

Алгоритм прогнозирования повышения внутриглазного давления после факоэмульсификации у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой

Поступаева Н.В., к.м.н., врач-офтальмолог отделения хирургии глаукомы¹;
Сорокин Е.Л., д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе¹;
профессор кафедры общей и клинической хирургии²;
Пашенцев Я.Е., младший научный сотрудник¹.

¹Хабаровский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, 680033, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 211;

²ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.
Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Поступаева Н.В., Сорокин Е.Л., Пашенцев Я.Е. Алгоритм прогнозирования повышения внутриглазного давления после факоэмульсификации у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома.* 2021; 20(4):27-36.

Резюме

ЦЕЛЬ. Создание прогностического алгоритма выявления риска повышения внутриглазного давления (ВГД) после выполнения факоэмульсификации (ФЭ) у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), оценка его эффективности.

МЕТОДЫ. Проведен анализ 132 глаз пациентов с ПОУГ при нормализованном уровне ВГД, которым выполнена ФЭ. В сроки наблюдения до 18 мес. после ФЭ в 28 глазах (21%) отмечено повышение уровня ВГД от 24 до 32 мм рт.ст. Данные пациенты составили 1-ю группу, во 2-ю группы вошли 104 пациента без повышения ВГД в указанные сроки. Проведен сравнительный анализ факторов риска повышения ВГД, которые включали исходные клинкоморфологические характеристики переднего отрезка глаз, стадии ПОУГ, способы дооперационной нормализации ВГД.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлены значимые отличия в глазах 1-й группы по частоте сочетания псевдоэкзофиативного синдрома (ПЭС), ригидного зрачка, IV степени

плотности ядра, подвывиха хрусталика первой степени ($p < 0,01$), частоте далеко зашедшей стадии глаукомы, глубине передней камеры, толщине хрусталика, длительности применения гипотензивной терапии ($p < 0,01$). На основании выявленных факторов с помощью метода логистической регрессии и ROC-анализа был создан и верифицирован прогностический алгоритм выявления риска послеоперационного повышения ВГД после ФЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанный алгоритм прогнозирования показал высокую чувствительность и специфичность — 82%, что позволяет применять его для прогнозирования повышения уровня ВГД после ФЭ у пациентов с ПОУГ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: первичная открытоугольная глаукома, факоэмульсификация, внутриглазное давление, алгоритм прогнозирования, гипотензивная терапия, псевдоэкзофиативный синдром, ригидный зрачок, подвывих хрусталика, антиглаукомные операции.

Для контактов:

Поступаева Наталья Владимировна, e-mail: naukakhvmtk@mail.ru

ORIGINAL ARTICLE

Algorithm for predicting an increase in intraocular pressure after phacoemulsification in patients with primary open-angle glaucoma

POSTUPAEVA N.V., Cand. Sci. (Med.), Ophthalmologist at the Glaucoma Department¹;

SOROKIN E.L., Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work¹,

Professor at the Academic Department of General and Clinical Surgery²;

PASHENTSEV IA.E., Junior Researcher.

¹Khabarovsk branch of S.N. Fedorov National Medical Research Center «MNTK «Eye Microsurgery», 211 Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russian Federation, 680033;

²Far-Eastern State Medical University, 35 Muraviev-Amurskii St., Khabarovsk, Russian Federation, 680000.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Postupaeva N.V., Sorokin E.L., Pashentsev Ia. E. Algorithm for predicting an increase in intraocular pressure after phacoemulsification in patients with primary open-angle glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2021; 20(4):27-36.

Abstract

PURPOSE. To create a predictive algorithm for identifying the risk of increased intraocular pressure (IOP) after phacoemulsification (PE) in patients with primary open-angle glaucoma (POAG), and to assess its effectiveness.

METHODS. The analysis of 132 eyes of patients with POAG with normalized IOP, which underwent PE, was carried out. During the observation period lasting up to 18 months after PE, 28 eyes (21%) showed an increase in IOP from 24 to 32 mm Hg. These patients made up the 1st group; the 2nd group consisted of 104 patients without elevated IOP at the indicated time. A comparative analysis of risk factors for increased IOP was carried out, which included the initial clinical and morphological characteristics of the anterior segment of the eyes, stages of POAG, methods of preoperative normalization of IOP.

RESULTS. Significant differences were revealed in the eyes of the 1st group in terms of the frequency of a combi-

nation of pseudoexfoliative syndrome (PES), rigid pupil, degree IV nucleus density, degree I lens subluxation ($p < 0.01$), frequency of advanced stage of glaucoma, anterior chamber depth, lens thickness, duration of antihypertensive therapy ($p < 0.01$). The method of logistic regression and ROC analysis was used to create and verify a predictive algorithm for identifying the risk of postoperative increase in IOP after PE based on these identified factors.

CONCLUSION. The developed predictive algorithm showed high sensitivity and specificity of 82%, making it useful for predicting an increase in IOP after PE in patients with POAG.

KEYWORDS: primary open-angle glaucoma, phacoemulsification, intraocular pressure, predictive algorithm, antihypertensive therapy, pseudoexfoliative syndrome, rigid pupil, lens subluxation, antiglaucoma surgery.

Снижение уровня внутриглазного давления (ВГД) до стойких значений индивидуальной нормы является основополагающим звеном в лечении пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) [1–5].

Развитие возрастной катаракты у пациентов с ПОУГ требует выполнения факоэмульсификации (ФЭ) и, как правило, осложняется наличием псевдоэкзофолиативного синдрома (ПЭС), узкого и ригидного зрачка, повышенной плотности хрусталика и его подвывихом [6–12].

Хотя после выполнения ФЭ в глаукомных глазах имеет место умеренный гипотензивный эффект, он более характерен для начальной и развитой стадий ПОУГ [13–17].

Зачастую в глазах с ПОУГ при исходно нормализованном ВГД после выполнения ФЭ, напротив, происходит стойкое повышение ВГД, что создает угрозу прогрессирования глаукомной оптической нейропатии [14, 15, 18–20].

Среди причин послеоперационного повышения ВГД особо следует выделить травматичность

выполнения ФЭ в подобных глазах [21–25]. Она обусловлена исходно отягощающими факторами, такими как наличие ПЭС, узкого ригидного зрачка, плотного ядра хрусталика, подвывиха хрусталика. В течение последних лет нами углубленно изучается данная проблема [26–28].

Поскольку в любой современной офтальмологической клинике объемы выполнения хирургии катаракты достаточно высоки, возникает потребность в методах проведения предоперационного скрининг-прогноза риска повышения уровня ВГД после выполнения ФЭ в подобных глазах.

В литературе имеются единичные работы данной направленности [29, 30]. Авторы выявляют отдельные факторы риска послеоперационного повышения ВГД, при этом отсутствует прогнозирование с помощью математической модели анализа. Учитывая высокую вероятность такого послеоперационного осложнения у пациентов с наличием ПОУГ при исходном стойко нормализованном уровне ВГД, прогнозирование риска повышения ВГД после ФЭ представляет собой чрезвычайно важную задачу.

Цель — создание прогностического алгоритма выявления риска повышения ВГД после выполнения ФЭ у пациентов с ПОУГ, оценка его эффективности.

Материалы и методы

В исследование были включены 132 пациента (132 глаза, метод случайной выборки), которым планировалось выполнение ФЭ. Критерии отбора: сочетание ПОУГ со стойко нормализованным уровнем ВГД и возрастной катаракты. Их возраст составил от 55 до 85 лет, в среднем $68,4 \pm 5,3$ лет. Среди них были: 51 мужчина, 81 женщина. Распределение пациентов по стадиям ПОУГ: начальная стадия выявлена в 37 глазах (28%), развитая — в 47 глазах (36%), далеко зашедшая — в 48 глазах (36%). Острота зрения составила от 0,05 до 0,4, в среднем $0,24 \pm 0,13$. Уровень ВГД по Маклакову варьировал от 14 до 21 мм рт.ст., в среднем 18 (17;19) мм рт.ст.

В 45 глазах (34%) применялась местная гипотензивная терапия (аналоги простагландина F2 α , либо ингибиторы карбоангидразы или их фиксированные комбинации с бета-блокаторами). В 43 (33%) глазах перед выполнением ФЭ была выполнена селективная лазерная трабекулопластика (СЛТ); в 44 глазах (33%) — антиглаукомные операции (АГО).

Всей совокупности пациентов выполнялось предоперационное обследование, включающее осмотр переднего отрезка глаз с помощью щелевой лампы («Orton» модель 30 SLM, Германия), гониоскопию, оценку ширины зрачка при медикаментозном мидриазе, офтальмоскопию диска зрительного нерва и сетчатки (налобный бинокулярный безрефлексный офтальмоскоп «Торсон», Япония).

В исследуемой выборке выявлены следующие клиничко-морфологические особенности переднего отрезка глаз, создающие неблагоприятные условия для выполнения ФЭ: наличие ПЭС I–III стадий — 106 глаз (80%), узкий ригидный зрачок (менее 5 мм) — 102 глаза (77%), плотное ядро хрусталика IV степени по Буратто — 43 глаза (33%), подвывих хрусталика первой степени (ПХПС) — 57 глаз (43%).

В 40 глазах (30%) имело место сочетание всех перечисленных 4-х признаков. Из их числа наиболее часто они имели место у пациентов после АГО проникающего типа — (71% глаз), а также при длительной инстиляции гипотензивных капель (40% глаз). Менее часто они встречались после непроницающих АГО — 23%, после СЛТ — 13%.

Степень открытия угла передней камеры составила 3–4 (по Ван Бойнингену, 1965). Пигментация структур угла передней камеры варьировала от 0 до 4.

Всем пациентам была выполнена ФЭ по стандартной технологии, (роговичный доступ 2,0, имплантация эластичных моделей ИОЛ в капсульный мешок). Использовался факоэмульсификатор «Infinity» («Alcon», США). Все операции прошли без осложнений.

Учитывая исходную тяжесть состояния глаз, на 1-е сутки после операции в 11 глазах имела место ответная реакция глаза (8%). Она выражалась в 3 глазах феноменом Тиндаля I степени, в 8 глазах — отеком роговицы. В 22 глазах (17%) произошел реактивный подъем ВГД до уровня 25–30 мм рт. ст.

На 2–4 дни на фоне проводимой противовоспалительной местной терапии все данные осложнения были купированы, уровень ВГД снизился до 20–21 мм рт.ст. Острота зрения при выписке у всех пациентов значительно повысилась и составила в среднем $0,6 \pm 0,15$.

При последующем длительном послеоперационном наблюдении пациентов оказалось, что в сроки от 1 до 18 мес. после ФЭ в 28 глазах произошло стойкое повышение уровня ВГД (21%). Его уровень составил от 24 до 32 мм рт.ст.

Для выяснения факторов, способствующих повышению ВГД после ФЭ было сформировано две группы. В 1 группу были включены 28 пациентов со стойким подъемом ВГД после ФЭ. Во 2 группу вошли 104 пациента, у которых не произошло повышения ВГД за срок наблюдения до 18 мес., его уровень стойко сохранялся в пределах дооперационных значений.

Дизайн работы состоял в ретроспективном сравнительном анализе частоты и степени тяжести факторов риска повышения ВГД в различные сроки после ФЭ. Были проанализированы исходные клиничко-морфологические характеристики переднего отрезка глаз, стадии ПОУГ, способы дооперационной стойкой нормализации ВГД. На их основе затем был разработан прогностический алгоритм выявления риска послеоперационного повышения уровня ВГД.

Таблица 1. Сравнительная клиническая оценка исходного состояния глаз пациентов с повышением ВГД после ФЭ и с нормализованным ВГД, n=132

Table 1. Comparative clinical assessment of the initial state of the eyes in patients with increased IOP after PE and with normalized IOP, n=132

Исходные характеристики глаз <i>Initial characteristics of the eyes</i>	Группы / Groups	
	1-я (повышение ВГД после ФЭ), n=28 <i>1st (increased IOP after PE), n=28</i>	2-я (нормализованное ВГД после ФЭ), n=104 <i>2nd (normalized IOP after PE), n=104</i>
ПЭС, абс. (%) / PES, abs. (%)	28 (100) *	78 (75)
Зрачок в мидриазае, мм / Iris mydriasis, mm	3,30±0,58 *	4,74±0,95
IV степень плотности ядра хрусталика, абс. (%) <i>Degree IV lens nucleus density, abs. (%)</i>	28 (100) *	15 (14)
ПХПС, абс. (%) / Degree I lens subluxation, abs. (%)	28 (100) *	29 (28)
Сочетание 4-х факторов, абс. (%) <i>Combination of 4 factors, abs. (%)</i>	28 (100) *	12 (12)
III стадия ПОУГ, абс. (%) / Stage III POAG, abs. (%)	28 (100) *	20 (19)
Глубина передней камеры, мм <i>Anterior chamber depth, mm</i>	3,33±0,14 *	3,20±0,13
Толщина хрусталика, мм / Lens thickness, mm	4,44±0,09 *	4,53±0,10
Пигментация угла передней камеры, баллы <i>Pigmentation of the anterior chamber angle, points</i>	2 (1,25;2)	2 (1;2)
Передне-задняя ось глаза, мм <i>Anterior-posterior axis of the eye, mm</i>	23,48±0,31	23,61±0,36
Гипотензивная терапия без АГО в анамнезе, абс. (%) <i>Antihypertensive therapy without a history of antiglaucoma surgery, abs. (%)</i>	17 (61) *	28 (27)
СЛТ в анамнезе, абс. (%) <i>History of selective laser trabeculoplasty, abs. (%)</i>	6 (21)	37 (36)
Хирургические АГО в анамнезе, абс. (%) <i>History of antiglaucoma surgery, abs. (%)</i>	5 (18)	39(38)

Примечание: *Значимые отличия с группой нормализованного ВГД после ФЭ (p<0,01).

Note: *Significant differences with the group of normalized IOP after PE (p<0.01).

Статистическую обработку данных проводили в программе IBM SPSS Statistics 20. Данные представлены в виде $M \pm \sigma$, где M — среднее значение, σ — стандартное отклонение; либо Me (Q25; Q75), где Me — медиана, Q25 и Q75 — 25% и 75% квантили. Нормальность распределений проверяли критерием Шапиро – Уилка. Качественные признаки сравнивали точным двусторонним критерием Фишера, количественные — t-критерием Стьюдента, U критерием Манна – Уитни. Прогнозирование

риска повышения ВГД производили методом логистической регрессии и ROC-анализа. Отличия считались значимыми при $p < 0,01$.

Результаты

Сравнительные данные исходных показателей обеих групп отражены в таблице 1.

При сравнительном анализе исходной частоты и степеней тяжести клинико-морфологических

изменений переднего отрезка глаз обеих групп оказалось, что более высокой она была в 1 группе. Так, во всех глазах 1 группы имело место сочетание ПЭС, ригидного зрачка, IV степени плотности ядра, ПХПС, что значимо отличалось от 2 группы ($p < 0,01$). Диаметр зрачка в условиях медикаментозного мидриаза оказался статистически значимо ниже в 1 группе, в сравнении со 2 группой — $3,30 \pm 0,58$ мм и $4,74 \pm 0,95$ мм соответственно ($p < 0,01$). Особо обращало на себя внимание то, что во всех 28 глазах 1 группы имела место далеко зашедшая стадия глаукомы (100%), в то время как во 2 группе она имела лишь в 19% глаз ($p < 0,01$).

Выявлены также статистически значимые отличия показателей глубины передней камеры и толщины хрусталика обеих групп ($3,33 \pm 0,14$ мм и $3,20 \pm 0,13$ мм, $4,44 \pm 0,09$ мм и $4,53 \pm 0,10$ мм соответственно, $p < 0,01$).

Было также отмечено, что у ранее неоперированных пациентов, в сравнении с оперированными, послеоперационный уровень ВГД повышался чаще. Так, в 1 группе 17 пациентов (61%) длительно применяли гипотензивные препараты и не имели лазерных и хирургических АГО в анамнезе. В то время как, во 2 группе таких пациентов было 28 (27%), отличия статистически значимы ($p < 0,01$).

В то время как у 21% и 36% пациентов 1-й и 2-й групп соответственно имели СЛТ в анамнезе, но отличия не были значимы ($p = 0,18$). 18% и 38% пациентов 1 и 2 групп соответственно имели хирургические АГО в анамнезе ($p = 0,07$).

На основании выявленных факторов был создан прогностический алгоритм выявления повышенного риска послеоперационного подъема ВГД после выполнения ФЭ.

Для его создания вся совокупность пациентов была случайным образом разделена на две группы (обучающую и экзаменационную) в соотношении 3:1. Обучающая группа (99 пациентов) использовалась для создания алгоритма прогнозирования, а экзаменационная (33 пациента) для верификации этого алгоритма и оценки его эффективности на независимых данных.

В качестве потенциальных предикторов были отобраны клинические признаки, имеющие статистически значимые отличия между группами, которые потенциально могли способствовать повышению степени интраоперационной травмы глаза при проведении ФЭ и были способны оказывать влияние на уровень ВГД после ФЭ.

Среди отобранных потенциальных предикторов оказались: 1) степень ПЭС (0, 1, 2, 3); 2) диаметр зрачка в условиях максимального мидриаза (мм); 3) степень плотности ядра хрусталика (1, 2, 3, 4); 4) наличие ПХПС (0 — нет, 1 — есть); 5) стадия ПОУГ (1, 2, 3); 6) глубина передней камеры (мм); 7) толщина хрусталика (мм); 8) гипотензивная терапия без АГО в анамнезе.

Среди отобранных предикторов 4 из них характеризовали клинические изменения переднего отрезка глаза, 2 — параметры переднего отрезка глаза, 1 — стадию глаукомы, 1 — способ нормализации ВГД.

Так как отобранные потенциальные предикторы носили как количественный, так и качественный характер, то для решения поставленной задачи прогнозирования был выбран метод бинарной логистической регрессии, позволяющий прогнозировать возникновение некоторого события (исход) по значениям множества предикторов с помощью зависимой переменной, принимающей лишь одно из двух значений — 0 (событие не случилось) или 1 (событие случилось).

На основе выбранных 8 предикторов, а также исхода (характера течения послеоперационного периода: 0 — неосложненное, 1 — повышение ВГД) для всех 99 пациентов обучающей группы была составлена обучающая матрица наблюдений. На ее основе в программе IBM SPSS Statistics 20, были определены коэффициенты логистической регрессии (табл. 2).

Использовали стандартный F-тест исключения ($F \geq 0,1$).

Проведенный анализ с условным исключением предикторов показал, что предикторы «Глубина передней камеры», «Толщина хрусталика» и «Гипотензивная терапия без АГО в анамнезе» были исключены из модели как не улучшающие прогнозирование.

Логистическая регрессия приобрела следующий вид:

$$Y = 7,369 \times X_1 + 2,956 \times X_2 + 0,263 \times X_3 + 3,121 \times X_4 + 7,205 \times X_5 - 48,53 \quad (1)$$

где X_i — значение i -го предиктора у конкретного пациента. Далее значение (1) подставляли в логистическую функцию

$$f(Y) = \frac{1}{1 + e^{-Y}} \quad (2)$$

Значение этой функции являлось основой для прогнозирования.

Точку отсечения принятия решений прогнозирования определяли с помощью ROC-анализа, при условии максимизации суммарной чувствительности и специфичности модели. На рис. 1 представлена ROC-кривая для обучающей группы пациентов.

Максимум суммарной чувствительности и специфичности достигался в точке отсечения, равной 0,45; при этом чувствительность составила 87%, а специфичность — 84%. Площадь под ROC-кривой составила 0,89, что характеризовалось как прогнозирование очень хорошего качества.

Итак, если для конкретного пациента значение $f(Y)$, рассчитанное по формулам (1) и (2) составляло менее 0,45, то прогнозировали неосложненное послеоперационное течение. При $f(Y) \geq 0,45$ прогнозировали повышение ВГД в послеоперационном периоде.

Таблица 2. Коэффициенты логистической регрессии
Table 2. Logistic regression coefficients

№	Показатель Indicator	Коэффициент b_i Coefficient b_i	Стандартная ошибка Standard error	p
1	Степень ПЭС (0, 1, 2, 3) PES degree (0, 1, 2, 3)	7,369	2,602	<0,01
2	Диаметр зрачка в условиях максимального мидриаза (мм) Pupil diameter in maximum mydriasis (mm)	2,956	1,422	0,01
3	Степень плотности ядра хрусталика (1, 2, 3, 4) Degree of lens nucleus density (1, 2, 3, 4)	0,263	0,191	0,02
4	Наличие ПХПС (0 — нет, 1 — есть) Presence of first degree of lens subluxation (0 — No, 1 — Yes)	3,121	1,565	0,01
5	Стадия ПОУГ (1, 2, 3) POAG degree (1, 2, 3)	7,205	2,284	<0,01
6	Глубина передней камеры (мм) Anterior chamber depth (mm)	Предиктор исключен Predictor excluded	—	—
7	Толщина хрусталика (мм) Lens thickness (mm)	Предиктор исключен Predictor excluded	—	—
8	Гипотензивная терапия без АГО в анамнезе Antihypertensive therapy without a history of antiglaucoma surgery	Предиктор исключен Predictor excluded	—	—
9	Константа b_0 / Constant b_0	-48,530	17,870	0,03

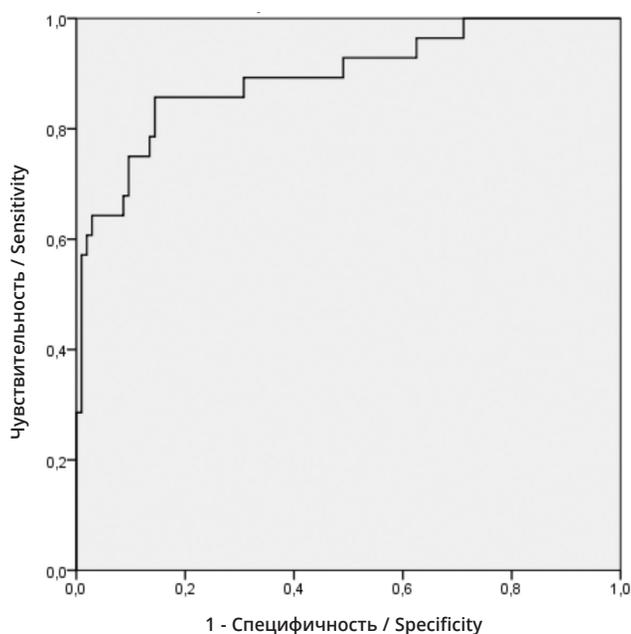


Рис. 1. ROC-кривая представленной логистической регрессии для обучающей группы пациентов
Fig. 1. ROC-curve of the presented logistic regression for the patients training group

На следующем этапе работы была проведена верификация эффективности и обоснованности полученного алгоритма прогнозирования характера течения послеоперационного периода ФЭ на экзаменационной группе, состоящей из 33 глаз пациентов, которые не использовались для создания алгоритма прогнозирования. Для каждого пациента прогнозировался исход послеоперационного течения, на основе полученного алгоритма — выявление риска повышения уровня ВГД до значений, превышающих нормальные для данной стадии ПОУГ.

Эти прогнозы затем сравнивались с фактическими данными, полученными в результате динамического послеоперационного наблюдения за пациентами в течение 18 месяцев. Результаты представлены в таблице 3.

Благоприятный прогноз (нет повышения уровня ВГД) был дан 20 пациентам, неблагоприятный (есть повышение уровня ВГД до интолерантных значений) — 13 пациентам.

Фактически, в ходе динамического наблюдения в течение 18 мес. было выявлено 22 благоприятных исхода, у 11 пациентов наблюдалось послеоперационное повышение уровня ВГД. У 4 пациентов

Таблица 3. Спрогнозированные и фактические наблюдаемые исходы послеоперационного течения в экзаменационной группе пациентов

Table 3. Predicted and actual observed outcomes of the postoperative course in the patients examination group

		Благоприятный прогноз Favorable prognosis		
		Да Yes	Нет No	Всего Total
Благоприятный фактический исход Actual favorable outcome	Да Yes	18	4	22
	Нет No	2	9	11
	Всего Total	20	13	33

с неблагоприятным прогнозом по факту ВГД не наблюдалось повышения ВГД, его уровень оставался в диапазоне 17–19 мм рт.ст. в течение всего периода наблюдения. Однако, у двух пациентов с благоприятным прогнозом в сроки 12–18 месяцев после операции возник подъем ВГД, уровень составил 24–29 мм рт.ст.

В экзаменационной выборке пациентов чувствительность прогноза составила 82% (18 из 22), специфичность прогноза также составила 82% (9 из 11), что хорошо соотносится с соответствующими значениями для обучающей группы.

Клиническое наблюдение

Пример 1. Пациенту А в возрасте 71 года с наличием незрелой катаракты и ПОУГ с нормализованным уровнем ВГД планировали проведение ФЭ с имплантацией ИОЛ. Предоперационно диагностированы: 3 степень ПЭС, мидриаз 4,5 мм, плотность ядра хрусталика II степени, отсутствие ПХПС и начальная стадия ПОУГ.

Подстановка соответствующих значений в (1) и (2) дала следующее значение логистической функции:

$$Y = 7,369 \times 3 + 2,956 \times 4,5 + 0,263 \times 2 + 3,121 \times 0 + 7,205 \times 1 - 48,53 = -5,39$$

$$f(-5,39) = \frac{1}{1 + e^{5,39}} = 0,005.$$

Т.к. 0,005 меньше 0,45, то прогнозировали неосложненное течение послеоперационного периода ФЭ.

Пример 2. Пациенту Б в возрасте 67 лет с наличием незрелой катаракты и ПОУГ с нормализованным уровнем ВГД планировали проведение ФЭ с имплантацией ИОЛ. Предоперационно диагностированы:

2 степень ПЭС, мидриаз 3,5 мм, плотность ядра хрусталика IV степени, наличие ПХПС и далеко зашедшая стадия ПОУГ.

Подстановка соответствующих значений в (1) и (2) дала следующее значение логистической функции:

$$Y = 7,369 \times 2 + 2,956 \times 3,5 + 0,263 \times 4 + 3,121 \times 1 + 7,205 \times 3 - 48,53 = 2,342$$

$$f(2,342) = \frac{1}{1 + e^{-2,342}} = 0,912.$$

Т.к. 0,912 больше 0,45, то прогнозировали повышение ВГД в послеоперационном периоде ФЭ и, следовательно, необходимо провести мероприятия, направленные на снижение интраоперационной травмы — выбор наименее травматичных способов хирургии, а также провести длительный и более тщательный мониторинг уровня ВГД для своевременного выявления его повышения.

Таким образом, разработанный алгоритм позволил выявлять пациентов, входящих в группу риска повышения ВГД в отдаленном периоде ФЭ. Это необходимо для осуществления особого подхода к данной категории пациентов — применения им хирургических методик, снижающих травматичность ФЭ и проведения более тщательного послеоперационного динамического мониторинга ВГД.

Обсуждение

Выполнение ФЭ у пациентов с ПОУГ имеет ряд особенностей. Они связаны не только с исходными клиничко-морфологическими изменениями переднего отрезка глаза, которые требуют применения дополнительных методик, увеличивают длительность операции, повышают ее травматичность. Также важное значение имеют колебания уровня

ВГД в послеоперационном периоде и, особенно, его стойкое повышение за пределы нормальных значений.

Среди факторов, способствующих повышению уровня ВГД после ФЭ выделяют такие как: наличие ПЭС, ригидность зрачка, плотность ядра хрусталика, далеко зашедшая стадия глаукомы, возраст, состояние сердечно-сосудистой системы, число применяемых гипотензивных препаратов, удлиненная передне-задняя ось глаза, большая глубина передней камеры, широко открытый угол передней камеры, лазерная трабекулопластика в анамнезе, мужской пол [27, 28]. При выявлении данных факторов всем пациентам авторы рекомендуют выполнять сочетанную операцию АГО+ФЭ, либо сначала АГО и через 4 недели ФЭ.

Необходимость выявления риска повышения ВГД после ФЭ для конкретного пациента способствовала разработке алгоритма прогнозирования, представленного в данной работе. Анализ потенциальных факторов риска с помощью логистической регрессии определил наиболее значимые из них, систематизация данных в математическую модель позволила с высокой точностью спрогнозировать риск повышения уровня ВГД для каждого пациента. Данный подход позволяет обеспечить индивидуальную стратегию по ведению пациента, выбор тактики хирургического лечения, оптимальную послеоперационную терапию и наблюдение.

Литература

1. Краснов М.М. О целевом внутриглазном давлении. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2003; 4(2):49-51.
2. Егоров Е.А., Куроедов А.В. Отдельные клинико-эпидемиологические характеристики глаукомы в странах СНГ и Грузии. Результаты многоцентрового открытого ретроспективного исследования (часть 1). *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2011; 3:97-100.
3. Еричев В.П., Козлова И.В., Акопян А.И. и др. Селективные симпатомиметики в моно- и комбинированной терапии глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2015; 14(1):44-51.
4. Harju M., Suominen S., Allinen P., Vesti E. Long-term results of deep sclerectomy in normal-tension glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96(2):154-160.
doi: 10.1111/aos.13529
5. Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А. и др. Сопоставление режимов лечения больных первичной открытоугольной глаукомой с характеристиками прогрессирования заболевания. Часть 1. Состояние показателей офтальмотонуса. *Национальный журнал глаукома*. 2018; 17(1):14-28.
doi: 10.25700/NJG.2018.01.02
6. Николашин С.И., Фабрикантов О.Л. Показания к расширению узкого ригидного зрачка при факоемульсификации катаракты на глаукомных глазах в зависимости от исходного состояния глаза. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2014; 19(4):1186-1192.
7. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю. и др. 15-летний опыт комбинированной хирургии катаракты и глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2017; 16(2):38-46.
8. Borkenstein A.F., Borkenstein E.M. Patient and surgeon satisfaction levels after using an acrylic, hydrophobic, monofocal IOL and the Mal-yugin ring in pseudoexfoliation syndrome patients [Электронный ресурс]. *J Ophthalmol*. 2018 May 15; 2018:3843098.
doi: 10.1155/2018/3843098.

Заключение

1. Выявлены факторы риска повышения уровня ВГД после проведения ФЭ пациентам с наличием ПОУГ при стойко нормализованном уровне ВГД. К ним относятся: сочетание ПЭС, ригидного зрачка, IV степени плотности ядра, подвывиха хрусталика, далеко зашедшей стадии глаукомы.

2. Разработанный прогностический алгоритм, основанный на использовании выявленных факторов риска, является обоснованным и эффективным, его чувствительность и специфичности высоки и составляют (82%).

3. При прогнозировании риска повышения уровня ВГД в послеоперационном периоде ФЭ пациентам с наличием сопутствующей ПОУГ необходимо применять наименее травматичные способы хирургии, а также осуществлять тщательный послеоперационный мониторинг уровня ВГД для своевременного выявления его повышения. Это позволит предотвратить распад зрительных функций вследствие прогрессирующей глаукомной оптической нейропатии.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Н.П., Е.С.

Сбор и обработка материала: Е.С., Я.П.

Статистическая обработка: Н.П., Я.П.

Написание статьи: Е.С., Я.П.

Редактирование: Н.П.

References

1. Krasnov M.M. About the target intraocular pressure. *RMJ Clinical Ophthalmology*. 2003; 4(2):49-51. (In Russ.)
2. Egorov E.A., Kuroedov A.V. Selected clinical and epidemiological characteristics of glaucoma in the CIS countries and Georgia. Results of a multicenter open retrospective study (part 1). *RMJ Clinical Ophthalmology*. 2011; 3:97-100. (In Russ.)
3. Erichev V.P., Kozlova I.V., Akopyan A.I. et al. Selective sympathomimetics in mono- and combination therapy of glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2015; 14(1):44-51. (In Russ.)
4. Harju M., Suominen S., Allinen P., Vesti E. Long-term results of deep sclerectomy in normal-tension glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96(2):154-160.
doi: 10.1111/aos.13529
5. Avdeev R.V., Alexandrov A.S., Bakunina N.A. et al. Comparison of treatment regimens for patients with primary open-angle glaucoma with the characteristics of disease progression. Part 1. State of indicators of ophthalmotonus. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2018; 17(1):14-28. (In Russ.)
doi: 10.25700/NJG.2018.01.02
6. Nikolashin S.I., Fabrikantov O.L. Indications for dilation of a narrow rigid pupil during cataract phacoemulsification in glaucomatous eyes, depending on the initial state of the eye. *Tambov University Reports. Series of Natural and Technical Sciences*. 2014; 19(4):1186-1192. (In Russ.)
7. Pershin K.B., Pashinova N.F., Tsygankov A.Yu. et al. 15 years of experience in combined cataract and glaucoma surgery. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2017; 16(2):38-46. (In Russ.)
8. Borkenstein A.F., Borkenstein E.M. Patient and surgeon satisfaction levels after using an acrylic, hydrophobic, monofocal IOL and the Mal-yugin ring in pseudoexfoliation syndrome patients [Электронный ресурс]. *J Ophthalmol*. 2018 May 15; 2018:3843098.
doi: 10.1155/2018/3843098.

9. Drolsum L.K., Ringvold A., Nicolaissen B. Cataract and glaucoma surgery in pseudoexfoliation syndrome: a review. *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 2007; 85(8):810-821.
doi: 10.1111/j.1600-0420.2007.00903.x
10. Leung V.C., Singh H., Ahmed I.I. Inter-eye differences in patients with pseudoexfoliation syndrome presenting with intraocular lens dislocation. *Ophthalmology*. 2015; 122(3):480-485.
doi: 10.1016/j.ophtha.2014.09.003
11. Shazly T.A., Farrag A.N., Kamel A., Al-Hussaini A. K. Prevalence of pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma in Upper Egypt. *BMC Ophthalmol*. 2011; 11:18.
doi: 10.1186/1471-2415-11-18
12. Jimenez-Roman J., Lazcano-Gomez G., Martinez-Baez K. Effect of phacoemulsification on intraocular pressure in patients with primary open angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma. *Int J Ophthalmol*. 2017; 10(9):1374-1378.
doi: 10.18240/ijo.2017.09.07
13. Калижникова Е.А., Лебедев О.И., Степанова Е.А., Трофимова Е.И. Изменение топографии переднего отрезка глаза и показателей увеосклерального оттока у больных первичной глаукомой при факэмульсификации катаракты. *Национальный журнал глаукома*. 2015; 14(4):21-28.
14. Chen P.P., Lin S.C., Junk A.K. et al. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in glaucoma patients: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2015; 122(7):1294-1307.
doi: 10.1016/j.ophtha.2015.03.021
15. Аветисов С.Э., Еричев В.П., Козлова И.В., Косова Д.В. Частота встречаемости и возможные причины офтальмогипертензии после факэмульсификации у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома*. 2017; 16(3):63-69.
16. Masis Solano M., Lin S.C. Cataract, phacoemulsification and intraocular pressure: Is the anterior segment anatomy the missing piece of the puzzle? *Prog Retin Eye Res*. 2018; 64:77-83.
doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.01.003
17. Perez C.I., Chansangpetch S., Feinstein M. et al. Novel gonioscopy score and predictive factors for intraocular pressure lowering after phacoemulsification. *J Glaucoma*. 2018; 27(7):622-626.
doi: 10.1097/IJG.0000000000000976
18. Гинойан А.А., Кобаев С.Ю., Кобаева В.Г. Лазерная экстракция катаракты на глазах с открытоугольной глаукомой. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013; 4:63-65.
19. Николашин С.И., Тахчиди Х.П., Мачехин В.А. Микрокоаксиальная факэмульсификация катаракты на глазах с компенсированной и оперированной глаукомой. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2008; 12:108-111.
20. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in medically controlled open-angle glaucoma patients. *Am J Ophthalmol*. 2014; 157(1):26-31.
doi: 10.1016/j.ajo.2013.08.023
21. Wilczynski M., Omulecki W. Applications of various iris retractors. *Klin Oczna*. 2012; 114(4):321-323.
22. Papaconstantinou D., Kalantzis G., Brouzas D. et al. Safety and efficacy of phacoemulsification and intraocular lens implantation through a small pupil using minimal iris manipulation. *Clin Interv Aging*. 2016; 11:651-657. doi: 10.2147/CIA.S97254
23. Hashemi H., Seyedian M.A., Mohammadpour M. Small pupil and cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2015; 26(1):3-9.
doi: 10.1097/ICU.0000000000000116
24. Боршук Е.Л., Чупров А.Д., Бегун Д.Н., Лосицкий А.О. Оценка исходных характеристик пациента и медицинской организации для прогнозирования операционных осложнений при хирургическом лечении катаракты. *Практическая медицина*. 2018; 3(114):38-42.
9. Drolsum L.K., Ringvold A., Nicolaissen B. Cataract and glaucoma surgery in pseudoexfoliation syndrome: a review. *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 2007; 85(8):810-821.
doi: 10.1111/j.1600-0420.2007.00903.x
10. Leung V.C., Singh H., Ahmed I.I. Inter-eye differences in patients with pseudoexfoliation syndrome presenting with intraocular lens dislocation. *Ophthalmology*. 2015; 122(3):480-485.
doi: 10.1016/j.ophtha.2014.09.003
11. Shazly T.A., Farrag A.N., Kamel A., Al-Hussaini A. K. Prevalence of pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma in Upper Egypt. *BMC Ophthalmol*. 2011; 11:18.
doi: 10.1186/1471-2415-11-18
12. Jimenez-Roman J., Lazcano-Gomez G., Martinez-Baez K. Effect of phacoemulsification on intraocular pressure in patients with primary open angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma. *Int J Ophthalmol*. 2017; 10(9):1374-1378.
doi: 10.18240/ijo.2017.09.07
13. Kalizhnikova E.A., Lebedev O.I., Stepanova E.A., Trofimova E.I. Changes in the topography of the anterior segment of the eye and indicators of uveoscleral outflow in patients with primary glaucoma with cataract phacoemulsification. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma*. 2015;14(4):21-28. (In Russ.)
14. Chen P.P., Lin S.C., Junk A.K. et al. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in glaucoma patients: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2015; 122(7):1294-1307.
doi: 10.1016/j.ophtha.2015.03.021
15. Avetisov S.E., Eriчев V.P., Kozlova I.V., Kosova D.V. Frequency of occurrence and possible causes of ophthalmic hypertension after phacoemulsification in patients with primary open-angle glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma*. 2017;16(3):63-69. (In Russ.)
16. Masis Solano M., Lin S.C. Cataract, phacoemulsification and intraocular pressure: Is the anterior segment anatomy the missing piece of the puzzle? *Prog Retin Eye Res*. 2018; 64:77-83.
doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.01.003
17. Perez C.I., Chansangpetch S., Feinstein M. et al. Novel gonioscopy score and predictive factors for intraocular pressure lowering after phacoemulsification. *J Glaucoma*. 2018; 27(7):622-626.
doi: 10.1097/IJG.0000000000000976
18. Ginoyan A.A., Kobaev S.Yu., Kobaeva V.G. Laser cataract extraction on eyes with open-angle glaucoma. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2013;4:63-65. (In Russ.)
19. Nikolashin S.I., Takhchidi H.P., Machekhin V.A. Microcoaxial phacoemulsification of cataracts in the eyes with compensated and operated glaucoma. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2008;12:108-111. (In Russ.)
20. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in medically controlled open-angle glaucoma patients. *Am J Ophthalmol*. 2014; 157(1):26-31.
doi: 10.1016/j.ajo.2013.08.023
21. Wilczynski M., Omulecki W. Applications of various iris retractors. *Klin Oczna*. 2012; 114(4):321-323.
22. Papaconstantinou D., Kalantzis G., Brouzas D. et al. Safety and efficacy of phacoemulsification and intraocular lens implantation through a small pupil using minimal iris manipulation. *Clin Interv Aging*. 2016; 11:651-657. doi: 10.2147/CIA.S97254
23. Hashemi H., Seyedian M.A., Mohammadpour M. Small pupil and cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2015; 26(1):3-9.
doi: 10.1097/ICU.0000000000000116
24. Borshuk E.L., Chuprov A.D., Begun D.N., Lositsky A.O. Assessment of the baseline characteristics of the patient and the medical organization for predicting operational complications in the surgical treatment of cataracts. *Practical medicine*. 2018; 3(114):38-42. (In Russ.)

25. Жаркин И.Н., Секачева М.С. Анализ причин перехода на интракапсулярную экстракцию при плановой хирургии возрастных и осложненных катаракт. *Вестник Башкирского государственного медицинского университета*. 2017; 3:53-56.
26. Поступаев А.В., Поступаева Н.В., Сорокин Е.Л., Егоров В.В. Хирургические особенности выполнения факэмульсификации возрастной катаракты при фоновой первичной открытоугольной глаукоме. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2016; 21(4):1654-1657. doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-4-1654-1657
27. Поступаева Н.В., Поступаев А.В., Сорокин Е.Л., Егоров В.В. Способ выполнения капсулорексиса при ригидном зрачке при проведении факэмульсификации у пациентов с глаукомой. Патент РФ на изобретение № 2535779 от 20.12.2014. Бюллетень. № 35.
28. Сорокин Е.Л., Поступаева Н.В. Клиническо-биохимические закономерности глаз при сочетании первичной открытоугольной глаукомы с нормализованным ВГД и возрастной катаракты. *Практическая медицина*. 2016; 6(98):163-167.
29. Лебедев О.И., Белоусова Е.И., Ковалевский В.В., Выходцева О.Г., Яворский А.Е., Молчанова Е.В., Суров А.В., Столяров Г.М., Степанова Е.А. Способ определения показаний для хирургического лечения катаракты и открытоугольной глаукомы. Патент РФ на изобретение № 2413482 от 10.03.2011. Бюллетень № 7.
30. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. Risk factors for acute postoperative intraocular pressure elevation after phacoemulsification in glaucoma patients. *J Cataract Refract Surg*. 2014; 40(4):538-544. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.048
25. Zharkin I.N., Sekacheva M.S. Analysis of the reasons for the transition to intracapsular extraction during planned surgery of age-related and complicated cataracts. *Vestnik Bashkir State Medical University*. 2017; 3:53-56 (In Russ.)
26. Postupaev A.V., Postupaeva N.V., Sorokin E.L., Egorov V.V. Surgical features of phacoemulsification of age-related cataract in background primary open-angle glaucoma. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2016; 21(4):1654-1657. (In Russ.) doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-4-1654-1657
27. Postupaeva N.V., Postupaev A.V., Sorokin E.L., Egorov V.V. Method of capsulorhexis for rigid pupil during phacoemulsification in patients with glaucoma. RF patent No 2535779, 20.12.2014. Bulletin No 35. (In Russ.)
28. Sorokin E.L., Postupaeva N.V. Clinical and biochemical regularities of the eyes in combination with primary open-angle glaucoma with normalized IOP and age-related cataracts. *Practical medicine*. 2016; 6(98):163-167. (In Russ.)
29. Lebedev O.I., Belousova E.I., Kovalevsky V.V., Vykhodtseva O.G., Yavorsky A.E., Molchanova E.V., Surov A.V., Stolyarov G.M., Stepanova E.A. Method for determining indications for surgical treatment of cataracts and open-angle glaucoma. RF patent No 2413482, 10.03.2011. Bulletin No 7. (In Russ.)
30. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. Risk factors for acute postoperative intraocular pressure elevation after phacoemulsification in glaucoma patients. *J Cataract Refract Surg*. 2014; 40(4):538-544. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.048



Уважаемые читатели!
Вы можете оформить подписку на журнал
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАУКОМА»
по каталогу АО «Почта России»
подписной индекс **ПП605**
и через агентство «Урал-Пресс»
подписной индекс **37353**
в любом отделении связи.