

© D.V. Trusov, 2025 / © Д.В. Трусов, 2025
3.1.3. Otorhinolaryngology / 3.1.3. Оториноларингология

Prediction of the course of chronic rhinosinusitis using a mathematical model

D.V. Trusov

State Budgetary Healthcare Institution «Tambov Regional Clinical Hospital named after V.D. Babenko», Tambov, Russia.
Contacts: Trusov Dmitry Valeryevich – e-mail: trudoc747@rambler.ru

Прогнозирование течения хронического риносинусита с применением математической модели

Д.В. Трусов

ГБУЗ «Тамбовская областная клиническая больница им. В.Д. Бабенко», Тамбов, Россия
Контакты: Трусов Дмитрий Валерьевич – e-mail: trudoc747@rambler.ru

使用数学模型预测慢性鼻 鼻窦炎病程

D.V. Trusov

俄罗斯，坦波夫。国家预算医疗机构“以 V.D. Babenko 命名的坦波夫州临床医院”。
联系方式：Trusov Dmitry Valerievich – e-mail: Yura.torosyan@mail.ru

Purpose of research: development of a mathematical model for predicting the course of chronic rhinosinusitis.

Material and methods: The levels of biomarkers of endothelial dysfunction in the blood (homocysteine, highly sensitive C-reactive protein, cystatin C, D-dimer) were analyzed. The study involved 269 people, including 149 patients with CRS aged 18 to 59 years, who sought surgical help at the otorhinolaryngological department of the Tambov Clinical Hospital. The control group consisted of 120 people without pathology of the paranasal sinuses, comparable in age and gender. The CRS group was divided into 2 subgroups: polypous rhinosinusitis (PoIRS) – 67 people and chronic purulent rhinosinusitis (CPurRS) – 82 people. Patients with diseases or pathological conditions affecting changes in the levels of the studied biomarkers in the blood are excluded from the study. Statistical data processing was carried out using methods of descriptive statistics and correlation analysis. The differences at the $p < 0.05$ level were considered statistically significant. The subject of the study was a predictive model developed on the basis of logistic regression, ROC analysis was used as a tool for assessing the quality of the model. Results. Analysis of the obtained data showed that the levels of these biomarkers were statistically significantly higher in the groups with pathologies than in the control group. A multifactorial analysis was performed to assess the correlation of independent predictor factors with a group of patients: between patients with CRS (PoIRS and CPurRS) and the control group. Correlation analysis showed the presence of a strong direct reliable association of the group code with the indicators "homocysteine" ($R=0.728$, $p=0.001$), "cystatin C" ($R=0.712$, $p=0.004$) and "D-dimer" ($R=0.779$, $p=0.0021$). A correlation of average strength ($R=0.376$, $p=0.0034$) was revealed with the parameter "hsCRP". According to the results of the analysis, all 4 parameters are included in the mathematical model: "homocysteine", "cystatin C", "D-dimer" and "hsCRP". The logistic regression method was used to build a predictive mathematical model. In order to assess the diagnostic significance of the obtained model, a ROC analysis was performed. The area under the ROC curve (AUC) is 0.99, which indicates the high efficiency of the model. Using the F1-Score metric, the optimal cut-off threshold of 0.3864 was determined. When the calculation result value is < 0.3864 , it means that the subject has no clinical and laboratory manifestations of endothelial dysfunction, and if ≥ 0.3864 , it means the presence of clinical and laboratory manifestations of endothelial dysfunction. When evaluating the performance of the model with a cut-off threshold of 0.3864, the following characteristics were obtained: sensitivity – 99.6%, specificity – 100%, accuracy – 100%.

Conclusions. Based on the obtained mathematical model, it is possible not only to diagnose ED in MS, but also to monitor clinical and laboratory manifestations of ED after treatment. Timely diagnosis of ED using mathematical modeling will help optimize treatment regimens and improve the prognosis of the course of CRS. When predicting the course of the disease, an integrated approach should be applied. The method of ED diagnosis using mathematical modeling described in the article will contribute to the optimization of medical measures and the improvement of the prognosis for CRS.

Keywords. Chronic rhinosinusitis; endothelial dysfunction; highly sensitive C-reactive protein; D-dimer; cystatin C; homocysteine; biomarker; mathematical model; logistic regression; forecasting in medicine

Conflict of interest. The author declare that they have no conflict of interest.

Funding. This study required no funding

For citation: Trusov D.V. Prediction of the course of chronic rhinosinusitis using a mathematical model. Head and neck. Head and Neck. Russian Journal. 2025;13(4):47–53

Doi: 10.25792/HN.2025.13.4.47-53

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

Цель. Разработка математической модели для прогнозирования течения хронического риносинусита.

Материал и методы. Проведен анализ уровней биомаркеров эндотелиальной дисфункции (ЭД) в крови (гомоцистеина, высокочувствительного С-реактивного белка (вЧСРБ), цистатина С, Д-димера). В исследовании приняли участие 269 человек, из них – 149 пациентов с хроническим риносинуситом (ХРС) от 18 до 59 лет, обратившихся за хирургической помощью в оториноларингологическое отделение клинической больницы г. Тамбова. Контрольную группу составили 120 человек без патологии околоносовых пазух, сопоставимых по возрасту и полу. Группа ХРС была разделена на 2 группы: полипозный риносинусит (ПРС) – 67 человек и хронический гнойный риносинусит (ХГРС) – 82 человека. Из исследования исключены пациенты, имеющие заболевания или патологический состояния, влияющие на изменения уровней исследуемых биомаркеров в крови. Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов описательной статистики, корреляционного анализа. Статистически значимыми считали различия при уровне $p < 0,05$.

Предметом исследования стала прогностическая модель, разработанная на основе логистической регрессии, в качестве инструмента оценки качества модели использовался ROC- анализ.

Результаты. Анализ полученных данных показал, что уровни этих биомаркеров были статистически значимо выше в группах с патологиями, чем в контрольной группе. Проведен многофакторный анализ с оценкой корреляционной связи независимых факторов-предикторов с группой пациентов: между больными с ХРС (ПРС и ХГРС) и контрольной группой. Корреляционный анализ, показал наличие сильной прямой достоверной связи кода группы с показателями «гомоцистеин» ($R=0,728$, $p=0,001$), «цистатин С» ($R=0,712$, $p=0,004$) и «Д-димер» ($R=0,779$, $p=0,0021$). С параметром «вЧСРБ» выявлена корреляционная связь средней силы ($R=0,376$, $p=0,0034$). По результатам проведенного анализа в математическую модель включены все 4 параметра: «гомоцистеин», «цистатин С», «Д-димер» и «вЧСРБ». Для построения прогностической математической модели был применен метод логистической регрессии. С целью оценки диагностической значимости полученной модели был проведен ROC-анализ. Площадь под ROC-кривой (AUC) равна 0.99. Используя метрику F1-Score, был определен оптимальный порог отсечения, равный 0,3864. При получении значения результата расчета $< 0,3864$ означает отсутствие у обследуемого клинико-лабораторных проявлений эндотелиальной дисфункции, при $\geq 0,3864$ – наличие клинико-лабораторных проявлений эндотелиальной дисфункции. При оценке производительности модели с порогом отсечения 0,3864 получены следующие характеристики: чувствительность – 99,6%, специфичность – 100%, точность – 100%.

Выводы. На основе полученной математической модели можно проводить не только диагностику ЭД при ХРС, но и мониторинг клинико-лабораторных проявления ЭД после лечения. Своевременная диагностика ЭД с применением математического моделирования будет способствовать оптимизации схем лечения и улучшению прогноза течения ХРС. При прогнозировании течения заболевания должен применять комплексный подход. Рассмотренный в статье метод диагностики ЭД с применением математического моделирования будет способствовать оптимизации лечебных мероприятий и улучшению прогноза течения ХРС.

Ключевые слова. Хронический риносинусит; эндотелиальная дисфункция; высокочувствительный С-реактивный белок; Д-димер; цистатин С; гомоцистеин; биомаркер; математическая модель; логистическая регрессия; прогнозирование в медицине.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Это исследование не потребовало дополнительного финансирования.

Для цитирования: Трусов Д.В. Прогнозирование течения хронического риносинусита с применением математической модели. Head and neck. Голова и шея. Российский журнал. 2025;13(4):47–53

Doi: 10.25792/HN.2025.13.4.47-53

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

研究目的：建立用于预测慢性鼻 鼻窦炎（CRS）病程的数学模型。

材料与amp;方法：分析血液中内皮功能障碍（ED）相关生物标志物水平（同型半胱氨酸、高敏 C 反应蛋白、胱抑素 C、D 二聚体）。研究共纳入 269 人，其中 149 例为 18–59 岁 CRS 患者，均在坦波夫州临床医院耳鼻喉科就诊并寻求手术治疗。对照组为 120 人，无鼻旁窦病变，年龄与性别与病例组可比。CRS 组分为 2 个亚组：息肉性鼻 鼻窦炎（PoIRS）67 例，慢性化脓性鼻 鼻窦炎（CPurRS）82 例。排除患有会影响所研究血液生物标志物水平变化的疾病或病理状态的患者。统计学处理采用描述性统计与相关分析方法， $p < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。研究对象为基于逻辑回归建立的预测模型，采用 ROC 分析作为评估模型质量的工具。

结果：数据分析显示，病变组上述生物标志物水平均显著高于对照组。为评估独立预测因子与患者分组（CRS [PoIRS 与 CPurRS] vs 对照）的相关性，进行了多因素分析。相关分析显示，组别代码与“同型半胱氨酸”（ $R=0.728$, $p=0.001$ ）、“胱抑素 C”（ $R=0.712$, $p=0.004$ ）和“D 二聚体”（ $R=0.779$, $p=0.0021$ ）之间存在强的、直接且可靠的相关；与“hsCRP”参数存在中等强度相关（ $R=0.376$, $p=0.0034$ ）。根据分析结果，4 个参数均纳入数学模型：“同型半胱氨酸”“胱抑素 C”“D 二聚体”“hsCRP”。采用逻辑回归方法构建预测数学模型。为评估所得模型的诊断学意义，进行了 ROC 分析。ROC 曲线下面积（AUC）为 0.99，提示模型效率高。使用 F1 Score 指标确定最佳截断阈值为 0.3864。当计算结果 < 0.3864 时，表示受试者无内皮功能障碍的临床与实验室表现；当 ≥ 0.3864 时，表示存在内皮功能障碍的临床与实验室表现。在截断阈值 0.3864 下评估模型性能，得到如下指标：敏感度 99.6%，特异度 100%，准确率 100%。

结论：基于所获数学模型，不仅可诊断 MS 中的 ED，还可在治疗后监测 ED 的临床与实验室表现。利用数学建模及时诊断 ED 将有助于优化治疗方案并改善 CRS 病程预后。在预测疾病进程时应采用综合性方法。本文所述基于数学建模的 ED 诊断方法将有助于优化医疗措施并改善 CRS 的预后。

关键词：慢性鼻 鼻窦炎；内皮功能障碍；高敏 C 反应蛋白；D 二聚体；胱抑素 C；同型半胱氨酸；生物标志物；数学模型；逻辑回归；医学预测

利益冲突：作者声明无利益冲突。

经费来源：本研究未获得任何经费资助。

引用格式：Trusov D.V. Prediction of the course of chronic rhinosinusitis using a mathematical model. Head and neck. Head and Neck. Russian Journal. 2025;13(4):47–53

Doi: 10.25792/HN.2025.13.4.47-53

作者对所呈现数据的原创性以及发表插图材料（表格、图示、患者照片）的可能性负责。

Прогноз в медицине – это диагноз будущего, который неразрывно связан с профилактикой, а, следовательно, предупреждением рецидивирования заболеваний и лечение больных. Достоверность прогноза, в свою очередь зависит от качества диагностики [23]. Современные методы прогнозирования основаны на математической обработке множества данных, на которых основаны системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), встроенные в медицинские информационные системы [7, 21, 25]. Очевидно, что врачу приходится учитывать при обследовании пациента и постановке диагноза большое количество данных в ограниченное время. Да, несомненно, медицина – это искусство и наука одновременно. Конечно, порой нельзя отрицать опыт и интуицию врача. Но для обработки большого количества данных, особенно цифровых, необходимы математико-статистические методы [5]. Разработка новых методов прогнозирования приобретает все большее значение, и для этого есть потребность в создании рациональных моделей и алгоритмов [12, 23].

Одним из таких заболеваний в оториноларингологии, для которого актуален вопрос прогнозирования исхода и риска развития рецидива заболевания после проведенных, порой многочисленных медикаментозных и хирургических методов лечения, является хронический риносинусит (ХРС).

По статистике полипозные риносинуситы (ПРС) рецидивируют в 60% случаев [16]. Частые рецидивы ПРС приводят к ухудшению не только самочувствия больного, но и его качества жизни [2]. Ситуация усугубляется тем, что ежегодно увеличиваются случаи госпитализации таких пациентов на 1–2%. Все это, в свою очередь ведет к потере трудоспособности больных, увеличению риска развития бронхолегочных, сердечно-сосудистых заболеваний. С давних времен врачи всего мира сталкиваются с этим сложным, полиэтиологичным заболеванием [8, 20, 27]. На сегодняшний день предложены многочисленные диагностические методы и схемы лечебных мероприятий. Однако, существующие в настоящее время методы лечения не дают стойкого эффекта и не исключают рецидива развития заболевания [15].

Особенностью больных с ХРС является короткий стационарный период после проведенного хирургического лечения и длительный период восстановления [11]. Оценка динамики симптомов, выполненная по визуально аналоговым шкалам (ВАШ), анкетах SNOT [19, 20, 27], не объективна, так как зависит от эмоционального состояния больного, его настроения. Точность диагностики на основании эндоскопического осмотра полости носа составляет 69,1–85% [27]. Поэтому ученые вновь и вновь возвращаются к исследованию этого заболевания, в связи с нерешенностью многих проблем. Таким образом,

существует потребность в методах диагностики, обладающих высокой чувствительностью и специфичностью, которые давали бы четкие критерии диагноза даже в тех случаях, когда клинические признаки заболевания не выражены.

В настоящее время эндотелиальная дисфункция (ЭД) рассматривается как один из патогенетических механизмов развития целого ряда хронических заболеваний. Одним из способов диагностики ЭД является обнаружение в крови специфических биохимических маркеров, которые отражают состояние сосудистого эндотелия. Такими маркерами могут быть прямые факторы, синтезируемые эндотелиоцитами и косвенные маркеры, которые не синтезируются эндотелиоцитами, но изменение их уровня в крови свидетельствует о повреждении эндотелиальных клеток [22]. В основном, исследования в этом направлении проводились при хронической патологии сердечно-сосудистой системы, хронической болезни почек, повреждении сосудистого русла при сахарном диабете. При хроническом риносинусите ЭД до сих пор не рассматривалась, как одна из теорий патогенеза. Это и послужило предпосылкой к проведению нашего исследования.

Тактика лечения пациентов с ХРС не учитывает изменения в микроциркуляторном русле и проявлений эндотелиальной дисфункции, которая лежит в основе хронического воспаления. В литературных источниках по оториноларингологии немного работ, посвященных ЭД. В основном ЭД в них рассматривается как одна из причин носовых кровотечений при артериальной гипертензии [3]; эпителиально-эндотелиальная дисфункция как причина рецидивирования хронической патологии с нарушением синтеза муцина [18]. Но, в этих работах не описаны критерии диагностики ЭД. Это и обусловило проведение настоящего исследования по изучению клинико-лабораторных критериев диагностики хронических риносинуситов с учетом биомаркеров эндотелиальной дисфункции [4].

В данном исследовании были проанализированы уровни косвенных биомаркеров в крови у больных ХРС (гомоцистеин, высокочувствительный С-реактивный белок (вЧСРБ), цистатин С, Д-димер). Выбор биомаркеров был обусловлен их доступностью исследования в общеклинической практике и стандартизированными реактивами. Кроме того, исследуемые биомаркеры отражают разные виды ЭД.

Создание диагностических экспертных систем (алгоритмов) для каждой нозологии позволит улучшить результаты диагностики болезней. Алгоритмическая диагностика осуществляется на основе следующих критериев: наличия или отсутствия признака и степени его выраженности.

Алгоритмический метод не исключает стандартный подход к пациенту, не противоречит ему, а, наоборот, создает адаптацию в клинической практике. Таким образом, конечной целью алгоритма действий врача является не только установление диагноза и выбор проведения лечебных мероприятий, а обоснованные пошаговые действия, которые в итоге приведут к положительному исходу лечения [10].

Математическими методами в медицине можно не только проводить обработку данных, но и создавать математические прогностические модели. При диагностике заболевания обработка информации о пациенте происходит в определенной последовательности, на этом основана работа алгоритмов. Для изучения определенных процессов и закономерностей применяется метод математического моделирования [17]. Математические модели, встроенные в алгоритмы и СППВР помогают избежать субъективизма [9, 17]. Да, прогнозирование, полученное таким образом,

носит вероятностный характер, но параметры, на которых оно основано – реальные [24].

С 18 века методы математического анализ используются для прогнозирования эпидемиологической обстановки и распространения инфекционных заболеваний [24]. Математическое моделирование в вопросах прогнозирования может оказать большую помощь при принятии решений о методах профилактики, лечения, и необходимого для этого финансирования.

Необходимо отметить, что математическая модель – абстрактное воплощение патологического состояния организма, представленная в виде математических символов, формул, уравнений, а компьютерная модель – это математическая модель, записанная на каком-либо языке программирования и реализованная в виде программы для компьютера [24].

Медицинские прогностические модели делятся на две основные категории: диагностические модели для оценки состояния здоровья человека в текущий момент времени; и прогностические модели, которые рассчитывают вероятность развития того или иного исхода в течение определенного временного периода [26]. Математическая модель должна быть простой, надежной, качественной и содержать оптимальное количество переменных [24]. Прежде чем приступить к созданию математической прогностической модели, исследователю необходимо решить несколько задач. Сначала четко сформулировать цель прогнозирования [14]. Одним из немаловажных моментов при создании математической прогностической модели, является выбор оптимальных факторов-предикторов [1, 13].

Метод логистической регрессии может быть использован в качестве инструмента для прогнозирования вероятности наступления события из двух возможных вариантов исхода. Метод построения модели с помощью логистической регрессии применяется в том случае, когда переменная является бинарной, то есть принимает одно из двух значений, а именно здоров/болен, улучшение/ухудшение состояния и т.д. [6, 13]. При этом важно нахождение порога отсечения, то есть той точки, которая отделяет одну диагностическую группу от другой. Для оценки качества модели может быть применен ROC-анализ, который использует для этого два показателя: чувствительность и специфичность. ROC-анализ неразрывно связан с логистической регрессией [6, 10]. С его помощью возможно провести оценку качества модели, вычислить оптимальный порог отсечения. Помимо графика ROC-кривой для оценки качества модели применяется характеристика площади под кривой ROC – AUC. Чем больше площадь, тем большей прогностической силой обладает модель [6].

Цель. Разработка математической модели для прогнозирования течения хронического риносинусита на основе биомаркеров эндотелиальной дисфункции.

Материалы и методы. Проведен анализ уровней биомаркеров эндотелиальной дисфункции в крови (гомоцистеина, высокочувствительного С-реактивного белка, цистатина С, Д-димера). Лабораторные методы исследования анализов крови проводились на автоматических анализаторах, с применением стандартизированных реагентов. За нормы параметров анализов крови приняты международные референсные значения.

В исследовании приняли участие 269 человек, из них – 149 пациентов с ХРС от 18 до 59 лет, обратившихся за хирургической помощью в оториноларингологическое отделение клинической больницы г. Тамбова. Контрольную группу составили 120 человек здоровых, без патологии околоносовых пазух и иных

состояний, которые могли повлиять на повышение уровней биомаркеров ЭД. Группа ХРС была разделена на 2 подгруппы: полипозный риносинусит (ПРС) – 67 человек и хронический гнойный риносинусит (ХГРС) – 82 человека.

Критерии включения в исследование: больные с подтвержденным ХРС, возраст от 18 до 59 лет, информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения из исследования: наличие бронхиальной астмы, сахарного диабета, онкологические заболевания, применение пациентом любых препаратов, влияющих на гемостаз, наличие вирусных гепатитов (В, С), ВИЧ-инфекция, почечная и печеночная недостаточность, беременность ишемическая болезнь сердца, сердечно-сосудистая недостаточность.

Для обработки полученных данных применялся метод описательной статистики с использованием медианы (Me) и квартилей (Q25, Q75). При сравнении групп между собой использовали критерий Манна-Уитни и тест Краскела-Уоллиса. Корреляционный анализ методом ранговой корреляции по Спирмену. Сила коэффициента корреляции считалась: $R > 0,70$ – сильная, $R = 0,3–0,69$ средняя, $R < 0,29$ – слабая. Статистически значимыми считали различия при уровне $p < 0,05$.

Предметом исследования стала прогностическая модель, разработанная на основе логистической регрессии, в качестве инструмента оценки качества модели использовался ROC-анализ.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных показал, что уровни этих биомаркеров были статистически значимо выше в подгруппах с патологиями, чем в контрольной группе (табл. 1). При сравнении между собой уровней биомаркеров в подгруппах ХГРС и ПРС, также выявлена статистическая разница показателей. В подгруппе ХГРС уровни Д-димера ($p = 0,005$) и цистатина С ($p = 0,003$) были достоверно выше, чем в подгруппе с ПРС; а уровни гомоцистеина, напротив, выше в подгруппе с ПРС ($p = 0,001$).

Следующим этапом был проведен многофакторный анализ. Многофакторный анализ был выполнен с оценкой корреляционной связи независимых факторов-предикторов с группой пациентов: между больными с ХРС (ПРС и ХГРС) и контрольной группой. Корреляционный анализ, показал наличие сильной прямой достоверной связи кода группы с показателями «гомоцистеин» ($R = 0,728$, $p = 0,001$), «цистатин С» ($R = 0,712$, $p = 0,004$) и «Д-димер» ($R = 0,779$, $p = 0,0021$). С параметром «вЧСРБ» выявлена корреляционная связь средней силы ($R = 0,376$, $p = 0,0034$). По результатам проведенного анализа в математическую модель включены все 4 параметра: «гомоцистеин», «цистатин С», «Д-димер» и «вЧСРБ».

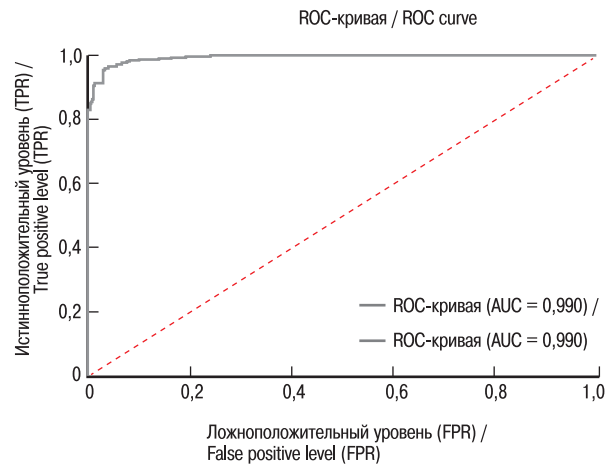


Рис. 1. График и значение площади под ROC-кривой

Fig. 1. Plot and area under the ROC curve

Для построения прогностической математической модели был применен метод логистической регрессии. Расчет осуществлялся по уравнению:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

где P – вероятность того, что произойдет интересное событие, e – основание натуральных логарифмов 2,71...; z – стандартное уравнение регрессии.

$z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k$, где β_0 является «точкой пересечения», а $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots$ и т. д. являются «коэффициентами регрессии» для предикторов $x_1, x_2, x_3 \dots$ соответственно.

Результаты полученных данных вводят в формулу математической модели и осуществляют расчет с соответствующими коэффициентами:

$$z = -50,1607 + 0,0865 \times x_1 + -0,0579 \times x_2 + 1,1252 \times x_3 + 0,0209 \times x_4$$

(x_1 – Д-димер (нг/мл), x_2 – вЧСРБ (мг/л), x_3 – Гомоцистеин (мкмоль/л), x_4 – Цистатин С (нг/мл)).

С целью оценки диагностической значимости полученной модели был проведен ROC-анализ. Площадь под ROC-кривой (AUC) равна 0,99, что свидетельствует о высокой эффективности модели в задаче классификации «здоровый» (0) и «больной» (1) (рис. 1).

Для нахождения оптимального порога отсекающего использовали метрику F1-Score. Оптимальный порог равен 0,3864. При получении значения результата расчета $< 0,3864$ означает отсутствие у обследуемого клинико-лабораторных проявлений

Таблица 1. Концентрации биомаркеров ЭД в исследуемых группах
Table 1. Concentrations of ED biomarkers in the study groups

Биомаркеры/исследуемые группы Biomarkers/study groups	вЧСРБ (мг/л) hsCRP (mg/L)	Гомоцистеин (мкмоль/л) Homocysteine (μmol/L)	Д-димер (нг/мл) D-dimer (ng/mL)	Цистатин С (нг/мл) Cystatin C (ng/mL)
Контрольная группа (n=120) Control group (n=120)	0,45 [0,3;0,6]	8,1 [7,0;9,45]	62,05 [37,25;107,45]	780,1 [713,8;835,05]
Подгруппа ХГРС (n=82) CPurRS subgroup (n=82)	3,35 [1,3;9,2] * $p = 0,007$	13,2 [12,0;14,6] * $p = 0,013$	291,6 [271,4;326,4] * $p = 0,004$	1061,0 [1021,7;1097,2] * $p = 0,002$
Подгруппа ПРС (n=67) PoIRS subgroup (n=67)	2,8 [0,8;7,3] * $p = 0,027$	14,1 [12,8;16,6] * $p = 0,003$	275,6 [250,1;287,4] * $p = 0,014$	1016,5 [980,2;1078,2] * $p = 0,006$

*Статистически значимыми различия при уровне $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой.

*Statistically significant differences at a level of $p < 0,05$ compared with the control group.

эндотелиальной дисфункции, при $\geq 0,3864$ – наличие клинико-лабораторных проявлений эндотелиальной дисфункции.

При оценке производительности модели с порогом отсечения 0,3864 получены следующие характеристики: чувствительность – 99,6%, специфичность – 100%, точность – 100%.

Таким образом, при получении результата расчета можно констатировать наличие или отсутствие клинико-лабораторных признаков эндотелиальной дисфункции.

Выводы. Несомненно, многие аспекты проблемы возникновения хронической патологии в околоносовых пазухах до конца остаются невыясненными. Проведенное исследование явилось шагом к пониманию проблемы ХРС и подтверждения у этой категории больных проявления ЭД. Биомаркеры, анализируемые в данном исследовании не являются специфичными для хронических заболеваний околоносовых пазух. Но, при планировании этого исследования, были исключены возможные заболевания и патологические состояния, которые могут отразиться на изменениях уровней этих биомаркеров, помимо ХРС. На основе полученной математической модели можно проводить не только диагностику ЭД при ХРС, но и, вероятно, мониторинг клинико-лабораторных проявлений ЭД после лечения. Результаты проведенного нами исследования доказывают, что у пациентов с ХРС повышены исследуемые биомаркеры и ЭД, вероятно, играет роль в патогенезе ХРС. Возможно, по ним можно будет оценивать эффективность терапии. Оценка эффективности лечения должна носить комплексный характер, учитывающий клинические данные, результаты инструментальных и лучевых методов диагностики и данные лабораторных методов исследования. Только такой подход позволит прогнозировать течение заболевания. Возможно, в схемы лечения больных с ХРС, в дальнейшем необходимо будет включать препараты, корригирующие патологические процессы в эндотелии.

Рассмотренный в статье метод применения логистической регрессии для построения математической модели является шагом для прогнозирования течения ХРС на основе ЭД. Своевременная диагностика ЭД с применением математического моделирования будет способствовать оптимизации лечебных мероприятий и улучшению прогноза течения ХРС. Для этого необходимо продолжить исследования в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Аликеева Э.А., Исмаилов Ж.К., Берикова Э.А., Арингазина А.М. Математическое моделирование в здравоохранении (обзор литературы). *Фтизиатрическая пульмонология*. 2017;1(29):18–27. [Alikeeva E.A., Ismailov Zh.K., Berikova E.A., Aringazina A.M. Mathematical modeling in healthcare (literature review). *Phthisiopulmonology*. 2017;1(29):18–27 (In Russ.).]
2. Безрукова Е.В., Хмельницкая Н.М., Афитонов М.А. Современные аспекты иммунопатогенеза хронического полипозного риносинусита. *Российская оториноларингология*. 2017;3(88):16–23. [Bezrukova E.V., Khmel'nitskaya N.M., Afitonov M.A. The present-day aspects of chronic polypous rhinosinusitis immunopathogenesis. *Rus. Otorhinolaryngol.* 2017;3(88):16–23 (In Russ.).] <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2017-3-16-23>.
3. Бойко Н.В., Шатохин Ю.В. Патогенез носовых кровотечений у больных с артериальной гипертензией. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(5):41–5. [Boiko N.V., Shatokhin Yu.V. Pathogenesis of nasal bleeding in the patients presenting with arterial hypertension. *Rus. Bull. Otorhinolaryngol.* 2015;80(5):41–5 (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/otorino201580541-45>.
4. Бычкова М.В., Трусов Д.В., Кулюцина Е.Р., Починина Н.К. Информативность лабораторных показателей, определяемых по стандартам медицинской помощи у больных с хроническими синуситами и хроническими тонзиллитами. *Вестник ТГУ*. 2017;22(6):1612–8. [Bychkova M.V., Trusov D.V., Kulyutina E.R., Pochinina N.K. Information content of laboratory indicators determined according to medical care standards in patients with chronic sinusitis and chronic tonsillitis. *Vestnik TSU*. 2017;22(6):1612–8 (In Russ.).] [Doi: 10.20310/1810-0198-2017-22-6-1612-1620](https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-6-1612-1620).
5. Гаджиева Д.Э., Жукова В.А., Наконечная Д.И. Применение математических методов в медицине. *Международный студенческий научный вестник*. 2018;3:53–5. [Gadzhieva D.E., Zhukova V.A., Nakonechnaya D.I. Application of mathematical methods in medicine. *Int. Student Sci. Bull.* 2018;3:53–5 (In Russ.).]
6. Григорьев С.Г., Лобзин Ю.В., Скрипченко Н.В. Роль и место логистической регрессии и ROC-анализа в решении медицинских диагностических задач. *Журнал инфектологии*. 2016;4(8):36–45. [Grigoryev S.G., Lobzin Yu.V., Skripchenko N.V. The role and place of logistic regression and ROC analysis in solving medical diagnostic task. *J. Infectol.* 2016;4(8):36–45 (In Russ.).]
7. Демушкина К.М., Демушкин М.О., Кузьмин А.В. Обзор методов проектирования систем поддержки принятия врачебных решений. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2022;2:75–89. [Demushkina K.M., Demushkin M.O., Kuzmin A.V. Review of methods for designing clinical decision support systems. *Model. Syst. Networks Econom. Technol. Nat. Soc.* 2022;2:75–89 (In Russ.).] [Doi: 10.21685/2227-8486-2022-2-6](https://doi.org/10.21685/2227-8486-2022-2-6).
8. Добрынин К.Б. О факторах риска полипозного риносинусита. *Российская оториноларингология*. 2016;6(85):44–8. [Dobrynin K.B. On polypous rhinosinusitis risk factors. *Rus. Otorhinolaryngol.* 2016;6(85):44–8 (In Russ.).] [Doi: 10.18692/1810-4800-2016-6-44-48](https://doi.org/10.18692/1810-4800-2016-6-44-48).
9. Кобринский Б.А. Системы поддержки принятия врачебных решений в повышении квалификации: история и современные тенденции. *Методология и технология непрерывного профессионального образования*. 2020;4(4):21–37. [Kobrin'skii B.A. Clinical decision support systems in advanced qualification: history and modern trends. *Methodol. Technol. Contin. Professional Educat.* 2020;4(4):21–37. (In Russ.).] [Doi: 10.24075/MTCPE.2020.022](https://doi.org/10.24075/MTCPE.2020.022).
10. Корнеев А.А., Рязанцев С.В., Вяземская Е.Э., Будковская М.А. Меры информативности диагностических медицинских технологий в оториноларингологии: вычисление и интерпретация. *Российская оториноларингология*. 2020;19(1):46–55. [Korneev A.A., Ruzantsev S.V., Vyazemskaya E.E., Budkovskaya M.A. The measures of informativeness of diagnostic medical technologies in otorhinolaryngology: calculation and interpretation. *Ros. Otorhinolaryngol.* 2020;19(1):46–55 (In Russ.).] <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-1-46-55>.
11. Корнеев А.А., Фанта И.В., Вяземская Е.Э. Оценка динамики симптомов болезни методами анализа выживаемости. *Российская оториноларингология*. 2019;18(4):8–14. [Korneev A.A., Fanta I.V., Vyazemskaya E.E. The assessment of disease symptom dynamics using survival analysis methods. *Ros. Otorhinolaryngol.* 2019;18(4):8–14 (In Russ.).] <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-4-8-14>.
12. Котонский И.Н., Малина Ю.В. Метод частных алгоритмов действий врача как способ адаптации клинических рекомендаций к медицинской практике. *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2022;44(1):9–14. [Kotonskiy I.N., Malina Yu.V. Method of private algorithms of physician actions for adaptation of clinical guidelines to medical practice. *Med. Technol. Assessment Choice.* 2022;44(1):9–14 (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/medtech2022440119>.

13. Лучинин А.С., Лянгузов А.В. Модель логистической регрессии для прогнозирования летальности в отделении интенсивной терапии: проблемы и решения. *Качественная клиническая практика*. 2022;(2):13–20. [Luchinin A.S., Lyanguzov A.V. A logistic regression-based model to predict ICU mortality: problems and solutions. *Good Clin. Pract.* 2022;(2):13–20 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.37489/2588-0519-2022-2-13-20>.
14. Лучинин А.С. Прогностические модели в медицине. *Клиническая онкогематология*. 2023;16(1):27–36. [Luchinin A.S. Prognostic Models in Medicine. *Clin. Oncohematol.* 2023;16(1):27–36 (In Russ.)]. Doi: 10.21320/2500-2139-2023-16-1-27-36.
15. Моисеева Ю.П., Пискунов Г.З. Биологическая терапия – новые возможности лечения T2-индуцированного полипозного риносинусита. *Фармакология & Фармакотерапия*. 2022;(специальный выпуск):44–7. [Moiseeva Yu.P., Piskunov G.Z. Biological therapy – new treatment options for T2-induced polypous rhinosinusitis. *Pharmacol. Pharmacother.* 2022;(special issue):44–7 (In Russ.)]. Doi: 10.46393/27132129_2022_S_44.
16. Моисеева Ю.П., Пискунов Г.З. Влияние полиморфизмов гена ИЛ-33 на формирование клинических фенотипов полипозного риносинусита. *Российская ринология*. 2020;28(4):205–10. [Moiseeva Yu.P., Piskunov G.Z. Influence of IL-33 gene polymorphisms on formation of clinical phenotypes of polyposis rhinosinusitis. *Rus. Rhinol.* 2020;28(4):205–10 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/rosrino202028041205>.
17. Нурмаганбетова М.О., Нурмагамбетов Д.Е., Оспан А.Б. Диагностирование на основе математического метода. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016;3:91–3. [Nurmaganbetova M.O., Nurmagambetov D.E., Ospas A.B. Diagnosing based on mathematical method. *Int. J. Appl. Fundament. Res.* 2016;3:91–3 (In Russ.)].
18. Панкова В.Б. Система профилактики в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(1):4–8. [Pankova V.B. The system of prophylaxis in otorhinolaryngology. *Rus. Bull. Otorhinolaryngol* 2015;80(1):4–8 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/otorino20158014-8>.
19. Перминов А.Б., Сакович А.Р. Применение шкал и анкет в обследовании пациентов с риносинуситом. *Медицинский журнал*. 2019;1:37–41. [Perminov A.B., Sakovich A.R. The use of scales and questionnaires in the examination of the patients with rhinosinusitis. *Med. J.* 2019;1:37–41 (In Russ.)].
20. Попов И.Б., Щербаков Д.А., Тырык О.Б., Алексанян Т.А. Новый взгляд на лечение полипозного риносинусита. *Вестник оториноларингологии*. 2020;85(3):48–51. [Popov I.B., Shcherbakov D.A., Tyryk O.B., Aleksanyan T.A. New approach to treatment of polypous rhinosinusitis. *Vestn. Otorinolaringol.* 2020;85(3):48–51 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/otorino20208503148>.
21. Семерякова Е.Г., Берестнева О.Г., Макарова Л.С. Математические методы в задачах медицинской диагностики. *Современные проблемы науки и образования*. 2012;6. [Semeryakova E.G., Berestneva O.G., Makarova L.S. Mathematical methods in problems of medical diagnostics. *Mod. Probl. Sci. Educat.* 2012;6 (In Russ.)].
22. Степанова Т.В., Иванов А.Н., Терешкина Н.Е. и др. Маркеры эндотелиальной дисфункции: патогенетическая роль и диагностическое значение (обзор литературы). *Клиническая лабораторная диагностика*. 2019;64(1):34–41. [Stepanova T.V., Ivanov A.N., Tereshkina N.E., et al. Markers of endothelial dysfunction: pathogenetic role and diagnostic significance. *Rus. Clin. Lab. Diagnos.* 2019;64(1):34–41 (In Russ.)]. Doi: <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-34-41>.
23. Тарасова С.А. Прогнозирование в клинической медицине. *Инновации в науке. Сборник статей по материалам XXX международной научно-практической конференции*. 2014;2(27);Часть II:57–61. [Tarasova S.A. Prognostication in the clinical medicine. *Innovations in science. Collection of articles based on the materials of the XXX International Scientific and practical conference*. 2014;2(27):II:57–61 (In Russ.)].
24. Ячевская Е.Ю., Меснянкина О.А. Математическое моделирование и прогнозирование в эпидемиологии инфекционных заболеваний. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. 2019;23(3):32–34. [Yanchevskaya E.Yu., Mesnyankina O.A. Mathematical Modelling and Prediction in Infectious Disease Epidemiology. *RUDN J. Med.* 2019;23(3):328–34. (In Russ.)]. Doi: 10.22363/2313-0245-2019-23-3-328-334.
25. Heinze G., Wallisch C., Dunkler D. Variable selection – A review and recommendations for the practicing statistician. *Biometrical J.* 2018;60:431–49. <https://doi.org/10.1002/bimj.201700067>.
26. Van Smeden M., Reitsma J.B., Riley R.D., et al. Clinical prediction models: diagnosis versus prognosis. *J. Clin. Epidemiol.* 2021;132:142–5. Doi: 10.1016/j.jclinepi.2021.01.009.
27. Fokkens W.J., Lund V.J., Hopkins C., et al. *European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps 2020*. *Rhinology*. 2020;58(29):1–464.

Поступила 22.06.2025

Получены положительные отзывы 05.12.25

Принята в печать 10.12.25

Received 22.06.2025

Positive reviews received 05.12.25

Accepted 10.12.25

Информация об авторе:

Трусов Дмитрий Валерьевич – врач-оториноларинголог ГБУЗ «Тамбовская областная клиническая больница им. В.Д. Бабенко». Адрес: 392000 Тамбов, ул. Московская, 29; тел.: 8 (905) 120-00-97; e-mail: trudoc747@rambler.ru. ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-9638-4843>.

Information about the author:

Trusov Dmitry Valerievich – MD, State Budgetary Healthcare Institution "Tambov Regional Clinical Hospital named after V.D. Babenko". Address: 392000 Tambov, Moskovskaya str., 29; tel.: 8 (905) 120-00-97; e-mail: trudoc747@rambler.ru. ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-9638-4843>