

17. *Morgan S.P.* General Solution of the Luneberg Lens Problem, *J. Appl. Phys.*, 1958, Vol. 29, No. 9, pp. 1358.
18. *Panchenko B.A., Denisov D.V., Mucin A.M., Skumotenko I.O.* Tenzornye funktsii Grina dlya rascheta elektromagnitnykh poley ot sloistykh sfericheskikh struktur [Green tensor functions for calculating electromagnetic fields from layered spherical structures], *Vestnik SibGUTI* [Bulletin of SibGUTI], 2016, No. 2, pp. 18-24.
19. *Aslambekov V.V., Gorin A.M., Grin'ko E.A.* Mnogoluchevaya linzovaya antenna s ploskoy zashchitnoy diafragmoy [Multipath lens antenna with a flat protective diaphragm], *Voprosy spetsial'noy radioelektroniki. Seriya OVR* [Questions of special radio electronics. OVR Series], 2015, Issue No. 1, pp. 64-69.
20. *Akhiyarov V.V., Kaloshin V.A., Nikitin E.A.* Issledovanie shirokopolosnykh planarnykh linz Lyuneburga [Investigation of broadband planar lenses of Luneburg], *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radio Electronics], 2014, No. 1.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. М.И. Дулин.

Губарев Дмитрий Егорович – Южный федеральный университет; e-mail: dgubarev@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра АиРПУ; аспирант.

Юханов Юрий Владимирович – e-mail: yvyuhanov@sfedu.ru; кафедра АиРПУ; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Gubarev Dmitriy Egorovich – Southern Federal University; e-mail: dgubarev@sfedu.ru; the department of A&RPU; Taganrog, Russia; post-graduate student.

Yukhanov Yuriy Vladimirovich – e-mail: yvyuhanov@sfedu.ru; the department of A&RPU; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 617.7; 535.34; 539.211

DOI 10.18522/2311-3103-2021-6-150-159

З.А. Коков, О.А. Молоканов, Л.О. Карданова, М.Р. Кушхов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

Производители интраокулярных линз постоянно совершенствуют параметры искусственных хрусталиков, функционально приближая их к природному аналогу. В работе проведено экспериментальное исследование ряда важных физико-технических параметров интраокулярных линз ведущих мировых производителей, влияющих на качество зрения оперированных пациентов. Были исследованы спектры пропускания оптического излучения интраокулярных линз в диапазоне 200–800 нм. В коротковолновой части результаты измерений показали высокую эффективность защитных свойств интраокулярных линз от ультрафиолетового излучения. Показано, что излучение с длиной волны до 350 нм полностью поглощается материалом линзы, а пропускание волн с длиной 400 нм составляет 20 %. Далее до длины волны 550 нм наблюдается рост коэффициента пропускания исследуемой интраокулярной линзы до 100 %, после чего плавно снижается к концу видимого диапазона до 85 %. В работе также исследовано влияние качества обработки поверхности интраокулярных линз на вероятность развития вторичной катаракты в отдаленном периоде. Согласно послеоперационной статистике, вероятность возникновения вторичной катаракты достигает 20–35 %. Появление областей оптической непрозрачности обусловлено различными факторами, одним из которых – качество обработки поверхности интраокулярных линз. Гладкость поверхностного профиля линзы зависит от модели, технологии изготовления и материала искусственного хрусталика. Исследование качества обработки поверхности мягких и жестких интраокулярных линз было проведено методом атомно-силовой силовой микроскопии. Анализ результатов сканирования поверхности интраокулярных линз и проведенный статистический анализ 630 клинических случаев возникновения вторичной катаракты в отдаленном послеоперационном периоде (6 месяцев и

больше) показали их взаимосвязь. В случае увеличения высоты неровностей (выступов) на поверхности линз до 70 нм и более, вероятность возникновения вторичной катаракты в послеоперационный период возрастает с 6 до 15 %.

Атомно-силовая микроскопия; интраокулярная линза; катаракта; оптический спектр пропускания; шероховатость поверхности.

Z.A. Kokov, O.A. Molokanov, L.O. Kardanova, M.R. Kyshkhov

STUDY OF OPTICAL TRANSMISSION SPECTRA AND SURFACE TREATMENT PARAMETERS OF INTRAOCULAR LENSES

Manufacturers of intraocular lenses are constantly improving the parameters of artificial lenses, functionally bringing them closer to their natural counterpart. In this work, an experimental study of a number of important physical and technical parameters of intraocular lenses of the world's leading manufacturers, affecting the quality of vision of operated patients, was carried out. The transmission spectra of optical radiation of intraocular lenses in the range of 200–800 nm were investigated. In the short-wavelength part, the measurement results showed a high efficiency of the protective properties of intraocular lenses from ultraviolet radiation. It is shown that radiation with a wavelength of up to 350 nm is completely absorbed by the lens material, and the transmission of waves with a wavelength of 400 nm is 20 %. Further, up to a wavelength of 550 nm, an increase in the transmittance of the studied intraocular lens to 100 % is observed, after which it gradually decreases to the end of the visible range to 85%. The work also investigated the influence of the quality of the surface treatment of intraocular lenses on the likelihood of secondary cataract development in the long-term period. According to postoperative statistics, the likelihood of secondary cataract is 20–35 %. The appearance of areas of optical opacity is due to various factors, one of which is the quality of the surface treatment of intraocular lenses. The smoothness of the surface profile of the lens depends on the model, manufacturing technology and material of the artificial lens. The study of the quality of surface treatment of soft and hard intraocular lenses was carried out by atomic force microscopy. An analysis of the results of scanning the surface of intraocular lenses and a statistical analysis of 630 clinical cases of secondary cataract in the long-term postoperative period (6 months or more) showed their relationship. If the height of irregularities (protrusions) on the lens surface increases to 70 nm or more, the likelihood of secondary cataract in the postoperative period increases from 6 to 15 %.

Atomic force microscopy; cataracts; intraocular lens; optical transmittance spectrum; surface roughness.

Введение. Хрусталик в оптической системе зрительного аппарата человека играет важнейшую роль. При всей сложности строения и функций глаза, с оптической точки зрения глаз можно рассматривать как природный аналог фотокамеры, в котором хрусталик выполняет функцию фокусирующей линзы (объектива). Устройство человеческого глаза схематически показано на рис. 1 [1].

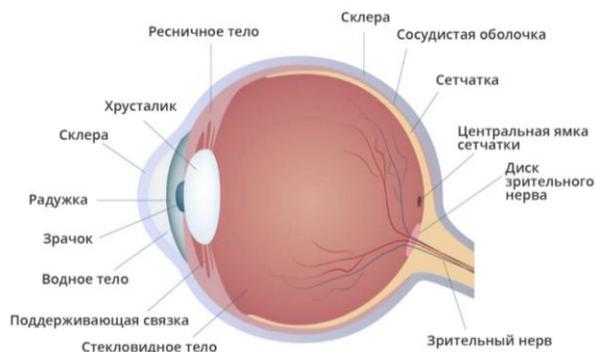


Рис. 1. Строение глаза человека

Наиболее часто из встречаемых заболеваний органа зрения в старшем возрасте является катаракта, при которой наблюдается частичное или полное помутнение хрусталика глаза и, как следствие, потеря светового потока и четкости изображения на сетчатке [2, 3]. Возникающая в силу возрастных изменений [4] и ряда патологических процессов [5] деградация хрусталика приводит к катастрофическому и необратимому снижению качества зрения.

Из рис. 1 видно, что анатомическое устройство глаза и пространственное положение хрусталика позволяет ставить вопрос, в случае необходимости, о замене естественной биологической линзы прозрачным биологически совместимым полимерным имплантом [6, 7], который мог бы выполнять оптическую функцию естественного хрусталика.

Первая операция по имплантации интраокулярной линзы (ИОЛ) была выполнена 29 ноября 1949 года Гарольдом Ридли (Harold Ridley) [6]. В настоящее время в мире ежегодно проводится десятки миллионов операций по имплантации интраокулярных линз (ИОЛ) [8]. В отличие от естественного хрусталика, ИОЛ не может изменять свое фокусное расстояние. Преодолеть этот недостаток позволило создание бифокальных и мультифокальных линз [9, 10]. В качестве материала для изготовления ИОЛ используются различные оптически прозрачные полимерные материалы – твердые линзы создаются на основе полиметилметакрилата [6, 11, 12], полумягкие на основе акрилов [12, 13], а мягкие на основе силиконов [11, 14].

Производители ИОЛ постоянно совершенствуют параметры искусственных хрусталиков, приближая их к природному аналогу. Интраокулярные линзы различаются по конструкции, материалу, оптическим свойствам, наличию фильтров, способности формировать один или несколько фокусов, типу имплантации и расположению внутри глаза.

Объекты исследования. В работе проведено экспериментальное исследование важных физико-технических параметров, влияющих на качество зрения прооперированных пациентов, для ИОЛ ведущих зарубежных производителей (табл. 1). Были изучены:

- 1) спектр пропускания на спектрофотометре СФ-26;
- 2) профиль поверхности (качества обработки) на сканирующем микроскопе Solver P47 [15].

Таблица 1

Набор исследованных ИОЛ

№	ИОЛ	Производитель	Примечание
1.	Bi-Flex HB 877 FAB - 877 FABY	MEDICONTUR (Швейцария)	однокомпонентная асферическая
2.	MX-60	enVista (США)	монофокальная безабберрационная асферическая
3.	ADAPT AO	AKREOS (США)	монофокальная безабберрационная асферическая
4.	MI60 AO	AKREOS (США)	двойковыпуклая асферическая
5.	Z-Flex 860FAB - 860FABY Monofocal	MEDICONTUR (Швейцария)	двойковыпуклая асферическая
6.	Torica aAY	HumanOptics AG (Германия)	моноблочная торическая асферическая

Исследование спектра пропускания. Изучение спектра пропускания интраокулярной линзы проводилось с помощью спектрофотометра СФ-26 [16]. Спектральная область исследования с коротковолновой стороны ограничивалась спектральной границей поглощения ультрафиолетового излучения атмосферой, в которой излучение с длиной волны короче 200 нм полностью поглощается кислородом. С длинноволновой стороны спектр изучался до 800 нм, поскольку красная граница чувствительности человеческого глаза составляет ~ 760 нм. Таким образом, исследование включало область спектра от ближней ультрафиолетовой до ближней инфракрасной. Спектрофотометр СФ-26 обеспечивает нормальное падение светового пучка на образец. Входная и выходная щели спектрометра конструктивно составляют одно целое, и в измерениях их ширина устанавливалась равной 0,5 мм для синей части и 0,1 мм для остальной части исследуемого спектра.

Интраокулярная линза до исследования хранилась в заводской упаковке. После разгерметизации заводской упаковки исследуемый образец помещался в специально изготовленную кассету, которая устанавливалась в держатель образцов в камере объектов. В ходе измерений время пребывания образца вне заводской среды хранения не превысило 60 минут.

Нами проведено исследование [17] спектра пропускания интраокулярной линзы TORICA-aAY HumanOptics AG [18]. На рис. 2 приведен спектр пропускания указанной выше линзы. Как видно из рисунка, излучение с длиной волны до 350 нм полностью поглощается материалом линзы, а пропускание волн с длиной 400 нм составляет 20 %. Далее до длины волны 550 нм наблюдается рост коэффициента пропускания исследуемой интраокулярной линзы до 100 %, после чего плавно снижается к концу видимого диапазона до 85 %.

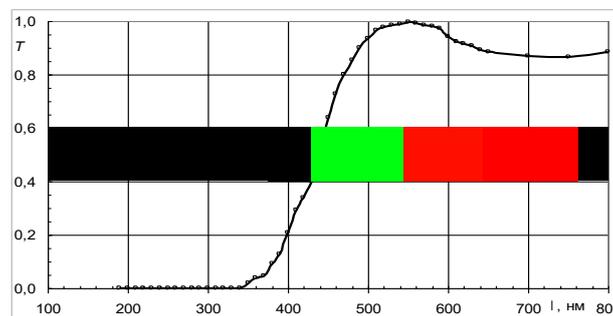


Рис. 2. Спектр пропускания интраокулярной линзы TORICA-aAY HumanOptics AG

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных измерений можно сделать вывод, что материал исследованной интраокулярной линзы TORICA-aAY HumanOptics AG достаточно эффективно защищает сетчатку и другие структуры глаза от деструктивного действия ультрафиолетового излучения. В то же время коэффициент пропускания изученной интраокулярной линзы в видимой части спектра составляет не менее 85 %, а в центральной части, вблизи максимума кривой относительной чувствительности человеческого зрения ослабляющее действие ИОЛ не проявляется совсем.

Исследование качества обработки поверхности ИОЛ методом СЗМ. Согласно послеоперационной статистике, после имплантации ИОЛ могут возникать осложнения в виде помутнения (непрозрачности) задней части капсулы хрусталика [19]. Это проявление так называемой вторичной катаракты, вероятность возникновения которой достигает 20–35 %. Появление областей оптической непрозрачности обусловлено различными факторами. Частота возникновения вторичной

катаракты после операции во многом зависит от модели, технологии изготовления и материала искусственного хрусталика. Важным фактором является качество обработки (поверхностной морфологии) ИОЛ.

На базе ООО Глазной клиники «ЛЕНАР» им. академика С.Н. Федорова (КБР, г. Нальчик) нами было проведено исследование качества обработки поверхности интраокулярных линз методом атомно-силовой микроскопии на отечественном сканирующем микроскопе Solver P47 компании NT-MDT в полуконтактном режиме сканирования [20, 21]. Были исследованы как жесткие (Appalens, Storz), так и мягкие (IDEA, CENTAFLEX, AcrySof Natural, AcrySof MultiPiece) интраокулярные линзы.

Проведенная серия сканирований выявила, что для различных ИОЛ высоты неровностей поверхности могут сильно варьироваться. Поверхности мягких линз оказались более гладкими по сравнению с поверхностями жестких интраокулярных линз.

Так, передняя поверхность линзы компании Storz наиболее гладкая, в отличие от Appalens. Высоты выступов в случае линзы Storz достигают 60 нм, в случае линзы Appalens достигают 100 нм, кроме того, число резких выступов на единицу поверхности в 7–8 раз больше во втором случае.

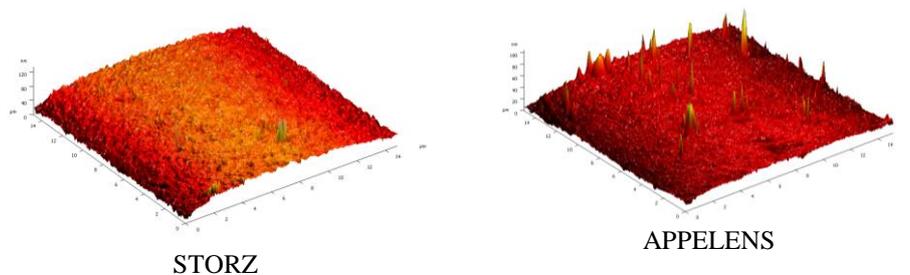


Рис. 3. Сканы передней поверхности жестких ИОЛ

Задние поверхности жестких линз имеют большую шероховатость. Высоты выступов достигают 200–250 нм. При этом худшие показатели вновь у линзы Appalens. На линзах обоих производителей обнаружены характерные дугообразные полосы в виде гряд высотой 40–50 нм и протяженностью 400 нм.

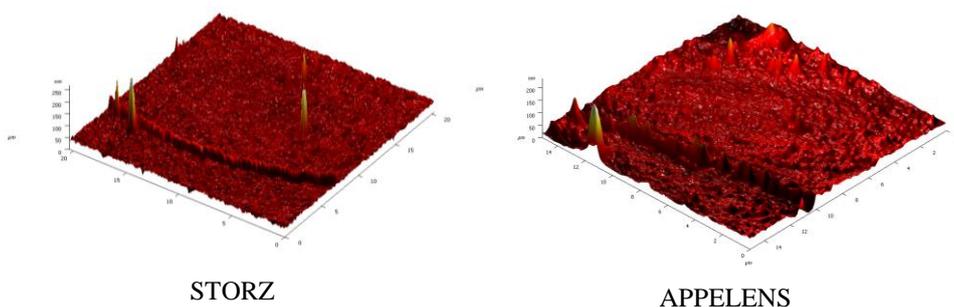


Рис. 4. Сканы задней поверхности жестких ИОЛ

В случае мягких линз, наиболее качественно обработаны поверхности линзы IDEA. Высоты выступов на передней и задней поверхностях не превышают 25 нм. Высоты шероховатостей передних поверхностей линз AcrySof Natural и AcrySof MultiPiece достигают 30 нм. Причем число резких выступов на единицу площади

гораздо больше в случае линз AcrySof MultiPiece. Задняя поверхность линзы AcrySof Natural (выступы до 30 нм) более гладкая чем задняя поверхность линзы AcrySof MultiPiece (выступы до 40 нм).

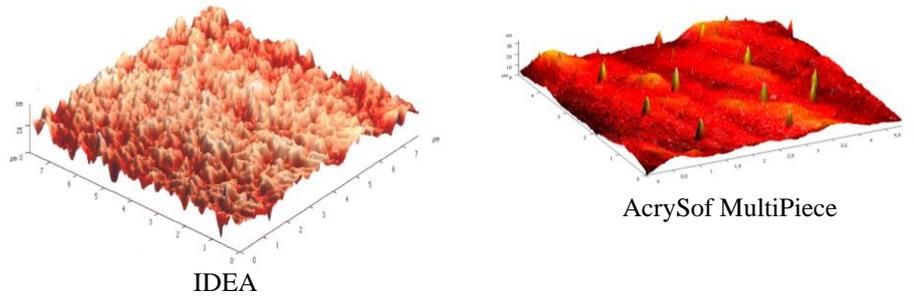


Рис. 5. Сканы передней поверхности мягких ИОЛ

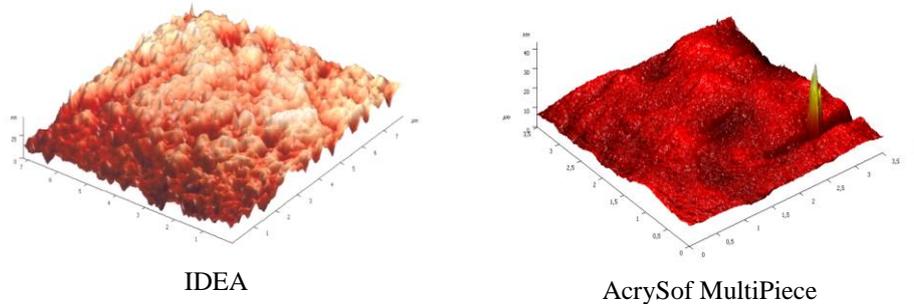


Рис. 6. Сканы задней поверхности мягких ИОЛ

Поверхности линзы CENTAFLEX имеют наибольшую шероховатость: высоты выступов на передней поверхности достигают 40 нм, на задней – 60 нм.

Таким образом, из представленных образцов наиболее гладкая поверхность у линз компании IDEA, а наименее – у линзы Appalens.

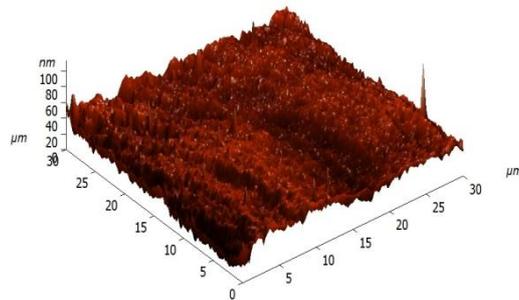


Рис. 7. Скан передней стенки ИОЛ Torica aY компании HumanOptics AG

На рис. 7 приведен профиль передней поверхности более современной акриловой ИОЛ Torica aY компании HumanOptics AG, площадь сканирования 30×30 мкм. Высоты неровностей профиля линзы находятся в пределах 65 нм, что говорит о достаточно хорошей технологии обработки поверхности линзы, применяемой при ее изготовлении

Статистическая обработка медицинских карт. Совместно с сотрудниками ГК «ЛЕНАР» было изучено и обработано более 15 000 медицинских карт пациентов. Выявлено 630 клинических случаев возникновения вторичной катаракты у больных, которым были имплантированы указанные в табл. 2 интраокулярные линзы.

Таблица 2

Распределение клинических случаев вторичной катаракты от вида ИОЛ

ИОЛ	Жесткие		Мягкие			
	Appalens	Storz	IDEA	CENTAFLEX	AcrySof Natural	AcrySof MultiPiece
Число случаев вторичной катаракты	60	60	250	100	100	60

Анализ клинических данных показал, что наиболее часто вторичная катаракта возникала после имплантации жесткой интраокулярной линзы Appalens – в 15 % случаев (рис. 8). Развитие вторичной катаракты в случае имплантации линзы Storz было обнаружено только в 6,7 % случаев.

Среди эластичных линз наихудшие показатели у хрусталика CENTAFLEX – вторичная катаракта развилась в 1,7 % случаев. Реже всего вторичная катаракта возникала после имплантации интраокулярной линзы IDEA – 0,8 % случаев. После имплантации линзы AcrySof Natural вторичная катаракта была обнаружена в 1 % случаев. У пациентов с имплантацией линзы AcrySof MultiPiece осложнения были выявлены в 2 % случаев.

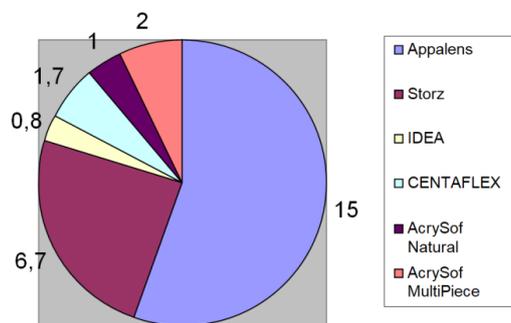


Рис. 8. Частота развития вторичной катаракты после имплантации ИОЛ различных производителей (%)

Таким образом, наиболее редко вторичная катаракта развивалась у пациентов с имплантацией линзы IDEA, чаще возникала после имплантации линзы Appalens. Отметим также, что прослеживается прямая зависимость между качеством обработки поверхностей ИОЛ и их стоимостью. Чем выше стоимость, тем лучше качество обработки поверхности, и, следовательно, реже возникает послеоперационное осложнение. Так, например, стоимость жесткой ИОЛ фирмы Appalens меньше ИОЛ Storz почти в 2 раза.

Выводы. Результаты экспериментальных измерений спектра пропускания интраокулярных линз позволяют сделать вывод, что материал исследованных линз достаточно эффективно защищает сетчатку и другие структуры глаза от воздействия ионизирующего ультрафиолетового излучения. В тоже время коэффициент пропускания изученных ИОЛ в видимой части спектра составляет не менее 70-85 %.

Проведенные сканирование ИОЛ методом атомно-силовой микроскопии и статистический анализ случаев возникновения вторичной катаракты в отдаленном послеоперационном периоде (6 месяцев и более) показали их корреляцию. В случае увеличения высоты выступов неровностей на поверхности линз до 70 нм и более, вероятность возникновения в послеоперационный период вторичной катаракты возрастает с 6 до 15 % [20].

Благодарности. Исследование поверхностной морфологии ИОЛ методом СЗМ было проведено в ЦКП «Нанотехнологии» ЮФУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анатомия глаза: строение и функции. – URL: <https://www.oum.ru/literature/anatomiya-cheloveka/anatomiya-glaza-stroenie-i-funktsii/>.
2. *Steinmetz Jaimie D. et al.* Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study // *The Lancet Global Health.* – Vol. 9, Issue 2, e144 - e160. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7).
3. *Bourne Rupert et al.* Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study // *The Lancet Global Health.* – Vol. 9, Issue 2, e130-e143. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30425-3).
4. Катаракта старческая. Клинические рекомендации // Общество офтальмологов России. – 2019. – 51 с. – https://www.oog.ru/files/uveity/katarakta_starcheskaya.pdf.
5. *Белый Ю.А., Терещенко А.В., Романко Ю.С., Абакушина Е.В., Гречанинов В.Б.* Факторы возникновения, патогенез развития лучевой катаракты // *Вестник офтальмологии.* – 2015. – Vol. 131 (4). – P. 97-101. – <https://doi.org/10.17116/oftalma2015131497-101>.
6. *Apple D.J., and Sims J.* Harold Ridley and the Invention of the Intraocular Lens // *Survey of ophthalmology.* – 1996. – Vol. 40, No. 4. – Pp. 279-292. – URL: https://rayner.com/wp-content/uploads/2019/02/Invention_of_the_IOL.pdf.
7. *Ridley H.* Intra-ocular acrylic lenses – past, present and future // *Transactions of the Ophthalmological Societies of the United Kingdom.* – 1964. – Vol. 84. – P. 5-14. – PMID: 5227439. – [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(96\)82003-0](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(96)82003-0).
8. *de Silva S.R., Evans J.R., Kirthi V., Ziaei M., Leyland M.* Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2016 Dec. 12; 12 (12): CD003169. – DOI: 10.1002/14651858.CD003169.pub4. PMID: 27943250; PMCID: PMC6463930.
9. *Carson D., Hil, W.E., Hong X., & Karakelle M.* Optical bench performance of AcrySof® IQ ReSTOR®, AT LISA® tri, and FineVision® intraocular lenses // *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.).* – 2014. – No. 8. – P. 2105-2113. – DOI: <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S66760>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4206402/pdf/oph-8-2105.pdf>.
10. *Diego Zamora-de La Cruz, Karla Zúñiga-Posse, John Bartlett, Mario Gutierrez, Samuel A Abariga.* Trifocal intraocular lenses versus bifocal intraocular lenses after cataract extraction among participants with presbyopia // *Cochrane Database of Systematic Reviews.* – 2020. – No. 6. – 43 p. – <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012648.pub2>.
11. *Choyce D.P.* Discussion to Barraquer: Anterior chamber plastic lenses. Results of and conclusions from five years experience // *Transactions of the Ophthalmological Societies of the United Kingdom.* – 1959. – Vol. 79. – P. 393-494. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13797034/>.
12. *Gozum N., Safgonul Unal E., Altan-Yaycioglu R. et al.* Visual performance of acrylic and PMMA intraocular lenses // *Eye.* – 2003. – Vol. 17 (2). – P. 238-242. – <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6700290>.
13. *Oshika T, Shiokawa Y.* Effect of folding on the optical quality of soft acrylic intraocular lenses // *Journal of Cataract and Refractive Surgery.* – 2002. – Vol. 28. – P. 1141-1152. – DOI: 10.1016/s0886-3350(96)80098-8.
14. *Jagger J.* Soft Implant Lenses in Cataract Surgery // *Br. J/Ophthalmol.* – 1987 Aug. – Vol. 71 (8). – 641 p. – PMCID: PMC1041252.
15. Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47PRO. – https://www.ntmdt-si.ru/data-media/files/products/ntegra/solver_p47-pro.pdf.

16. Спектрофотометр СФ-26. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – ЛОМО, 1981. – 36 с.
17. Кушков М.Р., Молоканов О.А. Спектральные коэффициенты пропускания интраокулярной линзы // Перспектива-2020: Матер. Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – Т. III. – С. 181-186.
18. TORICA® - аАУ YELLOW (торическая, гидрофильная, моноблочная, заднекапсулярная ИОЛ) // Каталог офтальмологической продукции. – <https://eyeexpress.ru/item.aspx?256>.
19. Сороколетов Г.В., Зуев В.К., Туманян Э.Р., Бессарабов А.Н., Вещикова В.Н. Частота развития вторичной катаракты в артификачных глазах с современными моделями заднекамерных ИОЛ при осевой миопии // Офтальмохирургия. – 2013. – № 2. – <https://eyeexpress.ru/article.aspx?11587>.
20. Хубиева З.Р., Коков З.А., Карданова Л.О., Романенко Б.В., Селиванова Л.Ю. Зависимость развития вторичной катаракты от качества обработки поверхностей ИОЛ // Тезисы международной Юбилейной научно-практической конференции «Федоровские чтения-2007». Общество офтальмологов России, ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза». – М. – С. 51-52.
21. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Техносфера, 2009. – 144 с.

REFERENCES

1. *Anatomiya glaza: stroenie i funkcii* [Anatomy of the eye: structure and functions]. Available at: <https://www.oum.ru/literature/anatomiya-cheloveka/anatomiya-glaza-stroenie-i-funktsii/>.
2. Steinmetz Jaimie D. et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study, *The Lancet Global Health*, Vol. 9, Issue 2, e144 - e160. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7).
3. Bourne Rupert et al. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study, *The Lancet Global Health*– Vol. 9, Issue 2, e130-e143. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30425-3).
4. Katarakta starcheskaya. Klinicheskie rekomendacii. Obshchestvo oftal'mologov Rossii [Senile cataract. Clinical recommendations. Society of Ophthalmologists of Russia], 2019, 51 p. Available at: https://www.oor.ru/files/uveity/katarakta_starcheskaya.pdf.
5. Belyj Yu.A., Tereshchenko A.V., Romanko Yu.S., Abakushina E.V., Grechaninov V.B. Faktory vozniknoveniya, patogenez razvitiya luchevoj katarakty [Factors of occurrence, pathogenesis of radiation cataract development], *Vestnik oftal'mologii* [Bulletin of Ophthalmology], 2015, Vol. 131 (4), pp. 97-101. <https://doi.org/10.17116/oftalma2015131497-101>.
6. Apple D.J., and Sims J. Harold Ridley and the Invention of the Intraocular Lens, *Survey of ophthalmology*, 1996, Vol. 40, No. 4, pp. 279-292. Available at: https://rayner.com/wp-content/uploads/2019/02/Invention_of_the_IOL.pdf.
7. Ridley H. Intra-ocular acrylic lenses – past, present and future, *Transactions of the Ophthalmological Societies of the United Kingdom*, 1964, Vol. 84, pp. 5-14. PMID: 5227439. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(96\)82003-0](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(96)82003-0).
8. de Silva S.R., Evans J.R., Kirthi V., Ziaei M., Leyland M. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction, *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2016 Dec. 12; 12 (12): CD003169. DOI: 10.1002/14651858.CD003169.pub4. PMID: 27943250; PMCID: PMC6463930.
9. Carson D., Hil, W.E., Hong X., & Karakelle M. Optical bench performance of AcrySof® IQ ReSTOR®, AT LISA® tri, and FineVision® intraocular lenses, *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2014, No. 8, pp. 2105-2113. DOI.org/10.2147/OPTH.S66760. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4206402/pdf/oph-8-2105.pdf>.
10. Diego Zamora-de La Cruz, Karla Zúñiga-Posse, John Bartlett, Mario Gutierrez, Samuel A Abariga. Trifocal intraocular lenses versus bifocal intraocular lenses after cataract extraction among participants with presbyopia, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020, No. 6, 43 p. Available at: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012648.pub2>.
11. Choyce D.P. Discussion to Barraquer: Anterior chamber plastic lenses. Results of and conclusions from five years experience, *Transactions of the Ophthalmological Societies of the United Kingdom*, 1959, Vol. 79, pp. 393-494. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13797034/>.
12. Gozum N., Safgonul Unal E., Altan-Yaycioglu R. et al. Visual performance of acrylic and PMMA intraocular lenses, *Eye*, 2003, Vol. 17 (2), pp. 238-242. Available at: <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6700290>.

13. *Oshika T, Shiokawa Y.* Effect of folding on the optical quality of soft acrylic intraocular lenses, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2002, Vol. 28, pp. 1141-1152. DOI: 10.1016/s0886-3350(96)80098-8.
14. *Jagger J.* Soft Implant Lenses in Cataract Surgery, *Br. J/Ophthalmol*, 1987 Aug., Vol. 71 (8), 641 p. PMID: PMC1041252.
15. *Ckaniruyushchij zondovij mikroskop Solver P47PRO* [Ckaniruyushchij zondovij mikroskop Solver P47PRO.]. Available at: https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/products/ntegra/solver_p47-pro.pdf.
16. *Spektrofotometr SF-26.* Tekhnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsiya [SF-26 spectrophotometer. Technical description and operating instructions. – LOMO]. LOMO, 1981, 36 p.
17. *Kushkhov M.R., Molokanov O.A.* Spektral'nye koeffitsienty propuskaniya intraokulyarnoj linzy [Spectral transmission coefficients of the intraocular lens], *Perspektiva-2020: Mater. Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh* [Perspective 2020: Materials of the International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists], 2020, Vol. III, pp. 181-186.
18. *TORICA® - aAY YELLOW* (toricheskaya, gidrofil'naya, monoblochnaya, zadnekapsulyarnaya IOL) [TORICA® - aAY YELLOW (toric, hydrophilic, monoblock, posterior capsule IOL)], *Katalog oftal'mologicheskoy produkcii* [Catalog of ophthalmological products]. Available at: <https://eyepress.ru/item.aspx?256>.
19. *Sorokoletov G.V., Zuev V.K., Tumanyan E.R., Bessarabov A.N., Veshchikova V.N.* Chastota razvitiya vtorichnoj katarakty v artifakichnyh glazah s sovremennymi modelyami zadnekamernyh IOL pri osevoj miopii [The frequency of secondary cataract development in artificial eyes with modern models of posterior chamber IOLs in axial myopia], *Oftal'mohirurgiya* [Ophthalmosurgery], 2013, No. 2. Available at: <https://eyepress.ru/article.aspx?11587>.
20. *Hubieva Z.R., Kokov Z.A., Kardanova L.O., Romanenko B.V., Selivanova L.Yu.* Zavisimost' razvitiya vtorichnoj katarakty ot kachestva obrabotki poverhnostej IOL [The dependence of the development of secondary cataracts on the quality of surface treatment of IOL], *Tezisy mezhdunarodnoj Yubilejnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Fedorovskie chteniya-2007».* *Obshchestvo oftal'mologov Rossii, FGU MNTK «Mikrohirurgiya glaza»* [Theses of the international Anniversary scientific and practical conference "Fedorov readings-2007". Society of Ophthalmologists of Russia, Federal State University MNTC "Eye Microsurgery"]. Moscow, pp. 51-52.
21. *Mironov V.L.* Osnovy skaniruyushchej zondovoj mikroskopii [Fundamentals of scanning probe microscopy]. Moscow: Tekhnosfera, 2009, 144 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. С.Ш. Рехвиашвили.

Кокос Заур Анатольевич – Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; e-mail: zak@kbsu.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: +79034959004; кафедра теоретической и экспериментальной физики; к.ф.-м.н., доцент.

Молоканов Олег Артемович – e-mail: molokanov@kbsu.ru; тел.: +79289642039; кафедра теоретической и экспериментальной физики; к.т.н.; доцент.

Карданова Лариса Османовна – ООО Глазная клиника «ЛЕНАР»; e-mail: larisakardan@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: +79287111025; главный врач; к.м.н.

Кушхов Мухамед Рашидович – e-mail: mk.cherkes@gmail.com; тел.: +79034952288; инженер.

Кокос Заур Анатольевич – Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov; e-mail: zak@kbsu.ru; Nalchik, Russia; phone: +79034959004; the department of theoretical and experimental physics; cand. of phys. and math. sc.; associate professor.

Molokanov Oleg Artemovich – e-mail: molokanov@kbsu.ru; phone: +79289642039; the department of theoretical and experimental physics; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kardanova Larisa Osmanovna – Lenar Eye Clinic LLC; e-mail: larisakardan@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: +79287111025; chief physician; cand. of med. sc.

Kushkhov Mukhamed Rashidovich – e-mail: mk.cherkes@gmail.com; phone: +79034952288; engineer.