

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ ПРИ КОРРЕКЦИИ ГИПЕРМЕТРОПИИ МЕТОДАМИ ЛАЗИК И ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМОКЕРАТОПЛАСТИКИ (ЛТК)

Александр Викторович ДОГА, Ирина Альфредовна МУШКОВА,
Галина Федоровна КАЧАЛИНА, Елена Владимировна ИВАНОВА

ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова Росмедтехнологии
127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59А

Оценены особенности динамики сферической aberrации при коррекции гиперметропии методами ЛАЗИК и лазерной термокератопластики. Под наблюдением находилось 32 пациента (49 глаз) с начальной гиперметропией от 1,5 до 4,0 дптр в возрасте от 35 до 45 лет. Первую группу составили 14 пациентов (22 глаза), оперированных методом ЛАЗИК (лазерный интрастромальный кератомилез), средняя степень гиперметропии до операции — $2,6 \pm 0,27$ дптр. Во вторую группу вошли 18 пациентов (27 глаз), оперированных по технологии лазерной термокератопластики (ЛТК), средняя степень гиперметропии до операции — $1,46 \pm 0,03$ дптр. После операции ЛАЗИК индуцировались aberrации высших порядков, в основном отрицательная сферическая aberrация, с высокой корреляцией со степенью абляции. После ЛТК индуцировались aberrации без особой систематики. После технологии ЛАЗИК отрицательная сферическая aberrация компенсируется с отрицательным дефокусом, а также производит мультифокальный эффект с разницей оптической силы в 1,5 дптр, что улучшает зрение вблизи.

Ключевые слова: гиперметропический ЛАЗИК, лазерная термокератопластика (ЛТК), сферическая aberrация, дефокус, мультифокальный эффект.

Оптические дефекты человеческого глаза — aberrации — значительно влияют на остроту и качество зрения, искажая и делая нечетким изображение на сетчатке [1]. Отмечено, что с возрастом количество aberrаций увеличиваются, а в период от 30 до 60 лет — удваивается, так как со временем эластичность и прозрачность хрусталика уменьшается, и он перестает компенсировать aberrации роговицы [2]. Известно, что после рефракционных операций индуцируются различные типы оптических aberrаций высших порядков, что влияет на качество зрения [3]. Интересно отметить и тот факт, что сферическая aberrация может улучшать зрительные функции при работе глаза на различных расстояниях [4].

В МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова для коррекции гиперметропии из кераторефракционных операций используют два метода: ЛАЗИК (лазерный интрастромальный кератомилез) и ЛТК (лазерная термокератопластика). Технология лазерного воздействия на роговицу различается, поэтому представляет большой интерес исследование качества оптики глаза после проведения данных операций.

Цель исследования — изучить динамику сферической aberrации при коррекции гиперметропии методами ЛАЗИК и ЛТК и оценить ее способность влиять на качество зрения.

Материал и методы

Под нашим наблюдением находилось 32 пациента (49 глаз) с начальной гиперметропией от 1,5 до 4,0 дптр в возрасте от 35 до 45 лет, со сроком наблюдения до 1 года после операции, рефракция цели — эметропия. Всем пациентам до и после операции, кроме стандартных методов обследования, проводили кератотопографию роговицы и анализ волнового фронта всего оптического тракта глаза. Сферическую aberrацию определяли без циклоплегии на приборе OPD-Scan ARK-10000 (NIDEK, Япония). Для определения влияния сферической aberrации на свойства зрения выполняли компьютерное моделирование прохождения волнового фронта через глаз. Статистические и математические расчеты производились с использованием программы Excel МО, а также пакета ROOT, вычисляли среднее арифметическое и ошибку среднего ($M \pm m$).

Первую группу составили 14 пациентов (22 глаза), оперированных методом ЛАЗИК, по стандартной технологии на эксимерной установке «Микроскан» (Россия) с формирующей системой типа летающего пятна диаметром 0,7 мм. В процессе операции использовали кератом Zyoptix XR (США). Средняя гиперметропия до операции — $2,6 \pm 0,27$ дптр. Максимально корригируемая острота зрения составляла $0,93 \pm 0,04$. Среднее зна-

Доба А.В. — д.м.н., заместитель генерального директора, e-mail: alexanderdoga@hotmail.com

Мушкова И.А. — к.м.н., ст.н.с.

Качалина Г.Ф. — к.м.н., директор

Иванова Е.В. — офтальмолог

чение сферической аберрации до операции было $0,14 \pm 0,04$. Во вторую группу вошли 18 пациентов (27 глаз), оперированных по технологии ЛТК на отечественной лазерной установке «ОКО-1». Коагуляты наносились по 2 окружностям диаметром 6,0 и 7,0 мм в шахматном порядке с энергией 160 м/Дж. Использовали инфракрасный лазер с длиной волны 2,12 мкм, временем воздействия 0,5 с. Средняя степень гиперметропии до операции была $1,46 \pm 0,03$ дптр, максимально коррируемая острота зрения — $0,96 \pm 0,01$, среднее значение сферической аберрации — $0,11 \pm 0,03$.

Результаты

После операции ЛАЗИК сферическая аберрация увеличилась по абсолютному значению с $0,14 \pm 0,04$ до $0,27 \pm 0,04$ и поменяла свой знак на противоположный. После технологии ЛТК сферическая аберрация незначительно возросла с $0,11 \pm 0,03$ до $0,14 \pm 0,02$. После ЛАЗИК отмечена высокая степень корреляции между величиной коррекции гиперметропии и значением отрицательной сферической аберрации (коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,40$, $p < 0,05$), а после ЛТК корреляция практически отсутствует ($r = 0,17$). Зависимость изменения сферической аберрации от величины коррекции гиперметропии представлена на рисунке 1. Видно, что после операции ЛАЗИК сферическая аберрация становится отрицательной и возрастает по абсолютному значению с увеличением степени гиперметропии. После ЛТК выявлена прямая корреляция — чем выше степень начальной гиперметропии, тем больше значение сферической аберрации.

На рисунке 2 представлена зависимость сферической аберрации от дефокуса по среднему значению в обеих группах после операции. Видно, что после операции ЛАЗИК чем меньше дефокус, тем меньше значение сферической аберрации. После ЛТК — чем больше среднее значение дефокуса, тем меньше сферическая аберрация.

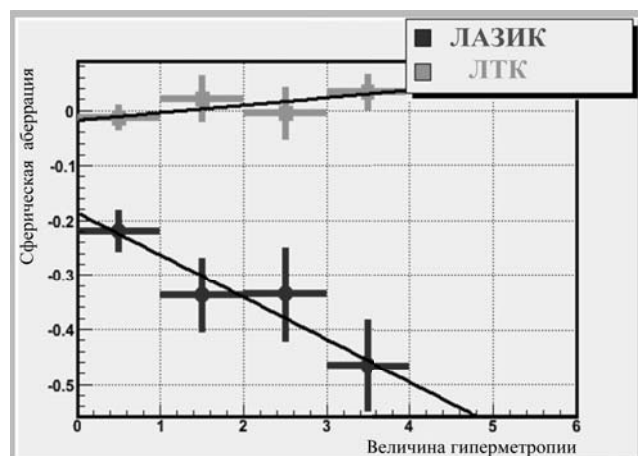


Рис. 1. Изменение сферической аберрации в зависимости от величины коррекции гиперметропии после операций ЛАЗИК и ЛТК

Результаты компьютерного моделирования для определения влияния сферической аберрации на оптическую систему глаза представлены на рисунке 3. Нами рассмотрено распространение световых лучей через модель упрощенного глаза с фокусным расстоянием в 22,5 мм и оптической силой 44 дптр. Черной горизонтальной линией показан волновой фронт, сформированный сразу после прохождения лучей через роговицу. Радиус зрачка указан в относительных единицах (при апертуре 6 мм). Лучи света, которые представлены разноцветными вертикально-наклонными линиями, пересекают зрачок на разном расстоянии от центра и фокусируются на расстоянии 22,5 мм. На рис. 3б точка фокусировки лучей изображена при большем масштабе.

На рис. 3в изображены лучи волнового фронта, полученные при наложении на роговицу (3а) отрицательного дефокуса величиной 1,0. В результате фокусное расстояние увеличивается на 1,1 мм. Это соответствовало изменению оптической силы на 2,3 дптр.

Рисунок 3г аналогичен рисунку 3в с тем отличием, что вместо отрицательного дефокуса наложен положительный дефокус величиной 1,0. В результате фокусное расстояние уменьшается приблизительно на 1,1 мм.

На рисунке 3д изображено распространение лучей волнового фронта через глаз (3а), на который наложена сферическая аберрация с полученным нами коэффициентом Цернике 0,27. Видно, что лучи из центральной зоны пересекаются ближе (миопический эффект), а с периферии — дальше. Суммарная разница расстояния между крайними точками пересечения составляет около 0,7 мм, что приблизительно соответствует разнице в 1,5 дптр.

Обсуждение

Как отмечается в литературе, чем выше степень коррекции гиперметропии, тем выше абсолютное значение сферической аберрации [3, 5]. Кроме

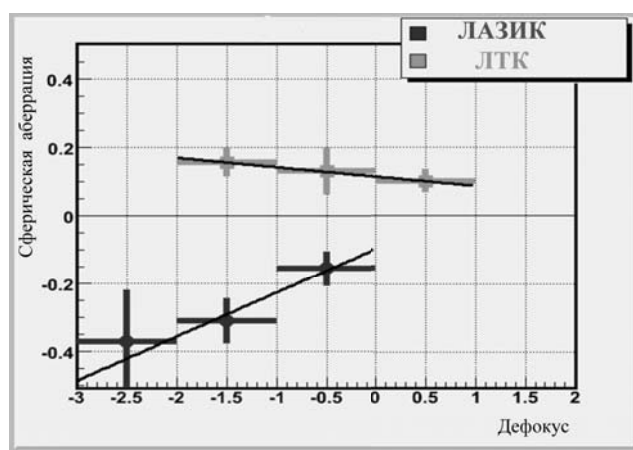


Рис. 2. Зависимость сферической аберрации от дефокуса после операций ЛАЗИК и ЛТК

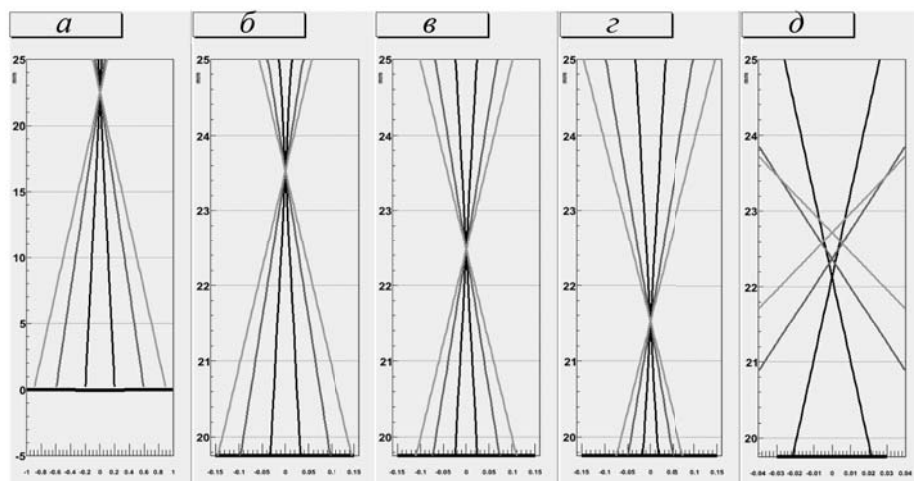


Рис. 3. Моделирование влияния сферической аберрации на оптическую систему глаза

того, все глаза у пациентов с гиперметропией пресбиопического возраста имеют положительную сферическую аберрацию [5], это подтверждается и нашими исследованиями. После ЛАЗИК сферическая аберрация в 100 % случаев поменяла свой знак и стала отрицательной, а также возросла в 2 раза по абсолютному значению. В этой группе отмечена высокая степень корреляции между степенью гиперметропии и значением отрицательной сферической аберрации. Из этого следует, что сферическая аберрация индуцировалась с определенной систематикой, в зависимости от величины воздействия лазера [6]. Это связано с технологией ЛАЗИК при коррекции гиперметропии. Так как лазер оказывает систематическое, симметрично-круговое воздействие по периферии роговицы, то, помимо изменения дефокуса, также сильно изменяет значение сферической аберрации.

Во второй группе подобных закономерностей не наблюдалось, сферическая аберрация индуцировалась без характерной систематики. Из этого следует, что ЛТК позволяет увеличить кривизну роговицы более естественным образом, изменяя дефокус практически без внесения сферического компонента. У этих пациентов мы отметили, что чем меньше значение дефокуса, тем ниже острота зрения вблизи. Такая закономерность, по нашему мнению, является физиологической (табл.).

После операции ЛАЗИК, напротив, чем меньше значение дефокуса, тем острота зрения вблизи выше, что кажется парадоксальным. Это объяс-

няется значительным отрицательным значением сферической аберрации, индуцированной при технологии ЛАЗИК, и ее зависимостью от дефокуса (рис. 2). Проведенное математическое моделирование влияния сферической аберрации на изменение волнового фронта показало, что отрицательная сферическая аберрация в центральной зоне роговицы увеличивает ее кривизну и действует как сильный положительный дефокус, а на периферии, наоборот, уменьшает кривизну. Таким образом, сильная отрицательная аберрация нивелирует «вредное» действие отрицательного дефокуса. Происходит известный из литературы так называемый баланс аберраций [7].

Из работ [8, 9] также известно, что большее значение отрицательной сферической аберрации должно приводить к улучшению сумеречного зрения. Так как после операции ЛАЗИК измеренное нами среднее значение сферической аберрации составило $-0,27 \pm 0,04$, то, согласно моделированию, это эквивалентно изменению величины оптической силы в центре глаза приблизительно на $+0,7$, а на периферии — на $0,8$ дптр. Следовательно, суммарная псевдоаккомодирующая разница составит около $1,5$ дптр. При ярком освещении у пациентов данной группы в проецировании изображения на сетчатку глаза участвует только центральная часть роговицы с большей оптической силой, что облегчает работу на близком расстоянии. В мезопических условиях при расширении зрачка на сетчатку глаза также проецируется изо-

Таблица

Значения остроты зрения вблизи для значений дефокуса от $-3,0$ до $-1,0$ и от $-1,0$ до 0 после операций ЛАЗИК и ЛТК ($M \pm m$)

Дефокус	Острота зрения		Достоверность различий p
	ЛАЗИК	ЛТК	
От $-3,0$ до $-1,0$	$0,41 \pm 0,08$	$0,16 \pm 0,03$	$< 0,01$
От $-1,0$ до 0	$0,16 \pm 0,05$	$0,34 \pm 0,06$	$< 0,05$

бражение с периферии роговицы с меньшей оптической силой, что, вероятно, позволяет пациентам после ЛАЗИК в сумерки лучше видеть вдаль.

Выводы

1. При технологии ЛАЗИК, кроме коррекции дефокуса, происходит изменение сферической аберрации, которая увеличивается в 2 раза и в 100 % случаев становится отрицательной.

2. Технология ЛТК позволяет изменять дефокус без систематического изменения сферической аберрации.

3. После ЛАЗИК индуцированная отрицательная сферическая аберрация компенсируется отрицательным дефокусом, а также производит мультифокальный эффект с разницей оптической силы в 1,5 дптр, что улучшает зрение вблизи.

Список литературы

1. Егорова Г.Б., Бородин Н.В., Бубнова И.А. Аберрации человеческого глаза, способы их измерения и коррекции // Рус. мед. журн. 2003. (4). 4–9.

Egorova G.B., Borodina N.V., Bubnova I.A. Aberrations of human eye, methods of their measurement and correction // Rus. med. zhurn. 2003. (4). 4–9.

2. Artal P. Understanding aberrations by using Doudle – pass techniques // J. Refract. Surg. 2000. 16. (5). 560–562.

3. Llorente L., Barbero S., Merayo J., Marcos S. Total and corneal optical aberrations induced by laser

in situ keratomileusis for hyperopia // J. Refract. Surg. 2004. 20. 203–216.

4. Atchison D.A. Optical design of intraocular lenses. On-axis performance // Optom. Vis. Sci. 1989. 66. 492–506.

5. Wang L., Koch D.D. Anterior corneal optical aberrations induced by laser in situ keratomileusis for hyperopia // J. Cataract Refract. Surg. 2003. 29. 1702–1708.

6. Luxin M., Atchison D., Albiets J.M. et al. Wave-front aberrations following laser in situ keratomileusis and refractive lens exchange for hypermetropia // J. Refract. Surg. 2004. 20. 307–316.

7. Качалина Г.Ф., Дога А.В. Аберрационный баланс после фоторефрактивных операций // Современные технологии в диагностике и лечении офтальмопатологии: Сб. тез. 10-й конф. 2006. 9–11.

Kachalina G.F., Doga A.V. Aberration balance after photorefractive operations // Modern technologies in diagnosis and treatment of ophthalmic pathologies: Abstr. 10th conf. 2006. 9–11.

8. Балашевич Л.И. Оптические аберрации глаза: диагностика и коррекция // Окулист. 2001. 6. (22). 12–15.

Balashevich L.I. Optical aberrations of eye: diagnosis and correction // Okulist. 2001. 6. (22). 12–15.

9. Zernike F. Beugungstheorie des Schneidenverfahrens und seiner verbesserten Form der Phasenkontrastmethode // Physica I. 1934. 2. 689–704.

COMPARATIVE EVALUATION OF SPHERICAL ABERRATION DYNAMICS IN HYPEROPIA CORRECTION BY LASIK AND LASER THERMOKERATOPLASTY (LTK) METHODS

Alexander Viktorovich DOGA, Irina Al'fredovna MUSHKOVA, Galina Fedorovna KACHALINA, Elena Vladimirovna IVANOVA

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
127486, Moscow, Beskudnikovsky Blvd., 59a

Features of the spherical aberration dynamics after hyperopic LASIK and Laser thermokeratoplasty (LTK) are evaluated. 32 patients (49 eyes) with initial hyperopia from 1,5 to 4,0 D aged 35 to 45 years have been examined. The first group was composed of 14 patients, 22 eyes, with mean hyperopia $2,6 \pm 0,27$ diopters underwent LASIK. The second group was composed of 18 patients, 27 eyes, with mean hyperopia $1,46 \pm 0,03$ diopters underwent LTK. The higher order of aberration was induced after LASIK, generally, as a negative spherical aberration, correlated with the ablation degree. After LTK aberrations were induced without special systematization. After LASIK the negative spherical aberration compensated with negative defocus and improved the near vision and also created a multifocal effect with a 1.5 D optical power difference.

Key words: hyperopic LASIK, Laser thermokeratoplasty (LTK), spherical aberration, defocus, multifocal effect.

Doga A.V. – doctor of medical sciences, deputy director general, e-mail: alexanderdoga@hotmail.com

Mushkova I.A. – candidate of medical sciences, senior researcher

Kachalina G.F. – candidate of medical sciences, head

Ivanova E.V. – an ophthalmologist