

С этого номера мы начинаем публиковать в новой рубрике «Университет Varilux» серию статей, являющихся переводом Руководства «Практическая рефракция», подготовленного специалистами Varilux University. Материалы предоставлены компанией Essilor International.

## 1. Эмметропия, аметропия, пресбиопия и их коррекция

Точное определение рефракции является необходимой предпосылкой для обеспечения четкого комфортного зрения пациента. Всегда следует особенно внимательно подходить к его оценке.

В данном руководстве исследование рефракции описано с практической точки зрения. В нем в сжатом виде изложены простые и проверенные методики, отобранные среди большого числа существующих методов. Целью руководства является не детальное ознакомление с предметом, а скорее обсуждение основных принципов рефракции, которые полезны для специалистов. Этот документ был разработан в ответ на многочисленные просьбы врачей-офтальмологов и оптометристов из тех стран, где стали интенсивно развиваться современные методы очковой коррекции. Главная цель этого руководства – помочь специалистам в их работе с пациентами с надеждой, что это будет способствовать максимальному удовлетворению потребностей как специалистов, так и пользователей.

### 1. Эмметропия, аметропия, пресбиопия и их коррекция

Если глаз не способен фокусировать, то изображение получается размытым. Неспособность глаза фокусировать может быть вызвана многими разными причинами. Однако независимо от того, почему возникают рефракционные ошибки, конечный результат состоит в том, что имеется несоответствие между оптической силой рефракционных элементов глаза и положением сетчатки (т.е. длиной глаза). Рефракционные ошибки и несфокусированное зрение получаются тогда, когда формируемое оптической системой глаза изображение располагается перед и/или за сетчаткой, а не точно на ней.

#### А. Эмметропия

Говорят, что глаз эмметропический (от греческого *emmetros* – пропорциональный и *ops* – глаз), если изображение бесконечно удаленного объекта формируется на сетчатке при покое аккомодации. У эмметропического глаза сетчатка сопряжена с бесконечностью, и поэтому изображение удаленного в пространстве объекта располагается в фокальной плоскости пространства изображения оптической системы глаза (рис. 1). Эмметропический глаз четко видит удаленные объекты при покое аккомодации.

#### Глаз как оптическая система

Глаз при покое аккомодации может быть представлен как оптическая система, состоящая из роговицы, водянистой влаги, хрусталика и стекловидного тела. Характеристики одной из таких модельных систем (называемой *схематическим глазом*) представлены в таблице.

Таблица 1.

	Толщина, мм	Показатель преломления	Внешний радиус кривизны, мм	Внутренний радиус кривизны, мм
Роговица	(поверхность)	-	7,80	-
Водянистая влага	3,60	1,336	-	-
Хрусталик	3,70	1,422	11,00	-6,48
Стекловидное тело	16,79	1,336	-	-

Полная длина глаза – 24,09 мм

(Данные взяты из Bennett and Rabbetts, Clinical Visual Optics, fourth edition, 2007)

Более простую модель глаза можно получить (рис. 2) упрощением схематического глаза: (1) объединяя элементы, из которых состоит глаз, (2) рассматривая роговицу и хрусталик как тонкие линзы (а не как толстые линзы), (3) используя одинаковое значение показателя преломления 1,336 для водянистой влаги и стекловидного тела и (4) округляя результаты расчетов. Упрощенная модель глаза характеризуется полной преломляющей силой 60 D, имеет длину 24 мм и состоит из прозрачной сферы с преломляющей силой 40 D (роговица), отделяющей воздух от водянистой влаги, и тонкой линзы с оптической силой 20 D (хрусталик), разделяющей водянистую влагу и стекловидное тело, и расположенной на расстоянии 5,8 мм позади роговицы.

Несмотря на значительное упрощение, эта оптическая модель, тем не менее, достаточно хорошо описывает глаз человека (при покое аккомодации).

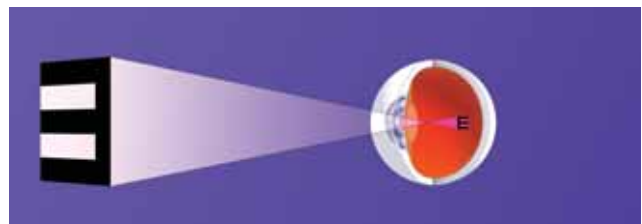


Рис.1. Эмметропический глаз

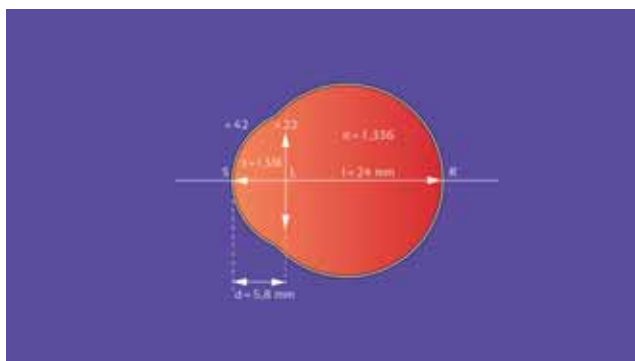


Рис.2. Упрощенный эметропический глаз (Varilux University)

### В. Аметропия

О глазе, который не способен правильно фокусировать изображение удаленного объекта точно на сетчатке при покое аккомодации, говорят, что у него имеется рефракционная ошибка, а сам дефект зрения называют *аметропией* (от греческого слова, означающего *непропорциональный глаз*).

#### 1. Миопия (Близорукость)

Миопия — это дефект зрения, при котором изображение объекта, расположенного на бесконечном расстоянии, формируется глазом (при покое аккомодации) перед сетчаткой. Само слово миопия происходит от латинского *tuors* или греческого *тиорс* — так называют человека, который прищуривается для того, чтобы лучше видеть. Человек с некоррированной миопией видит удаленные объекты размытыми, но при этом он может четко видеть расположенные близко объекты (которые находятся на расстоянии вытянутой руки — отсюда второе название «близорукость»).

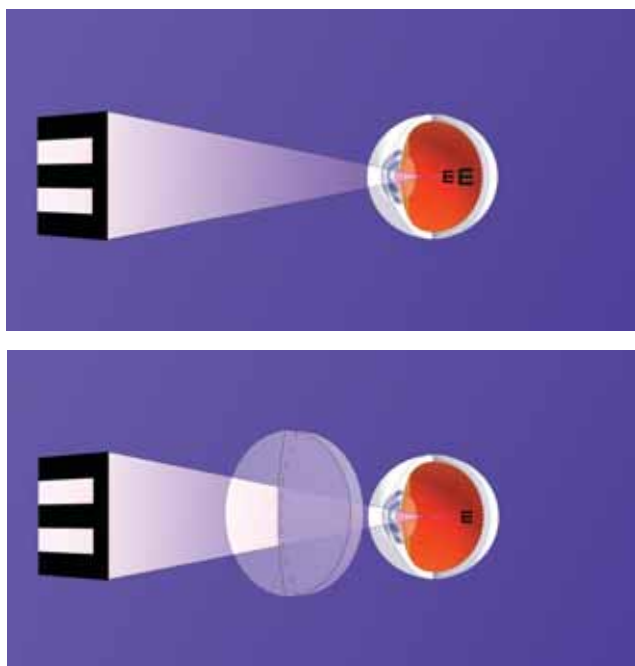


Рис.3. Миопический глаз и принцип его коррекции

В миопическом глазу имеется несоответствие оптической силы преломляющих сред и длины глаза. Это может происходить либо, если длина глаза превышает 24 мм (*осевая миопия*) (большинство случаев миопии больше  $-5D$ ), либо если оптическая сила преломляющих сред глаза превышает 60 дптр, т.е. слишком большая для имеющейся длины (*рефракционная миопия*).

Миопия корригируется отрицательными (минусовыми) линзами, которые сдвигают изображение назад к сетчатке так, чтобы оно точно располагалось на ней.

#### 2) Гиперметропия (Дальнозоркость)

Гиперметропия — это дефект зрения, при котором изображение объекта, расположенного на бесконечном расстоянии, формируется глазом (при покое аккомодации) позади сетчатки. Само слово гиперметропия (или *hyperopia*) происходит от греческих слов *hyper* — позади и *ops* — глаз.

В гиперметропическом глазу также имеется несоответствие оптической силы преломляющих сред и длины глаза. Это может происходить либо если длина глаза менее 24 мм (*осевая гиперметропия*) (большинство случаев гиперметропии с ошибкой больше  $5D$ ), либо если оптическая сила преломляющих сред меньше 60 дптр (*рефракционная гиперметропия*).

Гиперметропия корригируется положительными (плюсовыми) линзами, которые сдвигают изображение вперед к сетчатке так, чтобы оно точно располагалось на ней.

#### 3) Астигматизм

Глаз называют астигматическим, если его оптическая сила, следовательно, фокусные расстояния различаются в разных меридианах. У такого глаза асимметричная аметропия с разными положениями фокусов в разных плос-

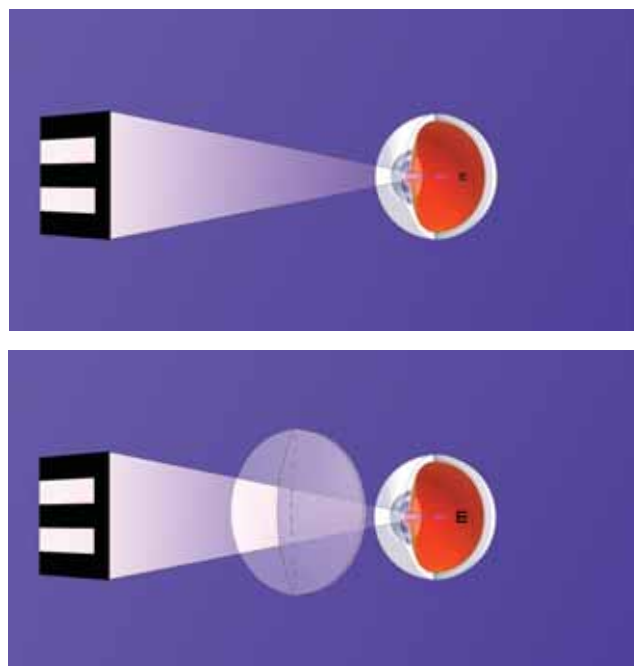


Рис.4. Гиперметропический глаз и принцип его коррекции

костях. Пациент с астигматизмом, например, может видеть у буквы Е вертикальную линию четко, а горизонтальные нечетко.

При астигматизме в глазу всегда существует меридиан с максимальной оптической силой и другой меридиан – с минимальной оптической силой; их называют *главными меридианами*. Между этими меридианами оптическая сила изменяется от максимального значения до минимального.

При регулярном астигматизме главные меридианы взаимно перпендикулярны (угол между ними составляет  $90^\circ$ ), и оптическая сила по всему меридиану постоянная. Астигматизм также может быть нерегулярным, если главные меридианы расположены не под прямым углом и оптическая сила вдоль одного меридиана на разных участках меняется. Это может быть следствием повреждений (травма или рефракционные вмешательства). Такой астигматизм не корригируется очковыми линзами.

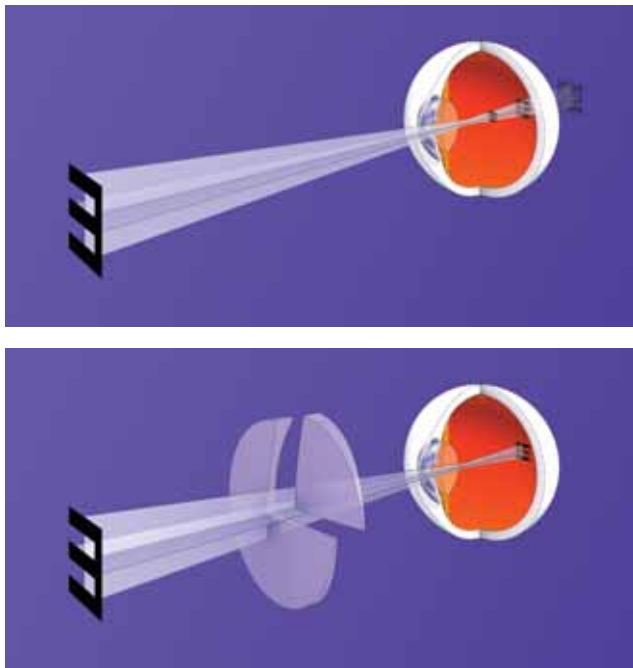


Рис.5. Астигматический глаз и принцип его коррекции

В зависимости от расположения двух главных фокусов (т.е. от оптических сил в двух главных меридианах) астигматизм бывает:

- *простым миопическим*, если глаз по одному меридиану эмметропический, а по другому миопический;
- *простым гиперметропическим*, если глаз по одному меридиану эмметропический, а по другому гиперметропический;
- *сложным миопическим*, если миопия по обоим меридианам;
- *сложным гиперметропическим*, если гиперметропия по обоим меридианам;
- *смешанным*, если по одному меридиану миопия, а по другому – гиперметропия.

Астигматизм также бывает *прямого типа*, если меридиан с наибольшей оптической силой близок к вертикальному положению (т.е. расположен между  $70^\circ$  и  $110^\circ$ ). При астигматизме *обратного типа* меридиан с наибольшей оптической силой близок к горизонтальному положению (т.е. расположен между  $160^\circ$  и  $200^\circ$  или между  $+20^\circ$  и  $-20^\circ$ ). При других положениях меридиана с наибольшей оптической силой говорят об *астигматизме с косыми осями*.

Оптическая система астигматического глаза образует сложный пучок лучей (так называемый *конус Штурма*), формирующих изображение точечного объекта. Этот пучок лучей характеризуется двумя небольшими линейными фокусами, расположенными на расстоянии друг от друга и взаимно перпендикулярными. Эти два линейных фокуса соответствуют изображениям, формируемым двумя главными меридианами глаза. В интервале между этими фокусами (в *интервале Штурма*) находится так называемый *диск (пятно) наименьшего рассеяния*. В месте его расположения поперечное сечение пучка лучей будет наименьшим. Диск наименьшего рассеяния диоптрически равноудален от обоих фокусов, т.е. является средней точкой оптического интервала между двумя фокусами; именно это место будет расположено на сетчатке при правильной оптической коррекции зрения.

Принцип коррекции астигматического глаза состоит в том, чтобы использовать линзу переменной оптической силы, которая бы восстановила положение изображения на сетчатке. Оптическая сила этой линзы в ее меридианах различается так, чтобы компенсировать астигматизм глаза. Такая линза называется *сферо-цилиндрической*, *цилиндрической* или *ториической*. Разница между оптическими силами в главных меридианах (цилиндр) линзы компенсирует астигматизм глаза, так что два линейных фокуса сливаются в один точечный фокус, а сферический компонент линзы помещает эту точку на сетчатку. *Астигматизм прямого типа* корригируется отрицательным цилиндром с осью близкой к  $180^\circ$ , а *астигматизм обратного типа* – минусовым цилиндром с осью близкой к  $90^\circ$ . Ось астигматизма в течение жизни может изменять свое положение: обычно от *астигматизма прямого типа* в детском возрасте к *астигматизму обратного типа* в зрелом возрасте. Кроме того, астигматические оси двух глаз обычно симметричны относительно вертикального меридиана (носа).

### С. Зрение вблизи, аккомодация и пресбиопия

Если рассматриваемый объект переместить ближе к глазу, то его изображение будет сформировано позади сетчатки, если только оптическая сила глаза не увеличится в такой степени, чтобы поместить изображение на сетчатку. Глаз обладает способностью увеличивать свою полную оптическую силу, и это достигается за счет изменения кривизны поверхностей, толщины и положения хрусталика; этот процесс называется *аккомодацией*.

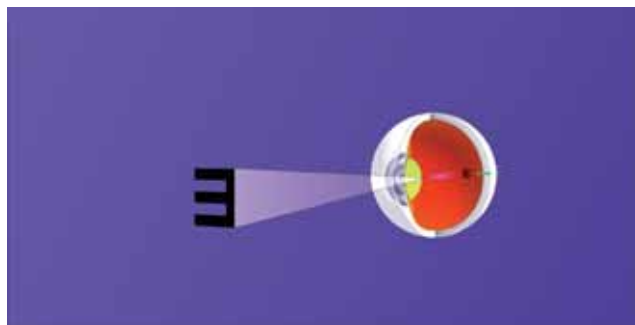
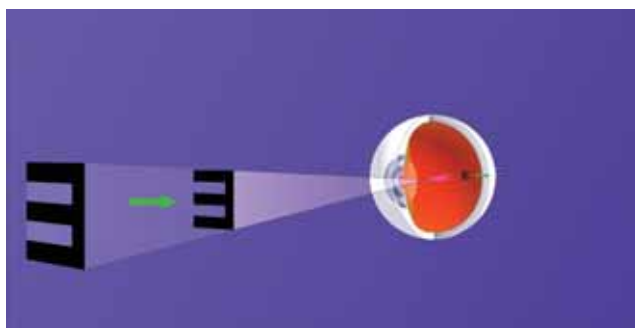


Рис.6. Зрение вблизи

*Амплитуда аккомодации* (в России более распространен термин «объем аккомодации») – это диапазон, в пределах которого глаз способен сфокусировать. Он выражается в расстоянии между максимально удаленным точечным объектом, который все еще четко виден без напряжения аккомодации, (*дальнейшей точкой ясного видения* или *Punctum Remotum*) и максимально близко расположенным объектом, который четко виден при максимальном напряжении аккомодации, (*ближайшей точкой ясного видения* или *Punctum Proximum*).

У эметропического глаза диапазон аккомодации простирается от бесконечности до ближайшей точки ясного видения (находящейся на конечном расстоянии).

У миопического глаза этот диапазон реальный и расположен полностью на конечном расстоянии перед глазом.

У гиперметропического глаза диапазон аккомодации может находиться либо частично за глазом (виртуально) и частично на конечном расстоянии перед глазом (реально), либо полностью за глазом (виртуально).

Величина объема аккомодации определяет положение максимально близкой точки, в которой все еще может быть виден объект, и для которой глаз может сформировать четкое изображение на сетчатке. Объем аккомодации (максимальный) равен  $\sim 20$  D после рождения (соответствует ближайшей точке ясного видения  $\sim 5$  см),  $> 10$  D ( $\sim 10$  см) к 20 годам, не более нескольких диоптрий к 40 годам ( $\sim 35$  см), а к  $\sim 50$  годам способность глаза к аккомодации практически полностью утрачивается (в зависимости от раз-

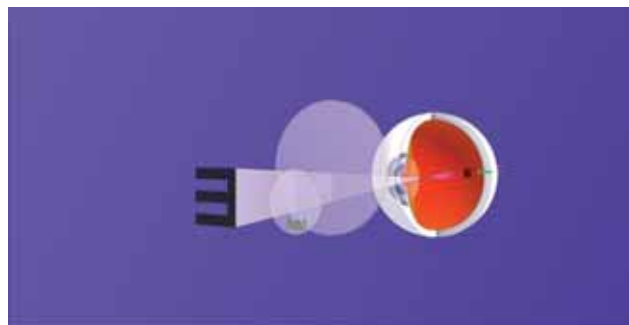
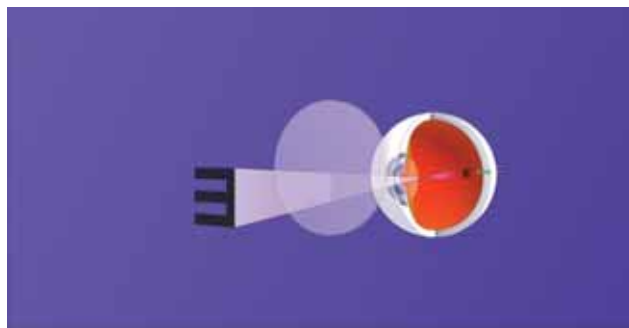


Рис.7. Аметропия и пресбиопия

ных факторов). Эта потеря аккомодационной способности глаза называется *пресбиопией*.

### Пресбиопия

Говорят, что глаз пресбиопический (от греческого слова, означающего *старый глаз*), если форма и положение хрусталика уже не способны изменяться в той степени, которая обеспечивает увеличение оптической силы глаза для того, чтобы на сетчатке формировалось четкое изображение близкорасположенных объектов, т.е. если амплитуда аккомодации недостаточна для зрения вблизи. При некорригированной пресбиопии изображение близкорасположенных объектов будет размытым.

Принцип коррекции пресбиопии состоит в устранении дефицита амплитуды аккомодации (для зрения вблизи) с помощью положительных линз. Такая линза, являющаяся дополнительной к любому виду коррекции аметропии, называется добавочной линзой, а ее оптическая сила – аддидацией (add).

Таким образом:

- пресбиопический эметропический глаз корригируется plano линзой для дали и положительной линзой для зрения вблизи;

- пресбиопический миопический глаз корригируется отрицательной линзой для дали и линзой с «меньшей отрицательной» силой для зрения вблизи (т.е. коррекция ближнего зрения может быть отрицательной, plano или положительной в зависимости от степени миопии и аддидации);

- пресбиопический гиперметропический глаз корригируется положительной линзой для дали и более сильной положительной линзой для зрения вблизи.

**Приложение**

**Оптические принципы коррекции аметропии и пресбиопии**

**Принципы коррекции миопии и гиперметропии**

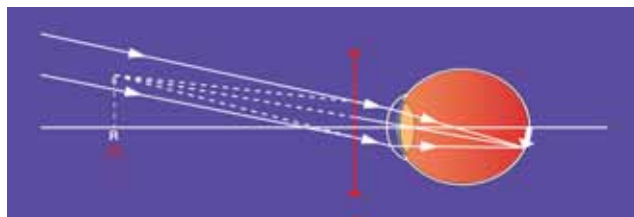
Основной принцип коррекции аметропии – это использование линзы для формирования четкого изображения объекта на сетчатке (которое без коррекции у аметропического глаза размытое). Если говорить более конкретно, то коррекция заключается в том, чтобы спроецировать изображения объектов, которые без коррекции видны размытыми, в оптическое пространство, которое четко видно аметропическим глазом.

В частности, чтобы восстановить эмметропическое состояние аметропического глаза, корректирующая линза должна сформировать изображение удаленного объекта в точке, которую аметропический глаз четко видит без напряжения аккомодации, т.е. в дальнейшей точке ясного видения. Поскольку формируемое линзой изображение удаленного объекта находится по определению в ее фокусе, то принцип коррекции аметропии состоит в определении оптической силы корректирующей линзы, для которой *второй главный фокус линзы совпал бы с дальнейшей точкой ясного зрения* требующего коррекции аметропического глаза.

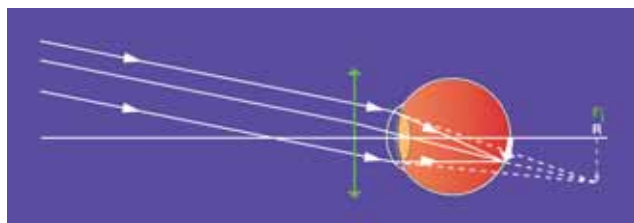
В случае миопического глаза (рис.8а) изображение удаленного объекта формируется в фокусе (мнимом) отрицательной линзы. Это изображение становится в свою очередь объектом для глаза, поскольку лежит в дальнейшей точке ясного видения, и проецируется точно на сетчатку. В случае гиперметропического глаза (рис.8в) изображение удаленного объекта формируется в фокусе (реальном) положительной линзы. Это изображение становится в свою очередь объектом для глаза, поскольку лежит в дальнейшей точке ясного видения, и проецируется точно на сетчатку.

**Принцип коррекции астигматизма**

Принцип коррекции астигматизма состоит в том, чтобы использовать такую астигматическую линзу, оп-



а) миопический глаз



в) гиперметропический глаз

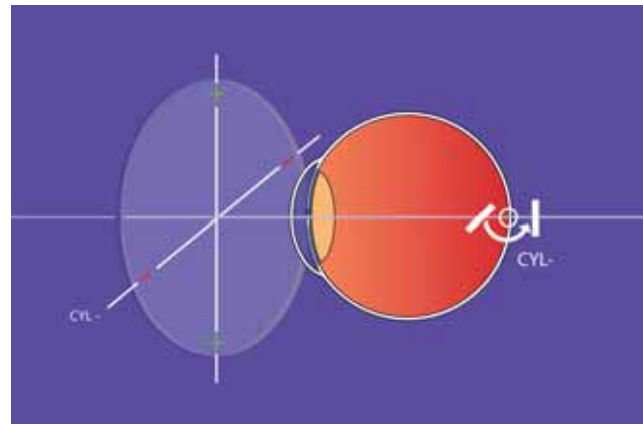
**Рис.8.** Принципы коррекции аметропии

тическая сила которой соответствует рефракции в главных меридианах астигматического глаза так, чтобы нейтрализовать его астигматизм. Оптическая сила такой сферо-цилиндрической линзы максимальна по одному меридиану и минимальна по другому (цилиндр), эта разница позволяет компенсировать астигматизм глаза слиянием двух линейных фокусов в один точечный фокус, а сферическая сила этой линзы помещает его на сетчатку.

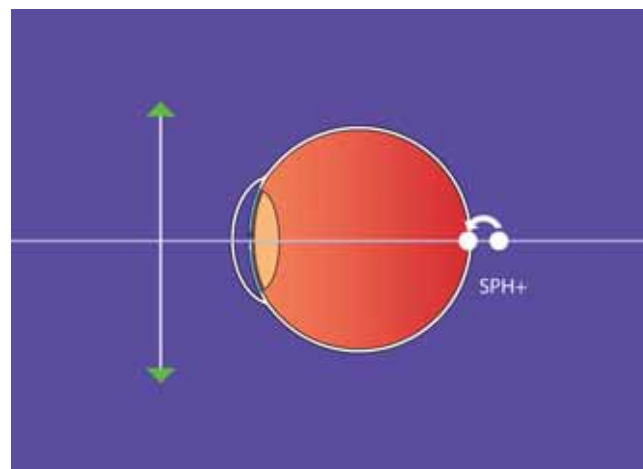
Оптическая сила цилиндра смещает линейный фокус по оси. Применение сферо-цилиндрической линзы, сила которой в рецепте записана с отрицательным цилиндром с осью 180°, дает совпадение горизонтального фокуса с вертикальным, совмещая их в один точечный фокус, а сферическая сила линзы помещает этот точечный фокус на сетчатку. *У цилиндрической линзы оптическая сила перпендикулярна оси цилиндра.*

**Оптический принцип коррекции пресбиопии**

Действие назначенной дополнительной линзы для зрения вблизи (аддидации) состоит в том, чтобы восстановить способность пресбиопического глаза четко видеть близко расположенные объекты. Задача этой лин-



а) действие цилиндрического компонента коррекции



в) действие сферического компонента коррекции

**Рис.9.** Принцип коррекции астигматического глаза

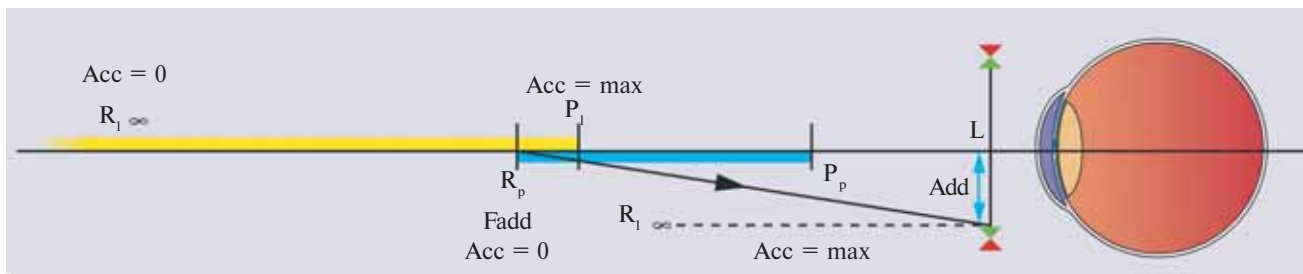


Рис.10. Принцип коррекции пресбиопического глаза

зы состоит в получении изображения близкорасположенного объекта на большем расстоянии от глаза, где оно уже будет находиться в пределах действия оставшейся амплитуды аккомодации. Таким образом, диапазон четкого зрения вблизи, которое получается в результате такой коррекции, сопряжен с диапазоном аккомодации для зрения вдаль. Изображение *дальнейшей точки ясного видения для зрения вблизи*  $R_p$ , видимой через дополнительную линзу, сопряжено с *дальнейшей точкой ясного видения для зрения вдаль*  $R_1$ ; изображение *ближайшей точки ясного видения для зрения вблизи*  $R_p$ , видимой через дополнительную линзу, сопряжено с *ближайшей точкой ясного видения для зрения вдаль*  $P_1$ . Так как  $R_1$  расположена на бесконечности (это либо дальняя точка скорректированного аметропического глаза, либо реальная дальняя точка эметропического глаза), то  $R_p$  всегда лежит в фокальной плоскости дополнительной линзы (рис.10).

## Оборудование

Для исследования рефракции необходимо соответствующее оборудование и инструменты.

Для исследования зрения желательно отвести специальную комнату, расположенную в тихом месте (подальше от тех мест в оптике, где ведется другая активная деятельность) для того, чтобы обеспечить пациенту уединение и помочь ему сконцентрироваться. Освещение в комнате должно быть умеренной яркости, чтобы соответствовать стандартным уровням, рекомендованным для нормального зрения. Важно избегать исследования рефракции в условиях слабой освещенности (если только не стоит специальная задача исследования сумеречного зрения). Для определения остроты зрения вдаль тестовые таблицы размещаются на расстоянии от 4 до 6 м (в зависимости от страны). Это расстояние должно быть ре-

ально или его получают, применяя зеркальное отражение. Тесты следует предъявлять на высоте глаз пациента (т.е. пациент смотрит вдаль прямо вперед).

Необходимый минимум оборудования включает:

- Таблица для определения остроты зрения (VA) вдаль (включая тесты для детей с картинками и для пациентов, не обладающих коммуникационными возможностями (оптотипы в виде буквы E, кольца Ландольта, карты соответствия))

- Текстовая таблица или карта для определения остроты зрения вблизи

- Набор линз (пробная оправа и пробный набор линз, механический или автоматический фороптер)

- Кросс-цилиндры Jackson (ручной из пробного набора или в фороптере)

- Оклюдер

- Необходимые уровни освещения (для исследования зрения вдаль, а также локальное освещение для исследования зрения вблизи)

- Оборудование, относящееся к объективному методу исследования рефракции (ретиноскоп и авторефрактометр)
- Линзметр для измерения оптической силы ранее используемых пациентом линз

Кроме этого основного оборудования, можно дополнительно использовать: измерительную ленту (для измерения расстояния для чтения, расстояния до

тестовых таблиц, ближней точки аккомодации и др.), держатели для линз, фонарь-ручку, красный фильтр, поляризационные линзы, призмы, стереоскопический тест, циклоплегики местного применения для ретиноскопии (если доступна) и тест на контрастную чувствительность.

Набор необходимого оборудования определяется действующими в каждой стране нормами и рекомендациями и ограничен необходимым для работы с этими инструментами уровнем квалификации и умения специалиста.



Рис.11. Рефракционное оборудование – механический фороптер