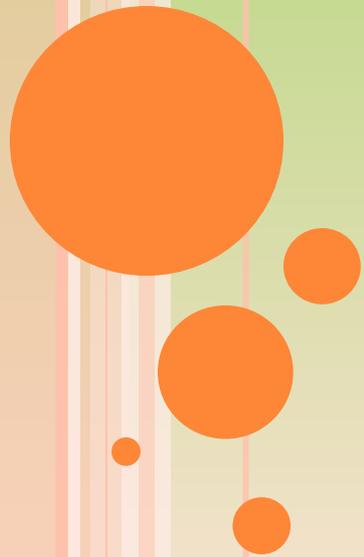


ЗРИТЕЛЬНЫЕ АБЕРРАЦИИ



АБЕРРАЦИИ КАК НЕСОВЕРШЕНСТВО ГЛАЗА



- ▣ **Аберрация – любое угловое отклонение узкого параллельного (коллимированного) пучка света от точки идеального пересечения с сетчаткой в центре фовеолы при его прохождении через оптическую систему глаза.**



А

хроматические

дифракционные

монохроматические

Высшего порядка

- Сферические
- Кома
- Астигматизм косых пучков
- Кривизна поля
- Дисторсия
- Нерегулярные

Низшего (1, 2)

- Аметропии
- Астигматизм



ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ АБЕРРАЦИЙ

- **Формы и прозрачность** роговицы и хрусталика; состояние сетчатки; прозрачность внутриглазной жидкости и стекловидного тела.
- **Увеличение диаметра зрачка.** Если при диаметре зрачка равном 5,0 мм преобладают А 3-го порядка, то при его увеличении до 8,0 мм возрастает доля А 4 -го порядка. Критический размер зрачка, при котором А высших порядков оказывают наименьшее влияние = 3,22 мм.
- **Аккомодация.** С возрастом А увеличиваются, и в период от 30 до 60 лет А высшего порядка удваиваются, т. к. со временем эластичность и прозрачность хрусталика уменьшается, и он перестает компенсировать роговичные А.
- **Спазм аккомодации** - излишне стойкое напряжение аккомодации, обусловленное таким сокращением ресничной мышцы, которое не исчезает под влиянием условий, когда аккомодация не требуется.
- **Состояние слезной пленки.** При разрушении слезной пленки А высших порядков увеличиваются в 1,44 раза. Одна из разновидностей нарушения слезной пленки – синдром сухого глаза.
- **Ношение контактных линз.** Мягкие КЛ могут вызывать волновые монохроматические А высокого порядка, тогда как жесткие КЛ уменьшают А 2-го порядка. Однако асферичность поверхности жестких КЛ может быть причиной сф. А. Асферические КЛ могут вызывать большую нестабильность остроты зрения, чем сферические КЛ. Мультифокальные КЛ могут индуцировать А по типу комы и 5-го

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

Это искажение изображения, связанное с тем, что лучи видимого света, имея разную длину волны и падая на линзу параллельным пучком, преломляясь, фокусируются не в одной точке. КВЛ (сине-зеленые) фокусируются дальше от сетчатки, чем ДВ (красные).



Это хроматизм положения. В результате изображение размывается, и края его окрашиваются. Если фокус синих лучей совместить с сетчаткой, изображение точки будет окружено красным ореолом, и наоборот. Очертания воспринимаемых предметов могут окрашиваться при гиперметропии – красным, при миопии – синим цветом.

Практическое значение ХА более заметно при проведении дуохромного теста для уточнения оптической установки глаза при аметропии. В условиях освещения белым светом человек не различает цветные каемки вокруг наблюдаемых предметов. Это объясняется наложением цветных ореолов один на другой и малыми угловыми размерами цветных каемок. ХА не оказывают существенного влияния на центральное зрение.

ДИФРАКЦИОННАЯ

Связана с нарушением прямолинейности, отклонением, световой волны при ее распространении мимо резких краев непрозрачных или прозрачных структур, формирующих отверстия.



Такой структурой в глазу является зрачок. В результате дифракции света на границе зрачка, где согласно законам геометрической оптики должен быть четкий переход от тени к свету, возникает ряд светлых и темных дифракционных колец, проецируемых на сетчатку. С уменьшением диаметра зрачка диаметр дифракционного круга светорассеянья увеличивается. Но при этом сферическая аберрация уменьшается.

СФЕРИЧЕСКАЯ



Есть различие в преломлении светового луча между центром сферической оптической поверхности и ее периферией.

Сферическая оптика принципиально формирует не совершенное изображение из-за наличия сферических aberrаций (оптическая сила распределена неравномерно). Оптическая сила на периферии линзы больше, чем в ее центральной зоне, тем выше оптическая сила линзы, тем больше сферические aberrации.

В основе сф. А лежит кривизна роговицы и хрусталика. Влияние сф. А на качество изображения зависит от величины зрачка. При малых размерах зрачка от 2 до 4 мм сф. А минимальна, но резко возрастает при расширении зрачка. Если преломление лучей через периферическую часть зрачка сильнее, чем через центральную, то сф. А называется положительной (н-р, при неизменной роговице). При обратном положении возникает отрицательная сферическая aberrация (н-р, при уплощении центра роговицы после лазерной фотоабляции). Сф. А носит индивидуальный характер. Поверхность хрусталика, которая также индивидуальна, может частично компенсировать сф. А роговицы.



АСТИГМАТИЗМ

Это А наклонных пучков (А больших углов наклона). Возникает из-за асферичности преломляющих поверхностей глаза. Если на оптическую систему направлен узкий пучок лучей, находящийся на значительном расстоянии от оптической оси, то он сфокусируется в виде двух взаимно перпендикулярных отрезков на определенном расстоянии друг от друга, образуя при этом изображение в виде хорошо известного коноида Штурма (эллипс, за ним кружок, и снова эллипс). Такое состояние равносильно прямому падению лучей на торическую поверхность. Астигматизм снижает зрительное разрешение.

Частный случай астигматизма - физиологический. При нем сохранена нормальная острота зрения. Он обусловлен несколькими факторами: асферичностью преломляющих поверхностей, астигматизмом наклонных лучей, децентрированием преломляющих поверхностей и различиями в оптической плотности преломляющих сред.



КОМА

Возникает при несовпадении центров изображений светящихся точек, расположенных вне оси оптической системы (абберация малых углов наклона оптических пучков). Наложение изображений принимает вид несимметричного пятна, напоминающего запятую. Одной из причин комы является отсутствие соосности между оптическими центрами роговицы, хрусталика и фовеолы. К усилению комы может приводить децентрирование новых оптических зон при различных способах хирургической коррекции аметропий.

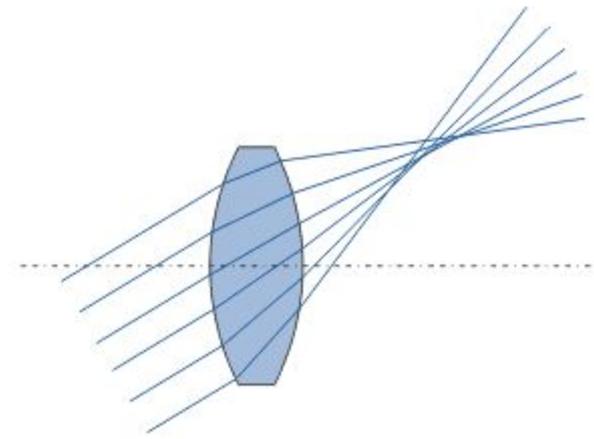


Схема образования комы: лучи, приходящие под углом к оптической оси собираются не в одной точке



Кома на краю поля зрения

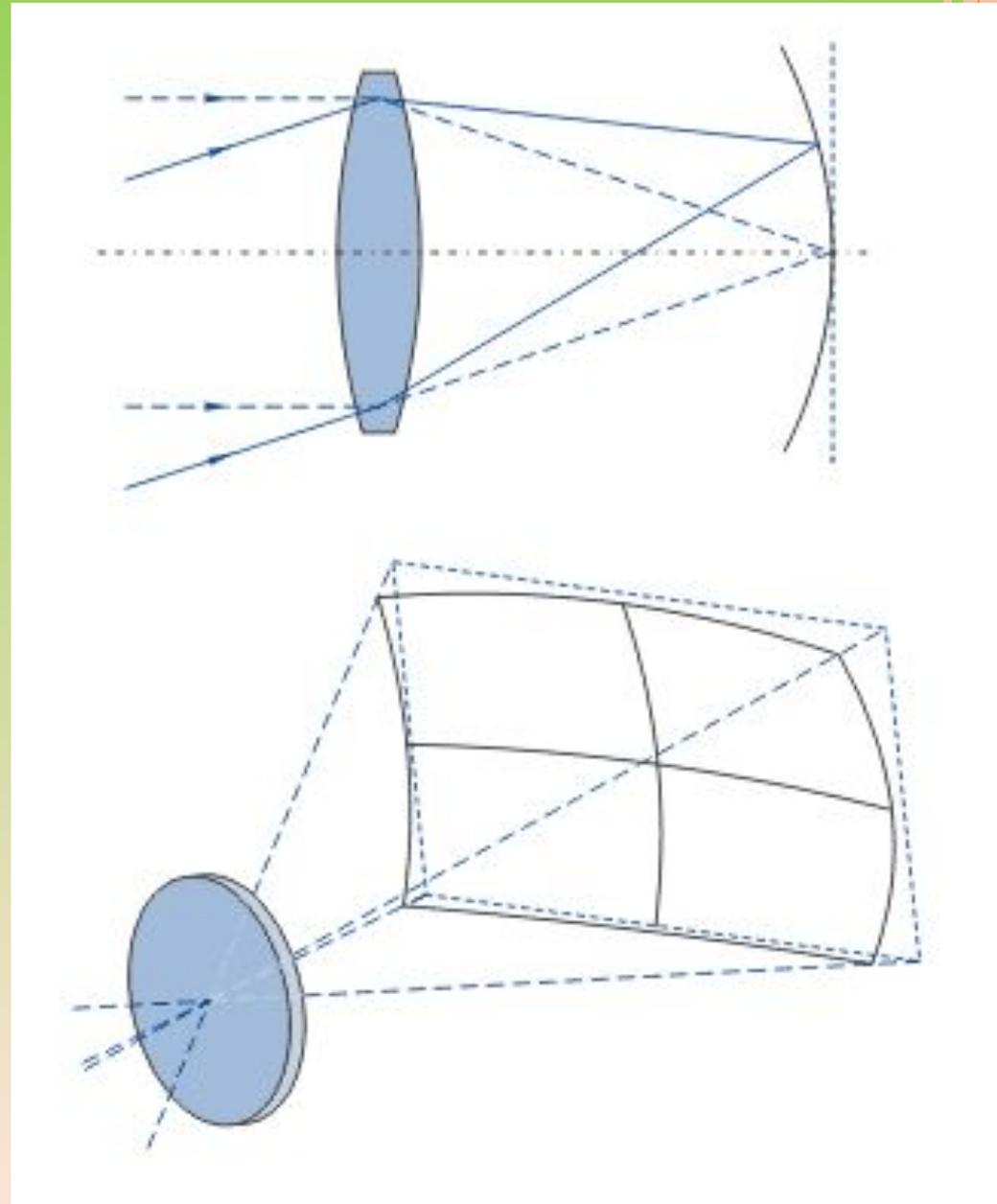


Отсутствие комы



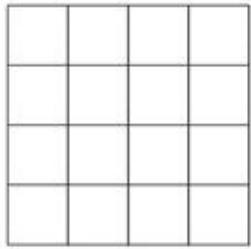
КРИВИЗНА ПОЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Обусловлена тем, что изображение плоского предмета получается резким не в плоскости, как это должно быть в идеальной оптической системе, а на искривленной поверхности. Она представляет собой срединную поверхность между обеими астигматическими, которые возникают вследствие отображения каждой точки отрезка двумя изображениями, лежащими в сагиттальной и меридиональной плоскостях.

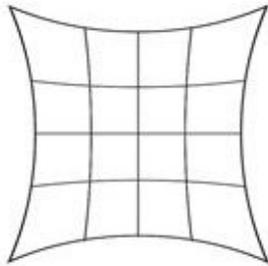


ДИСТОРСИЯ

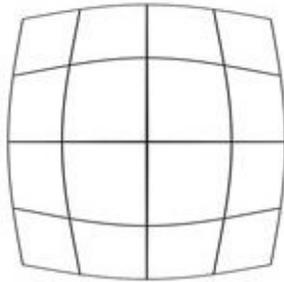
Дисторсия
отсутствует



Подушкообразная
дисторсия



Бочкообразная
дисторсия

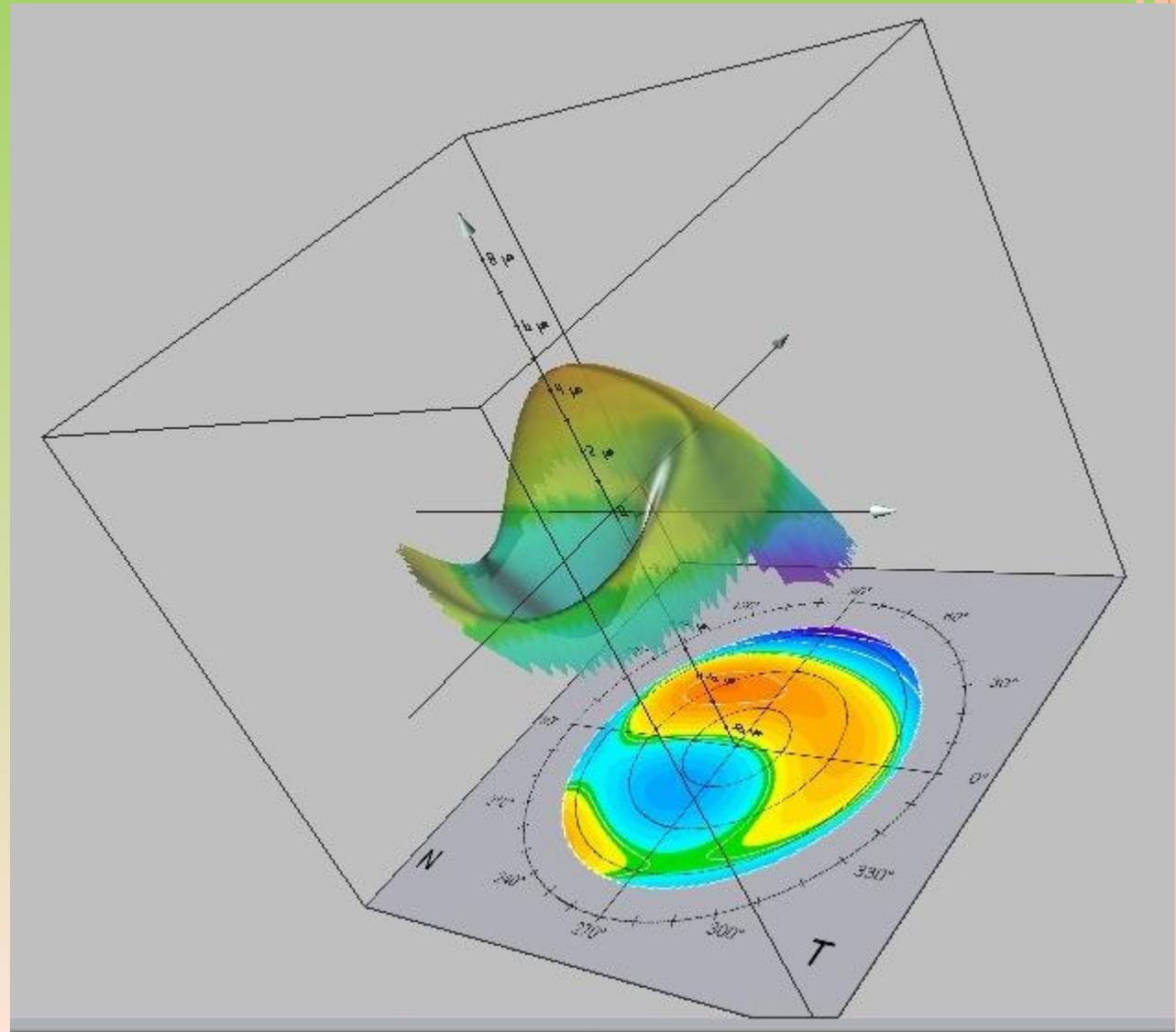


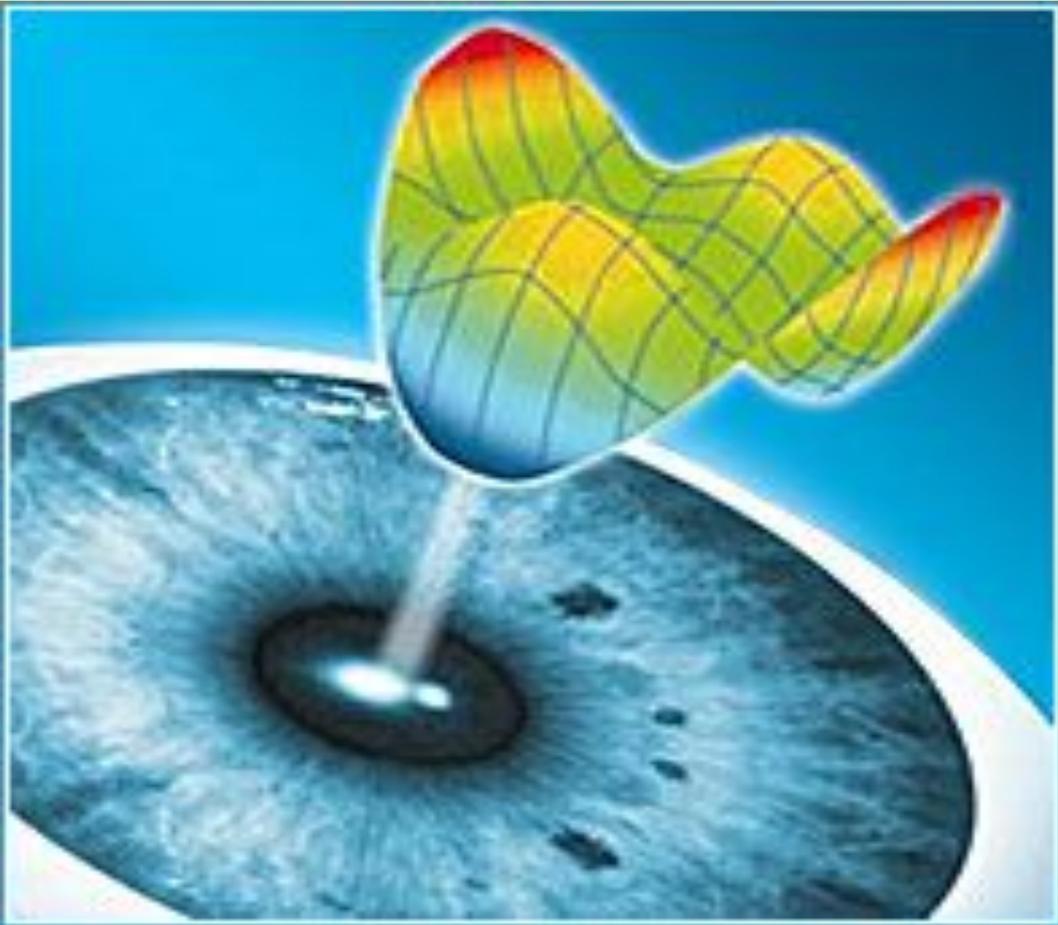
Нарушается геометрическое подобие между объектом и его изображением. При D линейное увеличение разных частей изображения различно в пределах всего поля, т. к. разноудаленные от оптической оси точки предмета изображаются с разным увеличением. Прямоугольное изображение может перейти в «бочкообразное» ($-D$) или «подушкообразное» ($+D$). Такой же эффект могут создавать астигматические очковые линзы, сжимающие ли растягивающие предметы в одном направлении.



КАРТА ОПТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ РЕАЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ОТ ИДЕАЛЬНЫХ В ПРОЕКЦИИ ЗРАЧКА НАЗЫВАЕТСЯ ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ

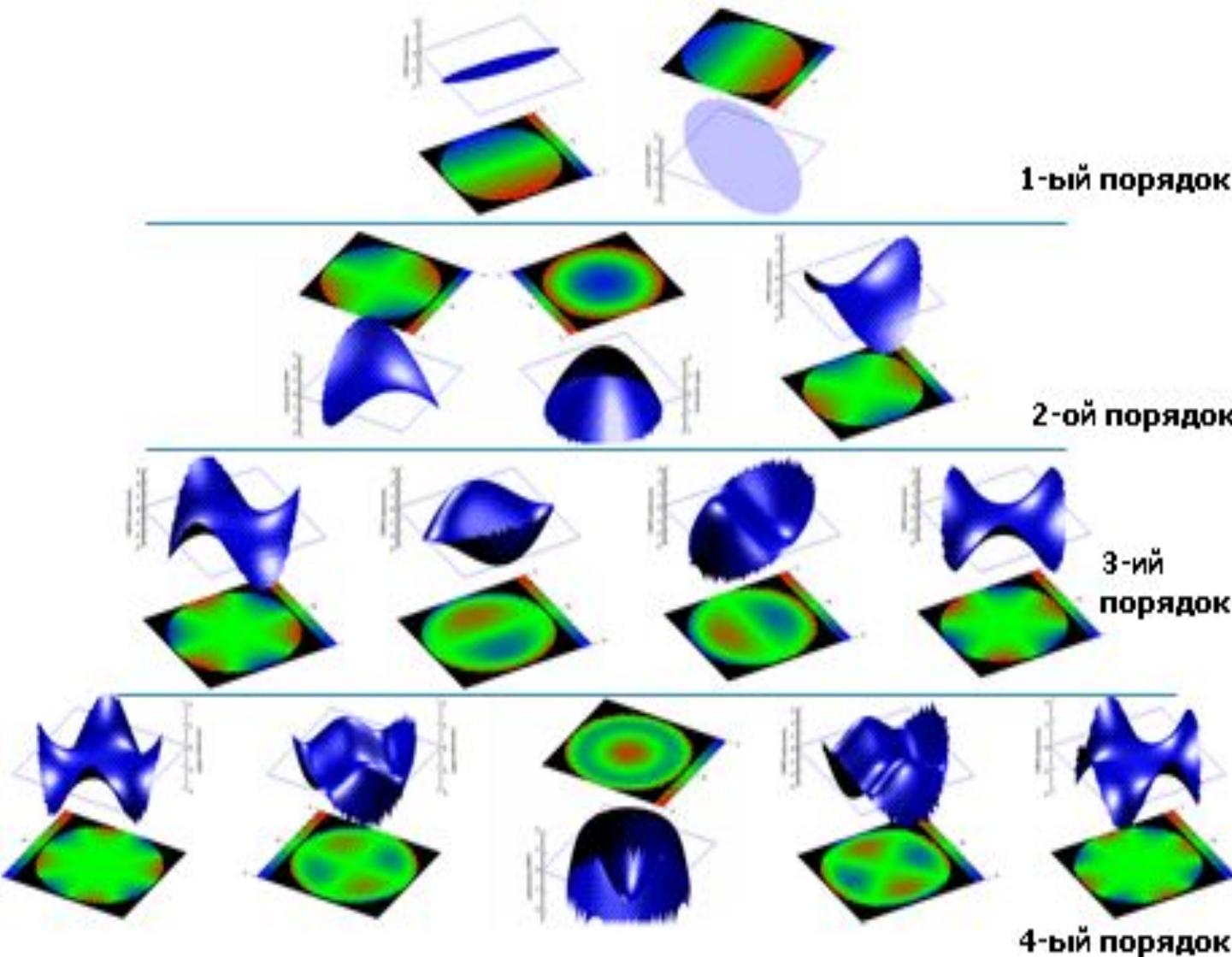
Оптическая система с минимальным количеством aberrаций имеет плоский, или сферический, волновой фронт. В реальной физиологической оптической системе всегда есть отклонения от плоского волнового фронта.





Так, глаз без аберраций имеет плоский волновой фронт и дает наиболее полноценное изображение на сетчатке точечного источника (так называемый «диск Эйри», размер которого зависит только от диаметра зрачка).

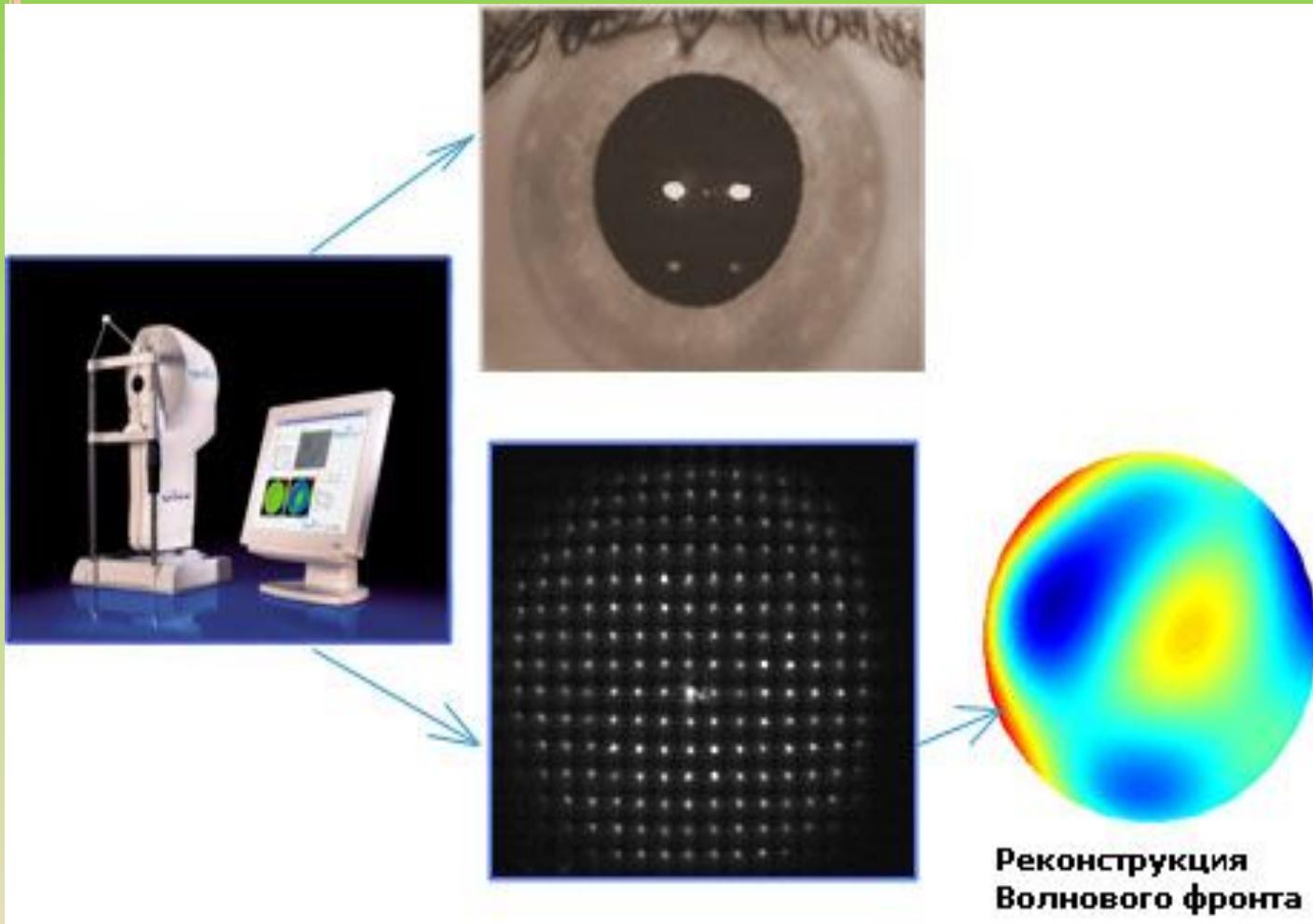
Но в норме, даже при остроте зрения 100%, оптические дефекты преломляющих свет поверхностей глаза искажают ход лучей и формируют неправильный волновой фронт, в результате чего изображение на сетчатке получается более крупным и асимметричным.



Количественной характеристикой оптического качества изображения является среднеквадратичное значение ошибок отклонения реального волнового фронта от идеального.

Для описания aberrаций волнового фронта используют серии полиномов математического формализма Зернике. Призматический наклон описывают полиномами 1-го порядка (Z_1), дефокус и астигматизм – 2-го, кому относят к 3-му, а сферическую aberrацию к 4-му порядку. Более высокие порядки известны, как нерегулярные aberrации.

Как измеряется волновой фронт



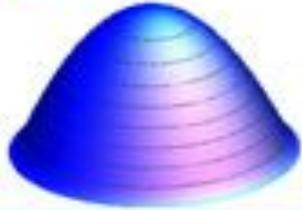
Оптическая система считается хорошей, если коэффициенты Зернике близки к нулю и, следовательно, среднеквадратичное значение ошибок волнового фронта меньше $1/14$ длины световой волны (критерий Маршала).

Исходя из данных этого коэффициента можно прогнозировать остроту зрения, моделируя изображение любых опто типов на сетчатке. Для определения аберраметрии зрительной системы человека используется специальный прибор – аберрометр.



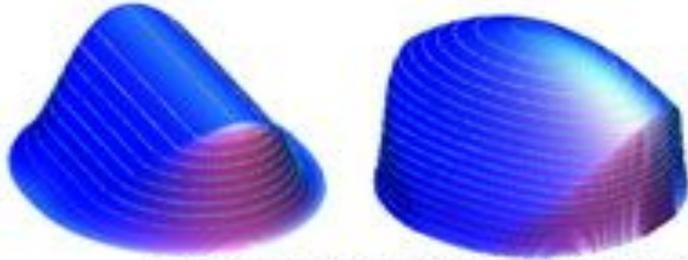
Методы определения аберрации глаза

РАНЬШЕ



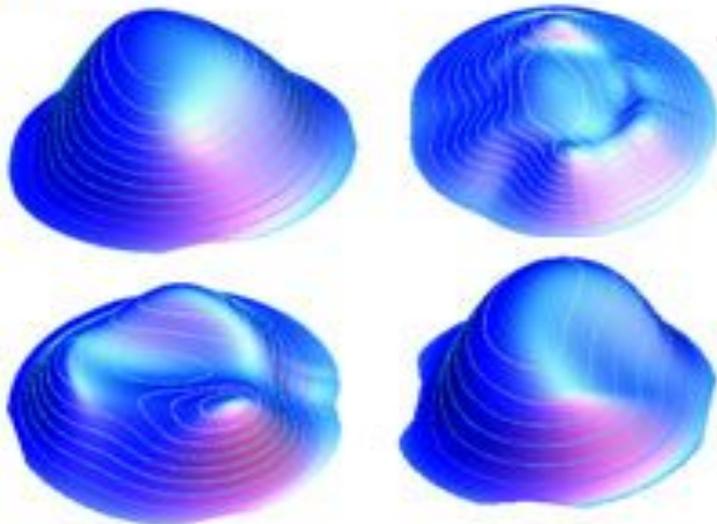
сферическая
коррекция

РАНЬШЕ



асферическая коррекция

СЕЙЧАС



коррекция с помощью
волнового фронта

В настоящее время известно несколько методов определения аберраций глаза, основанных на разных принципах.

1. Анализ ретинального изображения мишени
2. Анализ вышедшего из глаза отраженного луча
3. Основан на компенсаторной юстировке падающего на фовеолу светового пучка

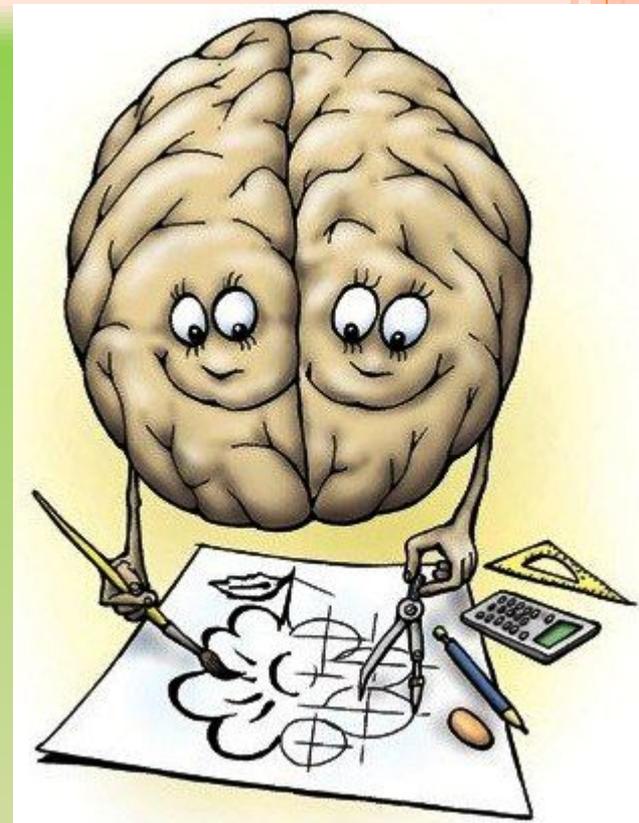


Идеально исправленная по всем aberrациям оптическая система не может дать точного изображения предмета!

Точка никогда не изображается точкой. Причина связана с волновой природой света, создающей дифракционные явления. Точечный источник света изображается на сетчатке не в виде одной точки, а в виде более светлого пятна, окруженного рядом концентрических менее светлых колец убывающей яркости (диск Эйри).

Качество зрительного восприятия зависит от разрешающей способности сетчатки, дифракции света в области зрачка и свойств оптических сред глаз.

Одной из особенностей человеческого глаза является наличие глубины фокусной области, в пределах которой может не происходить изменения качества изображения. Зрительное восприятие регулируется не только физиологической оптикой, но и корковыми структурами центральной нервной системы. Улучшая оптику глаза путем снижения aberrации, можно повысить зрительное разрешение от обычного уровня к более высокому.



КЛИНИЧЕСКАЯ РОЛЬ А И АБЕРРОМЕТРИИ



Выраженность А зависит от многих факторов, к которым относят размер зрачка, возраст пациента, рефракцию, аккомодацию. А непостоянны и меняются во времени с частотой около 2 Гц. Характер А может изменить даже направление взгляда человека, что необходимо при рассматривании предметов. Эффект Стайлса-Кроурфорда, при котором световой пучок в центральной зоне зрачка более яркий, чем в его периферической части, частично смягчает А.

В нормальных глазах среднее значение А высшего порядка при диаметре зрачка 5мм составляет 0.25 мкм, что адекватно 0.25 дптр дефокусировки. При возрастании уровня А их значения могут превышать нормальные в 2-10 раз.



Лазерная фотоабляция роговицы в различных ее вариантах при хирургической коррекции аметропий дает возможность получения высокого зрительного разрешения, но при этом увеличивает A высшего порядка, проявляющиеся при диаметре зрачка 5 мм и более.



При практическом применении оптических средств и хирургических методов существуют факторы, которые ограничивают возможности зрительного разрешения. Например, любые динамические изменения параметров аккомодации или зрачка приведут к искажениям на сетчатке за счет остаточных A . Статистическая коррекция A не способна сделать глаз свободным от нежелательного их влияния. Только динамическая коррекция, основанная на принципах адаптивной оптики, используемая при визуализации глазного дна, лишена недостатков. Устранение монохроматических A тут же приводит к доминированию хроматических. A устранить эффект светорассеяния невозможно даже при устранении A .

Достижение суперзрения при полной коррекции A глаза вряд ли возможно и целесообразно! Во-первых, A сами по себе динамичны. Во-вторых, существуют нейрорецепторные ограничения зрительного разрешения, обусловленные расположением фоторецепторов сетчатки. Повышение зрительного разрешения может вызвать зрительные иллюзии.

Положительная роль A высокого порядка заключается в том, что они увеличивают глубину фокусной области. Если устранить эти A , сохранив только аметропию, то произойдет контрастная инверсия воспринимаемых изображений – белое и черное поменяются местами.

данной ситуации A являются механизмом коррекции качества изображения. Отсутствие A , создающих малый уровень дефокусировки, частично устранило бы стимул к аккомодации, нарушив ее работу и снизив точность аккомодирования.



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ 😊**

