

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАДКОСТИ АБЛЯЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РОГОВИЦЕ КРОЛИКА ПРИ РАБОТЕ ЭКСИМЕРЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК «МИКРОСКАН-ВИЗУМ» И «МИКРОСКАН-ЦФП»

Г. Ф. Качалина, Н. Х. Тахчиди ✉

Научно-клинический отдел офтальмологии,
Научно-клинический центр оториноларингологии, Москва

Эксимерные лазеры используют в офтальмологии для лечения различных аномалий рефракции. Качество работы эксимерлазерной установки можно оценить по нескольким критериям: гладкости формируемой ею абляционной поверхности роговицы, соответствию диаметра полученной оптической зоны полной коррекции диаметру расчетной оптической зоны и нагреву роговицы в процессе операции. В статье представлены результаты оценки трех российских эксимерлазерных установок: «МикроСкан-ЦФП 100 Гц», «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц» («Оптосистемы»). Гладкость абляционной поверхности, которую формировали десятикратно для каждого лазера на пластинах полиметилметакрилата, имитируя операцию коррекции миопии в 3,0 дптр и задавая диаметр оптической зоны в 6 мм и диаметр переходной зоны — в 2,3 мм для «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» и в 1,9 мм для «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц», измеряли с помощью интерферометра New View – 5000 Zygo (Zygo Corporation, США). Термические процессы в роговице изучали на 15 кроликах породы шиншилла серая в возрасте старше одного года и живой массой 2–3 кг. Каждым лазером проводили фототерапевтическую кератэктомию на 5 глазах. Установка «МикроСкан-Визум 500 Гц» формировала наиболее гладкие абляционные поверхности. Нагрев роговицы при ее использовании был наибольшим (+ 3,95 °С к концу операции), но находился в пределах значений, допустимых для современных лазеров сканирующего типа.

Ключевые слова: эксимерлазерная установка, МикроСкан-ЦФП 100 Гц, МикроСкан-Визум 300 Гц, МикроСкан-Визум 500 Гц, абляция, роговица, аномалия рефракции

✉ Для корреспонденции: Ника Христовна Тахчиди
123182, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, стр. 2; nika-th@ya.ru

Статья поступила: 11.04.2016 Принята к печати: 14.04.2016

STUDY OF ABLATED SURFACE SMOOTHNESS AND THERMAL PROCESSES IN RABBIT CORNEA TREATED WITH MICROSCAN-VISUM AND MICROSCAN-PIC EXCIMER LASER SYSTEMS

Kachalina GF, Takhchidi NCh ✉

Department for Clinical Research in Ophthalmology,
Clinical Research Center for Otorhinolaryngology, Moscow, Russia

In ophthalmology, excimer lasers are used for treating different refractive disorders. The performance of an excimer laser station can be assessed by a number of criteria, such as cornea surface smoothness after the ablation, differences between the diameter of the postoperative optical zone that received full correction and the diameter of the programmed optical zone, and cornea heating during the surgery. The article presents the results of the assessment of three Russian excimer laser systems: MicroScan-PIC 100 Hz, MicroScan-Visum 300 Hz and MicroScan-Visum 500 Hz (Optosystems Ltd.). The smoothness of the ablated surface was measured by New View – 5000 Zygo interferometer (Zygo Corporation, USA). Using PMMA plates, the ablated surface was formed tenfold with each laser as an imitation of the 3.0 D myopia surgical correction, with the optical zone diameter of 6 mm and the transition zone diameters of 2.3 mm for MicroScan-PIC 100 Hz and of 1.9 mm for MicroScan-Visum 300 Hz and MicroScan-Visum 500 Hz. Thermal processes in the cornea were studied in 15 grey chinchillas over 1 year old with a weight of 2-3 kg. With each of the laser systems, phototherapeutic keratectomy was performed on 5 eyes. The smoothest ablated surfaces were formed by MicroScan-Visum 500 Hz. Cornea temperature was the highest here (+ 3.95 °C by the end of treatment), but still within the range of values acceptable for modern scanning type lasers.

Keywords: excimer laser system, MicroScan-PIC 100 Hz, MicroScan-Visum 300 Hz, MicroScan-Visum 500 Hz, ablation, cornea, error of refraction

✉ Correspondence should be addressed: Nika Takhchidi
Volokolamskoe shosse, d. 30, str. 2, Moscow, Russia, 123182; nika-th@ya.ru

Received: 11.04.2016 Accepted: 14.04.2016

По данным Всемирной организации здравоохранения, в последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция увеличения числа людей с аномалиями рефракции. Распространенность миопии и миопического астигматизма в России, США и странах Европейского Союза среди лиц трудоспособного возраста составляет, по данным различных авторов, от 27 до 45 % [1]. Вместе с тем отмечается совершенствование как традиционных (очковой и контактной коррекции), так и хирургических методов коррекции аномалий рефракции. Особенно динамично развиваются технологии кераторефракционной хирургии с использованием различных лазеров [2–4].

За последние годы офтальмологами разных стран был накоплен большой клинический опыт в использовании эксимерного лазера для коррекции аномалий рефракции [3, 5–11]. В России также ведутся работы по созданию и внедрению в клиническую практику эксимерлазерных установок. С конца 1980-х гг. их созданием и внедрением в клиническую практику занимаются в Межотраслевом научно-техническом комплексе «Микрохирургия глаза» совместно с Центром физического приборостроения Института общей физики РАН и ООО «Оптосистемы». В 2000 г. была представлена эксимерлазерная установка «МикроСкан-ЦФП», позволяющая выполнять наряду с операциями по стандартным технологиям LASIK (лазерный кератомилез) и TransPRK (транспрелиальная фоторефракционная кератэктомия) персонализированные операции на основе данных кератотопографии и aberromетрии глаза. Анализ клинико-функциональных результатов таких операций показал их высокую предсказуемость, стабильность и безопасность [12].

Для объективной оценки качества работы эксимерлазерных систем используют несколько критериев. Один из них — гладкость роговичной поверхности, формируемой излучением эксимерного лазера. Более гладкая роговичная поверхность способствует нормальному протеканию процесса эпителизации роговицы после операции и минимизирует вероятность развития фиброплазии [13]. Количественную характеристику гладкости позволяет получить измерение с помощью интерферометрических микроскопов Zygo (Zygo Corporation, США). Рядом исследователей было показано, что гладкость поверхности выше у лазеров сканирующего типа с технологией «летающего пятна» в сравнении с полноапертурными лазерами и лазерами, использующими сканирующую щель и диафрагмирующие системы формирования абляции [14, 15].

Другим важным критерием является соответствие диаметра полученной оптической зоны полной коррекции диаметру расчетной оптической зоны, указанному фирмой-производителем в программе расчета операций лазерной установки. По данным O'Donnell и соавт. [15], диаметр зоны абляции, получаемый при проведении операции эксимерным лазером, использующим диафрагмирующие формирующие системы, как правило, меньше указанного фирмой-производителем. По мнению исследователей, чем больше оптическая и переходная зоны воздействия, тем лучше функциональный результат и меньше вероятность послеоперационной регрессии эффекта. Меньшая оптическая зона может вызывать весьма неприятные ощущения у пациентов при пониженной освещенности или засвете [16].

Еще одним важным показателем качества эксимерного лазера является отсутствие значительного повышения температуры роговицы в процессе операции. Несмотря на то, что эксимерные лазеры называют «холодными»,

под их воздействием разрушаются молекулярные связи в клетках и выделяется энергия, повышающая температуру роговицы [17, 18]. Оно не может вызвать денатурацию коллагена, но может повлиять на активность кератоцитов, послеоперационное заживление и развитие фиброплазии. Сканирующие лазеры с технологией «летающего пятна» позволяют значительно снизить возможный нагрев роговицы за счет малого диаметра луча и алгоритма сканирования, при котором аблируются локальные участки роговичной ткани, находящиеся на удалении друг от друга, поэтому она не успевает существенно повысить свою температуру [19, 20].

Безусловно, основным показателем качества эксимерлазерной установки является ее эффективность в клинической практике, однако по приведенным выше критериям можно определить технические возможности и перспективы использования прибора еще на этапе доклинического исследования.

На базе установки «МикроСкан-ЦФП» разработали прибор следующего поколения — «МикроСкан-Визум» в вариантах с частотой сканирования 300 и 500 Гц. Целью нашего исследования являлась оценка гладкости абляционной поверхности, формируемой на полимерных материалах, и исследование термических процессов в роговице кролика при проведении фототерапевтической кератэктомии (ФТК) с помощью изучаемых установок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент по оценке гладкости абляционной поверхности провели с использованием пластин из полиметилметакрилата (ПММА). В управляющем компьютере каждой из трех изучаемых эксимерлазерных установок — «МикроСкан-ЦФП 100 Гц», «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц» — задали операцию коррекции миопии в 3,0 дптр с диаметром оптической зоны 6 мм и диаметром переходной зоны в 2,3 мм — для «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» и 1,9 мм — для «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц» (это было обусловлено различным диаметром пятна эксимерлазерного излучения — 1,15 и 0,95 мм соответственно). На пластинах формировали по 10 линз каждым из лазеров, затем все линзы измеряли с помощью интерференционного микроскопа New View — 5000 Zygo. Определяли следующие показатели, характеризующие качество поверхности формируемой линзы:

RMS — среднеквадратичное отклонение точек поверхности относительно средней высоты по всей изучаемой области;

PV — расстояние между высшей и низшей точками исследуемой области;

Ra — среднее отклонение точек поверхности от срединной поверхности.

При этом гладкость поверхности считалась тем лучше, чем меньше было значение перечисленных показателей.

Термографическое исследование по изучению изменения температуры роговицы провели на 15 кроликах породы шиншилла серый старше одного года и живой массой 2–3 кг. Эксперимент был одобрен Межвузовским Комитетом по этике (протокол № 10–12 от 18.10.2012). На каждой из трех установок прооперировали по 5 глаз (по одному глазу на животное). За 15 мин до операции кролику вводили 2 мл раствора реланиума. Операцию проводили под местной анестезией (трехкратная инстилляцией 1 % раствора инокаина). Расчетная глубина абляции в процессе ФТК составила 52 мкм.

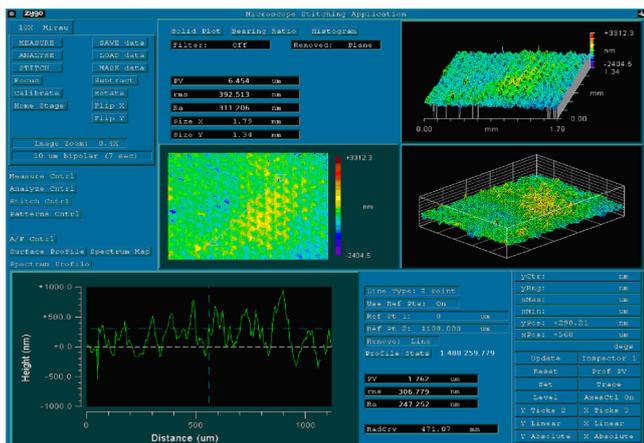


Рис. 1. Пример измерений интерферометром New View – 5000 Zygo (Ra = 311 нм) гладкости абляционной поверхности, сформированной на пластинах из ПММА с помощью установки «МикроСкан-ЦФП 100 Гц»

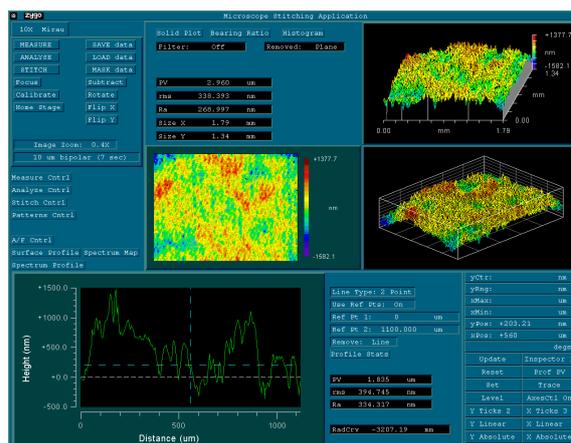


Рис. 2. Пример измерений интерферометром New View – 5000 Zygo (Ra = 268 нм) гладкости абляционной поверхности, сформированной на пластинах из ПММА с помощью установки «МикроСкан-Визум 500 Гц»

Для измерения температуры роговицы использовали тепловизионный комплекс Thermo View Ti30 (Raytek, USA). Съёмку проводили в помещении с температурой окружающей среды 16,7 °С с расстояния 60–70 см с частотой 1 Гц и точностью до 0,1 °С. На персональном компьютере данные тепловизора преобразовывали в термографическую карту с помощью программного обеспечения, поставляемого с прибором, и определяли максимальную и минимальную температуру роговицы на протяжении операции. Коэффициент излучения роговицы установили равным 0,93 (как у воды), т. е. считали, что в прибор поступает 0,93 от полного излучения роговицы и прибор добавляет 0,07 при расчете температуры. Например, если при $k = 0,93$ температура равна 37,3 °С, то при $k = 1$ для той же термограммы температура будет равна 36,1 °С.

Статистическую обработку данных провели с помощью компьютерных программ Statistica 6.0 (StatSoft, США) и Excel 2003. Использовали методы вариационной статистики. Результаты представили в виде среднего арифметического M (mean) и стандартного отклонения σ (standard deviation). Для сравнения средних и оценки достоверности различий использовали t -критерий Стьюдента для независимых случаев ($p = 0,05$).

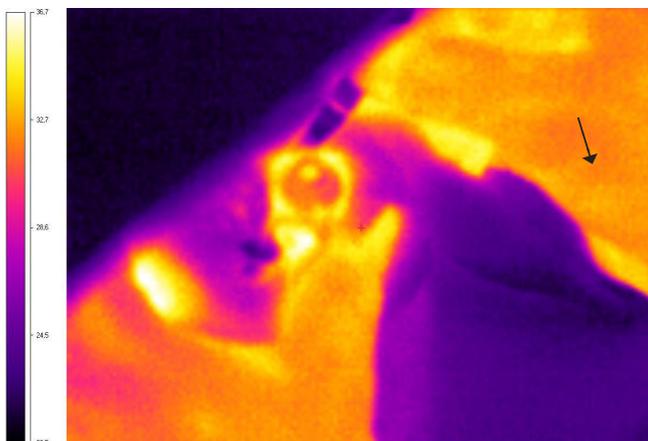


Рис. 3. Пример термографической карты при проведении фототерапевтической кератэктомии с помощью установки «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» (роговица кролика отмечена стрелкой)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты сравнительного анализа качества абляционной поверхности линз представлены в табл. 1. Наилучшая гладкость была достигнута на установке «МикроСкан-Визум 500 Гц». На рис. 1 и 2 показаны примеры измерений для установок «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц».

Пример термографической карты, полученной в процессе эксимерлазерной абляции на установке «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» представлен на рис. 3, а результаты измерения поперечного профиля температуры для всех изучаемых установок — на рис. 4.

Для установки «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» средняя температура роговицы до начала лазерного воздействия составила $31,04 \pm 0,63$ °С, максимальная температура в конце операции — $32,21 \pm 0,68$ °С, а изменение температуры — $1,17 \pm 0,05$ °С (табл. 2). Для установок «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц» эти показатели составили $31,82 \pm 0,87$, $33,24 \pm 1,21$ и $1,42 \pm 0,34$ °С и $31,02 \pm 0,47$, $34,97 \pm 1,36$ и $3,95 \pm 0,89$ °С соответственно.

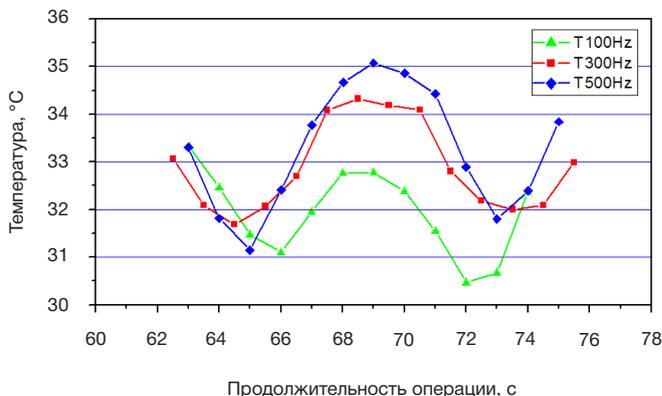


Рис. 4. Поперечные профили температуры для эксимерлазерных установок «МикроСкан-ЦФП 100 Гц» (зеленая кривая), «МикроСкан-Визум 300 Гц» (красная кривая) и «МикроСкан-Визум 500 Гц» (синяя кривая)

Таблица 1. Показатели качества абляционной поверхности линз, сформированных на пластинах из полиметилметакрилата излучением установок «МикроСкан-ЦФП 100 Гц», «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц», нм ($M \pm \delta$, $p < 0,05$)

Установка	RMS	PV	Ra
«МикроСкан-ЦФП 100 Гц»	392 ± 75	6454 ± 1752	311 ± 68
«МикроСкан-Визум 300 Гц»	351 ± 35	2754 ± 298	282 ± 25
«МикроСкан-Визум 500 Гц»	338 ± 25	2960 ± 51	268 ± 20

Таблица 2. Динамика термических процессов в роговице кролика при проведении фототерапевтической кератэктомии с помощью установок «МикроСкан-ЦФП 100 Гц», «МикроСкан-Визум 300 Гц» и «МикроСкан-Визум 500 Гц», °C ($M \pm \delta$, $p < 0,05$)

Установка	Исходная t роговицы	Максимальная t роговицы в конце операции	Увеличение t
«МикроСкан-ЦФП 100 Гц»	31,04 ± 0,63	32,21 ± 0,68	1,17 ± 0,05
«МикроСкан-Визум 300 Гц»	31,82 ± 0,87	33,24 ± 1,21	1,42 ± 0,34
«МикроСкан-Визум 500 Гц»	31,02 ± 0,47	34,97 ± 1,36	3,95 ± 0,89

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Установка «МикроСкан-Визум 500 Гц» формировала наиболее гладкие абляционные поверхности, а нагрев роговицы при ее использовании хотя и был наибольшим (+ 3,95 °C к концу операции), но находился в допустимых пределах. Например, при проведении операции по технологии LASIK при лечении миопии высокой степени Sph -9,25D с помощью популярного лазера Schwind AMARIS 500 Hz (SCHWIND eye-tech-solutions, Германия) температура роговицы увеличивается на 3,73 °C [21].

ВЫВОДЫ

Все три изучаемые установки позволяют формировать абляционную поверхность высокого качества, но наилучший результат был получен для установки «МикроСкан-Визум 500 Гц». Нагрев роговицы при проведении фототерапевтической кератэктомии на кроликах для этой установки был наибольшим, но не превышал допустимые значения. По результатам исследования установка «МикроСкан-Визум 500 Гц» была рекомендована к проведению клинических исследований.

Литература

- Либман Е. С., Шахова Е. В. Слепота, слабовидение и инвалидность по зрению в российской федерации. В сборнике: Ликвидация устранимой слепоты: Всемирная инициатива ВОЗ: Материалы Российскойского межрегионального симпозиума; 22–23 апреля 2003 г.; Уфа. с. 38–42.
- Аветисов С. Э., Мамиконян В. Р. Кераторефракционная хирургия. М.: ИПО «Полигран»; 1993. 120 с.
- Балашевич Л. И. Техника эксимерлазерной кератэктомии. Рефракционная хирургия. 2002; 93–4.
- Федоров С. Н., Семенов А. Д., Харизов А. А. и др. Опыт использования эксимерного лазера в рефракционной хирургии близорукости. В сборнике: Тезисы докладов Международного симпозиума по рефракционной хирургии, имплантации ИОЛ; 1991; Москва. с. 12.
- Алисов И. А. Эксимерный лазер «Профиль-500» в коррекции сложного миопического астигматизма [диссертация]. Москва; 2002.
- Качалина Г. Ф. Хирургическая технология трансэпителиальной фоторефрактивной кератэктомии при миопии на эксимерлазерной установке «Профиль-500» [диссертация]. Москва: Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза»; 2000.
- Кишкин Ю. И. Эксимерный лазер в коррекции остаточной близорукости после радиальной кератотомии [диссертация]. Москва: Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза»; 1998.
- Куренков В. В. Фоторефракционная кератэктомия и интрастромальная кератэктомия: Руководство по эксимерлазерной хирургии роговицы. М.: Издательство РАМН; 2002. с. 197–200.
- Тарутта Е. П., Смирнова Т. С., Ходжабеян Н. В. Двухлетний опыт ФПК с помощью эксимерного лазера MEL-60. В сборнике: Материалы VII Съезда офтальмологов России; 16–20 мая 2000 г.; Москва. с. 298–9.
- Esquenazi S, Mendoza A. Two-year follow-up of LASIK for hyperopia. J Refract Surg. 1999; 15 (6): 648–52.
- Knorz M, Wiesinger B, Liermann A, Seiberth, Liesenhoff H. Laser in situ keratomileusis for moderate and high myopia and myopic astigmatism. Ophthalmology. 1998; 105 (5): 932–40.
- Дюга А. В. Эксимерлазерная рефракционная микрохирургия роговицы на базе сканирующей установки «Микроскан» [диссертация]. Москва: Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза»; 2004.
- Liang FQ, Geasey SD, del Cerro M, Aquavella JV. A new procedure for evaluating smoothness of corneal surface following 193-nm excimer laser ablation. Corneal Surg. 1992; 8 (6): 459–65.
- Argento C, Valenzuela G, Huck H, Cremona G, Cosentino MJ, Gale MF. Smoothness of ablation on acrylic by four different excimer lasers. J Refract Surg. 2001; 17 (1): 43–5.
- O'Donnell F., Tang F., Han X., Chen D., Hwang M. PRK ablation zone anatomy. In: Book of abstract American Society of Cataract and Refractive Surgery Meeting; 1995 Apr 1–5; San Diego, USA.
- O'Brart D, Corbett M, Verma S, et al. An investigation to determine the effects of ablation diameter, depth and profile on the outcome of excimer laser photorefractive keratectomy Invest. Ophthalmol Vis Sci. 1995; 36 (Suppl): S1063.
- Bende T, Seiler T, Wollensak J. Side effects in excimer corneal surgery: corneal thermal gradients. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 1988; 226 (3): 277–80.
- Berns MW, Liaw LH, Oliva A, Andrews JJ, Rasmussen RE, Kimel S. An acute light and electron microscopic study of ultraviolet 193-nm excimer laser corneal incisions. Ophthalmology. 1988; 95 (10): 1422–33.
- Корниловский И. М., Дорри А. М., Павленко В. В. Изменения температуры роговицы при ФПК и локальной гипотермии. В сборнике: Материалы IV международной конференции «Клинические результаты применения эксимерного лазера EC-5000 (NIDEK)». 1999; Москва. с. 8.
- Chatterjee A, Shah S, Bonshek R, et al. Relationship of histological change to corneal temperature change following PRK. J Refract Corneal Surg. 1997; 13 (Suppl): S462–3.
- Schwind Press Release. Thermodynamic measurements confirm high safety of the SCHWIND AMARIS' intelligent thermal effect contro. Kleinostheim, Germany; 2010 Apr. Доступно по ссылке: <http://www.eye-tech-solutions.com/en/home/information-centre/press-centre>.

References

1. Libman ES, Shakhova EV. Slepota, slabovidenie i invalidnost' po zreniyu v rossiyskoy federatsii. In: Likvidatsiya ustranimoy slepoty: Vsemirnaya initsiativa VOZ: Materialy Rossiyskogo mezhdunarodnogo simpoziuma; 2013 Apr 22–; Ufa, Russia. p. 38–42.
2. Avetisov SE, Mamikonyan VR. Keratorefraktsionnaya khirurgiya. Moscow: IPO "Poligran"; 1993. 120 p.
3. Balashevich LI. Tekhnika eksimerlazernoy keratektomii. Refraktsionnaya khirurgiya. 2002; 93–4.
4. Fedorov SN, Semenov AD, Kharizov AA, et al. Opyt ispol'zovaniya eksimernogo lazera v refraktsionnoy khirurgii blizorukosti. In: Tezisy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma po refraktsionnoy khirurgii, implantatsii IOL; 1991; Moscow. p. 12.
5. Alisov IA. Eksimernyy lazer "Profil'-500" v korrektsii slozhnogo miopicheskogo astigmatizma [dissertation]. Moscow; 2002.
6. Kachalina GF. Khirurgicheskaya tekhnologiya transepitelial'noy fotorefraktivnoy keratektomii pri miopii na eksimerlazernoy ustanovke "Profil'-500" [dissertation]. Moscow: IRTC Eye Microsurgery; 2000.
7. Kishkin Yul. Eksimernyy lazer v korrektsii ostatochnoy blizorukosti posle radial'noy keratotomii [dissertation]. Moscow: IRTC Eye Microsurgery; 1998.
8. Kurenkov VV. Fotorefraktsionnaya keratektomiya i intrastromal'naya keratektomiya: Rukovodstvo po eksimerlazernoy khirurgii rogovitsy. Moscow: Izdatel'stvo RAMN; 2002. p. 197–200.
9. Tarutta EP, Smirnova TS, Khodzhabekeyan NV. Dvukhletniy opyt FRK s pomoshch'yu eksimernogo lazera MEL-60. In: Materialy VII S"ezda oftal'mologov Rossii; 2000 May 16–20; Moscow. p. 298–9.
10. Esquenazi S, Mendoza A. Two-year follow-up of LASIK for hyperopia. J Refract Surg. 1999; 15 (6): 648–52.
11. Knorz M, Wiesinger B, Liermann A, Seiberth, Liesenhoff H. Laser in situ keratomileusis for moderate and high myopia and myopic astigmatism. Ophthalmology. 1998; 105 (5): 932–40.
12. Doga AV. Eksimerlazernaya refraktsionnaya mikrokhirurgiya rogovitsy na baze skaniruyushchey ustanovki «Mikroskan» [dissertation]. Moscow: IRTC Eye Microsurgery; 2004.
13. Liang FQ, Geasey SD, del Cerro M, Aquavella JV. A new procedure for evaluating smoothness of corneal surface following 193-nm excimer laser ablation. Corneal Surg. 1992; 8 (6): 459–65.
14. Argento C, Valenzuela G, Huck H, Cremona G, Cosentino MJ, Gale MF. Smoothness of ablation on acrylic by four different excimer lasers. J Refract Surg. 2001; 17 (1): 43–5.
15. O'Donnel F, Tang F., Han X., Chen D., Hwang M. PRK ablation zone anatomy. In: Book of abstract American Society of Cataract and Refractive Surgery Meeting; 1995 Apr 1–5; San Diego, USA.
16. O'Brart D, Corbett M, Verma S, et al. An investigation to determine the effects of ablation diameter, depth and profile on the outcome of excimer laser photorefractive keratectomy Invest. Ophthalmol Vis Sci. 1995; 36 (Suppl): S1063.
17. Bende T, Seiler T, Wollensak J. Side effects in excimer corneal surgery: corneal thermal gradients. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 1988; 226 (3): 277–80.
18. Berns MW, Liaw LH, Oliva A, Andrews JJ, Rasmussen RE, Kimel S. An acute light and electron microscopic study of ultraviolet 193-nm excimer laser corneal incisions. Ophthalmology. 1988; 95 (10): 1422–33.
19. Kornilovskiy IM, Dorri AM, Pavlenko VV. Izmeneniya temperatury rogovitsy pri FRK i lokal'noy gipotermii. In: Materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii «Klinicheskie rezul'taty primeneniya eksimernogo lazera EC-5000 (NIDEK)». 1999; Moscow. p. 8.
20. Chatterjee A, Shah S, Bonshek R, et al. Relationship of histological change to corneal temperature change following PRK. J Refract Corneal Surg. 1997; 13 (Suppl): S462–3.
21. Schwind Press Release. Thermodynamic measurements confirm high safety of the SCHWIND AMARIS' intelligent thermal effect control. Kleinostheim, Germany; 2010 Apr. Available from: <http://www.eye-tech-solutions.com/en/home/information-centre/press-centre>.