

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ОПТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЯХ (обзор литературы).

*Национальный Центр Офтальмологии имени академика Зарифы Алиевой, Баку, Азербайджан***Ключевые слова:** абберрация, рефракция, волновой фронт

Как и в любой «неидеальной» оптической системе, человеческому глазу свойственны оптические дефекты, обусловленные неправильным преломлением световых лучей, которые получили название абберраций от латинского слова *aberrare* – уклоняться, заблуждаться [1, 2, 3, 4].

В литературе можно найти различные определения оптическим абберрациям вообще и глазного яблока, в частности, общим для которых является неправильное преломление лучей света. Под оптическими абберрациями глаза понимают любое угловое отклонение узкого параллельного пучка света от точки идеального пересечения с сетчаткой в центре фовеолы при его прохождении через всю оптическую систему глаза. Из данного определения становится понятным, почему абберрации снижают качество зрения и искажают изображение на сетчатке. В технической оптике качество оптической системы определяется абберрациями, возникающими при прохождении через эту систему световой волны плоского или сферического фронта [2, 3, 5, 6]. Так, глаз без абберраций должен иметь плоский волновой фронт и давать изображение на сетчатке точечного источника, так называемый «диск Эйри», размер которого зависит только от диаметра зрачка. Однако в норме, даже при остроте зрения 100%, преломляющие свет оптические поверхности глаза искажают ход лучей, формируют оптические дефекты и неправильный волновой фронт. В результате этого изображение на сетчатке получается более крупным и асимметричным. Такое искажение называется «функцией светорассеяния изображения точки» (*point spread function* или сокращено *PSF*) [5, 6]. Исследование *PSF* является важным в клинике, поскольку позволяет получить информацию о том, как видит глаз точечный источник в зависимости от абберраций его оптической системы. При этом в расчет не принимается функциональное состояние макулярной области сетчатки и ретино-кортикальных связей, обеспечивающих передачу информации через зрительный нерв в головной мозг. По этой причине могут быть отличия данного показателя от реальной остроты зрения. В качестве примера может быть приведена рефракционная амблиопия, которая развивается на ранних этапах постнатального рефрактогенеза. Клиницистам хорошо известно, что степень выраженности амблиопии зависит не от конечной клинической рефракции глаза и сопутствующих ей оптических абберраций, а от того, на каком этапе формирования ретино-кортикальных связей была проведена коррекция аметропии, и проводилось лечение амблиопии.

На основании исследования абберраций волнового фронта может быть получена информация о контрастной чувствительности. С этой целью рассчитывается показатель модуляции передаточной функции (*Modulation Transfer Function* или сокращенно *MTF*) [5]. Данный показатель целесообразно рассчитывать при оценке эффективности контактной коррекции аметропий после хирургических или лазерных рефракционных операций. При этом необходимо помнить о том, что оптические абберрации и контрастная чувствительность зависят от диаметра зрачка. Поэтому в последние годы при проведении абберрометрии, как правило, выполняется объективная пулометрия [7, 8, 9].

Количественной характеристикой оптического качества изображения является среднеквадратичное значение ошибок отклонения реального волнового фронта от идеального [5]. Вот почему получение данных рефракции и распределения среднеквадратичных ошибок (*RMS*) в определенной зоне оптической системы глаза на пути к сетчатке позволяет получить информацию о том, какая необходима коррекция с учетом всех абберраций. При этом надежность значений тем меньше, чем больше значения среднеквадратичной ошибки. Значения *RMS* равно нулю, означает, что распределение рефракционных ошибок идеально выражено с помощью сфероцилиндрических характеристик.

Математическое описание абберраций волнового фронта предложил Зернике (*Zernike*) с помощью серии полиномов, рассчитываемых на основе математического ряда Фурье [10]. Данные объективной абберрометрии трансформируются в 27 коэффициентов, которые отражают абберрации низшего (*Tilt*, *Defocus*, *Ast*) и высшего (*T.Coma*, *T.Sph*, *T.Trefoil* и т.д.) порядков.

Полиномы первого и второго, т.е. низших порядков, описывают привычные для офтальмологов оптические аберрации, обусловленные призматическим эффектом, дефокусировкой (аметропией) и астигматизмом.

Менее известны полиномы высших порядков. Так полиномы третьего порядка соответствуют коме. Кома – это сферическая аберрация косых пучков света, падающих под углом к оптической оси глаза. В ее основе лежит асимметрия оптических элементов глаза, в результате которой центр роговицы не совпадает с центром хрусталика и фовеолы.

К аберрациям четвертого порядка относится сферическая аберрация. Данный вид аберрации в основном обусловлен тем, что периферия хрусталика преломляет падающие на нее параллельные лучи сильнее центра.

Более высокие порядки известны, как нерегулярные аберрации [1, 2, 3, 5].

Кроме того, сама полихроматическая природа света обуславливает появление аберраций: лучи разной длины волны фокусируются на разном расстоянии от сетчатки (коротковолновые – ближе к сетчатке, чем длинноволновые). Такие аберрации называют хроматическими [2].

Оптическая система считается хорошей, если коэффициенты Цернике близки к нулю и, следовательно, среднеквадратичное значение ошибок волнового фронта меньше $1/14$ длины волны (критерий Марешаля) [5]. При известных волновых аберрациях можно рассчитать коэффициент Штреля. Данный коэффициент отражает соотношение между пиком интенсивности функции светорассеяния изображения точки определенного глаза, и глаза без аберраций. Коэффициент Штреля в определенных условиях хорошо коррелирует с остротой зрения [2, 3, 5]. Вот почему, исходя из коэффициента Штреля можно прогнозировать остроту зрения, моделируя изображение любых опто типов на сетчатке.

Аберрации, возникающие при аномалиях рефракции (миопия, гиперметропия, астигматизм), обусловленные плохой фокусировкой световых лучей на сетчатке, называют дефокусом и относят к аберрациям 2-го низшего порядка. К аберрациям 1-го порядка, как уже отмечалось выше, относятся призматические аберрации.

С дефокусировками и способами их устранения офтальмологи имеют дело в течение столетий. Что же касается вопросов, связанных с аберрациями высшего порядка, то они стали предметом активного интереса клиницистов лишь в последние годы, в связи с появлением реальных путей их объективной диагностики и коррекции.

Наиболее часто рассматриваются следующие виды аберраций высшего порядка:

1. Сферическая аберрация, возникающая вследствие того, что края двояковогнутой линзы преломляют падающие на нее лучи сильнее центра.
2. Кома – это сферическая аберрация косых пучков света, падающих под углом к оптической оси. Одна из причин этой аберрации состоит в том, что оптические элементы глаза несимметричны, т.е. оптический центр роговицы не совпадает точно с фовеолой, а хрусталик всегда наклонен к оптической оси глаза.
3. Дисторсия - одна из аберраций оптических систем, которая возникает вследствие разного линейного увеличения различных частей изображения. Это проявляется изменением масштаба изображения с удалением от центра к краю, что приводит к бочкообразному или подушкообразному искажению прямоугольного изображения.

Кроме основных, перечисленных аберраций высшего порядка, имеется ряд других аберраций – вторичная сферическая, кома и др.

В стандарт Американского оптического общества включены аберрации вплоть до 7-го порядка, которые могут сказываться на качестве ретинального изображения.

Полихроматическая природа света, в результате которой лучи разных длин волн не могут быть собраны в одной точке, приводит к возникновению хроматических аберраций.

Рассмотрим роль физиологических аберраций в живом глазу, определяющих его разрешающую способность. Так, исследованиями ряда авторов [5, 11, 12] было показано, что имеется корреляция между остротой зрения в диапазоне от 1,0 до 2,0 и величиной оптических аберраций. При больших аберрациях острота зрения соответствует нижней границе нормы 1,0. Чем меньше аберрации, тем выше острота зрения. Важно отметить, что даже при зрении 2,0 в глазу имеют место заметные аберрации. Можно спрогнозировать повышение остроты зрения при уменьшении (коррекции) оптических аберраций. Теоретически можно достичь остроты зрения 3,0-5,0, а по некоторым оценкам даже выше. Однако реальные условия зрительной работы ставят под сомнение целесообразность такого зрения. Это объясняется тем, что при формировании в живом глазу не точечного, а широкого фокуса, создаются условия для глубины фокуса в 0,9 диоптрии при

зрчке 3 мм, а при зрчке 1 мм (или при прищуривании) 2,2 диоптрии [2, 3, 11]. Таким образом, наличие аберраций может создавать условия сравнительно четкого зрения в широком диапазоне расстояний до наблюдаемых объектов без истинной аккомодации.

Аберрации оптической системы глаза в норме зависят как от формы и прозрачности роговицы и хрусталика, так и от прозрачности внутриглазной жидкости и стекловидного тела, а при патологии – также от локализации изменений на сетчатке [1, 3, 5]. К факторам, влияющим на аберрации, относится и состояние слезной пленки. Обнаружено, что при разрушении слезной пленки увеличиваются аберрации высших порядков [5]. Аберрации зависят и от диаметра зрачка, аккомодации и возраста. Так в период от 30 до 60 лет аберрации высшего порядка удваиваются, т.к. эластичность и прозрачность хрусталика уменьшается, и он перестает компенсировать роговичные аберрации [2, 3]. Рассчитано, что аберрации высших порядков оказывают наименьшее влияние при диаметре зрачка 3,22 мм [3]. Аберрации оказывают влияние на качество ретинального изображения [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А-Г.Д. Исмаилов М.И. Аберрации оптической системы глаза при имплантации искусственного хрусталика: Монография., М., 2000.
2. Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия: Монография, СПб, 2002.
3. Егорова Г.Б., Бородин Н.В., Бубнова И.А. Аберрации человеческого глаза, способы их измерения и коррекции (обзор литературы) // Русский Медицинский Журнал, 2003, т.4, № 4, с.24-27.
4. Корнюшина Т.А., Розенблюм Ю.З. Аберрации оптической системы глаза человека и их клиническое значение // Вестник оптометрии, 2002, №3, с.13-20.
5. Bille J.F., Harner C.F.H., Loesel F.H. Aberration-Free Refractive Surgery: New Frontiers in Vision. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003, 203 p.
6. Molebny V.V., Panagopoulou S.I., Molebny S.V., Wakil Y.S., Pallikaris I.G. Principles of Ray Tracing Aberrometry // J. Refract. Surg., 2000, v.16, N5, p.572–575.
7. Корниловский И.М., Годжаева А.М. Биоптический подход к диагностике и коррекции оптических аберраций глаза / Тез. докл. VIII съезда офтальмологов России, М., 2005, с.256.
8. Корниловский И.М., Годжаева А.М. Новый биоптический подход к оценке оптических аберраций и восстановительной коррекции зрения // Рефракционная хирургия и офтальмология, 2006, т.6, №1, с.4-11.
9. Bellucci R, Morselli S, Pucci V. Spherical aberration and coma with an aspherical and a spherical intraocular lens in normal age-matched eyes // J. Cataract. Refract. Surg., 2007, v.33(2), p.203-209.
10. Zernike F. Beugungstheorie des Schneidenverfahrens und seiner verbesserten Form der Phasenkontrastmethode // Physica I., 1934, №2, p.689–704.
11. Семчишен В., Мрохен М., Сайлер Т. Оптические аберрации человеческого глаза и их коррекция // Рефракционная хирургия и офтальмология, 2003, т.3, №1, с.5–13.
12. Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика. Киев:Здоровья, 1982, 184 с.

Qocayeva A.M.

OPTİK ABERRASIYALAR HAQDA ƏSAS ANLAYIŞLAR (ədəbiyyat icmalı)

Akademik Zərifə Əliyeva adına Milli Oftalmologiya Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan

Açar sözlər: aberrasiya, refraksiya, dalğa frontu

XÜLASƏ

Məqalədə gözün optik sisteminin aberrasiyaları haqda müasir anlayışlara baxılmışdır (müzakirə olunub). Zernike (Zernike) polinomları vasitəsilə aberrasiyaların riyazi təsviri verilib.

THE MAIN CONCEPTS OF OPTIC ABERRATIONS (survey of literature).

National Centre of Ophthalmology named after academician Zarifa Aliyeva, Baku, Azerbaijan

Key words: aberration, refraction, wave front

SUMMARY

This article discusses the modern concepts of optic aberrations, including mathematical analysis of aberrations using Zernike polynome.

Для корреспонденции:

Годжаева Айбениз Магсуд кызы, доктор медицинских наук, руководитель отдела патологии сетчатки и зрительного нерва Национального Центра Офтальмологии имени академика Зарифы Алиевой

Адрес: AZ1000, г.Баку, ул. Джавадхана, 32/15.

Тел.: (99412) 569-91-36, (99412) 569-91-37

Email: administrator@eye.az ; www.eye.az