

ХИРУРГИЯ РОГОВИЦЫ CORNEAL SURGERY

Научная статья
УДК 617.713-089
doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-26-35

Фемтолазерная интрастромальная имплантация роговичных сегментов с использованием цифрового разметочного устройства в хирургическом лечении кератоконуса

А.В. Терещенко, С.К. Демьянченко, Е.Н. Вишнякова

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал, Калуга

РЕФЕРАТ

Цель. Разработать технологию топографически ориентированного позиционирования интрастромальных сегментов при проведении фемтолазерной интрастромальной кератопластики (ИСКП) у пациентов с кератоконусом с применением цифрового разметочного устройства и оценить ее клиническую эффективность. **Материал и методы.** В исследование вошли 102 пациента (102 глаза) с кератоконусом II стадии по классификации Amsler – Krumeich. По виду проведенной операции пациенты были разделены на группы: основная группа (53 пациента (53 глаза) – фемтолазерная ИСКП с имплантацией сегментов из полиметилметакрилата (ПММА) проведена с применением цифрового разметочного устройства и с учетом угла циклоторсии; контрольная группа (49 пациентов (49 глаз) – фемтолазерная ИСКП с имплантацией сегментов из ПММА проведена стандартным способом (разметка геометрического центра роговицы по рефлексу Пуркенье – Сансона без учета циклоторсии). **Результаты.** Показатели индекса «успеха», расчетного вектора астигматизма, приближенного к фактическому послеоперационному, и меньшая величина вектора

разницы оси астигматизма подтверждали более высокую точность ИСКП с применением цифрового разметочного устройства по сравнению со стандартной. Средние значения НКОЗ и КОЗ через 12 месяцев после операции в основной группе составили $0,58 \pm 0,05$ и $0,80 \pm 0,04$ соответственно, а в группе контроля были на уровне $0,49 \pm 0,06$ и $0,68 \pm 0,05$ соответственно. После операции отмечалось статистически значимое снижение средних значений астигматизма: основная группа – через 3 месяца до $-1,8 \pm 0,15$ дптр ($p < 0,05$), через 6 месяцев – еще на $1,7 \pm 0,20$ дптр ($p < 0,05$); контрольная группа – через 3 месяца до $-2,43 \pm 0,17$ дптр ($p < 0,05$), через 6 месяцев – еще на $2,42 \pm 0,17$ дптр. **Заключение.** Предложенная оптимизированная методика ИСКП с использованием цифрового разметочного устройства обеспечивает прецизионное позиционирование сегментов при хирургическом лечении кератоконуса и позволяет получить более высокие показатели НКОЗ и КОЗ, а также корректировать роговичный астигматизм эффективнее, чем при применении стандартной методики.

Ключевые слова: хирургическое лечение кератоконуса, фемтолазерная интрастромальная имплантация роговичных сегментов, цифровое разметочное устройство ■

Для цитирования: Терещенко А.В., Демьянченко С.К., Вишнякова Е.Н. Фемтолазерная интрастромальная имплантация роговичных сегментов с использованием цифрового разметочного устройства в хирургическом лечении кератоконуса. Офтальмохирургия. 2022;4: 26–35. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-26-35

Автор, ответственный за переписку: Ирина Георгиевна Трифаненкова, nauka@eye-kaluga.com

ABSTRACT

Original article

Femtolaser intrastromal implantation of corneal segments using a digital marking device in the surgical treatment of keratoconus

A.V. Tereshchenko, S.K. Dem'yanchenko, Y.N. Vishnyakova

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Kaluga Branch, Kaluga, Russian Federation

Purpose. To develop a technology for topographically oriented positioning of intrastromal segments during femtolaser intrastromal keratoplasty (ISKP) in patients with keratoconus using a digital marking device and to evaluate its clinical efficacy. **Material and methods.**

The study included 102 patients (102 eyes) with stage II keratoconus according to the Amsler – Krumeich classification. According to the type of surgery performed, the patients were divided into groups: the main group (53 patients (53 eyes) – femtolaser ISKP with implantation

of polymethyl methacrylate (PMMA) segments was performed using a digital marking device and taking into account the cyclotorsion angle; control group (49 patients (49 eyes)) – femtolasер ISKP with implantation of PMMA segments was performed using the standard method (marking the geometric center of the cornea using the Purkenier – Sanson reflex without taking into account cyclotorsion).

Results. The indices of the «success» index, the calculated vector of astigmatism close to the actual postoperative one and a smaller value of the vector of the difference in the axis of astigmatism, confirmed the higher accuracy of ISKP with the use of a digital marker compared to the standard one. The mean values of visual acuity and best corrected visual acuity 12 months after surgery in the main group were 0.58 ± 0.05 and 0.80 ± 0.04 , respectively, and in the control group they were at

the level of 0.49 ± 0.06 and 0.68 ± 0.05 respectively. After the surgery, there was a statistically significant decrease in the mean values of astigmatism: the main group – after 3 months to -1.8 ± 0.15 diopters ($p < 0.05$), after 6 months – by another 1.7 ± 0.20 diopters ($p < 0.05$); the control group – after 3 months to -2.43 ± 0.17 diopters ($p < 0.05$), after 6 months – by another 2.42 ± 0.17 diopters. **Conclusion.** The proposed optimized ISKP technique with the use of a digital marking device provides precise positioning of segments during the surgical treatment of keratoconus and allows to obtain higher acuity of vision and best corrected visual acuity, as well as to correct corneal astigmatism more efficiently than using standard technique.

Key words: surgical treatment of keratoconus, femtolasер intrastromal implantation of corneal segments, digital marking device ■

For quoting: Tereshchenko A.V., Dem'yanchenko S.K., Vishnyakova Y.N. Femtolasер intrastromal implantation of corneal segments using a digital marking device in the surgical treatment of keratoconus. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2022;4: 26–35. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-26-35

Corresponding author: Irina G. Trifanenkova, nauka@eye-kaluga.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Кератоконус – прогрессирующее дистрофическое заболевание роговицы, в результате которого роговая оболочка истончается и принимает коническую форму, приводя к снижению остроты зрения. Процесс чаще всего проявляется в пубертатном периоде, прогрессирует до 3–4 декад жизни. Как правило, поражаются оба глаза [1].

Говоря о малоинвазивных методах хирургического лечения кератоконуса, необходимо особое внимание уделить технологии интрастромальной кератопластики (ИСКП). Впервые для лечения кератоконуса данную операцию применил J. Colin в 2000 г. [2, 3]. Имплантация сегментов в глубокие слои роговицы приводит к уплощению ее центральной эктазированной части, что клинически проявляется снижением сферического и цилиндрического компонентов рефракции, а сами сегменты выполняют «каркасную» роль «второго лимба» [4–7]. Помимо этого, имплантация интрастромальных роговичных сегментов (ИРС) приводит к регуляризации передней и задней поверхности роговицы и снижению показателей асимметричных аберраций: кома и подобные аберрации [8].

Технология ИСКП непрерывно развивается и совершенствуется. С 2009 г. для формирования интрастромальных тоннелей применяются фемтосекундные лазеры, которые в значительной степени упростили хирургическую процедуру, обеспечив высокую точность геометрии интрастромальных каналов и глубины их расположения [9, 10].

Однако на практике у некоторых пациентов отмечаются неудовлетворительные функциональные результаты. Ряд авторов сообщает, что пациенты с исходной корригированной остротой зрения (КОЗ), равной 0,6 и

выше, после имплантации ИРС в 36,29% случаев теряют 1 строчку в КОЗ, а 25,8% теряют 2 строчки и только в 37,9% отмечалось повышение зрения на 1 и более строк. У пациентов с исходной КОЗ 0,4 и ниже острота зрения повысилась в 82,85% случаев, потеря 1 строчки отмечалась в 10% случаев, а потеря 2 и более строк – лишь в 4,28% случаев. Кроме того, отмечено, что имплантация ИРС в ряде случаев приводит к увеличению показателей аберраций высокого порядка, приводящих к нарушениям зрительных функций [11–13]. Одной из возможных причин неудовлетворительных рефракционных результатов имплантации ИРС может являться некорректная топографическая ориентация интрастромальных сегментов внутри роговицы.

Согласно технологии проведения ИСКП сильная ось роговицы является важнейшим ориентиром. Вход в интрастромальный канал или каналы выполняется по сильной оси, интрастромальный сегмент или сегменты позиционируются вдоль сильной оси роговицы [14, 15]. При этом анализ литературных источников показывает, что разметка сильной оси роговицы при мануальной технологии ИСКП, как правило, проводится при помощи градуированного разметчика «Мендеса» непосредственно в операционной, без учета циклоторсии глаза [16, 17], а при использовании фемтосекундного лазера для его центрации рекомендуется проводить разметку только геометрического центра роговицы по рефлексу Пуркинье – Сансона без учета циклоторсии глаза [18].

Известно, что циклоторсионное движение может иметь важное клиническое значение, когда пациент подвергается рефракционной хирургии, потому что происходит смещение оси во время операции, что является причиной недостаточной коррекции или индукции астигматизма [19]. На сегодняшний день наиболее инновационным и точным методом маркировки роговицы является цифровая с применением цифровых раз-

меточных систем, таких как Verion Image Guided System (Alcon, США).

Анализ отечественной и зарубежной литературы выявил отсутствие данных по применению цифровых разметочных устройств в технологии разметки роговицы при ИСКП, а также отсутствуют работы, описывающие в сравнительном аспекте клинично-функциональные результаты после проведения ИСКП с учетом циклоторсии и без учета циклоторсии глаза. Применительно к интрастромальной кератопластике у пациентов с кератоконусом вопрос прецизионного позиционирования роговичных сегментов остается открытым.

В целом, несмотря на то, что ИСКП доказывает свою эффективность, недостаточная прогнозируемость и предсказуемость функционального результата операции, а также отсутствие алгоритма прецизионного интраоперационного позиционирования сегментов в точном соответствии с предоперационным расчетом требуют ее дальнейшего совершенствования. Эти нерешенные вопросы и обусловили актуальность проведения данного исследования.

ЦЕЛЬ

Разработать технологию топографически ориентированного позиционирования интрастромальных сегментов при проведении фемтолазерной интрастромальной кератопластики у пациентов с кератоконусом с применением цифрового разметочного устройства и оценить ее клиническую эффективность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Клинично-функциональные результаты проанализированы на основе хирургического лечения 102 пациентов (102 глаз) с кератоконусом II стадии по классификации Amsler – Krumeich.

По виду проведенной операции пациенты были разделены на группы. В основную группу были включены 53 пациента (53 глаза), которым фемтолазерная ИСКП с имплантацией сегментов из полиметилметакрилата (ПММА) была проведена с применением цифрового разметочного устройства Verion™ Image Guided System (Alcon, США) и с учетом угла циклоторсии. В контрольную группу сравнения вошли 49 пациентов (49 глаз), которым фемтолазерная интрастромальная кератопластика с имплантацией сегментов из ПММА была проведена стандартным способом (разметка геометрического центра роговицы по рефлексу Пуркенье – Сансона без учета циклоторсии). Основные клинично-демографические характеристики обеих групп были сходными.

Всем пациентам до и после операции проводили стандартное офтальмологическое обследование (визометрия, авторефрактометрия, тонометрия, биомикро-

скопия) и специальные методы исследования (компьютерная кератотопография роговицы, анализ элевационных карт и анализ роговичных аберраций – на сканирующем проекционном топографе Pentacam HR (Oculus Optikgerate GmbH, Германия), оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза и пахиметрия роговицы выполнялась на топографе Avanti RTVue – XR (Optovue Inc., США), эндотелиальная микроскопия роговицы – на приборе Torscon (Япония). Регистрация «опорных» структур глазного яблока с целью получения цветного «опорного» изображения высокого разрешения с отображением роговицы, сосудов склеры, границы лимба и радужной оболочки осуществлялась на офтальмологической диагностической навигационной системе Verion Image Guided System (Alcon, США) в положении сидя. По завершении фоторегистрации на операционном модуле определяли наличие циклоторсии и ее величину.

Технология прецизионного топографически ориентированного позиционирования интрастромальных сегментов с учетом циклоторсии с применением цифрового разметочного устройства (основная группа)

После завершения фоторегистрации на операционном модуле хирургическим маркером отмечали на роговице пациента ось вреза, ориентируясь на проекционные метки в окулярах микроскопа LuxOR® LX3 (Alcon, США). Далее проводили аппланацию головки фемтосекундного лазера на роговицу пациента. По изображению на мониторе фемтосекундного лазера оценивали соответствие метки оси вреза на роговице пациента и оси вреза ФС лазера, проецируемой ФС лазером на реальное изображение роговицы пациента. В случае несовпадения в ручном режиме производили ротацию шаблона интрастромальных каналов ФС лазера по или против часовой стрелки таким образом, чтобы метки на роговице пациента, соответствующие реальному местоположению планируемой оси вреза, совпали с осью вреза на шаблоне интрастромального канала ФС лазера (рис. 1).

Формирование интрастромального роговичного тоннеля проводили с помощью фемтосекундного лазера Femto LDV Z8 (Ziemer, Швейцария). Имплантация сегмента в сформированный канал осуществлялась при помощи пинцета Brown и крючка Sinsky. Позиционирование осуществлялось с ориентацией на проекционную метку согласно предоперационному расчету (рис. 2).

Операцию завершали закапыванием 0,3% раствора ципромеда в конъюнктивальную полость.

Стандартный метод ИСКП в контрольной группе включал следующие этапы: мануальная разметка хирургическим маркером геометрического центра роговицы по рефлексу Пуркенье – Сансона, формирование интрастромального канала с использованием ФСЛ Femto LDV Z8, имплантация отечественных интрастромальных сегментов из ПММА. По завершении операции в конъюнктивальную полость закапывали 0,3% раствор ципромеда.

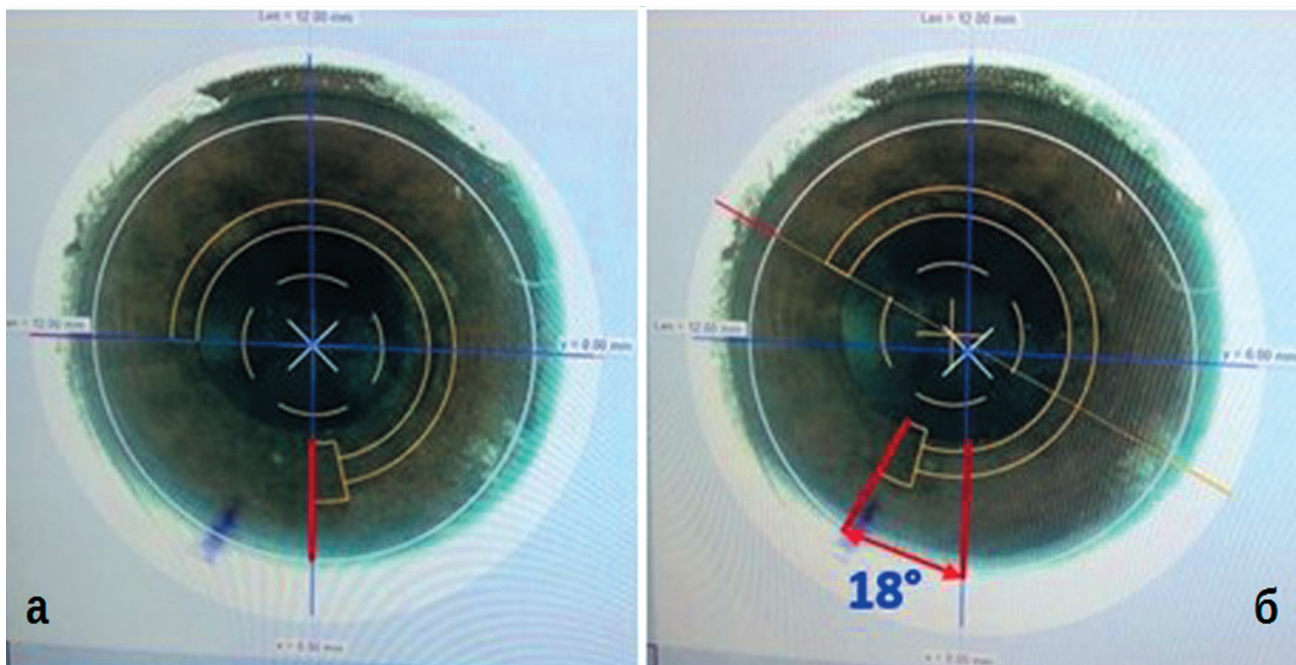


Рис. 1. Этапы коррекции местоположения зоны вреза фемтосекундного лазера: а) шаблон интрастромального канала центрирован относительно центра зрачка, зона вреза не совпадает с интраоперационной разметкой; б) шаблон интрастромального канала центрирован относительно центра зрачка, зона вреза совпадает с интраоперационной разметкой, угол ротации шаблона интрастромального канала составляет 18°

Fig. 1. Stages of femtosecond laser incision correction zone: а) pattern of the intrastromal canal is centered according to the center of pupil, the incision area does not coincide with the intraoperative marking; б) pattern of the intrastromal canal is centered according to the center of the pupil, the incision zone coincides with the intraoperative marking, the angle of intrastromal canal rotation is 18°

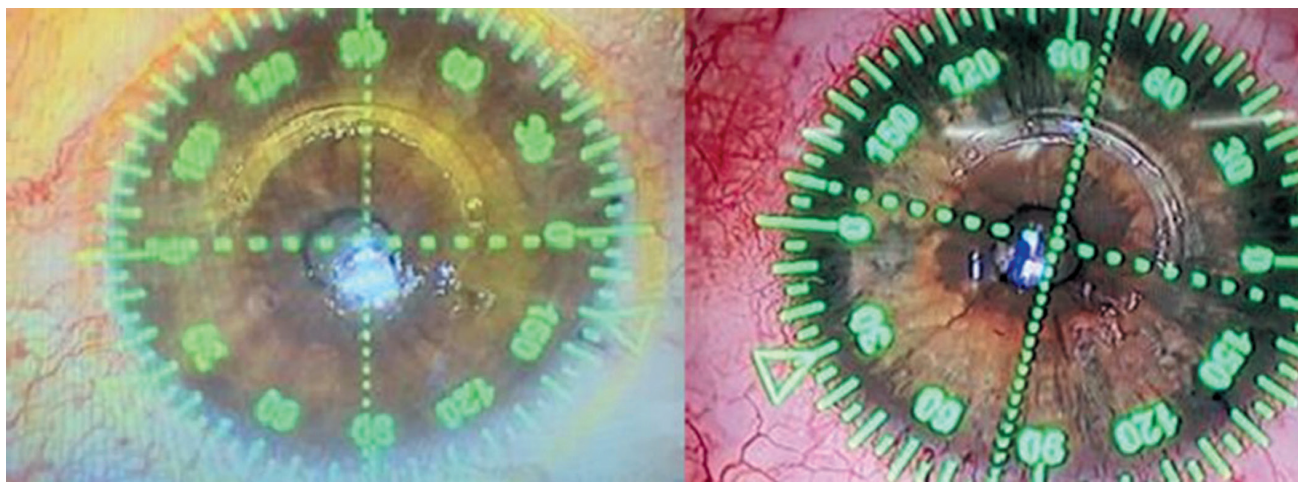


Рис. 2. Прецизионное позиционирование интрастромального роговичного сегмента в интрастромальном канале под контролем проекционной метки

Fig. 2. Precise positioning of the intrastromal corneal segments in the intrastromal canal under the control of the projection mark

Динамику основных показателей в 2-х исследуемых группах оценивали в 3, 6 и 12 месяцев.

Для оценки качества коррекции роговичного астигматизма применяли векторный анализ астигматической коррекции по N. Alpins (VECTrAK).

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы STATISTICA 13.3 («StatSoft», США). Статистически значимыми считались различия данных и корреляция между данными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На дооперационном этапе было выявлено, что в основной группе НКОЗ была статистически значимо ниже, чем в группе контроля ($p < 0,05$), и составляла $0,23 \pm 0,05$ и $0,38 \pm 0,04$ соответственно, показатели КОЗ не имели статистически значимой разницы между группами. Сферический эквивалент рефракции составлял $5,21 \pm 0,07$ дптр в основной группе и $5,20 \pm 0,07$ дптр в контрольной группе; цилиндрический компонент рефракции – $5,81 \pm 1,12$ дптр в основной группе и $5,21 \pm 1,24$ дптр в контрольной. Средняя величина кератометрии (K1, K2) до операции значимо не отличалась в двух исследуемых группах: в основной группе: K1 – $47,5 \pm 3,2$ дптр, K2 – $53,1 \pm 4,4$ дптр; в контрольной: K1 $47,2 \pm 3,7$ дптр, K2 – $53,6 \pm 4,2$ дптр. Показатель центральной пахиметрии, по данным Avanti RTVue – XR, в среднем в группах исследования до операции составил: в основной – 452 ± 27 мкм, в контрольной – 453 ± 17 мкм. Результаты предоперационной диагностики соответствовали кератоконусу 2-й стадии.

Наличие статической циклоторсии было выявлено у всех пациентов обеих групп. В основной группе в 23% случаев отмечалась эксциклоторсия и 77% случаев была зафиксирована инциклоторсия. В контрольной группе эксциклоторсия была определена в 21% случаев, а инциклоторсия – в 79% случаев соответственно. Значения статической циклоторсии для основной группы варьировали от 1° до 12° и в среднем составили $6,16^\circ \pm 1,31^\circ$, в группе контроля статическая циклоторсия варьировала от 2° до $+11^\circ$ и в среднем составила $6,30^\circ \pm 1,36^\circ$. Данные по статической циклоторсии были сопоставимы между группами и не имели статистически значимой разницы.

Интраоперационных осложнений в обеих группах исследования не наблюдали.

При аппланации ФС лазера на коническую роговицу было выявлено наличие динамической циклоторсии в обеих группах.

В основной группе динамическая циклоторсия оценивалась в ходе оперативного вмешательства и компенсировалась путем ротации проекции шаблона интрастромального канала в программе ФС лазера. При этом ротация верхнего полюса глаза в 89% случаев происходила в височную сторону и 11% случаев – в сторону носа. Выраженность индуцированного аппланацией ФС лазера ротационного смещения глазного яблока варьировала от 2° до 18° и в среднем составила $8,7 \pm 2,64^\circ$.

В группе контроля динамическая циклоторсия оценивалась в послеоперационном периоде с использованием навигационного модуля Verion непосредственно после определения статической циклоторсии на операционном модуле цифрового разметочного устройства. Проекционная метка сильной оси устанавливалась на зону входа в интрастромальный канал. Разница между фактической осью местоположения зоны вреза в интрастромальный канал и расчетным значением оси зоны вре-

за отражала суммарную ошибку, связанную с наличием статической и динамической циклоторсии. Суммарная ошибка местоположения зоны вреза варьировала от 1° до 27° и в среднем составила $8,2^\circ \pm 3,88^\circ$. При равнонаправленном характере статической циклоторсии и суммарного отклонения зоны вреза динамическая циклоторсия определялась как разница между суммарным отклонением и статической циклоторсией, при разнонаправленном характере статической циклоторсии и суммарного отклонения зоны вреза динамическая циклоторсия определялась как сумма между суммарным отклонением и статической циклоторсией. Было определено, что динамическая циклоторсия в группе контроля варьировала от 1° до 17° , при этом в 4 (11,4%) случаях было определено отклонение местоположения сегмента на 15° и более градусов.

В основной группе позиционирование сегментов производилось с использованием проекционной разметки роговицы с прецизионной точностью с учетом статической циклоторсии и индуцированного аппланацией ФС лазера ротационного смещения глазного яблока. В послеоперационном периоде положение сегментов было стабильным и соответствовало предоперационному расчету.

В группе контроля сегменты также находились в стабильном положении, но топографическая ориентация в 71% случаев не соответствовала предоперационным расчетам. Отклонение оси местоположения сегмента от предоперационного расчета варьировало от 1° до 26° и в среднем составило $9,1^\circ \pm 3,53^\circ$.

В послеоперационном периоде средние значения НКОЗ и КОЗ были статистически достоверно выше, чем до операции в каждой группе ($p < 0,05$). Средние значения НКОЗ и КОЗ через 12 месяцев после операции в основной группе составили $0,58 \pm 0,05$ и $0,80 \pm 0,04$ соответственно, а в группе контроля НКОЗ и КОЗ через 12 месяцев после операции были на уровне $0,49 \pm 0,06$ и $0,68 \pm 0,05$ соответственно, при этом статистически значимая разница в результатах между группами отсутствовала ($p > 0,05$).

Динамика КОЗ до и после операции в основной и контрольной группах представлена в *таблицах 1 и 2*.

Анализ динамики КОЗ в послеоперационном периоде показал, что в основной группе не было отмечено потери строчек в послеоперационном периоде, тогда как в группе контроля в 28,7% случаев отмечалась потеря 1 строчки, в 7,1% случаев – потеря 2 строчек и в 7,1% случаев – потеря 3 строчек. Повышение КОЗ после операции на 0,5 было отмечено в 18,2% случаев в основной группе против 7,1% случаев в группе контроля.

Во всех случаях снижения НКОЗ и КОЗ в послеоперационном периоде в группе контроля отклонение местоположения интрастромального сегмента превышало 15° .

Величина астигматизма в основной группе варьировала от $-1,0$ до $-6,5$ дптр и составляла в среднем – $5,81 \pm 1,12$ до операции. Величина астигматизма в контрольной

Таблица 1

Динамика КОЗ до и после операции в основной группе

Table 1

Dynamics of BCVA before and after surgery in the main group

Величина (по модулю) динамики КОЗ The quantity (module) dynamics of BCVA	С отрицательной динамикой КОЗ, % With negative dynamics of BCVA, %	Без динамики КОЗ, % Without dynamics BCVA,%	С положительной динамикой КОЗ, % With positive dynamics of BCVA,%
0	–	27,3	–
0,1	–	–	9,1
0,2	–	–	9,1
0,3	–	–	9,1
0,4	–	–	18,2
0,5	–	–	18,2

Таблица 2

Динамика КОЗ до и после операции в группе контроля

Table 2

Dynamics of BCVA before and after surgery in the control group

Величина (по модулю) динамики КОЗ The quantity (module) dynamics of BCVA	С отрицательной динамикой КОЗ, % With negative dynamics of BCVA, %	Без динамики КОЗ, % Without dynamics BCVA, %	С положительной динамикой КОЗ, % With positive dynamics of BCVA,%
0	–	21,5	–
0,1	28,7	–	14,3
0,2	7,1	–	7,1
0,3	7,1	–	7,1
0,5	–	–	7,1

группе до операции составляла в среднем $5,21 \pm 1,24$ ($p > 0,05$). После операции у пациентов основной группы отмечалось статистически значимое снижение средних значений астигматизма через 3 месяца до $-1,8 \pm 0,15$ дптр ($p < 0,05$), через 6 месяцев – еще на $1,7 \pm 0,20$ дптр ($p < 0,05$) и далее не менялась до конца периода наблюдения. После операции у пациентов контрольной группы отмечалось статистически значимое снижение средних значений астигматизма через 3 месяца до $-2,43 \pm 0,17$ дптр ($p < 0,05$), через 6 месяцев – еще на $2,42 \pm 0,17$ дптр и далее не менялась до конца периода наблюдения, что достоверно больше, чем в основной группе ($p < 0,05$).

При кератотометрии были выявлены следующие величины: средняя дооперационная величина K1 в основной группе составляла $47,5 \pm 3,2$ дптр, K2 – $53,1 \pm 4,4$ дптр. Аналогичные значения были в группе контроля ($p > 0,05$). Отмечали уменьшение кератометрических показателей

со стабилизацией в сроки от 3-х до 6-ти месяцев. Однако в основной группе отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля снижение показателя K1 к сроку 3 месяца.

Анализ интегральных показателей коррекции астигматизма с применением векторного анализа по N.Alpins у пациентов основной и контрольной группы показал наличие отрицательных показателей величины ошибки до $-0,41$ и индекс коррекции меньше 1,0 (0,33) в группе контроля, что свидетельствовало о явной гипокоррекции астигматизма, а средний индекс «успеха» по группе был равен 0,76, в отличие от основной группы, где среднее значение индекса «успеха» составило 0,44 (табл. 3, 4).

Полученные данные достоверно свидетельствовали о значительно более высокой точности ИСКП с применением цифрового разметочного устройства по сравне-

Таблица 3

Векторные показатели коррекции астигматизма у пациентов основной и контрольной групп

Table 3

Vector indicators of astigmatism correction in patients of the main and control groups

Показатель Indicator	M		m ¹		min		max	
	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group
TIA (дптр) TIA (diopters)	-0,72	-0,89	0,38	0,40	-1,75	-2,25	0,75	1,25
Ось TIA (град) TIA axis (degrees)	112,2	132,2	70,5	80,9	3	5	180	179
SIA (дптр) SIA (diopters)	-0,81	-0,57	0,42	0,21	-1,75	-2,75	0,5	1,0
Ось SIA (град) SIA axis (degrees)	95,6	78,1	38,7	33,2	2	0	173	177
DV (дптр) DV (diopters)	0,17	0,31	0,05	0,09	0,1	0,06	0,17	0,61
Ось DV Axis DV	93	17	35,5	74,3	8	4	171	179

Таблица 4

Интегральные показатели коррекции астигматизма у пациентов основной и контрольной групп

Table 4

Integral indicators of astigmatism correction in patients of the main and control groups

Показатель Indicator	M		m ¹		min		max	
	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group
Угол ошибки Error angle	0,74	0,52	4,91	2,68	-9,24	-7,84	8,35	6,15
Величина ошибки Error size	0,08	-0,41	0,46	0,17	-0,89	-2,14	1,1	0,62
Индекс коррекции SIA / TIA SIA / TIA correction index	1,12	0,33	0,13	0,08	0,99	0,27	1,33	0,82
Индекс успеха IOS DV / TIA IOS DV / TIA Success Index	0,44	0,76	0,16	0,11	0,02	0,18	0,44	0,75

нию со стандартной ИСКП, что подтверждалось достигнутыми показателями индекса «успеха», расчетного вектора астигматизма, приближенного к фактическому послеоперационному, меньшей величиной вектора разницы оси астигматизма.

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние торсионных движений глаз на результаты рефракционной хирургии изучается с середины

XX века [20]. В связи с тем, что лазерная рефракционная хирургия базируется на точности проведенных дооперационных измерений, циклоторсионное движение может иметь важное клиническое значение, потому что смещение оси во время операции может стать причиной недостаточной коррекции или индукции астигматизма [19].

Необходимость точной разметки осей и меридианов на роговице стала очевидна с внедрением в клиническую практику хирургии катаракты торических интраокулярных линз (ИОЛ), а затем лимбальных послабляющих разрезов для устранения роговичного астигматизма. На сегодняшний день наиболее точным методом маркировки роговицы является цифровой с применением цифровых разметочных систем, таких как Verion Image Guided System (Alcon, США). И многочисленные мировые исследования подтверждают это заключение. Так, A. Elhofi, H. Helaly в 2015 г. сравнили клинические результаты цифровой и мануальной маркировки при имплантации торической ИОЛ [21]. Проведенное ими проспективное клиническое исследование включало 60 глаз (60 пациентов) с сопутствующим роговичным астигматизмом более 1 D. Глаза были случайным образом распределены в две группы: цифровая маркировка посредством системы Verion и мануальная разметка под щелевой лампой с помощью прикрепленного к маятнику маркера. В результате проведенной работы был сделан вывод о том, что система Verion имеет преимущество в предоперационном планировании и интраоперационной цифровой разметке, поскольку демонстрировала меньшее послеоперационное отклонение от ТПА и меньшую послеоперационную ошибку положения торических ИОЛ.

Группа авторов из нескольких офтальмологических центров Китая, Тайваня и США (2017) провели ретроспективное сравнительное исследование с целью анализа циклоторсии при использовании трех методов маркировки роговицы: цифрового с применением системы Verion, маркировки посредством горизонтального луча щелевой лампы и субъективной прямой визуальной маркировки на операционном столе (с использованием наконечника конического ножа) [22].

В указанное исследование был включен 61 пациент (81 глаз) (средний возраст составил $65,70 \pm 13,14$ лет), перенесший плановую операцию по удалению катаракты. В результате было установлено, что метод субъективной маркировки демонстрировал большую среднюю относительную циклоторсию ($-3,46^\circ \pm 7,32^\circ$, диапазон от -18° до 13°) по сравнению с маркировкой под щелевой лампой ($0,41^\circ \pm 4,92^\circ$, диапазон от -10° до 10°). Кроме того, среднее смещение оси по вертикали было значительно меньше в группе, где выполняли маркировку под щелевой лампой, по сравнению с группой, где проводили субъективную маркировку ($t=4,179$, $P<0,001$). Авторы пришли к заключению, что и маркировка роговицы под щелевой лампой, и, тем более, субъективная мар-

кировка, уступают в точности Verion-ассистированной, исключая погрешности в разметке при имплантации торической ИОЛ.

T. Cornut с соавт. (2018) провели проспективное исследование с целью сравнить точность позиционирования торической ИОЛ и рефракционные результаты рефракции при маркировке посредством интраоперационной автоматизированной цифровой системы и стандартной маркировки чернилами [23]. Средний дооперационный астигматизм составил $1,71 \pm 0,53$ D. В течение одного месяца наблюдалась достоверно более низкая средняя ошибка по оси торической ИОЛ в группе с цифровой маркировкой по сравнению со стандартной ($2,6 \pm 2,3^\circ$ и $6,4 \pm 2,8^\circ$ соответственно, $P=0,009$). Частота отклонения положения оси менее или равной 5° составила 86% ($n=25$) при цифровой разметке и 63% ($n=20$) при стандартной ($P=0,05$). Авторы заключили, что интраоперационная цифровая маркировка обеспечивает более точное положение торической ИОЛ и лучшую воспроизводимость.

H. Lin с соавт. (2019) изучали возможности системы Verion для предотвращения циклоторсии в ходе фемтосекундной лазерной хирургии катаракты [24]. В исследование были включены 24 пациента, перенесших операцию по удалению катаракты. Было показано, что использовать систему Verion позволяет эффективно нейтрализовать циклоторсию в среднем на $8,08^\circ$ по часовой стрелке и $2,66^\circ$ против часовой стрелки. Авторы пришли к выводу, что предлагаемый ими метод позволяет повысить точность выполнения аркуатных разрезов и позиционирования торических ИОЛ для коррекции астигматизма.

В подавляющем большинстве литературных источников, посвященных исследованию циклоторсии и её негативного влияния на результаты рефракционной хирургии, рассматриваются вопросы коррекции астигматизма путем имплантации торических интраокулярных линз, а также путем проведения эксимерлазерной и фемтолазерной коррекции зрения (LASIK, SMILE), в то время как вопросы компенсации циклоторсии и иных ротационных движений глаза в ходе фемтолазерной интрастромальной кератопластики освещены недостаточно.

В рамках данной работы клинико-функциональные результаты, полученные в группе контроля, где фемтолазерная интрастромальная кератопластика с имплантацией сегментов из ПММА была проведена стандартным способом (разметка геометрического центра роговицы по рефлексу Пуркенье – Сансона без учета циклоторсии), соответствовали данным отечественных и зарубежных авторов [2, 8, 9, 25–27]. Тогда как данные, полученные в группе, где фемтолазерная ИСКП с имплантацией сегментов из ПММА была проведена с применением цифрового разметочного устройства Verion™ Image Guided System (Alcon, США) и учетом угла циклоторсии, достоверно свидетельствовали о значительно более высокой точности ИСКП с применением цифрового раз-

меточного устройства по сравнению со стандартной ИСКП, что подтверждалось достигнутыми показателями индекса «успеха», расчетного вектора астигматизма, приближенного к фактическому послеоперационному, меньшей величиной вектора разницы оси астигматизма [28, 29]. Этот факт доказывает высокую эффективность разработанной технологии с применением цифрового разметочного устройства в лечении кератоконуса при проведении фемтолазерной интрастромальной кератопластики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенная оптимизированная методика ИСКП с использованием цифрового разметочного устройства обеспечивает прецизионное позиционирование сегментов в хирургическом лечении кератоконуса за счет того, что:

- производится определение величины циклоторсии глаза пациента, которая учитывается при интраоперационной разметке входа в интрастромальный канал;
- после докинга фемтосекундного лазера производится сопоставление между запланированной в предоперационном расчете и фактической, полученной после центрации фемтолазера, осью вреза, что компенсирует общую циклоторсию и исключает ошибку в положении оси вреза, а следовательно, исключает возможность ошибочного позиционирования сегмента;
- позиционирование интрастромального сегмента производится с учетом циклоторсии по проекционной метке, соответствующей положению края сегмента согласно предоперационному расчету и проксимального края сегмента;
- проведение вмешательства с использованием проекционной разметки роговицы в режиме реального времени позволяет имплантировать ИРС в точном соответствии с предоперационным расчетом и осуществлять объективный контроль на всех этапах операции.

Предложенная оптимизированная методика ИСКП с использованием цифрового разметочного устройства обеспечила более высокие показатели некорригированной и корригированной остроты зрения, а также позволила корригировать роговичный астигматизм эффективнее, чем при применении стандартной методики.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Davidson AE, Hayes S, Hardcastle AJ, Tuft SJ. The pathogenesis of keratoconus. *Eye (Lond)*. 2014;28(2): 189–195. doi: 10.1038/eye.2013.278
2. Colin J, Cochener B, Savary G, Malet F. Correcting keratoconus with intracorneal rings. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26(8): 1117–1122. doi: 10.1016/s0886-3350(00)00451-x
3. de Sanctis U, Lavia C, Nassisi M, D'Amelio S. Kerating intrastromal segment depth measured by spectral-domain optical coherence tomography in eyes with keratoconus. *J Ophthalmol*. 2017;43(13): 78–84. doi: 10.1155/2017/4313784
4. Измайлова С.Б., Малиugin Б.Э., Пронкина С.А., Мерзлов Д.Е., Поручикова Е.П. Тактика лечения и исходы осложнений имплантации роговичных сегментов при кератектазиях различного генеза. *Офтальмохирургия*. 2014;2: 16–23. [Izmailova SB, Malyugin BE, Pronkina SA, Merzlov DE, Poruchikova EP. Treatment tactics

and outcomes of complications in implantation of corneal segments for keratectasia of various genesis. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2014;(2): 16–23. (In Russ.)]

5. Малиugin Б.Э., Измайлова С.Б., Авраменко С.А., Мерзлов Д.Е. Лечение парацентральных кератектазий различного генеза методом интрастромальной кератопластики с имплантацией роговичного сегмента в зону наибольшей эктазии. *Офтальмохирургия*. 2011;4: 16–22. [Malyugin BE, Izmaylova SB, Avramenko SA, Merzlov DE. Treatment of paracentral keratectasia of various genesis by method of intrastromal keratoplasty with corneal segment implantation into the area of maximal corneal ectasia. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2011;4: 16–22. (In Russ.)]
6. Park SE, Tseng M, Lee JK. Effectiveness of intracorneal ring segments for keratoconus. *Curr Opin Ophthalmol*. 2019;30(4): 220–228. doi: 10.1097/ICU.0000000000000582
7. Giacomini NT, Mello GR, Medeiros CS, Kiliç A, Serpe CC, Almeida HG, Newton K-J, Santhiago MR. Intracorneal ring segments implantation for corneal ectasia. *J Refract Surg*. 2016;32(12): 829–839. doi: 10.3928/1081597X-20160822-01
8. Vega-Estrada A, Alio JL, Brenner LF, Javaloy J, Plaza PAB, Barraquer RI, Teus MA, Murta J, Henriques J, Uceda-Montanes A. Outcome analysis of intracorneal ring segments for the treatment of keratoconus based on visual, refractive, and aberrometric impairment. *Am J Ophthalmol*. 2013;155(3): 575–584. doi: 10.1016/j.ajo.2012.08.020
9. Маслова Н.А. Фемтолазерная интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичных сегментов в лечении пациентов с кератоконусом. Дис. ...канд. мед. наук М.; 2012. [Maslova NA. Femtolaser intrastromal keratoplasty with implantation of corneal segments in the treatment of patients with keratoconus. [Dissertation]. M.; 2012. (In Russ.)]
10. Измайлова С.Б. Медико-технологическая система хирургического лечения прогрессирующих кератектазий различного генеза. Дис. ...д-ра мед. наук М.; 2014. [Izmaylova SB. Medical and technological system of surgical treatment of progressive keratectasias of various genesis. [Dissertation]. M.; 2014. (In Russ.)]
11. Vega-Estrada A, Jorge L, Alio JL. The use of intracorneal ring segments in keratoconus. *Eye Vis (Lond)*. 2016;3(3): 8. doi: 10.1186/s40662-016-0040-z
12. Piñero DP, Alio JL, Kady BE, Coskunseven E, Morbelli H, Uceda-Montanes A, Maldonado MJ, Cuevas D, Pascual I. Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology*. 2009;116(9): 1675–1687. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.05.016
13. Chalisa MR, Krueger RR. Wavefront aberrations associated with the Ferrara intrastromal corneal ring in a keratoconic eye. *J Refract Surg*. 2004;20(6): 823–830. doi: 10.3928/1081-597X-20041101-11
14. Tourquet L, Ferrara P. Corneal asphericity changes after implantation of intrastromal corneal ring segments in Keratoconus. *J Emmetropia*. 2010;1: 178–181.
15. Renesto ADC, Hirai FE, Campos M. Refractive and visual outcomes after Ferrara corneal ring segment implantation at a 60% depth in keratoconic eyes: case series. *Arq Bras Oftalmol*. 2019;82(6): 488–494. doi: 10.5935/0004-2749.20190091
16. Tunc Z, Helvacioğlu F, Sencan S, Tunc Z. Evaluation of intrastromal corneal ring segments for treatment of post-lasik ectasia patients with a mechanical implantation technique. *Indian J Ophthalmol*. 2011;59(6): 437–443. doi: 10.4103/0301-4738.86310
17. De Freitas J, Paranhos S, Pereira Avila M, Schor P. Visual perception changes and optical stability after intracorneal ring segment implantation: comparison between 3 months and 1 year after surgery. *Clin Ophthalmol*. 2011;5: 1057–1062. doi: 10.2147/OPTH.S23147
18. Mounir A, Radwan G, Farouk MM, Engy MM. Femtosecond-assisted intracorneal ring segment complications in keratoconus: from novelty to expertise. *Clin Ophthalmol*. 2018;22(12): 957–964. doi: 10.2147/OPTH.S166538
19. Guirao A, Williams DR, Cox IG. Effect of rotation and translation on the expected benefit of an ideal method to correct the eye's higher-order aberrations. *J Opt Soc Am A Pt Image Sci Vis*. 2001;18: 1003–1015. doi: 10.1364/josaa.18.001003
20. Mosquera SA. Effects of torsional movements in refractive procedures. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(8): 1752–1766. doi: 10.1364/josaa.18.001003
21. Elhofi A, Helaly H. Comparison between digital and manual marking for toric intraocular lenses: a randomized trial. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(38): 16–18. doi: 10.1097/MD.0000000000001618
22. Hung-Yuan L, Yi-Ting F, Ya-Jung C, Karlin JN, Hsin-Yang C, Szu-Yuan L, Pi-Jung L, Ming C. A comparison of three different corneal marking methods used to determine cyclotorsion in the horizontal meridian. *Clin Ophthalmol*. 2017;8(11): 311–315. doi: 10.2147/OPTH.S124580
23. Cornut T, Touboul D, Rouglan S, Tellouck L, Tellouck J, Korobelnik JF, Schweitzer C. Refractive outcomes and precision in toric intraocular lens alignment using an automated alignment system. *J Fr Ophtalmol*. 2018;41(4): 291–301. doi: 10.1016/j.jfo.2017.09.012
24. Hung-Yuan L, Ya-Jung C, Pi-Jung L, Yi-Ju H. Novel method for preventing cyclotorsion in Ziemer Femto LDV Z8 femtosecond laser-assisted cataract surgery with Verion image-guided system. *Clin Ophthalmol*. 2019;20(13): 415–419. doi: 10.2147/OPTH.S177219
25. Мирсаитова Д.Р., Титов А.В. Анализ первых результатов имплантации интрастромальных роговичных сегментов с фемтосекундным сопровождением у пациентов с кератоконусом. Современные технологии в офтальмологии. 2019;3(28): 140–143. [Mirsaitova DR, Titov AV. Analysis of the first results of implantation of intrastromal corneal segments with femtosecond support in patients with keratoconus. *Modern technology in ophthalmology*. 2019;3(28): 140–143. (In Russ.)]
26. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Силицын М.В. Анализ отдалённых клинико-функциональных результатов имплантации интрастромальных колец по оптимизированной и стандартной технологиям с применением фемтосекундного лазера у пациентов. Современные технологии в офтальмологии. 2017;5: 24–27. [Pashayev NP, Pozdeyeva NA, Sinityn MV. Analysis of long-term clinical and functional results of implantation of intrastromal rings using optimized and standard technologies using femtosecond laser in patients. *Modern technology in ophthalmology*. 2017;5: 24–27. (In Russ.)]
27. Fernández-Vega LC, Carlos L, Madrid-Costa D, Merayo-Llloves J, Alfonso JF. Long-term follow-up of intrastromal corneal ring segments in paracentral keratoconus with coincident corneal keratometric, comatic, and refractive axes: stability of the

procedure. J Ophthalmol. 2017;40(5): 802–806. doi: 10.1155/2017/4058026

28. Alpíns N. Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism. J Refract Surg. 2001;17(6): 705–707.

29. Alpíns N. Astigmatism analysis by the Alpíns method. J Cataract Refract Surg. 2001;27(1): 31–49. doi: 10.1016/s0886-3350(00)00798-7

Информация об авторах:

Александр Владимирович Терещенко, д.м.н., klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Сергей Константинович Демьянченко, к.м.н., врач-офтальмолог высшей категории, demyan.78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0839-2876>

Екатерина Николаевна Вишнякова, врач-офтальмолог, ven050982@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3629-5077>

Information about the authors

Alexander V. Tereshchenko, MD, klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Sergey K. Dem'yanchenko, PhD in Medicine, Ophthalmologist of the highest category, demyan.78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0839-2876>

Ekaterina N. Vishnyakova, Ophthalmologist, ven050982@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3629-5077>

Вклад авторов в работу:

А.В. Терещенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

С.К. Демьянченко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Е.Н. Вишнякова: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка

ка данных, написание текста.

Authors' contribution:

A.V. Tereshchenko: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

S.K. Dem'yanchenko: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing, editing, final approval of the version to be published.

E.N. Vishnyakova: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Получено.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: Accepted.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 24.04.2022

Переработана: 25.06.2022

Принята к печати: 11.10.2022

Originally received: 24.04.2022

Final revision: 25.06.2022

Accepted: 11.10.2022