

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИЗАТОРА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РОГОВИЦЫ CORVIS ST В ОТБОРЕ ПАЦИЕНТОВ НА КЕРАТОРЕФРАКЦИОННУЮ ХИРУРГИЮ

Беликова Е. И.¹, Перова Т. В.²

1, Доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии, Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, elen-belikova@yandex.ru, +7(985)410-10-89, <https://orcid.org/0000-0001-9646-4747>
2, Заведующая отделением, ООО «Глазная клиника доктора Беликовой», dr.tatiana.perova@gmail.com, +7(926)106-49-66, <https://orcid.org/0000-0002-9745-5794>

Аннотация. Вторичная эктазия после лазерной коррекции остается тяжелым осложнением кераторефракционной хирургии. Статистика эктазий после различных кераторефракционных вмешательств показывает более частое развитие данного осложнения после лоскутных методов лазерной коррекции зрения (LASIK, FemtoLASIK), чем после методик поверхностной абляции (ФРК, транс ФРК, LASEK), а рост количества случаев эктазии после лентикулярной хирургии должен вызывать настороженность. Ранее существовавший кератоконус может играть более значимую роль в развитии послеоперационной эктазии, чем это учтено в литературе, в связи с чем особую важность приобретает ранняя диагностика не просто доклинической стадии кератоконуса, а выявление факторов предрасположенности к развитию эктазии на глазах с нормальными кератотопографическими характеристиками. Последние разработки в области ранней диагностики эктазий используют возможности искусственного интеллекта в анализе биомеханических свойств и геометрии роговицы для выявления предрасположенности роговицы к эктазии. В статье проанализирован собственный опыт использования диагностического комплекса Pentacam + Corvis ST в отборе пациентов на кераторефракционные вмешательства.

Ключевые слова: кераторефракционная хирургия, ЛКЗ — лазерная коррекция зрения, вторичная эктазия, Corvis ST, Pentacam, TBI.

Для цитирования:

Беликова Е. И., Перова Т. В. Опыт применения анализатора биомеханических свойств роговицы corvis st в отборе пациентов на кераторефракционную хирургию. Передовая Офтальмология. 2024; 8(2):26-31.

KERATOREFRAKTSIYON JARROXLIK UCHUN BEMORLARNI TANLASHDA SHOX PARDA BIOMEKANIK XUSUSIYATLAR ANALIZATORI-CORVIS ST DAN FOYDALANISH TAJRIBASI

Belikova E. I.¹, Perova T. V.²

1. Tibbiyot fanlari doktori, professor, Federal tibbiyot-biologiya agentligining malaka oshirish instituti, elen-belikova@yandex.ru, +7(985)410-10-89, <https://orcid.org/0000-0001-9646-4747>
2. Doktor Belikova klinikasi» MCHJ bo lim mudiri, dr.tatiana.perova@gmail.com, +7(926)106-49-66, <https://orcid.org/0000-0002-9745-5794>

Annotatsiya. Ko'rishni lazerni tuzatishdan so'ng ikkilamchi ektaziya keratorefraktiv jarrohlikning jiddiy asoratlaridan biri bo'lib kelmoqda. Turli xil keratorefraktiv aralashuvlardan so'ng ektaziya statistikasi ko'rishni lazer bilan tuzatishning yuzaki ablyasyon usullaridan (PRK, trans PRK, LASEK) dan ko'ra flap usullaridan (LASIK, Femto LASIK) keyin tez-tez rivojlanishini va holatlar sonining ko'payishini ko'rsatadi. Lentikulyar jarrohlikdan so'ng ektaziyaning kuzatilishini oshishidan ehtiyot bo'lish kerak. Oldindan mavjud bo'lgan keratokonusus operatsiyadan keyin ektaziya rivojlanishida adabiyotlarda ta'kidlanganidan ko'ra muhimroq rol o'ynashi mumkin, shuning uchun keratokonususning nafaqat klinik oldi bosqichini erta tashxislash, balki normal keratopografik xususiyatlarga ega ko'zlarda ektaziya rivojlanishiga moyillik omillarini aniqlash alohida ahamiyatga ega. Ektaziyaning erta tashxislash sohasidagi so'nggi ishlanmalar shox pardaning ektaziyaga moyilligini aniqlash uchun shox pardaning biomekanik xususiyatlari va geometriyasini tahlil qilish uchun sun'iy intellekt kuchidan foydalanadi.

Kalit so'zlar: keratorefraktiv jarrohlik, KLK — ko'rishni lazer korreksiyasi, ikkilamchi ektaziya, Corvis ST, Pentacam, TBI.

Iqtibos uchun:

Belikova E. I., Perova T. V. Keratorefraktiv jarrohlik uchun bemorlarni tanlashda shox parda biomekanik xususiyatlar analizatori — corvis st dan foydalanish tajribasi. Ilg'or oftalmologiya. 2024; 8(2):26-31.

EXPERIENCE OF UTILIZING THE CORVIS ST CORNEAL BIOMECHANICAL ANALYZER IN PATIENT SELECTION FOR KERATOREFRACTIVE SURGERY

Belikova E. I.¹, Perova T. V.²

1. PhD, Federal institute of the professional development, elen-belikova@yandex.ru, +7(985)410-10-89, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9646-4747>

2. Head of the Department of Ophthalmology Clinic of Dr. Belikova, dr.tatiana.perova@gmail.com, +7(926)106-49-66, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9745-5794>

Annotation. Secondary ectasia following laser correction remains a formidable complication of keratorefractive surgery. Statistics on ectasia following various keratorefractive interventions show a higher incidence of ectasia after flap-based techniques of laser vision correction (LASIK, Femto LASIK) compared to surface ablation techniques (PRK, Trans PRK, LASIK), also the increasing number of ectasia cases after lenticular surgery should raise concern. Previously existing keratoconus may play a significant role in the development of postoperative ectasia, more so than acknowledged in the literature, highlighting the importance of early detection not only of preclinical keratoconus stages but also identifying predisposing factors for keratoconus development in eyes with normal keratotopographic characteristics. Recent advancements in early ectasia detection utilize artificial intelligence capabilities to analyze corneal biomechanical properties and geometry to identify corneal predisposition to ectasia. This article analyzes our experience using the Pentacam + Corvis ST diagnostic complex in patient selection for keratorefractive interventions.

Keywords: keratorefractive surgery, LVC—laser vision correction, ectasia secondary, CorvisST, Pentacam, TBI.

For citation:

Belikova E. I., Perova T. V. Experience of utilizing the corvis st corneal biomechanical analyzer in patient selection for keratorefractive surgery. *Advanced Ophthalmology*. 2024; 8(2):26-31.

Актуальность. Вторичная эктазия после лазерной коррекции до сегодняшнего дня остается тяжелым осложнением кераторефракционной хирургии с момента первого сообщения о подобном случае в 1998г (Seiler) [1,2]

Статистика эктазий после различных кераторефракционных вмешательств показывает более частое развитие такого осложнения после ласкутных методик лазерной коррекции зрения (LASIK, FemtoLASIK), чем после методик поверхностной абляции (ФПК, транс ФПК, LASIK) [3,4,5].

Ретроспективные исследования показывают следующие результаты: при анализе доступных данных за период с 1998г по 2005г из всех случаев эктазии после ЛКЗ в 95,9% она развивалась после LASIK и в 4,1% после ФПК [3]

По оценкам на 2017г частота встречаемости эктазии после LASIK составила до 0,6%. Эктазия после ФПК встречалась крайне редко (до 0,029%) [4].

По результатам систематического обзора баз данных за период с 1984 по 2021г частота встречаемости эктазии после ФПК составила 0,025%, после LASIK — 0,1%, после SMILE — 0,02 [5]. Отмечается также, что с 2000 по 2021г во всем мире было задокументировано только 57 случаев эктазии после ФПК, а риск развития эктазии после ФПК в 4,5 раза меньше, чем при LASIK [4,5]. Оценка случаев эктазии после лентикулярной хирургии должна вызывать настороженность в связи с недостаточным периодом наблюдения, меньшей долей вмешательств в общей статистике и ростом количества задокументированных случаев с течением времени [5].

Также авторы пришли к выводу, что ранее существовавший кератоконус может играть более

значимую роль в развитии послеоперационной эктазии, чем это учтено в литературе [5], в связи с чем особую важность приобретает ранняя диагностика не просто доклинической стадии кератоконуса, а выявление факторов предрасположенности к развитию эктазии на глазах с нормальными кератотопографическими характеристиками[6].

По данным R.Ambrosio (2019г) частота развития эктазии после LASIK снизилась до 0,033% за последние 18 лет в связи расширением диагностических возможностей и совершенствованием критериев отбора пациентов на хирургию [6].

Традиционно в отборе пациентов на ЛКЗ хирурги использовали оценку центральной толщины роговицы и Placido-топографии[7,8]. В 2008 г была представлена шкала оценки рисков развития вторичной эктазии (ERSS), учитывающая данные топографии передней поверхности роговицы, RST, возраст пациента, предоперационную толщину роговицы и исходную рефракцию [3,9]. С появлением и внедрением в офтальмологическую практику Шаймплюг-томографии (2001–2011гг) расширились диагностические возможности выявления доклинических форм кератоконуса [10]. Последние разработки в области ранней диагностики эктазий используют возможности искусственного интеллекта в анализе биомеханических свойств и геометрии роговицы для выявления предрасположенности роговицы к эктазии при нормальной кератотопографической картине и дополняют по-прежнему актуальную систему ERSS [11].

С момента внедрения в клиническую практику анализатора биомеханических свойств роговицы

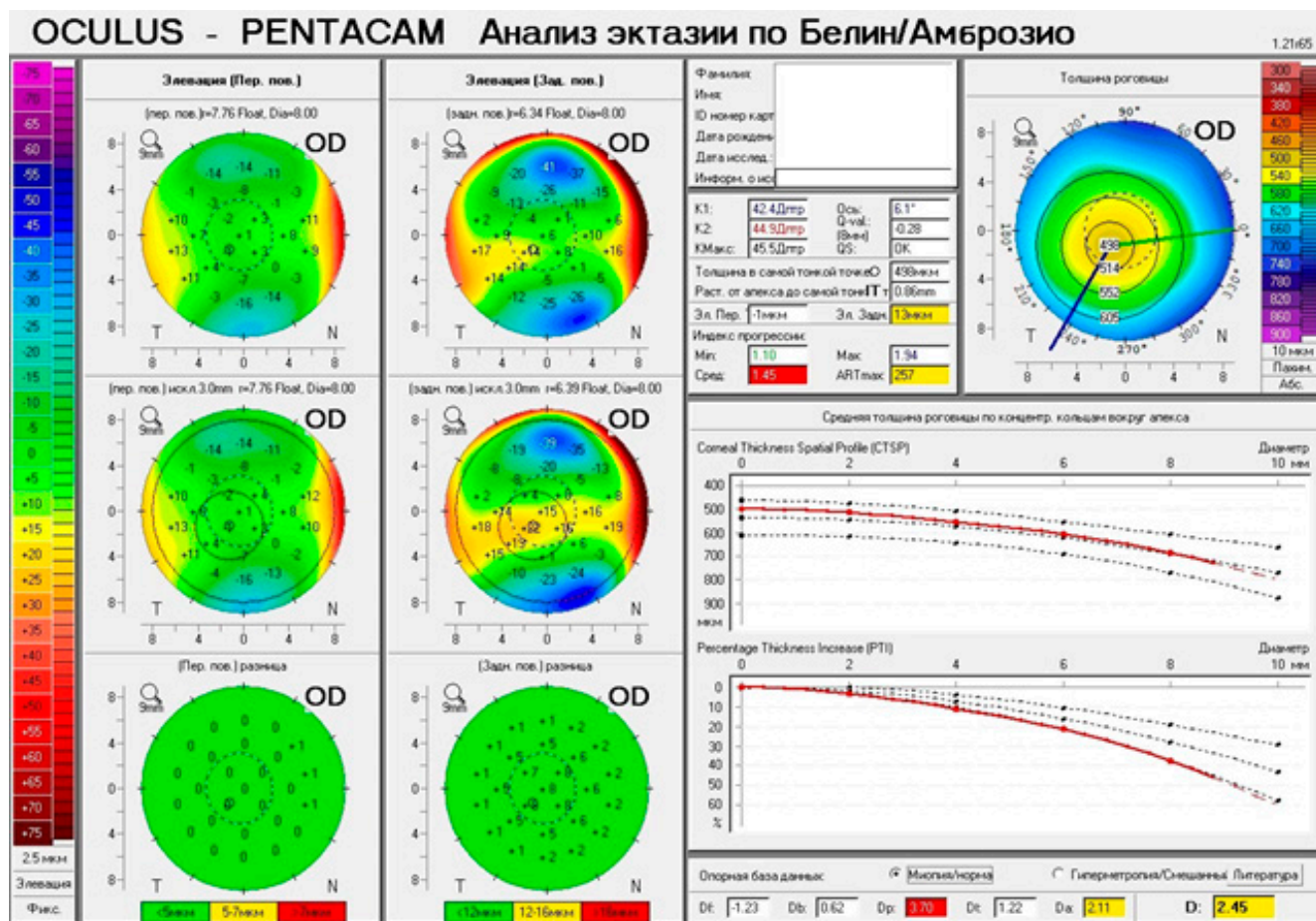


Рис. 1 Belin/Ambrosio Enhanced Ectasia Display анализирует геометрические показатели роговицы и отображает их по принципу «светофора»: белый цвет — значения в пределах нормативной базы, желтый — пограничные значения, красный — выраженное отклонение от нормативных значений, патологическое изменение геометрии роговицы.

Corvis ST в сочетании с Шаймпфлюг-томографом Pentacam многочисленные отчеты пользователей показывают их высокую эффективность в прогнозировании риска развития вторичной эктазии [12,13,14,15].

В принятии решения о выборе метода лазерной коррекции производители рекомендуют использовать показатели томографического и биомеханического индекса TBI, который учитывает значения отдельно биомеханического индекса CBI и томографического анализа Belin-Ambrosio BAD. При значениях TBI до 0,35 возможно выполнение лентикулярных и лоскутных методик ЛКЗ, при показателях от 0,35 до 0,75 рекомендуются методики поверхностной абляции, в случаях, когда значение TBI превышает 0,75 рекомендуется динамическое наблюдение в связи с повышенным риском развития эктазии.

Цель исследования. Анализ собственного опыта применения диагностического комплекса Pentacam + Corvis ST в отборе пациентов на кераторефракционные вмешательства проводился с целью оценки распределения пациентов по различным видам кераторефракционных операций и выявления спорных ситуаций в диагностике, требующих дальнейшего изучения.

Материалы и методы. В исследование были включены данные 252 пациентов (504 глаза), обратившихся в клинику за последние 4 месяца с целью выполнения ЛКЗ с различными аномалиями рефракции без ранее установленного диагноза кератоконус.

Всем пациентам выполнялись стандартные обследования: рефрактометрия с узким зрачком и в миопии, визометрия с узким зрачком и в миопии, тест Ширмера, проба Норна, Placido-кератотопография, Шаймпфлюг-томография на Pentacam с оценкой BAD (Belin/Ambrosio Enhanced Ectasia Display), исследование биомеханических свойств роговицы на Corvis ST с оценкой индексов CBI и TBI, ОКТ переднего отрезка с картированием эпителия.

Пациенты оценивались по принципу 1 случай = 1 пациент (2 глаза), при этом распределялись по группам на основании показателей «худшего» глаза. Такой принцип распределения был выбран потому, что кератоконус, как правило, является двусторонним заболеванием с асимметричным течением, поэтому выбор метода ЛКЗ для двух глаз не должен отличаться.

Все пациенты были распределены на две группы: с нормальными показателями геометрии

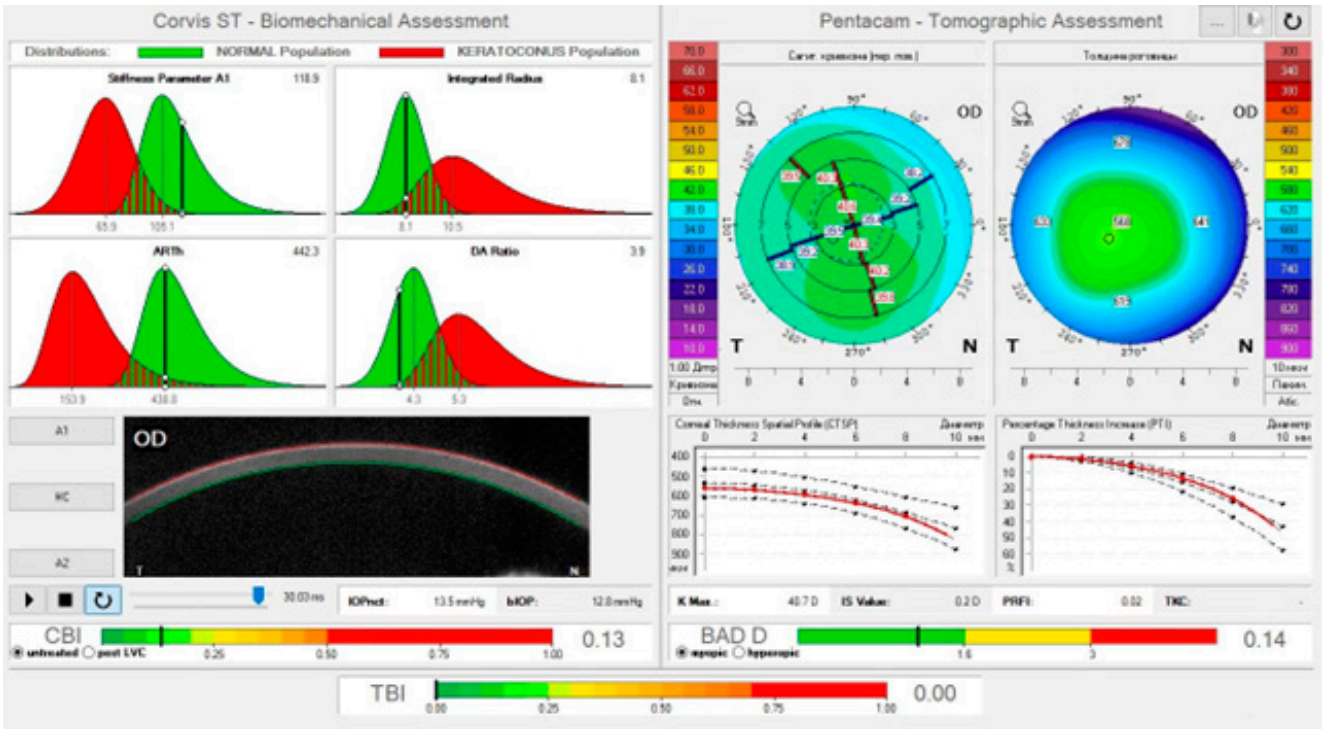


Рис. 2. Biomechanical/Tomographic Assessment (ARV) иллюстрирует отдельно анализ биомеханических свойств в виде индекса CBI, анализ томографии в виде BAD D и результирующий индекс TBI, оценивающий биомеханические и томографические показатели с помощью ИИ. Каждый индекс отдельно отображен в виде цветовой шкалы.

роговицы (все индексы BAD в пределах нормы) и с изменой геометрией роговицы (хотя бы один индекс BAD выходит за пределы нормальных значений). На рис. 1 изображен пример дисплея BAD с анализом кератотопографических индексов по принципу «светофора». Далее в каждой группе выделялись три подгруппы пациентов в зависимости от значения индекса TBI: до 0,35, от 0,35 до 0,75 и выше 0,75. На рис. 2 изображен дисплей оценки биомеханических и томографических параметров с индексами CBI (биомеханический индекс), BAD (томографические данные) и TBI (результирующий индекс).

Оценено распределение пациентов каждой группы на основании рекомендаций по выбору метода ЛКЗ, динамического наблюдения, лечения кератоконуса или полного отказа от кераторефракционных вмешательств. Данные представлены в абсолютных числах и процентах от общего числа случаев.

При выборе дальнейшей тактики руководствовались рекомендациями производителя по оценке показателей BAD и TBI, а также использовали шкалу рисков ERSS при принятии окончательного решения.

В случае выявления form fruste кератоконуса при МКОЗ 1,0 выполнялся кросслинкинг роговичного коллагена с одномоментной коррекцией аметропии методом транс ФПК при условии глубины абляции до 50 мкм.

В случае выявления клинических стадий кератоконуса при наличии данных о продолжающемся ухудшении зрения выполнялся кросслинкинг роговичного коллагена по классическому протоколу.

На основании полученных данных была составлена таблица (табл. 1).

Результаты исследования. Результаты распределения пациентов в зависимости от рекомендаций представлены в виде табл. 1

Результаты и обсуждение. В 80,6% (203/252) случаев пациентам можно было предложить различные методики ЛКЗ без дополнительного обследования или наблюдения (лентикулярные, лоскутные и поверхностные методики).

В группе с нормальной геометрией роговицы по данным BAD чаще всего регистрировались нормальные показатели TBI – в 40,9% случаев (103/252), что позволяло предложить пациентам лоскутные или лентикулярные методики ЛКЗ.

Однако в 4,8% (12/252) анализ томографии и биомеханических свойств TBI выявил повышенный риск развития кератоконуса у пациентов с нормальной геометрией роговицы по данным BAD. Эти пациенты составляют группу риска по развитию вторичных эктазий, им рекомендованы поверхностные методики абляции или динамическое наблюдение. В случае отсутствия диагностических возможностей по оценке биомеханических свойств именно эти пациенты могли

Таблица 1. Распределение пациентов по рекомендованным методам лечения на основе показателей геометрии и биомеханики роговицы

Рекомендации	BAD – норма (115/252, 45,6%)			BAD – пограничные или патологические индексы (137/252, 54,4 %)		
	TBI <0,35	0.35<TBI<0.75	TBI >0.75	TBI <0,35	0.35<TBI<0.75	TBI >0.75
Лоскут/ лентикул. методы (157/252, 62,3%)	98	0	0	59	0	0
ФРК (46/252, 18,3%)	4	8	0	4	30	0
Наблюдение (35/252, 13,9%)	1	4	0	2	15	13
Отказ от ЛКЗ/лечения (2/252, 0,8%)	0	0	0	0	2	0
ФРК + кросслингинг (2/252, 0,8%)	0	0	0	0	0	2
кросслингинг, классический протокол (10/252, 4%)	0	0	0	0	0	10
Итого 252 (100%)	103/252 (40,9%)	12/252 (4,8%)	0/252 (0%)	65/252 (25,8%)	47/252 (18,7%)	25/252 (9,9%)

бы быть ошибочно прооперированы с помощью лоскутных или лентикулярных технологий.

Среди пациентов с нормальными показателями BAD не выявлено ни одного случая высокого риска развития эктазии (TBI).

Среди пациентов, имеющих отклонения в геометрии роговицы по анализу BAD (54,4%, 137/252) в абсолютном большинстве случаев было возможно выполнение ЛКЗ (лентикулярные, лоскутные и поверхностные методики) – 36,9% от общего числа (93/252). При отсутствии диагностических возможностей по оценке биомеханики роговицы таким пациентам рекомендовалось динамическое наблюдение или преимущественно методики поверхностной абляции.

В 4,9% случаев (12/252) были выявлены клинические и субклинические стадии кератоконуса, требующие проведения кроссликинга. Эта группа пациентов представляет собой случаи заболевания, потенциально пропущенные при рутинной проверке зрения.

Наблюдение рекомендовалось в 13,9% (35/252) случаев по причинам: продолжающийся рост ПЗО; выраженный синдром сухого глаза, влияющий на состояние глазной поверхности и требующий лечения; пограничные значения TBI, не позволяющие четко распределить пациента в ту или иную группу; выраженные отклонения от нормы кератотопографических показателей: значения минимальной пахиметрии менее 470 мкм, показатели Kmax более 48.5 дптр, выраженная асимметрия по передней поверхности (I-S более 1,5 дптр) – даже при показателях TBI до 0.75.

Двум пациентам из 252 (0,8%) пришлось отказаться в ЛКЗ по причине недостаточной толщины роговицы при высоких степенях аметропии даже

в отсутствие отклонений в показателях биомеханики и геометрии роговицы. Этой группе пациентов предложены альтернативные методы хирургической коррекции амметропий: имплантация факичных ИОЛ или рефракционная замена хрусталика.

Разница показателя TBI, влияющего на выбор дальнейшей тактики, была выявлена в 7,5% (19/252) и не отображена в таблице, т.к. тактика ведения пациента определялась по глазу с худшими показателями.

Выводы:

1. Несмотря на постоянно совершенствующиеся методы диагностики, позволяющие выявлять кератоконус на доклинических стадиях, проблема раннего выявления рисков развития кератоконусов и отбора пациентов на ЛКЗ не теряет актуальности.

2. Современные приборы для оценки биомеханики роговицы позволяют более уверенно принимать решения при отборе пациентов на ЛКЗ и еще больше снизить риски развития вторичных эктазий.

3. Однако в связи с относительной новизной и отсутствием долгосрочных исследований по оценке эффективности новых подходов в ранней диагностике кератоконуса в повседневной работе стоит использовать комплексный подход, учитывая как данные биомеханического индекса и Шаймпфлюг томографии (TBI), так и данные Placido – топографии, ОКТ с картированием эпителия для всесторонней оценки состояния роговицы, а также шкалу ERSS для прогнозирования рисков развития эктазии после ЛКЗ. Требуется дальнейшее накопление и анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. T Seiler 1, A W Quirk. Iatrogenic keratectasia after LASIK in a case of forme fruste keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 1998;24(7):1007–9. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(98\)80057-6](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(98)80057-6)
2. T Seiler 1, K Koufala, G Richter. Iatrogenic keratectasia after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg.* 1998;14(3):312–7. <https://doi.org/10.3928/1081-597x-19980501-15>
3. J Bradley Randleman, MD; Maria Woodward, MD; Michael J. Lynn, MS; R. Doyle Stulting, MD, Ph.D. Risk Assessment for Ectasia after Corneal Refractive Surgery. *J. Ophthalmology.* 2007. <https://doi.org/10.1016/j.opthta.2007.03.073>
4. Nir Sorkin, Igor Kaiserman, Yuval Domniz, Tzahi Sela, Gur Munzer, and David Varssano. Risk Assessment for Corneal Ectasia following Photorefractive Keratectomy. *J Ophthalmol.* 2017; <https://doi.org/10.1155/2017/2434830>
5. Majid Moshirfar, corresponding, Alyson N. Tukan, Nour Bundogji, Harry Y. Liu, Shannon E. McCabe, Yasmyne C. Ronquillo, and Phillip C. Hoopes. Ectasia After Corneal Refractive Surgery: A Systematic Review. *Ophthalmol Ther.* 2021; 10(4): 753–776 <https://doi.org/10.1007/s40123-021-00383-w>
6. Renato Ambrósio Jr. Post-LASIK Ectasia: Twenty Yearsofa Conundrum. *Semin Ophthalmol.* 2019;34(2):66–68. <https://doi.org/10.1080/08820538.2019.1569075>
7. Ambrosio R Jr, Klyce SD, Wilson SE. Corneal topographic and pachymetric screening of keratorefractive patients. *J Refract Surg.* 2003;19(1):24–29. <https://doi.org/10.3928/1081-597x-20030101-05>
8. Randleman JB, Russell B, Ward MA, et al. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology.* 2003;110(2):267–275 [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(02\)01727-x](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(02)01727-x)
9. J Bradley Randleman, William B Trattler, R Doyle Stulting. Validation of the Ectasia Risk Score System for preoperative laser in situ keratomileusis screening. *J Ophthalmol.* 2008;145(5):813–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2007.12.033>
10. Ambrosio R Jr, Nogueira LP, Caldas DL, et al. Evaluation of corneal shape and biomechanics before LASIK. *Int Ophthalmol Clin.* 2011;51(2):11–38 <https://doi.org/10.1097/iio.0b013e31820f1d2d>
11. Marcony R Santhiago, Natalia T Giacomini, David Smadja, Samir J Bechara. Ectasia risk factors in refractive surgery. *Clin Ophthalmol.* 2016; 20:10:713–20. <https://doi.org/10.2147/opth.s51313>
12. Yaowen Song 1, Yi Feng, Min Qu, Qiuxia Ma, Huiqin Tian, Dan Li, Rui He. Analysis of the diagnostic accuracy of Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia and Corvis ST parameters for subclinical keratoconus. *Int Ophthalmol.* 2023;43(5):1465–1475. <https://doi.org/10.1007/s10792-022-02543-8>
13. Renato Ambrósio Jr, Bernardo T Lopes, Fernando Faria-Correia, Marcella Q Salomão, Jens Bühren, Cynthia J Roberts, Ahmed Elsheikh, Riccardo Vinciguerra, Paolo Vinciguerra. Integration of Scheimpflug-Based Corneal Tomography and Biomechanical Assessments for Enhancing Ectasia Detection. *J Refract Surg.* 2017;33(7):434–443. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20170426-02>
14. José Ferreira-Mendes, Bernardo T Lopes, Fernando Faria-Correia, Marcella Q Salomão, Sandra Rodrigues-Barros, Renato Ambrósio Jr. Enhanced Ectasia Detection Using Corneal Tomography and Biomechanics. *J Ophthalmol.* 2019;197:7–16. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.08.054>
15. Mingyue Zhang, Fengju Zhang, Yu Li, Yanzheng Song, Zhiqun Wang. Early Diagnosis of Keratoconus in Chinese Myopic Eyes by Combining Corvis ST with Pentacam. *Curr Eye Res.* 2020;45(2):118–123. <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1658787>

Заявление

Конфликт интересов: не заявлен.

Это исследование не получило какого-либо конкретного гранта от финансирующих агентств государственных, коммерческих или некоммерческих секторов.

Авторский вклад

Беликова Е. И. — научное редактирование

Перова Т. В. — разработка концепции и дизайна работы; сбор, анализ, интерпретация полученных данных; написание статьи.