

УДК 617.741
EDN: QCZFQM
<https://doi.org/10.15275/ssmj2002135>

Оригинальная статья

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ НА «КОРОТКИХ» ГЛАЗАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А. Р. Виноградов¹, С. В. Балалин^{1, 2}, Е. Г. Солодкова^{1, 2}

¹Волгоградский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Фёдорова» Минздрава России, Волгоград, Россия

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», Волгоград, Россия

CHOOSING THE FORMULA FOR CALCULATING OPTICAL POWER OF INTRAOCULAR LENS ON "SHORT" EYES USING THE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A. R. Vinogradov¹, S. V. Balalin^{1, 2}, E. G. Solodkova^{1, 2}

¹The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Volgograd Branch, Volgograd, Russia

²Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Для цитирования: Виноградов А. Р., Балалин С. В., Солодкова Е. Г. К вопросу о выборе формулы для расчета оптической силы интраокулярной линзы на «коротких» глазах с использованием возможностей искусственного интеллекта. Саратовский научно-медицинский журнал. 2024; 20 (2): 135–139. EDN: QCZFQM. <https://doi.org/10.15275/ssmj2002135>

Аннотация. Цель: провести сравнительный анализ точности подбора интраокулярных линз (ИОЛ) у пациентов с длиной глаза менее 22,0 мм по формулам Barrett Universal II, Kane, Hoffer Q и при применении искусственного интеллекта (ИИ). Материал и методы. Проанализированы результаты 88 операций фактоэмульсификации катаракты с имплантацией монофокальных ИОЛ. Предоперационная биометрия и расчеты ИОЛ выполнены на IOL Master 700 (Zeiss, Германия). Точность подбора ИОЛ определяли также по программе LensCalc, работающей на основе ИИ, представляющего собой четыре модели нейросетей типа DecisionTreeClassifier (классификатор — Дерево принятия решений). Результаты. Аксиальная длина глаз у пациентов была от 19,8 до 22,0 мм. Прогноз попадания в целевую рефракцию был наиболее точным при использовании формул Barrett Universal II в отличие от Hoffer Q ($Z=2,12$; $p=0,034$). Средняя величина ошибки попадания в целевую рефракцию при применении формулы Barrett Universal II не отличалась от формулы Kane ($p>0,05$). Посредством ИИ определено, что более высокая точность в результатах определения оптической силы ИОЛ достигалась при применении формулы Barrett Universal II. Заключение. На основании сравнительного анализа результатов исследования и оценки точности подбора ИОЛ с помощью ИИ установлено, что формула Barrett Universal II (4-е поколение) более точна в определении оптической силы ИОЛ на «коротких» глазах, чем формула Hoffer Q (3-е поколение). Полученные результаты при использовании формулы Barrett Universal II по сравнению с формулой Hoffer Q не отличаются от данных, рассчитанных по формуле Kane (5-е поколение), которая является наиболее точной формулой подбора ИОЛ в настоящее время.

Ключевые слова: расчет оптической силы интраокулярной линзы, короткие глаза, искусственный интеллект

For citation: Vinogradov AR, Balalin SV, Solodkova EG. Choosing the formula for calculating optical power of intraocular lens on "short" eyes using the potential of artificial intelligence. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2024; 20 (2): 135–139. EDN: QCZFQM. <https://doi.org/10.15275/ssmj2002135> (In Russ.)

Abstract. Objective: to carry out a comparative analysis of IOL fitting accuracy in patients with eye length less than 22.0 mm using Barrett Universal II, Kane, Hoffer Q and artificial intelligence formulas. Material and methods. The results of 88 phacoemulsification cataract operations with implantation of monofocal IOLs were analyzed. Preoperative biometry and IOL calculations were performed on the IOL Master 700. The accuracy of IOL fitting was also determined using the LensCalc program, which is based on artificial intelligence (DecisionTreeClassifier). Results. The eye length of the patients ranged from 19.8 to 22 mm. The prediction of the target refraction hit was the most accurate when using Barrett Universal II formulas as opposed to Hoffer Q ($Z=2.12$; $p=0.034$). The mean value of the target refraction hit error was not different when using the Barrett Universal II formula compared to the Kane formula ($p>0.05$). Using artificial intelligence it was found that higher accuracy in the results of IOL optical power determination was achieved when using the Barrett Universal II formula. Conclusion. Based on a comparative analysis of the study results and assessment of IOL fitting accuracy using artificial intelligence, it was found that the Barrett Universal II formula (4th generation) is more accurate in determining the optical power of IOLs in "short" eyes than the Hoffer Q formula (3rd generation). The results obtained using the Barrett Universal II formula, in contrast to the Hoffer Q formula, do not differ from the data calculated using the Kane formula (5th generation), which, according to the results of most studies, is the most accurate IOL selection formula at present ($p>0.05$).

Keywords: IOL calculation, short eyes, artificial intelligence

Введение. На современном этапе развития технологий диагностики и хирургии катаракты точность попадания в целевую рефракцию $\pm 0,5$ дптр выросла, по некоторым данным, до 71% [1], но сохраняются сложности в расчете оптической силы интраокулярных линз (ИОЛ) для глаз с нестандартной анатомией [2–5]. В частности, это касается «коротких» глаз — глазные яблоки с аксиальной длиной менее 22,0 мм [3, 6, 7]. В связи с близким расположением внутриглазных анатомических структур у таких пациентов даже небольшое отклонение в прогнозировании эффективного положения линзы (ELP — effective lens position) и расчете оптической силы ИОЛ может привести к более значимой рефракционной погрешности, чем на глазах с эмметропией и миопией [2].

Согласно данным литературы, лучше всего при расчете ИОЛ для глаз с длиной менее 22,0 мм зарекомендовали себя формулы Hoffer Q (3-е поколение), Barrett Universal II (4-е поколение) и Kane (5-поколение) по сравнению с SRK/T (3-е поколение) и Haigis, Holladay II, Olsen (4-е поколение) [6, 7].

В 2017 г. появилась формула Kane, которая вывела методику использования нейросетей в расчетах ИОЛ на новый уровень. Формула относится к категории теоретических, но в своем алгоритме использует искусственный интеллект (ИИ), обученный на 30 тыс. клинических случаев [8].

Применение глубокого машинного обучения стало все чаще использоваться в медицине, и в частности, в офтальмологии (диагностика кератоконуса, глаукомы, диабетической нейропатии и т.д.) [9–12]. Особое место в прогнозировании оптической силы ИОЛ занимает также ИИ [13]. Применение ИИ в расчете оптической силы ИОЛ берет свое начало в 1997 г., когда P. Gerald и соавт. пришли к выводу о том, что использование нейросетей при сравнении с формулой Holladay позволяет уменьшить среднюю ошибку прогнозируемой рефракции [14].

Цель — провести сравнительный анализ точности подбора ИОЛ у пациентов с длиной глаза менее 22,0 мм по формулам Barrett Universal II, Kane, Hoffer Q и при применении ИИ.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ результатов 88 операций факосмульсификации катаракты с имплантацией монофокальных ИОЛ SN60WF (Alcon), SA60AT (Alcon) и RAO100C (Rayner), выполненных в Волгоградском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Фёдорова» Минздрава России.

Всем пациентам до операции проводили стандартное офтальмологическое обследование, включавшее оптическую биометрию, визо-, керато-, авторефрактокерато-, тонометрию, биомикроскопию, ультразвуковое В-сканирование. Предоперационная биометрия и расчеты ИОЛ выполнены на диагностической системе IOL Master 700 (Carl Zeiss, Германия). Рефракция цели — эмметропия. Для расчета ИОЛ были применены формулы: Barrett Universal II, Kane и Hoffer Q.

Точность расчета ИОЛ оценивалась также с помощью программного обеспечения LensCalc, которое на основе ИИ определяет необходимую формулу и значение ИОЛ с учетом индивидуальных особенностей пациента. Программное обеспечение разработано в клинике Волгоградского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Фёдорова» Минздрава России. В настоящее время в базе данных LensCalc содержится

1080 клинических случаев (1080 глаз) подбора ИОЛ с попаданием в целевую рефракцию (с точностью $\pm 0,5$ дптр). Процесс наполнения базы полностью автоматизирован. Для реализации работы ИИ созданы четыре модели типа DecisionTreeClassifier (классификатор — Дерево принятия решений).

Работа с моделями ИИ состояла из следующих этапов:

- 1) сбора данных в одну реляционную базу данных;
- 2) получения и обработки данных, преобразования их в пригодный для дальнейшего использования вид;
- 3) разделения данных на тренировочную и тестовую части, выбор признаков;
- 4) построения моделей машинного обучения, предсказания на тестовой части;
- 5) оценки результатов обучения.

Оценку результата попадания в целевую рефракцию по ретроспективным данным проводили по следующим критериям: по сферозэквиваленту (SE), измеренному на авторефрактометре, а также по некорригированной и максимально корригированной остроте зрения (НКОЗ и МКОЗ соответственно). Критерием точности предсказания ИОЛ являлся диапазон значений SE в послеоперационный период $\pm 0,5$ дптр.

Все операции факосмульсификации катаракты проведены по стандартной технологии, тоннельным разрезом 2,2 мм с помощью систем Infiniti Vision System или Centurion Vision System (Alcon, США).

Ни в одном случае интра- и послеоперационных осложнений не было. В послеоперационный период все пациенты получали стандартную терапию. Оценка результата имплантации проводилась не ранее чем через 1 мес после операции по данным авторефрактометрии и субъективной рефракции.

Сроки наблюдения: через 1 сут и через 1 мес после операции.

Статистическая обработка полученных данных выполнена при помощи пакета программ Statistica for Windows 10,0. Тип распределения оценивался по критерию Шапиро — Уилка. В ходе исследования при нормальном распределении рассчитывали основные статистические показатели: средние арифметические величины (M), стандартное отклонение (σ) и стандартные ошибки средних арифметических (m). При отсутствии нормального распределения, кроме среднего значения (M), среднеквадратичного отклонения (σ), определяли медиану (Me), нижний и верхний квартили [Q_1 ; Q_3], минимальное и максимальное значения ($X_{\min}$ — $X_{\max}$), а для сравнения независимых выборок — U -критерий Манна — Уитни. Значимыми признавались различия, при которых уровень значимости (p) составлял более 95,0% ($p \leq 0,05$).

Результаты. Длина передне-заднего размера глаз у пациентов была от 19,8 до 22,0 мм.

Клинико-функциональные результаты и результаты попадания в целевую рефракцию представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что прогноз попадания в целевую рефракцию был наиболее точным при использовании формул Barrett Universal II. При этом отмечалось достоверное различие между результатами, которые были получены при применении формул Barrett Universal II и Hoffer Q ($Z=2,12$; $p=0,034$), а также между Hoffer Q и Kane ($Z=2,5$; $p=0,010$). Различия между результатами при применении формул Kane (формула 5-го поколения) и Barrett Universal II статистически незначимо ($Z=0,86$; $p=0,412$).

В табл. 2 проиллюстрированы ошибки попадания в прогнозируемую рефракцию по каждой формуле, оцененные двумя способами — по результатам

Таблица 1

Клинико-функциональные результаты после операции с прогнозом попадания в целевую рефракцию у пациентов, 88 глаз, $M \pm \sigma$ (min, max); $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	$M \pm \sigma$ (min, max); $Me [Q_1; Q_3]$
НКОЗ	0,76 $\pm$ 0,17 (0,3; 1,0)
МКОЗ	0,84 $\pm$ 0,11 (0,7; 1,0)
Ожидаемый SE (Barrett Universal II), дптр (1)	-0,027 $\pm$ 0,19 (-0,56; 0,5) -0,020 [-0,17; 0,08]
Ожидаемый SE (Hoffer Q), дптр (2)	0,036 $\pm$ 0,22 (-0,53; 0,46) 0,055 [-0,1; 0,195]
Ожидаемый SE (Kane), дптр (3)	-0,08 $\pm$ 0,32 (-1,33; 0,73) -0,065 [-0,2; 0,095]
Z; p	$Z_{1,2}=2,12$; $p_{1,2}=0,034$ $Z_{1,3}=0,86$; $p_{1,3}=0,460$ $Z_{2,3}=2,5$; $p_{2,3}=0,010$

Таблица 2

Средняя величина ошибки попадания в целевую рефракцию у пациентов, 88 глаз, $M \pm \sigma$ (min, max); $Me [Q_1; Q_3]$

Ошибка по SE, дптр	Barrett Universal II (1)	Hoffer Q (2)	Kane (3)	p
Данные авторефрактометрии	0,033 $\pm$ 0,26 (-0,57; 1,2) 0,01 [-0,105; 0,175]	-0,030 $\pm$ 0,27 (-0,7; 0,86) -0,055 [-0,22; 0,11]	0,086 $\pm$ 0,37 (-0,73; 1,3) 0,04 [-0,15; 0,23]	$p_{1,2}=0,110$ $p_{1,3}=0,460$ $p_{2,3}=0,040$
Данные субъективной рефракции	-0,066 $\pm$ 0,47 (-1,56; 1,67) -0,065 [-0,27; 0,16]	-0,130 $\pm$ 0,44 (-1,63; 1,42) -0,115 [-0,31; 0,05]	-0,0134 $\pm$ 0,49 (-1,43; 1,97) 0,03 [-0,265; 0,19]	$p_{1,2}=0,250$ $p_{1,3}=0,350$ $p_{2,3}=0,040$

авторефрактометра и определения субъективной рефракции.

Применение формул Barrett Universal II и Hoffer Q показало их равнозначность при оценке ошибки SE как по данным авторефрактометрии, так и по величине субъективной рефракции. Различие было статистически недостоверным ($p > 0,05$).

Однако отмечалось достоверное различие между полученными результатами при использовании формулы Hoffer Q и Kane ($p < 0,05$).

Следует также подчеркнуть, что различие между результатами при применении формул Barrett

Universal II и Kane было недостоверным ($p > 0,05$), что указывает в пользу выбора формулы Barrett Universal II.

Выборка пациентов, состоящая из 88 клинических случаев, была обработана также с помощью моделей ИИ. В данном анализе не учтены расчеты по формуле Kane, поскольку она уже основана на работе ИИ, что могло привести к недостоверности результата. На основании полученных данных созданы отчеты результативности моделей по основным метрикам точности: Macro AVG, F1, Accuracy (рисунок).

Точность модели: 0.9642857142857143

report по классификации:

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	0.88	0.93	8
1	0.95	1.00	0.98	20
accuracy			0.96	28
macro avg	0.98	0.94	0.95	28
weighted avg	0.97	0.96	0.96	28

Barrett

Точность модели: 1.0

report по классификации:

	precision	recall	f1-score	support
0	0.80	0.80	0.80	6
1	0.60	0.64	0.62	14
accuracy			0.45	20
macro avg	0.30	0.32	0.31	20
weighted avg	0.42	0.45	0.43	20

Holladay 2

Точность модели: 1.0

precision recall f1-score support

0	1.00	1.00	1.00	5
1	1.00	1.00	1.00	15
accuracy			1.00	20
macro avg	1.00	1.00	1.00	20
weighted avg	1.00	1.00	1.00	20

Haigis

Точность модели: 0.95

report по классификации:

	precision	recall	f1-score	support
0	0.20	0.20	0.20	5
1	0.73	0.73	0.73	15
accuracy			0.60	20
macro avg	0.47	0.47	0.47	20
weighted avg	0.60	0.60	0.60	20

HofferQ

Отчеты результативности моделей по основным метрикам точности (Macro AVG, F1, Accuracy)

Точность формул Barrett Universal II и Hoffer Q для расчета оптической силы интраокулярной линзы на «коротких» глазах при применении искусственного интеллекта, 88 глаз

Модель ИИ	Точность модели, %	Macro AVG	F1	Accuracy	Количество глаз
Barrett Universal II	96	0,98	0,98	0,96	28
Hoffer Q	95	0,47	0,73	0,6	20

В табл. 3 представлены значения точности моделей ИИ с учетом выбора формул.

Из табл. 3 видно, что более высокая точность в результатах определения оптической силы ИОЛ достигалась при применении формулы Barrett Universal II.

Обсуждение. В России существуют работы, основанные на построении искусственных нейронных моделей без использования теоретических формул [15]. В таких моделях искусственных нейронных сетей в сравнении с известными формулами SRK II, SRK/T, Hoffer Q, Holladay II, Haigis, Barrett имеется возможность учета значительного числа регистрируемых входных величин, что позволило снизить среднюю относительную погрешность расчетов оптической силы ИОЛ с 10–12 до 3,5%.

Однако существуют исследования, доказывающие высокую эффективность комбинации современных теоретических формул, при этом каждая из них обладает различными преимуществами в зависимости от биометрических особенностей глаза [6, 7, 9]. Например, при аксиальной длине глаза менее 22 мм авторы считают, что более предпочтительна формула Hoffer Q, при нестандартной глубине передней камеры — Haigis, а в большинстве случаев преимуществом обладает формула Barrett Universal II, но с некоторыми эмпирическими поправками [16]. За рубежом разработана подобная система — LADAS Super Formula [17], но авторы данного проекта производят комбинацию пяти формул (Hoffer Q, Holladay I, Holladay I с поправкой Ван-Кокса, Haigis, SRK/T). По данным некоторых исследований, LADAS демонстрирует аналогичный уровень точности при расчете оптической силы ИОЛ и небольшую склонность к гиперметропическим послеоперационным аномалиям рефракции по сравнению с широко используемыми теоретическими формулами [18].

На основании результатов данного исследования установлено, что прогноз попадания в целевую рефракцию был наиболее точным при использовании формул Barrett Universal II в отличие от формулы Hoffer Q ($Z=2,12$; $p=0,034$).

Учитывая, что формула Кане относится к формулам 5-го поколения, которая работает на основе ИИ, можно также считать, что формула Barrett Universal II имеет преимущество перед формулой Hoffer Q при анализе ошибки SE по данным авторефрактометрии и субъективной рефракции. Полученные результаты при использовании формулы Barrett Universal II по сравнению с формулой Hoffer Q не отличаются от данных, рассчитанных по формуле Кане ($p>0,05$).

Исходя из данных работы нейросети, можно сделать вывод о том, что формула Barrett Universal II (4-е поколение) более точна в определении оптической силы ИОЛ на «коротких» глазах, чем формула Hoffer Q (3-е поколение), что также соответствует литературным данным [6, 7].

Заключение. На основании сравнительного анализа результатов исследования и оценки точности подбора ИОЛ с помощью ИИ установлено,

что формула Barrett Universal II (4-е поколение) более точна в определении оптической силы ИОЛ на «коротких» глазах, чем формула Hoffer Q (3-е поколение). Полученные результаты при использовании формулы Barrett Universal II по сравнению с формулой Hoffer Q не отличаются от данных, рассчитанных по формуле Кане (5-е поколение), которая в настоящее время является, по результатам большинства исследований, наиболее точной формулой подбора ИОЛ ($p>0,05$). Данный факт позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на сложности подбора оптической силы ИОЛ на «коротких» глазах, рассмотренные нами формулы 4-го и 5-го поколений показывают сопоставимые результаты и могут быть использованы для расчета ИОЛ на глазах с аксиальной длиной менее 22 мм.

Вклад авторов в работу: А.Р. Виноградов: сбор, анализ, обработка материала, написание текста; С.В. Балалин, Е.Г. Солодкова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование статьи.

Конфликт интересов отсутствует.

References (Список источников)

- Cheng H, Kane JX, Liu L, et al. Refractive predictability using the IOLMaster 700 and artificial intelligence — based IOL power formulas compared to standard formulas. J Refract Surg. 2020; 36 (7): 466–72. DOI: 10.3928/1081597X-20200514-02
- Su PF, Lo AY, Hu CY, Chang SW. Anterior chamber depth measurement in phakic and pseudophakic eyes. Optom Vis Sci. 2008; 85 (12): 1193–2000. DOI: 10.1097/OPX.0b013e31818e8ceb
- IOL calculation in patients with IOL calculation in patients with hypermetropia. New in ophthalmology. 2014; 3: 64–5. (In Russ.) Расчет ИОЛ у пациентов с гиперметропией. Новое в офтальмологии. 2014; 3: 64–5.
- Egorova EV, Malyugin BE, Morozova TA, Polyanskaya EG. Anatomic topographic features of anterior segment of pseudophakic eyes after cataract phacoemulsification with intraocular lens implantation by means of ultrasound biomicroscopy. Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya. 2010; 4: 12–6. (In Russ.) Егорова Э.В., Малиugin Б.Э., Морозова Т.А., Полянская Е.Г. Анатомо-топографические особенности переднего сегмента артифакичного глаза по результатам исследования методом ультразвуковой биомикроскопии. Катарактальная и рефракционная хирургия. 2010; 4: 12–6.
- Pershin KB, Pashinova NF, Tsygankov AYU, Legkikh SL. IOL optic power calculation in patients with eye axial length 24–28 mm without preceding refractive surgery. Ophthalmology in Russia. 2016; 13 (2): 89–96. (In Russ.) Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю., Легких С.Л. Особенности расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 24–28 мм без предшествующих рефракционных вмешательств. Офтальмология. 2016; 13 (2): 89–96. DOI: 10.18008/1816-5095-2016-2-89-96
- Pershin KB, Pashinova NF, Lih IA, Tsygankov AYU. Comparative analysis of the calculation accuracy of intraocular lenses using seven formulas in eyes with an axial length of less than 20.00 mm. Sovremennye tehnologii v oftal'mologii. 2021; 1 (36): 57–61. (In Russ.) Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Лих И.А., Цыганков А.Ю. Сравнительный анализ точности расчета интраокулярных линз с использованием семи формул на глазах с аксиальной длиной менее 20,00 мм. Современные технологии в офтальмологии. 2021; 1 (36): 57–61. DOI: 10.25276/2312-4911-2021-1-57-61

7. Pershin KB, Pashinova NF, Lih IA, Tsygankov AYU. Analysis of the accuracy of six formulas for calculating the optical power of intraocular lenses in eyes with an axial length of 20–22 mm. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2020; 16 (2): 638–42. (In Russ.) Першин К. Б., Пашинова Н. Ф., Лих И. А., Цыганков А. Ю. Анализ точности шести формул для расчета оптической силы интраокулярных линз на глазах с аксиальной длиной 20–22 мм. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2020; 16 (2): 638–42.
8. Kane Formula. URL: <https://www.iolformula.com/about/> (15 Feb 2024).
9. Maljugin BJe, Sahnov SN, Aksenova LE. Application of machine learning methods in developing an algorithm for diagnosing keratoconus. *Vestnik of St. Petersburg state university of technology and design. Series 1. Natural and technical sciences*. 2022; (1): 79–86. (In Russ.) Малюгин Б. Э., Сахнов С. Н., Аксенова Л. Е. Применение методов машинного обучения при разработке алгоритма диагностики кератоконуса. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1: Естественные и технические науки*. 2022; (1): 79–86. DOI: 10.46418/2079-8199_2022_1_12
10. Maljugin BJe, Sahnov SN, Mjasnikova VV, Aksenova LE. Application of artificial intelligence in the diagnosis and surgery of keratoconus: a systematic review. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022; (1): 77–96. (In Russ.) Малюгин Б. Э., Сахнов С. Н., Мясникова В. В., Аксенова Л. Е. Применение искусственного интеллекта в диагностике и хирургии кератоконуса: систематический обзор. *Офтальмохирургия*. 2022; (1): 77–96. DOI: 10.25276/0235-4160-2022-1-77-96
11. Kuroyedov AV, Ostapenko GA, Mitroshina KV, Movsisyan AB. State of the art of glaucoma diagnosis: Neural networks and artificial intelligence. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2019; 19 (4): 230–7. (In Russ.) Куроедов А. В., Остапенко Г. А., Митрошина К. В., Мовсисян А. Б. Современная диагностика глаукомы: нейросети и искусственный интеллект. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2019; 19 (4): 230–7. DOI: 10.32364/2311-7729-2019-19-4-230-237
12. Dobrov ER. The use of neural networks in the diagnosis of diabetic retinopathy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society*. 2022; (2): 90–105. (In Russ.) Добров Э. Р. Применение нейросетей в диагностике диабетической ретинопатии. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2022; (2): 90–105. DOI: 10.21685/2227-8486-2022-2-7
13. Xia T, Martinez CE, Tsai LM. Update on intraocular lens formulas and calculations. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9 (3): 186–93. DOI: 10.1097/APO.0000000000000293
14. Clarke GP, Burmeister J. Comparison of intraocular lens computations using a neural network versus the Holladay formula. *J Cataract Refract Surg*. 1997; 23 (10): 1585–9. DOI: 10.1016/s0886-3350(97)80034-x
15. Arzamastsev A.A., Fabrikantov O.L., Zenkova N.A., Belikov S.V. Calculation of intraocular lenses (IOL) in ophthalmology using artificial intelligence models. In: *Actual problems of applied mathematics, computer science and mechanics: Proceedings of the International Scientific Conference*. Voronezh, December 13–15, 2021. Voronezh: Welborn, 2022; p. 291–6. (In Russ.) Арзамасцев А. А., Фабрикантов О. Л., Зенкова Н. А., Беликов С. В. Расчет интраокулярных линз (ИОЛ) в офтальмологии с использованием моделей искусственного интеллекта. В кн.: *Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч. конференции*. Воронеж, 13–15 дек. 2021 г. Воронеж: Вэлборн, 2022; с. 291–6. EDN: NBVLKB
16. Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology*. 2018; 125 (2): 169–78. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.08.027
17. Siddiqui AA, Juthani V, Kang J, Chuck RS. The future of intraocular lens calculations: Ladas Super Formula. *Ann Eye Sci*. 2019; (4): 19. DOI: 10.21037/aes.2019.04.02
18. Davidorf JM. Accuracy of Ladas Super Formula. URL: <https://ascrs.org/clinical-education/abstracts/2018/accuracy-of-ladas-super-formula> (15 Feb 2024).

Статья поступила в редакцию 14.03.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 25.05.2024.
The article was submitted 14.03.2024; approved after reviewing 01.04.2024; accepted for publication 25.05.2024.

Информация об авторах:

Артём Рудольфович Виноградов — врач-офтальмолог, art_vino@mail.ru, ORCID 0000-0002-7009-4343; **Сергей Вукторович Балалин** — заведующий научным отделом; профессор кафедры офтальмологии Института непрерывного медицинского и фармацевтического образования, доктор медицинских наук, s.v.balalin@gmail.com, ORCID 0000-0002-5250-3692; **Елена Геннадиевна Солодкова** — заместитель директора по научной работе; доцент кафедры офтальмологии Института непрерывного медицинского и фармацевтического образования, кандидат медицинских наук, solo23el@mail.ru, ORCID 0000-0002-7786-5665.

Information about the authors:

Artem R. Vinogradov — Ophthalmologist, art_vino@mail.ru, ORCID 0000-0002-7009-4343; **Sergei V. Balalin** — Head of the Scientific Division; Professor of the Department of Ophthalmology at the Institute of Continuing Medical and Pharmaceutical Education, DSc, s.v.balalin@gmail.com, ORCID 0000-0002-5250-3692; **Elena G. Solodkova** — Deputy Director for Scientific Work, Associate Professor of the Department of Ophthalmology at the Institute of Continuing Medical and Pharmaceutical Education, PhD, solo23el@mail.ru, ORCID 0000-0002-7786-5665.