. (RET#).
- 1.24. Ретикулоциты незрелые (IRF).
- 1.25. Ретикулоциты с высокой флуоресценцией (HFR).
- 1.26. Ретикулоциты с низкой флуоресценцией (LFR).
- 1.27. Ретикулоциты со средней флуоресценцией (MFR).
- 1.28. Смешанная фракция (MXD%).
- 1.29. Смешанная фракция абс. (MXD#).
- 1.30. СОЭ по Панченкову.
- 1.31. Средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC).
- 1.32. Среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH).
- 1.33. Среднее содержание гемоглобина в ретикулоците (RHE).
- 1.34. Средний объем тромбоцитов (MPV).
- 1.35. Средний объем эритроцитов (MCV).
- 1.36. Тромбоцитокрит (PCT).
- 1.37. Тромбоциты (PLT).
- 1.38. Фракция незрелых тромбоцитов (IPF).
- 1.39. Ширина распределения эритроцитов по объему (RDWSD).
- 1.40. Ширина распределения эритроцитов по объему (RDWCV).
- 1.41. Ширина распределения тромбоцитов (PDW).
- 1.42. Эозинофилы (EO%).
- 1.43. Эозинофилы абс. (EO#).
- 1.44. Эритроциты (RBC).
2. Общий анализ мочи, анализ осадка мочи и микроальбуминурия. Для дальнейшей компьютерной обработки анализы декомпозированы по показателям:
 - 2.1. Моча: аскорбиновая кислота.
 - 2.2. Моча: билирубин.
 - 2.3. Моча: глюкоза.
 - 2.4. Моча: кетоновые тела.
 - 2.5. Моча: кровь.
 - 2.6. Моча: лейкоциты.
 - 2.7. Моча: нитриты.
 - 2.8. Моча: относительная плотность.
 - 2.9. Моча: уробилиноген.
 - 2.10. Моча: цвет: бледно-желтый, желтый, коричневый, красный, оранжевый, соломенно-желтый, темно-желтый, бесцветный, насыщенный желтый, светло-желтый, прозрачная.
 - 2.11. Моча: pH качественный и абсолютный.
 - 2.12. Моча: бактерии.
 - 2.13. Моча: билирубин.
 - 2.14. Моча: цилиндры: гиалиновые, зерновидные, восковидные.
 - 2.15. Моча: оксалаты.
 - 2.16. Моча: слизь.
 - 2.17. Моча: соли мочевой кислоты.
 - 2.18. Моча: трипельфосфаты.
 - 2.19. Моча: ураты.
 - 2.20. Моча: фосфаты.
 - 2.21. Осадок мочи: бактерии.
 - 2.22. Осадок мочи: дрожжевые клетки.

2.23. Осадок мочи: кристаллы: аморфные фосфаты, оксалата кальция, соли мочевой кислоты, трипельфосфаты.

2.24. Осадок мочи: лейкоциты.

2.25. Осадок мочи: слизь.

2.26. Осадок мочи: цилиндры: восковидные, гиалиновые, зернистые, лейкоцитарные.

2.27. Осадок мочи: эпителий: плоский, почечный.

2.28. Осадок мочи: эритроциты.

3. Биохимические и другие показатели крови:

3.1. Гликированный гемоглобин (HbA1c).

3.2. Калий (K+).

3.3. Натрий (Na+).

3.4. Аланинаминотрансфераза.

3.5. Аспартатаминотрансфераза.

3.6. Активированное частичное тромбопластиновое время.

3.7. Непрямой билирубин.

3.8. Общий билирубин.

3.9. Прямой билирубин.

3.10. Гамма-глутамилтрансфераза.

3.11. Глюкоза.

3.12. Креатинкиназа.

3.13. Креатинин.

3.14. Лактатдегидрогеназа.

3.15. Липопротеины высокой плотности.

3.16. Липопротеины низкой плотности.

3.17. Международное нормализованное отношение.

3.18. Мочевая кислота.

3.19. Мочевина.

3.20. Общий белок.

3.21. Протромбиновое время.

3.22. Протромбиновый индекс.

3.23. Ревматоидный фактор.

3.24. Скорость оседания эритроцитов по Вестергрену.

3.25. С-реактивный белок.

3.26. Триглицериды.

3.27. Фибриноген.

3.28. Холестерин.

3.29. Щелочная фосфатаза.

Из имеющихся данных сформирована сводная таблица в MS Office Excel. Анализ данных произведен в программе Gretl 2024b (Version 3, 29 June 2007, дата выпуска 2024-05-21). Поскольку мы анализируем факт смерти или ее отсутствия, то оптимальным методом будет использование бинарной логит-регрессии. В качестве зависимой переменной выбран факт смерти пациента (1) или отсутствия смерти (0), в качестве регрессоров установлены все вышеперечисленные показатели анализов, а для небинарных показателей дополнительно их натуральные логарифмы (Ln). В процессе анализа пошагово удалены показатели, у которых уровень статистической значимости различий p -значение $> 0,05$. С учетом того, что часть пациентов не сдавала некоторые из видов анализов, то в конечную выборку включено 18 649 пациентов, из которых 832 умерло и 17 817 живы на момент проведения исследования.

После всех преобразований и вычислений получается результат, отображенный в (табл. 1, 2, 3).

Результаты исследования

В ходе проведенного исследования была разработана математическая модель для расчета вероятности летального исхода на основе показателей клинического анализа крови. Полученная формула представляет

Таблица 1

Статистическая таблица регрессионного анализа

	Коэффициент	Ст. ошибка*	z	p -value
Перегородка	-67,981	23,531	-2,889	0,0039
Пол (мужской = 1, женский = 0)	0,492	0,098	5,039	4,68E-07
Возраст, лет	0,080	0,003	23,170	8,82e-119
Гемоглобин, г/л	-0,011	0,003	-3,094	0,002
Средний объем эритроцитов, фл	-0,272	0,075	-3,626	0,0003
Средний объем тромбоцитов, фл	1,197	0,375	3,192	0,0014
Тромбоциты, $10^9/л$	0,006	0,001	4,885	1,03E-06
Ln (лейкоциты, $10^9/л$)	2,602	0,126	20,680	5,43E-95
Ln (эритроциты, $10^{12}/л$)	-1,927	0,475	-4,060	4,90E-05
Ln (лимфоциты абс., $10^9/л$)	-1,506	0,104	-14,530	7,29E-48
Ln (средний объем эритроцитов, фл)	25,271	6,629	3,812	0,0001
Ln (средний объем тромбоцитов, фл)	-23,372	3,937	-5,936	2,91E-09
Ln (ширина распределения эритроцитов по объему, %)	2,233	0,305	7,330	2,30E-13
Ln (тромбоциты, $10^9/л$)	-1,564	0,279	-5,597	2,18E-08
Ln (крупные тромбоциты, %)	3,992	0,314	12,710	5,47E-37

* Стандартные ошибки рассчитаны на основе Гессисана.

Таблица 2

Обобщенные характеристики модели бинарной логистической регрессии

Среднее завис. перемен	0,044614	Ст. откл. завис. перем.	0,20646
R-квадрат Макфаддена	0,490775	Исправ. R-квадрат	0,486364
Лог. правдоподобие	-1731,59	Крит. Акаике	3493,178
Крит. Шварца	3610,681	Крит. Хеннана – Куинна	3531,752

Количество корректно предсказанных случаев = 18 036 (96,7%)
 $f(\beta'x)$ для среднего значения независимых переменных = 0,004
 Критерий отношения правдоподобия: $\chi^2(14) = 3337,7 [0,0000]$

Таблица 3

Матрица ошибок

Наблюдаемые \ Предсказанные	Предсказанные	
	0	1
0	17685	132
1	481	351

собой логистическую регрессию со следующими характеристиками.

Расчетная формула:

$$P = 1 / (1 + \exp(-(-67,981 + \sum(x_i * b_i))))$$

где: P – вероятность летального исхода; x_i – показатели общего клинического анализа крови; b_i – соответствующие коэффициенты регрессоров; Σ – сумма произведений показателей и коэффициентов.

Данная модель позволяет количественно оценить риск неблагоприятного исхода на основе объективных лабораторных данных. Формула включает константу (-67,981) и переменную часть, представляющую собой сумму произведений показателей крови на их весовые коэффициенты.

Обсуждение полученных данных

Разработанная прогностическая модель демонстрирует высокую практическую значимость в контексте современной клинической медицины. Подобные математические модели активно применяются в различных областях медицины для оценки рисков и прогнозирования исходов заболеваний [3, 6]. В сравнении со схожими современными исследованиями, в которых для составления прогноза требуется несколько десятков предикторов [1], предложенная формула использует доступные лабораторные показатели, что делает ее легкоинтегрируемой в повседневную клиническую практику.

В сравнении с исследованиями, которые дают долгосрочные прогнозы [5], в данной публикации раскрыта возможность раннего выявления пациентов с повышенным риском летального исхода, что позволяет своевременно корректировать лечебную тактику и уделять повышенное внимание мониторингу их состояния.

Еще одним преимуществом данного прогноза является его применимость ко всем нозологиям, что упрощает его использование, в отличие от моделей, которые применяются на конкретных заболеваниях и состояниях [4, 7, 2].

Практическое внедрение модели через специализированное программное обеспечение является оптимальным решением, обеспечивающим быструю обработку данных и минимизацию ошибок при расчетах.

В заключение следует отметить, что разработанная модель представляет собой ценный инструмент для клиницистов, позволяющий оптимизировать лечебно-профилактический процесс и повысить качество оказываемой медицинской помощи. Дальнейшие исследования могут быть направлены на валидацию модели на более крупных выборках пациентов и изучение ее применимости в различных клинических сценариях.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

1. Разработанная математическая модель демонстрирует высокую прогностическую ценность в оценке риска летальных исходов у пациентов, что подтверждается статистической значимостью полученных результатов.

2. Предложенный инструмент позволяет осуществлять раннюю диагностику риска неблагоприятного исхода на основании доступных лабораторных показателей крови, что делает его универсальным для применения в различных клинических условиях.

3. Внедрение разработанной модели в клиническую практику способствует своевременному выявлению пациентов группы риска, оптимизации лечебной тактики, повышению эффективности мониторинга состояния больных, улучшению качества принимаемых клинических решений.

4. Рекомендуются реализация модели через специализированное программное обеспечение, что обеспечивает автоматизацию расчетов, минимизацию человеческих ошибок, оперативность получения результатов, удобство интеграции в существующую систему медицинской документации.

5. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования разработанной модели в различных областях клинической медицины

для прогнозирования исходов заболеваний и принятия обоснованных терапевтических решений.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует значительный потенциал разработанной модели для улучшения качества оказания медицинской помощи и оптимизации клинических решений.

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования: автор заявляет о финансировании проведенного исследования из собственных средств.

Литература / References

1. Bahadori M, Soltani M, Soleimani M, Bahadori M Statistical modeling in healthcare: shaping the future of medical research and healthcare delivery. *ResearchGate*. 2023;9(25):431–446. doi: 10.4018/979-8-3693-0876-9.ch025
2. Toma M, Ong C Predictive modeling in medicine. *MDPI*. 2023;3(2):590–601. doi: 10.3390/encyclopedia3020042
3. Заворотный О.О., Зиновьев Е.В., Костяков Д.В. Возможности прогнозирования летального исхода тяжелообожженных на основе методов регрессионного анализа. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2020;179(5):21–29. [Zavorotniy O.O., Zinoviev E.V., Kostyakov D.V. Predicting for mortality rate using regression analysis in patient with burn injury. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2020;179(5):21–29 (In Russ.)]. doi: 10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29
4. Hoof L, Schuit E, Debray TPA Prediction models for cardiovascular disease risk in the general population: systematic review *Center for health sciences and primary care, university medical center*. 2016;353:i2416. doi: 10.1136/bmj.i2416
5. Chao HY, Wu CC, Singh A, Shedd A, Wolfshohl J, Chou EH, Huang YC, Chen KF Using machine learning to develop and validate an in-hospital mortality prediction model for patients with suspected sepsis. *Biomedicine*. 2022;10(4):802. doi: 10.3390/biomedicine10040802
6. Wendland Ph, Schmitt V, Zimmermann J Machine learning models for predicting severe COVID-19 outcomes in hospitals. *Informatics in medicine unlocked*. 2023;37:101188. doi: 10.1016/j.imu.2023.101188
7. Насар А.Н., Мадай Д.Ю. Объективная оценка тяжести сочетанной черепно-лицевой травмы (обзор). *Кубанский научный медицинский вестник*. 2020;27(5):144–162. [Nassar A.I., Madai D.Yu. Scoring models for the severity of combined craniofacial trauma (a review). *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2020;27(5):144–162 (In Russ.)]. doi: 10.25207/1608-6228-2020-27-5-144-162