

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-16-2-8-20>



УДК 519.24; 53; 57.017

Использование дискриминантного метода в прогнозировании прогрессирования первичной глаукомы

А. А. Абрамов¹✉, А. Е. Копылов², А. А. Бахарева³, И. М. Федосеев³,
М. Л. Курзин², И. Ю. Шарапов², Д. Р. Шмарова³, А. А. Шорохова³

¹ Клиника «Скандинавия»

ул. Ильюшина, д. 4/1, г. Санкт-Петербург 197372, Российская Федерация

² Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза»

имени академика С. Н. Федорова, Тамбовский филиал

Рассказовское ш., д. 1, г. Тамбов 392000, Российская Федерация

³ Юго-Западный государственный университет

ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: anton_abramov@mail.ru

Резюме

Цель исследования – прогнозирование прогрессирования первичной глаукомы дискриминантным методом.

Методы. В исследовании приняли участие 141 пациент с I-й стадией первичной глаукомы и 145 пациентов со II-й стадией первичной глаукомы. На второй день в утреннее время производился забор крови в количестве 2 мл, анализ которой с подсчетом количества изученных клеток крови выполнялся автоматизированной системой Sysmex XN-A₁ (Япония), и расчёт анализируемых индексов. Статистическая обработка полученных данных проведена на ЭВМ и включала применение дискриминантного метода для создания математических моделей, обеспечивающих с 95%-ной безошибочной вероятностью дифференциацию (классификацию) пациентов с I и II стадией первичной глаукомы.

Результаты. Сравнительная оценка индексов слабого иммунного воспаления среди пациентов прогрессирующей первичной глаукомы относительно пациентов без прогрессирования первичной глаукомы выявила достоверные различия по всем рассматриваемым индексам. В соответствии с наивысшей информативностью индексов SIRI, AISI методом дискриминантного анализа разработана следующая модель: $Y_1 = -12,561 + 0,196X_1 + 0,058X_2$, а для пациентов без прогрессирования первичной глаукомы – модель $Y_2 = -4,768 + 0,085X_1 + 0,024X_2$. Установлено, что дискриминантные модели ошибочно отнесли 13,25% пациентов с прогрессированием первичной глаукомы в группу пациентов без прогрессирования первичной глаукомы. Однако дискриминантные модели классифицировали в группу пациентов без прогрессирования первичной глаукомы (12,81%) с прогрессированием первичной глаукомы.

Заключение. Использование дискриминантного метода и индексов SIRI и AISI позволило разработать дискриминантную модель, позволяющую дифференцировать пациентов с прогрессированием первичной глаукомы от пациентов без прогрессирования первичной глаукомы с требуемым качеством.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома; прогрессирование первичной открытоугольной глаукомы; прогнозирование; дискриминантный анализ; клетки крови; индексы системного воспаления.

© Абрамов А. А., Копылов А. Е., Бахарева А. А., Федосеев И. М., Курзин М. Л., Шарапов И. Ю., Шмарова Д. Р., Шорохова А. А., 2026

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026;16(2):8–20

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Использование дискриминантного метода в прогнозировании прогрессирования первичной глаукомы / А. А. Абрамов, А. Е. Копылов, А. А. Бахарева, И. М. Федосеев, М. Л. Курзин, И. Ю. Шарапов, Д. Р. Шмарова, А. А. Шорохова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026. Т. 16, № 2. С. 8–20. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-2-8-20>.

Поступила в редакцию 10.04.2026

Подписана в печать 10.05.2026

Опубликована 30.06.2026

The use of the discriminant method in predicting the progression of primary glaucoma

Anton A. Abramov¹ ✉, Andrey E. Kopylov², Arina A. Bakhareva³,
Ilya M. Fedoseev³, Maxim L. Kurzin², Ilya Yu. Sharapov²,
Diana R. Shmarova³, Anastasia A. Shorokhova³

¹ Skandinavia Clinic
4/1 Ilyushina Str., Saint Petersburg 197372, Russian Federation

² Intersectoral Scientific and Technical Complex "Eye Microsurgery"
named after Academician S. N. Fedorov, Tambov Branch
1 Rasskazovskoe highway, Tambov 392000, Russian Federation

³ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: anton_abramov@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is predicting the progression of primary glaucoma by discriminant method.

Methods. The study involved 141 patients with stage I primary glaucoma and 145 patients with stage II primary glaucoma. On the second day, in the morning, 2 ml of blood was taken, the analysis of which, counting the number of blood cells studied, was performed by the automated Sysmex XN-A₁ system (Japan) and the calculation of the analyzed indices. Statistical processing of the obtained data was carried out on a computer and included the use of a discriminant method to create mathematical models that provide 95% error-free differentiation (classification) of patients with stage I and II primary glaucoma.

Results. A comparative assessment of the indices of weak immune inflammation among patients with the progression of the first glaucoma relative to patients without the progression of primary glaucoma revealed significant differences in all the indices under consideration. In accordance with the highest informative value of the SIRI and AISI indexes, the following model was developed by discriminant analysis: $Y_1 = -12,561 + 0,69X_1 + 0,08X_2$, and for patients without progression of primary glaucoma, the model $Y_2 = -4,768 + 0,085X_1 + 0,024X_2$. It was found that discriminant models mistakenly assigned 13,25% of patients with primary glaucoma progression to the group of patients without primary glaucoma progression. However, discriminant models were classified into the group of patients without primary glaucoma progression, 12,81% with primary glaucoma progression.

Conclusion. The use of the discriminant method and the SIRI and AISI indexes allowed us to develop a discriminant model that makes it possible to differentiate patients with primary glaucoma progression from patients without primary glaucoma progression with the required quality.

Keywords: primary open-angle glaucoma; progression of primary open-angle glaucoma; prognosis; discriminant analysis; blood cells; indices of systemic inflammation.

Conflict of interest: The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Abramov A.A., Kopylov A.E., Bakhareva A.A., Fedoseev I.M., Kurzin M.L., Sharapov I.Yu., Shmarova D.R., Shorokhova A.A. The use of the discriminant method in predicting the progression of primary glaucoma. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2026;16(2):8–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-2-8-20>.

Received 10.04.2026

Accepted 10.05.2026

Published 30.06.2026

Введение

Глаукома является основной причиной необратимой слепоты во всем мире. По оценкам, в 2020 г. в мире насчитывалось около 70 млн чел. в возрасте старше 40 лет, страдающих первичной открытоугольной глаукомой [1]. Хотя патогенез глаукомной оптической нейропатии сложен и многофакторен, колебания и повышенный уровень внутриглазного давления являются основными триггерами, вызывающими механическое повреждение ганглиозных клеток сетчатки, что приводит к дефектам поля зрения при глаукоме [2]. Лечение, направленное на снижение внутриглазного давления, является единственным доказанным способом замедлить прогрессирование глаукомы. Таким образом, профиль внутриглазного давления для каждого пациента является важной информацией для диагностики и лечения глаукомы. Аппланационная тонометрия, по Гольдману, которая в настоящее время является золотым стандартом, обычно проводится один раз в рабочее время для измерения внутриглазного давления у пациентов с глаукомой. Учитывая, что примерно у 2/3 пациентов с глаукомой пиковое внутриглазное давление наблюдается в нерабочее время, для получения суточного профиля уровней внутриглазного давления и регистрации их колебаний желательны дополнительные измерения внутриглазного давления, такие как домашняя тонометрия [3]. Однако на сегодняшний день не существует эффек-

тивных методов измерения амбулаторного внутриглазного давления в течение 24 часов, за исключением устройств, имплантируемых в глаз [4].

В связи с существующей сложностью измерения и оценки внутриглазного давления, считающегося ведущим фактором прогрессирования первичной глаукомы, в настоящее время шире стали применяться математические методы прогнозирования течения первичной глаукомы [5]. Модели прогнозирования прогрессирования первичной глаукомы стратифицируют пациентов в зависимости от вероятности достижения ими определённых результатов, тем самым выявляя пациентов с повышенным риском развития заболевания [6]. С помощью различных методологий были предприняты попытки разработать модели прогнозирования глаукомы, и эти модели показали многообещающие результаты в прогнозировании развития глаукомы и необходимости хирургического вмешательства при глаукоме [7]. Однако о связи отдельных офтальмологических признаков с более быстрым или медленным прогрессированием глаукомы известно относительно мало [8]. Кроме того, несмотря на растущее количество данных о патогенной роли таких факторов, как слабое иммунное воспаление, данные противоречивы [9].

Хотя воспаление является естественным процессом восстановления тканей, неконтролируемое воспаление может привести к их повреждению. Для более точной оценки воспалительного

статуса человека были разработаны новые лабораторные тесты и индексы [10]. Значительный интерес вызывает оценка маркеров воспаления, связанных с глаукомой. Ряд исследований показал, что такие маркеры воспаления, как NLR и PLR, тесно связаны с неблагоприятными исходами при сердечно-сосудистых заболеваниях, раке и хронической болезни почек [11].

Вместе с тем стратификация риска прогрессирования первичной глаукомы и прогнозирование прогрессирования первичной глаукомы по показателям NRL, PLR и другим параметрам слабого иммунного воспаления на основе дискриминантного метода не выполнялись.

Цель исследования – прогнозирование прогрессирования первичной глаукомы дискриминантным методом.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 141 пациент с I-й стадией первичной глаукомы и 145 пациентов со II-й стадией первичной глаукомы. Обследование пациентов выполнялось по общепринятой методике и включало клиническое и инструментальное исследование. Для диагностики первичной глаукомы использовались гониоскопия, щелевая лампа, периметрия, биомикроскопия для определения полей зрения, остроты зрения без коррекции, прозрачности оптических сред глаза. При диагностике первичной глаукомы учитывались критерии Клинических рекомендаций «Глаукома первичная открытоугольная»¹.

¹ Глаукома первичная открытоугольная: клинические рекомендации. М.: Общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей-офтальмологов», 2024. 98 с.

Пациенты сравниваемых групп статистически значимо не различались по основным медико-демографическим показателям, которые могли бы повлиять на результаты исследования. Так, средний возраст в группе с I-й стадией первичной глаукомы составлял $65,27 \pm 2,07$ лет против $66,59 \pm 2,34$ лет ($p > 0,05$), внутриглазное давление $21,72 \pm 1,12$ мм рт. ст. против $23,34 \pm 1,24$ мм рт. ст., доля лиц мужского пола $46,8 \pm 2,24\%$ и $48,3 \pm 2,26\%$ соответственно.

Не установлено статистически значимых различий между рассматриваемыми группами в частоте среди них общесоматических заболеваний, когда индекс коморбидности составлял в группе с I-й стадией первичной глаукомы $3,6 \pm 0,84$ против $3,8 \pm 0,79$ в группе со II-й стадией первичной глаукомы, распространенность артериальной гипертензии $43,2 \pm 2,64\%$ и $41,6 \pm 2,43\%$, ишемической болезни сердца $21,7 \pm 1,83\%$ и $18,9 \pm 1,76\%$, перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения $11,4 \pm 1,12\%$ и $10,8 \pm 1,34\%$ соответственно с недостоверным различием во всех случаях ($p > 0,05$).

Критериям включения в выделенные группы являлись наличие I-й и II-й стадии первичной глаукомы. В исследование не включались пациенты с острыми воспалительными заболеваниями, новообразованиями, аллергическими реакциями, сахарным диабетом, моложе 60 лет и старше 74 лет, с аутоиммунной патологией, с другими офтальмологическими заболеваниями.

На второй день в утреннее время производился забор крови в количестве 2 мл, анализ которой с подсчетом количества изученных клеток крови выполнялся автоматизированной системой Sysmex XN-A1 (Япония). В дальнейшем после получения данных о количестве

лейкоцитов, нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов и тромбоцитов производится расчёт анализированных индексов NLR (отношение нейтрофилов к лимфоцитам), PLR (тромбоцитов к лимфоцитам), LMR (лимфоцитов к моноцитам), SIRI (количество нейтрофилов, умноженное на отношение моноцитов и лимфоцитов), SII (количество тромбоцитов, умноженное на отношение нейтрофилов и лимфоцитов). Индекс AISI рассчитывался как произведение абсолютного количества моноцитов, нейтрофилов, тромбоцитов, деленное на количество лимфоцитов.

Статистическая обработка полученных данных проведена на ЭВМ и включала применение дискриминантного метода для создания математических моделей, обеспечивающих с 95% безошибочной вероятностью дифференциацию (классификацию) пациентов с I-й и II-й стадией первичной глаукомы. Первоначально проведен однофакторный анализ оценки статистических различий изученных индексов слабого иммунного воспаления по непараметрическому критерию X_2 . После выделения наиболее информативных индексов слабого иммунного воспаления применялся дискриминантный метод. При этом пациенты с I-й стадией первичной глаукомы

условно обозначались как класс $G_{1:0}$, а пациенты с II стадией первичной глаукомы как класс $G_{2:1}$. Хорошее качество разработанных дискриминантных моделей принималось тогда, когда процент ошибочной классификации не превышал 15% для каждого исследуемого класса. Оценка качества созданных дискриминантных моделей проведена по расстоянию Махаланобиса [12]. Проверка адекватности моделей проведена на обучающей контрольной выборке здоровых пациентов ($n = 96$).

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка индексов слабого иммунного воспаления среди пациентов прогрессирующей первичной глаукомы относительно пациентов без прогрессирующей первичной глаукомы выявила достоверные различия по всем рассматриваемым индексам (табл. 1). При этом у пациентов с прогрессирующей первичной глаукомы максимально был выше индекс SIRI по отношению к пациентам без прогрессирующей первичной глаукомы – превышение составляло 2,58 раза. Индекс AISI также был значительно выше у пациентов, у которых диагностировано прогрессирующее первичной глаукомы с превышением 2,12 раза такового группы сравнения.

Таблица 1. Показатели индексов слабого иммунного воспаления среди пациентов с прогрессирующим и без прогрессирующей первичной глаукомы ($M \pm SD$, $\times 10^9/l$)

Table 1. Indices of weak immune inflammation among patients with and without progression of primary glaucoma ($M \pm SD$, $\times 10^9/l$)

Индекс слабого иммунного воспаления	Пациенты без прогрессирующей первичной глаукомы	Пациенты с прогрессирующей первичной глаукомы	p
NLR	1,78 $\pm$ 0,12	2,55 $\pm$ 0,14	0,0024
PLR	101,12 $\pm$ 5,95	129,37 $\pm$ 8,12	0,0019
LMR	4,83 $\pm$ 0,36	3,14 $\pm$ 0,29	0,0012
SIRI	0,73 $\pm$ 0,09	1,89 $\pm$ 0,32	0,0010
SII	369,08 $\pm$ 8,97	539,81 $\pm$ 16,41	0,0015
AISI	274,5 $\pm$ 9,48	582,9 $\pm$ 13,6	0,0022

Существенными оказались повышение индексов SII и NLP у пациентов с прогрессированием первичной глаукомы, хотя это различие было меньшим, чем для ранее рассмотренных индексов SIRI и AISI. Наряду с этим прогнозирование первичной глаукомы сопровождалось достоверным снижением индексов LMR, который был при этом в 1,54 раза ниже, чем в группе без признаков прогрессирования первичной глаукомы.

В соответствии с наивысшей информативностью индексов SIRI, AISI методом дискриминантного анализа разработана следующая модель:

$$Y_1 = -12,561 + 0,196X_1 + 0,058X_2,$$

где Y_1 – группа пациентов с прогрессированием первичной глаукомы; X_1 – величина индекса SIRI; X_2 – величина индекса AISI.

Для пациентов без прогрессирования первичных глаукомы модель Y_2 ,

построенная с учётом индексов слабого иммунного воспаления, имеет вид

$$Y_2 = -4,768 + 0,085X_1 + 0,024X_2,$$

где Y_2 – группа пациентов без прогрессирования первичной глаукомы; X_1 – величина индекса SIRI; X_2 – величина индекса AISI.

Адекватность созданных дискриминантных моделей для дифференциации пациентов с прогрессированием первичной глаукомы проведена по расстоянию Махаланобиса (табл. 2). Установлено, что дискриминантные модели ошибочно отнесли 13,25% пациентов с прогрессированием первичной глаукомы в группу пациентов без прогрессирования первичной глаукомы. Однако дискриминантные модели классифицировали в группу пациентов без прогрессирования первичной глаукомы (12,81%) с прогрессированием первичной глаукомы.

Таблица 2. Расстояние Махаланобиса для дискриминантных моделей по показателям слабого иммунного воспаления

Table 2. Mahalanobis distance for discriminant models based on indicators of weak immune inflammation

Код признака	Observed	G_1:0	G_2:1
1	G_1:0	23,612	8,622
2	G_1:0	20,879	8,796
3	G_1:0	21,625	9,012
4	G_1:0	21,786	7,864
5	G_1:0	25,404	11,231
6	G_1:0	19,847	6,742
7	G_1:0	14,976	12,764
8	G_2:1	14,274	8,109
9	G_2:1	16,512	11,257
10	G_2:1	22,843	18,064
11	G_2:1	18,407	12,745
12	G_2:1	16,351	10,109
13	G_2:1	22,549	13,544
14	G_2:1	12,874	17,095

В отличие от полученных нами результатов, в ранее выполненном исследовании [13] дискриминантный анализ использовался для дифференциации первичной глаукомы по комплексу ганглиозных клеток макулы, головки зрительного нерва и слою нервных волокон сетчатки от пациентов с подозрением на глаукому. Установлены статистически значимые различия в средних значениях комплекса ганглиозных клеток макулы, головки зрительного нерва и слоя нервных волокон сетчатки, которые оказались ниже у пациентов с первичной глаукомой. Однако, поскольку средний возраст пациентов в группах оказался неодинаковым: $61,2 \pm 10,5$ лет у пациентов с первичной глаукомой и $54,26 \pm 9,37$ лет ($p < 0,001$) у лиц с подозрением на глаукому, то для исключения влияния возраста проведена корректировка параметров с учётом возраста. После корректировки достоверные различия сохранились для вышеназванных параметров ($p < 0,001$). Использование дискриминантного анализа для дифференциации пациентов с первичной глаукомой от людей с подозрением на глаукому показало, что наилучшей дискриминантной способностью обладает комплекс ганглиозных клеток в нижней височной области и с учётом этого разработана дискриминантная модель $Y = -6,609 + 0,090x_1$, где x_1 – комплекс ганглиозных клеток в нижней височной области.

Дискриминантные модели, созданные другими авторами [14], включали в качестве переменных вертикальное соотношение чашки/диска зрительного нерва, среднюю толщину, толщину нижнего полушария, но их диагностическая способность оказалась ниже ранее рассмотренной, поскольку авторы включили в дискриминантную модель

демографические факторы, рефракционные ошибки. Последние оказались статистически значимыми. Кроме того, не была подтверждена эффективность дискриминантной модели на независимой выборке.

Использовались параметры толщины зрительного нерва, слоя нервных волокон сетчатки и общей толщины макулы для разработки дискриминантной модели, получена достаточная её результативность [13]. Однако окончательная дискриминантная модель не включала толщину макулы и показатели людей с подозрением на глаукому.

По сравнению с нашей дискриминантной моделью рассмотренные модели не включали индексы слабого иммунного воспаления, которые являются более экономичными при определении. Использованные нами индексы применялись другими исследователями для разработки регрессионных моделей. В частности, показана в многомерном регрессионном анализе устойчивая ассоциация между логарифмом индекса SIRI (из-за асимметричного его определения) с развитием первичной глаукомы при ОШ = 1,24 (95% ДИ 1,07-1,44, $p < 0,005$) [5]. Однако авторы считают, что созданная ими регрессионная модель не учитывает вид и не может применяться для дифференциальной диагностики и прогнозирования прогрессирования первичной глаукомы по индексам слабого иммунного воспаления и необходимы дальнейшие исследования.

Важность предиктивного подхода у пациентов с прогрессированием I-й стадии во II-ю стадию первичной глаукомы продемонстрирована в нашем исследовании, в ходе которого установлены не только разнонаправленные изменения в величинах индексов системного

иммунного воспаления, но и прогностическая способность анализируемых индексов, которая оказалась наивысшей для индексов SIRI и SII, которые в других исследованиях до настоящего времени не рассматривались в аспекте прогнозирования, прогрессирования глаукоматозного процесса. Вместе с тем известно об участии индекса PLR в прогрессировании закрытоугольной глаукомы, когда он был значительно выше в группе прогрессирования, чем в группе без прогрессирования названного фенотипа глаукомы [15]. В этом исследовании среднее значение PLR было значительно выше в группе с прогрессированием, чем в группе без прогрессирования. Кроме того, наше исследование показало, что более высокий PLR был фактором риска прогрессирования закрытоугольной глаукомы и что более высокий исходный PLR был связан с предполагаемым прогрессированием потери полей зрения при глаукоме в большой выборке пациентов с закрытоугольной глаукомой. Пациенты с более высоким PLR демонстрировали более быстрое прогрессирование потери полей зрения и с большей вероятностью демонстрировали прогрессирующее повреждение ганглиозного слоя сетчатки. Эта связь также наблюдалась в мужской и женской подгруппах. Результаты показывали, что системное воспаление играет важную роль в возникновении и прогрессировании закрытоугольной глаукомы и PLR может рассматриваться как новый эффективный биомаркер для прогнозирования прогрессирования потери полей зрения у пациентов с глаукомой. Вместе с тем в предыдущих исследованиях авторы выявили значительную разницу в PLR, NLR и LMR между пациентами с первичной открытоугольной глаукомой [16], закрыто-

угольной глаукомой [17] и здоровыми лицами.

Противоречивость информации о связи индексов системного иммунного воспаления и ПОУГ содержится в публикации [18], где указывается о противоречивости связи количества тромбоцитов (PLT), тромбоцитарного индекса (PCT) с риском развития ПОУГ. Показано, что у пациентов с ПОУГ PLT был значительно ниже, чем у здоровых лиц, а PCT недостоверно ниже относительно группы здоровых лиц. Авторы в связи с этим предположили, что активация тромбоцитов в большей степени вовлечена патогенез ПОУГ, поскольку наблюдалась значительно повышенная ширина распределения тромбоцитов и средний объем тромбоцитов при ПОУГ.

В другом исследовании [19] сообщалось, что нарушения функции свёртывания крови в значительной степени связаны с развитием ПЗУГ и могут быть вторичным фактором, повышающим риск развития ПЗУГ, поскольку только у менее чем 2 % пациентов с ПЗУГ наблюдаются отклонения в показателях функции свёртывания крови. Однако оценки показатели достоверности, проанализированные в этом исследовании, достигли статистической значимости, что позволяет по-новому взглянуть на патофизиологические механизмы развития глаукомы. Учитывая, что тромбоциты играют важную роль в каскаде коагуляции и в патофизиологии сосудов, стоит изучить потенциальный механизм нарушения регуляции сосудов при глаукоме. Кроме того, параметры тромбоцитов и функции коагуляции можно легко контролировать в клинических условиях, что заслуживает дальнейшего изучения патогенных или защитных эффектов.

Выводы

У пациентов с прогрессированием первичной глаукомы статистически значимо выше величины индексов слабого иммунного воспаления NLR, PLR, SIRI, SII и AISI и особенно индексов AISI до $582,9 \pm 13,6 \times 10^9/\text{л}$ и SIRI до $1,89 \pm 0,32 \times 10^9/\text{л}$ против $274,5 \pm 9,48 \times 10^9/\text{л}$

и $0,73 \pm 0,09 \times 10^9/\text{л}$. Использование дискриминантного метода и индексов SIRI и AISI позволило разработать дискриминантную модель, позволяющую дифференцировать пациентов с прогрессированием первичной глаукомы от пациентов без прогрессирования первичной глаукомы с требуемым качеством.

Список литературы

1. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: A meta-analysis and systematic review / N. Zhang, J. Wang, Y. Li [et al.] // *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11, N 1. P. 13762. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92971-w>.
2. Alqawlaq S., Flanagan J. G., Sivak J. M. All roads lead to glaucoma: Induced retinal injury cascades contribute to a common neurodegenerative outcome // *Exp. Eye. Res.* 2019. N 183. P. 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.11.005>.
3. The Icare HOME (TA022) study: Performance of an intraocular pressure measuring device for self-tonometry by glaucoma patients / L. I. Mudie, S. LaBarre, V. Varadaraj [et al.] // *Ophthalmology*. 2016. Vol. 123, N. 8. P. 1675–1684. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.04.044>.
4. Short-term and long-term variability of intraocular pressure measured with an intraocular telemetry sensor in patients with glaucoma / K. Mansouri, H. L. Rao, R. N. Weinreb [et al.] // *Ophthalmology*. 2021. Vol. 128, N 2. P. 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.07.016>.
5. Association of systemic inflammation indices with visual field loss progression in patients with primary angle-closure glaucoma: potential biomarkers for 3P medical approaches / S. Li, Y. Qiu, J. Yu [et al.] // *EPMA J.* 2021. Vol. 12, N 4. P. 659–675. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00260-3>.
6. Automated Detection of Glaucoma With Interpretable Machine Learning Using Clinical Data and Multimodal Retinal Images / P. Mehta, C. A. Petersen, J. C. Wen [et al.] // *Am. J. Ophthalmol.* 2021. N 231. P. 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.04.021>.
7. Explainable Machine Learning Model for Glaucoma Diagnosis and Its Interpretation / S. Oh, Y. Park, K. J. Cho [et al.] // *Diagnostics (Basel)*. 2021. Vol. 11, N 3. P. 510. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030510>.
8. The Diagnostic Value of Neutrophil to Lymphocyte Ratio as an Effective Biomarker for Eye Disorders: A Meta-Analysis / M. Shirvani, F. Sougi, A. Nouralishahi [et al.] // *Biomed. Res. Int.* 2022. N 2022. P. 5744008. <https://doi.org/10.1155/2022/5744008>.
9. Возрастная жизнеспособность в критические периоды жизни пациентов при зрительном дефиците и травмах / М. А. Неудахин, Н. М. Агарков, А. С. О. Ибиев [и др.] // *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2025. Т. 11, № 4. С. 727–741.
10. Glaucoma heritability: molecular mechanisms of disease / R. Zukerman, A. Harris, F. Oddone [et al.] // *Genes (Basel)*. 2021. N 12. P. 1135. <https://doi.org/10.3390/genes12081135>.

11. Association between systemic inflammatory response index and glaucoma incidence from 2005 to 2008 / X. Li, Y. Q. Sun, X. D. Zhong [et al.] // *Front. Med. (Lausanne)*. 2025. N 12. P. 1542073. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1542073>.
12. Лев И. В., Агарков Н. М., Стародубцева Л. В. Гериатрическая тактика ведения пациентов с диабетической ретинопатией // *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2023. Т. 9, № 1. С. 129–141.
13. Linear discriminant score for differentiating early primary open angle glaucoma from glaucoma suspects / G. A. Deshpande, P. K. Bawankule, D. V. Raje [et al.] // *Indian. J. Ophthalmol.* 2019. Vol. 67, N 1. P. 75–81. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_678_18.
14. Evaluation of ganglion cell-inner plexiform layer thickness in the diagnosis of preperimetric glaucoma and comparison to retinal nerve fiber layer / G. A. Deshpande, R. Gupta, P. Bawankule [et al.] // *Indian. J. Ophthalmol.* 2021. Vol. 69, N 5. P. 1113–1119. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_965_20.
15. Karahan M., Kilic D., Guven S. Systemic inflammation in both open-angle and angle-closure glaucoma: role of platelet-to-lymphocyte ratio // *Bratisl. Lek. Listy*. 2021. Vol. 122, N 1. P. 45–48. https://doi.org/10.4149/BLL_2021_005.
16. The diagnostic value of white blood cell, neutrophil, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and lymphocyte-to-monocyte ratio in patients with primary angle closure glaucoma / S. Li, W. Cao, J. Han [et al.] // *Oncotarget*. 2017. Vol. 8, N 40. P. 68984–68995. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.16571>.
17. Associations between Blood Cell Profiles and Primary Open-Angle Glaucoma: A Retrospective Case-Control Study / B. Tang, S. Li, J. Han [et al.] // *Ophthalmic Res.* 2020. Vol. 63, N 4. P. 413–422. <https://doi.org/10.1159/000504450>.
18. Association between Platelet Parameters and Glaucoma Severity in Primary Open-Angle Glaucoma / Y. Ma, J. Han, S. Li [et al.] // *J. Ophthalmol.* 2019. N 2019. P. 3425023. <https://doi.org/10.1155/2019/3425023>.
19. Association between coagulation function and patients with primary angle closure glaucoma: a 5-year retrospective case-control study / S. Li, Y. Gao, M. Shao [et al.] // *BMJ Open*. 2017. Vol. 7, N 11. P. e016719. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016719>.

References

1. Zhang N., Wang J., Li Y., et al. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: A meta-analysis and systematic review. *Sci. Rep.* 2021;11(1):13762. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92971-w>.
2. Alqawlaq S., Flanagan J.G., Sivak J.M. All roads lead to glaucoma: Induced retinal injury cascades contribute to a common neurodegenerative outcome. *Exp. Eye. Res.* 2019;(183):88-97. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.11.005>.
3. Mudie L.I., LaBarre S., Varadaraj V., et al. The Icare HOME (TA022) study: Performance of an intraocular pressure measuring device for self-tonometry by glaucoma patients. *Ophthalmology*. 2016;123(8):1675-1684. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.04.044>.

4. Mansouri K., Rao H.L., Weinreb R.N., et al. Short-term and long-term variability of intraocular pressure measured with an intraocular telemetry sensor in patients with glaucoma. *Ophthalmology*. 2021;128(2):227-233. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.07.016>.
5. Li S., Qiu Y., Yu J., et al. Association of systemic inflammation indices with visual field loss progression in patients with primary angle-closure glaucoma: potential biomarkers for 3P medical approaches. *EPMA J*. 2021;12(4):659-675. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00260-3>.
6. Mehta P., Petersen C.A., Wen J.C., et al. Automated Detection of Glaucoma With Interpretable Machine Learning Using Clinical Data and Multimodal Retinal Images. *Am. J. Ophthalmol.* 2021;(231):154-169. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.04.021>.
7. Oh S., Park Y., Cho K.J., et al. Explainable Machine Learning Model for Glaucoma Diagnosis and Its Interpretation. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(3):510. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030510>.
8. Shirvani M., Sougi F., Nouralishahi A., et al. The Diagnostic Value of Neutrophil to Lymphocyte Ratio as an Effective Biomarker for Eye Disorders: A Meta-Analysis. *Biomed. Res. Int.* 2022;(2022):5744008. <https://doi.org/10.1155/2022/5744008>.
9. Nedakhin M.A., Agarkov N.M., Ibiev A.S.O., et al. Age-related viability in critical periods of life of patients with visual deficits and injuries. *Nauchnye rezul'taty biomeditsinskikh issledovaniy = Research Results in Biomedicine*. 2025;11(4):727-741. (In Russ.)
10. Zukerman R., Harris A., Oddone F., et al. Glaucoma heritability: molecular mechanisms of disease // *Genes (Basel)*. 2021;(12):1135. <https://doi.org/10.3390/genes12081135>.
11. Li X., Sun Y.Q., Zhong X.D., et al. Association between systemic inflammatory response index and glaucoma incidence from 2005 to 2008. *Front. Med. (Lausanne)*. 2025;(12):1542073. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1542073>.
12. Lev I.V., Agarkov N.M., Starodubtseva L.V. Geriatric management of patients with diabetic retinopathy. *Nauchnye rezul'taty biomeditsinskikh issledovaniy = Research Results in Biomedicine*. 2023;9(1):129-141. (In Russ.)
13. Deshpande G.A., Bawankule P.K., Raje D.V., et al. Linear discriminant score for differentiating early primary open angle glaucoma from glaucoma suspects. *Indian. J. Ophthalmol.* 2019;67(1):75-81. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_678_18.
14. Deshpande G.A., Gupta R., Bawankule P., et al. Evaluation of ganglion cell-inner plexiform layer thickness in the diagnosis of preperimetric glaucoma and comparison to retinal nerve fiber layer. *Indian. J. Ophthalmol.* 2021;69(5):1113–1119. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_965_20.
15. Karahan M., Kilic D., Guven S. Systemic inflammation in both open-angle and angle-closure glaucoma: role of platelet-to-lymphocyte ratio. *Bratisl. Lek. Listy*. 2021;122(1):45-48. https://doi.org/10.4149/BLL_2021_005.
16. Li S., Cao W., Han J., et al. The diagnostic value of white blood cell, neutrophil, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and lymphocyte-to-monocyte ratio in patients with primary angle closure glaucoma. *Oncotarget*. 2017;8(40):68984-68995. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.16571>.
17. Tang B., Li S., Han J., et al. Associations between Blood Cell Profiles and Primary Open-Angle Glaucoma: A Retrospective Case-Control Study. *Ophthalmic Res*. 2020;63(4):413-422. <https://doi.org/10.1159/000504450>.

18. Ma Y., Han J., Li S., et al. Association between Platelet Parameters and Glaucoma Severity in Primary Open-Angle Glaucoma. *J. Ophthalmol.* 2019;(2019):3425023. <https://doi.org/10.1155/2019/3425023>.

19. Li S., Gao Y., Shao M., et al. Association between coagulation function and patients with primary angle closure glaucoma: a 5-year retrospective case-control study. *BMJ Open.* 2017;7(11):e016719. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016719>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Абрамов Антон Андреевич, кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, Клиника «Скандинавия», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: anton_abramov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4088-6606

Anton A. Abramov, Cand. Sci. (Medical), Ophthalmologist, Skandinavia Clinic, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: anton_abramov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4088-6606

Копылов Андрей Евгеньевич, кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, заведующий отделением лазерного центра, Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова, Тамбовский филиал, г. Тамбов, Российская Федерация, e-mail: kopylovx@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3536-1645

Andrey E. Kopylov, Cand. Sci. (Medical), Ophthalmologist, Head of the Department of Laser Center, Intersectoral Scientific and Technical Complex "Eye Microsurgery" named after Academician S. N. Fedorov, Tambov Branch, Tambov, Russian Federation, e-mail: kopylovx@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3536-1645

Бахарева Арина Александровна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: evgeniafornec@gmail.com

Arina A. Bakhareva, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: evgeniafornec@gmail.com

Федосеев Илья Максимович, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ilya_fedoseev_2020@bk.ru

Илья М. Fedoseev, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ilya_fedoseev_2020@bk.ru

Курзин Максим Леонидович, врач-офтальмолог I отделения, Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова, Тамбовский филиал, г. Тамбов, Российская Федерация, e-mail: kurzin1488@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8788-0300

Maxim L. Kurzin, Ophthalmologist of the First Department, Intersectoral Scientific and Technical Complex "Eye Microsurgery" named after Academician S. N. Fedorov, Tambov Branch, Tambov, Russian Federation, e-mail: kurzin1488@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8788-0300

Шарапов Илья Юрьевич, врач-офтальмолог детского отделения, Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова, Тамбовский филиал, г. Тамбов, Российская Федерация, e-mail: sharap68@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9926-9617

Илья. Yu. Sharapov, Ophthalmologist at the Children's Department, Intersectoral Scientific and Technical Complex "Eye Microsurgery" named after Academician S. N. Fedorov, Tambov Branch, Tambov, Russian Federation, e-mail: sharap68@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9926-9617

Шмарова Диана Руслановна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация e-mail: shmarova.diana@mail.ru

Diana R. Shmarova, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: shmarova.diana@mail.ru

Шорохова Анастасия Алексеевна, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: shorohova20015@gmail.com

Anastasia A. Shorokhova, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: shorohova20015@gmail.com