

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКИХ, ЛАЗЕРНЫХ И ХИРУРГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОПТИКО-РЕФРАКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА

Корниловский И.М., Шишкин М.М., Купцова О.Н., Карпов В.Е.

Кафедра глазных болезней института усовершенствования врачей
Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова

УДК: 535+621.375.8+616-089].003.12:612.84:617.753

Резюме

На 368 глазах с аметропиями и различной офтальмопатологией у 184 пациентов в возрасте от 14 до 78 лет были проведены aberrometricкие исследования до и в различные сроки после очковой, контактной коррекции, фоторефракционных и оптико-реконструктивных операций. Проведенные исследования показали, что объективным критерием восстановления оптико-рефракционной системы глаза при офтальмопатологии является исследование светопередачной функции глаза, которую достаточно полно характеризуют показатель светорассеяния точки (PSF) и показатель модуляции передаточной функции (MTF), рассчитанные на основании данных объективной aberromетрии.

Ключевые слова: аберрации, световая передаточная функция, очковая коррекция, контактная коррекция, фоторефракционные операции, оптико-реконструктивные операции.

Актуальность

Современные требования к оценке различных оптических, лазерных и хирургических способов восстановления оптико-рефракционной системы глаза предполагают использование объективных методик, независимых от субъективных ощущений пациента. В одних случаях данные методы предусматривают решение чисто рефракционных проблем, например, при аметропиях [1–5, 7]. В других же случаях приходится решать оптические или оптико-рефракционные проблемы, связанные с помутнениями в роговице, хрусталике или стекловидном теле [2, 4].

Глаз человека является уникальным оптическим прибором, а точнее биоптической системой, в которой роговице и хрусталику отводится роль ведущих преломляющих структур [5]. В физической оптике качество любой оптической системы оценивается по наличию аберраций и ее способности передавать изображение предмета без потери его качества. Чем более совершенна оптика линзы, тем с наименьшими изменениями она передает изображение точки и все детали предмета в целом, включая его контрастность. Вот почему в оптике принято оценивать качество передаточной функции оптической линзы по таким показателям, как функция светорассеяния точки (Point Spread Function, или, сокращенно, PSF) и модуляция передаточной функции (Modulation Transfer Function, или, сокращенно, MTF), которая отражает способность к передаче оптической линзой контрастности объекта при получении его изображения. Применительно к оптической системе глаза определение показателя PSF дает информацию о характере фокусировки световых лучей на сетчатке, а расчет показателя MTF позволяет объективно оценить контрастную чувствительность. Эти показатели рассчитываются по данным объективной aberromетрии,

THE EVALUATION OF OPTICAL, LASER AND SURGICAL TECHNIQUES FOR OPTICAL REFRACTION EYE'S SYSTEM RECOVERY

Kornilovskiy I.M., Shishkin M.M., Kuptsova O.N., Karpov V.E.

The results of aberrometric research, carried out before and, at different times also, after the proper lens, contact correction, photorefractive, and optical refraction procedures, have been presented.

Keywords: aberrations, the light transfer function, proper lens correction, contact correction, photorefractive procedures, optical reconstructive procedures.

не зависят от состояния сетчатки, зрительного нерва, переработки информации в коре головного мозга и дают информацию о качестве оптической системы глаза [8].

Цель исследования

Оценить оптические, лазерные и хирургические методы восстановления оптико-рефракционной системы глаза по состоянию светопередачной функции.

Материалы и методы

На 368 глазах с аметропиями и различной офтальмопатологией у 184 пациентов в возрасте от 14 до 78 лет были проведены aberrometricкие исследования до и в различные сроки после очковой (36 глаз), контактной (156 глаз) коррекции, фоторефракционных (ФРК – 70, ЛАСИК – 80, ЛАСЭК – 12 глаз) и оптико-реконструктивных операций (ЭКК+ИОЛ – 14 глаз). Контрольную группу составили 66 глаз с эметропической рефракцией у 33 пациентов в возрасте от 16 до 52 лет. Для дифференциальной диагностики аберраций оптической системы глаза и выбора метода их коррекции был применен биоптический подход, предусматривающий учет вклада роговицы и хрусталика в формирование оптических аберраций. Определение клинической рефракции глаза, исследование остроты зрения для дали и близи проводили на автоматизированном оптометрическом комплексе АОС-2100 фирмы NIDEK. Компьютерная видеокератография и оптические аберрации исследовали на приборе OPD-scan (NIDEK). Полученные данные объективной aberromетрии трансформированы в 27 коэффициентов Цернике, которые были распределены на компоненты низшего (Tilt, Defocus, Ast) и высшего (T. Coma, T. Sph, T. Trefoil и т.д.) порядков. По специальной компьютерной программе OPD-Station вычислялись такие показате-

тели, как функция рассеяния точки (PSF) и модуляция передаточной функции (MTF). На основании aberrаций волнового фронта в исследуемом глазу рассчитывалась виртуально возможная острота зрения (Visual Acuity Chart или сокращенно VAC), показатели которой характеризовали только качество оптической системы глаза и не зависели от состояния сетчатки, зрительного нерва и центра зрительного восприятия в коре головного мозга пациента.

Результаты

Проведенные исследования показали, что оценка состояния оптической системы глаза по PSF и MTF показателям позволяет получить объективную информацию об эффективности очковой, контактной, фоторефракционной коррекции и оптико-реконструктивных операциях на роговице, хрусталике. Во всех случаях такой подход позволил строго персонализировать оценку достигаемого оптико-рефракционного эффекта у пациента. Главным преимуществом исследования явилась его полная независимость от субъективных ощущений пациента. В то же время за критерий эффективности того или иного метода восстановления оптической системы глаза принималось соответствие или приближение PSF и MTF показателей к таковым для здорового глаза с эмметропической рефракцией и с учетом ограничений, которые накладывает дифракция света в области зрачка (рис. 1).

Так, при сравнении очковой и контактной коррекции были выявлены преимущества последней по PSF и MTF показателям, особенно при коррекции аметропии высокой степени. В то же время данные исследования позволили контролировать правильность силы подобранной контактной линзы и избежать эффектов гипо- или

гиперкоррекции. Кроме того, анализ влияния степени подвижности контактной линзы с акцентом на оценку состояния светопередаточной функции оптической системы «глаз+контактная линза», позволил подобрать оптимальные параметры ее базового радиуса и получить лучший корригирующий эффект (рис. 2).

Интересные данные были получены при сравнительной оценке эффективности трансэпителиальной мультифокальной ФРК (табл. 1) и операции ЛАСИК (табл. 2). Спустя полгода после операций ФРК и ЛАСИК достоверная разница в остроте зрения отсутствовала. Однако среднеквадратичная ошибка волнового фронта (RMS) после операции ЛАСИК оказалась достоверно выше ($P < 0,01$), чем после трансэпителиальной мультифокальной ФРК. Это указывало на то, что при выполнении фоторефракционной операции по технологии ЛАСИК имели место большие индуцированные оптические aberrации. Такое повышение сопровождалось, соответственно, и большим нарушением светопередаточной функции по PSF и MTF показателям. Тем не менее в ряде случаев после операции ЛАСИК удавалось добиться практически полного восстановления MTF показателя, который приближался к таковому для здорового глаза с эмметропической рефракцией (рис. 3).

Не менее информативной оказалась оценка эффективности операции факоэмульсификации катаракты с имплантацией интраокулярных линз (ИОЛ) по восстановлению оптико-рефракционной системы глаза (рис. 4.). Такой подход к оценке той или иной технологии факоэмульсификации катаракты с имплантацией различных моделей ИОЛ, на наш взгляд, является предпочтительным ввиду его объективности. Так, оценка светопередаточной функции по показателю PSF позволяет оценить точность фокусировки, а, следовательно, остаточную аметропию и правильность подобранной силы ИОЛ. В то же время MTF показатель характеризует качество оптической системы артефактного глаза по способности передачи контрастности. Оба показателя дают информацию и о степени влияния на светопередаточную функцию индуцированных aberrаций, которые, как показали наши исследования, чаще возникают при роговичных разрезах более 4 мм. Проведение данных исследований в динамике может быть использовано и для сравнительной оценки качества и скорости восстановления оптико-рефракционных характеристик оптической системы артефактного глаза при различных приемах оптимизации технологии экстракапсулярной экстракции катаракты с имплантацией различных моделей монофокальных, бифокальных и мультифокальных ИОЛ.

Обсуждение

Очковая, контактная и фоторефракционная коррекция аметропической дефокусировки и сопутствующих ей aberrаций при аметропиях, хирургические рефракционные и оптико-реконструктивные операции на глазном яблоке с заменой хрусталика на ИОЛ предполагают, своей

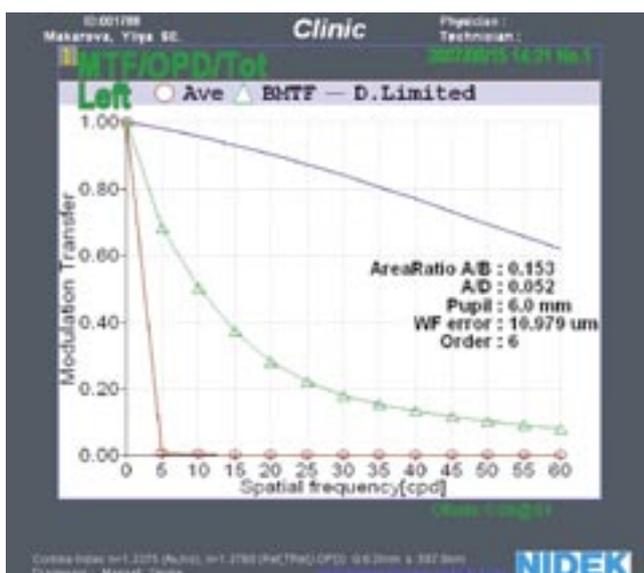


Рис. 1. Кривые показателя MTF для миопического глаза (красная), эмметропического глаза (зеленая) и ограничения MTF показателя из-за дифракции света в области зрачка (синяя линия)

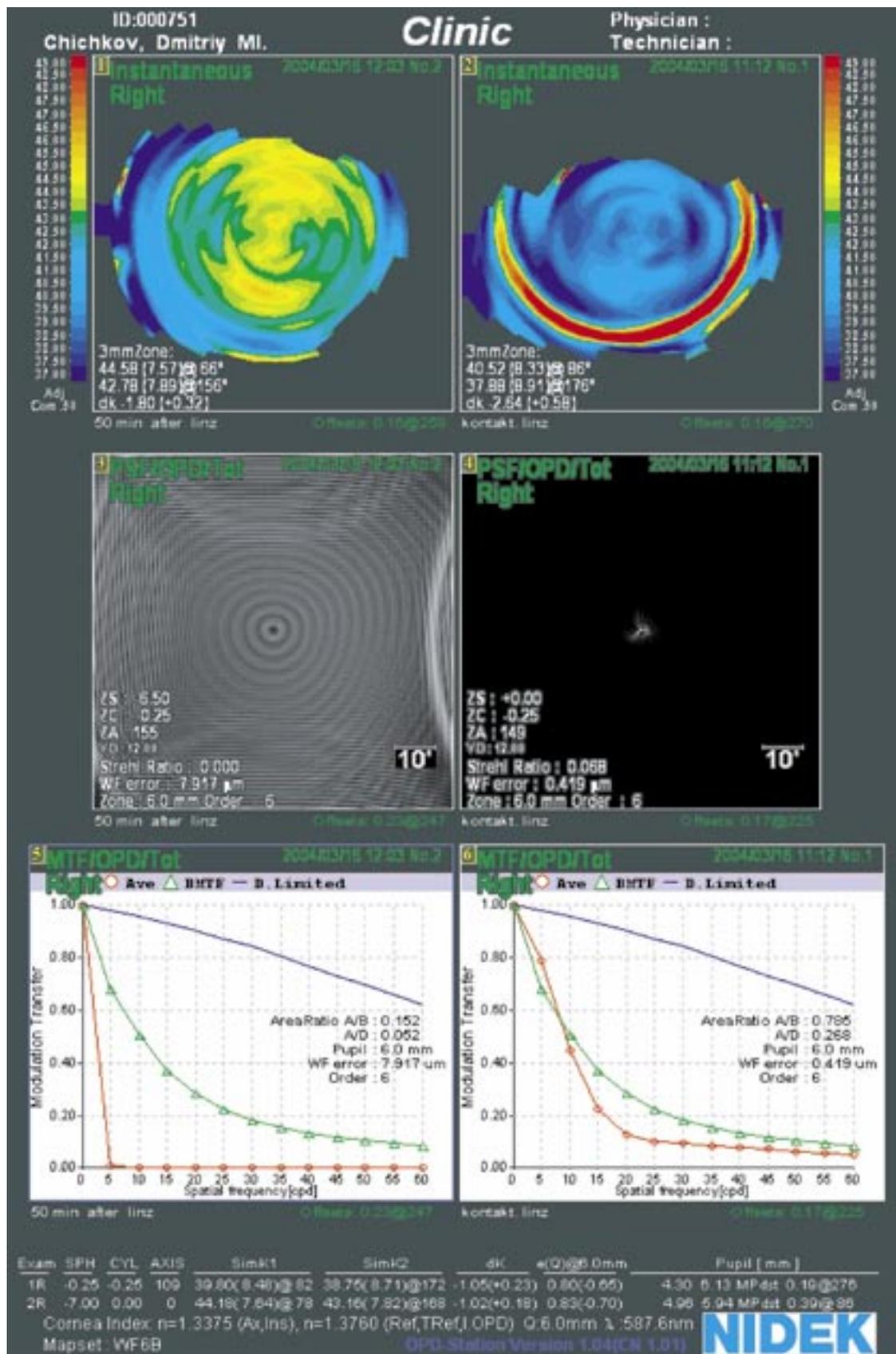


Рис. 2. Состояние видеокератогаммы без (1), с контактной линзой (2), показателя PSF до (3) и после контактной коррекции (4), показателя MTF (красная линия) до (5) и после контактной коррекции миопии высокой степени (6) и ограничения MTF показателя из-за дифракции света в области зрачка (синяя линия)

Табл. 1. Динамика основных функциональных, оптометрических показателей и RMS коэффициенты до и в различные сроки после транспэпителиальной ФРК (n=78)

Показатели	До операции	После операции			
		5-7 дней	1 месяц	3 месяца	6 месяцев и более
Острота зрения без коррекции	0,03±0,03	0,64±0,01	0,71±0,02	0,84 ± 0,03	0,93 ± 0,05
Сферозквивалент (авторефметрия)	-5,37±0,82	-0,25±0,08	-0,54±0,11	-0,54 ± 0,12	-0,47 ± 0,10
Офтальмометрия	43,57±0,16	38,81±0,35	38,43±0,31	38,16 ±0,28	38,24 ±0,22
RMS коэффициент в 3-мм зоне	0,28±0,07	1,17±0,29	0,58±0,14	0,423±0,13	0,33±0,10
RMS коэффициент в 5-мм зоне	0,52±0,17	1,43±0,31	0,88±0,28	0,73±0,19	0,74±0,16

Табл. 2. Динамика основных функциональных, оптометрических показателей и RMS коэффициентов до и в различные сроки после операции ЛАСИК (n=80)

Показатели	До операции	После операции			
		5-7 дней	1 месяц	3 месяца	6 месяцев и более
Острота зрения без коррекции	0,03±0,04	0,81±0,05	0,90±0,04	0,91 ± 0,03	0,95±0,02
Сферозквивалент (авторефметрия)	-5,57±0,82	-0,27±0,09	-0,44±0,12	-0,43±0,12	-0,42±0,11
Офтальмометрия	43,57±0,16	38,85±0,31	38,43±0,25	38,10±0,29	38,25±0,27
RMS коэффициент в 3-мм зоне	0,27±0,09	0,87±0,26	0,56±0,19	0,51±0,18	0,49±0,16
RMS коэффициент в 5-мм зоне	0,53±0,17	1,22±0,33	1,07±0,29	0,98±0,27	0,95±0,20

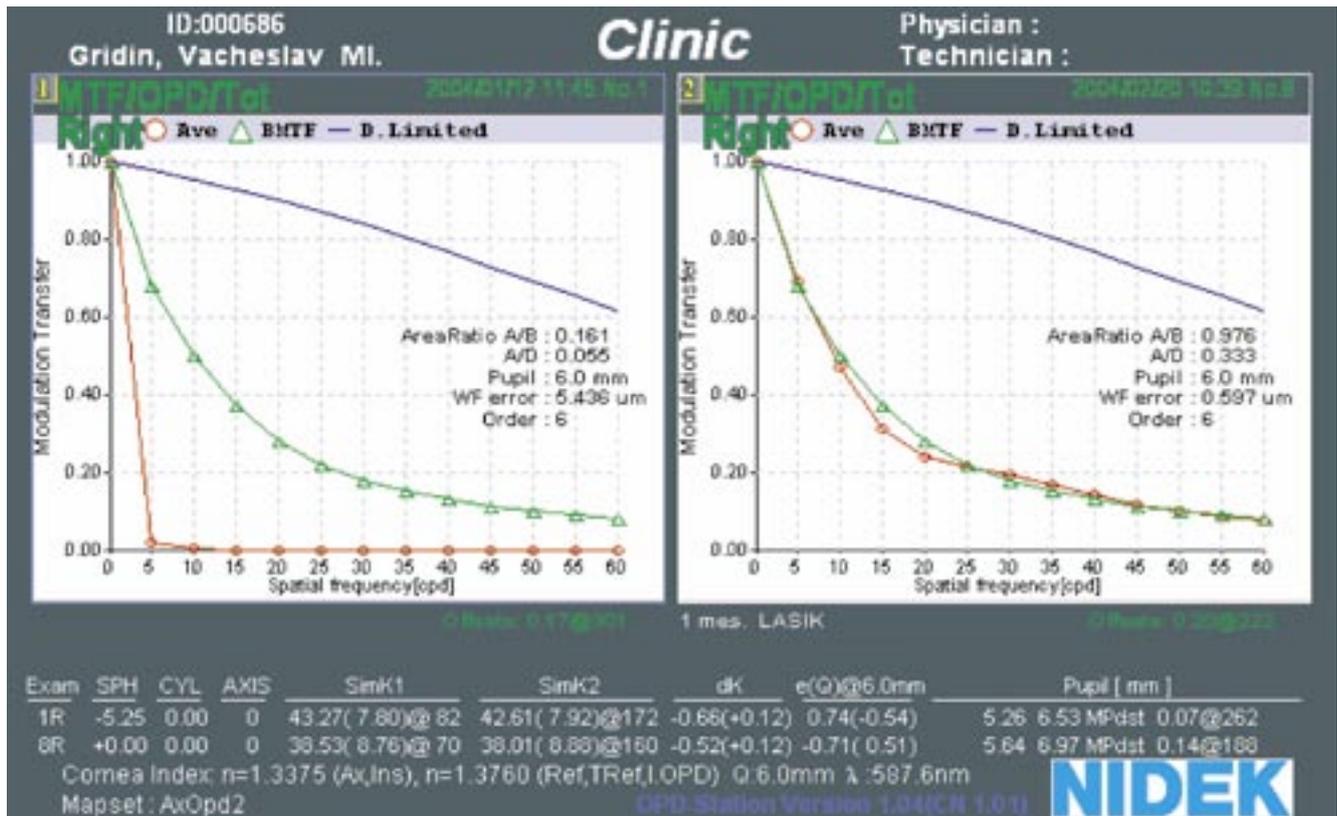


Рис. 3. Состояние показателя до MTF (1-красная линия) и его приближение к показателю MTF здорового глаза с эмметропической рефракцией (зеленая линия) после операции ЛАСИК (2-красная линия) у пациента с миопией средней степени

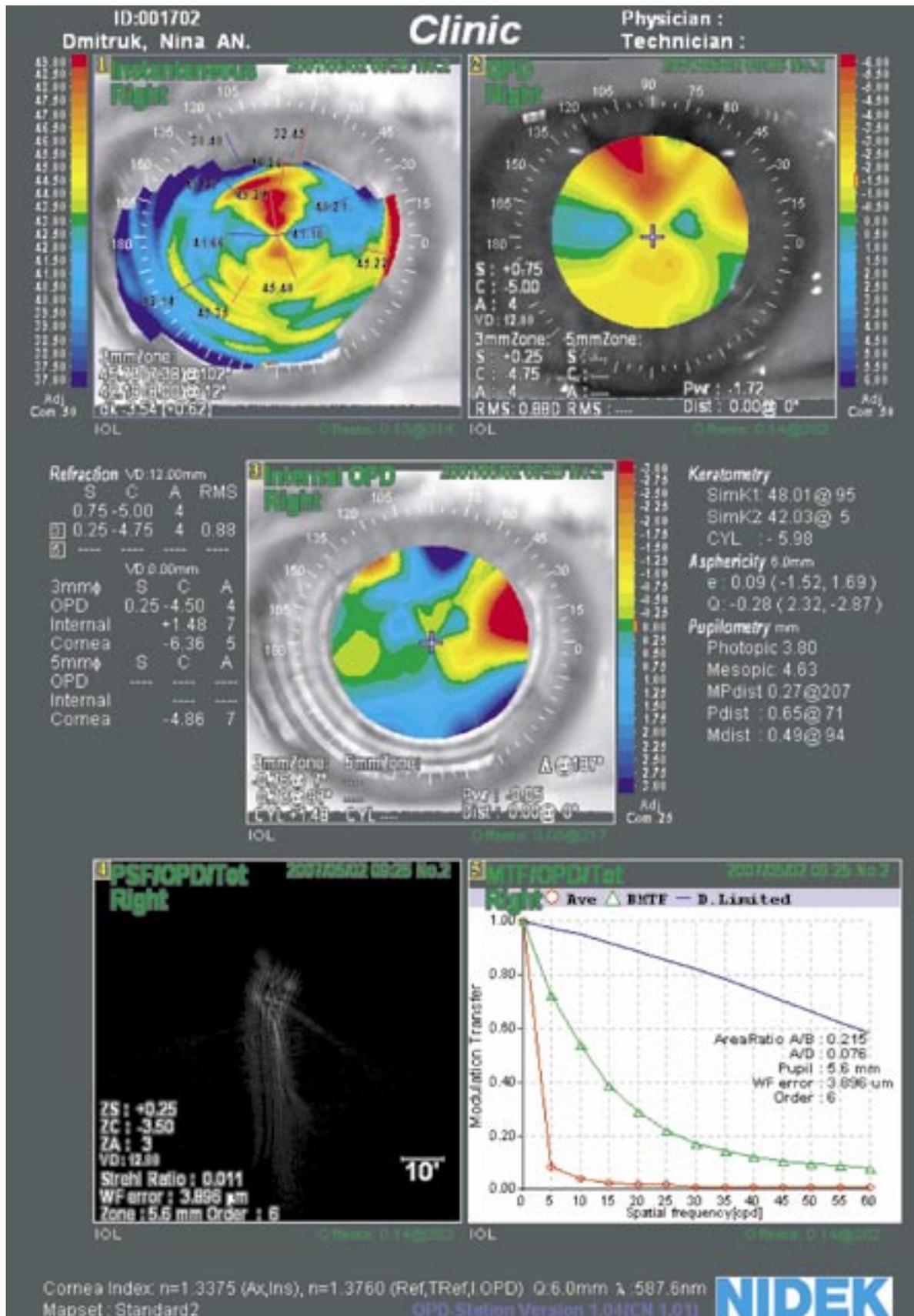


Рис. 4. Видеокератограмма (1), тотальные (2) и внутренние (3) aberrации, состояние PSF(4) и MTF (5) после имплантации ИОЛ на правом глазу через 6-мм роговичный разрез с наложением непрерывного шва

конечной целью восстановление такой оптической системы, какую имеет здоровый глаз с эмметропической рефракцией. Именно при восстановлении прозрачности преломляющих структур и сред глаза и фокусировке света в фовеоле макулярной области имеют место минимальные световые aberrации внутри глаза, что обеспечивает наилучший уровень восприятия мельчайших деталей предмета и его контрастности. Однако при исследовании у пациента остроты зрения и такой более тонкой функции, как контрастная чувствительность, результаты исследования носят субъективный характер. Это связано с целым рядом индивидуальных особенностей переработки информации с сетчатки корой головного мозга.

В работах последних лет по различным методам восстановительной коррекции зрения акцент был сделан на оценку состояния aberrаций высших порядков оптической системы глаза. Анализировались RMS коэффициенты как для суммарных aberrаций, так и для aberrаций высших порядков, с рассмотрением структуры aberrаций высших порядков по полиномам Цернике [2, 3]. Однако трактовка получаемых aberрометрических показателей была нередко затруднена из-за большого их количества и широкого диапазона колебаний числовых значений. Такие колебания были отмечены даже в глазах с эмметропической рефракцией. Вот почему в нашей работе был сделан акцент на качественную и количественную оценку световой передаточной функции глаза.

Термин «световая передаточная функция» был введен нами для характеристики оптической системы глаза не случайно. По нашему мнению, в клинической офтальмологии правильнее говорить именно о световой передаточной функции оптической системы глаза, поскольку за этим стоит не только чисто оптическое преломление световых лучей, но и физиологические процессы переработки световой энергии фоторецепторами сетчатки. Другими словами, офтальмологу необходимо понимание того, как изменится энергетическая нагрузка на различные отделы сетчатки после прохождения света через оптико-рефракционные структуры и среды глаза в зависимости от характера фокусировки проходящего через зрачок светового потока. Такая нагрузка будет различной в зависимости от характера фокусировки световых лучей и суммарных оптических aberrаций, приводящих к излишней засветке отделов сетчатки, которые, например, в фотопических условиях внешней освещенности должны отдыхать. Со временем это может привести к состоянию перекисного стресса в тканях глаза и развитию офтальмопатологии [6].

Выводы

1. Объективным критерием восстановления оптико-рефракционной системы глаза при офтальмопатологии является исследование светопередаточной функции глаза.
2. Светопередаточная функция оптической системы глаза может быть достаточно полно оценена по PSF и MTF показателям на основании объективной aberрометрии.
3. При сравнительной оценке различных технологий оптических, лазерных и хирургических методов восстановления оптико-рефракционной системы глаза предпочтение должно быть отдано той методике, при которой достигаемые PSF и MTF показатели аналогичны или близки к таковым для здорового глаза с эмметропической рефракцией.

Литература

1. Балашевич Л.И., Качанов А.Б. Клиническая корнеотопография и aberрометрия. М., 2008. – 167 с.
2. Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации. СПб., 2009. – 296 с.
3. Корниловский И.М., Годжаева А.М., Купцова О.Н. Новые возможности восстановительной коррекции зрения по данным видеокератографии и инфракрасного сканирования оптической системы глаза на приборе OPD-scan. // Офтальмология. – 2006. – Т. 3, № 4. – С. 72–80.
4. Корниловский И.М., Годжаева А.М. Новый подход к оценке оптико-рефракционных свойств хрусталика при развитии катаракты // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2008. Т. 8. – № 2. – С. 6–11.
5. Корниловский И.М., Годжаева А.М., Карпов В.Е. Новый биоптический подход в фоторефракционной коррекции аметропий // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2008. Т. 8. – № 2. – С. 4–19.
6. Корниловский И.М. Патогенетическая направленность различных методов коррекции aberrаций оптической системы глаза. // Рефракционная хирургия и офтальмология. 2010. – Т. 10. № 2. – С. 21–27.
7. Шелудченко В.М. Разрешающая способность глаза после рефракционных операций. Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1996. – 39 с.
8. Bille J.F., Harner C.F.H., Loesel F.H. Aberration-free refractive surgery: new frontiers in vision. // Springer, 2002. – 203 p.

Контактная информация

Корниловский И.М.
Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова
105203, г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 70.
Тел.: +7 (910) 453-41-12; e-mail: Kornilovsky51@yandex.ru