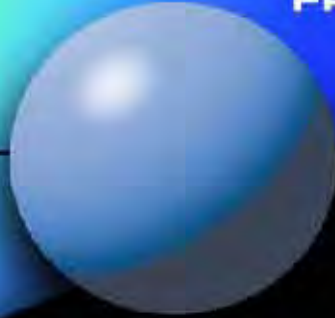
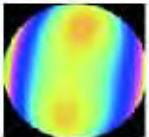


WAVEFRONT TECHNOLOGY:

FROM ASTROPHYSICS

TO OPHTHALMOLOGY



Оптика глаза

- ◆ Существуют люди, обладающие «суперзрением».
- ◆ То, что большинство из нас видят с 6 метров. Они могут увидеть и с 12 метров
- ◆ Оптика глаза таких людей близка к идеальной

Можем ли мы все иметь
«суперзрение»?

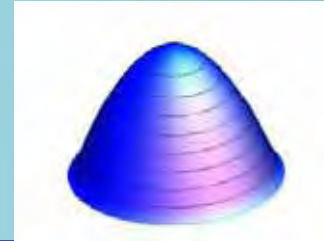
Оптика глаза

- ◆ В прошлом глазная оптика могла быть описана только сферо-цилиндрическими ошибками

Оптика глаза

Раньше

**Сферическая
коррекция**



мм

- Римский император Нерон держал у глаза полированный выпуклый изумруд, когда смотрел гладиаторские бои
- Сценарист Сенека использовал шар, наполненный водой, для чтения рукописей
- В XIII веке умельцы научились полировать кварц для достижения заданной кривизны.
- Появилась концепция подбора очков

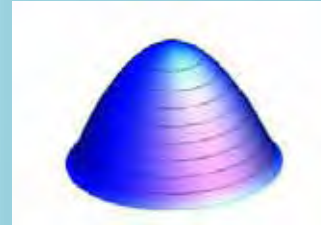
Оптика глаза

- ◆ Прошло шестьсот лет...
- ◆ В 1800-х годах Томас Янг показал, что не все проблемы зрения могут быть исправлены сферическими линзами.
- ◆ Астигматизм в переводе с греческого означает отсутствие фокуса.

Оптика глаза

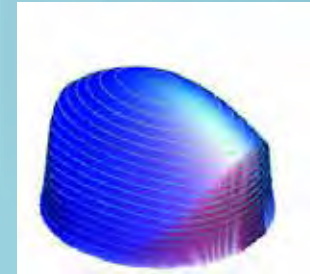
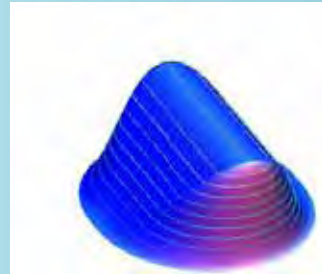
Раньше

**Сферическая
коррекция**



Раньше

**Астигматическая
коррекция**



мм

мм

- 25 лет спустя сэр Джордж Эйри описал способ корректировки астигматизма при помощи цилиндрических линз.
- Таким образом оптика глаза стала описываться тремя параметрами: **сфера**, **цилиндр** и **ось**.

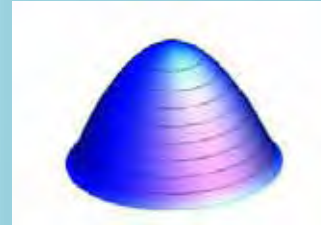
Оптика глаза

- ◆ В прошлом сферо-цилиндрические ошибки были единственным описанием оптики глаза
- ◆ Все другие оптические дефекты глаза описывались как “сложный астигматизм”
- ◆ Новейшие технологические достижения привели к новому понятию: волновой фронт.
- ◆ В 1900 немецкий астроном И. Хартман изобрел сенсор волнового фронта.
- ◆ В 1970-х оптик Р. Шак усовершенствовал конструкцию Хартмана.

Оптика глаза

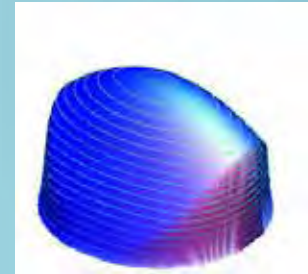
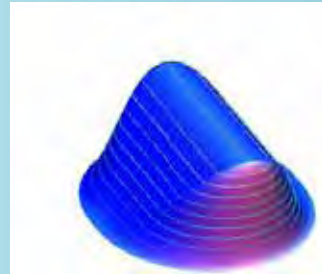
Раньше

**Сферическая
коррекция**



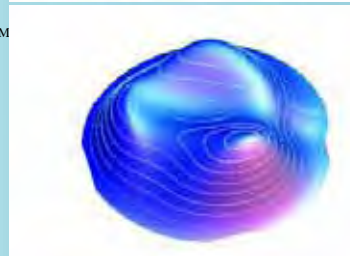
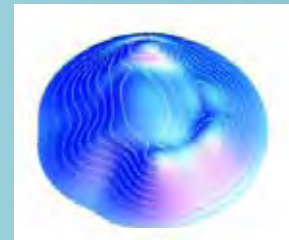
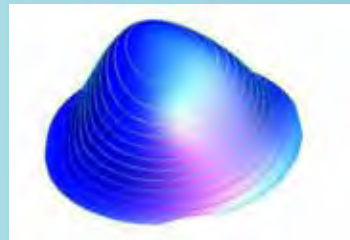
Раньше

**Астигматическая
коррекция**



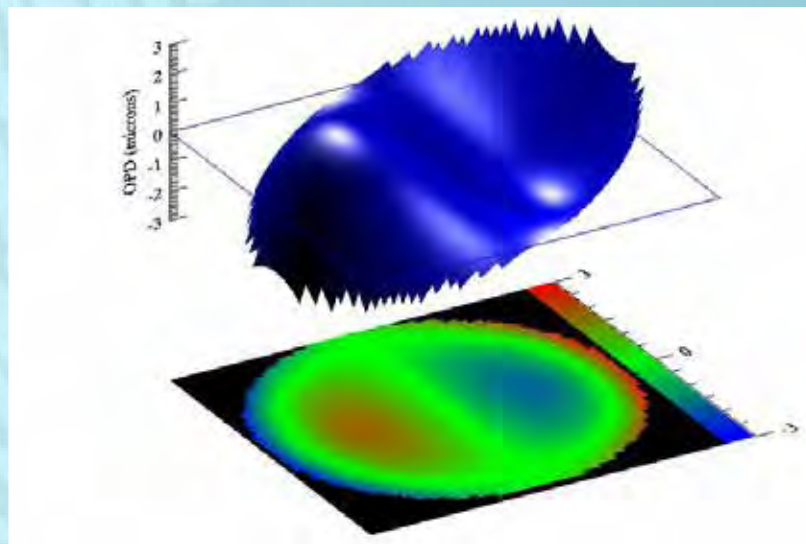
Сейчас

**Коррекция с
помощью
волнового фронта**



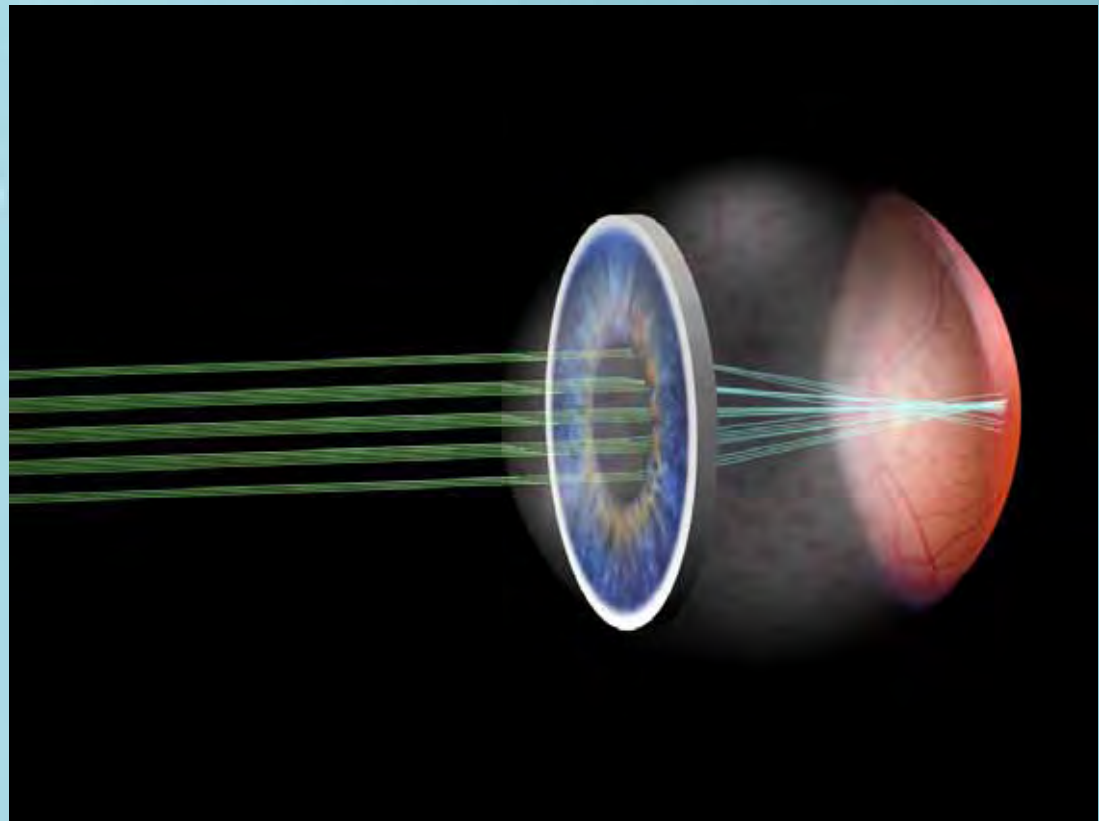
Волновой фронт

- ◆ Волновой фронт – это форма оптической поверхности, описывающей все aberrации глаза.
- ◆ Волновой фронт уникален у каждого человека, как его отпечаток пальца.
- ◆ Волновой фронт представляет собой разницу в оптическом пути между идеальной оптикой и реальным глазом (OPD).



Теория измерения волнового фронта

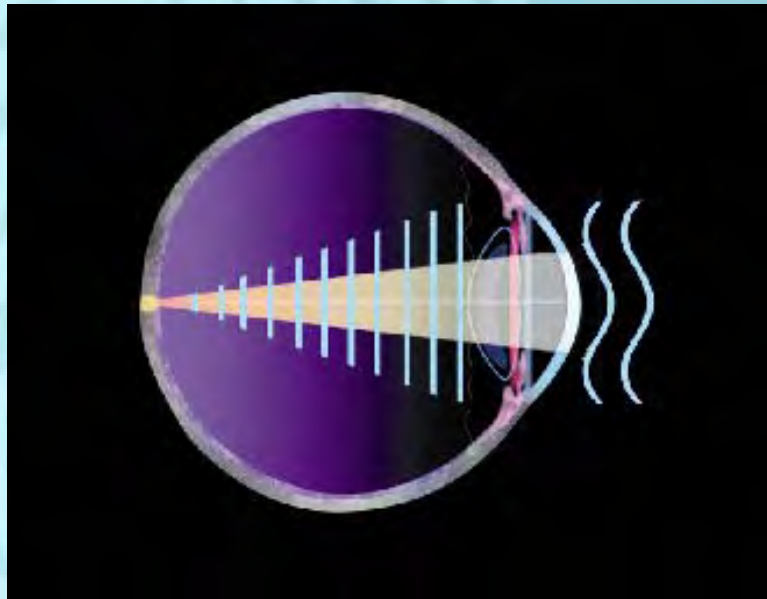
- Физическая модель описания оптики глаза.



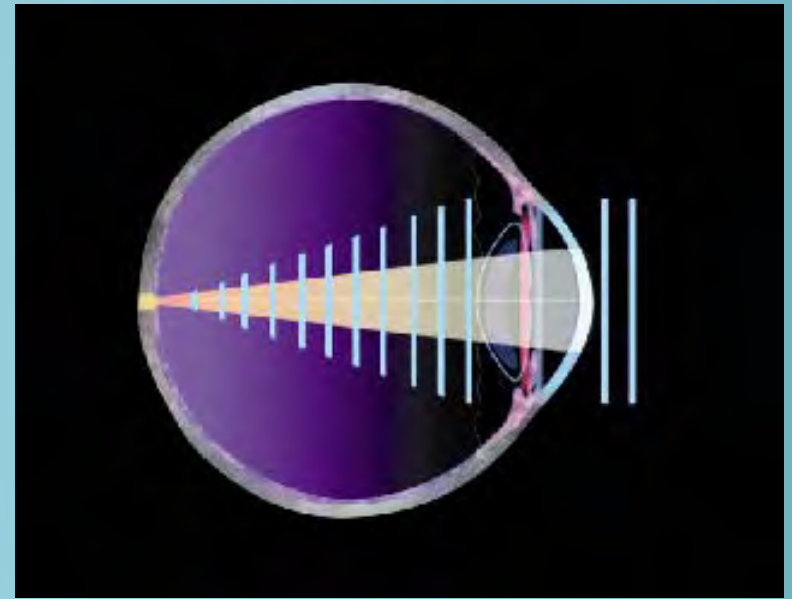
Теория измерения волнового фронта

Аберрации измеряются как распределение света, отраженного от сетчатки.

Без коррекции



С коррекцией

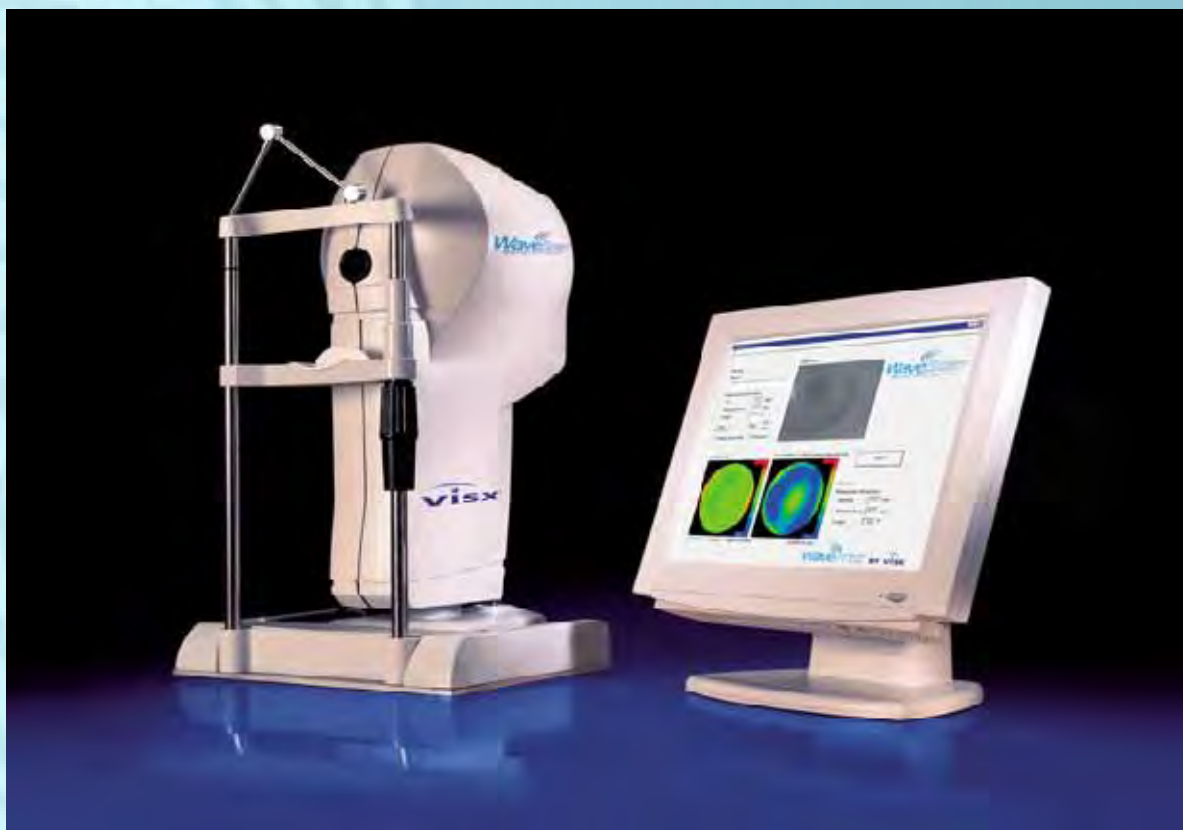


Путь луча

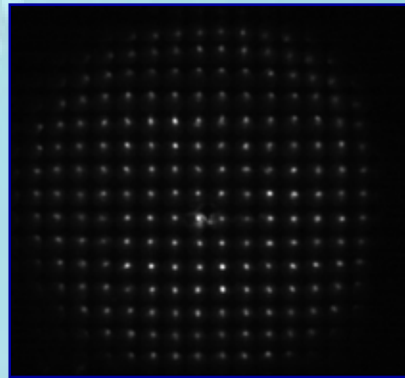
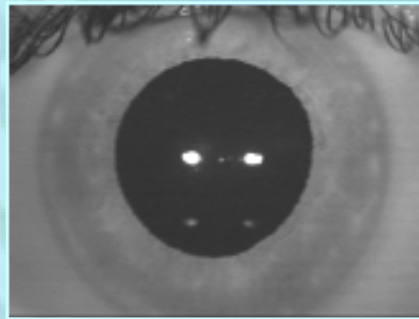
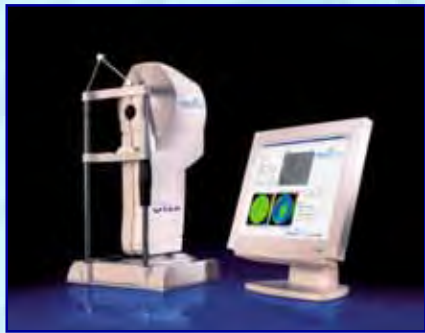


Как измеряется волновой фронт

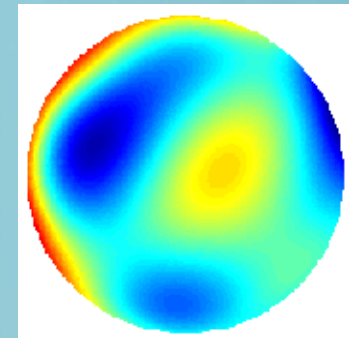
WaveScan™ Wavefront System



Как измеряется волновой фронт

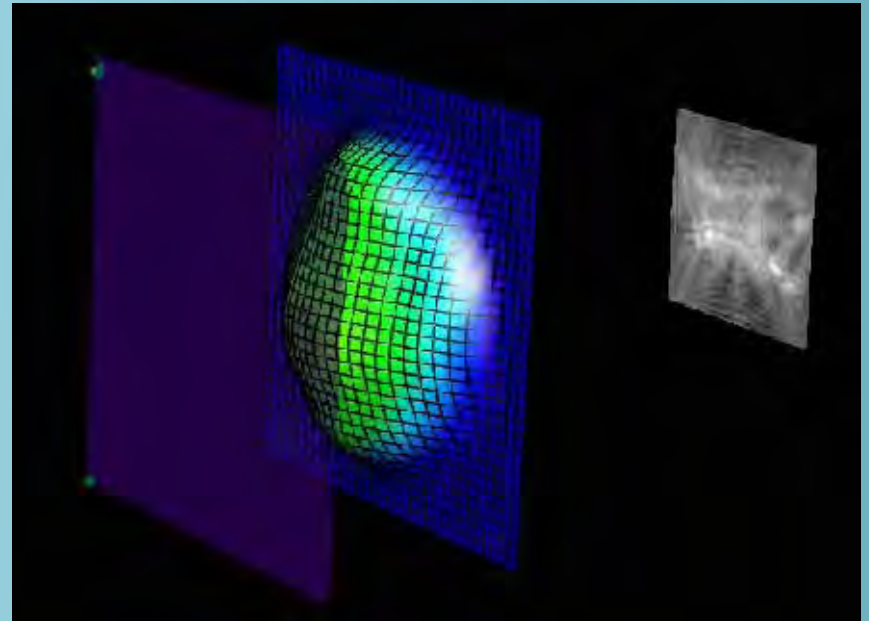


Реконструкция
Волнового фронта

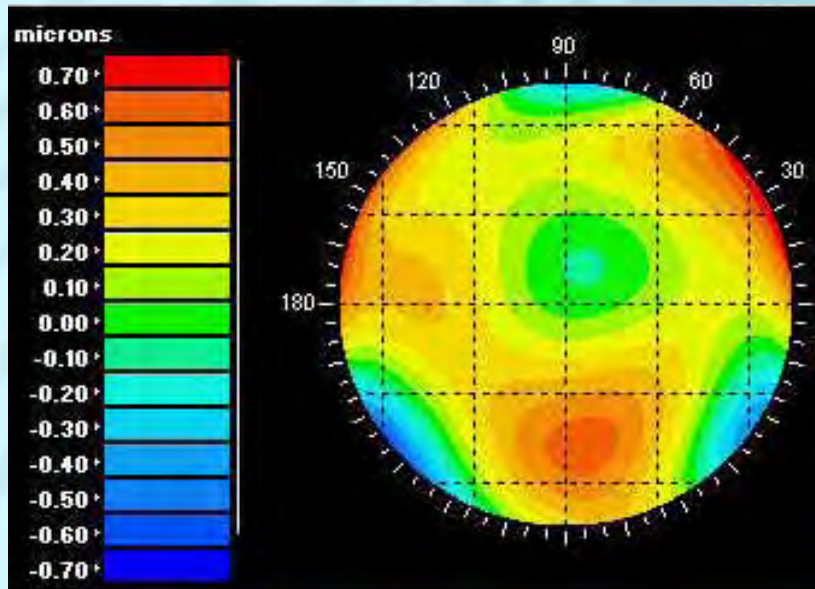


Создание “Формы”

*Глаз является
ограничивающим
фактором **но не
лазер***



Переход к технологии волнового фронта



Диагностика с помощью VISX
WaveScan и PreVue Lens

Методы измерения рефракции

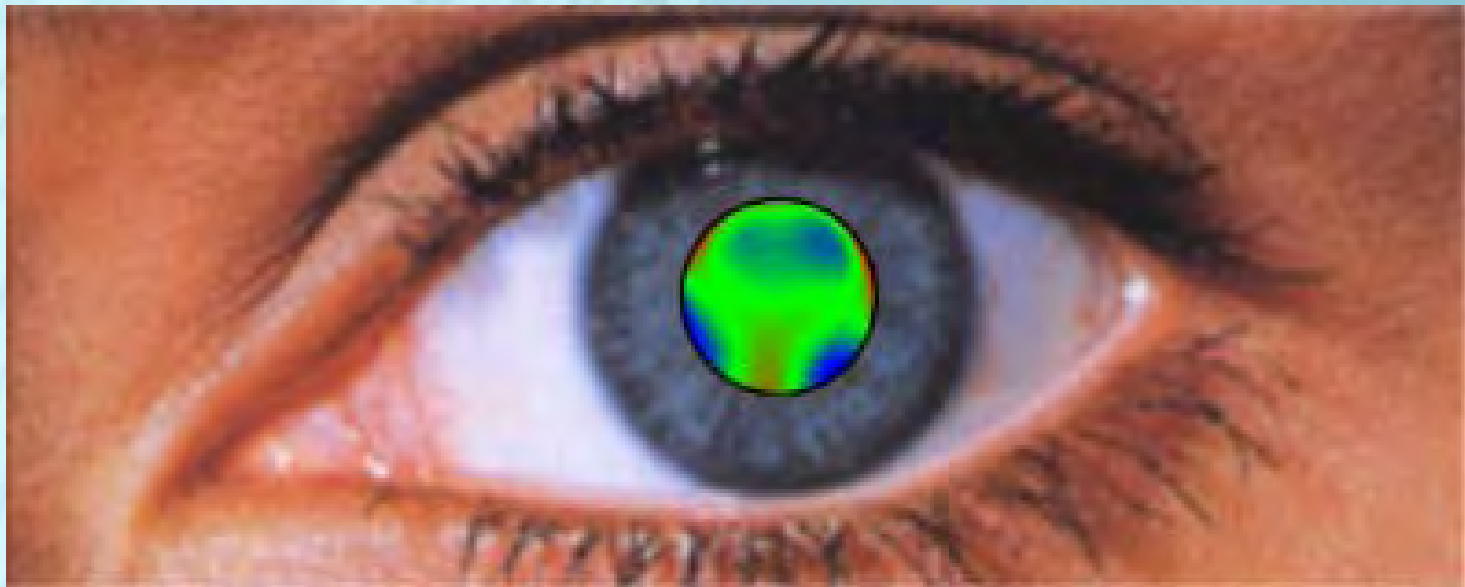


Измерение рефракционных ошибок глаза сводится к получению информации в одной точке.

=> Ошибки высоких порядков не учитываются. Нет объемной разрешающей способности .

WaveScan™

Анализатор волнового фронта



Объективные данные с высокой разрешающей способностью, получают во многих сотнях точек измерения (Чем шире зрачок, тем больше точек измерения)

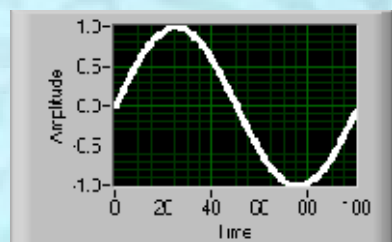
Измеряются все рефракционные ошибки
=> получается индивидуальная карта

Как может быть описана поверхность волнового фронта?

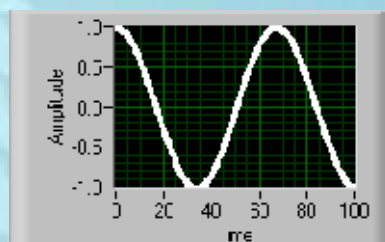
- ◆ Фриц Цернике
 - 📄 Астроном (1888-1966)
 - 📄 Изобрел метод описания рефракционных ошибок зеркал
- ◆ Работы по описанию ошибок телескопов
- ◆ Конструкции для оптических линз



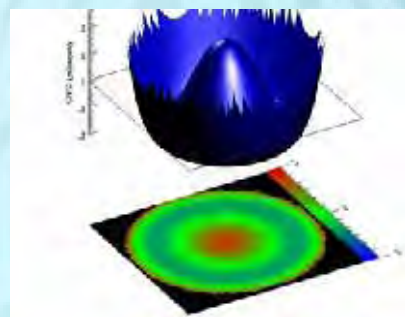
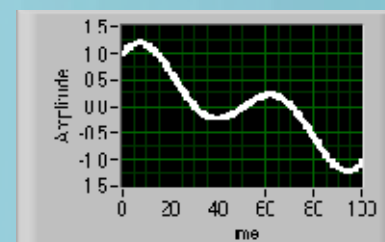
Создание "Формы"



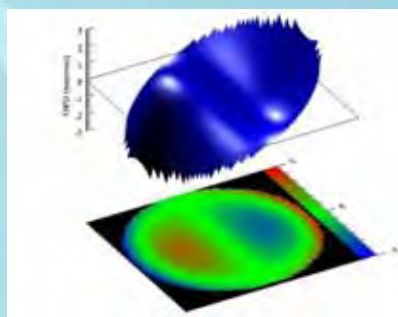
+



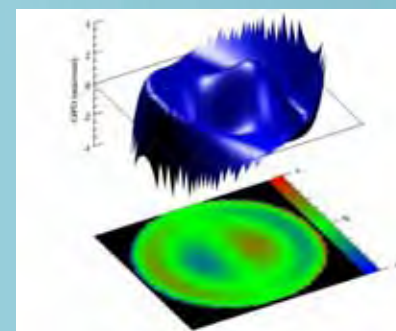
=



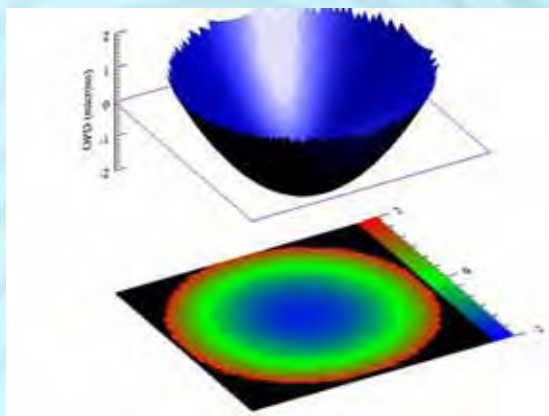
+



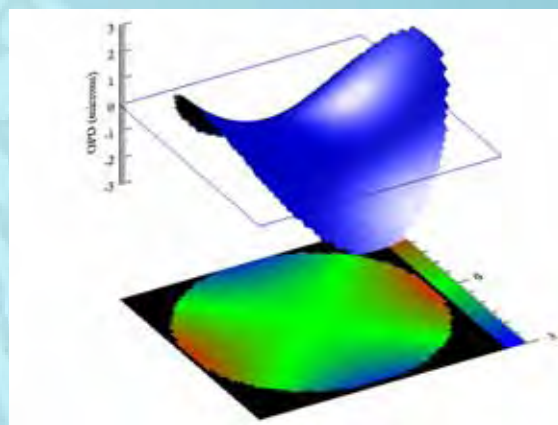
=



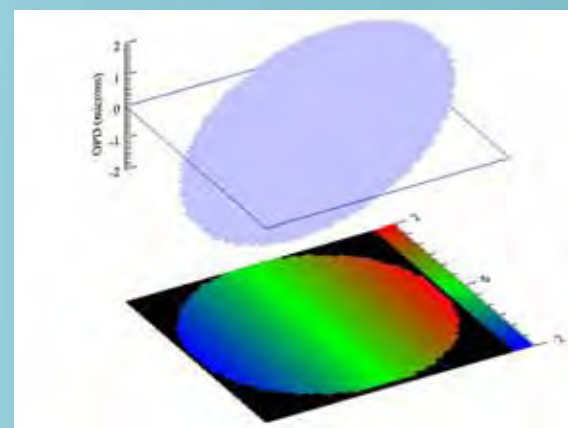
Формы полиномов Цернике



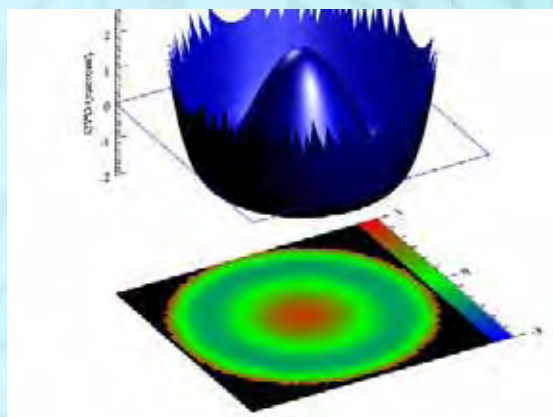
Сфера



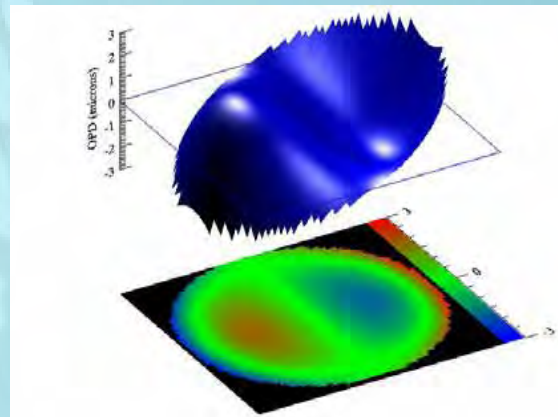
Цилиндр



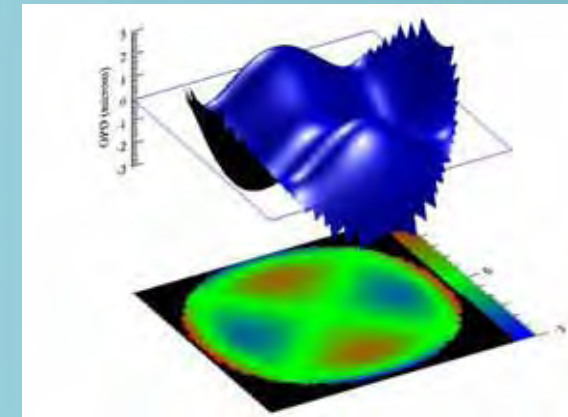
Поворот



Сферическая аберрация

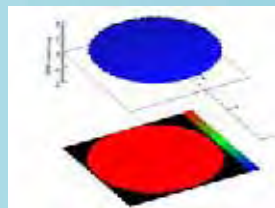


Кома

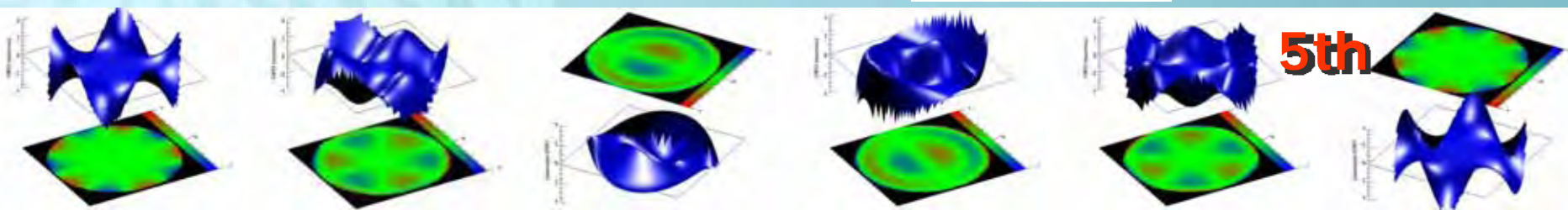
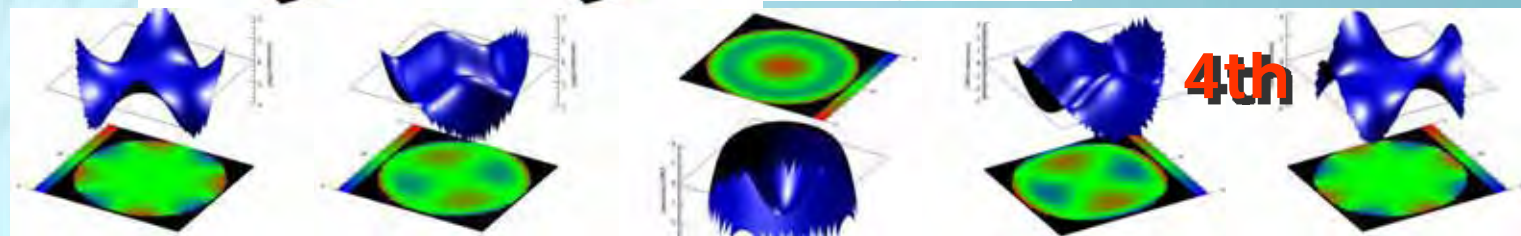
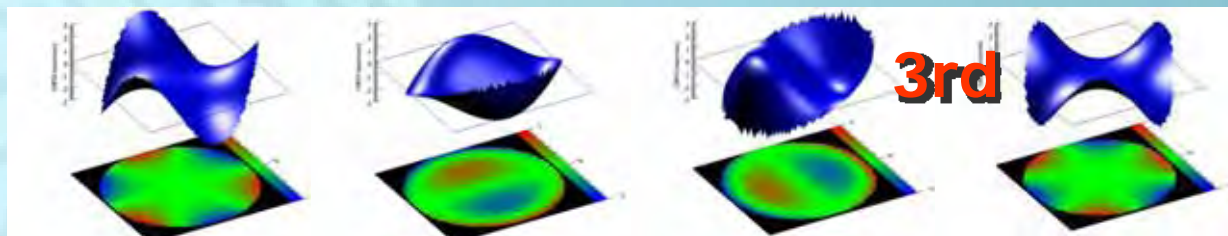
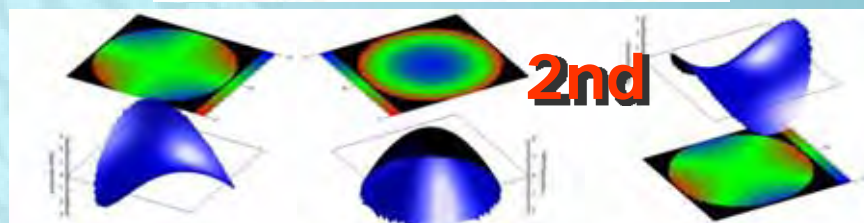
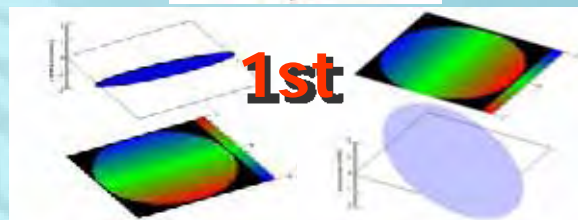


Астигматизм высшего
порядка

Порядки:



Полиномов Цернике



Аберрации низких порядков

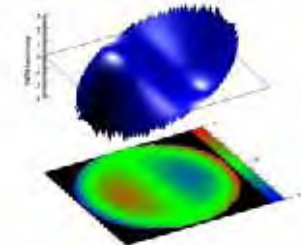
Сфера: описывает симметричную кривизну всей поверхности линзы

Цилиндр: описывает ассиметричную кривизны линзы
(цилиндр-величина двумерная и характеризуется осью)

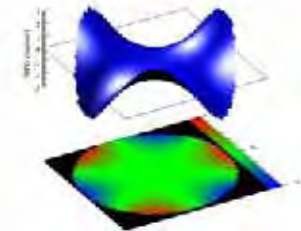
Ось: Описывает угол ориентации

Аберрации высоких порядков

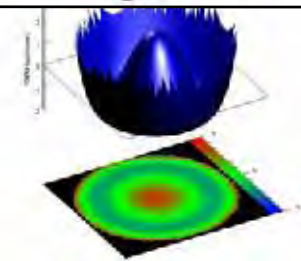
Кома: аберрация 3-го порядка, описывает радиальное смещение



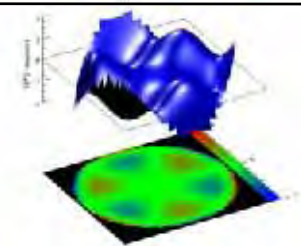
Треfoil: аберрация 3-го порядка, описывает радиальную симметрию



Сферическая аберрация: аберрация 4-го порядка с радиальной симметрией

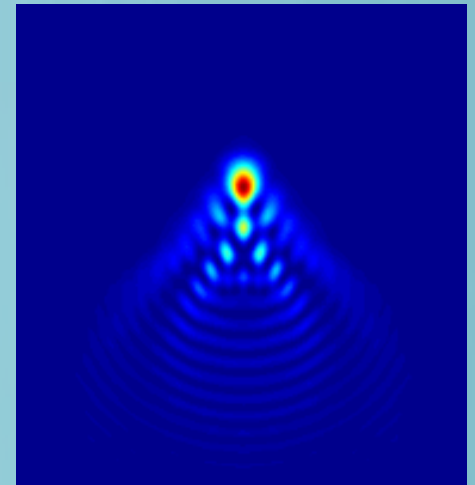
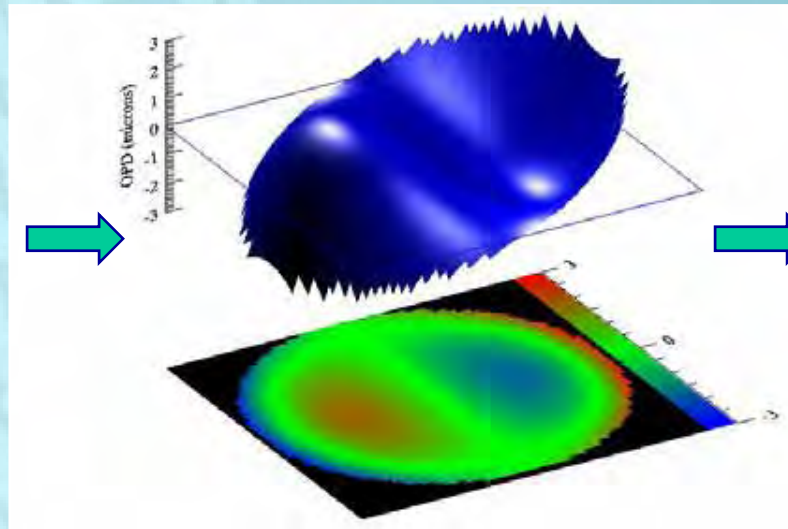
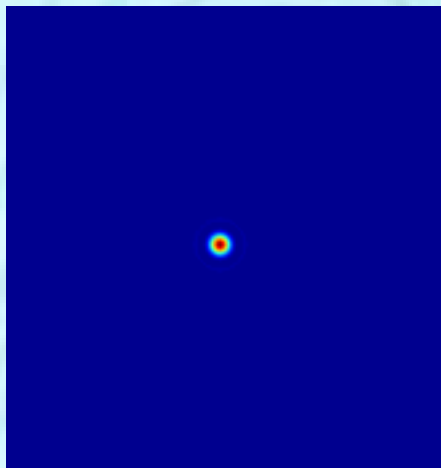


Дополнительные аберрации: 5-го порядка «типа комы»



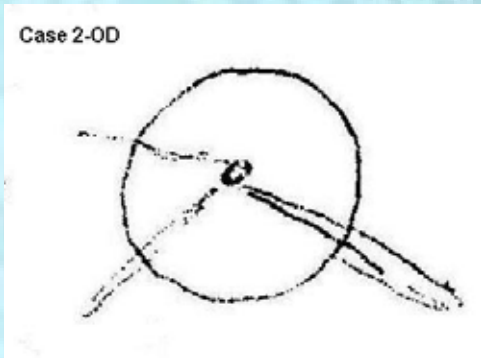
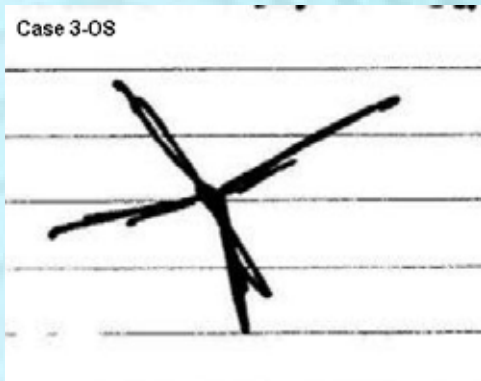
Что означают данные формы?

Каждая форма создает особое распределение света при освещении ее точечным источником. Это распределение называется Функцией Точечного Рассеивания или PSF.

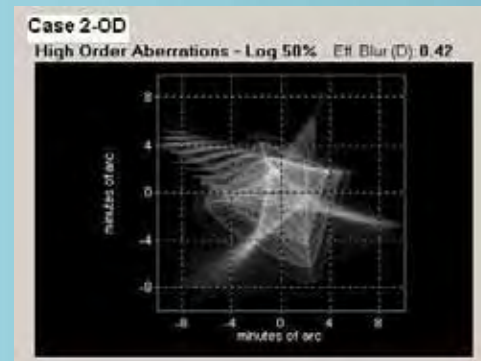
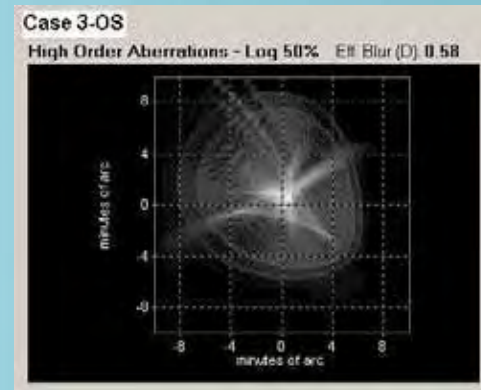



Функция Точечного Рассеивания

Субъективная картина



Картина волнового фронта



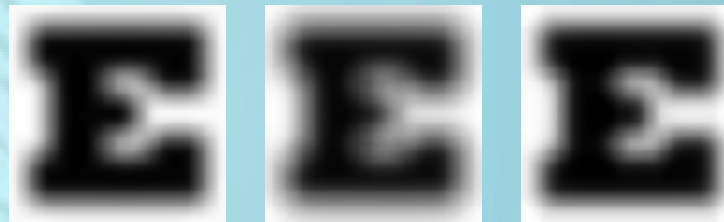
A large, faint fingerprint pattern is visible in the background, centered on the left side of the slide. The fingerprint lines are light blue and blend into the overall light blue background.

**Разные коэффициенты
Цернике имеют различное
влияние на качество зрения**

Искажение изображения (blur)

Радиальный коэффициент

Astigmatism (3,5)
Defocus (4)



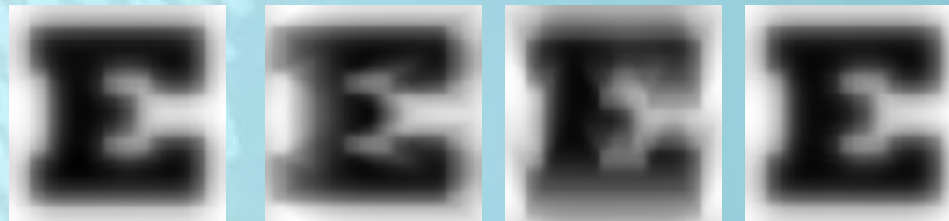
3

4

5

2

Coma (7,8)
Trefoil (6,9)



6

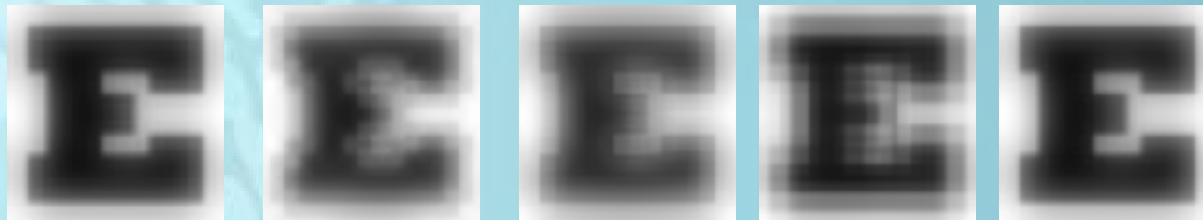
7

8

9

3

Spherical
Aberration (12)



10

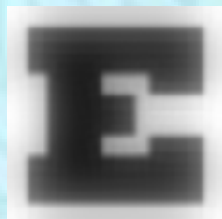
11

12

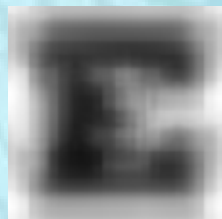
13

14

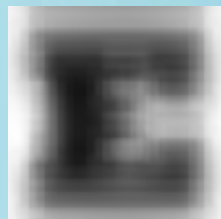
4



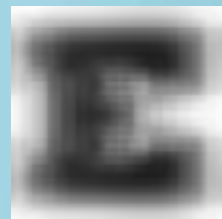
15



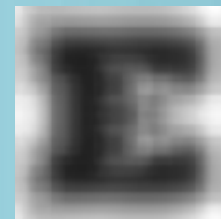
16



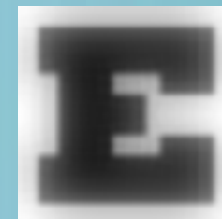
17



18



19



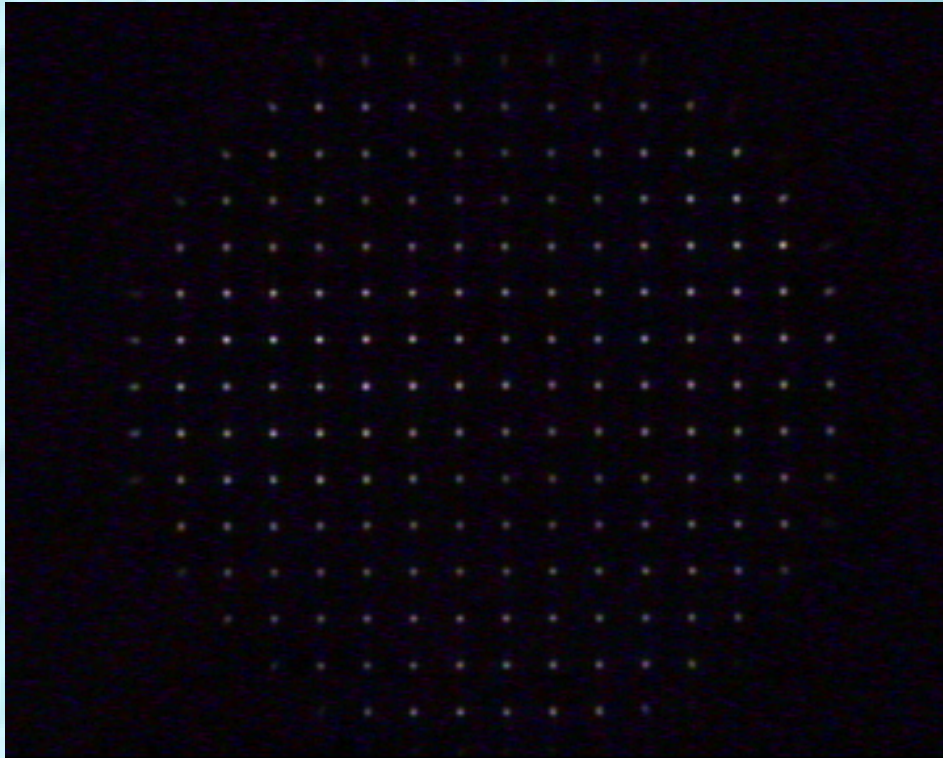
20

5

Как работает WaveScan™?

- ☞ Свет проходит в глаз и, отразившись, выходит из зрачка
- ☞ Формируется абберационный волновой фронт
- ☞ Сенсор Хартмана-Шака регистрирует абберационный волновой фронт

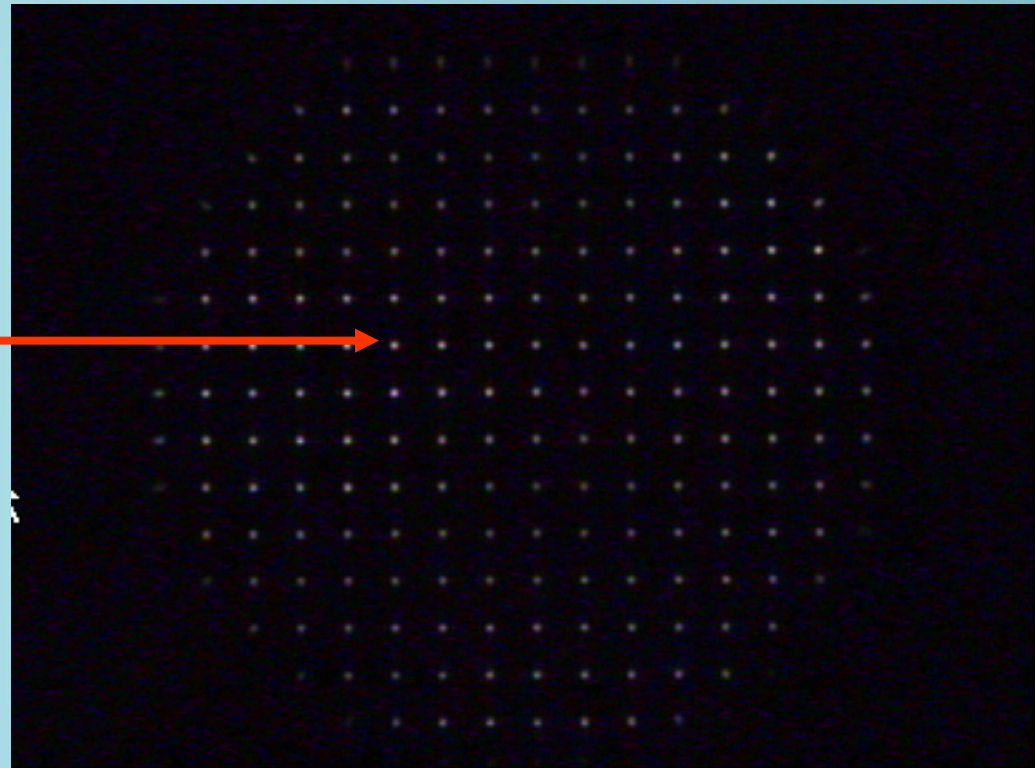
Изображение точечного источника Хартмана-Шака (HS)



- ◆ На мониторе HS изображение показывает, как свет выходит из зрачка.
- ◆ Изображение сравнивается с идеальным изображением точечного источника и рассчитывается результирующая ошибка волнового фронта.

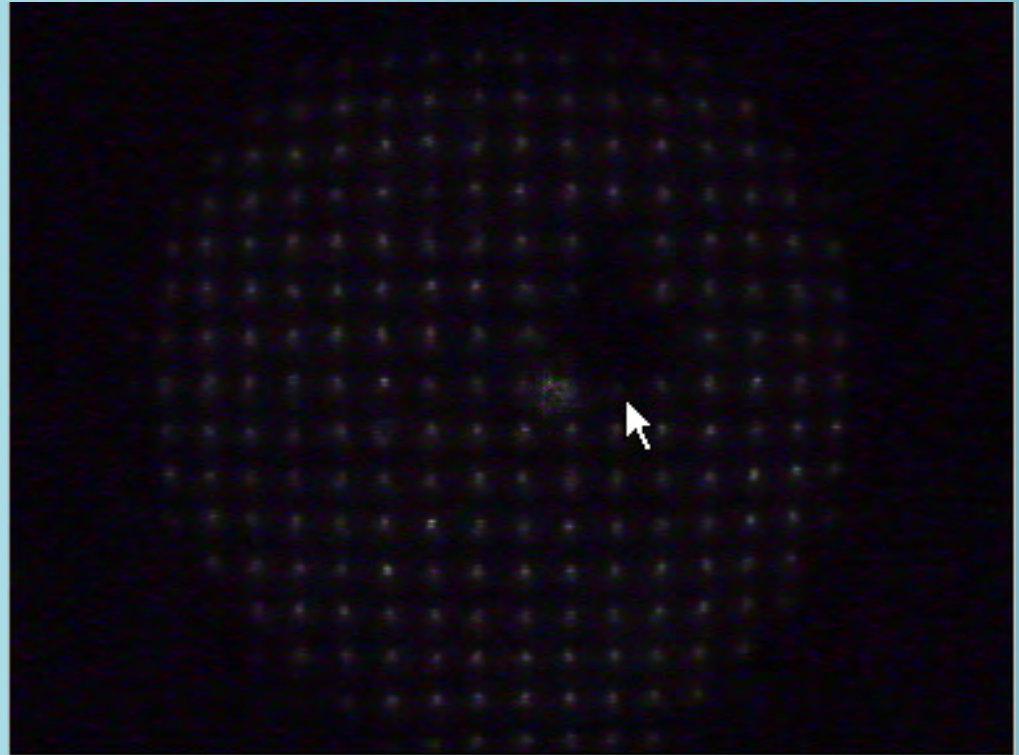
Качество изображения HS

- ◆ На идеальном HS изображении точки расположены по кругу и четко сфокусированы



Ограничения метода

- ◆ Такие условия, как сухой глаз и неровная роговица, могут затруднить получение данных
- ◆ Другие условия, препятствующие проникновению света из глаза (такие, как показанная здесь катаракта) могут затруднить сбор данных или сделать его невозможным.
- ◆ Это обеспечивает качественный доступ к оптическому пути также как кольца плацидо в топографе.



Катаракта

- ◆ Нарушенный путь луча (пример PSC Катаракта)
- ◆ HS точки пропускаются там где свет не может войти или выйти из глаза
- ◆ Сильные оптические препятствия не позволяют производить измерения



Чтение WavePrint™ Карты

- ◆ Понимание ошибки волнового фронта
- ◆ Какая информация может быть получена?
- ◆ Получаемые данные:

Сфера

Цилиндр

Ось

Острота зрения

Аберрационная карта Bille

Процент аберрации высоких порядков

RMS ошибки

Функция точечного распределения

Коэффициенты Цернике

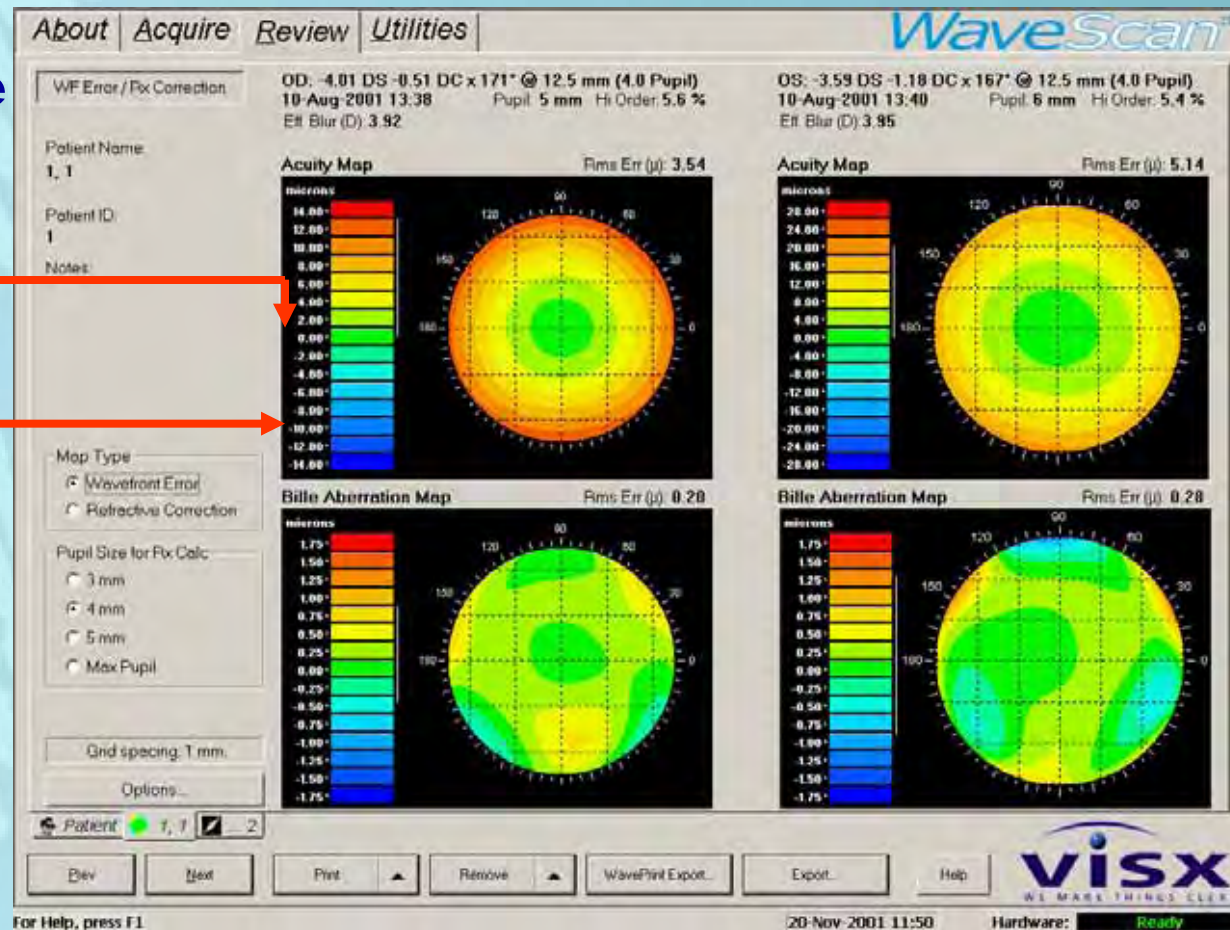
Изображения Хартмана-Шака

Дифференциальные карты



Карта ошибок волнового фронта

- ◆ Система генерирует "Acuity Map™" и "Bille Aberration Map"
- ◆ Шкала карты в микронах
- ◆ Карта показывает количество ошибок волнового фронта (расстояние между фотонами в микронах)



Лазер VISX STAR S4™



Прогрессивное лечение: Абляция

- ◆ Более точные расчеты

- 📄 Возможность реализации более сложных алгоритмов лечения.

- 📄 Возможность лечения пациентов меньшим количеством импульсов.

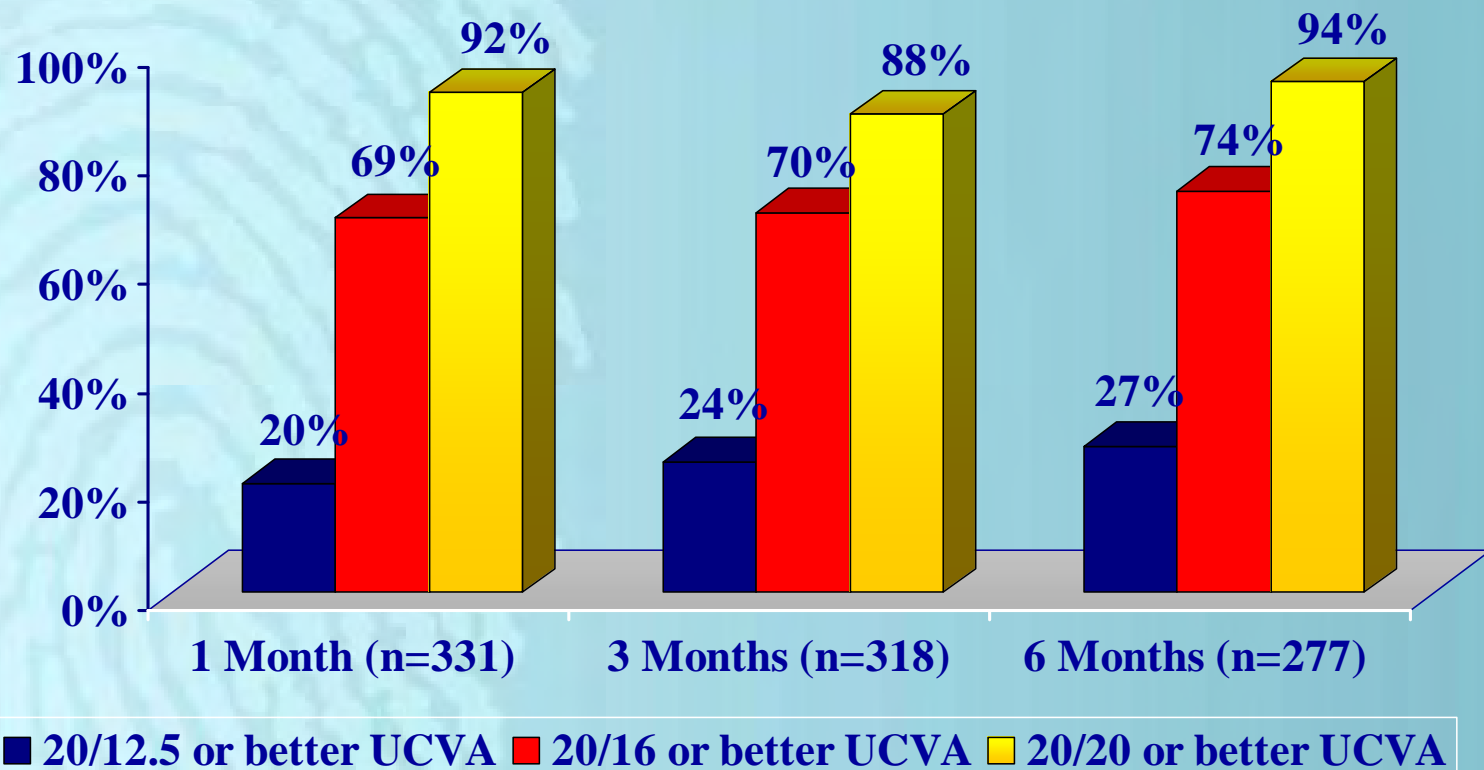
Результаты лечения с применением волнового фронта

- ◆ Исследовано в США около 300 глаз с миопией до 6 диоптрий и астигматизмом до 3 диоптрий

VISX FDA Исследования

і. Средняя не скорректированная острота зрения:

Цель: 100% 20/20 или лучше UCVA через 6 месяцев

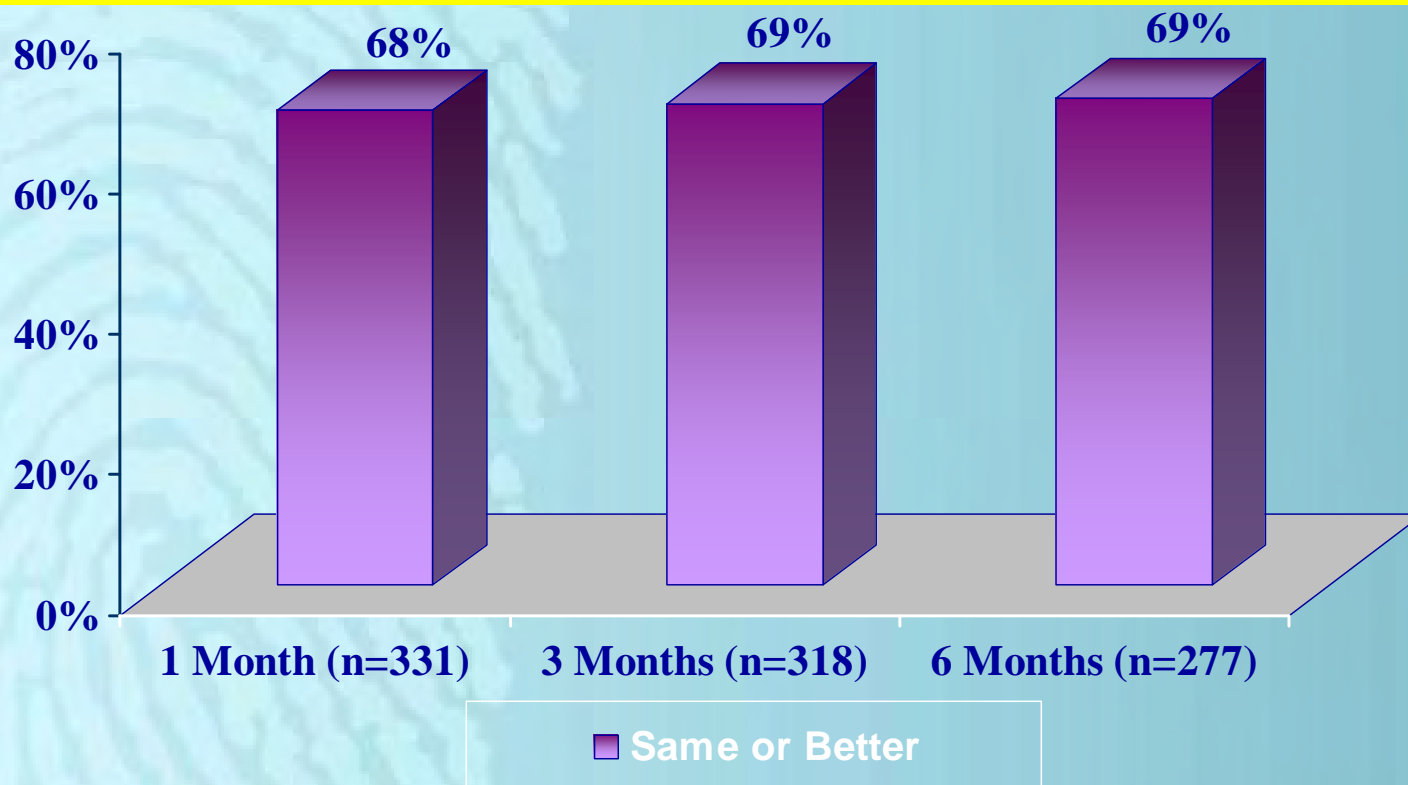


Через 6 месяцев, 74% глаз имели 20/16 или лучше и 94% имели 20/20 или лучше

VISX FDA Исследования

i. Средняя не скорректированная острота зрения:

Цель: Postop UCVA такая же или лучше Preop BCVA

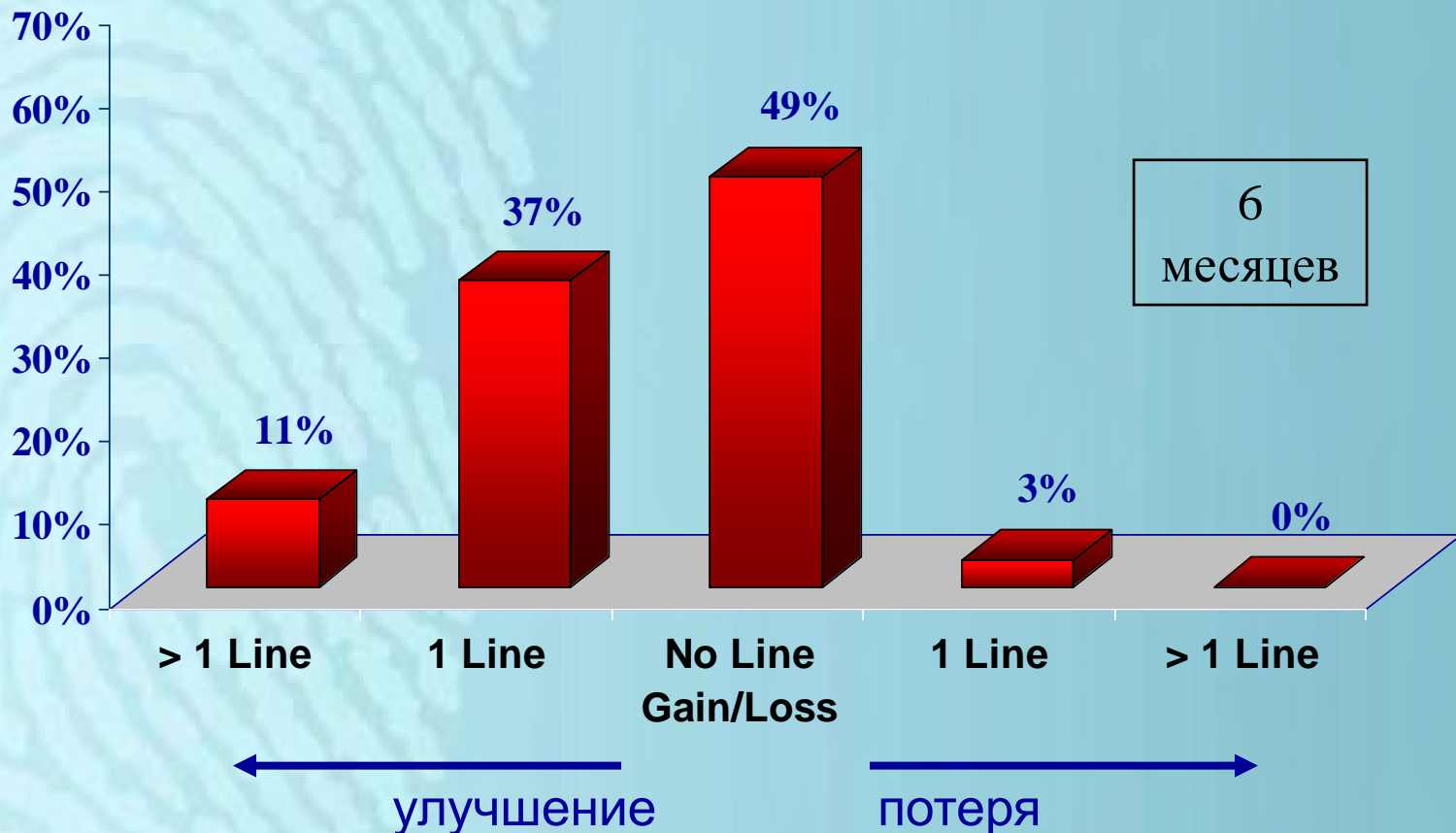


Через 6 месяцев, 69% глаз имели такую же или лучшую post-op UCVA сравнительно с pre-op BSCVA

VISX FDA исследования

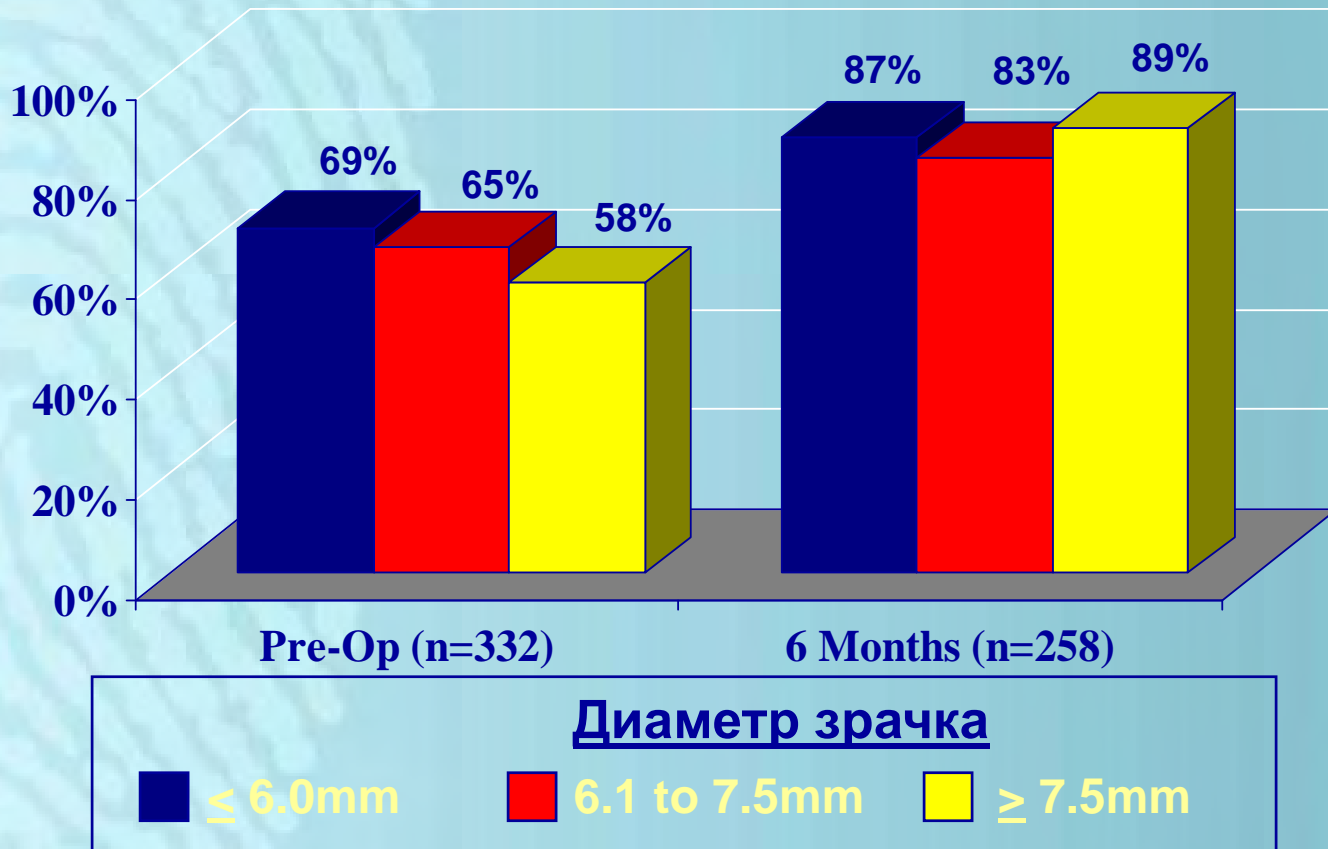
ii. Потеря одной строки или больше при наилучшей остроте зрения:

Цель: Ни одной строки BSCVA не теряется.

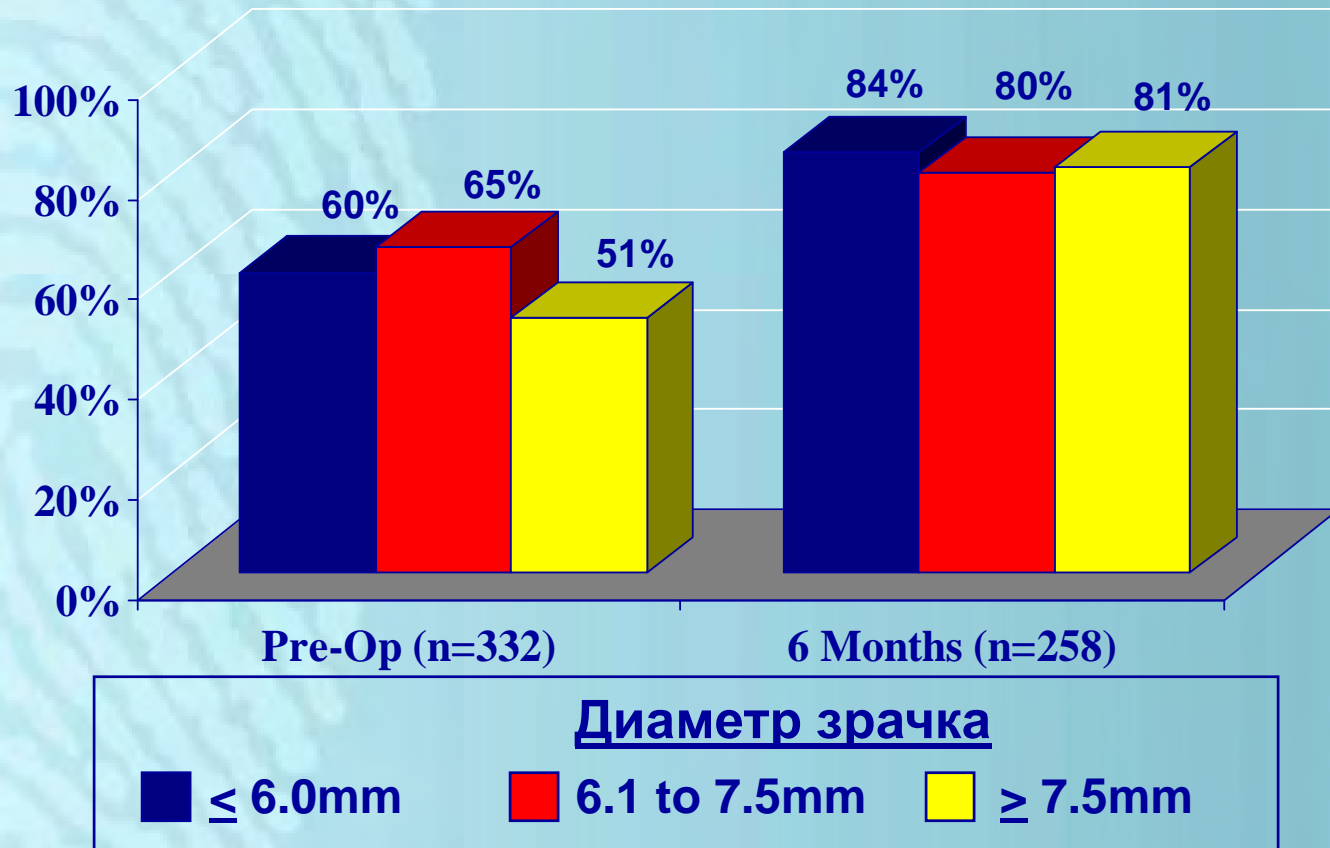


97% глаз не потеряли ни одной строки

VISX FDA исследования: ночное зрение – хорошее/удовлетворительное : Pre и Post



VISX FDA исследования: ночные засветы— хорошее/удовлетворительное Pre и Post



Выводы

- ◆ Явное свидетельство того, что лечение LASIK с применением волнового фронта имеет значительные клинические преимущества
 - 📄 Улучшение BCVA
 - 📄 Увеличение контрастной чувствительности/остроты зрения
 - 📄 Объективное улучшение качества зрения
 - 📄 Применение лазера с волновым фронтом
- ◆ Стандарты качества лечения
 - 📄 Изменяются с технологией
 - 📄 Лазерная коррекция зрения с волновым фронтом становится новым стандартом лечения