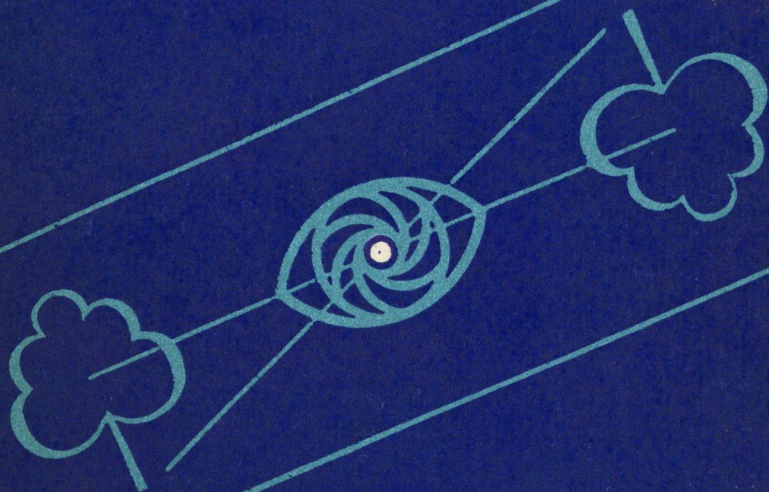


Н. М. СЕРГИЕНКО

Н. М. СЕРГИЕНКО

# ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИКА



Н. М. СЕРГИЕНКО

# ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИКА

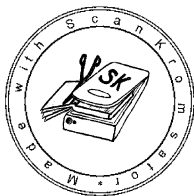
---

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

МОСКВА «МЕДИЦИНА» 1991

ББК 56.7  
С32  
УДК 617.75-535

Рецензент Ю. З. РОЗЕНБЛЮМ, д-р мед. наук,  
ст. науч. сотр. МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца МЗ РСФСР



**Сергиенко Н. М.**

С32      Офтальмологическая оптика.— 2-е изд., перераб.  
и доп.— М.: Медицина, 1991.— 144 с.: ил.—  
ISBN 5-225-02122-0

Книга (1-е издание вышло в 1982 г. в издательстве «Здоров'я») представляет собой переработанный вариант монографии и вызвала большой интерес среди офтальмологов.

В ней освещено современное состояние офтальмологической оптики, в частности рассмотрены вопросы, относящиеся к аккомодации, коррекции миопии, астигматизма, рефрактометрии, функции центрального зрения с точки зрения новой концепции рефракции глаза.

Для офтальмологов, оптометристов, физиологов, оптиков.

С  $\frac{4104000000-138}{039(01)-91}$  28—91

ББК 56.7

ISBN 5-225-02122-0

© Издательство «Здоров'я», 1982  
© Н. М. Сергиенко, дополненное  
и переработанное, 1991

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Явления интерференции и дифракции света показывают, что распространение света представляет собой волновой процесс.

С помощью волновой теории можно решать задачи о распространении света как в однородной прозрачной среде, так и через любую оптическую систему, т. е. через совокупность различных прозрачных сред, ограниченных теми или иными поверхностями и диафрагмами. Однако очень многие вопросы, имеющие важное практическое значение, в частности образование изображения, можно решить более простым путем с помощью понятий геометрической оптики, в которой существуют 4 закона.

**Закон прямолинейности распространения световых лучей.** Прямолинейное распространение лучей происходит в изотропной, т. е. однородной, прозрачной среде. В случае плавного перехода одной среды в другую, например из вакуума в земную атмосферу, нарушается прямолинейность распространения света, поэтому кажущееся положение звезд на небе не соответствует их истинному положению. Следует добавить, что геометрическая оптика не рассматривает дифракцию — огибание лучами краев непрозрачных предметов. Особенно сильное огибание волн наблюдают при прохождении света через очень узкое отверстие. Если отверстие имеет диаметр, равный длине световой волны, то луч претерпит такое рассеяние, как будто это отверстие является источником света.

**Закон независимости распространения света.** Под пучком световых лучей понимают совокупность лучей, перпендикулярных к некоторой волновой поверхности. Если свет приходит из бесконечности, волновая поверхность принимает форму прямой линии и тогда нормали к ней — световые лучи — представляют собой пучок параллельных лучей. Если два таких световых пучка пересекаются, то они, не взаимодействуя друг с другом, расходятся, не меняя своего направления и прочих характеристик.

Таким образом, геометрическая оптика не рассматривает наложение световых волн — интерференцию.

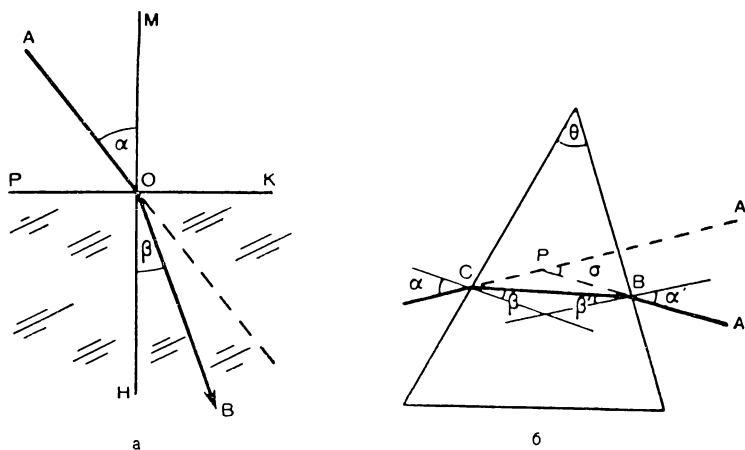


Рис. 1. Преломление света на границе двух сред (а); ход луча через призму (б) (объяснения в тексте).

**Закон преломления света.** Под преломлением света понимают изменение направления светового луча на границе двух сред.

Термин «рефракция», нашедший широкое применение в офтальмологии, в переводе с латинского (*refractio*) означает «ломать, разламывать».

Пусть линия РК (рис. 1, а) разделяет две прозрачные среды — воздух и стекло. Луч АО, едва достигнув этой линии, пойдет уже в ином направлении — ОВ. Угол падения  $\alpha$  оказывается больше угла преломления  $\beta$ . В более плотной среде луч света как бы приближается к перпендикуляру, при этом падающий и преломленный лучи и перпендикуляр расположены в одной плоскости.

Преломляющую способность среды определяет показатель преломления  $n$ , измеряемый отношением синуса угла падения к синусу угла преломления:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (1.1)$$

В данном случае имеется в виду переход света из вакуума в какую-то иную среду. Взаимосвязь между синусами углов падения, преломления и показателями преломления выражается формулой:

$$n' \cdot \sin \beta = n \cdot \sin \alpha. \quad (1.2)$$

Если угол  $\alpha$  равен нулю, то и угол  $\beta$  равен нулю, т. е. если луч падает перпендикулярно к границе, разделяющей две среды, преломления света не наблюдают.

Обычно в справочных материалах приводятся показатели преломления для желтого света с длиной волны ( $\lambda$ ), равной 589,8 мкм. Показатель преломления для вакуума принимают за единицу, показатель преломления для воздуха относительно вакуума — также за единицу (более точная величина 1,00027).

Показатели преломления для других материалов и веществ: силикатное стекло (крон) — 1,44—1,56; силикатное стекло (флинт) — 1,64—2,05; полиметилакрилат — 1,482; вода — 1,333.

Преломление в призме. Перечень примеров применения отклоняющих призм весьма широк [Аветисов Э. С., Розенблюм Ю. З., Кащенко Т. П., Фридман С. Я., 1973]. Действие призмы становится понятным на следующем примере. Призма, изготовленная из стекла с показателем преломления  $n'$ , находится в воздухе (рис. 1, б). Луч от источника света А преломляется на двух плоскостях призмы, и глаз наблюдателя увидит источник света в направлении проекции луча СР в точке А'. Степень отклонения луча измеряется углом АРА', образованным проекциями входящего и выходящего лучей. Допустим, угол между плоскостями призмы равен  $\Theta$ . Отклоняющее действие призмы измеряется углом  $\sigma$ , который вычисляется по формуле:

$$\sigma = (n' - 1)\Theta.$$

Анализ формулы позволяет заключить, что отклоняющее действие призмы обусловлено исключительно углом  $\Theta$ , образованным преломляющими поверхностями. Величина  $n' - 1$  постоянна для каждой конкретной призмы. Следовательно, изменение угла падения не оказывает влияния на отклоняющее действие призмы. Это правило сохраняет свою силу при величине угла между преломляющими плоскостями призмы не более  $6^\circ$ .

В офтальмологии сила призм измеряется в призмменных диоптриях. Призма, обладающая силой в 1 призмменную диоптрию (1 прдптр Δ), отклоняет световой луч на 1 см на расстоянии 100 см от призмы. Призма в 2 и 3 прдптр отклоняет луч соответственно на 2 и 3 см на таком же расстоянии.

Если возникает необходимость в вычислении угла отклонения  $\sigma$  по значению призмменных диоптрий (W), то расчет можно выполнить по формуле:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{W}{100}. \quad (1.3)$$

Например, требуется рассчитать угол отклонения призмы в 5 прдптр:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{5}{100} = 0,05; \quad \alpha = 2^{\circ}51'50''.$$

Наборы пробных оптических линз снабжены призматическими стеклами различной силы.

**Закон отражения.** Если на границе двух сред имеется полированная поверхность, то световой луч отражается от нее. Обратимся к примеру с зеркальной полированной поверхностью на непрозрачном материале (рис. 2, а). Законы отражения гласят:

1. Отраженный луч (ОВ), падающий луч (АО) и перпендикуляр к точке отражения лежат в одной плоскости.

2. Угол отражения и угол падения равны.

Построение изображения в плоском зеркале показано на рис. 2, б. От источника света А идет расходящийся пучок света. Луч АО направлен перпендикулярно к зеркальной поверхности. Углы падения и отражения равны нулю, поэтому отраженный луч пойдет вверх в направлении ОА. Другие лучи АЕ, АР, АК изменяют направление под различными углами отражения. Продолжения всех отраженных лучей пересекаются в точке А', являющейся зеркальным изображением источника света А. Отрезки АО и ОА' равны. Отраженные лучи распространяются пучком, как будто источник света находится в точке А'.

Рассмотрим, как происходит отражение света от незеркальных поверхностей, в частности от элементов глазного

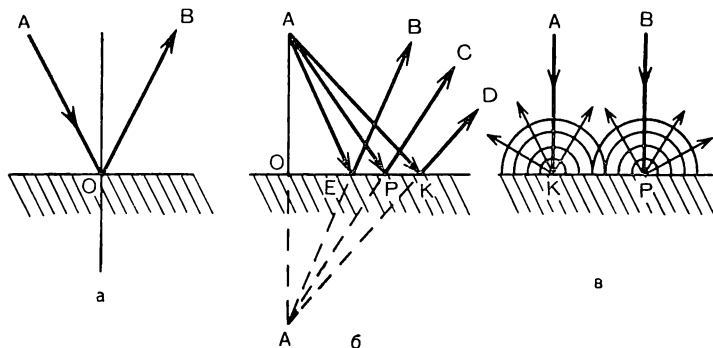


Рис. 2. Зеркальное отражение (а, б); диффузное отражение (в) (объяснения в тексте).

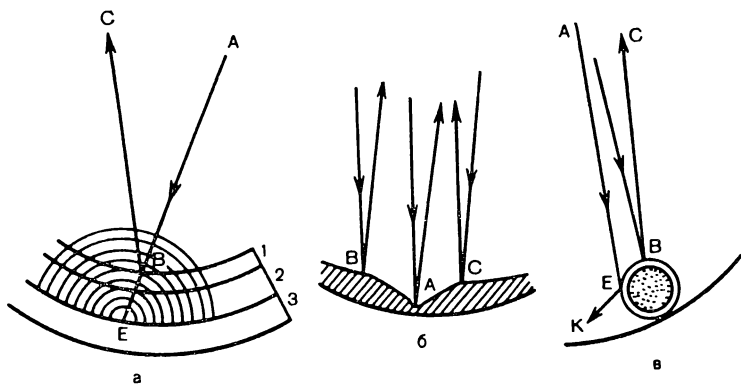


Рис. 3. Диффузное отражение на глазном дне (а); зеркальное отражение на макулярной области (б); зеркальное отражение на сосуде (в) (объяснения в тексте).

дна при офтальмоскопии и скиаскопии. Допустим, пучок лучей АК и ВР (рис. 2, в) падает на плоскую незеркальную поверхность. Точки К и Р вне зависимости от угла падения лучей становятся как бы самостоятельными источниками света, от которых свет распространяется широкими расходящимися пучками. При отражении света от незеркальной поверхности значительная часть падающей световой энергии поглощается.

Не касаясь построения оптического изображения при офтальмоскопии, остановимся на отражении света от глазного дна, где происходит и прямое, и диффузное отражение. Как известно, задний полюс глаза представлен тремя оболочками (рис. 3, а): сетчаткой (1), собственно сосудистой оболочкой (2) и склерой (3). На границе между стекловидным телом и сетчаткой лежит внутренняя пограничная мембрана — прозрачная пленка, плотно прилегающая к сетчатке и имеющая больший показатель преломления, чем стекловидное тело. Поэтому на границе между стекловидным телом и сетчаткой, а точнее, между стекловидным телом и внутренней пограничной мембраной создаются условия для зеркального отражения. Луч АВ, падающий на глазное дно, частично отражается в направлении ВС. Основная же масса световой энергии распространяется глубже, проходит прозрачную сетчатку, сосудистую оболочку и достигает поверхности склеры. Каждую точку склеры, например точку Е, можно рассматривать как точечный источник отраженного света, распространяющегося в обрат-

ном направлении и проходящего через кровь собственно сосудистой оболочки словно через красный светофильтр. При офтальмоскопии белым светом диффузно отраженный свет имеет красный тон, свет же, отраженный от зеркальной внутренней пограничной мембраны, остается белым.

При офтальмоскопии следует уделять внимание бликам, рефлексам с глазного дна, создаваемым зеркально отраженным светом. Эти рефлексy, которые могут быть замечены даже малоопытным офтальмологом, зачастую остаются вне внимания, хотя несут ценную информацию о рельефе сетчатки, а следовательно, и о природе явлений в сетчатке и собственно сосудистой оболочке.

Рассмотрим некоторые характерные рефлексy на глазном дне. Центральный отдел глазного дна имеет сложный рельеф, который схематически изображен на рис. 3, б. Макулярная область представлена воронкообразным углублением ВАС, в центре которого имеет углубление А с очень малым радиусом кривизны — центральная ямка желтого пятна. Свет от офтальмоскопа, падающий на середину центральной ямки, отражается в обратном направлении в сторону зрачка, поэтому врач замечает в середине центральной ямки точечное светлое пятнышко — фовеоларный рефлекс.

По краям макулярной области возвышение сетчатки выравнивается в «плато», ширина которого у отдельных лиц варьирует, и образует вал эллиптической формы. Отраженные от вала лучи направляются обратно в зрачок, обуславливая офтальмоскопическую картину макулярного рефлекса. В зависимости от индивидуальных особенностей рельефа глазного дна может наблюдаться наружный макулярный рефлекс — более широкое кольцо бликов.

При патологических процессах на глазном дне нормальные рефлексy могут исчезать или появляются новые рефлексy в тех местах, где в норме их не наблюдают. А. И. Горбань (1967) различает следующие причины исчезновения рефлексов: а) отек сетчатки и внутренней пограничной пластинки, сопровождающийся потерей их зеркальности; б) атрофия сетчатки и прочие процессы, вызывающие сглаживание рельефа глазного дна; в) преретинальные изменения, задерживающие свет; г) резкая деформация уровня глазного дна, например при отслойке сетчатки; д) дефект внутренней пограничной пластинки, например при дырчатом разрыве макулярной области.

Патологические рефлексy являются следствием изменения рельефа глазного дна. Точечные рефлексy, единичные

или групповые, указывают на возвышение сетчатки, например на наличие очага диффузного воспаления, а каждый рефлекс соответствует вершине возвышения. Круговые или полукруговые рефлексы образуются на границе возвышения и западения уровня сетчатки. Круговые рефлексы очерчивают зону отечной сетчатки при застойном диске зрительного нерва, зону возвышения при туберкулезе собственно сосудистой оболочки и меланобластоме, а также при других заболеваниях.

Зеркальное отражение создает рефлексы не только на сетчатке, но и на сосудах. На середине сосудов наблюдают световые «дорожки», возникающие потому, что только здесь отраженные лучи направляются в обратном направлении к глазу наблюдателя (рис. 3, в). Лучи, падающие на края сосудов, отражаются в разные стороны, но не попадают в зрачок. Следует заметить, что при расширенном зрачке создаются более благоприятные условия для выхода отраженных лучей из глаза, поэтому наблюдают большое количество более ярких рефлексов как на сосудах, так и на сетчатке.

Полное внутреннее отражение. Свет, падающий на границу двух сред с разным показателем преломления, может частично преломляться и частично отражаться, а при некоторых условиях только преломляться и только отражаться. Расположим источник света А на верхней поверхности стеклянной пластины (рис. 4). На схеме обозначены три луча АВ, АС и АД, направленные под разными углами к нижней поверхности стеклянной пластины. Луч АВ падает перпендикулярно к плоскости стекла. Вся световая энергия выходит в воздушную среду. В этом случае отражения не наблюдается.

Луч АС достигает нижней поверхности стекла под углом падения  $\alpha$ . Часть световой энергии преломляется в на-

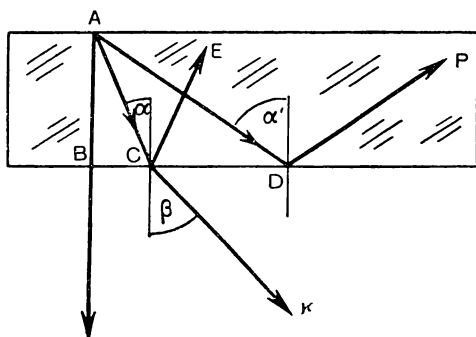


Рис. 4. Полное внутреннее отражение (объяснения в тексте).

правлении СК, а часть отражается соответственно лучу СЕ. Разделение падающего света на преломленный и отраженный лучи происходит согласно следующей закономерности: чем больше угол падения, тем больше световой энергии приходится на отражение.

Если свет распространяется из более плотной в менее плотную среду, то при определенном значении угла падения весь свет отражается в направлении Р. При этом предельном угле падения  $\alpha'$  и при больших углах отмечается явление полного внутреннего отражения.

Предельный угол полного внутреннего отражения обусловлен степенью перепада показателей преломления соседних сред. Для прозрачных материалов и веществ, находящихся в воздухе, предельный угол вычисляется по формуле:

$$\sin \alpha' = \frac{1}{n},$$

где  $n$  — показатель преломления данного вещества.

Анализ формулы позволяет заключить, что возрастание показателя преломления сопровождается уменьшением синуса, а следовательно, и самого предельного угла полного внутреннего отражения. Ниже приведены значения предельных углов полного внутреннего отражения некоторых веществ.

В медицинской технике широко используются системы на основе полного внутреннего отражения. Их преимущества по сравнению с устройствами, выполненными из простых отражательных поверхностей, заключаются в практически полном отражении света и в длительной сохранности практически идеального качества отражения. Примером могут служить различные призмы (рис. 5, а), световоды (рис. 5, б).

Явление полного внутреннего отражения имеет место в тканях глаза и может играть положительную и отрицательную роль.

В 1933 г. W. S. Stiles и B. H. Crawford описали феномен дирекционной чувствительности сетчатки. Феномен проявляется в том, что лучи, направленные вдоль оси колбочек, вызывают гораздо более сильное восприятие света, чем лучи, идущие под углом к оси колбочек. В. О'Brien (1946) разработал гипотезу дирекционной чувствительности сетчатки. Схематически колбочка изображена на рис. 5, в. Она имеет внутреннюю, более широкую, и наружную, узкую, часть, содержащую светочувствительную субстанцию — йодопсин. Естественно, оптимальным условием

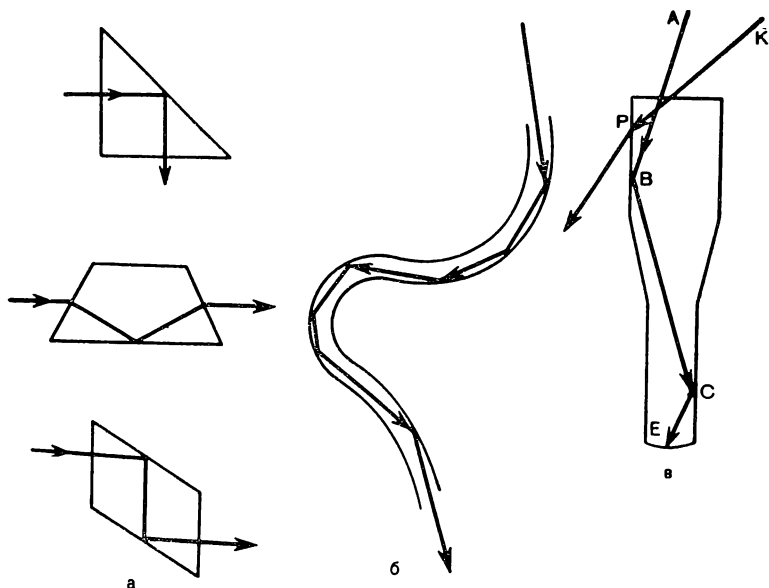


Рис. 5. Полное внутреннее отражение.

а — в призмах; б — в световоде; в — в колбочке (объяснения в тексте).

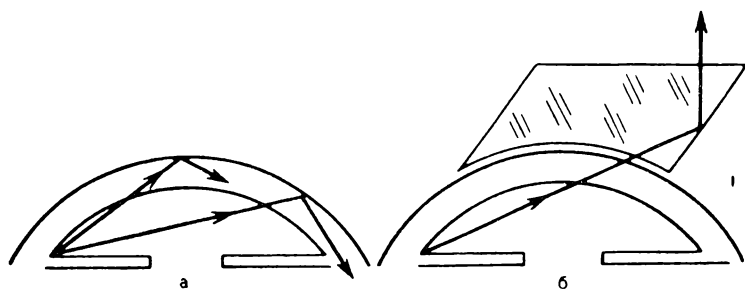


Рис. 6. Полное внутреннее отражение луча, идущего от угла передней камеры глаза (а); ход света при гониоскопии (б) (объяснения в тексте).

для светохимической реакции будет направление света, строго соответствующее оси колбочек. Однако луч (AB), несколько отклоняющийся от оси (на  $5-10^\circ$ ), вследствие полного внутреннего отражения от стенок колбочки преодолевает путь ABCE и попадает на зрительный пигмент. Доказано, что показатель преломления вещества колбочки

превышает показатель преломления окружающей жидкости в 1,022 раза. Лучи, направленные под значительным углом к оси колбочек, не претерпевают полного внутреннего отражения и рассеиваются в окружающей жидкости, не вызывая светохимической реакции.

Полное внутреннее отражение является причиной того, что без специального оснащения мы не можем видеть детали угла передней камеры глаза. Лучи, выходящие из угла передней камеры глаза (рис. 6, а), достигают передней поверхности роговицы под углом, превышающим предельный угол полного внутреннего отражения, поэтому они не выходят в воздух к глазу наблюдателя, а отражаются в сторону радужки. Угол передней камеры глаза можно рассмотреть при помощи гониоскопа (рис. 6, б), контактирующего с поверхностью роговицы и снимающего перепад показателя преломления для роговицы и воздуха. Тем самым снимаются условия для полного внутреннего отражения. Луч от угла передней камеры глаза беспрепятственно проходит в корпус гониоскопа и, отразившись на его грани, направляется в глаз наблюдателя.

Вид материала	Предельный угол полного внутреннего отражения (в градусах)
Вода	49
Роговица	47
Полиметилакрилат	42
Стекло (крон)	40
Стекло (флинт)	34
Алмаз	24

Отражение света сферической зеркальной поверхностью. Пусть на сферическое зеркало (рис. 7, а) с центром кривизны в точке О падают два луча АВ и СЕ, параллельных оптической оси. После отражения они пересекают оптическую ось в точке F — фокусе сферического зеркала. Фокус F делит пополам радиус ОО', поэтому

$$FO' = \frac{OO'}{2}, \text{ т. е. } f = \frac{r}{2}.$$

Формула сферического зеркала:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}, \quad (1.4)$$

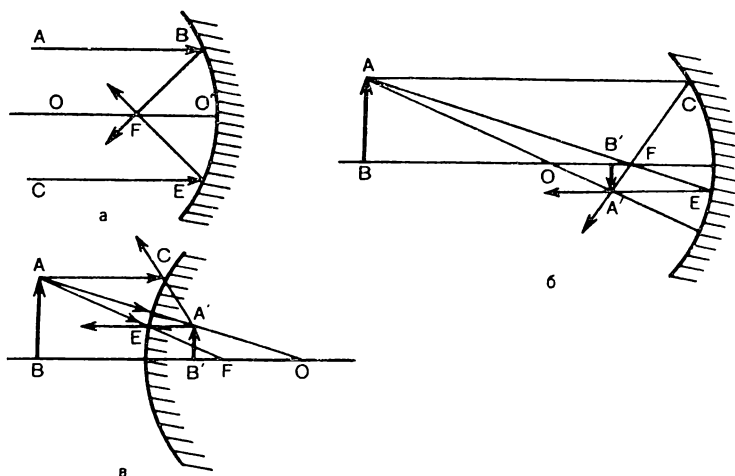


Рис. 7. Отражение света от вогнутого зеркала (а); построение изображения в вогнутом (б) и выпуклом зеркалах (в) (объяснения в тексте).

содержит три величины:  $a$  — расстояние от источника света к вершине зеркала,  $a'$  — расстояние от изображения этой точки к вершине зеркала и  $f$  — фокусное расстояние. В данном случае параллельные лучи  $AB$  и  $CE$  идут из бесконечности, значит  $a = \infty$ . Тогда

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}, \quad a' = f,$$

т. е. изображение источника света лежит в фокусе.

Формирование оптических изображений в сферических зеркалах показано на рис. 7, б, в. Для построения изображения от вершины объекта  $AB$  необходимо провести два луча или более, направление которых известно. Луч  $AC$ , параллельный оси, отражаясь, пересекает фокус  $F$  (в выпуклом зеркале фокус пересекает продолжение отраженного луча). Луч  $AO$ , посланный в центр кривизны, отражается назад по той же прямой. Луч  $AF$  (в выпуклом зеркале луч, направленный на точку  $F$ ) отражается параллельно оптической оси. Точка  $A'$  пересечения названных лучей (или продолжения лучей для выпуклого зеркала) есть оптическое изображение крайней точки объекта  $AB$ . Перпендикуляр из точки  $A'$  на ось образует отрезок  $A'B'$  — изображение объекта  $AB$ . В вогнутом зеркале это изображение действительное, в выпуклом — мнимое, так как оно образо-

вано не самими отраженными лучами, а их продолжением. Необходимо указать, что описанное построение оптического изображения справедливо лишь для достаточно малых объектов.

### ПРЕЛОМЛЕНИЕ ЛУЧЕЙ ОДНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Обратимся к простейшему варианту преломления луча, когда на пути света располагается одна сферическая поверхность, разделяющая две среды. Пусть сферическая поверхность  $BSB'$  разделяет среды (рис. 8) с показателями преломления  $n$  и  $n'$ . Точка  $C$  лежит в центре кривизны, поэтому отрезки  $CS$  и  $CB$  равны радиусу кривизны  $r$ . Луч от источника света  $A$  преломляется в точке  $B$  и пересекает осевую линию в точке  $A'$ . При этом  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол преломления,  $u$  — угол, образованный оптической осью и падающим лучом,  $u'$  — угол, образованный оптической осью и преломленным лучом. Отрезок  $BM$  — высота точки преломления относительно оптической оси и  $\gamma$  — угол, образованный оптической осью и радиусом, проведенным к точке преломления.

При оптических расчетах важное значение имеет правило знаков, игнорирование которого приводит к получению неправильного результата.

Прежде всего основой учета знаков является такая схема, на которой лучи от источника света направляются слева направо, как и показано на рис. 8. Если имеется не-

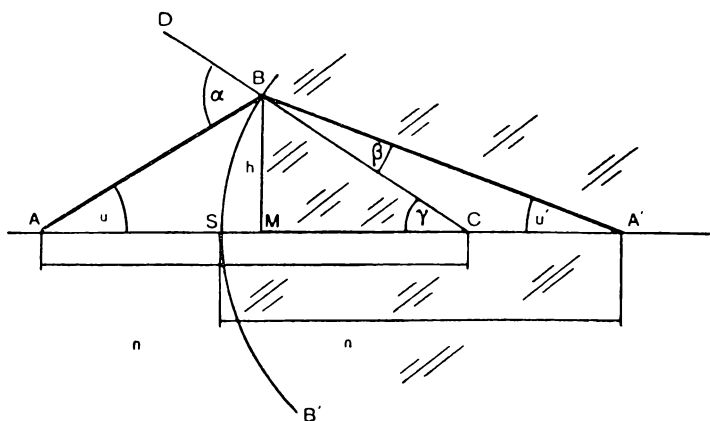


Рис. 8. Преломление света сферической поверхностью (объяснения в тексте).

сколько преломляющих поверхностей, то первая входная поверхность должна располагаться слева. Правило знаков формулируется следующим образом:

1. Отрезки на зрительной оси считаются положительными, если их отсчет, начинаясь от преломляющей поверхности, совпадает с направлением света и наоборот.

2. Радиусы кривизны считаются положительными, если их центры располагаются справа от преломляющей поверхности и наоборот.

3. Угол, образованный лучом и оптической осью, считается положительным, если для совмещения луча с осью последнюю необходимо вращать по часовой стрелке и наоборот.

4. Углы падения и отражения считаются положительными, если для совмещения луча и нормали (перпендикуляра) последнюю приходится вращать соответственно движению часовой стрелки и наоборот.

5. Высота пересечения лучей ( $BM=h$ ), величины объектов и их изображения считаются положительными, если они располагаются вверх от оптической оси и наоборот.

Исходя из вышесказанного получаем:  $AS=-1$ ,  $SA'=1$ ,  $CS=CB=r$ ,  $ABD=\alpha$ ,  $BM=h$ ,  $CBA'=-\beta$ ,  $MCB=\gamma$ ,  $BAS=-\varphi$ ,  $BA'S=\varphi'$ .

## ПРОСТАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Перейдем к описанию хода лучей, встречающихся на своем пути две преломляющие поверхности. Примером такой простейшей оптической системы может служить обычная двояковыпуклая линза (рис. 9, а), находящаяся в воздухе. Луч  $AC$ , направленный параллельно оптической оси, пре-

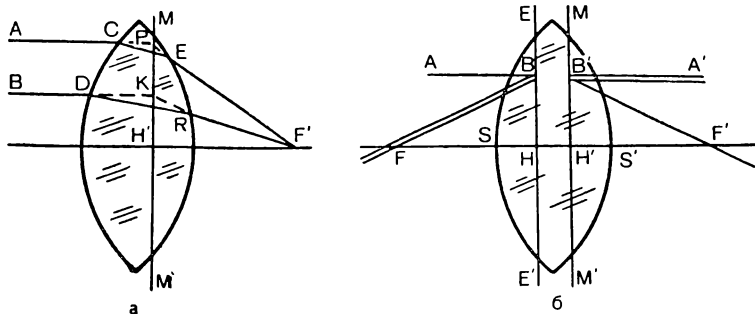


Рис. 9. Ход лучей в лупе (а); главные плоскости оптической системы лупы (б) (объяснения в тексте).

ломившись на левой поверхности линзы, проходит некоторый отрезок  $CE$  внутри линзы, а затем после повторного преломления на правой поверхности линзы достигает оптической оси в точке  $F'$ . Очевидно, что для прослеживания хода луча через линзу необходимо иметь ряд характеристик, таких как радиусы кривизны преломляющих поверхностей, расстояние между ними, углы падения и преломления и др. С целью упрощения расчетов преломления в линзе последняя превращается в математическую модель, содержащую главные плоскости.

Продолжим луч  $AC$  далее вправо до пересечения в точке  $P$  с продолжением луча  $F'E$ . Опустив перпендикуляр из точки  $P$  на оптическую ось, получим прямую  $MH'M'$ . Проследим движение луча  $BD$ , также выходящего в точку  $F'$ . Продолжения падающего луча  $BD$  и отраженного луча  $F'R$  пересекаются в точке  $K$ , расположенной на прямой  $MM'$ . Следовательно, преломление в обеих преломляющих поверхностях линзы можно свести к преломлению всего на одной прямой линии  $MM'$ , представляющей собой главную плоскость. Этот путь значительно упрощает расчеты.

Рассмотрим другую схему (рис. 9, б), на которой показан ход двух лучей  $AB$  и  $A'B'$ , направленных навстречу друг другу и идущих параллельно оси и на одинаковой высоте от нее. Луч  $AB$ , достигнув главной плоскости  $MM'$  в точке  $B'$ , пересекает ось в точке  $F'$ . В то же время луч  $A'B'$  изменяет направление в точке  $B$ , достигнув другой главной плоскости  $EE'$ , и пересекает оптическую ось в точке  $F$ , так как лучи входят в оптическую систему параллельно оси, то их пересечение с осью есть фокус, т. е.  $F$  — передний фокус и  $F'$  — задний фокус. В описанной схеме передняя главная плоскость  $EE'$  и задняя главная плоскость  $MM'$  играют роль эквивалентов передней и задней преломляющих поверхностей линзы. Поэтому при оптических построениях нет необходимости изображать контуры линзы, достаточно показать главные плоскости. Точки пересечения  $H$  и  $H'$  главных плоскостей с осью называются главными точками системы. Переднее и заднее фокусные расстояния линзы  $HF$  и  $H'F'$  представляют собой отрезки между главными фокусами и главными точками.

Главные плоскости являются сопряженными, это проявляется в том, что положение луча на одной из главных плоскостей имеет идентичную локализацию на другой главной плоскости. Луч  $AB$  достигает передней главной плоскости в точке  $B$ . Дальнейшее продвижение луча начинается от сопряженной точки  $B'$ , лежащей на задней главной

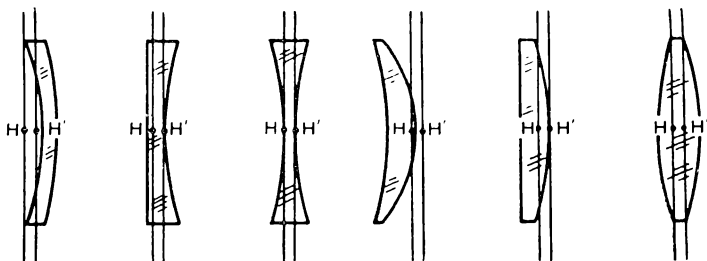


Рис. 10. Положение главных плоскостей в линзах различной конструкции (объяснения в тексте).

плоскости на таком же удалении от оптической оси, как и точка В, т. е.  $НВ = Н'В'$ .

Главные плоскости не всегда располагаются симметрично по отношению к преломляющим поверхностям. На рис. 10 показана позиция главных плоскостей в линзах различной конструкции.

Если оптическая система содержит более двух преломляющих поверхностей, примером может служить оптическая система человеческого глаза, то действие этой системы может быть редуцировано и обозначено двумя главными плоскостями, интегрирующими преломляющие свойства всех без исключения преломляющих элементов.

Оптическую систему характеризуют так называемые кардинальные (основные) точки, к числу которых, кроме вышеупомянутых главных точек, относятся еще и узловые. Основное качество узловых точек состоит в том, что при построении оптических изображений (рис. 11) прямую ВN от вершины объекта А проводят прямолинейно к первой

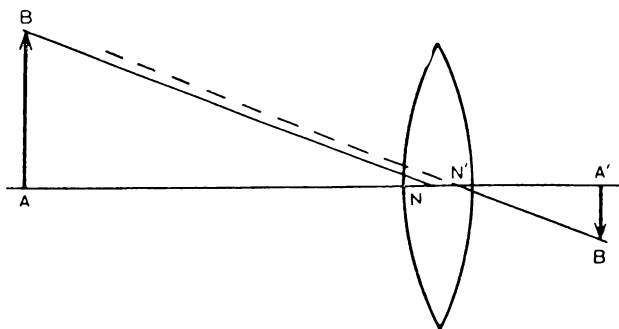


Рис. 11. Ход лучей через узловую точку (объяснения в тексте).

узловой точке  $N$  и затем далее от второй узловой точки  $N'$  луч  $N'B'$  проводят параллельно лучу  $B$  к вершине изображения  $A'B'$ .

Следует еще указать, не прибегая к математическим доказательствам, что положение главных и узловых точек полностью совпадает в тех случаях, если слева и справа от оптической системы имеется одинаковая среда. Такое совпадение, например, отмечается в случае с линзой, находящейся в воздухе.

Нередко при построении оптических изображений и расчетах с целью упрощения делают допущение о том, что линзы представляют собой очень тонкие тела, в которых передняя и задняя главные плоскости слиты в одну плоскость. Естественно в такой линзе имеется одна суммирующая главная точка, если же расположить идеально тонкую линзу в изотропной среде, то указанная точка будет соответствовать одной узловой точке.

### ПОСТРОЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

При построении оптического изображения нет необходимости представлять все преломляющие поверхности, достаточно знать положение кардинальных точек. Поэтому в схемах контуры линз будут опущены.

На рис. 12, а показана толстая собирающая линза, имеющая две главные плоскости —  $EE'$  и  $MM'$ .  $N$  и  $N'$  — главные и узловые точки оптической системы. Построение оптического изображения в принципе не отличается от построения в предыдущем примере. От вершины объекта  $AB$  посылаются три луча. Луч, направленный параллельно оп-

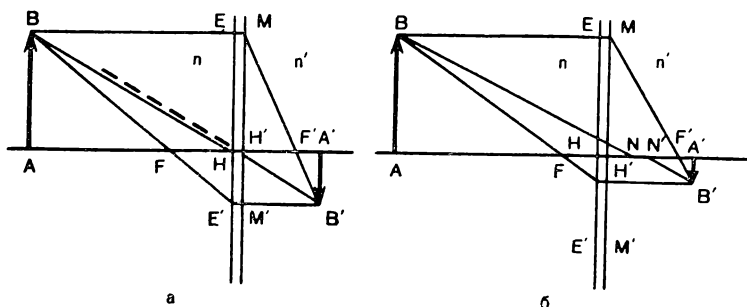


Рис. 12. Построение изображения в линзах с двумя главными плоскостями.

а — показатель преломления по обе стороны линзы одинаков; б — слева от линзы показатель преломления слабее (объяснения в тексте).

тической оси, подходит к передней главной плоскости в точке Е. Дальнейший ход луча к заднему фокусу  $F'$  проводят от точки М (на задней главной плоскости), находящейся на одинаковой высоте от оптической оси. Луч, который направлен к переднему фокусу  $F$ , достигает передней главной плоскости, а дальнейшее движение луча прослеживается от сопряженной точки на задней главной плоскости. Луч ВН, направленный к передней узловой точке, далее идет уже от задней узловой точки  $H'$ , при этом прямые ВН и  $H'B'$  параллельны.

Три описанных луча пересекаются в точке  $B'$ , и  $A'B'$  есть обратное изображение объекта АВ. Отметим важное обстоятельство: оптическое изображение построено в результате схождения лучей, прошедших оптическую систему, оно называется действительным.

Рис. 12, б — представляет такое положение, когда слева и справа от толстой линзы располагаются различные среды, например воздух и вода. Данное обстоятельство проявляется на схеме в неравенстве фокусных расстояний —  $FN$  меньше  $H'F'$ , а также в несовпадении главных и узловых точек. Н и  $H'$  — главные точки,  $N$  и  $N'$  — узловые точки. Построение обратного действительного изображения не требует особого пояснения, так как оно почти не отличается от предыдущего примера.

## ТЕЛЕСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Оптические системы, увеличивающие изображение предметов и предназначенные для рассмотрения удаленных объектов, называются телескопическими. Телескопическая система состоит из двух линз. В современных сложных телескопических устройствах, включающих большее число оптических элементов, можно выделить два компонента, эквивалентных двум линзам и несущих функцию объектива и окуляра.

Система, состоящая из двух тонких собирающих линз — объектива и окуляра, впервые предложенная И. Кеплером, схематически показана на рис. 13, а. Фокусное расстояние объектива равно  $f_1$ , окуляра —  $f_2$ . Точка  $F$  одновременно является задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра. Параллельный пучок лучей, падающий на объектив, собирается в его заднем фокусе  $F$ , так как последний совпадает с передним фокусом окуляра, то лучи выходят из системы, снова преобразуясь в пучок параллельных лучей. Однако оптически нейтральная телескопическая си-

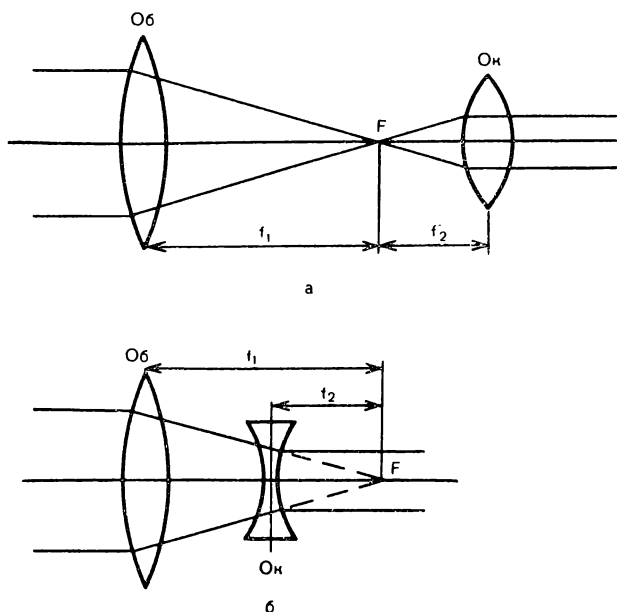


Рис. 13. Телескопическая система.

а — Кеплера; б — Галилея (объяснения в тексте).

система обладает тем свойством, что глаз наблюдателя, находящийся у окуляра, увидит предметы в увеличенном виде. Система Кеплера дает перевернутое изображение.

Телескопическая система Г. Галилея, позволяющая наблюдать предметы в прямом виде, отличается меньшей длиной. Объектив и окуляр (рис. 13, б) сопоставлены таким образом, что точка  $F$  одновременно является задним фокусом собирающей линзы и передним фокусом рассеивающей линзы. Пучок света влево и вправо от системы представлен параллельными лучами.

Телескопические системы с обратным положением окуляра используются в офтальмологии для выравнивания величины изображения в правом и левом глазу при анизейкнии.

## ДИОПТРИКА

Использование диоптрийных единиц для оценки оптической силы линз и различных преломляющих поверхностей получило широкое распространение в XIX в. Величина, выражающая преломление в диоптриях, обратно пропорцио-

нальна фокусному расстоянию, выраженному в метрах, т. е.

$$D = \frac{1}{F}.$$

Фокусное расстояние линзы в 1 дптр — 1 м, в 2 дптр — 0,5 м, в 4 дптр — 0,25 м и т. д. Нетрудно произвести вычисления обратным путем, находя фокусное расстояние по значению преломляющей силы в диоптриях. Не следует забывать, что вышеприведенная формула справедлива для тех случаев, когда фокусное расстояние лежит в воздушной среде, если же лучи после преломления распространяются в более плотной среде с коэффициентом преломления  $n$ , то расчет необходимо производить по формуле:

$$D = \frac{n}{F}.$$

Например, человеческий глаз имеет преломляющую силу 60 дптр. Лучи, отраженные от глазного дна, собираются в переднем фокусе, а переднее фокусное расстояние оказывается равным:

$$F = \frac{1}{60} = 0,01667 \text{ м} = 16,67 \text{ мм}.$$

При переходе света из воздуха в глаз фокус окажется дальше от задней главной плоскости, и заднее фокусное расстояние рассчитывается таким образом:

$$F = \frac{n}{60} = \frac{1,336}{60} = 0,022267 \text{ м} = 22,26 \text{ мм}.$$

В начале XX в. А. Гульстранд разработал диоптрийную систему построения оптических изображений в сложных системах преломляющих элементов. Преимущества ее заключаются в простоте формул и относительной легкости вычислений. Принципы диоптрийной системы становятся понятными при ознакомлении со схемой, представленной на рис. 14.

Свет от источника А распространяется дивергентным пучком и достигает собирающей линзы  $DD'$  с преломляющей силой в  $D$  дптр. Степень дивергенции ( $A$ ) света измеряется величиной, обратной дивергенции  $f_1$ , и пишется с отрицательным знаком, т. е.  $A = -\frac{1}{f_1}$ . Конвергирующий пучок обозначается положительным знаком. Параллельные световые лучи соответствуют нулевому значению.

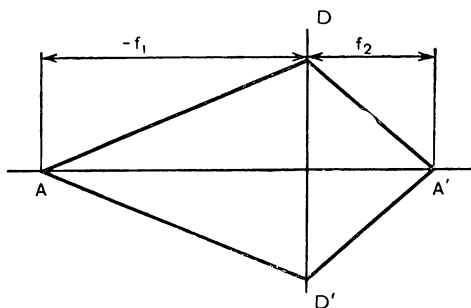


Рис. 14. Построение оптического изображения для диоптрийного исчисления (объяснения в тексте).

Линза оказывает свое оптическое действие, адекватное преломляющей силе в диоптриях, после чего лучи изменяют свое направление и пересекаются в точке  $A'$  на расстоянии  $f_2$  от линзы. В итоге величина конвергенции лучей в точке  $B$  выражается равенством:

$$B = D - A.$$

Построение изображения в системе, представленной двумя, тремя и более преломляющими элементами, осуществляется путем расчета оптической силы, фокусных расстояний и положения главных плоскостей всей системы. Оптическая сила системы, состоящей из двух преломляющих поверхностей, вычисляется по формуле:

$$D_{1,2} = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 \cdot D_2, \quad (1.5)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — оптическая сила 1-й и 2-й преломляющих поверхностей (или систем);  $d$  — расстояние между преломляющими поверхностями; в случае двух систем это расстояние между 2-й главной точкой первой системы и 1-й главной точкой второй системы;  $n$  — показатель преломления среды между преломляющими поверхностями.

Важное значение имеет вычисление положения главных точек. Удаление 1-й главной точки от первой преломляющей поверхности или от 1-й главной точки первой системы определяется по формуле:

$$H'_{1,2} = \frac{d}{n} \cdot \frac{D_2}{D_{1,2}}. \quad (1.6)$$

Расстояние между 2-й главной точкой всей системы и 2-й преломляющей поверхностью или 2-й главной точкой второй системы вычисляется по формуле:

$$H_{1,2} = - \frac{d}{n} \cdot \frac{D_1}{D_{1,2}}. \quad (1.7)$$

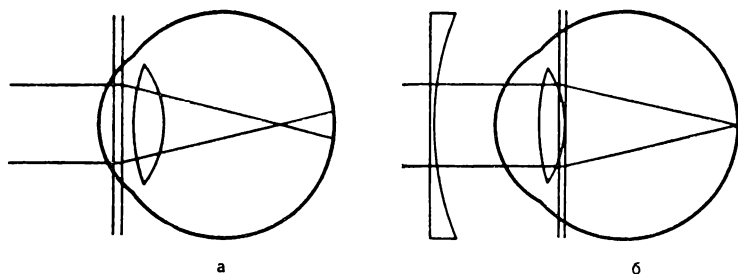


Рис. 15. Положение главных плоскостей в близоруком глазу.  
а — до коррекции; б — во время коррекции рассеивающими линзами.

Расчет оптической силы системы, представленной тремя и более преломляющими элементами или отдельными системами, можно выполнить путем последовательных вычислений оптической силы и главных точек первых двух преломляющих элементов, а затем определить оптическую силу этой системы в сочетании с третьей преломляющей поверхностью. Аналогичным образом поступают при наличии четырех, пяти и более элементов оптической системы.

Вышеприведенные формулы могут быть использованы в различных частных случаях, начиная от расчета оптической силы очковой линзы и включая вычисления преломляющей силы оптики человеческого глаза как изолированно, так и в сочетании с корригирующими или вспомогательными, например телескопическими, системами.

Оценивая смысл формулы (1.5), можно прийти к выводу, что оптическая сила  $D_{1,2}$  системы из двух преломляющих элементов  $D_1$  и  $D_2$  в большей мере зависит от расстояния  $d$  между элементами. Если это расстояние бесконечно мало, оптическая сила системы равна алгебраической сумме составляющих элементов  $D_1$  и  $D_2$ . По мере увеличения значения  $d$  изменяется и выражение  $D_1 + D_2$ . В качестве примера возьмем систему: очковая линза + глаз с преломляющей силой 58,64 дптр (схематический глаз Гульстранда). Поместим очковую линзу в 20 дптр в передний фокус глаза — в 15,71 мм от вершины роговицы (в 17,055 мм от передней главной точки). Значит,  $d$  равно 0,17055 м. Показатель преломления  $n=1,0$ , так как линза расположена в воздухе. Выполним вычисления:

$$D_{1,2} = -20 + 58,64 - 0,017055 \cdot (-20) \cdot 58,64;$$

$$D_{1,2} = -20 + 58,64 + 20 = 58,64.$$

Результат показывает, что корригирующая линза, помещенная в переднем фокусе глаза, создает систему с пре-

ломляющей силой, адекватной оптике одного глаза. В чем же выражается корректирующее действие линзы? Ведь ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что при близорукости рассеивающая линза повышает центральное зрение. Объясняется это тем, что линзы вызывают смещение главных точек. В частности, рассеивающая линза смещает главные плоскости в глубь глаза (рис. 15); несмотря на неизменную величину оптической силы, а следовательно, и заднего фокусного расстояния, задний фокус оказывается на сетчатке вследствие приближения к последней главных плоскостей системы: линза+глаз.

## Глава 2

### ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА

#### СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЛАЗ

Уже первые исследователи, занимавшиеся изучением анатомо-оптической структуры человеческого глаза, обнаружили вариабельность всех измеряемых признаков. Все объекты биологического мира обладают вариабельностью, характеризующейся, как правило, биномиальной кривой. В более поздних работах, выполненных М. Авербахом (1900), Е. Ж. Троном (1947) с использованием офтальмофакометра Чернинга, доказано, что основные структурные элементы глаза изменяются в широких пределах.

Средние значения величин, относящихся к анатомо-оптической структуре глаза, были определены в конце прошлого столетия. Тогда же появились попытки создать математическую модель глаза. Наиболее удачной считается модель, созданная Гульстрандом и названная схематическим глазом.

Некоторые константы схематического глаза Гульстранда и данные измерения живых глаз не совпадают. Например, полученные с помощью офтальмофакометра Чернинга средние величины рефракции роговицы, рефракции всей оптической системы глаза и длины оси глазного яблока составляют 43,5 дптр, 59,92 дптр и 25,3 мм, а соответствующие константы схематического глаза — 43,05 дптр, 58,64 дптр и 24 мм. Это несовпадение прежде всего следует объяснить тем, что измерения выполнялись разными исследователями из различных стран в различные периоды времени, а также случайным подбором рефракции. В то же

время нельзя не упомянуть об адекватности важнейшего параметра — длины оси глазного яблока, равной 24 мм в схематическом глазу Гульстранда и при непосредственном измерении свежеезуклеированных глаз. Можно предположить, что исследование анатомо-оптической структуры глаз у лиц не европейского происхождения может привести к созданию другого вида схематического глаза, характерного для другой популяции.

Одним из наиболее отличающихся элементов схематического глаза является хрусталик, который, хотя и содержит субстанцию с двумя коэффициентами преломления, тем не менее не отражает многослойности, лучистости и дольчатости живого глаза с иррегулярными перепадами показателя преломления. Схематический глаз характеризуют: идеальная сферичность преломляющих поверхностей; идеальное центрование преломляющих поверхностей относительно друг друга и относительно зрительной оси; однородность преломляющих сред.

Недооценка различий схематического и живого глаза долгое время была причиной неточностей в интерпретации некоторых клинических явлений.

Несмотря на известные допущения, схематический глаз имеет исключительно важное значение в качестве эталона человеческого глаза при решении различных задач теоретической, практической офтальмологии, оптического приборостроения и т. д.

## **ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГЛАЗА**

Идеальная оптика схематического глаза может служить пределом совершенства, от которого человеческий глаз, представленный живыми тканями, весьма далек. Хотя основные оптические несовершенства глаза были известны еще в прошлом столетии, их роль недооценивалась, а влияние на функции глаза не принималось в расчет. Теория рефракции, возникшая в середине прошлого столетия, базируется на модели схематического глаза и поэтому не может объяснить ряд клинических явлений. Вот почему рассмотрение оптических несовершенств имеет не только теоретическое, но и практическое значение. В течение последних двух десятилетий выполнены исследования качества оптической системы глаза, в частности по физиологическому астигматизму. Хотя понятие о физиологическом астигматизме существует с прошлого столетия, только теперь найдены способы его измерения и определено влияние на центральное зрение.

**Основные оптические несовершенства.** Дифракция обусловлена волновой природой света. Под дифракцией понимают огибание световыми волнами краев непрозрачного предмета, что выражается в нарушении прямолинейности распространения света. В результате на сетчатке создается кольцевидная картина светорассеяния (рис. 16, а). Максимум световой энергии сосредоточивается в центральном диске дифракционной картины. Дифракция влияет на качество изображения только в том случае, если диаметр зрачка меньше 2 мм.

Хроматическая аберрация обусловлена неодинаковым коэффициентом преломления лучей с различной длиной волны. Коротковолновые фиолетовые лучи преломляются сильнее, чем длинноволновые, вследствие чего на сетчатке отсутствует точечный фокус (рис. 16, б). Если фокус синих лучей совместить с сетчаткой, то изображение точки будет окружено красным ореолом. И наоборот, при совмещении с экраном фокуса красных лучей изображение точки будет окружено синим ореолом. Наименьшие круги светорассеяния и наилучшее качество изображения возникают в том случае, если плоскость изображения располагается между фокусами красных и фиолетовых лучей.

Выраженность хроматической аберрации прямо пропорциональна диаметру зрачка.

Оценка влияния хроматической аберрации на качество изображения человеческого глаза связана с определенными трудностями, например с неодинаковым поглощением средами глаза различных монохроматических лучей. Влияние хроматической аберрации зависит также от вида используемого освещения, а при естественном освещении — от по-

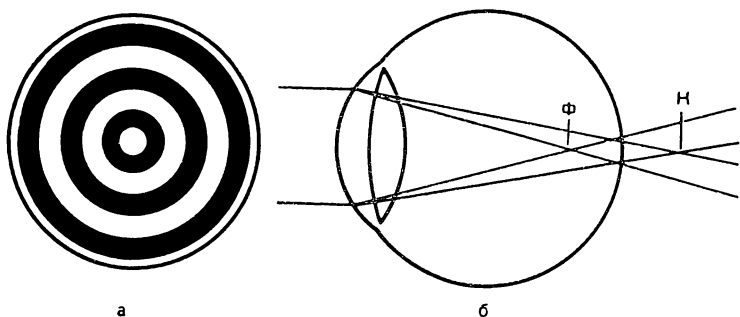


Рис. 16. Дифракционное светорассеяние (а); формирование фокуса на сетчатке при хроматической аберрации (б) (объяснения в тексте).

годы и времени суток, так как указанные условия определяют спектральный состав дневного света.

Разница между положением фокусов для фиолетовых и красных лучей в 1,3 дптр была достаточно точно установлена еще Т. Юнгом. Если на сетчатке фокусируются лучи, относящиеся к середине спектра, то образуются круги светорассеяния, диаметр которых соответствует таковому при некорригированной миопии в 0,65 дптр. Однако светорассеянию вследствие хроматической аберрации не придается особого значения, поскольку световая энергия в кругах светорассеяния распределяется крайне неравномерно. Расчеты показывают, что при диаметре зрачка 2 мм 70% световой энергии концентрируются на поле диаметром всего 0,005 мм.

Хроматическая аберрация не оказывает существенного влияния на центральное зрение. Определение остроты зрения в монохроматическом свете, а также использование специальных оптических систем, исправляющих хроматическую аберрацию глаза, не способствовали существенному повышению центрального зрения.

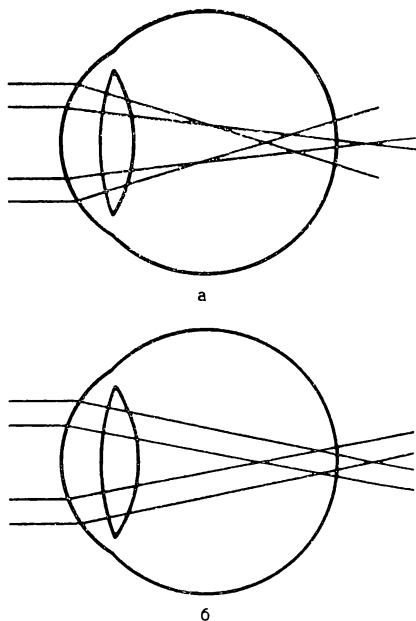
Знание физиологических основ хроматической аберрации необходимо не только для правильного понимания условий функционирования глаза, но и в практической деятельности. Это связано с тем, что некоторые методики определения степени клинической рефракции и астигматизма основаны на цветовых тестах.

**Сферическая аберрация.** Под сферической аберрацией понимают различную силу преломления лучей, проходящих через центральные и периферические отделы оптической системы или какой-либо преломляющей поверхности. Например, лучи, идущие через периферический отдел обычной двояковыпуклой линзы, имеют более короткое фокусное расстояние по сравнению с лучами, проходящими ближе к оптической оси (рис. 17, а). Чем шире диаметр диафрагмы, тем больше отрицательное действие сферической аберрации на качество изображения.

Можно полностью согласиться с мнением М. С. Смирнова (1961) о том, что понятие «сферическая аберрация», часто используемое в литературе по офтальмологии, к человеческому глазу неприменимо. Это объясняется прежде всего тем, что эта аберрация, как правило, несферическая, так как она выражена в неодинаковой степени в различных меридианах и даже пределах одного меридиана в противоположных направлениях от оптической оси, например влево и вправо от нее. Кроме того, глаз человека наделен спо-

**Рис. 17. Сферическая аберрация.**

**а — по правилу; б — против правила.**



способностью, которая не свойственна искусственным оптическим системам,—сферической аберрацией против правила (рис. 17, б). Она выражается в том, что периферические зоны оптической системы глаза имеют более слабую рефракцию, чем центральные, в связи с наличием ядра хрусталика с большим коэффициентом преломления.

Таким образом, сферическая аберрация, присутствующая искусственным оптическим линзам, в человеческом глазу представле-

на в искаженном виде: она асимметрична, т. е. по сути является несферической; сферической аберрацией против правила обычные линзы не обладают. Принимая во внимание широкое распространение термина «сферическая аберрация» и используя его для обозначения неадекватного преломления в центре и на периферии, необходимо помнить о своеобразии этого феномена в человеческом глазу.

**Физиологический астигматизм.** Под физиологическим следует понимать такой астигматизм оптической системы глаза, при котором сохраняется нормальная острота зрения и не возникают астигматические явления. Физиологический астигматизм свойствен каждому глазу и обусловлен несколькими основными факторами: асферичностью преломляющих поверхностей, астигматизмом косо падающих лучей, децентрованием преломляющих поверхностей и неравномерностью оптической плотности преломляющих сред.

Преломляющие поверхности роговицы и хрусталика не имеют правильной сферической формы. При исследовании 2000 глаз Е. Ф. Тait только в 12 случаях обнаружил правильную сферическую форму передней поверхности рогови-

цы в ее оптической зоне. Только 29 глаз оказались с астигматизмом менее 0,12 дптр.

Астигматизм роговицы нормальных глаз не превышает 1 дптр, и причина его возникновения заключается в деформации глазного яблока в связи с неравномерностью роста последнего [Дашевский А. И., 1962; Иванов Д. Ф., 1967]. Астигматизм роговицы в течение жизни претерпевает изменения. Кроме того, форма роговицы может изменяться под влиянием физиологических факторов. Например, прищуривание вызывает деформацию роговицы и усиление преломления в горизонтальном меридиане иногда до 1—1,5 дптр.

Роговичный астигматизм обычно не соответствует суммарному астигматизму глаза; в основе этого явления лежит хрусталиковый астигматизм, величина которого чаще находится в пределах 0,5—0,6 дптр [Jackson E., 1932; Tait E. F., 1954, 1956]. Роговичный астигматизм в определенной мере корригируется хрусталиковым астигматизмом, который, по-видимому, имеет динамическую природу, т. е. обусловлен неравномерным напряжением ресничной мышцы.

Астигматизм косо падающих лучей связан с несовпадением оптической и зрительной осей. В глазу человека угол между зрительной и оптической осями в среднем составляет  $5^\circ$ , что создает оптическое несовершенство, эквивалентное астигматизму в 0,5 дптр [Вербицкий В. К., 1930]. Таким является эффект астигматизма косо падающих лучей для условий фовеального зрения. Предметы, которые проецируются на периферию сетчатки, подвержены гораздо большему влиянию астигматизма косо падающих лучей.

Несовпадение оптической и зрительной осей касается ориентации всей оптической системы глаза относительно положения центральной ямки. Кроме того, преломляющие поверхности хрусталика не центрированы относительно положения преломляющих поверхностей роговицы. В смещении хрусталика имеют значение два обстоятельства: поворот на  $3—5^\circ$  вокруг вертикальной оси и на  $0—3^\circ$  вокруг горизонтальной оси. При этом нередко оптическая ось хрусталика расположена под углом свыше  $10^\circ$  к оси роговицы.

Преломляющие среды глаза представлены живыми тканями, не обладающими идеальной прозрачностью и однородностью. Это обстоятельство способствует ухудшению качества изображения на глазном дне. Гельмгольц впервые описал лучистые фигуры светорассеяния в условиях оптимальной коррекции. По его мнению, лучистая структура

фигур светорассеяния является выражением дольчатости преломляющих сред (за счет хрусталика). Эксперименты Г. К. Гуртового показали, что лучистостью обладает и стекловидное тело.

Плотность хрусталика неоднородна в центре и на периферии, особенно у лиц зрелого и пожилого возраста.

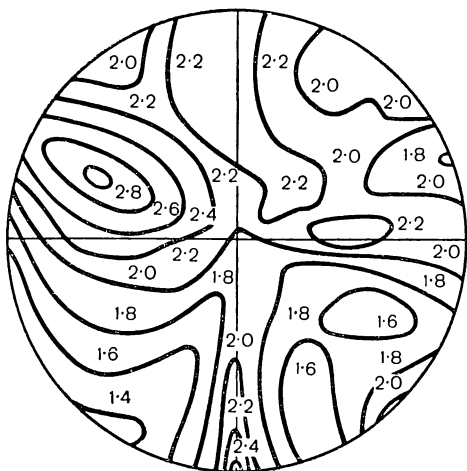
Описанные оптические недостатки глаза человека суммируются, частично компенсируют друг друга и в конечном счете формируют оптическое несовершенство, обозначаемое как физиологический астигматизм.

Измерение степени физиологического астигматизма сопряжено с немалыми трудностями. Широко используемые в практике методы определения клинической рефракции, в частности рефрактометрия, цилиндроскопия, субъективные методы, к сожалению, не позволяют получить достаточно точных данных о физиологическом астигматизме. Они дают возможность измерять лишь правильный по своей структуре астигматизм, хотя один только хрусталик, имеющий дольчатое строение, обладает неравномерным коэффициентом преломления и создает предпосылки для иррегулярности астигматизма. Скиаскопия подтверждает факт иррегулярности астигматизма. Внимательный врач не может не заметить сложный, причудливый узор розового рефлекса при скиаскопии. Этот узор имеет индивидуальные особенности, обусловленные структурой оптической системы каждого глаза. Нередко удается отметить встречное движение скиаскопической тени, что является прямым подтверждением иррегулярности физиологического астигматизма.

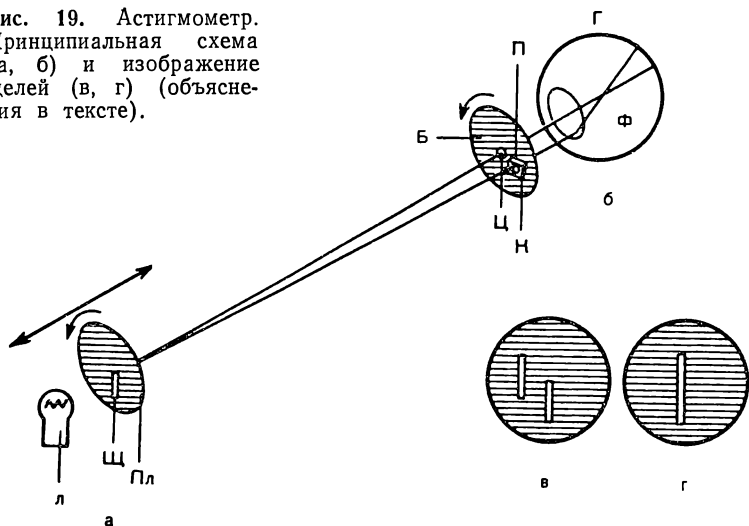
Измерение физиологического астигматизма удалось осуществить сравнительно недавно М. С. Смирнову (1961), а затем van den Brink (1962, рис. 18). Хотя М. С. Смирнов назвал исследованное им оптическое несовершенство волновой аберрацией, а van den Brink — поперечной аберрацией, сущность этих явлений одинакова: это суммарный эффект нескольких оптических несовершенств, который удобнее всего обозначить как физиологический астигматизм.

Нами также произведено измерение физиологического астигматизма при помощи оригинального прибора — астигмометра, принципиальная схема которого представлена на рис. 19. В астигмометре имеются два блока: блок а, на который смотрит, и блок б, через который смотрит исследуемый глаз. Блок а представлен округлой непрозрачной пластиной (Пл), в которой имеется узкая щель (Щ). Щель

**Рис. 18.** Распределение преломления в зрачковой области по van den Brink (объяснения в тексте).



**Рис. 19.** Астигмометр. Принципиальная схема (а, б) и изображение щелей (в, г) (объяснения в тексте).

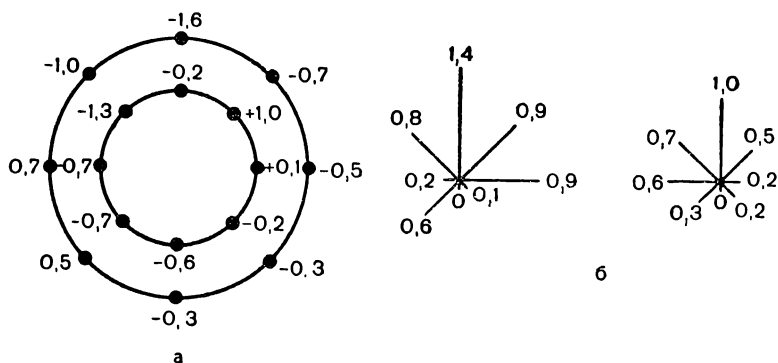


закрывается матовым стеклом и освещается электрической лампочкой (Л). Блок теста вращается вокруг горизонтальной оси, а также плавно смещается вдоль нее. Блок диафрагм б представлен блендой (Б) с двумя отверстиями (Ц и К). Против отверстия К размещена слабая призма (П). Блок диафрагм вращается вокруг горизонтальной оси, при этом отверстие Ц не меняет своего положения, так как совпадает с осью вращения, а отверстие К смеща-

ется по или против движения часовой стрелки. Если глаз (Г) смотрит на щель, последняя, по принципу опыта Шейнера, удваивается. Благодаря наличию призмы одно из двойных изображений смещается вдоль другого, например изображение левой щели оказывается выше изображения правой (рис. 19, в). При вращении блока диафрагм соответственно поворачивается и блок теста таким образом, чтобы направление щели было перпендикулярно основанию призмы. Отличие предложенной нами методики от известного опыта Шейнера состоит в том, что одна из диафрагм постоянно ориентирована по зрительной оси. В опыте же Шейнера две диафрагмы помещаются перед глазом без строгой ориентации относительно зрительной оси.

Исследование проводят следующим образом. Пациент в состоянии циклоплегии монокулярно смотрит через отверстия (Ц и К) на блок а. При помощи линз из пробного набора, которые ставят перед глазом, достигается такое положение, при котором лучи от щели пересекаются в глазу на небольшом расстоянии от сетчатки, например в точке Ф. Блок теста плавно смещается в направлении к глазу до тех пор, пока сведенные изображения щели не окажутся на одной линии (рис. 19, г). Условия нониусного зрения позволяют обследуемому отметить этот момент достаточно точно. Дистанция между блоком теста и глазом служит критерием для установления клинической рефракции для зоны оптической системы, расположенной против периферического отверстия (К). При этом делалась поправка на силу стекла из пробного набора, которое устанавливалось перед глазом. При повторных измерениях расхождения данных обычно не превышали 0,1 дптр. Блок теста и блок диафрагм соответственно вращали. При этом периферическая диафрагма (К) располагалась перед другой зоной оптической системы глаза. В описанном выше порядке определяли клиническую рефракцию. Исследование рефракции в большинстве случаев проводили в 16 точках в оптической зоне диаметром 3 и 5 мм, используя бленды с дистанцией между отверстиями 1,5 и 2,5 мм.

Мы исследовали 147 глаз, что позволило сделать заключение о структуре и степени физиологического астигматизма. Во всех без исключения случаях степень преломления в оптической зоне носила беспорядочный характер. Резкие перепады его имели место в соседних зонах, разделенных дистанцией 1—2 мм. Например, в одном глазу (рис. 20, а) в вертикальном меридиане кверху от зрительной оси миопия составляет 1,6 дптр и 0,2 дптр; рядом — гиперметропия 0,1 дптр. Структура рефракции данного глаза подтверждает правильность точки зрения М. С. Смирнова (1961) о том, что сферическая аберрация в такой форме, в какой ее наблюдают в искусственных оптических системах, в глазу не существует. В приведенном примере в меридианах  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  отмечается подобие сферической аберрации. В пе-



**Рис. 20.** Распределение преломления в лучковой области при физиологическом астигматизме (а); симметрия структуры физиологического астигматизма в правом и левом глазу (б) (объяснения в тексте).

риферической зоне преломление сильнее, чем в центральной, но перепады преломления асимметричны: в меридиане  $0^\circ$  аберрация равна 0,6 дптр, в меридиане  $90^\circ$  — 1,4 дптр. В том же глазу в меридиане  $180^\circ$  сферическая аберрация вообще отсутствует, а в меридиане  $270^\circ$  она по характеру обратна сферической аберрации по правилу, так как в периферической зоне преломление слабее, чем в центральной.

При сопоставлении данных физиологического астигматизма правого и левого глаза весьма часто удается отметить симметрию в структуре астигматизма. На рис. 20, б представлены особенности физиологического астигматизма в векторном выражении у одного из обследованных.

Беспорядочность структуры физиологического астигматизма обуславливает невозможность корригирования его цилиндрическими или контактными линзами. Последние способны исправить роговичный астигматизм, но, как было сказано выше, хрусталиковый компонент физиологического астигматизма приобретает существенную значимость и его эффект при использовании контактных линз сохраняется в полной мере.

Аналогичные данные о неравномерности преломления в оптической зоне получил van den Brink.

Величина физиологического астигматизма не может быть измерена традиционным способом — разностью преломления в двух взаимно перпендикулярных меридианах. Простейшим вариантом оценки степени физиологического

астигматизма может служить расчет разницы самого сильного и самого слабого преломления.

Мы пользовались более точным тестом, который назвали коэффициентом астигматизма. Расчет производили по формуле:

$$K = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n},$$

где  $K$  — коэффициент астигматизма;  $a_1, a_2, \dots a_n$  — отклонения от средней арифметической (без учета знаков  $+$  или  $-$ ) измерений рефракции в отдельных зонах зрачковой области;  $n$  — число измерений рефракции.

В вышеприведенном случае (см. рис. 20, а) коэффициент астигматизма равен 0,34 дптр. Степень физиологического астигматизма, выраженного коэффициентом астигматизма в исследованных нами глазах, значительно колебалась. Установлена четкая зависимость между степенью физиологического астигматизма и остротой центрального зрения, что заставляет усомниться в недействительной роли физиологического астигматизма.

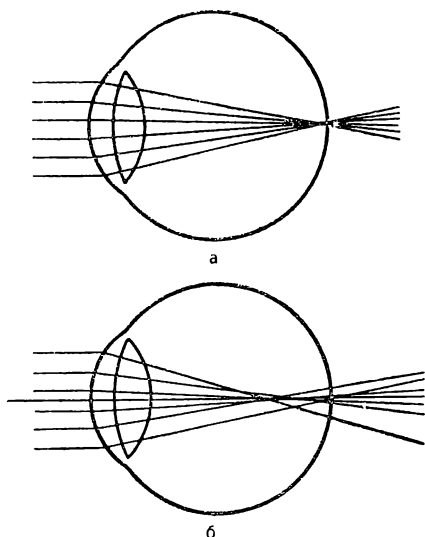
**Качество изображения на сетчатке.** Лучи света, пройдя оптическую систему глаза и преломившись в ней, сходятся в фокусе. Если бы глаз обладал идеальной оптической системой, лучи от светящейся точки, расположенной в пространстве перед глазом (рис. 21, а), пересекались бы в фокусе — точке бесконечно малой величины, и на сетчатке

Острота зрения	Коэффициент астигматизма, дптр
1,0	$0,33 \pm 0,11$
1,17	$0,29 \pm 0,05$
1,35	$0,24 \pm 0,07$
1,5	$0,19 \pm 0,04$
2,0	$0,17 \pm 0,04$

возникало бы идеальное по качеству изображение. Даже в схематическом глазу с его сферическими и центрированными преломляющими поверхностями при положении фокуса на сетчатке образуются круги светорассеяния диаметром 4—6 мкм. В живом глазу, наделенном большим числом оптических несовершенств, среди которых наибольшее значение имеет физиологический астигматизм, в области фокуса происходит беспорядочное преломление лучей с образованием гораздо больших по диаметру фигур светорассея-

Рис. 21. Преломление света.

а — в схематическом глазу;  
б — в глазу с физиологическим астигматизмом.



ния (рис. 21, б). Критерием качества изображения на сетчатке является диаметр фигур светорассеяния, а также характер распределения освещенности на площади этих фигур. Чем больше фигуры светорассеяния, тем более расплывчатым оказывается ретинальное изображение рассматриваемых объектов.

Простейшим и наиболее доступным методом оценки качества ретинального изображения является измерение диаметра фигур светорассеяния субъективным способом.

Принцип разработанного нами метода состоит в следующем. В измерителе фигур светорассеяния имеются две светящиеся щели, которые закрыты матовым стеклом и освещаются сзади электрической лампочкой. Расстояние между щелями можно изменять и точно регистрировать в миллиметрах по шкале. Каждая точка щели должна неизбежно представиться в виде фигуры светорассеяния, поэтому сами щели выглядят широкими светящимися полосами.

Исследования проводят на темном фоне с расстояния 5 м. Вначале светящиеся полосы располагаются на некотором расстоянии друг от друга (рис. 22, а), затем их сближают до тех пор, пока они не соприкоснутся краями, о чем сообщает исследуемый (рис. 22, б). В этот момент расстояние между щелями равно удвоенному радиусу, т. е. диаметру, фигуры светорассеяния. Таким способом измеряют проекции фигур светорассеяния на удалении 5 м. Истинную величину фигур светорассеяния на глазном дне определить нетрудно.

Измерением фигур светорассеяния на 1154 глазах было установлено, что средние значения диаметра фигур светорассеяния на глазном дне при остроте зрения 1,0 и 1,5 составили соответственно  $26,7 \pm 6,8$  и  $18,0 \pm 4,8$  мкм.

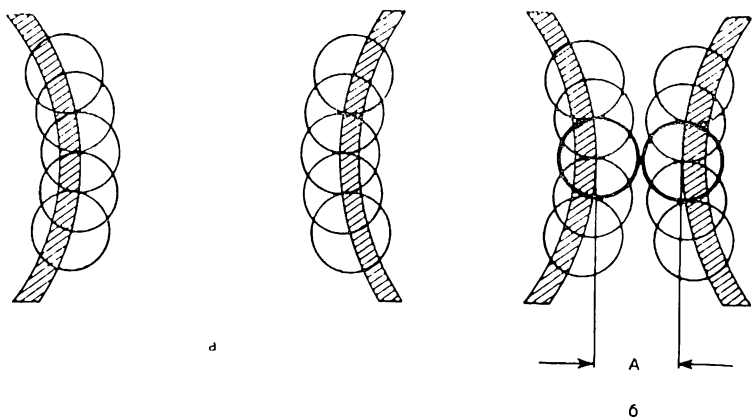


Рис. 22. Измерение фигур светорассеяния (объяснения в тексте).

Описанным выше методом измеряется воспринимаемый диаметр фигур светорассеяния, т. е. зона раздражения световоспринимающих элементов. В действительности фигуры светорассеяния должны быть несколько больше, но периферические отделы их из-за низкой освещенности не воспринимаются или подавляются, например вследствие дирекционных свойств сетчатки.

Диаметр воспринимаемых фигур светорассеяния зависит от яркости фона, на котором они рассматриваются: чем ярче фон, тем меньше их диаметр. В наших исследованиях использовался черный фон. К. Krauskopf (1962), G. Westheimer, F. W. Campbell (1962), F. W. Campbell, R. W. Gubisch (1966) выполнили ряд работ по объективному исследованию качества изображения. Метод заключается в следующем.

Перед глазом исследуемого помещается яркая линия, обуславливающая образование на глазном дне нечеткого изображения (в связи с наличием оптических несовершенств глаза) соответствующей формы. Лучи от изображения на сетчатке, выходящие из глаза, улавливают зеркалом и при помощи оптической системы формируют воздушное изображение. Последнее попадает на светочувствительный элемент с электронным устройством, с помощью которого дается характеристика степени расплывчатости изображения светлой полосы.

Данные объективного исследования качества изображения совпали с нашими результатами. Они позволили получить новую информацию относительно распределения световой энергии по площади фигур светорассеяния.

Неправильная структура физиологического астигматизма обуславливает асимметричную форму минимальных фи-

гур светорассеяния, а следовательно, и асимметрию фокусной области.

Изучая качество изображения на сетчатке, мы пришли к выводу, что в нормальном глазу функция центрального зрения осуществляется в условиях выраженной нечеткости, размытости изображения рассматриваемых объектов. Причина этого явления заключается в существовании оптических несовершенств глаза и в первую очередь физиологического астигматизма.

Принимая во внимание «лучистый» характер фигур светорассеяния, объясняемый лучистостью строения хрусталика, вполне правомерно искать взаимосвязь между «лучистыми» фигурами светорассеяния и символом звезды, который используется человеком с глубокой древности.

Около пяти тысячелетий назад, когда в Египте складывалась письменность, появился знак ☆, под которым понимали небесную звезду. В дальнейшем этот знак употреблялся в качестве слога «сба», соответствовавшего слову «звезда» в более широком смысле [Кузнецов В. И., 1979]. Древние египетские астрономы, наблюдая за ночным небом и пытаясь разгадать в расположении небесных тел судьбы своей страны, конечно, видели звезды в форме светлого пятнышка с несколькими лучиками. Письменный знак ☆ можно расценивать как стилизованное изображение небесной звезды, которую человек видел вооруженным глазом. Так как положению звезд придавалась предопределяющая роль в жизни человека на земле, а самим звездам приписывалось магическое влияние, то и «лучистый» символ звезды почитался особым образом. Можно с большой долей вероятности утверждать, что, если бы человеческий глаз имел более совершенную анатомическую структуру, не родился бы символ звезды.

**Глубина фокусной области.** Предположим, что задний фокус совпадает с сетчаткой. Это не означает, что легкие смещения фокуса кпереди и кзади обязательно приведут к ухудшению качества изображения. Каждая оптическая система обладает глубиной фокусной области, под которой понимают небольшой отрезок прямой, лежащий на оптической оси в области фокуса, в пределах которого смещения экрана (сетчатки) не вызывают изменения качества изображения. Глубина фокусной области в глазу человека считалась настолько ничтожной, что ей не придавалось никакого значения. Например, в справочнике М. Я. Кругера (1968) указывается, что при диаметре зрачка 4 мм глубина фокусной области равна 0,031 дптр. Аналогичные цифры приведены и в руководствах зарубежных авторов [Adler F. H., 1953]. В клинических условиях величина глубины фокусной области фактически не учитывалась. Следует подчеркнуть, что расчет глубины фокусной области производили на основе схематического глаза.

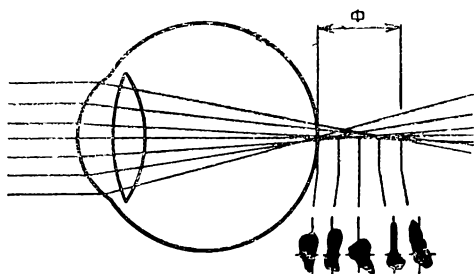


Рис. 23. Структура фокусной области (объяснения в тексте).

В человеческом глазу фокусная область представляет собой узел беспорядочного пересечения лучей. Выше уже упоминалось о минимальных фигурах светорассеяния, т. е. о поперечных сечениях фокусной области. Теперь рассмотрим продольный разрез фокусной области — ее глубину.

Если сделать большое число сечений фокусной области, то мы получим серию фигур светорассеяния неправильной формы (рис. 23). В середине будут располагаться близкие по величине, форме и распределению световой энергии фигуры светорассеяния. Теоретически из всех сечений фокусной области можно найти одно, которое обеспечивает самые благоприятные условия для качества ретинального изображения. Если сетчатка займет положение этого сечения, то острота зрения должна быть самой высокой. Легкое смещение фокусной области кпереди или кзади приводит к изменению фигур светорассеяния, но столь незначительному, что практически качество изображения остается неизменным. Острота зрения может ухудшаться, например с 1,35 до 1,32, однако в целом условия центрального зрения сохраняются в таком диапазоне, который находится вне пределов индивидуальной чувствительности человека и не воспринимается как снижение зрения.

Сколько глаз, столько же наблюдают всевозможных сочетаний мелких оптических несовершенств и столько же вариантов пересечения лучей в фокусной области. Более того, физиологические изменения роговического астигматизма при мигании изменяют структуру пересечения лучей в течение часов и даже минут. Структура фокусной области изменяется при малейшем напряжении или расслаблении аккомодации, что связано с перестройкой внутрихрусталикового преломления светового пучка. Изменение анатомо-оптической структуры глаза в возрастном аспекте обуславливает изменение фокусной области в течение жизни.

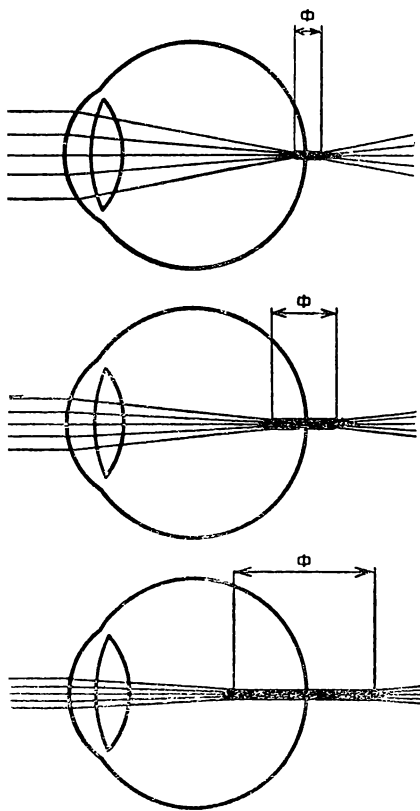
Зрачок, ограничивая диаметр пучка лучей, входящих в глаз, оказывает большое влияние на формирование узла

**Рис. 24.** Зависимость глубины фокусной области от диаметра зрачка (объяснения в тексте).

световых лучей в фокусной области. На рис. 24 показано, каким образом диаметр зрачка удлиняет глубину фокусной области и как образуются очень близкие по величине фигуры светорассеяния.

Несомненно, оптическим причинам принадлежит первостепенное значение среди факторов, определяющих глубину фокусной области. Острота зрения и глубина фокусной области — понятия взаимосвязанные, поэтому некоторые функции зрительного анализатора (например, различительная способность), влияющие на центральное зрение, определяют в какой-то мере и глубину фокусной области. Дирекционное свойство сетчатки (феномен W. S. Stiles и В. Н. Crowford) способно оказывать влияние на воспринимаемый диаметр фигур светорассеяния. Поэтому феномен W. Stiles и В. Н. Crowford оказывается в ряду факторов, определяющих глубину фокусной области. Н. Schober (1960), кроме того, указывает еще на одно обстоятельство, которое следует иметь в виду. В отличие от светочувствительной пластинки фотокамеры рецепторный слой сетчатки значительно растянут в глубину. Толщина световоспринимающего слоя равна примерно 0,06 мм. По мнению автора, смещение плоскости изображения в этих пределах не должно быть воспринято глазом, что дает эффект глубины фокуса до 0,2 дптр.

Таким образом, предпосылки, прямо или опосредованно влияющие на глубину фокусной области, многочисленны и изменчивы. В принципе теоретически определить глуби-



ну фокусной области можно, но трудности математического расчета настолько велики, что исследователи избрали путь эксперимента.

В табл. 1 приведены результаты исследований F. W. Campbell, J. Scharthz, K. Ogle и наши собственные данные.

Таблица 1. Зависимость глубины фокусной области от диаметра зрачка

Диаметр зрачка, мм	Глубина фокусной области (дптр), по:		
	F. W. Campbell	I. Scharthz, K. Ogle	Н. М. Сергиенко
8	0,3	—	—
7	0,32	—	—
6	0,36	0,3	—
5	0,4	—	0,63
4	—	0,66	—
4,6	0,48	—	—
3	0,6	—	—
2	0,88	1,0	—
1	1,7	—	—

Нами также выполнено исследование глубины фокусной области путем измерения зоны минимальных фигур светорассеяния и получены результаты, согласующиеся с данными J. Scharthz, K. Ogle.

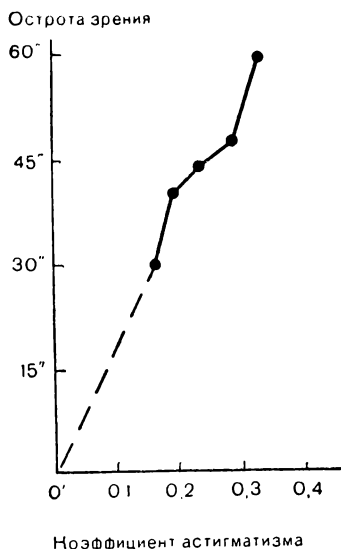
Глубина фокусной области ( $0,63 \pm 0,24$ ) дптр, по нашим данным, наблюдалась при наиболее часто встречающейся остроте зрения 1,35—1,5.

**Качество оптической системы и разрешающая способность глаза.** Разрешающая способность глаза, т. е. способность к распознаванию мельчайших деталей, которые рассматривает глаз, обуславливается рядом факторов. К их числу относят качество изображения на сетчатке, качество рецептивного поля, функциональное состояние проводящих путей и зрительных центров.

Долгое время среди факторов, влияющих на разрешающую способность глаза, в качестве определяющего и ведущего выделялся диаметр поперечника колбочек фовеолярной области.

Несмотря на то что концепция лимитирующего влияния поперечника колбочек на центральное зрение цитируется во многих руководствах по офтальмологии, в научной литературе она единогласно и обоснованно критикуется.

**Рис. 25.** Зависимость между физиологическим астигматизмом и остротой зрения.



Влияние оптических несовершенств на абсолютную остроту зрения никогда не оспаривалось. Однако убедительные доказательства этого влияния удалось получить лишь тогда, когда появилась возможность измерить физиологические оптические несовершенства.

Van den Brink (1962) впервые четко показал, что рост оптических aberrаций, сопровождающий процесс напряжения аккомодации, обуславливает понижение центрального зрения. Нами установлена тесная взаимосвязь между степенью физиологического астигматизма и абсолютной остротой зрения. Указанная зависимость представлена на рис. 25. Нисходящее направление кривой выражает обратную коррелятивную закономерность: чем меньше физиологический астигматизм, тем выше острота зрения. Эта закономерность справедлива для остроты зрения в диапазоне 1,0—2,0, т. е. для абсолютного большинства нормальных глаз. Таким образом, среди лимитирующих факторов, определяющих нормальную остроту зрения, физиологическому астигматизму принадлежит важная роль. Было бы ошибкой, однако, абсолютизировать значение физиологического астигматизма для центрального зрения. Следует обязательно учитывать роль функционального состояния сетчатки, проводящих путей, подкорковых и корковых зрительных центров. Нельзя игнорировать значение диаметра поперечника колбочек. Когда офтальмологи смогут корригировать физиологический астигматизм и появится возможность резко улучшить качество изображения на глазном дне, станет ясно, каковы потенциальные возможности рецепторного поля сетчатки. Несомненно, что предел разрешающей способности нейроаппарата зрительного анализатора лежит выше 2,0.

Конечной целью коррекции аномалий рефракции является достижение абсолютной остроты зрения. Каждому воз-

растному периоду свойственны определенные нормы остроты зрения. Знание средних возрастных норм центрального зрения должно служить ориентиром и учитываться врачом при коррекции аномалий рефракции с учетом, однако, возможных индивидуальных колебаний.

Низкое центральное зрение в первые месяцы и годы жизни обусловлено рядом причин, среди которых следует отметить постепенное формирование морфологических структур сетчатки, в частности ее макулярной области, и центральных отделов зрительного анализатора. Понижение зрения в зрелом и пожилом возрасте связано с нарушением прозрачности сред глаза, снижением функциональной активности нейроэпителия и, наконец, с дистрофическими изменениями в макулярной области.

Бинокулярная острота зрения, как правило, бывает выше монокулярной примерно на 15%, хотя иногда разница может быть значительно больше. Практически это выражается в следующем: если монокулярная острота зрения равна 1,0 для каждого глаза, то бинокулярная — 1,5; если монокулярная острота зрения составляет по 0,9, то бинокулярная — 1,0. Повышение центрального зрения, несомненно, связано с суммированием зрительных впечатлений обоих глаз, однако до сих пор остается невыясненным, суммирование какой именно функции приводит к положительному эффекту. Существует мнение, что суммируется освещенность рассматриваемых предметов, которая реализуется

Приведем средние значения остроты зрения  
в зависимости от возраста

Возраст (годы)	Острота зрения
1	0,2
2	0,35
3	0,5
5	0,7
10	1,0
17	1,4
70	0,9
80	0,35

в повышении остроты зрения. Предполагают и о существовании суммирования осцилляторных движений глаз. Частота осцилляторных движений обоих глаз больше, поэтому создаются условия для более тщательного «ощупывания»

формы предмета. По нашему мнению, более высокая бинокулярная острота зрения в определенной мере связана с существованием физиологического астигматизма. Центральное зрение осуществляется в условиях нечеткости изображения на сетчатке. Неправильный по структуре физиологический астигматизм приводит к образованию фигур светорассеяния неправильной формы, а последние в свою очередь обуславливают неодинаково четкое восприятие отдельных контуров предметов, в чем нетрудно убедиться на простом опыте.

Для проведения опыта необходимо сделать простое устройство (рис. 26, а). В листе черной бумаги вырезают квадратное отверстие со стороной квадрата 10—15 мм. На расстоянии 1 мм от краев квадрата иглой прокалывают дырочки диаметром 0,15—0,2 мм. На квадрат и точечные отверстия накладывают лист папиросной бумаги, а на отверстия наклеивают еще 2 слоя папиросной бумаги.

Черный лист бумаги помещают перед неярым источником света, например настольной лампой, при этом можно видеть светлый квадрат и менее светлые точки. Исследуемый, имеющий нормальное центральное зрение, смотрит на квадрат с дистанции 0,5 м. При этом точки видны со всех сторон квадрата. Затем необходимо медленно отходить назад и следить за четкостью различения светлых точек. Они исчезают поочередно. Порядок исчезновения точек обусловлен индивидуальными качествами глаз, которые часто отличаются у одного человека.

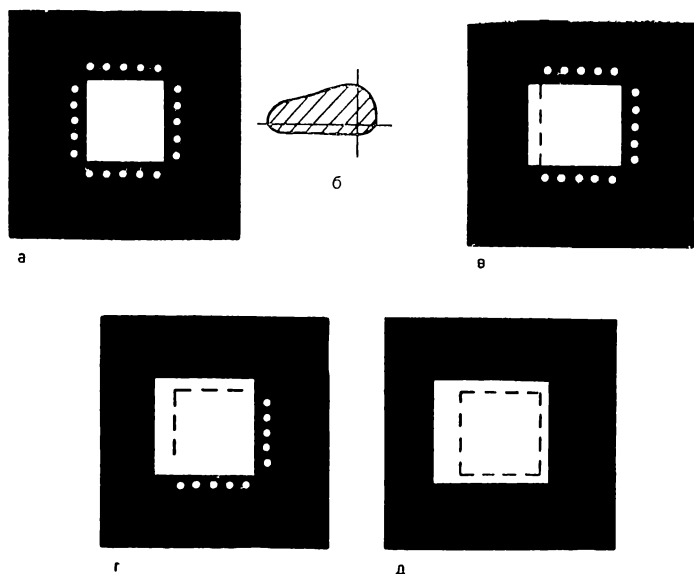


Рис. 26. Влияние формы фигуры светорассеяния на четкость различения контуров объекта (объяснения в тексте).

Допустим, в испытуемом глазу образуются фигуры светорассеяния в виде вытянутого влево овала (рис. 26, б). При взгляде на светлый квадрат его белое поле будет расплываться вследствие светорассеяния. Степень рассеяния в разные стороны соответствует форме фигуры светорассеяния. Прежде всего рассеяние света перекроет точки, расположенные слева, затем вверх и, наконец, в остальных направлениях (рис. 26, в, г, д).

В условиях бинокулярного зрения происходит суммирование зрительных впечатлений, при этом два монокулярных изображения дополняют, уточняют друг друга, а это выражается в повышении остроты зрения (рис. 27).

Более высокое бинокулярное зрение следует учитывать в практической работе. Иногда возникает необходимость недокорригирования аномалий рефракции и назначения очков, по силе не соответствующих степени аметропии, в расчете на то, что бинокулярно острота зрения будет более высокой.

Определение остроты зрения и клинической рефракции приходится осуществлять при различных диаметрах зрачка. Поэтому практически важны сведения о влиянии диаметра зрачка на остроту зрения. Большинство авторов придерживаются мнения, что при диаметре зрачка 3 мм центральное зрение является оптимальным. При расширении или сужении зрачка на 1 мм (2—4 мм в диаметре), острота зрения меняется настолько незначительно, что практически этим изменением можно пренебречь. Еще более сильное сужение зрачка вызывает заметное снижение центрального зрения по двум причинам: во-первых, ограничение площади зрачка уменьшает количество света, попадающего в глаз, что равноценно снижению освещенности; во-вторых, резко возрастает влияние дифракции. При расширении зрачка, особенно более 5 мм, вовлекается в действие физиологический астигматизм периферических отделов оптической системы глаза. Эффект этого воздей-



**Рис. 27.** Суммирование изображений в левом и правом глазу.

ствия на центральное зрение имеет большие индивидуальные колебания. Часто при коррекции аметропии в условиях расширенного мидриатики зрачка удается получить высокое центральное зрение. Но нередко достичь нормального центрального зрения невозможно, поэтому в тех случаях, когда врачу приходится корригировать аметропию при расширенном зрачке, целесообразно пользоваться круглой диафрагмой, диаметр которой соответствует диаметру зрачка в естественных условиях — 3—4 мм.

## Глава 3

### КЛИНИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ ГЛАЗА

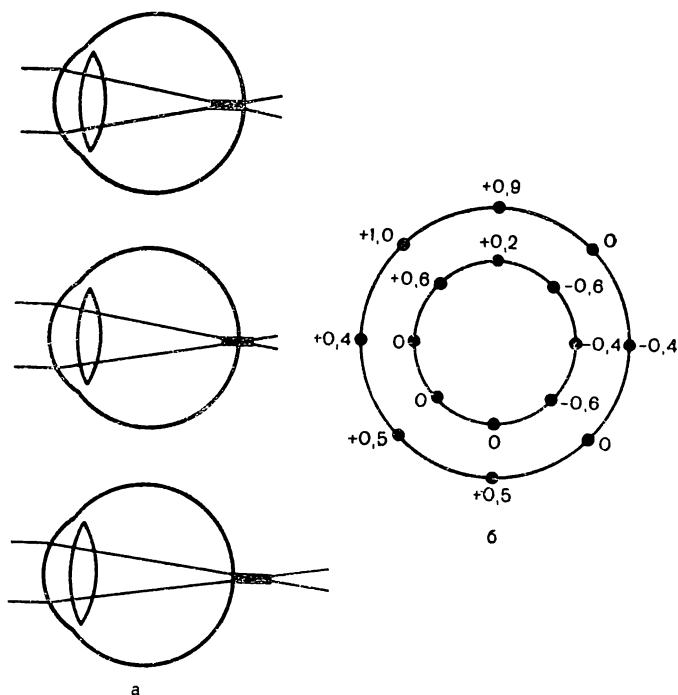
#### ВИДЫ КЛИНИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ

В зависимости от положения заднего фокуса относительно сетчатки в состоянии покоя аккомодации различают три вида клинической рефракции: эметропию, миопию и гиперметропию. Так как задний фокус представлен не точкой, а фокусной областью значительной протяженности, то и при различении видов клинической рефракции следует пользоваться понятием фокусной области.

Дело не только в замене одного термина другим. Использование фокусной области дает возможность по-иному трактовать многие аспекты клинической рефракции и аккомодации и разрешить спорные вопросы. Фокусную область мы обозначаем как клинический фокус, руководствуясь следующими соображениями. Во-первых, этот термин по звучанию ближе к привычному — фокус. Во-вторых, определение «клинический» подчеркивает смысл введения нового понятия, потому что помогает объяснить ряд непонятных ранее клинических явлений.

Глубину и ширину клинического фокуса определяют оптические аберрации. Если глаз наделен физиологическим астигматизмом, то клинический фокус имеет характеристики, свойственные нормальному глазу. В случае оптических аберраций, превышающих физиологический уровень, в глазу формируется ненормальный клинический фокус — более широкий и более вытянутый вдоль оптической оси.

Под эметропией следует понимать такой вид рефракции, при котором клинический фокус совпадает с сетчаткой. Так как клинический фокус обладает определенной протяженностью, то бывает несколько вариантов эме-



**Рис. 28.** Три формы эмметропии и физиологический астигматизм в эмметропическом глазу (объяснения в тексте).

тропии (рис. 28, а). Говорить об эмметропии как о сферической рефракции можно только условно, так как точные измерения указывают на наличие неправильного смешанного астигматизма. На рис. 28, б приведены рефрактометрические данные эмметропического глаза, в котором можно видеть несколько зон с нулевой рефракцией, но большая часть оптической зоны представлена гиперметропией и миопией разных степеней. Сетчатка пересекает клинический фокус где-то посередине, как показано на средней схеме (см. рис. 28, а). В зависимости от превалирования зон с миопической или гиперметропической рефракцией сетчатка пересечет клинический фокус ближе к его заднему или переднему концу.

При миопии клинический фокус располагается перед сетчаткой (рис. 29, а), а оптическая система представляет собой сложный миопический астигматизм.

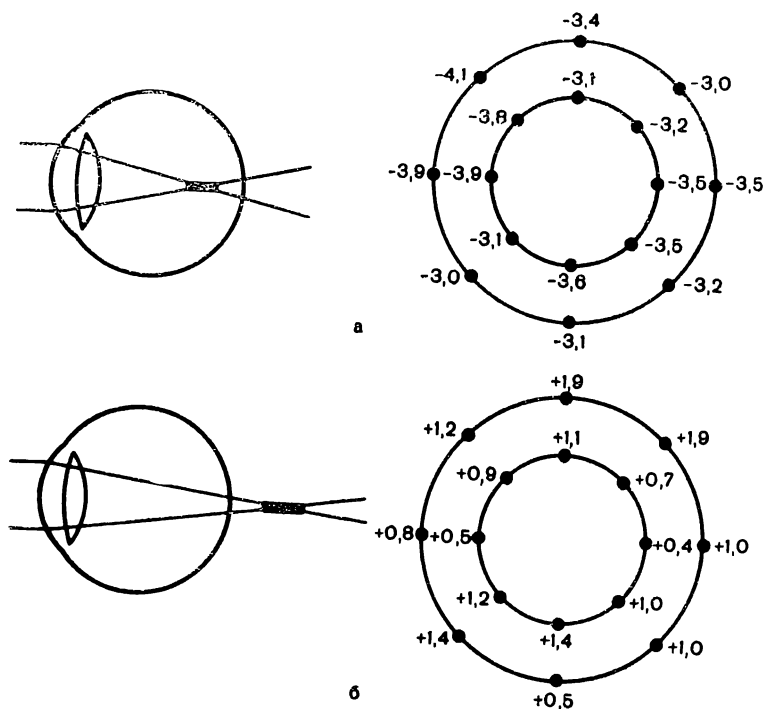


Рис. 29. Физиологический астигматизм и положение клинического фокуса.

а — при близорукости; б — при дальнозоркости (объяснения в тексте).

При гиперметропии клинический фокус вынесен за сетчатку (рис. 29, б), а оптическая система представлена сложным неправильным астигматизмом. Как гиперметропию, так и миопию можно отнести к сферической рефракции с известной оговоркой.

**Оптические основы аметропии.** Хотя сам факт изменчивости элементов глазного яблока был известен еще в прошлом столетии, А. Steiger (1913) впервые изучил проблему рефрактогенеза с биологической точки зрения. Произведя измерения рефракции роговицы на 5000 глазах у детей 5—7 лет, А. Steiger обнаружил, что распределение преломляющей силы роговицы почти совпадает с формой биномиальной кривой. Как известно, все признаки объектов биологического мира в своей изменчивости подчиняются закономерности биномиальной кривой. Следовательно, изменчивость преломляющей силы роговицы от 39 до 47 дптр,

по данным А. Steiger, следует рассматривать как нормальное биологическое явление. Других биометрических исследований автор не проводил. А. Steiger экстраполировал закономерность изменчивости роговицы на длину оси глазного яблока. Преломляющая сила хрусталика как оптического элемента считалась стабильной. Согласно расчетам, длина оси глазного яблока при эмметропии должна была варьировать в пределах 21,5—25,5 мм. Так как изменчивость роговицы и длина оси глазного яблока, по мнению А. Steiger, не зависят друг от друга, то в результате могут встретиться самые различные сочетания рефракции роговицы и хрусталика, в том числе короткая ось и слабое преломление роговицы, а также длинная ось и сильное преломление роговицы. В первом случае клинически будет отмечаться гиперметропия, во втором — миопия высокой степени. Все виды и степени рефракции рассматривались как продукт биологически обусловленной и генетически управляемой изменчивости анатомо-оптических элементов глаза.

Если А. Steiger проводил измерения только преломляющей силы роговицы, то Е. Ж. Трон позже выполнил биометрические измерения ряда анатомо-оптических параметров и изучил характер их изменчивости (рис. 30, 31). Изображение кривых, приведенных на рисунках, позволяет убедиться в весьма близком совпадении биноминальной кривой с распределением значений, относящихся к преломляющей силе роговицы, глубине передней камеры, радиусам кривизны хрусталика, его преломляющей силе и рефракции глаза в целом. Следовательно, все перечисленные параметры подвержены обычной биологически обусловленной изменчивости.

Исключение составляет только длина оси глазного яблока, изменения которой характеризуются двумя чертами, не свойственными биноминальной кривой: во-первых, «высковершинностью», во-вторых, асимметрией, в частности выраженным удлинением правой половины кривой. Вариативность длины оси глазного яблока не может быть рассмотрена как нормальное биологическое явление. Имеются основания предполагать, что длина оси глазного яблока обусловлена не только биологической, другими словами, нормальной физиологической, изменчивостью, но и болезнью глаза, патологическим удлинением переднезадней оси глазного яблока. Такое заключение можно получить следующим образом: если в группе глаз, параметры которых послужили для построения кривой на рис. 32, а, не

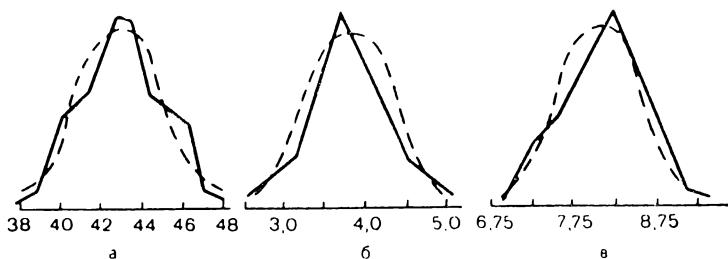


Рис. 30. Вариационные кривые изменчивости (по Е. Ж. Трону).  
а — рефракция роговицы; б — глубина передней камеры; в — радиус кривизны передней поверхности хрусталика.

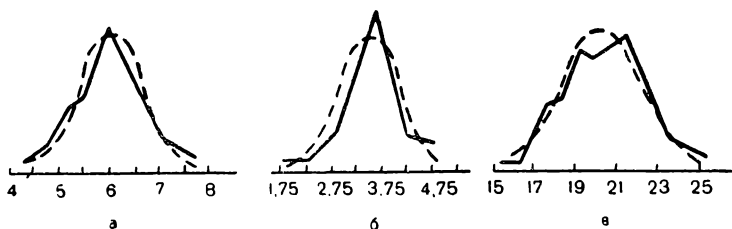
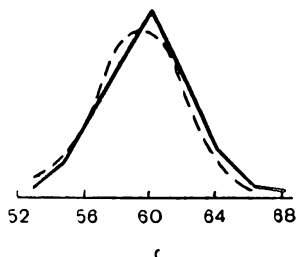
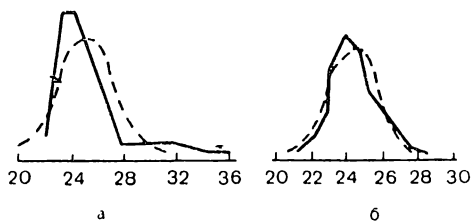


Рис. 31. Вариационные кривые изменчивости (по Е. Ж. Трону).  
а — радиуса кривизны задней поверхности хрусталика; б — толщины хрусталика; в — преломляющей силы хрусталика; г — преломляющей силы глаза.



считать глаза с близорукостью свыше 6 дптр, т. е. с патологически растянутыми глазными яблоками, то характер изменчивости меняется и вполне соответствует биномиальной кривой (рис. 32, б). А. Steiger оказался прав лишь в том, что указал на роль изменчивости длины оси глазного яблока в формировании различных видов рефракции, но, безусловно, ошибался, утверждая, что виды и степени рефракции, включая и близорукость высокой степени, можно объяснить биологической изменчивостью.

Е. Ж. Трон выполнил корреляционный анализ изменчивости отдельных анатомо-оптических параметров глаза, что позволило ответить на вопрос, управляет ли один элемент глаза другим или нет: например, если имеется слабая пре-



**Рис. 32.** Вариационные кривые изменчивости длины оси глазного яблока (по Е. Ж. Трону): для всех исследованных глаз (а), исключая миопию свыше 6 дптр (б).

ломляющая сила роговицы — 39 дптр, то значит ли это, что в данном глазу будет сильно преломляющий хрусталик или мелкая передняя камера, которые способны компенсировать слабое преломление в роговице? Корреляционный анализ показал, что заметная связь между рефракцией роговицы и рефракцией хрусталика, рефракцией хрусталика и его толщиной, рефракцией передней и задней поверхностей хрусталика, рефракцией глаза и глубиной передней камеры отсутствует.

В то же время установлена четкая положительная корреляционная связь между длиной оси глазного яблока и рефракцией роговицы и хрусталика. Суть отмеченной закономерности состоит в том, что при сильной преломляющей силе роговицы и хрусталика чаще наблюдают короткую переднезаднюю ось глазного яблока и наоборот. Природа такой взаимосвязи в некоторой степени может быть объяснена тем, что при росте глазного яблока увеличивается радиус кривизны его капсулы. Увеличение же радиуса кривизны обуславливает уменьшение преломляющей силы роговицы. Если о корреляционной зависимости между длиной оси глазного яблока и рефракцией роговицы можно только предполагать, то связь между длиной оси глазного яблока и рефракцией хрусталика остается полностью неизученной.

**Возрастное изменение рефракции.** Ко времени рождения человека длина оси глазного яблока несколько превышает 18 мм, а клиническая рефракция характеризуется гиперметропией примерно в 3 дптр.

Невысокая дальновзоркость оказывается возможной при такой короткой длине оси глазного яблока из-за высокой преломляющей силы оптической системы глаза — роговицы и хрусталика: длина оси глазного яблока — 18,3 мм, рефракция роговицы — 50 дптр, рефракция хрусталика — 35 дптр, рефракция глаза — 77 дптр.

В течение 1-го года жизни все анатомо-оптические элементы глаза резко изменяются в связи с ростом. Доста-

точно сказать, что длина оси глазного яблока достигает 22 мм. Несмотря на большую перестройку структуры глаза, изменения протекают настолько гармонично, что клиническая рефракция практически остается на одинаковом уровне, в частности, происходит ослабление преломляющей силы роговицы и хрусталика. Уменьшение оптической силы роговицы можно объяснить увеличением ее диаметра и радиуса кривизны. Уплотнение хрусталика можно предположительно объяснить натяжением связочного аппарата, неизбежно возникающим вследствие увеличения кольца ресничного тела и кольца капсулы в области крепления ресничного тела.

К 3—5 годам формирование анатомо-оптической структуры глаза почти заканчивается, длина оси глазного яблока достигает 24 мм (в течение всей последующей жизни она вырастает всего на 0,5 мм).

Хрусталик растет всю жизнь. Его оптика и физические качества все время изменяются. Если у новорожденного радиусы кривизны передней и задней поверхностей хрусталика равны соответственно 5 и 4 мм, то у взрослого они достигают 10 и 6 мм. Экваториальный диаметр увеличивается с 6 до 9 мм. Толщина хрусталика увеличивается незначительно. Четкие данные относительно возрастного изменения показателя преломления хрусталиковой субстанции отсутствуют.

Клиническая рефракция в течение жизни изменяется следующим образом. Как уже упоминалось, дети рождаются с дальнозоркостью в пределах 3 дптр. К школьному возрасту дальнозоркость постепенно уменьшается до минимума. В возрасте 10—14 лет типичной рефракцией становится эметропия. У лиц в возрасте 30—40 лет появляется тенденция к легкой дальнозоркости, увеличивающейся до 0,5—0,75 дптр к 55—60 годам. К 80-летнему возрасту отмечается миопизация глаза, по-видимому, за счет уплотнения хрусталиковой субстанции и повышения показателя ее преломления.

**Клиника рефракций. Эметропия.** По данным различных авторов, эметропия встречается в 30—50% случаев.

Эметропический глаз наиболее приспособлен к восприятию внешнего мира. Четкое зрение в бесконечность, а также в пределах пространства от бесконечности до 1,5 м осуществляется без напряжения аккомодации благодаря глубине клинического фокуса. На более близкие дистанции требуется аккомодативное усиление. При эметропии от-

существуют какие-либо патологические явления, за исключением жалоб пресбиопического характера. Лица в возрасте 40—45 лет отмечают затруднение при чтении, что требует пресбиопической коррекции.

**Гиперметропия.** Согласно субъективной рефрактометрии, традиционным методом в естественном состоянии аккомодации гиперметропия отмечается в 35—55% случаев. Если принять во внимание роль клинического фокуса, гиперметропия встречается реже — в 10% случаев.

При слабой степени гиперметропии (до 1 дптр) аномалия рефракции легко компенсируется напряжением аккомодации. Жалобы практически отсутствуют. Явления пресбиопии наступают на 3—5 лет раньше, чем при эметропии. У лиц в возрасте старше 55 лет острота зрения оказывается пониженной, в связи с чем требуется бифокальная коррекция.

При более сильной степени гиперметропии (3 дптр и выше) вследствие значительного постоянного напряжения аккомодации появляются осложнения. Пресбиопические жалобы наступают значительно раньше — в 30—35 лет. Типичными осложнениями гиперметропии считаются: аккомодативная астигматизация, сходящееся косоглазие, ложный неврит.

Центральное зрение при полной коррекции дальнорзости не всегда достигает нормального уровня. Сниженная острота зрения может быть объяснена амблиопией или врожденным недоразвитием желтого пятна.

**Миопия.** Центральное зрение без коррекции. Положение клинического фокуса перед сетчаткой обуславливает формирование на глазном дне больших кругов светорассеяния, определяющих сниженное центральное зрение. Величина и форма кругов светорассеяния в большей мере зависят от диаметра и формы зрачка. При отсутствии астигматизма округлая форма кругов светорассеяния обусловлена круглой формой зрачка. При деформации зрачка соответствующую форму принимают и фигуры светорассеяния.

Слово «миопия» происходит от греческого  $\mu\upsilon\omega$  — жмуриться, так как близорукие люди прищуривают глаза для повышения центрального зрения. Частичное смыкание век приводит к прикрытию площади зрачка (рис. 33, а), вследствие чего круги светорассеяния уменьшаются, превращаясь в эллипсы светорассеяния (рис. 33, б), площадь которых значительно меньше исходных кругов светорассеяния. Центральное зрение соответственно повышается.

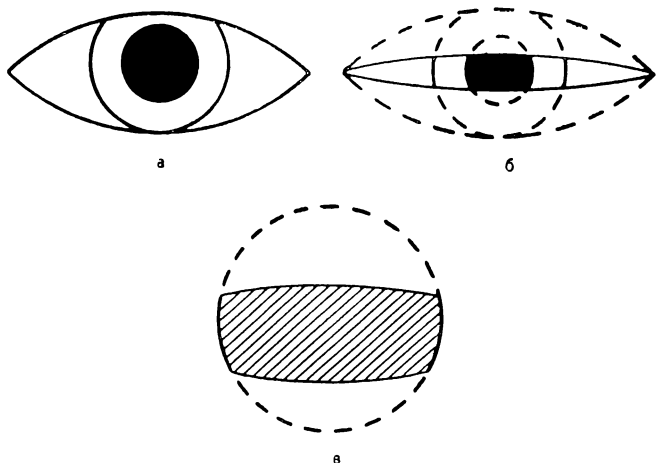


Рис. 33. Обычное положение зрачка (а), ограничение зрачка веками (б); уменьшение площади фигур светорассеяния при прищуривании (в).

При использовании диафрагм из пробного набора острота зрения может значительно изменяться, особенно при близорукости слабой степени. При близорукости 2 дптр в условиях расширенного зрачка острота зрения обычно равна 0,1—0,2; с диафрагмой диаметром 1 мм острота зрения повышается до 0,7—0,8, а с более узкой диафрагмой — даже до 1,0.

Но не только диаметр зрачка оказывает выраженное влияние на остроту зрения близоруких глаз без коррекции. Имеется еще один фактор, который в литературе называется способностью «перерабатывать», подавлять круги светорассеяния. В начале нашего столетия в русской литературе по офтальмологии велась оживленная дискуссия относительно соответствия степени близорукости определенным градациям остроты зрения. Цель дискуссии состояла в выработке схем, позволяющих определять центральное зрение у призывников по объективным данным рефрактометрии. Поиски схем ни к чему не привели. Несмотря на общую закономерность параллельного снижения остроты зрения соответственно росту степени миопии, нередко встречаются случаи очевидного несоответствия, в частности, речь идет о случаях относительно высокого зрения порядка 0,3—0,1 при близорукости высокой степени (6 дптр и более) при обычном диаметре зрачка,

В литературе были высказаны предположения, которые в настоящее время разделяются многими офтальмологами, о том, что центральное зрение без коррекции в большой мере зависит от того, пользуется ли близорукий очками или нет, т. е. имеется ли у него постоянная тренировка рассматривать неясные изображения, узнавать форму предметов по их нечетким контурам или такой тренировки у него нет.

С целью проверки влияния тренировки на центральное зрение при некорригированной миопии мы исследовали 3 группы пациентов: 1-я группа состояла из людей, никогда не пользовавшихся очками; 2-я — из пациентов, постоянно пользовавшихся очками не менее 1 года, и 3-я — из людей с нормальным зрением, но с искусственно созданной близорукостью, достигаемой при зрении через положительные линзы. Чтобы избежать влияния зрачка и возможных сдвигов аккомодационного аппарата, исследование проводили в условиях циклоплегии с пятимиллиметровой диафрагмой. В процессе исследования обращалось внимание на то, чтобы центр диафрагмы был совмещен со зрительной осью. Обследованию подвергались только лица с близорукостью, у которых центральное зрение с корригирующими очками было не менее 1,0.

Необходимо отметить, что коэффициент корреляции между степенью миопии и остротой зрения оказался очень высоким у всех обследованных независимо от того, пользо-



Рис. 34. Соотношение между остротой зрения и близорукостью.

а — у лиц, никогда не пользовавшихся очками; б — у лиц, постоянно пользовавшихся очками не менее одного года; в — при искусственной близорукости.

вались они корригирующими очками или нет. На рис. 34 представлены результаты исследования. Точками обозначена острота зрения при различной степени близорукости. Тенденция к снижению центрального зрения без очков параллельно повышению степени близорукости одинаково выражена у обследованных всех трех групп. Следовательно, острота зрения обусловлена в основном качеством изображения на сетчатке, т. е. диаметром кругов светорассеяния, который зависит от степени близорукости. Такая зависимость имеется только в глазах, острота зрения которых с корригирующими очками равна не менее 1,0.

Случаи наблюдения отклонений от описанной закономерности не противоречат приведенному утверждению, так как у лиц с близорукостью с необычно высокой остротой зрения без коррекции, как правило, наблюдается низкая острота зрения с коррекцией. Р. А. Кац (1905) сообщил о 5 таких случаях, на двух из которых мы остановимся подробнее.

Девочка 10 лет с миопией 5 дптр имела остроту зрения 0,3. Корригирующие линзы на остроту зрения влияния не оказывали. У другой пациентки при миопии 8 дптр острота зрения была 0,1, а с полной коррекцией — 0,2. Больные не прищуривались. Зрачки были либо обычной ширины, либо расширены мидриатиками. Следует отметить, что острота зрения 0,1—0,3 обычно встречается при близорукости порядка 1,5—3 дптр. Р. А. Кац писал, что такие явления были настолько необычными и до того противоречащими основным законам физиологической оптики, что на первых порах была заподозрена симуляция. Однако повторные исследования позволили отказаться от этой мысли. Автор сделал справедливый вывод о необычной способности подавлять круги светорассеяния.

Относительно природы «переработки» кругов светорассеяния высказывались различные мнения. М. Salzmann (1893, 1894), Н. Triepel (1894, 1895) рассматривали способность подавлять круги светорассеяния как психический акт. В последующем их мнение весьма прочно утвердилось в литературе по офтальмологии. Имеются отдельные работы [Севрюгина М. А., 1938; Шварц Л. А., 1956], подтверждающие влияние тренировок на повышение центрального зрения. Однако названные исследования не касались центрального зрения близоруких глаз без коррекции. У. Х. Мусабеили (1966) полагала, что различная острота зрения при одинаковой степени близорукости может быть объяснена индивидуальными особенностями аккомодации вдаль. Отдельные лица с близорукостью могут в различной мере напрягать аккомодацию при зрении вдаль. Те из них, которые обладают высокой способностью аккомодации вдаль,

могут существенно снизить степень близорукости и тем самым повысить остроту зрения.

Несмотря на широко распространенное убеждение о возможности подавления кругов светорассеяния, в литературе мы не нашли данных, что кому-либо удалось подтвердить факт уменьшения кругов светорассеяния. Нами разработан метод расчета степени подавления кругов светорассеяния [Сергиенко Н. М., 1976] по формуле:

$$\frac{a}{A} = \frac{P}{l \cdot d \cdot n},$$

где  $A$  — диаметр расчетных, т. е. образующихся на глазном дне, кругов светорассеяния;  $a$  — диаметр воспринимаемых кругов светорассеяния;  $P$  — диаметр проекции фигуры светорассеяния в пространстве;  $l$  — расстояние от глаза (узловой точки) до места измерения проекции фигуры светорассеяния;  $d$  — диаметр зрачка или диафрагмы;  $n$  — степень миопии, измеренной путем скиаскопии.

Соотношение  $\frac{a}{A}$  является искомой величиной. Если это соотношение равно единице, подавление кругов светорассеяния отсутствует; чем меньше соотношение  $\frac{a}{A}$ , тем выраженнее подавление кругов светорассеяния. Диаметр проекции круга светорассеяния ( $P$ ) легко изменить по описанной выше методике;  $l$  и  $d$  — постоянные величины: проекции кругов светорассеяния измеряли на удалении 5 м, использовали диафрагму диаметром 5 мм (0,005 м). В итоге исследование сводилось к нахождению двух величин  $P$  и  $n$ , формула упрощалась:

$$K = \frac{P}{0,025 \cdot n}.$$

Обследовано 65 лиц с близорукостью, из которых 49 постоянно пользовались очками не менее года, а 16 не носили очков. Коэффициенты подавления кругов светорассеяния ( $K$ ) для лиц, пользовавшихся и не пользовавшихся очками, соответственно равны  $0,88 \pm 0,16$  и  $0,79 \pm 0,2$ . Различие между приведенными величинами статистически недостоверно. Таким образом, мы не можем констатировать у лиц, не пользующихся коррекцией, выраженной способности подавлять круги светорассеяния. Мы имеем в виду подавление кругов светорассеяния на уровне сетчатки или в системе зрительного анализатора, исключая такие факторы, как сужение зрачка и прищуривание.

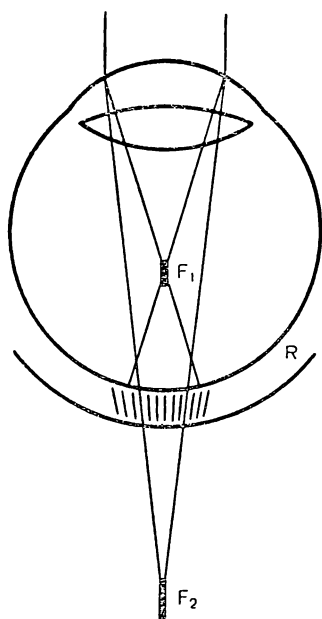
Механизм подавления кругов светорассеяния, по-видимому, связан с дирекционным эффектом сетчатки Стайлса и Крауфорда, проявление которого в близоруких глазах не вызывает сомнений [Сергиенко Н. М., Гительман Г. Н., 1975]. Интерес представляют результаты исследований больной с близорукостью высокой степени, у которой была неестественно высокая острота зрения без очков.

Больная С., 27 лет, впервые обследована в 1965 г. Близорукость диагностирована с детских лет. Очками не пользовалась в связи с головокружением, тошнотой и искажением пространства при попытке использования их. В левом неисследованном глазу было низкое зрение вследствие отслойки сетчатки. В правом глазу — передний отдел без патологических изменений; в проходящем свете небольшое количество плавающих помутнений. Офтальмоскопически определялась задняя стафилома, парамакулярно — небольшие атрофические очаги. При скиаскопии выявлена миопия 17 дптр с астигматизмом 2 дптр. Острота зрения 0,1 с диафрагмой диаметром до 5 мм; со сферической линзой — 17 дптр острота зрения повышалась до 0,2. Цилиндрические линзы не улучшали зрение. Повторно больная обследована через 6 лет. Близорукость увеличилась до 20 дптр, но острота зрения без коррекции и с коррекцией осталась на прежнем уровне. Коэффициент подавления кругов светорассеяния оказался равным 0,018; это означает, что близорукий глаз воспринимал только самую центральную часть образующихся на глазном дне кругов светорассеяния. Диаметр воспринимаемых кругов светорассеяния был в 56 раз меньше диаметра расчетных кругов светорассеяния.

В процессе обследования больной мы неожиданно столкнулись с тем фактом, что подавление фигур светорассеяния имеет место только без корригирующих очков и в условиях недокоррекции. Однако при гиперкоррекции способность подавлять круги светорассеяния резко падала, почти исчезала. При гиперкоррекции, когда фокус выносился за сетчатку, у больной возобновлялась способность восприятия кругов светорассеяния. Описанная особенность дает основание считать, что так называемая переработка кругов светорассеяния связана не с высшими отделами зрительного анализатора, а с направлением лучей света, падающих на сетчатку.

Дирекционная чувствительность сетчатки позволяет объяснить подавление кругов светорассеяния при зрении без очков и в условиях недокоррекции. Предположим, в сетчатке в силу каких-либо причин произошло изменение направления оси световоспринимающих элементов. Возможность такого вида патологии была показана нами [Сергиенко Н. М., Гительман Г. Н., 1975] достаточно убедительно. Допустим, колбочки «развалились» в стороны от центральной ямки (рис. 35). Без очков клинический фокус лежит

Рис. 35. Подавление периферии фигур светорассеяния (объяснения в тексте).



перед сетчаткой в положении  $F_1$ . Лучи достигают колбочки под углом и к их оси на периферии круга светорассеяния, и восприятие света здесь резко ослабляется. В центре свет падает соответственно оси колбочек, поэтому центральная часть кругов светорассеяния воспринимается достаточно четко. При гиперкоррекции, когда клинический фокус переносится в точку  $F_2$ , световые лучи даже на периферии сетчатки принимают направление, соответствующее ориентации оси колбочек. Глаз получает способность воспринимать практически весь диаметр кругов светорассеяния.

Неправильная ориентация световоспринимающих элементов может быть следствием деструктивного процесса, ненормальных сил натяжения, возникающих в процессе роста капсулы миопического глаза. Функциональный дефект сетчатки препятствует нормальному центральному зрению с коррекцией и в то же время создает неожиданно удачную ситуацию для подавления периферии кругов светорассеяния. Клиническим признаком подавления кругов светорассеяния можно считать слабый эффект рассеивающих линз, на что справедливо указывал еще Р. А. Кац.

Миопический глаз оказывается в выгодных условиях при зрении без очков, зато очки, лишенные по сути своего корригирующего влияния, особенно ощутимо оказывают свое отрицательное воздействие — уменьшается величина предметов, нарушаются привычное мышечное равновесие и привычные пространственные соотношения. Перечисленные причины объясняют дискомфорт при пользовании очками. Трудно себе представить, чтобы ориентация оси колбочек была регулируемым процессом и чтобы у лиц с близорукостью, не пользующихся очками, колбочки способны были принимать положение своих осей, удобное для

подавления кругов светорассеяния. Скорее всего это случайный вариант своеобразной патологии близорукого глаза.

Центральное зрение с коррекцией. Наиболее распространенная форма коррекции близорукости очковыми линзами не всегда эффективна. Во всяком случае получение остроты зрения, равной 1,0, нередко является неразрешимой задачей. Затруднения в коррекции близорукости очками возрастают по мере роста степени близорукости, на что указывают данные Leininberg.

Степень миопии (дптр)	Острота зрения
2	1,0
2—4	0,9
4—6	0,8
6—8	0,6
8—14	0,5
14—18	0,3
Свыше 18	0,2

Рост близорукости, как правило, связан с растяжением глазного яблока и развитием дистрофических процессов в сетчатке. Деструктивные изменения сетчатки играют большую роль при некорригируемости близорукости, даже слепоте. Высокая осложненная близорукость является одной из причин инвалидности по зрению. Органическая патология на глазном дне в форме атрофических очагов, кровоизлияний не относится к числу оптических проблем и останется вне нашего анализа.

Клиницист может объяснить низкую остроту зрения с коррекцией, если в макулярной или парамакулярной областях определяются патологические очаги, а при функциональном исследовании обнаружена скотома, распространяющаяся на точку фиксации. Практика показывает, что в большинстве случаев недостаточной корригируемости близорукости пониженную остроту зрения при пользовании очками невозможно объяснить органической патологией, подтверждаемой офтальмоскопически и тонкими функциональными исследованиями.

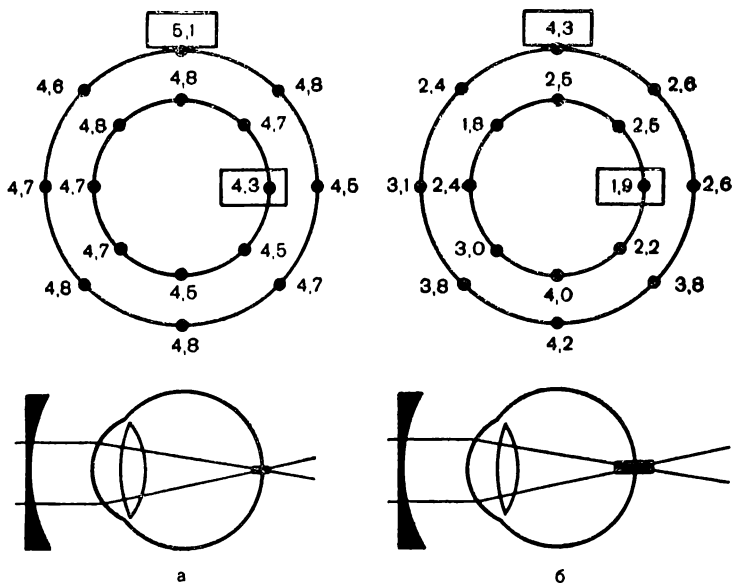
При близорукости возможно такое состояние сетчатки, которое занимает промежуточное положение между нормой и патологией. В работе А. И. Вязовского, Г. К. Килимника. Е. А. Нелюбова (1972) изложено предположение о возмож-

ности разрежения плотности фоторецепторов на единицу площади сетчатки. В результате глаз видит предметы уменьшенными, что отрицательно сказывается на остроте зрения с коррекцией. Идея о влиянии фактора разрежения плотности рецепторов логична, но она не выходит за рамки гипотезы.

Мы уже упоминали еще об одной патологии, находящейся на грани нормы и поддающейся выявлению только специальными методами диагностики [Сергиенко Н. М., Гительман Г. Н., 1975]. Речь идет о неправильной ориентации оси колбочек центра макулярной области относительно зрительной оси. Имеются и другие чисто оптические причины некорректируемости близорукости, которые мало известны и недостаточно освещены в литературе.

Роль физиологического астигматизма при коррекции близорукости.

Приведем 2 примера, показывающих влияние иррегулярных оптических несовершенств на скорректированную остроту зрения. В двух глазах имеется близорукость средней степени при отсутствии каких-либо патологических изменений на глазном дне. У одного из обследуемых с полной коррекцией определяется острота зрения 1,5, у другого, несмотря на несколько меньшую степень близорукости, — только 0,3. Обратимся к данным измерения структуры астигматизма. В глазу с высокой скорректированной остротой зрения (рис. 36, а) имеется физиологический астигматизм легкой степени. Максимальное рассеяние преломления составляет 0,8 дптр (4,3—5,1). В другом глазу с низкой скорректированной остротой зрения рассеяние преломления в зрачковой зоне значительно больше (рис. 36, б). Разница между самым сильным и самым слабым преломлением равна 2,4 дптр (1,9—4,3). Иррегулярная структура астигматизма в обоих случаях не позволяет скорректировать его ни сферическим, ни цилиндрическим стеклом. Характер преломления лучей в клиническом фокусе существенно отличается. При малых значениях астигматизма, т. е. при физиологическом астигматизме, формируется узкий, физиологический клинический фокус (см. рис. 36, а), обуславливающий такой диаметр минимальных фигур светорассеяния, который позволяет иметь высокую остроту зрения. В данном случае острота зрения равна 1,5. При патологических оптических несовершенствах клинический фокус окажется шире и длиннее (см. рис. 36, б). Поэтому минимальный диаметр фигур светорассеяния настолько большой, что острота зрения будет пониженной. Чем длиннее



**Рис. 36.** Неправильный астигматизм и фокусная область в миопических глазах с нормальной и пониженной остротой зрения с коррекцией (объяснения в тексте).

и шире клинический фокус, тем ниже корригированная острота зрения.

Убедительным подтверждением роли оптических факторов, отрицательно влияющих на центральное зрение при коррекции, является исследование ретиальной остроты зрения.

Э. С. Аветисов и соавторы обследовали 30 больных с высокой близорукостью (52 глаза). Было установлено, что в 19 случаях ретиальная острота зрения на 0,1—0,7 выше остроты зрения, исследованной при помощи таблиц в условиях полной коррекции близорукости.

Исследование ретиальной остроты зрения имеет большое значение при оценке роли оптических аберраций в достижении глазом максимальной остроты зрения. В настоящее время ретиальная острота зрения исследована при близорукости, астигматизме и некоторых других формах патологии глаза. Большой интерес представило бы исследование ретиальной остроты зрения в эметропических глазах с нормальной остротой зрения, для того чтобы оп-

ределить предел разрешающей способности сетчатки (по нашему мнению, он выше 2,0).

Другим примером роли оптических несовершенств в коррекции близорукости служат многочисленные наблюдения при контактной коррекции. Контактные линзы дают лучший визуальный эффект в сравнении с обычными очковыми линзами. Иногда острота зрения при пользовании контактными линзами повышается в 2—5 раз. Объяснить положительное влияние контактных линз с позиций схематического глаза с его точечным задним фокусом не представляется возможным, так как контактная линза увеличивает изображение на сетчатке лишь в 1,1—1,3 раза. Следовательно, теоретически прибавка остроты зрения не должна превышать эти цифры.

Представление о клиническом фокусе позволяет правильно интерпретировать положительное влияние контактных линз. Прогрессирование близорукости обуславливает рост иррегулярных аберраций роговицы и хрусталика. При прогрессировании близорукости происходят не только изменения в заднем отрезке глазного яблока, но и деформация его переднего отрезка, хотя в сравнительном отношении изменения в переднем отрезке глаза представляются ничтожными. Однако даже минимальная деформация роговицы нарушает ее сферичность. Аномальные оптические несовершенства обуславливают формирование широкого клинического фокуса, который, будучи перемещен рассеивающей линзой на сетчатку, не обеспечивает достаточно четкого изображения на сетчатке. Контактные линзы корригируют оптические несовершенства роговицы, поэтому клинический фокус не только совмещается с сетчаткой, но и изменяется его конфигурация, он делается уже, благодаря чему улучшается качество изображения на сетчатке и центральное зрение.

#### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЛЕЧЕНИЯ БЛИЗОРУКОСТИ**

За последние два десятилетия предложено более десятка методов профилактики и лечения близорукости с помощью упражнений и применения оптических и медикаментозных средств. Точки зрения авторов, занимающихся проблемой профилактики прогрессирования близорукости, часто расходятся либо совпадают частично. Единство взглядов существует в одном: в том, что за создание предпосылок для возникновения и прогрессирования близорукости, в частности школьной, ответственна функция аккомодации и кон-

вергенции. Поэтому большинство способов лечения представляют собой методы воздействия на аккомодацию и конвергенцию.

Э. С. Аветисов (1966, 1967) считает, что аккомодационный механизм играет роль регулятора, управляющего рефрактогенезом. Постоянное напряжение аккомодации, свойственное человеку нашей эпохи, вызывает утомление цилиарной мышцы, что служит сигналом для биологической системы, регулирующей анатомические параметры глазного яблока, в том числе величину переднезадней оси глаза. Лечебные рекомендации Э. С. Аветисова (1976) и его сотрудников — это дозированные упражнения цилиарной мышцы, а также методы, разгружающие цилиарную мышцу при зрении вблизи: упражнение «объект на оконном стекле — дальний объект», упражнение с помощью сменных линз, упражнения на «аккомодотренере».

А. И. Дашевский (1973) придерживается мнения, что миопизация глаза является не биологическим процессом, а следствием физических перегрузок на капсулу глаза. Пусковым механизмом, определяющим развитие перегрузок, служит аккомодационный аппарат (спазм аккомодации), а фактором, реализующим растяжение капсулы глаза, — толчкообразное повышение внутриглазного давления при зрительной нагрузке. Следовательно, стоит блокировать развитие спазма аккомодации, желательно на раннем этапе, как исчезают предпосылки для миопизации. Назовем некоторые из лечебных рекомендаций А. И. Дашевского и его сотрудников: тренировка резерва аккомодации и резерва конвергенции [Дашевский А. И., 1940], упражнение дивергентной дезаккомодации [Дашевский А. И., 1973], метод оптического и дистантного затуманивания [Дашевский А. И., 1973], смешанный метод оптико-дистантного микрозатуманивания.

В. В. Волков и Л. Н. Колесникова (1972) предложили метод «раскачки» для глаз, отличающихся инертностью к внешним стимулам.

Сферопризматические очки Ю. А. Утехина (1960) предлагаются автором как средство стабилизации и уменьшения степени близорукости. Действие очков направлено на разгрузку конвергенции при зрении на близком расстоянии, что, по мнению автора, снижает давление наружных мышц глазного яблока на склеру, чем предотвращается растяжение капсулы глаза. Несмотря на многолетнее использование сферопризматических очков при близорукости, до сих пор не появилось информации в авторитетных офтальмо-

логических изданиях об эффективности сферопризматических очков.

Предложены средства медикаментозного лечения миопии, точнее псевдомиопии, но последняя рассматривается как прелюдия к возникновению истинной миопии. Рекомендованы [Дашевский А. И., 1973] закапывания на ночь адреномиметических средств (1% раствор мезатона) и холинолитиков (0,5% раствор амизила, циклоборина).

Не вдаваясь в детальный анализ названных методов, перечень которых можно было бы продолжить, следует остановиться на принципах, необходимых для оценки любого метода лечения близорукости. Данные, приведенные в статье А. С. Сенякиной (1971), противоречащие мнению многих авторов относительно спазма аккомодации (псевдомиопии), а следовательно, и истинной миопии, можно объяснить различным методическим подходом. Очевидно, в будущем появятся новые предложения по лечению близорукости, и было бы целесообразно, чтобы их авторы сразу пользовались согласованным критерием оценки своих предложений.

Прежде всего необходимо строго разграничить и ни в коем случае не ставить знак равенства между лечением псевдомиопии (спазма аккомодации) и истинной миопии. Псевдомиопия диагностируется с использованием циклоплегиков. Если в естественном состоянии аккомодации имеет место миопия, а после закапывания циклоплегиков рефракция ослабляется до эметропии или гиперметропии, то делается вывод о наличии псевдомиопии. Физиологические условия цилиарной мышцы таковы, что ослабить клиническую рефракцию можно не только закапыванием циклоплегиков. Как известно, динамическая рефракция, т. е. клиническая рефракция в естественном состоянии аккомодации, обусловлена функциональным состоянием компонентов цилиарной мышцы — мышцы Мюллера и мышцы Брюкке. Физиологический покой аккомодации — это равновесие неустойчивое, подверженное влиянию таких факторов, как освещенность, деятельность конвергенции, состояние вегетативной нервной системы, усталость, эмоциональное состояние. Во время сна повышение тонуса парасимпатической системы вызывает усиление рефракции на 2,0—3,0 дптр. Приставление к глазу призмы 3—4 дптр основанием к носу обуславливает ослабление рефракции (феномен дивергентной дезаккомодации).

Тренировочные упражнения цилиарной мышцы значительно улучшают ее функциональное состояние и, возмож-

но, гемодинамику, т. е. длительными упражнениями можно затормозить процесс миопизации.

Вместе с тем большое число методов нацелено на изменение естественного покоя аккомодации. Примером может служить практика лечения близорукости сферопризматическими очками. Если детям с псевдомиопией надевают сферопризматические очки, то тем самым воздействуют на естественный покой аккомодации через конвергенцию. И если у части детей несколько ослабляется рефракция и повышается острота зрения, то это еще не основание для сенсации. Повышение остроты зрения в таких случаях является следствием сдвига функционального состояния цилиарного тела и носит временный характер. Как сон нельзя считать фактором миопизации, так и сферопризматические очки нельзя расценивать как средство лечения миопии. До сих пор мы не располагаем данными о том, что сферопризматические очки предупреждают либо сдерживают растяжение капсулы глаза.

Имеются указания на отсутствие положительного влияния лечения спазма аккомодации на развитие осевой миопии [Сенякина А. С., 1981].

Для того чтобы сделать заключение об эффективности какого-либо метода лечения, направленного на предотвращение растяжения глазного яблока, необходимо регистрировать не столько динамическую рефракцию в процессе лечения, сколько статическую рефракцию в отдаленные сроки наблюдения. В качестве рефрактометрического метода можно рекомендовать скиаскопию с учетом возможных ее погрешностей [Сергиенко Н. М., 1975, 1980] на высоте циклоплегии после дробного или 3—5-дневного закапывания 1% раствора атропина. Может быть использован субъективный метод определения рефракции также в состоянии циклоплегии с диафрагмой 3—4 мм. Что касается измерения рефракции с помощью рефрактометров, то ее следует проводить также в состоянии циклоплегии исследуемого глаза. Это в равной мере касается и рефрактометра Хартингера, и автоматических рефрактометров типа «Диоптрон». Работающий на инфракрасных, невидимых для глаза лучах «Диоптрон» позволяет проводить рефрактометрию в естественном состоянии аккомодации. Само по себе это качество «Диоптрона» оценивается высоко, но для исследования динамики миопии не может быть использовано.

Наиболее достоверным методом слежения за развитием близорукости была бы непосредственная биометрия параметров капсулы глаза, однако разрешающая способность

современных эхоофтальмографов ( $\pm 0,2$  мм) не позволяет регистрировать растяжение глаза, соответствующее усилению миопии на 1—2 дптр. Фактически эхиометрия пока может быть использована для подтверждения прогрессирования миопии лишь в отдаленные сроки, через 3—5 лет после исходного исследования.

## АСТИГМАТИЗМ

Первые научные исследования по астигматизму принадлежат И. Ньютону (1670). Термин «астигматизм» был введен только в 1860 г. F. C. Donders, хотя работы по астигматизму стали появляться с начала XIX в.

В 1801 г. Т. Юнг, используя оптометр, построенный на принципе Шейнера, впервые измерил астигматизм в собственном глазу. Несколько позже Л. Эйлер рассчитал оптическую силу цилиндрической линзы под различными углами от нейтральной оси.

Fresnel (1819) использовал цилиндрическую линзу в научных целях для получения линейного источника света.

В 1826 г. Hawkins, а в 1827 г. Airy независимо друг от друга корригировали астигматизм цилиндрическими линзами.

В 1845 г. C. F. Sturm опубликовал математический анализ хода лучей в астигматической системе.

В 1854 г. Г. Л. Гельмгольд применил метод измерения радиуса кривизны роговицы.

В 1860 г. F. C. Donders доказал превалирующее значение роговического астигматизма в формировании общего астигматизма глаза. В 1862 г. автор опубликовал работу «Астигматизм и цилиндрические линзы».

В 1865 г. Green применил лучистую фигуру для диагностики положения главных осей астигматизма.

В 1884 г. L. E. Javal и H. Schiötz изобрели офтальмометр.

В 1893 г. E. Jackson начал клиническое применение кросцилиндра.

В текущем столетии значительно усовершенствованы методы диагностики астигматизма. Наибольшим достижением следует считать создание автоматизированного рефрактометра типа «Диоптрон».

Астигматизм не выделяется в отдельный вид клинической рефракции, однако имеет большое клиническое значение. Теоретической моделью хода лучей в астигматическом глазу считают коноид Штурма (рис. 37), обладающий следующими основными характеристиками.

КонOID имеет 2 главных сечения  $KK'$  и  $MM'$ . Щелевидный пучок света, проходящий в глаз соответственно сильному в оптическом отношении сечению  $KK'$ , преломляется в точке А. Щелевидный пучок света, проходящий в оптически слабом сечении  $MM'$ , преломляется в точке В. Если в глаз направить пучок света через весь зрачок, а сетчатку разместить соответственно точке А, возникает изображение горизонталь-

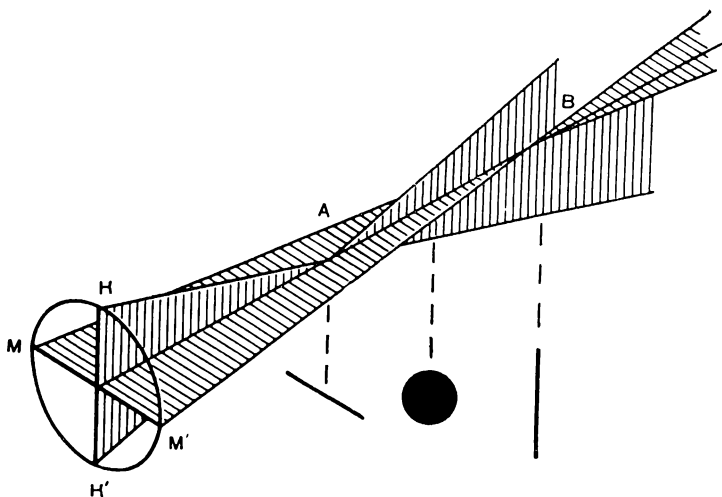


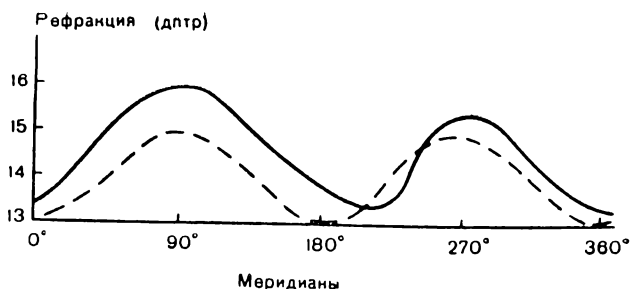
Рис. 37. Коноид Штурма (объяснения в тексте).

ной линии — передней фокальной линии. Если сетчатка пересекает точку В, то получается изображение вертикальной линии — задней фокальной линии. При передвижении сетчатки от точки А к точке В на ней образуются эллипсы, а посередине между точками — правильный круг светорассеяния.

Коррекцию астигматизма, согласно коноиду Штурма, следует представлять таким образом. Цилиндрическое стекло должно по силе строго соответствовать степени астигматизма, а ось цилиндрического стекла — точно совпадать с одним из главных сечений астигматического глаза. Соблюдение указанных условий позволяет создать точечный фокус и обеспечить нормальную остроту зрения. В цилиндрической линзе, как и в астигматическом глазу, имеет место плавный переход рефракции от одного меридиана к другому.

Опыт показывает, что коноид Штурма лишь приближенно отражает структуру астигматизма живого глаза.

Основные отличия астигматического глаза от коноида Штурма состоят в следующем: 1) в пределах одного меридиана рефракция имеет различные значения; 2) перепад преломления от одного меридиана к другому происходит не плавно, а скачкообразно. Приводим пример структуры астигматизма (рис. 38). Штриховая линия характеризует переход преломления от одного меридиана к последующим в глазу с идеально правильным астигматизмом, соответ-



**Рис. 38.** Переход преломления от меридиана к меридиану в коноиде Штурма (штриховая линия) и в человеческом глазу (сплошная линия).

ствующим коноиду Штурма. Преломление в косых меридианах рассчитывается по формуле Эйлера:

$$R_{(\alpha)} = R \cdot \sin^2 \alpha,$$

где  $R_{(\alpha)}$  — преломление в меридиане под углом  $\alpha$  к оси;  $R$  — преломление в сильном меридиане;  $\alpha$  — угол между осью астигматизма и рассчитываемым меридианом.

Сплошной линией обозначено преломление исследованного астигматического глаза, характеризующееся иррегулярностью (см. рис. 38). В каждом меридиане в обе стороны от оптической оси имеется различной силы преломление, в частности, на 90° миопия на 0,9 дптр больше, чем на 270° в том же вертикальном меридиане. Кроме того, сама форма сплошных линий лишь отдаленно напоминает правильную симметричную синусоидную кривую. Это означает, что переход от одного меридиана к другому происходит скачкообразно.

Каждый астигматический глаз обладает неповторимыми особенностями. В центральных и периферических отделах оптической системы структура астигматизма может существенно отличаться.

Принимая во внимание недостатки коноида Штурма, мы предлагаем коноид, позволяющий более точно представить ход лучей в астигматическом глазу. В модифицированном коноиде (рис. 39) имеется два главных сечения  $ММ'$  и  $КК'$ . Вследствие неравномерности преломления в вертикальном главном сечении  $КК'$  щелевидный пучок света преломляется не в одной точке, как это имеет место в коноиде Штурма, а на отрезке оптической оси  $АВ$ . Аналогичное положение складывается для лучей, проходящих

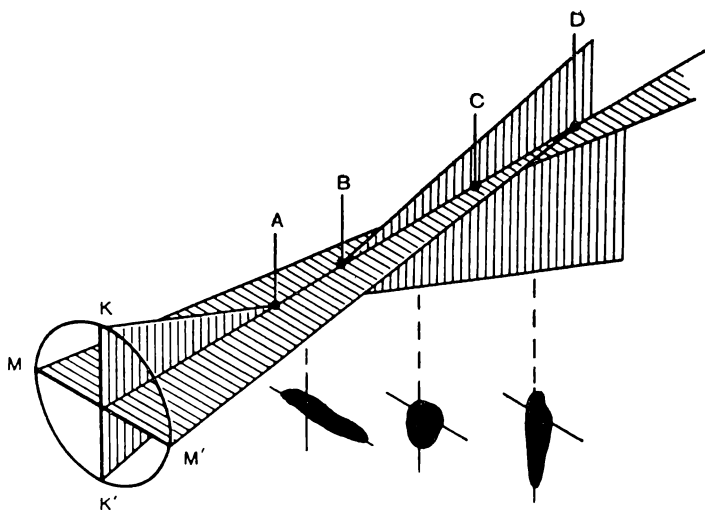


Рис. 39. Модифицированный коноид Штурма с учетом компонента неправильного астигматизма (объяснения в тексте).

через горизонтальное главное сечение  $MM'$ . Они пересекутся на отрезке оптической оси  $CD$ . Если в глаз направить свет через весь зрачок и разместить сетчатку где-то между точками  $A$  и  $B$ , то получится изображение горизонтально расположенной полосы, ширина которой может быть больше или меньше в зависимости от степени неравномерности преломления в вертикальном сечении. Чем больше неравномерность преломления, тем больше дистанция между точками  $A$  и  $B$  и тем шире передняя фокальная полоса. При положении сетчатки в любой точке между пунктами  $C$  и  $D$  получим изображение вертикальной полосы, ширина которой обусловлена степенью неравномерности преломления в вертикальном сечении. Перемещение сетчатки от одной фокальной полосы к другой приводит к образованию фигур светорассеяния асимметричной формы.

Действие корригирующего цилиндра сводится к тому, что преломление двух главных сечений выравнивается. На коноиде это выражается в совмещении отрезков  $AB$  и  $CD$ , в результате чего образуется одна зона беспорядочного пересечения лучей — клинический фокус. Цилиндрическое корригирующее стекло по своим оптическим характеристикам соответствует коноиду Штурма и приспособлено для коррекции только идеально правильного астигматизма. Как

бы тщательно не подбиралась цилиндрическая линза, она способна нейтрализовать только правильный астигматизм. Неправильный компонент астигматизма полностью сохраняет свое отрицательное влияние на изображение на сетчатке.

Трудности коррекции астигматизма тем значительнее, чем больше отличие структуры астигматизма человеческого глаза от коноида Штурма. Чем значительнее это отклонение, тем сильнее выражен остаточный некорректируемый иррегулярный астигматизм, что, несомненно, оказывает отрицательное влияние на качество изображения на сетчатке и остроту зрения с корректирующими очками. На рис. 40 показана зависимость между остротой зрения с корректирующими очками и степенью остаточного астигматизма, измеренного коэффициентом астигматизма. Исследование выполнено на глазах с миопическим астигматизмом.

Пониженное зрение при отсутствии в глазу органической патологии или амблиопии является следствием большого остаточного астигматизма, обуславливающего образование широкого клинического фокуса. Если же в глазу в результате коррекции сохраняется остаточный астигматизм, адекватный физиологическому, формируется узкий клинический фокус, а острота зрения оказывается нормальной.

Для подтверждения сказанного приведем два примера. На рис. 41, а показана структура сложного миопического

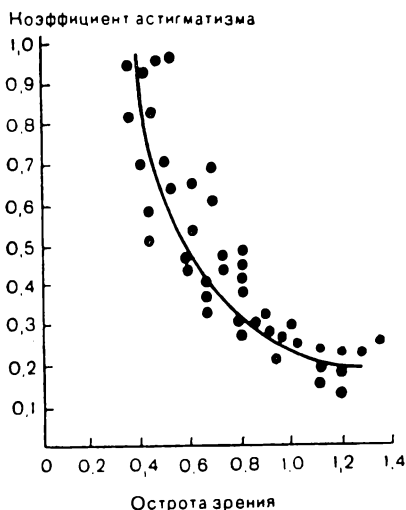


Рис. 40. Зависимость между остротой зрения с коррекцией и остаточным астигматизмом.

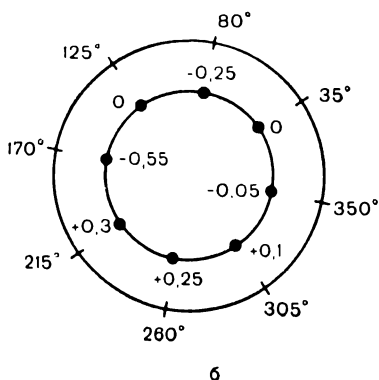
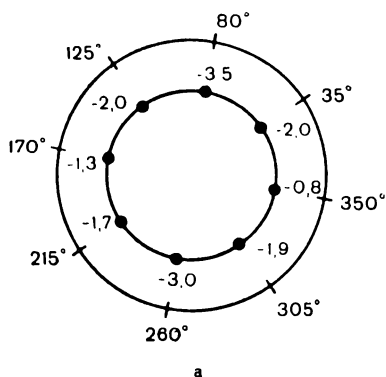


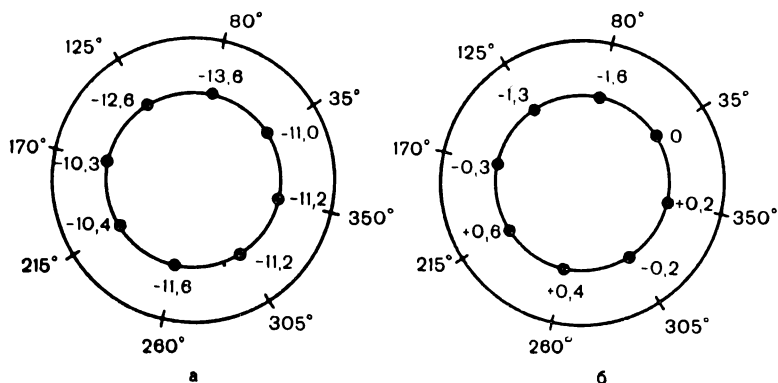
Рис. 41. Структура астигматизма.

а — до коррекции, б — после коррекции. Острота зрения после коррекции 1,2.

астигматизма, обладающего явными признаками отличия от коноида Штурма. Скачкообразность преломления перепада между меридианами  $350^\circ$  и  $35^\circ$  равна 1,2 дптр, а в противоположной части оптической системы — между меридианами  $170^\circ$  и  $215^\circ$  — всего 0,5 дптр. Кроме того, в пределах меридиана, близкого к горизонтальному ( $350-170^\circ$ ), и в меридиане, близком к вертикальному ( $80-260^\circ$ ), наблюдается неравномерность преломления в 0,5 дптр. После коррекции сфероцилиндрической системой (сф.— 0,75 дптр и цил.— 2,5 дптр, ось  $180^\circ$ ) получен остаточный астигматизм со своеобразной структурой (рис. 41, б). Степень остаточного астигматизма небольшая, поэтому в глазу образуется узкий клинический фокус. Острота зрения с коррекцией равна 1,2.

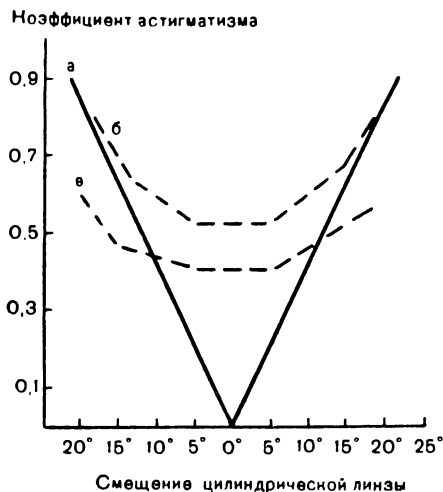
В другом глазу также со сложным миопическим астигматизмом (рис. 42, а) признаки иррегулярности выражены в большей степени. В частности, в вертикальном меридиане ( $80-260^\circ$ ) разница преломления равна 2 дптр. После коррекции оптимальной сфероцилиндрической комбинацией (сф.— 10 дптр и цил.— 2 дптр, ось  $170^\circ$ ) возникает значительный остаточный астигматизм (рис. 42, б), обуславливающий формирование широкого клинического фокуса. Острота зрения с коррекцией равна 0,7.

При коррекции астигматизма врач постоянно встречается с явлениями амплитуды осевой и силовой проб, которые невозможно объяснить на основе схемы коноида Штурма. Под амплитудой осевой пробы понимают смещение оси цилиндрического стекла по и против часовой стрелки, при



**Рис. 42.** Структура астигматизма.  
а — до коррекции; б — после коррекции. Острота зрения с коррекцией 0,7.

этом острота зрения остается постоянной. В условиях идеально правильного астигматизма вращение цилиндра и приближение его оси к главному сечению астигматического глаза должны вызвать уменьшение динамического астигматизма, вплоть до нуля (рис. 43, а). Если продолжать вращать цилиндр и далее, динамический астигматизм вновь начнет нарастать. Следовательно, при идеально правильном астигматизме имеется единственное положение оси корригирующего стекла, при котором отмечают наивысшее центральное зрение. Малейшее отклонение в ту



**Рис. 43.** Остаточный астигматизм в процессе осевой пробы при идеальном астигматизме (а); в двух естественных астигматических глазах (б, в).

или другую сторону вызывает усиление динамического астигматизма и снижение зрения. Амплитуда осевой пробы должна приближаться к нулю.

В действительности амплитуда осевой пробы при различных степенях астигматизма колеблется от  $5^\circ$  до  $18^\circ$ . Изучение действия цилиндрических линз при вращении их оси в пределах, близких к главному сечению астигматического глаза, показывает, что остаточный астигматизм никогда не достигает нулевого значения (рис. 43, б, в). В некотором промежутке, в данных случаях в пределах  $10^\circ$ , коэффициенты астигматизма остаются практически на одинаковом уровне, а поэтому качество изображения на сетчатке и острота зрения не изменяются.

В человеческом глазу скачкообразный перепад преломления может быть настолько большим, что главные сечения в глазу практически отсутствуют. Приводим пример.

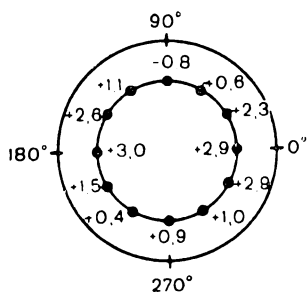
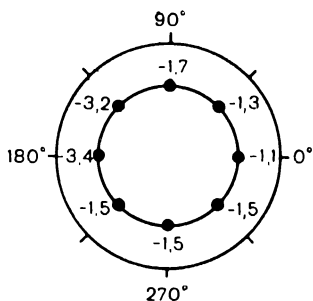
Больная С. жалуется на понижение зрения левого глаза. Острота зрения без коррекции 0,2. С помощью сфероцилиндрической системы (сф.—1,5 дптр и цил.—1,0 дптр, ось  $48-80^\circ$ ) острота зрения повышается до 0,4. При исследовании с помощью астигмометра установлен миопический астигматизм (рис. 44). В меридианах  $135-180^\circ$  отмечено резкое повышение преломления. Во всех остальных меридианах рассеяние преломления не выходит за рамки физиологической нормы. Установить точное положение главных сечений астигматизма не представляется возможным.

Под амплитудой силовой пробы понимают ряд цилиндрических стекол, отличающихся по силе в пределах 0,25—1,5 дптр, с которыми корригируемая острота зрения сохраняется на одинаковом уровне. Возможность амплитуды силовой пробы в условиях коноида Штурма исключается, так как малейшее отклонение силы корригирующей линзы от степени астигматизма глаза должно нарушить качество изображения на сетчатке и снизить остроту зрения.

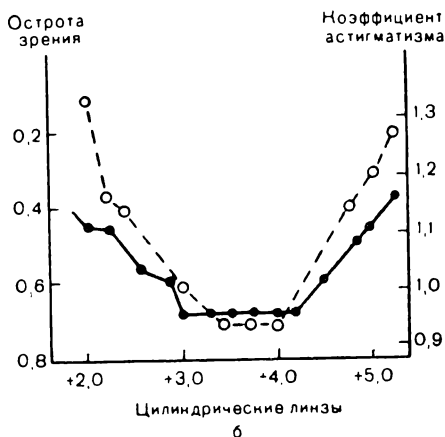
Наличие некорригируемого компонента в любом астигматическом глазу создает условия для адекватного остаточного астигматизма при различной силе корригирующих цилиндров (рис. 45), с которыми острота зрения сохраняется на одинаковом уровне.

В заключение необходимо сказать, что оптическая система астигматического глаза представлена двумя компонентами: правильным астигматизмом и неправильным астигматизмом. Исправлению корригирующей цилиндрической линзой подвергается только компонент правильного астигматизма. Неправильный астигматизм, отрицательно действующий на изображение на сетчатке, оказывает силь-

Рис. 44. Структура астигматизма с выраженным компонентом иррегулярности.



а



б

Рис. 45. Распределение преломления в астигматическом глазу (а), острота зрения (сплошная линия) и остаточный астигматизм (штриховая линия) при силовой пробе (б).

ное влияние на скорректированную остроту зрения. Чем больше выражено несходство структуры астигматического глаза с коноидом Штурма, тем ниже скорректированная острота зрения. Косвенными признаками наличия большого иррегулярного компонента является большая амплитуда осевой и силовой проб.

## АНИЗОМЕТРОПИЯ

Понятие «анизометропия» (αν — отрицание, τσοζ — равный) означает неравную аномалию рефракции левого и правого глаза. Если исследовать рефракцию с предельной точностью, то у абсолютного большинства людей будет обнаружена неадекватность рефракции левого и правого глаза. Под анизометропией понимают неравенство рефракции, ко-

торое обуславливает функциональное нарушение, выражающееся в астенопии, головной боли, фотофобии, тошноте, диплопии, общей усталости, нарушении пространственного восприятия и др. Адаптация к неравенству рефракции отличается большой индивидуальной вариабельностью. Весьма ориентировочно можно считать, что затруднения при бинокулярном зрении возникают в том случае, если разница в рефракции левого и правого глаза превышает 2,0 дптр. Различают 3 основных следствия анизометропии: неравенство остроты зрения, неравенство подвижности глаз и неравенство величины ретинальных изображений.

Неравенство остроты зрения имеет особо важное значение в детском возрасте. В период формирования бинокулярного зрения изображение хуже видящего глаза подавляется на уровне зрительных центров, обуславливая амблиопию. В случае гиперметропической анизометропии и высокого показателя АК/А возникает несбалансированное напряжение конвергенции, реализующееся в формировании сходящегося косоглазия.

Неравенство подвижности глазных яблок. При зрении в очках зрительные линии далеко не всегда совпадают с центрами очковых линз. Если зрительные линии пересекают периферию очковых линз, действует их призматическое влияние. Адекватное призматическое воздействие, имеющее место при адекватных очковых линзах, не сказывается на работе наружных мышц глазных яблок. Рассмотрим случай анизометропии с дальнозоркостью на правом глазу. Предположим, в условиях очковой коррекции взгляд переведен из точки А в точку В с одинаковым углом отклонения правого и левого глаза, т. е. с гармоничной и сбалансированной функцией аддукторов и абдукторов (рис. 46).

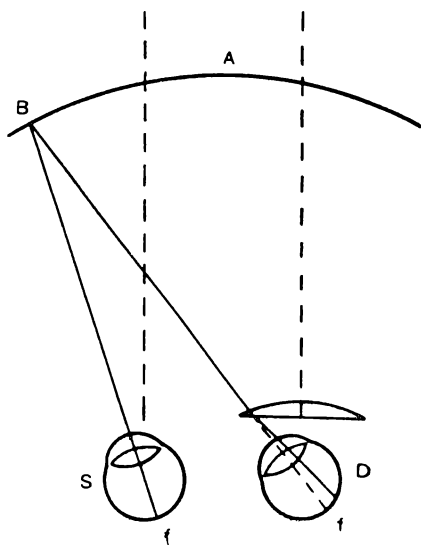


Рис. 46. Призматическое действие периферии очковой линзы в условиях монокулярной коррекции (объяснения в тексте).

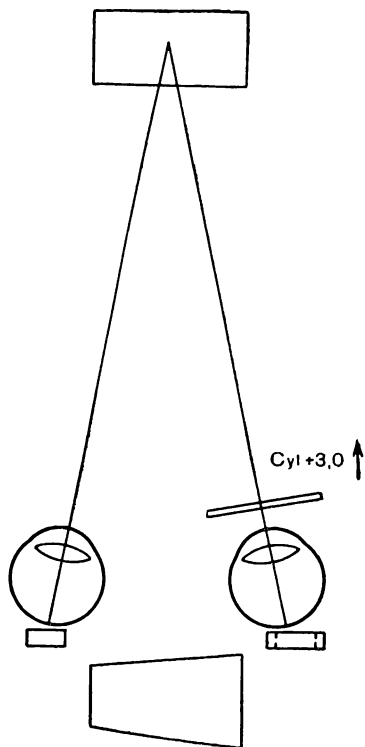
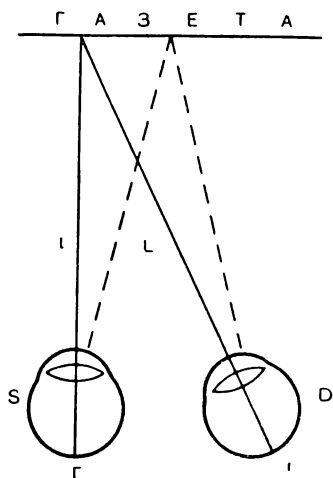
В правом глазу точка В проецируется кнаружи от фо-  
веолы, вызывая двоение. Одиночное восприятие точки В  
становится возможным при условии более сильного пово-  
рота правого глаза кнаружи, что неизбежно сопряжено с  
диссоциацией в напряжении наружных мышц и дискомфор-  
том. Аналогичная ситуация складывается при очковых  
линзах, если разница в преломляющей силе превышает  
определенный предел — ориентировочно 2,0 дптр.

Неадекватный угол поворота глаз, называемый анизо-  
форией, может быть измерен на координатном измерителе.

Неравенство ретинальных изображений (анизэйкония)  
измеряется в процентах. Степень анизэйконии означает, на  
сколько процентов ретинальное изображение правого глаза  
больше или меньше изображения левого глаза. Зрительный  
анализатор обладает способностью преодолевать неболь-  
шие степени анизэйконии и в пределах 1—3%, для которой  
постоянно возникают условия в повседневной жизни чело-  
века. Например, во время чтения газеты взгляд перемеща-  
ется вдоль ее строк (рис. 47). Нетрудно заметить, что при  
отклонении объекта фиксации в сторону от срединной ли-  
нии дистанция от этого объекта к левому и правому гла-  
зам существенно отличается ( $L > 1$ ). Ретинальное изобра-  
жение в правом глазу окажется меньше такового в левом  
глазу. Степень анизэйконии составляет 2 и 3,4% в случае  
расположения газеты на дистанции соответственно 33 и  
20 см от глаз.

Нет точных данных относительно предела анизэйконии,  
когда нормальное бинокулярное зрение становится невоз-  
можным. Вероятно, такой границы вообще не существует,  
так как индивидуальные возможности слияния неравных  
ретинальных изображений весьма переменны. Анизэйко-  
ния в 6% случаев создает серьезное препятствие для бино-  
кулярного зрения. Односторонняя афакия, скорректиро-  
ванная очковым стеклом, создает анизэйконию свыше 30%.

Цилиндрические линзы обуславливают меридиональную  
анизэйконию, которая особенно четко проявляется при ас-  
тигматизме с косыми осями и астигматизме на одном гла-  
зу. Даже незначительная меридиональная анизэйкония  
способна вызвать дискомфорт за счет искажения простран-  
ственного восприятия, в чем можно убедиться на простом  
опыте. Если поместить перед одним глазом цилиндрическое  
стекло, например цил. +3,0 дптр ось вертикально (рис. 48),  
и рассматривать прямоугольный лист бумаги, то ретиналь-  
ное изображение этого глаза будет несколько искаженным:  
вытянутым в меридиане, перпендикулярном оси цилиндра,



**Рис. 47.** Неравенство ретиальных изображений при чтении (объяснения в тексте).

**Рис. 48.** Искажение пространственного восприятия при зрении через цилиндрическую линзу.

Изображения правого и левого глаза окажутся неравными. Как известно, в условиях бинокулярного зрения неравенство ретиальных изображений создает предпосылку для пространственного восприятия и тонкой оценки глубины рассматриваемых объектов. В нашем опыте неравенство ретиальных изображений приводит к причудливому пространственному восприятию листа бумаги: один край листа кажется шире другого, а весь лист воспринимается повернутым вокруг вертикальной оси. Искажение пространственного восприятия цилиндрическими линзами особенно чувствительно при первичном назначении очков взрослым пациентам,

Степень анизэйконии может быть определена математически или измерена субъективно.

Приводим одну из формул расчета [Федоров С. Н., 1975]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(l_2 - k_2) \left( 1 - D_{01}d - D_{оп1} \frac{k_1}{n} \right)}{(l_1 - k_1) \left( 1 - D_{02}d - D_{оп2} \frac{k_2}{n} \right)},$$

где  $\frac{V_2}{V_1}$  — степень анизэйконии;  $D_o$  — оптическая сила очковой линзы;  $D_p$  — оптическая сила роговицы;  $l$  — длина оси глаза;  $d$  — дистанция от роговицы до очкового стекла;  $k$  — расстояние от задней главной плоскости роговицы до передней главной плоскости хрусталика;  $n$  — показатель преломления.

Индексы 1 и 2 относятся соответственно к первому и второму глазу.

Метод математического расчета удобен тем, что выполняется на основе объективных данных. Это исключает субъективные методы, проведение которых при неустойчивом бинокулярном зрении представляет трудности. Однако данные объективной и субъективной анизэйкониметрии неадекватны вследствие индивидуальных различий в работе

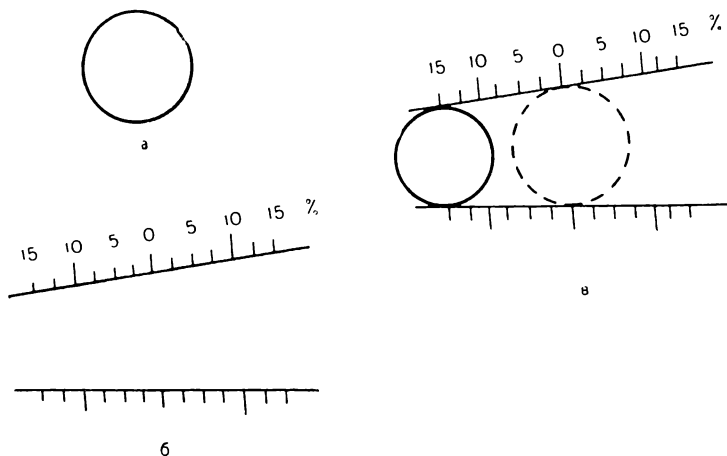


Рис. 49. Измерение анизэйконии на хейроскопе.

а — объект, размещаемый перед одним глазом; б — объект (шкала), размещаемый перед другим глазом; в — оба объекта при бинокулярном восприятии в случае изэйконии (штриховая окружность) и анизэйконии в 15% (сплошная окружность).

зрительного анализатора, поэтому данные объективной анизэйкониметрии должны рассматриваться как ориентировочные.

И. А. Вязовский (1972) высказал предположение, что при монокулярной близорукости неадекватность объективной и субъективной анизэйкониметрии объясняется разряжением плотности колбочек в сетчатке миопического глаза.

Устройства для исследования анизэйконии, называемые анизэйкониметрами, не производятся в промышленном порядке. Мы рекомендуем метод измерения анизэйконии, идея которого была высказана Г. Е. Венгер (1974). После нашего усовершенствования метод выглядит следующим образом. Два рисунка (рис. 49, а, б) помещаются в стереоскопе или в хейроскопе перед левым и правым глазом. Исследуемый размещает рисунки таким образом, чтобы окружность касалась двух линий (рис. 49, в). В случае изэйконии касание произойдет на нулевом делении, при анизэйконии — слева или справа от нуля. Метод позволяет измерять меридиональную анизэйконию, для чего достаточно сделать замеры в вертикальном и горизонтальном или в двух косых меридианах. Степень погрешности не превышает 2%, что применимо в практической работе.

**Коррекция анизометропии.** 1. Изэйконические очки И. А. Вязовского представлены двумя телескопическими системами с противоположным действием: перед одним глазом располагается уменьшающая, перед другим — увеличивающая система. Например, при монокулярной афакии перед нормальным глазом ставится увеличивающая на 15% телескопическая система, перед афакическим глазом — уменьшающая на 15% телескопическая система. В итоге получаем полную коррекцию анизэйконии в 30%. 2. Анэксидистантные очки показаны при небольших степенях анизометропии. Оправа моделируется таким образом, чтобы дистанция от очковых линз к левому и правому глазам была неравной. При этом удаление рассеивающего очкового стекла уменьшает, а собирающего очкового стекла увеличивает ретинальное изображение. 3. Бифокальные линзы оригинальной конструкции предложила И. Сазанчук (1981), успешно применив их для коррекции миопической анизометропии. Бифокальная линза представлена центральной зоной с коротким фокусным расстоянием и периферической зоной с более длинным фокусным расстоянием. Эта линза помещается в очковой оправе перед глазом с большей степенью близорукости (рис. 50). Как оказалось, переносимость очков обусловлена не столько различием ретиналь-

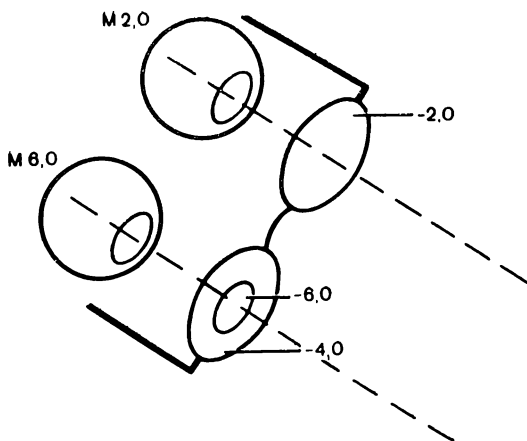


Рис. 50. Бифокальная линза для коррекции миопической анизометропии (объяснения в тексте).

ных изображений (степенью анизэйконии), сколько призматическим действием периферии очковых линз (степенью анизофории). Уменьшение диоптрийности периферии линз и сглаживание анизофории позволяют корректировать миопическую анизометропию до 4,0—5,0 дптр. 4. Контактные линзы резко уменьшают степень анизэйконии, создавая комфорт. При монокулярной афакции, однако, остаточная анизэйкония, как правило, превышает 6%, что иногда препятствует достижению бинокулярного зрения. 5. Хирургические методы коррекции аметропии включают различные виды кератотомий, кератомилез, кератофакию, эпикератофакию, имплантацию собирающих и рассеивающих линз, операции по укорочению глазного яблока.

## АККОМОДАЦИЯ

Интерес к деятельности аккомодационного механизма появился несколько столетий назад. Получено немало фактов, позволяющих приблизиться к полному пониманию функции аккомодационного аппарата. Если ранее аккомодация привлекала внимание исследователей исключительно как загадка из области физиологии человеческого организма, то сегодня это внимание возросло в связи с перспективой создания искусственной аккомодирующей системы. В настоящее время проблема замены хрусталика искусственным уже решена. Операции имплантации искусственного хрусталика проводятся в массовом порядке. На очереди хрусталик аккомодирующий. Но можно ли решить эту исключительно сложную задачу, не расшифровав все тай-

ны, связанные с аккомодационным механизмом? Знание функции аккомодации важно для решения практических задач, связанных с работоспособностью зрительного анализатора, а также с генезом такого заболевания, как близорукость.

Понятие «аккомодация» относительно молодо: в 1841 г. Виггт ввел этот термин вместо бытовавшего ранее «адаптация», относившегося к приспособительной деятельности как оптической системы глаза, так и сетчатки.

Еще в XVII в. Sturm предложил, что приспособление к ясному зрению на различные расстояния происходит путем изменения переднезадней оси глазного яблока вследствие сдавливания его мышцами. Несмотря на то что Т. Юнг (1801) не определял удлинения переднезадней оси глазного яблока при аккомодации, эта точка зрения разделялась и позже [Listing J., 1839].

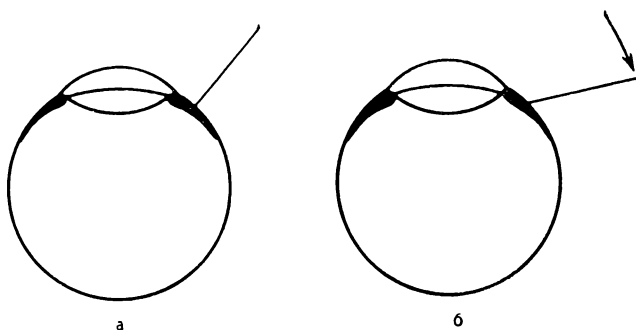
Высказывались мнения, что аккомодация является функцией зрачка, сужение которого при зрении вблизи уменьшает круги светорассеяния и создает ясность зрения, что при аккомодации изменяется кривизна роговицы и что аккомодативный процесс связан со смещением хрусталика вдоль оси глазного яблока [Scheiner Ch., 1619]. Наблюдения экспериментаторов и математические расчеты позволили убедиться в необоснованности этих предположений.

Впервые мысль о хрусталиковой природе аккомодации высказал в 1759 г. W. Porterfield; и только в 1823 г. Я. Пуркинье, описывая картину зеркальных рефлексов на хрусталике, доказал, что форма хрусталика в процессе аккомодации изменяется. Graemer (1851), стимулируя глаза животных электрическими импульсами, наблюдал изменение формы хрусталика.

С середины прошлого столетия до нашего времени продолжают накапливаться факты о механизме аккомодации. Изучение их представляет значительный интерес.

1. В процессе аккомодации кривизна передней капсулы хрусталика изменяется гораздо больше, чем задней капсулы. Усиление рефракции на 12 дптр ориентировочно сопровождается следующими сдвигами: радиус кривизны передней поверхности хрусталика уменьшается с 10 до 5,3 мм, задней поверхности — с 6 до 5,3 мм. Важно отметить, что обе поверхности хрусталика приобретают своеобразную форму, отличающуюся от правильной сферической. Преимущественное выпячивание параксиальной зоны обуславливает коноидную или эллипсоидную форму передней капсулы хрусталика на высоте напряжения аккомодации. В задней капсуле некоторое увеличение кривизны в центральной зоне сопровождается уплощением на периферии.

2. В ходе биомикроскопических исследований было установлено, что при аккомодации происходит перемещение волокон внутри хрусталика. Это послужило основанием для вывода о внутрихрусталиковой аккомодации; так



**Рис. 51.** Опыт Hensen и Völkers.

а — положение иглы в покое аккомодации; б — при напряжении аккомодации.

как изменениями внешнего контура хрусталика нельзя объяснить клинически наблюдаемый объем аккомодации, Гульстранд высказал мысль об усилении преломляющих свойств ядра хрусталика.

3. Увеличение толщины хрусталика приблизительно на 0,6 мм при аккомодативном усилении рефракции на 10 дптр.

4. Уменьшение диаметра хрусталика на 0,5—1 мм.

5. Уменьшение глубины передней камеры на 0,25—0,35 мм.

6. Смещение ресничного тела кпереди было доказано Hensen и Völkers (1873).

Опыт заключался в следующем (рис. 51): игла, вколота в склеру и ресничное тело, при напряжении аккомодации отклоняется своим свободным концом кзади. Перекос иглы объясняется смещением ее острия вместе с тканью ресничного тела кпереди.

7. Сужение кольца ресничного тела, выражающееся в перемещении его отростков по направлению к зрительной оси.

8. Расслабление ресничных поясков, удерживающих хрусталик, что приводит к смещению хрусталика книзу на 0,3 мм (рис. 52).

9. Расслабление капсулы хрусталика.

10. Расширение угла передней камеры.

Кроме перечисленных явлений, сопровождающих напряжение аккомодации, имеют значение особенности динамики аккомодационного процесса. При киносъемке фигурок Я. Пуркинью установлено, что напряжение аккомодации —

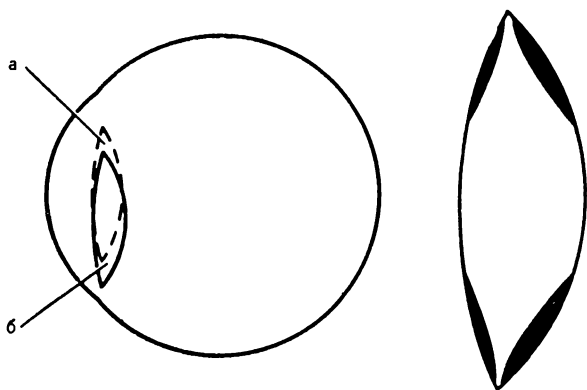


Рис. 52. Положение хрусталика в покое аккомодации (а), при напряжении аккомодации (б).

Рис. 53. Строение капсулы хрусталика по Е. F. Fincham.

относительно медленный процесс; расслабление происходит гораздо активнее.

Одним из основных свойств капсулы хрусталика является ее эластичность, способность к растяжению и принятию первоначального состояния. Прочность передней капсулы больше, чем задней, во всяком случае передняя капсула толще задней в 5 раз. Обе капсулы в центральной зоне тоньше, чем на периферии (рис. 53).

Представляет интерес строение ресничной мышцы — движителя аккомодационного механизма. Ресничная мышца состоит из трех компонентов, которые в силу морфологических и иннервационных особенностей расцениваются как отдельные мышцы: мышца Мюллера, мышца Брюкке и мышца Иванова. Циркулярные волокна мышцы Мюллера иннервируются парасимпатическими ветвями глазодвигательного нерва, меридиональные волокна мышцы Брюкке — симпатическим нервом. Иннервация и функция мышцы Иванова остаются неизученными.

Анатомия ресничных поясков детально изучена М. Davanger (1975) с помощью метода сканирующей электронной микроскопии. Автор установил, что ресничные пояски прикрепляются по круговой линии непосредственно впереди и сзади от экватора хрусталика, а некоторые — прямо к экватору. Они прикрепляются к краю ресничных отростков и не доходят до плоской части ресничного тела. Ресничные связки представляют собой мостик, соединяющий

кратчайшим путем хрусталик и отростки ресничного тела. Теория аккомодации. С середины прошлого столетия и до наших дней теория Г. Гельмгольца считается общепризнанной. По Г. Гельмгольцу, в покое аккомодации кольцо ресничного тела остается широким, что обуславливает натяжение ресничных поясков, которые в свою очередь создают тракцию капсулы хрусталика. Натяжение капсулы хрусталика в направлении экватора вызывает уплощение хрусталика и сохранение наименьшей преломляющей силы. При напряжении аккомодации кольцо ресничного тела суживается, ресничные пояски расслабляются, напряжение капсулы хрусталика падает и он в силу своей эластичности принимает более выпуклую форму, обуславливающую более сильное преломление. Напряжение аккомодации рассматривается как пассивный процесс восстановления более шаровидной формы поверхностей хрусталика.

Когда стало очевидным, что при увеличении кривизны передней капсулы хрусталика она принимает коноидную форму, появились предположения, что при увеличении преломляющей силы хрусталика на него действуют внешние силы. При этом подразумевалось стекловидное тело, оказывающее давление на экваториальный отдел хрусталика сзади. Однако Е. F. Frinham (цит. по W. S. Duke-Elder, 1970) объяснил асферичное выпячивание капсулы хрусталика своеобразной топографией ее толщины (см. рис. 53). Более тонкая и эластичная капсула в параксиальной области обуславливает преимущественное ее растяжение в этой зоне.

Работа аккомодационного аппарата. Аккомодационный механизм включается после поступления сигналов от различных отделов зрительного анализатора. Речь идет о следующих стимулах аккомодационного рефлекса:

- 1) нечеткость изображения на сетчатке; 2) изменение величины изображения на сетчатке (увеличение изображения указывает на приближение рассматриваемого объекта и вызывает напряжение аккомодации, уменьшение — расслабление аккомодации); 3) сознание дистанции (человек может по косвенным признакам оценить удаление предмета и привести в действие аккомодацию, чтобы предмет получил четкое изображение на сетчатке); 4) стимул от конвергенции возможен в условиях бинокулярного зрения.

Появление в поле зрения объекта, дающего на сетчатке нечеткое изображение, и начало изменения преломляющей

силы хрусталика разделяют промежуток времени в 0,3 с — время реакции аккомодации.

Если даже ни один из названных стимулов не включен, происходит толчкообразное напряжение и расслабление аккомодации амплитудой 0,2—0,4 дптр с частотой примерно 2 раза в 1 с. Назначение аккомодационных флюктуаций, по-видимому, связано с четкостью изображения на сетчатке.

**Покой аккомодации.** Согласно теории Г. Гельмгольца, под покоем аккомодации следует понимать полное расслабление ресничной мышцы, наступающее, например, в эметропическом глазу при зрении вдаль. Полное расслабление тонуса ресничной мышцы, точнее, двух ее компонентов: мышцы Мюллера и мышцы Брюкке, может быть достигнуто фармакологическим путем или наблюдаться после смерти организма. Но это расслабление вовсе не адекватно покою аккомодации с физиологической точки зрения.

Мышца Мюллера и мышца Брюкке являются антагонистами, они находятся в состоянии определенного тонуса. Покой аккомодации следует рассматривать как равновесие в действии названных мышц, регулируемое вегетативной нервной системой. Более сильные циркулярные волокна мышцы Мюллера обычно несколько преобладают над мышцей Брюкке.

Физиологическое состояние покоя аккомодации можно нарушить, воздействуя вегетативными ядами. Инстилляции раствора атропина (холинолитика) блокируют действие мышцы Мюллера, что приводит к некоторому расширению кольца ресничного тела и ослаблению рефракции примерно на 0,8 дптр, хотя в отдельных случаях сдвиг рефракции бывает и большим, и меньшим. Ослабление рефракции носит временный характер, и после прекращения действия атропина рефракция приходит к исходному состоянию. При закапывании раствора эзерина (холиномиметика) также нарушается физиологический покой аккомодации, сужение кольца ресничного тела обуславливает изменение рефракции в сторону близорукости.

У человека постоянно нарушается обычное взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, что сказывается на функции мышц ресничного тела. Так, в условиях сумеречного освещения за счет усиления тонуса парасимпатической системы повышается тонус мышцы Мюллера, что выражается некоторой миопизацией глаза, носящей название сумеречной миопии.

Было бы неправильно рассматривать сумеречную миопию как болезнь, так как она носит функциональный характер и обусловлена своеобразным для сумеречного освещения покоем аккомодации.

Нарушение обычного баланса между мышцами — антагонистами ресничного тела возникает при использовании оптических систем, например бинокля. Влияние нескольких факторов, таких как увеличение изображения на сетчатке рассматриваемого предмета, сужение поля зрения, нахождение в поле зрения близко к глазу массивных деталей (окуляров), вызывает повышение тонуса мышцы Мюллера, и эметропический глаз становится миопическим. Степень так называемой инструментальной миопии имеет значительные индивидуальные различия, но среднее ее значение составляет 1,5 дптр. Инструментальная миопия служит серьезной помехой при использовании зрительной трубы в качестве рефрактометрического устройства.

По Г. Гельмгольцу, полное расслабление аккомодации должно наступить во время сна, при отсутствии стимулов к аккомодации и вообще к зрительной деятельности. Но при рефрактометрии у спящих людей с нормальным зрением обнаружена близорукость порядка 3—4 дптр. Повышение во время сна тонуса блуждающего нерва и всего парасимпатического отдела вызывает заметное нарушение установившегося покоя аккомодации в условиях бодрствования. Вследствие повышения тонуса мышцы Мюллера возникает близорукость. По нашему мнению, следует говорить о своеобразном покое аккомодации в условиях изменившегося функционального состояния вегетативной нервной системы.

Положительная и отрицательная аккомодация. В эксперименте можно создать такие условия, чтобы в поле зрения исследуемого глаза отсутствовали объекты, которые могли бы привлечь внимание и послужить стимулом к аккомодации. Установлено, что в условиях пустого поля взаимодействие мышц Мюллера и Брюкке обуславливает установку эметрического глаза в пространстве на удалении приблизительно 1 м от глаза.

При появлении объекта в поле зрения действие аккомодационного аппарата зависит от того, где располагается данный объект. Если он оказался ближе зоны, в которую первоначально был установлен глаз, происходит напряжение мышцы Мюллера. Приспособление к четкому зрению в пределах близко расположенного пространства носит название положительной аккомодации. Если же рас-

смаатриваемый объект оказался в бесконечности, срабатывает отрицательная аккомодация, характеризующаяся напряжением мышцы Брюкке. Следовательно, способность человека с нормальным зрением видеть на далекие расстояния следует рассматривать как активный процесс, а не как пассивное расслабление ресничной мышцы до состояния полного покоя, как полагал Г. Гельмгольц. Понятия положительной и отрицательной аккомодации адекватны понятиям аккомодации вблизи и аккомодации вдаль, которые предлагала У. Х. Мусайбели.

Связь аккомодации с конвергенцией. Под конвергенцией понимают сведение зрительных осей глазных яблок на точке фиксации, под дивергенцией — разведение зрительных осей. Аккомодация и конвергенция — два сочетанных процесса, оказывающих взаимное влияние. Связь аккомодации с конвергенцией в каждом конкретном случае имеет большие индивидуальные различия и в клинических условиях измеряется соотношением:

$$AK/A = \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{D_{акк}},$$

где  $AK/A$  — аккомодативная конвергенция;  $\Phi_0$  — исходное состояние гетерофории;  $\Phi_1$  — степень гетерофории при напряжении аккомодации;  $D_{акк}$  — степень напряжения аккомодации в диоптриях.

Методика измерения аккомодативной конвергенции состоит в следующем. Обследуемого усаживают перед шкалой Маддокса и перед одним глазом устанавливают палочку Маддокса. Регистрируют состояние мышечного равновесия ( $\Phi_0$ ) по положению вертикальной полосы. Затем перед другим глазом ставят рассеивающую линзу, например в 3 дптр, вызывая напряжение аккомодации и изменяя состояние мышечного равновесия  $\Phi_1$ . Используя бипризму Гершеля, сдвигают вертикальную полосу в первоначальное положение, измеряя тем самым величину  $\Phi_1 - \Phi_0$ . Предположим, она равна 10,5 прдптр. Искомая величина  $AK/A = \frac{10,5}{3} = 3,5$  прдптр/дптр.

Среднее значение аккомодативной конвергенции составляет 3—5 прдптр. Ослабленная способность аккомодативной конвергенции предрасполагает к астиопии.

Влияние конвергенции и дивергенции на аккомодацию менее изучено. Как указывалось выше, конвергенция является стимулом аккомодационного рефлекса. Импульсы от конвергенционно-дивергенционного аппарата способны влиять на взаимоотношение тонуса мышцы Мюллера и мышцы Брюкке, что становится очевидным при анализе феномена

дивергентной дезаккомодации [Дашевский А. И., 1973]. Обследуемому, например с легкой степенью близорукости (1 дптр), предлагают смотреть с дистанции 5 м на таблицу для определения остроты зрения. Затем в пробную оправу помещают призму (2—4 прдптр) основанием к виску. Опыт удается не у всех пациентов, но если удастся, то после приставления призмы острота зрения повышается на 1—3 строчки, а приставление пробных линз позволяет уменьшить близорукость на 0,25—0,5 дптр. Феномен объясняется следующим образом: приставление призмы вызывает легкое двоение, которое возбуждает фузионный рефлекс. Напряжением наружных прямых мышц, т. е. напряжением дивергенции, двоение ликвидируется, что сопровождается передачей импульса на аккомодационный аппарат. Равновесие сил мышцы Мюллера и мышцы Брюкке нарушается в пользу последней — кольцо ресничного тела расширяется и рефракция глаза становится слабее за счет уплощения хрусталика. А. И. Дашевский считает, что феномен дивергентной дезаккомодации особенно отчетливо проявляется в начальных стадиях спазма аккомодации.

Известен феномен, называемый физиологической экзофорией для близи. Суть феномена состоит в следующем: если у человека имеется экзофория при зрении вдаль, то при зрении вблизи экзофория увеличивается. При исходной экзофории последняя может уменьшаться, превращаться в ортофорию или даже в легкую экзофорию. Явление физиологической экзофории А. И. Дашевский (1973) объясняет конвергентным удлинением глазного яблока за счет сдавления его наружными мышцами. Временное увеличение переднезадней оси глаза обуславливает меньшую потребность в аккомодации, что в конечном итоге проявляется в меньшей конвергенции, т. е. экзофории для близи.

По данным А. И. Дашевского (1973), средняя величина физиологической экзофории для расстояния 33 см составляет 2,6 призмных дптр. Если принять во внимание ориентировочное соотношение в деятельности аккомодации и конвергенции: 1,0 дптр аккомодации соответствует 6 призмным дптр конвергенции, то 2,6 призмных дптр соответствуют 0,43 дптр аккомодации.

По нашему мнению, возникновение физиологической экзофории вполне может быть объяснено глубиной фокусной области. Предположим, человек с нормальным зрением фиксирует в бесконечности точку Р, находясь при этом в состоянии ортофории (рис. 54, а). Для перевода взгляда

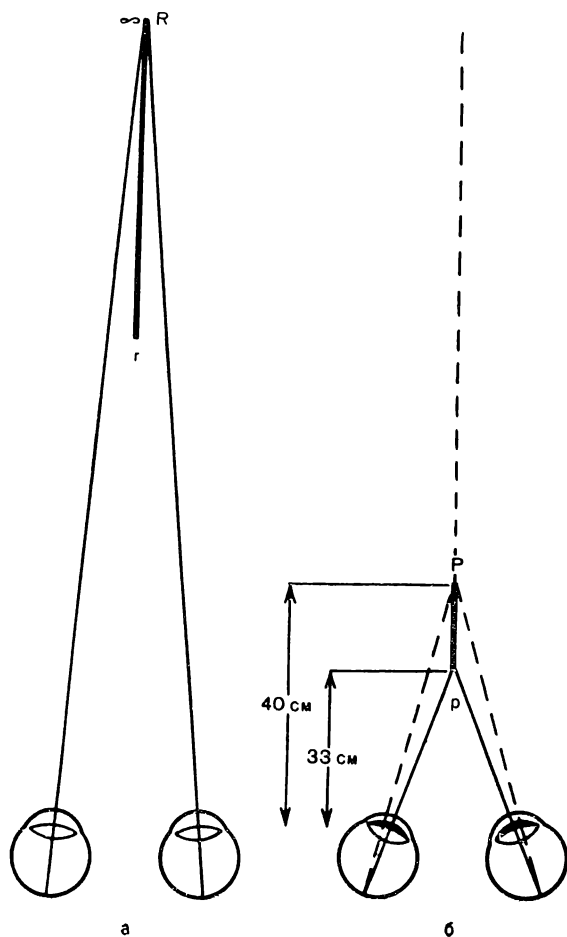


Рис. 54. Область ясного зрения.

а — Rг за счет глубины фокуса; б — Рр — при аккомодации на 2,5 дптр.

в точку р в 33 см от глаза (рис. 54, б) нет необходимости аккомодировать на 3,0 дптр ( $\frac{0,33}{1} = 3,0$ ). Напряжение аккомодации на 2,5 дптр создает такое расположение фокусной области, которое обеспечивает ясное зрение в пространстве в пределах 40—33 см. Несколько ослабленная аккомодация, а следовательно, и меньшее напряжение конвергенции, выражающееся в экзофории для близи, сопряжены с существованием фокусной области. Возникает

сомнение относительно растяжения глазного яблока в ритме напряжения конвергенции, что исключительно важно для понимания сущности процесса миопизации.

**Аккомодация при близорукости.** Имеется большое число исследований, указывающих на патологию аккомодационного аппарата при близорукости. Э. С. Аветисов (1986) указывает на то, что нарушение устойчивости аккомодации имеет место уже при миопии слабой степени. При средней и высокой степени миопии ухудшение работоспособности цилиарной мышцы выражено в большей мере. Наиболее чувствительным показателем нарушения аккомодационной функции оказалось уменьшение запаса (положительной части) относительной аккомодации с 5,0 дптр до 1,75 дптр. Ранее А. И. Дашевский (1973) находил в качестве раннего признака патологии аккомодации снижение резерва аккомодации до 0—2,0 дптр.

По мнению Э. С. Аветисова (1986), ослабление функции аккомодации следует рассматривать как первичное звено в цепи патогенетических изменений миопической болезни.

Нами [Сергиенко Н. М., Рыков С. А., 1987] установлена корреляционная зависимость между функцией аккомодации и морфологическими особенностями переднего сегмента глазного яблока, в частности диаметра роговицы и диаметра склерального кольца над цилиарным телом. Исследовались две группы людей, страдающих близорукостью в возрасте от 10 до 18 лет. В 1-ю группу (40 человек) вошли люди с запасом аккомодации более 4,0 дптр и резервом аккомодации более 6,0 дптр. Во 2-й группе (80 человек) были пациенты с запасом и резервом аккомодации менее 1,5 дптр. В результате установлено, что в 1-й группе с нормальной аккомодативной функцией и во 2-й группе с пониженной аккомодативной функцией диаметр роговицы составил соответственно  $10 \pm 0,28$  мм и  $11,96 \pm 0,21$  мм, диаметр склерального кольца над цилиарным телом  $13,48 \pm 0,081$  мм и  $14,63 \pm 0,096$  мм, преломляющая сила хрусталика —  $26,03 \pm 2,7$  дптр и  $22,86 \pm 0,42$  дптр. Анализ полученных данных позволяет констатировать растяжение переднего отрезка глазного яблока у лиц с ослабленной аккомодацией, при этом отмечается заметное (более 3 дптр) ослабление преломляющей силы хрусталика, по-видимому, вследствие растяжения кольца цинновых связок.

Зрительная нагрузка при чтении вызывает повышение температуры передней части глаза, вероятно, за счет уси-

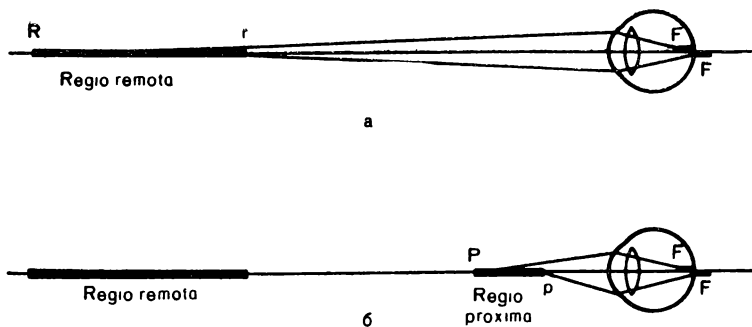
ленного притока крови, а это вызывает усиление продукции внутриглазной жидкости. Нормальная функция путей оттока позволяет удерживать внутриглазное давление практически на этом же уровне. Гониоскопические исследования глаз с прогрессирующей близорукостью дают возможность обнаружить значительные изменения в углу передней камеры: гониосинехии, отложения в виде войлока, новообразованные сосуды и др. [Сергиенко Н. М., Кондратенко Ю. Н., 1986], что создает базис для умеренной гипертензии.

Клинический фокус и кажущаяся аккомодация. Идентификация человеческого глаза с идеальной оптической системой схематического глаза сопряжена с ошибочным представлением, что глаз в определенном фиксированном состоянии аккомодации установлен только в одну точку пространства. В покое аккомодации такой точкой является дальнейшая точка ясного зрения (*punctum remotum*), лежащая, например при близорукости, где-то между бесконечностью и глазом. Для того чтобы человек ясно видел предмет, расположенный ближе дальнейшей точки ясного зрения, требуются активная деятельность аккомодационного аппарата и усиление физической рефракции глаза.

В состоянии максимального напряжения аккомодации глаз устанавливается в ближайшую точку ясного зрения, а дистанция между дальнейшей и ближайшей точками ясного зрения составляет ширину аккомодации.

В действительности способность глаза к ясному зрению на различные расстояния выглядит так: предположим, глаз с легкой степенью близорукости (рис. 55, а) смотрит на точку R, при этом задний край клинического фокуса F касается сетчатки. Качество изображения на сетчатке оптимальное, так как на глазном дне образуются минимальные фигуры светорассеяния, позволяющие иметь нормальную остроту зрения.

Если рассматриваемый объект смещать ближе к глазу, а состояние аккомодации сохранить таким же, то клинический фокус своим передним краем совместится с сетчаткой. Качество изображения на сетчатке не изменится, потому что диаметр фигур светорассеяния останется таким же. Следовательно, условия для центрального зрения оказываются совершенно идентичными, когда глаз смотрит на точки R и r и, конечно, на все точки, расположенные между ними. Глаз в абсолютном покое аккомодации способен к ясному зрению не только в дальнейшей точке яс-



**Рис. 55.** Сопряжение глубины клинического фокуса с дальнейшей областью ясного зрения (а) и ближайшей областью ясного зрения (б) (объяснения в тексте).

ного зрения, а в определенном пространстве — дальнейшей области ясного зрения (*regio remota*).

Протяженность дальнейшей области ясного зрения имеет индивидуальные отличия, обусловленные особенностями клинического фокуса. Аналогичная картина наблюдается при максимальном напряжении аккомодации (рис. 55, б). Расположенная на зрительной линии точка *P* образует четкое изображение на сетчатке в связи с тем, что при рассматривании этой точки задний край клинического фокуса касается сетчатки. Такое же изображение на сетчатке получается и от точки *p*. Клинический фокус, формируемый лучами от точки *p*, касается сетчатки уже передним краем. Напряжение аккомодации сохраняется фиксированным, а глаз тем не менее обладает ясным зрением не в одной точке, а в зоне, ограниченной точками *P* и *p*, — ближайшей областью ясного зрения (*regio proxima*).

Расположение дальнейшей и ближайшей областей ясного зрения при трех видах клинической рефракции и достаточно большой аккомодативной способности показано на рис. 56. Наиболее выгодные условия складываются при эметропии и гиперметропии, так как дистанция между дальнейшей и ближайшей областями ясного зрения охватывает пространство — от бесконечности до непосредственной близости к глазу. Глаз может четко видеть любой объект, лежащий в диапазоне ширины аккомодации. При близорукости, особенно высокой степени, ширина аккомодации ограничена небольшим пространством перед глазом.

Аккомодационная способность, измеренная в диоптриях,

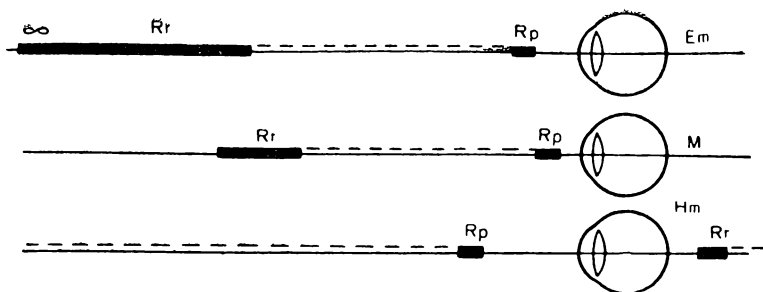


Рис. 56. Дальнейшая и ближайшая области ясного зрения при эмметропии, миопии и гиперметропии (объяснения в тексте).

называется объемом аккомодации, который вычисляют по формуле:

$$A = \frac{1}{P} - \frac{1}{R} - F, \quad (3.1)$$

где  $A$  — объем аккомодации;  $P$  — ближайшая точка ясного зрения;  $R$  — дальнейшая точка ясного зрения;  $F$  — глубина клинического фокуса.

Эта формула отличается от общеизвестной формулы определения объема аккомодации Дондерса лишь тем, что в нее введена величина  $F$ , соответствующая глубине клинического фокуса. В тех случаях, когда объем аккомодации выражается большими величинами, например 8—12 дптр, поправка на величину  $F$  не играет существенной роли. Однако если объем аккомодации составляет 0,5—1 дптр или еще меньше либо аккомодация вовсе отсутствует, значение поправки оказывается принципиально важным. В практике оценка кажущейся аккомодации имеет существенное значение в следующих случаях: 1) после применения циклоплегических средств; 2) при измерении истинной аккомодативной способности у лиц пожилого возраста; 3) при оценке так называемой афакической аккомодации.

В формуле (3.1) имеется величина  $R$ , обозначающая положение дальней точки ясного зрения, местонахождение которой иногда очень трудно или просто невозможно определить. Например, при гиперметропии она вообще отсутствует и имеет лишь математический смысл. Между тем дробь  $\frac{1}{R}$  есть не что иное, как степень клинической рефракции. Поэтому величину  $\frac{1}{R}$  целесообразно заменить

величинами —М или +Н, обозначающими степень близорукости или дальнозоркости.

Выше упоминалось, что глубина клинического фокуса равна 0,5—0,6 дптр при диаметре зрачка 5 мм. Такие значения глубины клинического фокуса получены в условиях строгого эксперимента для пороговых тестов определения ясности зрения. В проксиметре в лучшем случае используются знаки, соответствующие низшей градации нормальной остроты зрения, т. е. 1,0. Поэтому в формулу целесообразно было бы подставить значение глубины клинического фокуса, если бы она измерялась не пороговыми, а субпороговыми тестами. За счет неизбежной погрешности методики величина возрастает до 0,9 дптр при диаметре зрачка 5 мм и до 1,2 дптр при диаметре зрачка 3 мм. В итоге формула определения объема аккомодации при диаметре зрачка 5 мм имеет следующий вид:

$$A = \frac{1}{P} - \frac{1}{R} - 0,9. \quad (3.2)$$

**Методы исследования аккомодационной способности. Проксиметрия.** Метод проксиметрии заключается в определении ближайшей точки ясного зрения. Проксиметр состоит из рейки длиной 50—70 см, заканчивающейся двумя упорами, и ползунка с пластинкой, к которой фиксирована табличка с пробными зрительными знаками. Б. Л. Радзиховский (1965) справедливо отмечает, что знаки в проксиметре не могут быть одинаковой величины, так как оценивать их четкость приходится с различных дистанций. Буква, рассматриваемая с дистанции 50 см, с угловыми размерами штрихов 1', помещенная на удалении 25 см от глаза, приобретает угловые размеры штрихов 2'. В первом случае буквенный знак соответствует условиям исследования, во втором он оказывается грубым тестом, так как эквивалентен остроте зрения 0,5. Поэтому проксиметр должен быть снабжен таким набором знаков различного размера, чтобы для каждой дистанции имелись знаки с угловыми размерами штрихов в пределах 1'. Характер знаков (букв, колец Ландольта и др.) не имеет существенного значения.

В качестве зрительных тестов можно использовать буквы, вырезанные из таблиц, выпускаемых для исследования остроты зрения на близком расстоянии. Выбор номера шрифта для предъявления испытуемому при работе с проксиметром представлен ниже.

Номер шрифта стандартной таблицы	Положение ближайшей и дальнейшей точек ясного зрения (см)
1	32 и ближе
2	33—34
3	35—40
4	41—45
5	46—55
6	56—67

На расстоянии менее 32 см даже самый мелкий шрифт не удовлетворяет требованиям исследования и является источником погрешностей.

Методика работы с проксиметром проста. Испытуемый одной рукой держит проксиметр, прижимая упоры к наружным краям орбиты, и садится так, чтобы табличка со знаками была хорошо освещена. Исследование проводится монокулярно или бинокулярно. Свободной рукой исследуемый отодвигает ползунок по самое дальнее расстояние, на котором буквы еще можно четко различить, и медленно передвигает ползунок к себе. Врач следит за положением ползунка на шкале и указывает испытуемому, на какой шрифт следует смотреть. Положение ближайшей точки ясного зрения регистрируется в момент затуманивания рассматриваемых букв. Приближать ползунок следует медленно, чтобы дать возможность максимально напрячь аккомодацию.

Если при максимальном удалении ползунка шрифт четко различить не удастся, испытуемому следует надеть пробную оправу с корригирующими линзами. Например, у человека 50—55 лет с нормальным зрением ближайшая точка ясного зрения удаляется настолько, что рейки проксиметра не хватает для ее определения, тогда в оправу вставляют линзу с таким расчетом, чтобы ближайшая точка ясного зрения передвинулась на расстояние 25—40 см от глаза. После вычисления объема аккомодации из полученного значения вычитают силу собирающей линзы.

Зная положение ближайшей точки ясного зрения и клинической рефракции, по формуле (3.2) вычисляют объем аккомодации.

Исследование резерва аккомодации. Если при проксиметрии у испытуемого использованы все стимулы, вызывающие аккомодационный рефлекс, то при исследовании резерва аккомодации срабатывает лишь один стимул — нечеткость изображения на сетчатке. Исследование выполняется в следующем порядке. Аномалия рефракции и астигматизм полностью корригируют. Перед глазом ставят вогнутую линзу силой 0,5—1 дптр, при этом исследуемый испытывает неприятное ощущение, так как острота зрения несколько снижается, что вызывает напряжение аккомодации. Система глаз+линза снова становится эмметропической и острота зрения восстанавливается, после чего отрицательной линзой усиливают нагрузку на 1 дптр. Силу отрицательных линз увеличивают до тех пор, пока глаз способен усилием аккомодации восстановить остроту зрения до 1,0. В таких условиях максимальное значение отрицательной линзы соответствует величине резерва аккомодации. Обычно резерв аккомодации равен  $\frac{2}{3}$  величины объема аккомодации, однако у лиц с нормальным состоянием органа зрения могут быть значительные отклонения в ту и другую сторону от названного соотношения.

Эргография. Положение ближайшей точки ясного зрения характеризует аккомодативную способность, однако проксиметрия лишь приблизительно отражает функциональное состояние ресничной мышцы. Получив при максимальном напряжении аккомодации какое-либо положение ближайшей точки ясного зрения, нельзя быть уверенным, что этот глаз при необходимости способен повторить один или несколько раз адекватное напряжение аккомодации. Другими словами, однократное измерение положения ближайшей точки ясного зрения не отражает работоспособности ресничной мышцы.

Метод эргографии предназначен для последовательного определения положения ближайшей точки ясного зрения в течение определенного промежутка времени (3—7 мин). Эргограф можно рассматривать как механизированный проксиметр, в котором перемещение тест-объек-

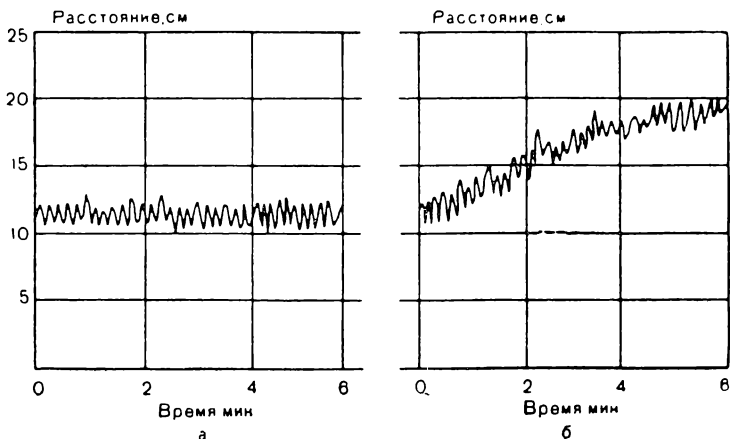


Рис. 57. Эргограмма глаза с нормальной (а) и пониженной (б) работоспособностью ресничной мышцы.

та осуществляется двигателем, а записывающее устройство регистрирует результаты исследования.

Эргограф снабжен рейкой с подвижной кареткой, несущей экран с оптотипами. Испытуемый устанавливает голову у лобного упора и, используя переключатель хода каретки, приближает и удаляет оптоотипы относительно своих глаз. Оптотип приближают до тех пор, пока он не станет неразличимым (ближайшая точка ясного зрения), затем отодвигают, пока он не станет отчетливо видимым (ближняя точка ясного зрения).

При исследовании работоспособности ресничной мышцы получено 4 типа эргограмм [Аветисов Э. С., 1973]. На рис. 57 показаны 2 эргограммы, характеризующие нормальную и явно пониженную работоспособность ресничной мышцы.

**Циклоплегия и остаточная аккомодация.** В практике рефрактометрии для подавления аккомодативной деятельности широко используются медикаментозные средства. Циклоплегия имеет положительные стороны: в частности, снимается «игра аккомодации», неизбежно возникающая в окружении близко расположенных предметов, и врач может получить стабильные данные рефрактометрии; облегчается наблюдение за скиаскопическим рефлексом. С другой стороны, циклоплегия сопровождается действием ряда отрицательных факторов. Во-первых, состояние рефракции под влиянием циклоплегических средств, как правило, неадекватно физиологическому состоянию клинической рефракции, поэтому данные рефрактометрии не могут быть использованы непосредственно при выписывании очков. Врачу приходится уточнять данные рефрактометрии после прекращения действия циклоплегиков. Во-вторых, при расширении зрачка освобождается периферическая зона оптической системы, в которой рефракция нередко значительно отличается от рефракции в центральной зоне. Если не дифференцировать движение скиаскопического рефлекса в центре и на периферии зрачка, можно допустить ошибку. И в-третьих, закапывание мидриатиков не всегда безразлично для организма, особенно детского, и может вызвать отравление, сопровождающееся об-

щим двигательным возбуждением и гиперемией кожного покрова. Для предотвращения отравления 1% раствор атропина закапывают только детям школьного возраста; детям 3—7 лет целесообразно закапывать 0,5% раствор препарата, детям до 3 лет — 0,1—0,25% раствор.

В нашей стране в послевоенные годы широко применялся метод длительного закапывания мидриатиков (в течение 10 дней и более). Скиаскопию проводили на 3-й, 6-й и 10-й день после начала закапывания. Идентичные данные рефрактометрии при последних двух исследованиях дают право говорить о полном параличе аккомодации и о достоверности результатов скиаскопии. Если же на 10-е сутки отмечалось ослабление рефракции, то рекомендовалось продолжать атропинизацию. Практика длительной атропинизации не оправдала себя. Как бы ни был опытен врач, при повторных скиаскопических исследованиях не исключено несовпадение данных, особенно при выраженных оптических аберрациях, в силу неточности самого метода. Ослабление рефракции, отмеченное как следствие ошибки скиаскопии, служило основанием для неоправданного продолжения атропинизации.

Исследования показали, что дробное закапывание мидриатиков (3 раза через 3—5 мин) в большинстве случаев вызывает такую же степень циклоплегии, как и многодневная атропинизация. У некоторых людей длительная атропинизация вызывает несколько более глубокую циклоплегию (не более 1 дптр), однако этот факт не имеет большого клинического значения, так как при назначении корректирующих очков следует ориентироваться на естественное состояние ресничной мышцы.

Многодневная атропинизация (не более 5 дней) оправдана только при первичном обследовании детей. Кроме раствора атропина, широко используют 1% раствор гоматропина гидробромида, 0,5% раствор амизила, циклоборин. Имеются указания [Мусайбели У. Х., Адигезалова-Полчаева К. И., 1958], что действие названных средств ускоряется и усиливается, если их сочетать с адреносиметическими препаратами (гидрохлорид адреналина, мезатон), активизирующими работу мышцы Брюкке.

Вопрос о рациональном методе циклоплегии должен быть рассмотрен и в экономическом плане, так как длительное выключение аккомодации лишает человека нормальной работоспособности.

Большинство исследователей, занимавшихся изучением эффективности циклоплегиков, пришли к выводу, что не существует такого средства, которое бы полностью лишало глаз аккомодативной способности. Всегда определяется остаточная аккомодация. Исследование остаточной аккомодации имеет практическое значение, так как позволяет врачу судить о том, достигнуто ли полное расслабление аккомодации и есть ли смысл в дальнейшем применении циклоплектиков.

Использование формулы (3.2) для определения объема аккомодации и соблюдение правил работы с проксиметром позволяют точно измерить величину истинной остаточной аккомодации и дифференцировать ее от кажущейся аккомодации за счет глубины клинического фокуса. Оценивая

сущность уточненной формулы (3.2) и сравнивая ее с формулой Дондерса, не учитывающей глубину фокусной области глаза, следует отметить, что аккомодационную способность в пределах 1 дптр, которая проявляется после применения циклоплегиков, нельзя рассматривать как истинную аккомодацию. Это кажущаяся аккомодация, пассивная способность видеть на разные расстояния благодаря глубине клинического фокуса. Только превышение аккомодационной способности более 1 дптр дает право думать о сохранившейся истинной аккомодации. Незначительные, казалось бы, методические погрешности могут существенно повлиять на результаты исследования. Стоит пренебречь фактором влияния диафрагмы и поставить вместо пятимиллиметровой диафрагмы двухмиллиметровую, возникнет ошибка в пределах 0,5 дптр. Погрешность может быть еще больше, если положение ближайшей и дальней точек ясного зрения отмечать не в момент затуманивания, а в момент полного неразличения тест-объектов.

Работа с проксиметром связана с субъективными ощущениями испытуемого, поэтому при неустойчивом внимании вполне вероятны отклонения от средних значений глубины фокусной области.

Остаточная аккомодация может быть зарегистрирована с помощью не только проксиметра, но и обычной таблицы для определения остроты зрения и набора пробных линз. При таком варианте исследования остаточную аккомодацию называют остаточным резервом аккомодации.

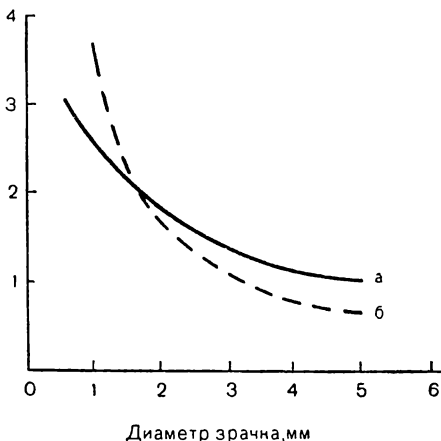
Аккомодационная способность при афакии. Понятие афакической аккомодации было введено еще в прошлом столетии для определения аккомодационной способности глаза после экстракции катаракты. Вопрос об афакической аккомодации имеет как теоретическое, так и практическое значение. В практическом отношении наличие аккомодации при афакии чрезвычайно важно, так как глаз, лишенный единственного аккомодирующего инструмента — хрусталика, может ясно различать объекты на различных расстояниях. В теоретическом плане явление афакической аккомодации само по себе было загадкой, парадоксом, потому что еще никому не удалось установить какой-либо иной механизм аккомодации в человеческом глазу, кроме хрусталикового.

Объем афакической аккомодации, по данным различных авторов, колеблется в широких пределах, чаще 1—3 дптр. Имеются сообщения о казуистических случаях еще большей аккомодационной способности.

**Рис. 58.** Зависимость между диаметром зрачка и объемом аккомодации.

а — в эксперименте; б — теоретические данные при остроте зрения 1,0.

Объем аккомодации дптр



На рис. 58 графически представлены результаты измерения афактической аккомодации и теоретические данные глубины клинического фокуса для тестов, соответствующих остроте зрения 1,0. Близкое расположение обеих кривых позволяет сделать вывод, что аккомодационная способность исследованных нами глаз есть не что иное, как проявление клинического фокуса.

В заключение следует отметить, что при удалении хрусталика качество оптической системы глаза в целом не улучшается, так как развивается послеоперационный роговичный астигматизм, который, как правило, больше физиологического. Если имеется некорригируемый астигматизм (физиологический или послеоперационный), то создаются условия для формирования клинического фокуса. Зрачок иногда смещается вверх, поэтому достаточно небольшого, едва заметного прищуривания или просто опущения верхнего века, чтобы прикрыть верхнюю часть зрачка и оставить в качестве функционирующего зрачка узкое отверстие неправильной формы, шириной не более 1—1,5 мм. При таком зрачке способность четко различать знаки с угловыми размерами деталей 1' увеличивается и составляет примерно 2—2,5 дптр.

**Возрастные изменения аккомодации.** Впервые закономерности возрастного ослабления аккомодационной способности были изучены F. C. Donders, построившим схему динамики дальней и ближайшей точек ясного зрения в возрастном аспекте. В схеме имеются 2 кривые линии, отражающие положение дальней и ближайшей точек ясного зрения в различные возрастные периоды на при-

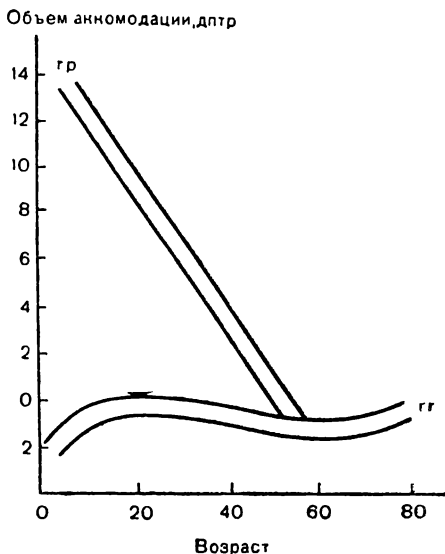
мере эмметропического глаза. Не описывая подробно схему, укажем на две очевидные неточности, допущенные в ней. F. C. Donders допускает слияние дальней и ближайшей точек ясного зрения в возрасте около 78 лет, что означает абсолютное исчезновение аккомодационной способности. A. N. Duane (1922) и Б. Л. Радзиховский (1965) на большом клиническом материале показали, что в старческом возрасте не происходит слияния дальней и ближайшей точек ясного зрения.

Строгая закономерность снижения аккомодационной способности резко обрывается к 55 годам. С этого возраста объем аккомодации стабильно держится на уровне примерно 1 дптр в течение всей последующей жизни.

В течение жизни изменяется не только аккомодационная способность, но и клиническая рефракция. F. C. Donders справедливо отмечает, что в зрелом возрасте происходит сдвиг клинической рефракции в сторону гиперметропии, поэтому в его схеме кривая, выражающая положение дальней точки ясного зрения, опускается вниз. Однако F. C. Donders не отразил состояние миопизации глаза в старческом и рефракции в раннем детском возрасте.

При построении уточненной схемы возрастного изменения аккомодационной способности и клинической рефракции нами использованы данные F. J. Slataper (1950) и других авторов о возрастной динамике клинической рефракции. Мы исходили еще и из того, что глаз в определенном фиксированном состоянии аккомодации благодаря глубине клинического фокуса установлен не на точку, а на отрезок зрительной линии, например на дальнейшую область ясного зрения. В модифицированной схеме (рис. 59) имеются 2 пары черных полос. Одна из них (гр) отражает перемещение ближайшей области ясного зрения (*regio proxima*) в течение жизни. Дистанция между параллельными полосами соответствует глубине клинического фокуса. Другая пара полос (гг) указывает на изменение положения дальнейшей области ясного зрения (*regio remota*) в возрастном аспекте. Ход ее дает наглядное представление о том, что сразу после рождения человека глаз обладает гиперметропической рефракцией до 3 дптр. В дальнейшем рефракция усиливается в сторону эмметропии и держится на этом уровне до 40-летнего возраста. Затем начинается сдвиг рефракции в сторону дальнозоркости, а после 65 лет происходит усиление рефракции. После 85 лет типичной рефракцией становится близорукость легкой степени. Вероятно, усиление рефракции в старческом возрасте явля-

**Рис. 59.** Возрастные изменения аккомодации (объяснения в тексте).



ется следствием повышения преломляющих свойств хрусталика.

Полосы *gr* и *rr* направляются навстречу друг другу и сливаются (соответственно возрасту 55 лет), выражая полное угасание истинной аккомодационной активности, а дистанция между полосами адекватна глубине клинического фокуса и объясняет кажущуюся аккомодацию у лиц пожилого и старческого возраста.

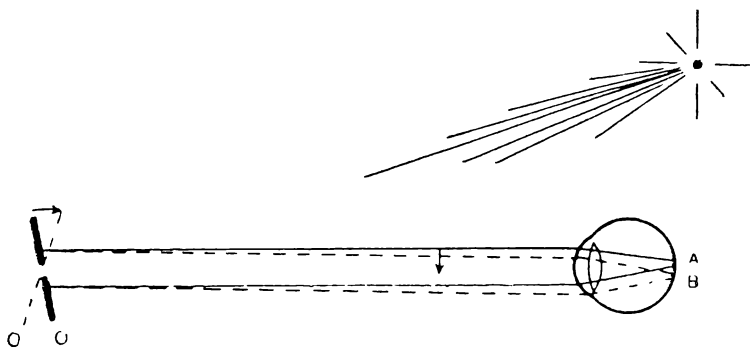
## РЕФРАКТОМЕТРИЯ

Методы рефрактометрии делятся на две большие группы: объективные и субъективные. Несмотря на бесспорное преимущество объективных методов, каждое объективное исследование, как правило, завершается корректировкой субъективными методами.

**Объективные методы.** Различают две подгруппы объективных методов рефрактометрии.

1. Объективные по отношению к пациенту и субъективные по отношению к врачу. Примером может служить скиаскопия, объективные данные которой могут быть получены через субъективную оценку врачом скиаскопического рефлекса исследуемого.

2. Объективный по отношению и к исследуемому, и ис-



**Рис. 60.** Ход лучей, направляемых в глаз при скиаскопии (объяснения в тексте).

следующему, реализуемый при помощи рефрактометрического автомата.

**Скиаскопия** проводится в темной комнате. Врач садится на расстоянии 1 м от исследуемого. Источники света находятся слева и сзади от пациента. Рассмотрим отдельно ход лучей, направленных в глаз и отраженных от глазного дна.

**Ход лучей, направленных в глаз.** Лучи от источника света падают на зеркало, отражаются от него и направляются в сторону исследуемого глаза (рис. 60). При легких качательных движениях зеркала вокруг горизонтальной оси пучок света, идущий от зеркала, также совершает качательные движения вверх—вниз. Свет, проникающий через оптическую систему, освещает небольшую часть глазного дна. При качании зеркала происходит соответствующее перемещение освещенной зоны по глазному дну. Если зеркало поворачивается вниз, например из положения  $O$  в положение  $O'$ , то вниз смещается и освещенная зона на глазном дне из области  $A$  в область  $B$ . Принципиально важным является то обстоятельство, что перемещение светлого пятна по глазному дну не зависит от вида и степени клинической рефракции, таким образом при скиаскопии с плоским зеркалом светлое пятно на глазном дне всегда перемещается в ту же сторону, что и зеркало.

**Ход лучей, отраженных от глазного дна.** Каждую точку глазного дна можно рассматривать как самостоятельный источник света, от которого лучи выходят через зрачок в пространство перед глазом. Нет необходимости доказывать, что если лучи, падающие в глаз извне,

пересекаются вследствие физиологического астигматизма не в точке, а в широкой фокусной области (клиническом фокусе), то лучи, отраженные от глазного дна, пересекутся не в точке, а в широкой зоне в пространстве перед глазом. Положение этой зоны зависит от вида и степени клинической рефракции, так как зона пересечения отраженных лучей точно соответствует положению дальней области ясного зрения. Например, при близорукости 1 дптр зона пересечения отраженных лучей располагается ориентировочно на расстоянии 70—100 см от глаза. При близорукости высокой степени эта зона значительно приближается к глазу — до нескольких сантиметров. По нашим данным [Сергиенко Н. М., Гриненко Л. И., 1971], зона неопределенного движения скиаскопического рефлекса эквивалентна 0,5 дптр, по Н. Schober (1967), она равна 0,75 дптр.

Вращая зеркало, врач следит за зрачком, через который удается разглядеть движение освещенной области по главному дну. Картина же глазного дна и движение светлого пятна по главному дну могут восприниматься в прямом и обратном виде в зависимости от клинической рефракции. При гиперметропии, когда сетчатка расположена между оптической системой и фокусом, изображение глазного дна прямое. Движение скиаскопического рефлекса, наблюдаемое через зрачок, соответствует направлению движения освещенной области на глазном дне. Чтобы убедиться в этом, достаточно воспользоваться простой моделью: если взять лупу 20 дптр и поместить какой-либо предмет между фокусом и линзой (на удалении менее 5 см), то можно убедиться, что изображение предмета не перевернуто, а движение предмета адекватно движению его изображения. Если передвинуть предмет дальше, его изображение и направление движения станут обратными. Следовательно, при близорукости, когда фокус расположен между оптической системой и сетчаткой, движение скиаскопического рефлекса воспринимается врачом в обратном виде. Эмметропия служит разграничением между рефракциями, обуславливающими прямое и обратное движение скиаскопического рефлекса.

Если бы скиаскопия проводилась с больших расстояний (5 м и более), то эмметропия была бы разграничительной рефракцией, характеризующейся неопределенным движением скиаскопического рефлекса: при гиперметропии рефлекс на глазном дне двигался бы за движением зеркала, при всех степенях близорукости — против движения зеркала. Однако наиболее удобной в практическом отношении для скиаскопии считается дистанция между врачом и пациентом 1 м. Поэтому разграничительной рефракцией для этой дистанции является близорукость 1 дптр. При близорукости более 1 дптр лучи, отраженные от глазного дна, успевают пересечься перед глазом врача, что и является

основой обратного вида изображения глазного дна. При всех степенях дальности зрения, эметропии и близорукости до 1 дптр имеет место одноименное движение скиаскопического рефлекса.

Если бы скиаскопия выполнялась на расстоянии 0,5 м, то разграничительной рефракцией была бы миопия 2 дптр, а поэтому после установления неопределенного движения скиаскопического рефлекса для получения результата рефрактометрии поправка производилась бы на —2 дптр к той линзе скиаскопической линейки, с которой зарегистрировано неопределенное движение скиаскопического рефлекса.

Немаловажное значение имеет оценка точности скиаскопического метода и возможность ошибок при несоблюдении правил техники скиаскопии. Определенная погрешность метода связана с существованием физиологического астигматизма. Предположим, при скиаскопии миопического глаза (рис. 61) отраженные от глазного дна лучи беспорядочно пересекаются на отрезке зрительной линии F. Так как все отраженные лучи успевают пересечься прежде, чем достигнут глаза врача, то в зрачке отмечается противоположное движение скиаскопического рефлекса. Такая картина определяется и со скиаскопической линзой —1 дптр. При приставлении линзы —2 дптр узел лучей F достигает глаза врача; наблюдают неопределенное движение скиаскопического рефлекса. С более сильной линзой (—2,5 дптр) узел лучей смещается еще левее, но он все еще остается в глазу врача, вследствие чего с этой линзой отмечают неопределенное движение скиаскопического рефлекса. Одноименное движение рефлекса появится только с линзой —3 дптр, когда зона F выносится за глаз исследователя. При вычислении клинической рефракции за основу расчета берется сила стекла скиаскопической линейки, с которой отмечено неопределенное движение скиаскопического рефлекса, и делается поправка на —1 дптр.

Оценивая результаты скиаскопии, мы не можем получить одно значение, так как неопределенное движение рефлекса отмечено с линзами —2 и —2,5 дптр, что позволяет с одинаковым правом констатировать степень миопии и 3, и 3,5 дптр. Два врача, завершив скиаскопическое исследование, могут установить различные данные клинической рефракции. Несовпадение не превышает значения глубины клинического фокуса. Для того чтобы избежать различий в результатах скиаскопии в тех случаях, когда

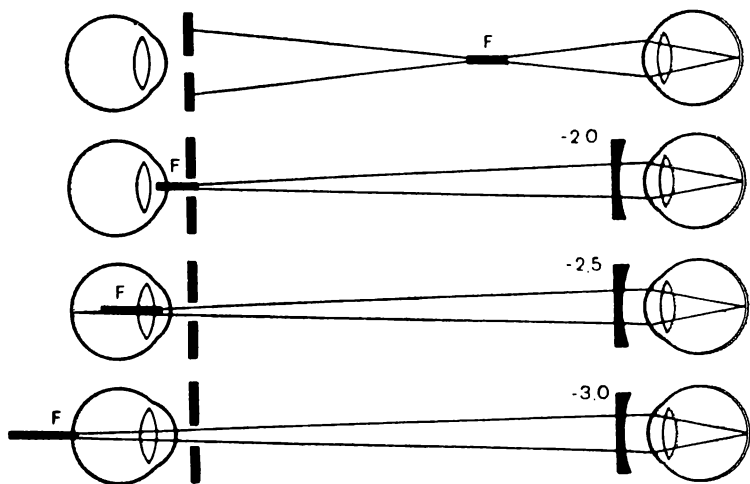


Рис. 61. Перемещение зоны пересечения отраженных лучей в процессе скиаскопии на примере с близоруким глазом (объяснения в тексте).

неопределенное движение скиаскопического рефлекса отмечается с несколькими линзами и в итоге получается несколько цифр клинической рефракции, необходимо в качестве окончательного результата брать цифру, наиболее близкую к эмметропии.

Рассмотрим типичные технические ошибки при скиаскопии и рекомендации для повышения точности метода.

1. Принято проводить скиаскопию на расстоянии 1 м от обследуемого, и все врачи оценивают это расстояние ориентировочно. Если врач держит скиаскопическую линейку, то длина руки позволяет удалить скиаскоп на 65—80 см. Поэтому поправка должна составлять не  $-1$  дптр, а ориентировочно  $-1,4$  дптр. Для того чтобы пользоваться привычной и удобной поправкой  $-1$  дптр, скиаскопическую линейку следует давать в руки пациенту, отодвигаясь назад примерно на 20—30 см от того положения, при котором врач может коснуться лица обследуемого вытянутой рукой. В таком случае несоблюдение расстояния не превышает  $\pm 10$  см, что влечет ошибку  $\pm 0,1$  дптр — величину, ничтожную в рефрактометрии.

2. Манипулировать скиаскопической линейкой самому врачу, безусловно, быстрее и удобнее, особенно при первичном осмотре. Нередко врач, зная, что длина руки не позволяет отодвинуться от больного на 1 м, поступает сле-

дующим образом. Верхней половиной линейки он упирается в лоб больного и, удерживая ручку скиаскопической линейки, отодвигается назад; действительно, расстояние между больным и врачом несколько увеличивается, однако линейка вместо вертикального принимает наклонное положение. Линзы значительно удаляются от глаза (на 3—4 см и более) и располагаются под углом к фронтальной плоскости.

Так как рефрактометрию обычно проводят для подбора очков, то линзы скиаскопической линейки должны размещаться в той плоскости, в которой будут находиться очковые линзы. Принято считать, что очковые линзы должны быть удалены на 12 мм от вершины роговицы, хотя чаще в силу особенностей строения лицевого черепа они удалены больше. Как известно, действие линзы зависит не только от физических параметров самой линзы, но и от положения ее относительно глаза. Чем сильнее линзы, тем заметнее сказывается влияние удаления ее от глаза. Действие собирательных линз усиливается, рассеивающих — ослабляется, поэтому если врач удаляет скиаскопическую линейку на 40 мм от глаза, то линза, например, 10 дптр приобретает силу 17 дптр, а линза —20 дптр ослабляется до —11 дптр. Вот почему при аметропии высокой степени нарушение техники скиаскопии обуславливает большие погрешности (в 3—5 дптр и более).

К сказанному необходимо добавить, что перекося положения линзы (несовпадение с фронтальной плоскостью) придает ей астигматические качества, что еще более усугубляет результаты исследования.

3. Скиаскопические линзы отечественного производства снабжены насадками в 0,5 и 10 дптр. Цифры на линейке обозначены так, что линзы насадки должны располагаться впереди линз линейки. Окулисты не всегда обращают внимание на положение насадки: один раз врач может проводить исследование, когда насадка расположена впереди линейки, другой — позади линейки, между тем сильная линза 10 дптр в одном и другом положении обладает неодинаковой оптической силой с разницей примерно 1 дптр. Обращенная ближе к глазу линза 10 дптр действует слабее, а —10 дптр — сильнее.

При повторной рефрактометрии у лиц с близорукостью высокой степени положение насадки приобретает особое значение. Ошибка в 1 дптр дает основание для необоснованного заключения о прогрессировании близорукости. С другой стороны, прогрессирующая близорукость может

быть принята за стабильную, если при повторном исследовании степень близорукости окажется заниженной.

4. Скиаскопировать необходимо на макулярную область, т. е. в момент исследования пациент должен смотреть в зеркало скиаскопа. Как правило, в состоянии циклоплегии скиаскопия так именно и проводится. Однако при узком зрачке, чтобы избежать напряжения аккомодации, больному обычно предлагают смотреть куда-либо вдаль, мимо головы врача. В результате скиаскопии проводится на периферический участок глазного дна, чаще на диск зрительного нерва.

По нашим данным, результаты скиаскопии на центр и периферию глазного дна зависят от индивидуальных анатомических особенностей капсулы глазного яблока. Если глазное яблоко имеет правильную сферическую форму, скиаскопические данные по зрительной оси и под некоторым углом к ней (в пределах  $15^\circ$ ) практически не отличаются. Но глаза асферической формы бывают довольно часто и при эмметропической, и при гиперметропической, особенно при миопической рефракции. При близорукости нередко отмечается растяжение глазного яблока в области диска зрительного нерва. Преимущественно наблюдают растяжение капсулы глаза кверху или книзу от желтого пятна и соответственно при скиаскопии на это место усиливается рефракция. Для подтверждения сказанного приводим схему (рис. 62), показывающую данные рефракции одного из глаз при скиаскопии на макулярную область и 4 периферические точки, находящиеся под углом  $15^\circ$  к зрительной оси. Максимальная разница в 6 дптр отмечается между точками в макулярной области и на диске зрительного нерва и может быть объяснена «провалом» уровня глазного дна в области диска зрительного нерва, что обусловило локальный рост осевой близорукости. Кнаружи от зрительной оси деформации капсулы глаза не произошло, поэтому результаты рефрактометрии на центр и височную область оказались идентичными.

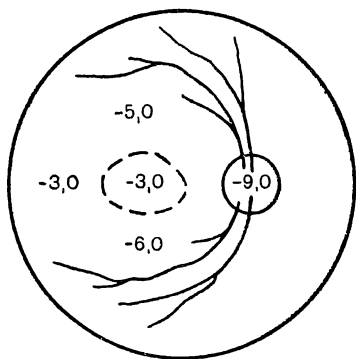
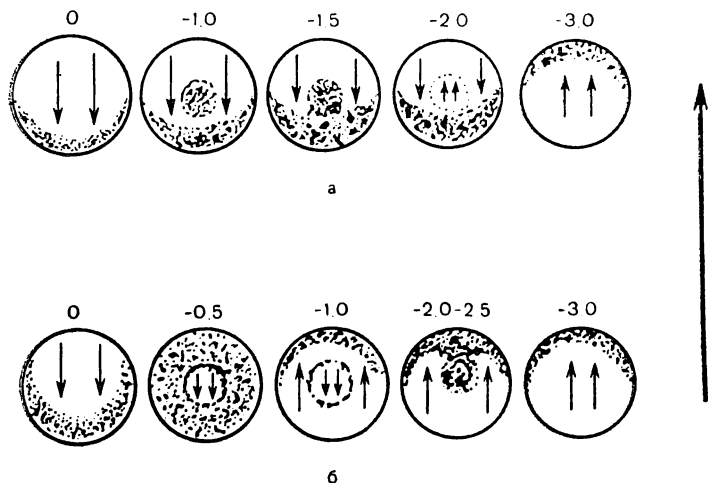


Рис. 62. Скиаскопия на желтое пятно и периферию глазного дна под углом  $15^\circ$  к центру.

5. В условиях циклоплегии зрачок расширяется до 7—8 мм, открывая оптически недействительную зону преломляющих сред. Оптическая сила ее нередко отличается от таковой центральной зоны, чем обуславливаются сложные формы движения скиаскопического рефлекса. Если бы окулистам приходилось исследовать глаза с идеальной оптической системой, то скиаскопия оказалась бы очень простым методом.

Среди сложных форм движения скиаскопического рефлекса следует выделить разновидность, связанную с оптическим несовершенством типа сферической аберрации по правилу. В таких глазах преломление по периферии зрачковой области больше, чем в центре. Разница нередко достигает 2—4 дптр. В зрачковой области отмечается движение скиаскопического рефлекса в противоположные стороны: в центре — в одну, по периферии — в другую. Так как оптическую функцию выполняет в основном центральная зона диаметром 3—5 мм, то движение скиаскопического рефлекса следует оценивать именно в этой зоне. На рис. 63, а показаны этапы скиаскопии глаза с оптическим несовершенством типа сферической аберрации по правилу. Изображена картина движения скиаскопического рефлекса в момент вращения плоского зеркала вверх. Цифрами обозначена сила линз скиаскопической линейки, с помощью которой проводилось исследование. При скиаскопии без линз рефлекс четко смещается в сторону, противоположную смещению зеркала; таким образом, в исследуемом глазу имеется близорукость более 1 дптр. При скиаскопии со стеклом — 1 дптр рефлекс приобретает своеобразное очертание: в центральной зоне появляется пятно диаметром от 2 до 7 мм и более, а по периферии рефлекс продолжает четко двигаться вниз. Разграничение центральной и периферической зон не представляет трудностей, если центральное пятно сравнительно большое (диаметром более 3 мм).

С линзой — 1,5 дптр отмечается аналогичная картина движения скиаскопического рефлекса. С линзой — 2 дптр в центральной зоне рефлекс четко движется вверх, а по периферии — вниз. С линзой — 2,5 дптр отмечается такая же картина, но центральная зона одноименного движения рефлекса расширяется и смещение рефлекса вверх становится более четким. При использовании линзы — 3 дптр почти во всей зрачковой области происходит движение скиаскопического рефлекса вверх, за исключением узкой кольцеобразной зоны по самому краю зрачка.



**Рис. 63.** Динамика картины скиаскопического рефлекса при оптическом несовершенстве типа сферической аберрации.  
а — по правилу; б — против правила (объяснения в тексте).

Оценивая движение скиаскопического рефлекса с различными линзами, приходим к выводу, что неопределенное движение рефлекса возникает с линзами  $-1$  и  $-1,5$  дптр. Получаем две величины клинической рефракции: близорукость 2 и 2,5 дптр, но в качестве окончательного результата принимаем меньшую величину.

Начинающие врачи, как правило, не дифференцируют зрачковую область на центральную и периферическую. Энергичное движение рефлекса в противоположную сторону по периферии зрачка привлекает внимание врача, и он делает заключение о более сильной рефракции. Если говорить об описанном случае, то здесь можно было ошибочно диагностировать миопию 2,5—3 дптр.

Особенности второй формы движения скиаскопического рефлекса связаны с меньшей преломляющей силой по периферии оптической системы в сравнении с центральной зоной (сферическая аберрация против правила). Картину скиаскопии таких глаз поясним на следующем примере (рис. 63, б).

Предположим, исследуется близорукий глаз. Без скиаскопической линейки в момент вращения зеркала кверху рефлекс в зрачке четко движется в противоположную сто-

рону — вниз. К глазу приставляют рассеивающую линзу —1 дптр. В центральной зоне сохраняется движение рефлекса вниз, затем по периферии направление рефлекса изменилось. С линзой —2 дптр в центре определилось темное кольцо, вокруг которого отмечается четкое одноименное движение рефлекса (вверх). Такая же картина отмечается и с линзой —2,5 дптр. С линзой —3 дптр по всей площади расширенного зрачка появляется одноименное движение рефлекса.

Руководствуясь правилом ориентации на центральную зону оптической системы глаза, находим, что неопределенное движение рефлекса возникло с линзами —2 дптр и —2,5 дптр. Получаем две цифры, выражающие степень клинической рефракции: миопию 3 и 3,5 дптр. В качестве окончательного результата выбираем меньшую величину.

Если не дифференцировать движение рефлекса в центральной и периферической зонах, можно получить неточные данные. Исчезновение рефлекса со стеклом —1 дптр по периферии зрачка служит основанием для выявления неточной информации о клинической рефракции — миопии 1,5 дптр.

6. При скиаскопии довольно часто наблюдается встречное движение рефлекса, именуемое в зарубежной литературе симптомом ножниц. В типичных случаях этот симптом проявляется только с линзой, с которой изменяется движение скиаскопического рефлекса, или с линзой, по силе отличающейся от нее на 0,5—1 дптр.

Оптическое обоснование симптома ножниц состоит в неравномерности преломления в том меридиане, в котором отмечается симптом. Для того чтобы раздвоение рефлекса легко регистрировалось, разница преломления по обе стороны от зрительной оси должна превышать 0,5 дптр. Сошлемся на рефрактометрические данные, полученные при помощи астигмометра на близорукое глазу, при скиаскопическом исследовании которого симптом ножниц четко определялся со стеклом —7,5 дптр. Данные рефракции в зоне диаметром 5 мм в четырех направлениях от зрительной оси представлены на рис. 64, а. При скиаскопии без линз и с линзами от —1 до —6 дптр рефлекс четко движется в противоположную сторону (рис. 64, б). С линзой —7 дптр в нижнем отделе зрачка появляется рефлекс, который движется вверх, но, не достигнув середины зрачка, исчезает. Картина выглядит так, будто две волны набегают друг на друга и встречаются у нижнего края зрачка. С линзой —7,5 дптр выраженность обеих встречных волн

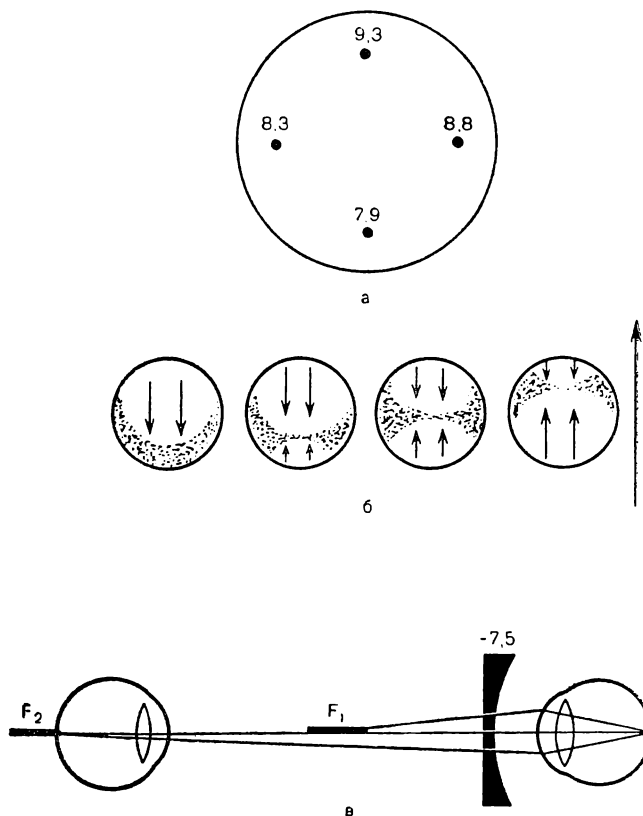


Рис. 64. Рефракция при скиаскопическом симптоме ножниц (объяснения в тексте).

выравнивается, они сталкиваются в центре зрачка. С линзой — 9 дптр скиаскопический рефлекс очень быстро поднимается вверх и встреча двух волн происходит у верхнего края зрачка.

При симптоме ножниц расчет рефракции должен проводиться с учетом силы той линзы скиаскопической линейки, с которой встречные волны скиаскопического рефлекса сталкиваются в центре зрачка. В описанном случае встречные волны рефлекса сошлись в центре зрачка при использовании очковой линзы  $-7,5$  дптр. Следовательно, в вертикальном меридиане устанавливают миопию 8,5 дптр.

Объяснение симптома ножниц схематически дано на рис. 64, в. Отраженные от глазного дна и выходящие через

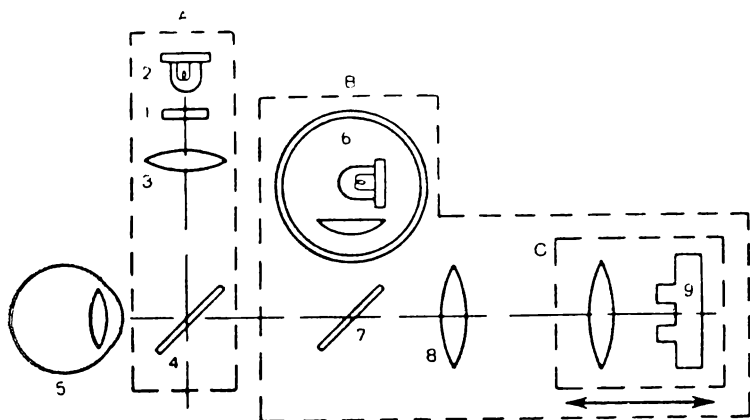


Рис. 65. Автоматический рефрактометр (объяснения в тексте).

верхний, более сильный в оптическом отношении отдел зрачковой области лучи пересекают зрительную ось перед глазом врача. Лучи же, выходящие через нижнюю половину зрачка, пересекают зрительную ось позади глаза врача, поэтому в верхнем отделе зрачка скиаскопический рефлекс движется в противоположную сторону, а в нижнем отделе — в ту же сторону.

Руководствуясь практическими соображениями, врач должен найти среднее значение, характеризующее преломление вертикального меридиана в целом. Симптом ножниц является следствием неправильного астигматизма, который нельзя исправить цилиндрическими линзами.

**Рефрактометры.** В СССР широкое распространение получил рефрактометр Хартингера, в конструкции которого использован принцип Шейнера.

Большим достижением в создании рефрактометрической техники стал автоматический рефрактометр, принципиальная схема которого представлена на рис. 65. В основе рефрактометра лежит принцип скиаскопии. Анализ характера отраженных от глазного дна лучей проводится не по картине рефлекса в области зрачка, а при помощи фотоэлектронной техники. Рефрактометр-автомат содержит 3 блока, несущих различную функциональную нагрузку.

Блок А представляет собой систему тест-объекта. Тест-объект (1), освещаемый лампой (2), при помощи линзы (3) и полупрозрачного зеркала (4) проецируется на глаз-

ное дно исследуемого глаза (5). Система построена таким образом, что обследуемый видит тест-объект в расслабленном состоянии аккомодации.

Блок В — система, создающая осциллирующий световой поток от лампы (6), направляемый при помощи полупрозрачного зеркала (7) в глаз испытуемого (5). Качание светового пучка создает соответствующее колебание светового пятна на глазном дне исследуемого глаза (5). Аналогичные колебания создаются на глазном дне при обычной скиаскопии.

Отраженные от глаз лучи проходят через линзу (8) и падают на блок С,двигающийся вдоль зрительной оси и регистрирующий зону пересечения лучей, отраженных от глазного дна. Другими словами, блок С устанавливает положение дальней точки ясного зрения, дающей информацию о виде и степени клинической рефракции. Основным элементом блока С является деталь (9) с двумя фотодетекторами.

Важное преимущество рефрактометра заключается в использовании не видимых глазом инфракрасных лучей. В результате в процессе рефрактометрии отсутствуют раздражение глаза и дополнительный стимул для напряжения аккомодации. Благодаря вращению устройства вокруг горизонтальной оси можно исследовать рефракцию поочередно в различных меридианах. Обработка полученной от фотодетекторов информации производится микрокомпьютером, а запись данных рефрактометрии выполняется либо автоматически на рецептурном бланке, либо графически в виде кривой; при этом имеется возможность регистрировать количественно степень неправильного астигматизма.

Субъективные методы исследования неастигматической рефракции. Описано до десяти субъективных методов диагностики сферических видов рефракции, однако наибольшее клиническое значение имеет метод определения клинической рефракции при помощи набора пробных линз.

**Диагностика эметропии.** Общеизвестное правило диагностики эметропии (для схематического глаза с точечным задним фокусом) состоит в следующем: эметропический глаз обладает нормальным зрением вдаль; приставление самой слабой положительной линзы вызывает затуманивание зрения.

Традиционное правило оказывается справедливым далеко не во всех случаях, которые встречаются в практике, и эти исключения связаны с понятием клинического фокуса. При эметропии в состоянии покоя аккомодации в силу индивидуальных анатомо-оптических особенностей клинический фокус может занимать различное положение относительно сетчатки. Из большого числа возможных вариантов поло-

жения клинического фокуса назовем три: клинический фокус касается сетчатки своим задним краем, сетчатка пересекает клинический фокус посередине, клинический фокус касается сетчатки передним краем (рис. 66, а).

Предположим, исследование рефракции проводят с применением пороговых тестов для центрального зрения при диаметре зрачка 5 мм. В таких условиях глубина клинического фокуса близка к 0,5 дптр. После приставления слабой положительной линзы 0,25 дптр только в 1-м варианте позиции клинического фокуса (рис. 66, б) острота зрения понизится, так как клинический фокус отойдет кпереди от сетчатки. Во 2-м и 3-м вариантах центральное зрение полностью сохранится, потому что сетчатка пересекает соответственно задний край и середину клинического фокуса. Даже приставление к глазу более сильной собирающей линзы 0,5 дптр (рис. 66, в) не ухудшит зрение в 3-м варианте положения клинического фокуса. Зрение затуманится только со стеклом 0,75 дптр, по силе превышающим глубину клинического фокуса.

Таким образом, эмметропическими следует считать такие глаза, которые в покое аккомодации имеют нормальное зрение; при приставлении положительных линз, соответствующих глубине клинического фокуса, ясность зрения не затуманивается. В том случае если зрачок имеет диаметр 3 мм, то сила такой линзы равна 0,75 дптр.

Поправка к методике определения клинической рефракции позволяет сделать вывод, что глаза, которые, согласно традиционному представлению, имели гиперметропию легкой степени (0,25—0,75 дптр), фактически являются эмметропическими.

Исследование рефракции на 2110 глазах у лиц с сформировавшейся рефракцией в возрасте 18—80 лет в естественном состоянии аккомодации дало следующие результаты (рис. 67).

Субъективные методы исследования астигматизма. Фигуры для диагностики астигматизма. Способность астигматического глаза неодинаково четко воспринимать линии различной ориентации используется для диагностики астигматизма. Существуют различные таблицы и устройства, позволяющие предъявлять испытуемому линии, имеющие всевозможную ориентацию относительно главных сечений астигматического глаза. Примером таблицы с неподвижными линиями может служить лучистая фигура в виде колеса (рис. 68, а). Известны также таблицы, содержащие знаки, изображенные при помощи линий, расположенных под различными углами к горизонтали. В результате испытуемый четко видит лишь тот знак, линии которого совпадают с одним из главных сечений астигматического глаза.

Широкое распространение получили подвижные фигуры, содержащие либо группу линий (рис. 68, б), либо крестообразную фигуру (рис. 68, в). Вращение линий или креста позволяет установить положение, при котором линии различаются наиболее четко, и это положение соответствует одному из главных сечений астигматического глаза.

Одной из наиболее удачных считается фигура Раубичека (рис. 69, а), состоящая из двух изогнутых линий, которую можно вращать вокруг горизонтальной оси. При несовпадении вершин линий Раубичека с главными сечениями астигматизма (рис. 69, б) на одной из изогнутых линий появляется своеобразная «муфта». Вращение фигуры Раубичека вызывает смещение «муфты» и появление такой «муфты» на парной линии. Когда вершины спаренных линий Раубичека соответствуют одному из главных сечений астигматизма, «муфты» занимают положение, показанное на рис. 69, в.

Большинство офтальмологов начинают подбор очков при астигматизме с исследования рефракции каким-либо объективным методом и по данным объективной рефрактометрии в пробную оправу ставят цилиндрическую линзу или применяют сфероцилиндрическую комбинацию. Как и при исследовании только субъективного метода или объективной рефрактометрии, врач обязан расценивать первоначально установленную коррекцию как предварительную и приступить к «осевой» и «силовой» пробам.

Уточнение положения корригирующей оси можно начать с исследования с помощью фигуры Раубичека.

Большое распространение для уточнения цилиндрической коррекции получили бицилиндрические линзы силой  $\pm 0,25$  и  $\pm 0,5$  дптр. Для выполнения «осевой» пробы цилиндрическую линзу помещают перед пробной оправой таким образом, чтобы направление рукоятки совпало с осью. Быстро вращают рукоятку вокруг оси, если острота зрения не меняется, то ось корригирующей цилиндрической линзы установлена правильно; если же при одном из положений бицилиндрической линзы острота зрения повышается, значит, ось корригирующей цилиндрической линзы вращается в сторону одноименного знака на бицилиндрической линзе. Пробу повторяют, пока не найдут правильное положение оси цилиндрической линзы.

Принцип действия бицилиндрической линзы при «силовой» пробе показан на рис. 70. Рукоятку цилиндрической линзы ставят под углом  $45^\circ$  к главным сечениям астигматического глаза, а следовательно, и к правильно ориентированной оси цилиндрической линзы. Вращением рукоятки изменяют позиции положительных и отрицательных знаков на бицилиндрической линзе, если сила корригирующей цилиндрической линзы подобрана неточно, то при одной из позиций острота зрения будет выше, а при другой — ниже, так как дистанции между фокальными полосами в обоих случаях окажутся неодинаковыми. Отмечают позицию бицилиндрической линзы, при использовании которой зрение выше. Если знаки бицилиндрической и цилиндрической линз совпадают, силу цилиндрической линзы увеличивают и наоборот.

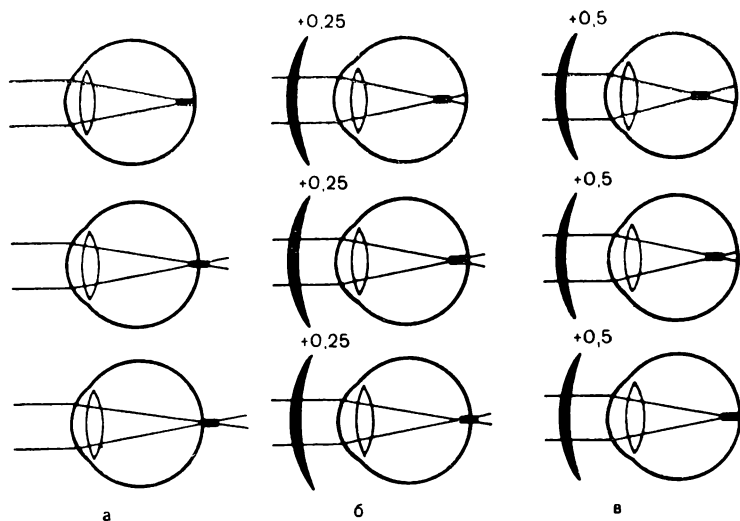


Рис. 66. Диагностика эметропии (объяснения в тексте).

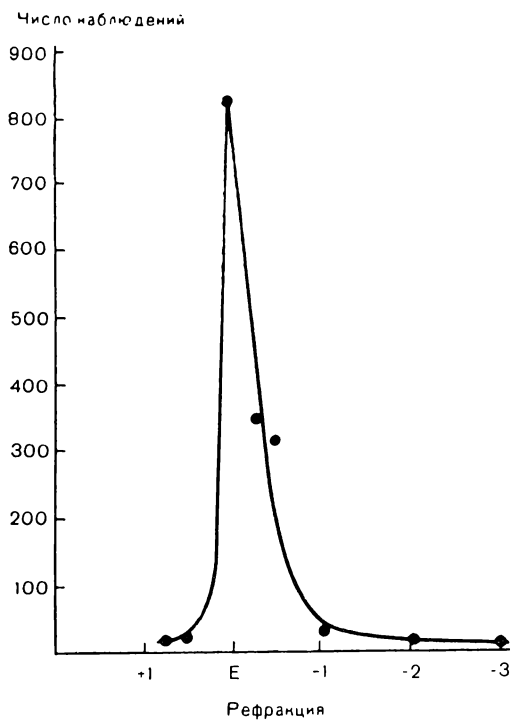


Рис. 67. Рефракционная кривая в естественном состоянии аккомодации.

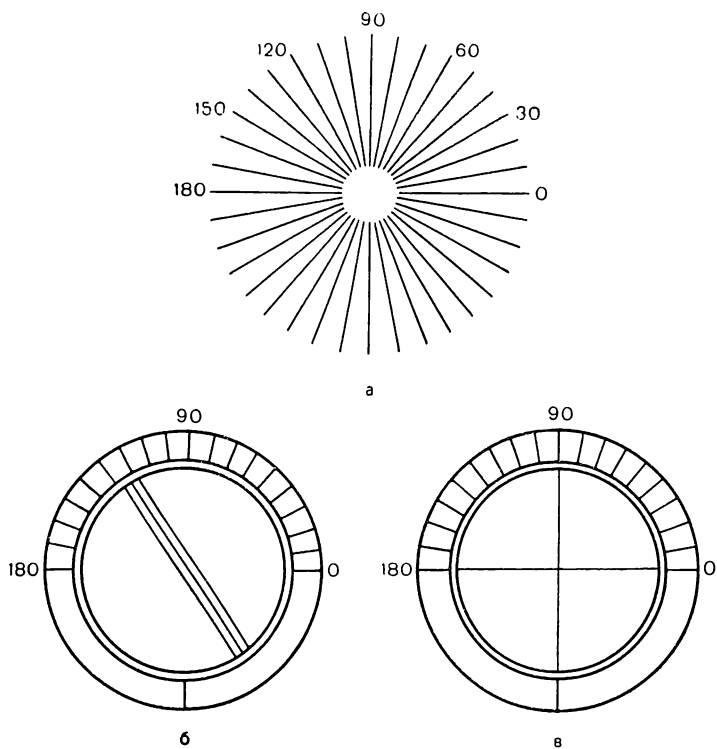


Рис. 68. Фигуры для диагностики астигматизма (объяснения в тексте).

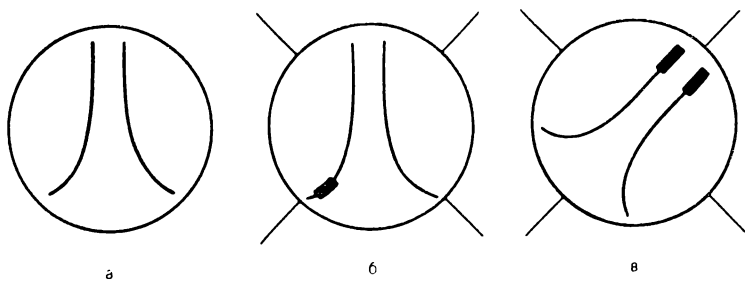
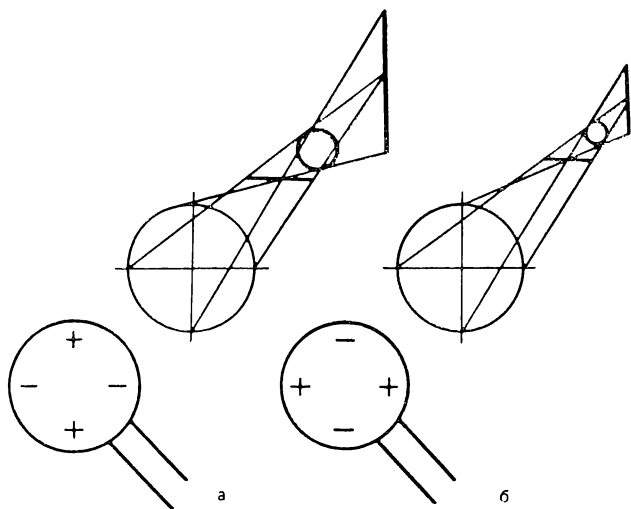


Рис. 69. Фигура Раубичека для диагностики астигматизма (объяснения в тексте).



**Рис. 70.** Действие бицилиндрической линзы при «силовой» пробе.

а — положительный знак бицилиндра совпадает с оптически сильным сечением астигматического глаза; б — отрицательный знак бицилиндра соответствует оптически сильному сечению того же глаза.

## ПОДБОР ОЧКОВ

Знание объективных и субъективных методов рефрактометрии еще не означает умение правильно подобрать очки, так как в большинстве случаев рефрактометрические данные невозможно перенести на рецептурный бланк.

**Очки при близорукости.** Принимая во внимание роль аккомодации в патогенезе близорукости, рекомендуется выписывать очки так, чтобы нагрузка на аккомодационный аппарат была ослабленной. При легкой степени близорукости (до 1 дптр) с относительно высоким зрением (не ниже 0,4—0,5) постоянное ношение очков не рекомендуется, так как с таким зрением школьник, например, достаточно четко видит написанное на доске с середины класса. Однако очки для дали должны быть для тех случаев, когда необходимо очень высокое зрение — в тире, театре и т. д.

При близорукости 1,5—3 дптр острота зрения чаще бывает от 0,2 до 0,08, что затрудняет работу школьника в классе и ориентировку на улице, особенно в вечернее время. Возникает необходимость в очках для дали; для работы вблизи очками пользоваться не рекомендуется. Очки для

дали при любой степени близорукости выписывают в режиме недокоррекции на 0,25—0,5 дптр с таким расчетом, чтобы острота зрения монокулярно была в пределах 0,8. В условиях бинокулярного зрения острота зрения повышается до 0,9—1,0.

Миопия выше 3 дптр и особенно выше 4 дптр сопряжена с необходимостью чтения на очень близком расстоянии, что не отвечает гигиенической норме. Поэтому пациентам с близорукостью средней и высокой степени показаны очки для работы вблизи на 2—3 дптр слабее, чем очки для дали. Можно назначить бифокальные очки. При прогрессирующей близорукости время от времени приходится усиливать очки для дали, а старые очки уместно рекомендовать для чтения.

Контактные линзы не вызывают астигматизма, так как они обуславливают ничтожный по сравнению с очками сдвиг кардинальных точек кзади.

Очки при дальнозоркости. Дальнозоркость диагностируется в детском, чаще дошкольном, возрасте, и вопрос о выписывании очков решается с учетом состояния зрительного анализатора в целом. Если ребенок не предъявляет жалоб астигматического характера, острота зрения оказывается в пределах возрастной нормы и регистрируется устойчивое бинокулярное зрение, то в очках нет необходимости. Какая-либо патология в названных функциях, тем более отклонение глаза кнутри, является показанием к постоянному ношению очков.

У взрослых показаниями к постоянному ношению очков являются астигматические жалобы и снижение зрения. При дальнозоркости свыше 3 дптр к 30-летнему возрасту уже имеется потребность в очках, если даже ранее эти лица обходились без очков.

При дальнозоркости назначают полную коррекцию аномалии рефракции в естественном состоянии аккомодации. Сила положительных линз оказывается примерно на 1 дптр слабее значения скиаскопических данных в состоянии циклоплегии.

Очки при астигматизме. При подборе очков следует помнить, что астигматизм должен быть скорректирован полностью. Если сила цилиндрической линзы оказывается слабее данных объективной рефрактометрии, а острота зрения с коррекцией достигает нормы, то это не означает, что астигматизм скорректирован не полностью. Например, при афакии сила корригирующей цилиндрической линзы часто бывает меньше степени роговичного астигма-

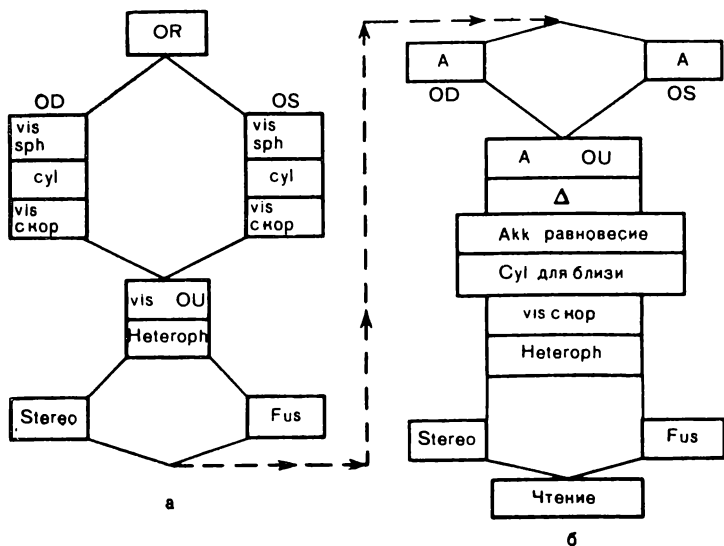


Рис. 71. Блок-схема подбора очков.

а — для дали; б — для близи; OR — объективная рефрактометрия; vis Sph — острота зрения со сферическими линзами; cyl — цилиндрическая или сфероцилиндрическая коррекция; vis OU — выравнивание остроты зрения правого и левого глаза (объяснения в тексте).

тизма, но это не означает, что астигматизм корригирован не полностью. Для коррекции астигматизма можно брать любую цилиндрическую линзу в пределах диапазона силовой пробы. Из практических соображений целесообразно использовать самую слабую цилиндрическую линзу, которая обеспечивает полное исправление астигматизма, но по своему значению слабее объективно измеренной степени астигматизма.

Очки при пресбиопии. Важным элементом подбора очков при пресбиопии является определение поправки к коррекции для дали. Наиболее точным и простым оказался метод Каца определения плюсовой поправки по возрасту: 40 лет — 0,75 дптр, 50 лет — 2 дптр, 60 лет — 3 дптр. При гиперметропии поправка суммируется, при миопии вычитается от значения корригирующих стекол для дали; при эметропии берут значение самой поправки. Схема Каца может быть только ориентировочной.

На практике возможны отклонения, связанные с индивидуальными особенностями ослабления аккомодации с возрастом и профессиональными требованиями иметь ясное зрение на каком-то определенном расстоянии.

При подборе очков для близи и для дали необходимо обеспечить полноценные условия для работы зрительного анализатора. На рис. 71 показана схема, рекомендуемая для подбора очков.

Применяются специально подобранные системы приборов, например комбайн фирмы Роденшток, позволяющий качественно и относительно быстро выполнить необходимое исследование.

## **Глава 4**

### **ЧАСТНЫЕ РАЗДЕЛЫ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИКИ**

#### **КОНТАКТНЫЕ ЛИНЗЫ**

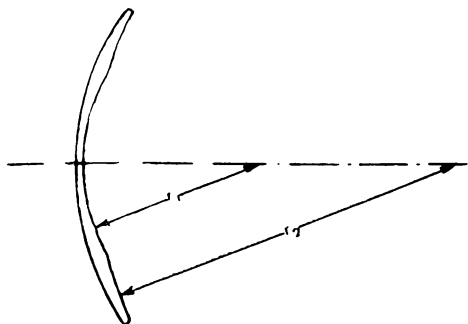
Идея использования контактной коррекции принадлежит Д. Ф. Гершелю (1830), который высказал мысль, что роговичный астигматизм можно исправить, наложив на роговицу оболочку из гелеобразного прозрачного материала. Однако о методах воздействия на преломляющую силу роговицы контактным путем было известно и ранее. В частности, Леонардо да Винчи (1508) сформулировал идею о нивелировании преломляющей силы роговицы путем погружения глаза в воду.

Первую контактную линзу изготовил Мюллер (1887), используя ее с защитной целью у больного с лагофталмом. Тем самым была доказана возможность длительного ношения линзы на глазном яблоке. Больной пользовался линзой 21 год, до самой смерти.

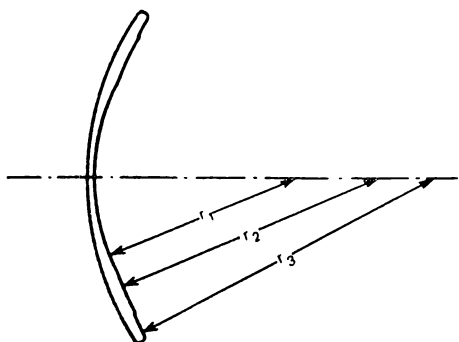
Кроме коррекции аномалий рефракции, контактные линзы применяются с лечебной, защитной, косметической целью, а также для экранизации при больших дефектах радужки или аниридии.

**Жесткие контактные линзы.** Наибольшее распространение получили роговичные контактные линзы.

Передняя поверхность линзы имеет одинаковый радиус кривизны. На задней поверхности создают сложный профиль. Центральная часть называется оптической зоной, профиль ее должен быть близким к кривизне передней поверхности роговицы. Периферическая часть имеет кривизну большего диаметра. В зависимости от профиля периферической части различают линзы с двойной (рис. 72), тройной (рис. 73) и множественной кривизной. Выбор профиля задней поверхности линзы зависит от индивидуальных особен-



**Рис. 72.** Роговичная линза с двойной кривизной внутренней поверхности.  
 $r_1$  — радиус кривизны центральной зоны;  $r_2$  — радиус кривизны периферической зоны.



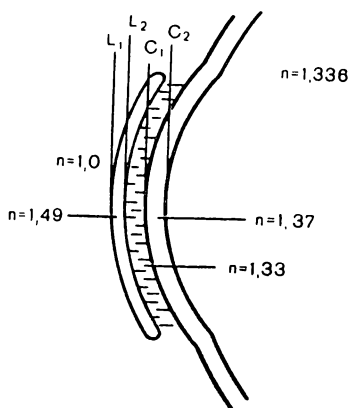
**Рис. 73.** Роговичная линза с тройной кривизной внутренней поверхности.  
 $r_1, r_2, r_3$  — радиусы кривизны внутренней поверхности.

ностей формы передней поверхности роговицы. Задача состоит в том, чтобы линза не оказывала давления на эпителий роговицы и не вызывала его травматизацию. Хорошо подогнанная линза находится во взвешенном состоянии и плавает на тонкой пленке слезной жидкости — прекорнеальной пленке. Допустимо смещение линзы на 1—2 мм.

Роговичные контактные линзы могут быть больших размеров — более 9,5 мм, средних — 9,5—8,6 мм и малых — 8,5 мм и менее. Толщина линз в оптической зоне составляет 0,15—0,22 мм.

Соотношение преломляющих сред, складывающееся при использовании контактной линзы, показано на рис. 74. Между преломляющими поверхностями  $L_1$  и  $L_2$  контактной линзы и преломляющими поверхностями роговицы имеется слой слезной жидкости. Четыре преломляющие поверхности разделяются пятью средами: воздухом ( $n=1,0$ ), пластмассой ( $n=1,49$ ; или материал с другим показателем преломления), слезной жидкостью ( $n=1,33$ ), тканью роговицы ( $n=1,37$ ) и внутриглазной жидкостью ( $n=1,336$ ).

Рис. 74. Взаиморасположение преломляющих поверхностей при коррекции контактной линзы (объяснения в тексте).



Рассмотрим простейший вариант — обе поверхности контактной линзы имеют радиус кривизны, равный радиусу кривизны передней поверхности роговицы, например 7,8 мм. Преломляющая сила каждой поверхности рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{n - n'}{r},$$

где  $D$  — преломляющая сила;  $n$  и  $n'$  — показатели преломления слева и справа от преломляющей поверхности;  $r$  — радиус кривизны преломляющей поверхности.

Вычисляем преломляющую силу каждой поверхности:

$$D_1 = \frac{0,49}{0,0078}; \quad D_2 = \frac{-0,16}{0,0078}; \quad D_3 = \frac{0,046}{0,0078}; \quad D_4 = \frac{-0,04}{0,0078}.$$

Принимая дистанцию между преломляющими поверхностями за ничтожно малую величину, можно вычислить оптическую силу всей системы путем простого сложения значения отдельных элементов:

$$D_{\text{системы}} = \frac{0,336}{0,0078}.$$

Теперь вычислим оптическую силу роговицы без контактной линзы. Перед роговицей имеется только тонкий слой слезной жидкости, придающий ей зеркальное свойство:

$$D_{\text{роговицы}} = \frac{0,336}{0,0078}.$$

Таким образом, преломляющие силы роговицы с контактной линзой и без нее оказались адекватными. Данное положение имеет место в том случае, если радиус кривизны контактной линзы соответствует кривизне передней поверхности роговицы.

Коррекция аномалий рефракции производится путем регулирования радиуса кривизны передней поверхности контактной линзы. При дальнозоркости ее радиус уменьшается, при близорукости — увеличивается.

При определении параметров контактной линзы задняя поверхность ее должна соответствовать кривизне передней поверхности роговицы. Расчет передней поверхности контактной линзы с учетом вида и степени аномалии рефракции выполняют по таблицам или номограммам.

В практической работе нередко используют эмпирический метод определения параметров контактной линзы. Вначале испытывают действие уже готовой ориентировочно подобранной контактной линзы, а затем рассчитывают степень поправки для получения заданной рефракции и остроты зрения.

Контактная коррекция астигматизма является значительно более сложной задачей в сравнении с коррекцией сферической аметропии. Общий астигматизм глаза представлен суммой роговичного и хрусталикового астигматизма.

$$A_{co} = A_{cp} + A_{cx},$$

где  $A_{co}$  — общий астигматизм;  $A_{cp}$  — роговичный астигматизм;  $A_{cx}$  — хрусталиковый астигматизм.

Так как контактная линза оказывает влияние только на роговичный астигматизм, то эффект коррекции обусловлен индивидуальными особенностями взаимоотношений роговичного и хрусталикового астигматизма, которые могут суммироваться или погашать друг друга.

Принимая во внимание необходимость коррекции сферической аметропии и астигматизма, контактные линзы делят на 4 категории:

1. Линзы с двумя сферическими поверхностями. Показания к применению: коррекция сферической аметропии.

2. Линзы со сферической задней поверхностью и торической передней поверхностью. Показания к применению: коррекция остаточного астигматизма в глазах, в которых имеется нейтрализация хрусталикового и роговичного астигматизма (последний не выше 2 дптр). Контактная линза нейтрализует роговичный астигматизм, освобождая дей-

ствие хрусталикового астигматизма, который корригируется путем придания передней поверхности линзы торической формы.

3. Линзы с торической внутренней поверхностью и сферической передней поверхностью. Показания к применению: коррекция роговичного астигматизма глаза.

4. Биторические линзы. Показания к применению: коррекция оптических погрешностей глаз, в которых имеется частичная нейтрализация хрусталикового и роговичного астигматизма (превышает 2 дптр). При роговичном астигматизме более 2 дптр, наблюдающемся, по статистическим данным, у 5% населения, возникают трудности в подгонке контактной линзы с внутренней сферической поверхностью. Адаптация линзы возможна при соответствии формы роговицы задней поверхности линзы, т. е. речь идет о торической поверхности.

Принято считать, что коррекция резидуального астигматизма необходима, если он составляет более 0,75 дптр.

При коррекции астигматизма контактными линзами возникает проблема ориентации линзы относительно главных сечений астигматического глаза. Наиболее приемлемыми считают следующие способы.

1. Использование линз с задней торической поверхностью при роговичном астигматизме более 2 дптр. Асферичность роговицы препятствует вращению контактной линзы в направлении по или против часовой стрелки.

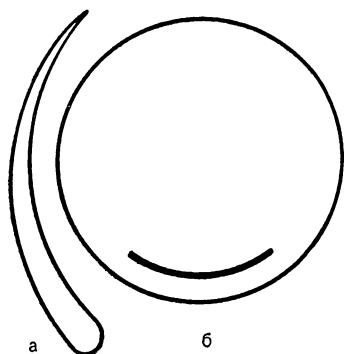
2. Использование линз со склеральной частью, которая плотно присасывается к главному яблоку и не смещается вокруг оптической оси.

3. Использование балласта, например металла, вдавленного в нижнюю часть линзы, или придание линзе призматической формы с таким расчетом, чтобы утолщенная, а следовательно, и более тяжелая часть была обращена книзу (рис. 75).

При коррекции пресбиопии возможны 2 принципиально различных подхода. Альтернативный принцип коррекции пресбиопии заключается в том, что контактная линза имеет две части с различной оптической силой: плавающая контактная линза, смещаясь по роговице, при зрении вдаль располагается против зрачка той частью, которая имеет меньшую преломляющую силу. При зрении вблизи против зрачка располагается оптически более сильная зона контактной линзы — пациент движениями век регулирует положение названных зон линзы относительно зрачка (рис. 76).

Рис. 75. Виды балласта в контактных линзах.

а — утолщение в нижней части линзы;  
б — металлические добавки.



Известны различные технологические приемы создания на контактной линзе двух и более частей с различной

оптической силой: 1) обе части линзы изготавливаются из материала с различными показателями преломления (рис. 77, а). Для того чтобы оптически более сильная зона была расположена в нижней части линзы, ее делают более массивной; 2) такой же эффект может быть достигнут путем создания на нижней части линзы более выпуклой поверхности (рис. 77, б); 3) к нижней части контактной линзы приклеивают дополнительную линзу, которая одновременно играет роль балласта (рис. 77, в); 4) центральная сферическая зона линзы, предназначенная для зрения вдаль, окружена одним или более кольцевидными полями

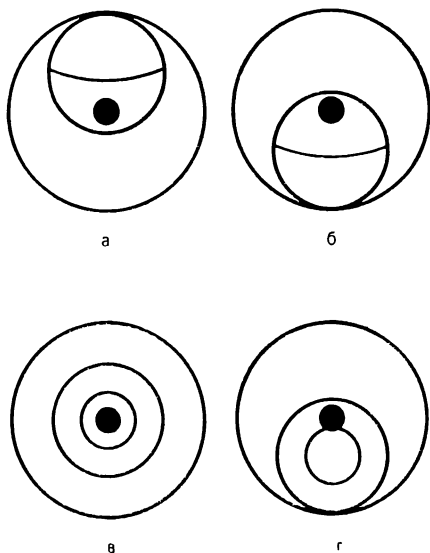
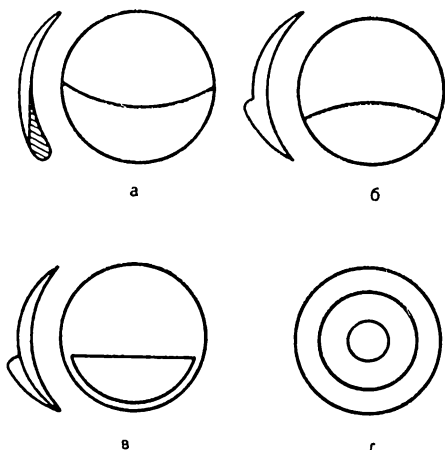


Рис. 76. Альтернативный метод коррекции пресбиопии.

а, в — положение контактных линз при зрении вдаль; б, г — при зрении вблизи.

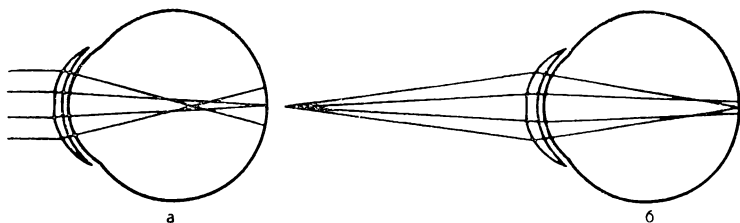
**Рис. 77.** Конструкция контактных линз для коррекции пресбиопии (объяснения в тексте).



с более сильной преломляющей силой (рис. 77, г). Преимуществом данной конструкции следует считать возможность вращения линзы по или против часовой стрелки.

Коррекция пресбиопии с помощью контактных линз сопряжена со значительными техническими трудностями. Четкое зрение на дальнее и близкое расстояние возможно при наличии соответствия зрачка оптически более слабой или оптически более сильной части контактной линзы. Каждая оптическая часть должна быть равна или больше размера зрачка при умеренном дневном освещении.

Известен также принцип одновременного зрения при коррекции пресбиопии. Оптические зоны линзы делаются меньше, чем диаметр зрачка. Более сильная и слабая оптические зоны одновременно проецируются на область зрачка, в результате чего на сетчатке формируется два накладывающихся друг на друга изображения (рис. 78).



**Рис. 78.** Способ одномоментной коррекции пресбиопии.  
а — ход лучей при зрении вдаль; б — ход лучей при зрении вблизи.

Пациент должен усилием воли фиксировать свое внимание на более четком изображении.

Для достижения заданной ориентации линзы, например чтобы оптическая зона для близи была обращена книзу, применяют балласт в виде металла, инкрустированного в нижнюю часть линзы, или придают линзе призматическую форму с таким расчетом, чтобы утолщенная ее часть была обращена книзу. Следует, однако, иметь в виду, что если астигматизм корригируется в одном глазу, то аналогичную призматическую форму необходимо придавать сферической контактной линзе на другом глазу, чтобы избежать расхождения направления зрительных осей и тем самым создать условия для комфорта бинокулярного зрения.

Возможен также простейший метод коррекции обычными сферическими линзами: один глаз устанавливается для зрения вдаль, другой — для зрения на близкое расстояние.

Если при коррекции бинокулярной афакии не возникает трудностей, то при монокулярной афакии приходится не только корригировать аномалию рефракции, но и преодолевать неравенство величин изображений в левом и правом глазу. Назначение контактной коррекции является альтер-

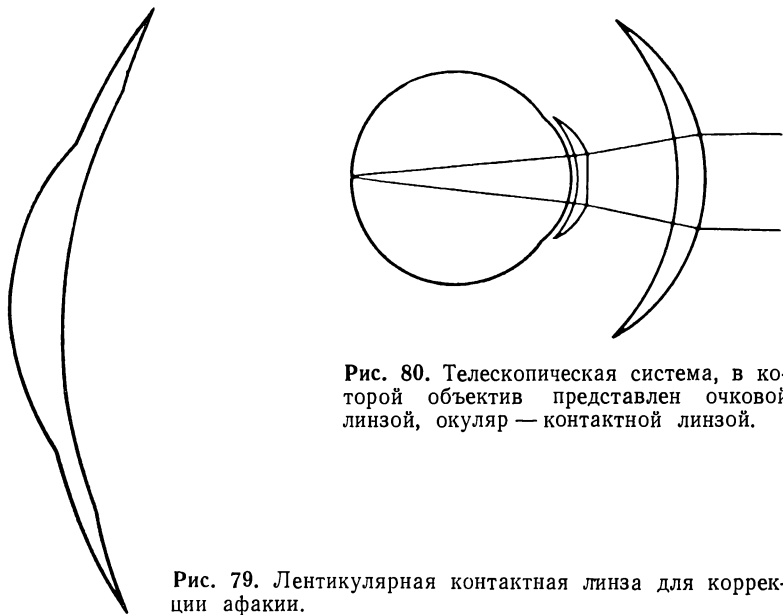


Рис. 80. Телескопическая система, в которой объектив представлен очковой линзой, окуляр — контактной линзой.

Рис. 79. Лентиккулярная контактная линза для коррекции афакии.

нативным решением при коррекции афакической анизэйконии (изэйконические очки и интраокулярные линзы).

Каждый из методов, в том числе и контактные линзы, имеет свои недостатки и преимущества. К преимуществам контактной коррекции следует отнести хороший косметический эффект, минимальную вероятность осложнений, удобство при их использовании, расширение поля зрения.

Контактная линза для коррекции дальновзоркости высокой степени, изготовленная обычным путем, оказывается толстой и потому возникают трудности при ее ношении. Этого недостатка лишена так называемая лентикулярная контактная линза (рис. 79).

Существенным недостатком считается также то обстоятельство, что монокулярная контактная линза не выравнивает величины изображений в левом и правом глазу. Как правило, остается анизэйкония в пределах 5—12%, т. е. минимальная степень анизэйконии представляет пограничную величину, при которой возможно бинокулярное зрение. В случае анизэйконии в пределах 8—12% бинокулярное зрение не восстанавливается, вот почему в значительном числе случаев коррекции монокулярной афакии бинокулярное зрение отсутствует.

Однако известен способ полной коррекции афакической анизэйконии. Контактной линзой достигается гиперкоррекция дальновзоркости. Излишек собирающего действия контактной линзы нейтрализуется рассеивающей очковой линзой. Так, например, гиперкорректирующий эффект +5 дптр контактной линзы можно исправить отрицательной очковой линзой соответствующей силы, что приводит к исправлению анизэйконии в пределах 6%.

В одном из предыдущих разделов мы упоминали о телескопических очках, назначаемых для увеличения изображения на сетчатке, что дает адекватное повышение остроты зрения. Кроме обычных телескопических очков, известны телескопические системы, в которых роль окуляра играет контактная линза (рис. 80). Такие очки обладают двумя преимуществами: поле зрения расширяется на 30—50% и, кроме того, улучшается косметический эффект, так как они выглядят как обычные корригирующие очки.

При подборе жестких контактных линз необходимо контролировать соответствие задней поверхности контактной линзы передней поверхности роговицы. Преломляющая сила в центре и на периферии роговицы неодинаковая, нередко она отличается на 2—3 дптр. Изменение кривизны роговицы от центра к периферии имеет асиммет-

ричный характер. Технически названное соответствие определяется методом флюоресцеиновой пробы. Пространство между контактной линзой и роговицей заполняют раствором флюоресцеина. При рассматривании глаза в свете ультрафиолетовых лучей по степени флюоресценции можно установить глубину дистанции между роговицей и контактной линзой или отсутствие такой дистанции.

Мягкие контактные линзы изготавливают из эластичного материала, содержащего значительное количество воды (до 70% и более). При их использовании создаются условия для вывода продуктов метаболизма роговицы, легче достигается адаптация, а следовательно, и переносимость линз.

### ИНТРАОКУЛЯРНЫЕ ЛИНЗЫ

В настоящее время число успешных имплантаций интраокулярных линз исчисляется сотнями тысяч и можно полагать, что по мере совершенствования их конструкции и материалов, из которых они изготавливаются, применение искусственных хрусталиков будет расширяться.

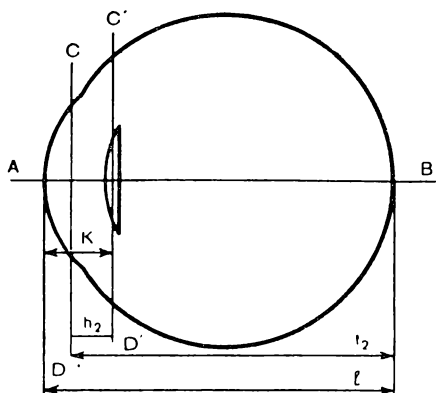
Все без исключения интраокулярные линзы имеют одну идентичную деталь — оптическую часть — линзу, изготавливаемую чаще из очищенного полиметилакрилата. Отличия в конструкции интраокулярных линз характеризуются преимущественно элементами крепления.

Подавляющее число имплантаций интраокулярных линз выполнено с целью замещения удаленного хрусталика. Визуальный эффект операции в большой мере зависит от выбора преломляющей силы линзы. Использование стандартной интраокулярной линзы недопустимо хотя бы потому, что оптическая сила хрусталика варьирует в весьма широких пределах — от 12,9 до 33,8 дптр, в среднем — 20,38 дптр (Е. Ж. Трон).

Расчет оптической силы интраокулярных линз по индивидуальным параметрам глаза выполняют по формулам [Федоров С. Н., Колинко А. И., Колинко А. И., 1967] и по номограммам [Федоров С. Н., Егорова Э. В., 1980; Сергиенко Н. М., 1980]. Вывод формулы для расчета искусственного хрусталика представлен ниже.

Допустим, в афакическом глазу (рис. 81) с рефракцией роговицы  $D_p$  и длиной оси  $AB=l$  помещена интраокулярная линза в плоскости  $D'C'$ . Дистанция между вершиной роговицы и линзой (передняя камера) равна  $K$ . Задняя

Рис. 81. Афакический глаз с интраокулярной линзой (объяснения в тексте).



главная плоскость  $DC$  расположена на расстоянии  $h_2$  от интраокулярной линзы. Можно установить, что:

$$l = f_2 - h_2 + K.$$

Заднее фокусное расстояние  $f_2$  вычисляется по формуле:

$$f_2 = \frac{n}{D_{1,2}},$$

где  $n$  — показатель преломления сред глаза;  $D_{1,2}$  — преломляющая сила оптической системы.

Положение задней главной плоскости:

$$h_2 = -K \frac{D_1}{D_{1,2}}.$$

Подставляя значения  $f_2$  и  $h_2$  в первоначальное уравнение, получаем:

$$l = \frac{n}{D_{1,2}} - \frac{KD_1}{D_{1,2}} + K.$$

После преобразований уравнение получает следующий вид:

$$D_{1,2} = \frac{n - KD_1}{l - K}.$$

Оптическая сила  $D_{1,2}$  системы, состоящей из двух преломляющих элементов  $D_1$  и  $D_2$ , имеет и другое выражение:

$$D_{1,2} = D_1 + D_2 - \frac{K}{u} D_1 D_2,$$

где  $D_2$  — искомая величина, т. е. преломляющая сила интраокулярной линзы.

Так как левые части двух последних уравнений представляют одну величину, значит, и правые части уравнений равны:

$$\frac{n-KD_1}{1-K} = D_1 + D_2 - \frac{K}{n} D_1 D_2.$$

После преобразований:

$$D_2 = \frac{n - lD_1}{(1-K) \left( 1 - \frac{K}{n} D_2 \right)}.$$

Таким образом, расчет преломляющей силы линзы сопряжен с оценкой ряда констант афакического глаза:

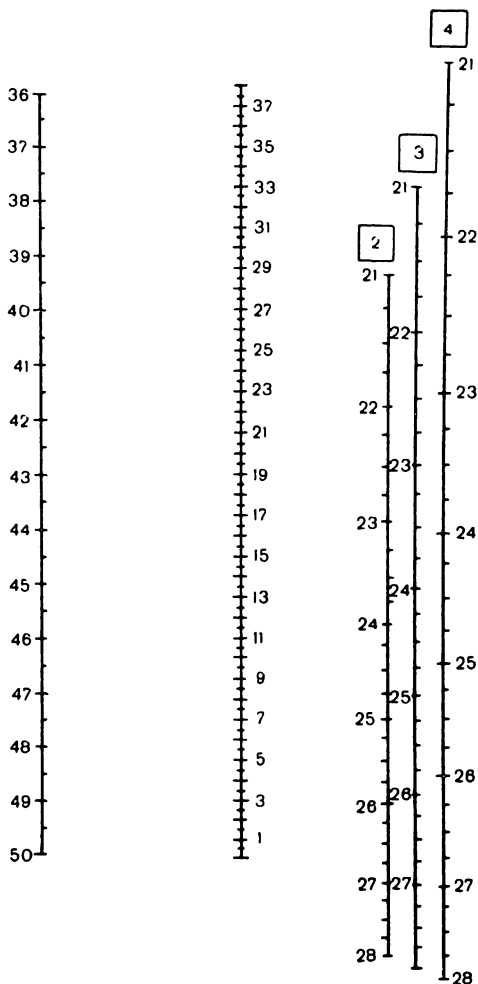
1)  $n=1,336$  — показатель преломления жидкости передней камеры и стекловидного тела; 2)  $l$  — длина переднезадней оси глазного яблока, измеряемая, как правило, с помощью эхоофтальмографа. Менее удобен метод Рештона с использованием феномена чувствительности сетчатки к рентгеновским лучам; 3)  $D_1$  — рефракция роговицы, измеряемая с помощью офтальмометра; 4)  $K$  — расстояние между вершиной роговицы и главной плоскостью интраокулярной линзы.

Расчет оптической силы интраокулярных линз в зависимости от величины преломляющей силы роговицы, длины оси глазного яблока и глубины передней камеры обычно выполняется на ЭВМ либо по номограмме. На рис. 82 представлена рассчитанная нами номограмма. На крайней линии слева указаны значения преломляющей силы роговицы  $D_p$  на трех крайних линиях справа — значения длины оси глазного яблока  $L$  в миллиметрах при трех различных значениях глубины передней камеры — 2, 3 и 4 мм.

Для того чтобы вычислить величину преломляющей силы интраокулярной линзы на средней линии, достаточно соединить линейкой две точки, соответствующие значениям  $D_1$  и  $L$ .

При выборе оптической силы интраокулярной линзы, даже если врач намеревается достичь эметропии, следует брать линзу на 0,75—1,0 дптр сильнее той, сила которой определена по номограмме. Погрешности при интраокулярной коррекции неизбежны. В случае ошибки в ту или другую сторону будет получена рефракция, близкая к эметропии, либо миопия в пределах 2 дптр. Получение гиперметропической рефракции менее желательно, так как гиперметропический неаккомодирующий глаз лишен ясного зрения и вдаль, и вблизи.

**Рис. 82.** Номограмма для расчета оптической силы интраокулярных линз.



Приведенная выше номограмма предназначена для определения необходимой силы интраокулярной линзы, конструкцию которой необходимо рассчитывать. В качестве материала обычно используют очищенный полиметилакрилат, в частности марки СТ-1, с показателем преломления 1,492. Простейшей является плосковыпуклая линза, единственная выпуклая поверхность которой определяется по формуле:

$$r = \frac{n' - n}{D_{\text{нол}}},$$

где  $r$  — радиус кривизны поверхности;  $n'$  — показатель преломления материала линзы;  $n$  — показатель преломления внутриглазной жидкости;  $D_{\text{иол}}$  — заданная сила интраокулярной линзы.

Диаметр оптической части линзы обычно составляет 5—6 мм, несколько больше диаметра зрачка при умеренном освещении.

### РЕФРАКЦИОННЫЕ ОПЕРАЦИИ

Под рефракционными понимают операции, выполняемые исключительно с целью изменения состояния клинической рефракции глаза.

Вмешательство производится на практически здоровом глазу. Во всяком случае намечаемый эффект может быть достигнут назначением обычных оптических средств. Последнее обстоятельство накладывает на хирурга особую ответственность. Техника операций должна быть настолько совершенной и отработанной, чтобы осложнения практически не имели места, а рефракционный эффект был близок к расчетному.

Состояние клинической рефракции определяется соотношением между длиной оси глазного яблока и преломляющей силой оптической системы, поэтому существует 2 подхода в воздействии на клиническую рефракцию: 1) изменение длины оси глазного яблока; 2) изменение преломляющей силы оптической системы.

Наибольшее число рефракционных операций выполняют на роговице. Мы рассмотрим их более тщательно в связи с тем, что кератопластические операции имеют математическое обоснование и рефракционный эффект операций можно с определенной точностью прогнозировать. Почти не касаясь технической стороны выполнения операций, хода оперативного вмешательства, послеоперационного течения, обратимся к оптическим аспектам рефракционных операций на роговице. Объектом нашего внимания в данном разделе является анализ физических и физиологических свойств роговицы и оптические расчеты.

**К е р а т о м и л е з.** Операция направлена на измерение (ослабление или усиление) преломляющей силы передней поверхности роговицы. Заданного эффекта достигают путем изменения толщины роговицы. При близорукости центральную часть ее делают тоньше, что вызывает уплощение передней поверхности роговицы. При дальнозоркости толщину центральной части роговицы оставляют без изменений и истончают роговицу по периферии, достигая увеличения кривизны передней поверхности роговицы.



Рис. 83. Кератомилез.

а — при близорукости; б — при дальнозоркости.

Техника и название операции предложены J. I. Вагацгер (1965). В СССР операция впервые выполнена М. М. Красновым (1970). Операция начинается со срезания поверхностного слоя роговицы — немного более половины ее толщины. По J. I. Вагацгер, данный этап выполняется специальным микрорубанком. Однако можно пользоваться упрощенным техническим приемом, применяя обычный круглый нож. Срезанный трансплантат обрабатывают таким образом, чтобы резецировать слой стромы заданной формы и толщины. При близорукости резецируемая часть напоминает линзу, при дальнозоркости — кольцо с утолщенными краями (рис. 83). Для выполнения данного этапа операции применяли прецизионный токарный станок. Предварительно роговичный лоскут обезжизивали в глицерине и замораживали до  $-70^{\circ}\text{C}$ . При этом он превращался в скорлупу, пригодную для обработки на токарном станке. Другие авторы применяли для обработки трансплантата микротом, под лезвие которого помещался роговичный лоскут, распластаный и замороженный на выпуклой форме заданного радиуса кривизны. После размораживания лоскут пришивали на прежнее место.

В СССР кератомилез наиболее широко применяли О. В. Груша, И. А. Мустаев (1971), С. Н. Федоров и В. Д. Захаров (1971). Авторы указывают на возможность дозированного изменения рефракции роговицы и достижения достаточно высокого визуального эффекта. Средняя ошибка в достижении необходимой рефракции равна  $\pm 1,5$  дптр. Средняя величина астигматизма в большинстве случаев также не превышала 1,5 дптр.

Было бы, однако, преждевременным считать кератомилез окончательно разработанной операцией. Наиболее трудной проблемой кератомилеза является возникновение иррегулярного астигматизма в результате неточности обработки роговичного трансплантата. Степень иррегуляторного астигматизма, измеренного автоматическим рефракто-

метром, превышает 2 дптр. Другой проблемой считают трофические изменения роговицы вследствие ее травмирования. По-видимому, в перспективе техника кератомилеза должна развиваться по пути уменьшения травматичности операции. Нами предложен упрощенный метод кератопластической операции при близорукости [Сергиенко Н. М., 1978], позволяющий резецировать менискообразный слой стромы роговицы через небольшой надрез у лимба, не прибегая к отсечению поверхностного листка роговицы.

**Кератофакия.** Под кератофакией понимают операцию с целью увеличения преломляющей силы роговицы на степень, которая соответствует преломляющей силе удаленного хрусталика. Кератофакия предназначена для коррекции монокулярной афакии.

Технически операция состоит в имплантации донорской стромы в роговицу оперируемого афакического глаза. Менискообразная форма трансплантата теоретически является наиболее обоснованной, и на первом этапе исследований применяли имплантаты менискообразной формы. Однако в дальнейшем стало очевидным, что имплантат, имеющий вид диска, со временем моделируется и принимает менискообразную форму. Несомненно, два имплантата: мениско- и дискообразный — одинакового диаметра и толщины обусловят различный оптический эффект, так как дискообразный имплантат после моделирования станет толще в центральной части и тоньше по краям.

Важным является вопрос о глубине залегания имплантата. Поверхностно размещенный мениск пересаженной под боуменову оболочку ткани окажет гораздо большее влияние на форму передней поверхности роговицы, чем такой же мениск, помещенный в средние, а тем более в задние слои роговицы. В последнем случае преимущественно изменится задняя, оптически гораздо менее деятельная поверхность роговицы. Оптический результат в этом случае может быть едва заметным. Вопрос о влиянии глубины залегания имплантата освещен в литературе недостаточно.

Кератофакия внедряется в практику с осторожностью. Это объясняется возможностью развития осложнений, в частности иммунологической реакции. Для уменьшения риска этого осложнения было предложено использовать в качестве донорской ткани роговицы мертворожденных плодов [Беляев В. С., Веретенникова В. В., 1972]. Есть основания считать, что ткань плодов обладает меньшими иммунологическими свойствами. Вторым осложнением оперативного вмешательства считают появление иррегулярного

**Рис. 84.** Эпикератофакия: Е — эпителий, Т — биолинза, С — роговица реципиента.

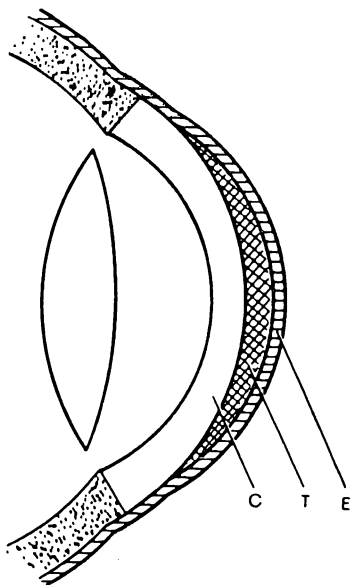
астигматизма. Кроме того, замечено, что в отдаленный послеоперационный период рефракционный эффект операции может значительно уменьшаться.

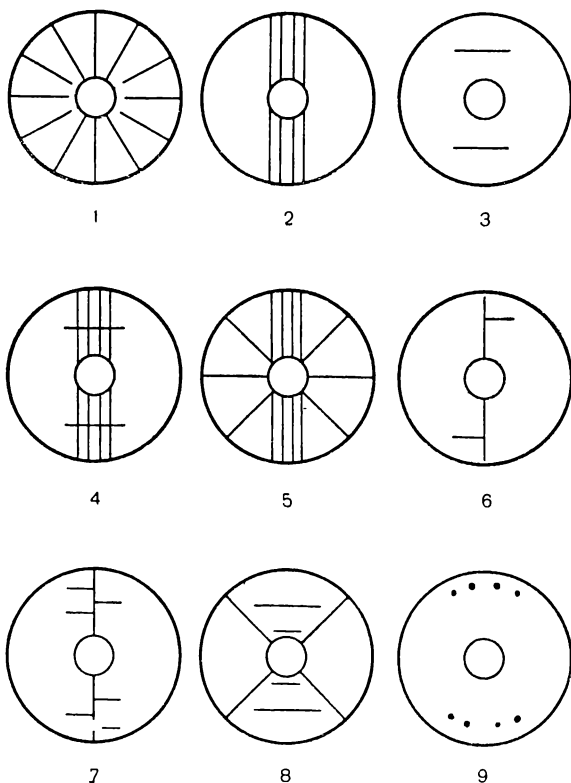
Долговременный эффект кератофакии стал возможным благодаря дополнительному вмешательству — выполнению круговой насечки поверхностных слоев роговицы вокруг биолинзы [Беляев В. С., Веретенникова В. В., Душин Н. В., Луэнго В. М., 1980]. Нарушение целостности плотной боуменовой оболочки дает возможность сохранить выпячивание передней поверхности роговицы и длительно удерживать приобретенную форму роговицы. Без циркулярной насечки боуменовой мембраны рефракционный эффект со временем существенно падал вследствие смещения биолинзы кзади.

**Эпикератофакия.** В 1980 г. Н. Е. Kaufman описал оперативное вмешательство, состоящее в фиксации к диэпителизированной роговице биолинзы, изготовленной из донорской ткани (рис. 84). Края линзы пришиваются швами. Эпителий покрывает биолинзу, обеспечивая ее существование в замкнутой полости тканей реципиента.

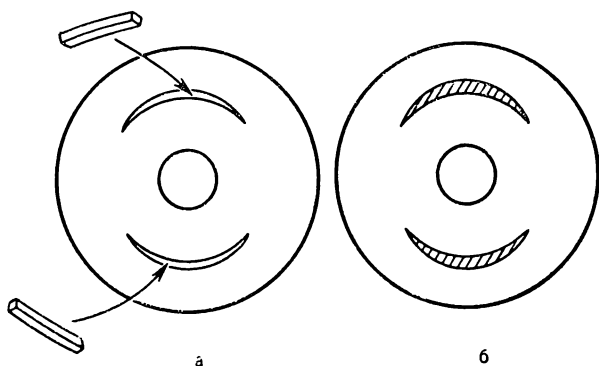
Вначале эпикератофакию применяли для коррекции афакии, особенно у детей после удаления врожденных катаракт, затем стали использовать для хирургической коррекции миопии, для чего трансплантату придавалась форма отрицательной линзы.

**Неперфорирующие кератотомии.** Японский офтальмолог Т. Sato (1950, 1953, 1954) сделал несколько сообщений об успешном лечении близорукости и близорукого астигматизма путем неперфорирующих насечек на роговице. Сначала автор производил передние неперфорирующие надрезы. Однако, убедившись в недостаточной эффективности передних надрезов, стал выполнять задние неперфорирующие, т. е. надрезы со стороны передней камеры





**Рис. 85.** Топография разрезов при близоруким астигматизме (1—8), термолазеркоагуляция при гиперметропическом астигматизме (9).



**Рис. 86.** Дуговая клинокератопластика при смешанном астигматизме. а — выполнение дуговых насечек; б — размещение клиньев в насечках.

глаза, для чего использовал специально изготовленный нож. При жизни автора операции не получили признания.

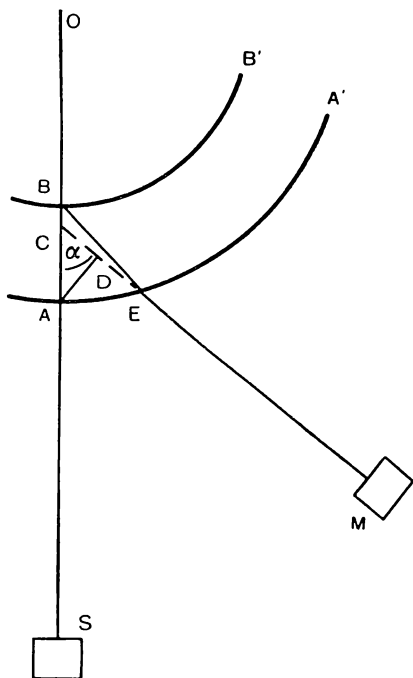
В последнее десятилетие интерес к этой операции возобновился. Ежегодно в различных офтальмологических центрах мира выполняются тысячи кератотомий.

Предложены различные виды неперфорирующих разрезов роговицы при астигматизме, в основном миопическом (рис. 85). При дальнозорком астигматизме оказывает действие прижигание лазером или терморегулируемым инструментом в меридиане слабого преломления (см. рис. 85).

С целью хирургической коррекции смешанного астигматизма более 4,0 дптр нами апробирован следующий метод [Сергиенко Н. М., Лаврик Н. С., 1986]. В меридиане сильного преломления производят 2 несквозные дугообразные насечки по окружности диаметром 7 мм (рис. 86). В насечки помещаются полоски донорской ткани шириной около 0,3 мм. Полоски удерживаются без пришивания. Окончательный эффект достигается через полгода после операции. В сильном меридиане рефракция ослабляется, в слабом — усиливается. Суммарный результат коррекции составляет 5,0—6,0 дптр.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ РОГОВИЦЫ И ГЛУБИНЫ ПЕРЕДНЕЙ КАМЕРЫ

В клинической практике толщину роговицы определяют при различных ее патологических состояниях, например при кератоконусе, кератитах, дистрофиях и т. д. Данные о глубине передней камеры представляют интерес при оценке патологического состояния хрусталика, стекловидного тела, при глаукоме.



**Рис. 87.** Измерение толщины роговицы. Построение схемы для расчета (объяснения в тексте).

В СССР для измерения толщины роговицы применяют аппарат И. А. Вязовского (1960) и кератопахометр с использованием плоскопараллельной пластины [Слонимский Ю. Б., Алексеев Б. Н., 1973; Maurice D. M., Giordini A., 1951; H. Cardona, 1971]. Предложенное нами [Сергиенко Н. М., Панфилова В. В., 1978] устройство отличается тем, что исследование можно выполнить при помощи выпускаемых промышленностью щелевой лампы и офтальмокалиброметра. Принцип измерения показан на рис. 87.

Узкий пучок света от щелевой лампы S падает на роговицу толщиной АВ, АА' и ВВ' — передняя и задняя поверхности, О — центр кривизны роговицы. Исследующий наблюдает оптический срез роговицы через окуляр М. Толщина оптического среза АВ рассматривается через оптически активную переднюю поверхность роговицы, поэтому

**Таблица 2. Измерение толщины роговицы по степени сдвига оптического среза и данным рефракции роговицы**

Степень сдвига оптического среза (деление офтальмокалиброметра)	Степень сдвига, мм	Рефракция роговицы, дптр					
		32	36	40	44	48	52
14	0,112	0,42	0,39	0,37	0,35	0,34	0,33
16	0,128	0,44	0,42	0,40	0,38	0,37	0,36
18	0,144	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,39
20	0,160	0,50	0,48	0,46	0,44	0,43	0,42
22	0,176	0,53	0,51	0,49	0,46	0,46	0,45
24	0,192	0,56	0,52	0,52	0,49	0,49	0,48
26	0,208	0,59	0,56	0,54	0,52	0,52	0,51
28	0,224	0,62	0,59	0,57	0,55	0,55	0,53
30	0,240	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57	0,56
32	0,256	0,67	0,65	0,63	0,61	0,60	0,59
34	0,272	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62
36	0,288	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65
38	0,304	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,68
40	0,320	0,79	0,77	0,75	0,72	0,72	0,71
42	0,336	0,82	0,80	0,78	0,76	0,75	0,74
44	0,352	0,85	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77
46	0,368	0,88	0,85	0,84	0,81	0,81	0,80
48	0,384	0,91	0,88	0,87	0,84	0,84	0,83
50	0,400	0,94	0,91	0,89	0,87	0,87	0,86
52	0,416	0,96	0,94	0,92	0,90	0,90	0,89
54	0,432	0,99	0,97	0,95	0,93	0,93	0,92
56	0,448	1,02	1,00	0,98	0,96	0,96	0,95
58	0,464	1,05	1,03	1,01	0,99	0,98	0,98

изображение задней точки оптического среза В переместится в точку С. Так как оптический срез наблюдается под некоторым углом ( $40^\circ$ ) к направлению светового луча SB, то кажущаяся толщина оптического среза определяется как отрезок AD.

Искомая величина АВ вычисляется по формуле:

$$AB = \frac{r}{\cos \alpha} \cdot \left[ \frac{\frac{n}{n-1} \cdot \left[ r(1 - \cos \alpha) + \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha} \right]}{\frac{rn}{n-1} - r(1 - \cos \alpha) - \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha}} - (1 - \cos \alpha) \right],$$

где  $r$  — радиус кривизны передней поверхности роговицы, измеряемый офтальмометром Жавая;  $a$  — кажущаяся толщина оптического среза (А), измеряемая инструментальным способом;  $n$  — показатель преломления ткани роговицы, равный 1,376;  $\alpha$  — угол между направлением светового пучка и зрительной линией наблюдателя ( $40^\circ$ ).

Технически наиболее удобно измерять кажущуюся толщину оптического среза методом смещения половины изображения оптического среза. Окончательный результат можно получить, пользуясь табл. 2, в первой графе которой приведены показания по офтальмокалиброметру, установленному на щелевой лампе ЩЛ-56 при увеличении 18.

Особенности техники измерения состоят в следующем. Офтальмокалиброметр вставляют вместо правого окуляра щелевой лампы. Так как диаметр офтальмокалиброметра меньше диаметра окуляра, то на офтальмокалиброметр надевают прокладку. Осветитель поворачивают вправо на отметку  $45^\circ$ , так как оптическая ось правого окуляра отклонена вправо на  $5^\circ$ , то угол между световым пучком и осью офтальмокалиброметра оказывается равным  $40^\circ$ .

Увеличение ставят на отметку 18. Щель максимально суживают. Манипулируя рычагом координатного столика, обследующий получает оптимальную четкость оптического среза роговицы, наблюдаемого через офтальмокалиброметр. Показателем хорошего качества оптического среза может служить такая деталь: края оптического среза, соответствующие боуеновой и десцеметовой оболочкам, должны светиться несколько ярче, чем строма. Вращением винта офтальмокалиброметра изображения оптического среза смещают таким образом, чтобы передняя поверхность роговицы одной части изображения соответствовала задней поверхности роговицы другой части. Определяют степень сдвига изображения по микровинту офтальмокалиброметра. Затем с помощью офтальмометра Жавая определяют рефракцию роговицы. Толщину роговицы устанавливают, пользуясь табл. 2. Для измерения можно использовать другие модели щелевых ламп. Средняя ошибка измерения  $\pm 0,01$  мм.

Глубину передней камеры измеряют аналогичным образом.

- Аветисов Э. С., Розенблюм Ю. З. Оптическая коррекция зрения.— М.: Медицина, 1981.— 200 с.
- Беляев В. С., Веретенникова В. В., Душин Н. В., Луэнго В. М. Мж-слойная рефракционная кератопластика при афакии, дальнозоркости и близорукости//Вестн. офтальмол.— 1980.— № 5.— С. 28—35.
- Беляев В. С. Операции на роговой оболочке и склере.— М.: Медицина, 1984.
- Ватченко А. А. Спазм аккомодации и близорукость.— Киев: Здоровье, 1977.— 120 с.
- Груша О. В., Аветисов Э. С., Мамикоян В. Р. Опыт применения силиконовых контактных линз после операции передней кератотомии//Вест. офтальмол.— 1981.— № 4.— С. 13—14.
- Дроздов А. А., Разбродин А. В. Особенности учета параметров при конструировании оптических систем для слабовидящих//Электронно-оптическая и физико-оптическая аппаратура. Разработка и применение.— М., 1989.— С. 23—24.
- Егорова Т. С. Монокуляторы для коррекции зрения слабовидящих вдаль//Новости мед. техники.— 1982.— Вып. 1.— С. 38—41.
- Егорова Т. С., Усик В. А., Скуратов А. Д., Якушина М. Г. Комплект корригирующих средств для слабовидящих при чтении//Электронно-оптическая и физико-оптическая аппаратура. Разработка и применение.— М., 1985.— С. 28—30.
- Краснов М. М. Первый опыт хирургического исправления близорукости и афакии методом рефракционной кератопластики//Вестн. офтальмол.— 1970.— № 2.— С. 24—28.
- Кругер М. Я. Справочник конструктора оптико-механических приборов.— Л.: Машиностроение, 1968.— 760 с.
- Кузищин В. И. Культура древнего Египта//История древнего Востока.— М., 1979.— С. 74—90.
- Сенякина А. С. Влияние спазма аккомодации и его лечения на развитие приобретенной осевой миопии//Офтальмол. журн.— 1981.— № 8.— С. 449—454.
- Сергиенко Н. М. К измерению оптической силы интраокулярных линз//Офтальмол. журн.— 1980.— № 4.— С. 241—242.
- Сергиенко Н. М., Кондратенко Ю. Н. Офтальмотонус и гониоскопическая картина при прогрессирующей близорукости//Вестн. офтальмол.— 1986.— № 6.— С. 20—23.
- Сергиенко Н. М., Лаврик Н. С. Рефракционная дуговая клинокератопластика в коррекции астигматизма//Реабилитация больных с патологией органа зрения.— Одесса.— 1986.— С. 232—235.
- Трон Е. Ж. Изменчивость элементов оптического аппарата глаза и ее значение для клиники.— Л.: Изд-во Воен.-мед. акад.— 1947.— 271 с.
- Урмахер Л. С., Айзеништат Л. И. Очковая оптика.— М.: Медицина, 1982.— 192 с.

- Урмахер Л. С., Айзеништат Л. И.* Оптические средства коррекции зрения.—М.: Медицина, 1990.—156 с.
- Федоров С. Н.* Имплантация искусственного хрусталика.—М.: Медицина.—1977.—208 с.
- Keating M. P.* Dioptric power in an off-axis meridian: the torsional component//Amer. J. Optom. Physiol. Opt.—1986.—Vol. 63, N 10.—P. 830—838.
- Keating M. P.* An easier method to obtain the sphere, cylinder and axis from an off-axis dioptric power matrix//Amer. J. Optom. Physiol. Opt.—1980.—Vol. 57, N 10.—P. 734—737.
- Long W F.* Why is ocular astigmatism regular? Amer. J. Optom. Physiol. Opt.—1982.—Vol. 59, N 6.—P. 520—522.
- Sergienko N. M., Aliev G. D.* Correcting astigmatism//Amer. J. Optom. Physiol. Opt.—1989.—Vol. 66, N 3.—P. 167—169.

Глава 1. Геометрическая оптика. Законы геометрической оптики . . . . .	3
Преломление лучей одной сферической поверхностью	14
Простая оптическая система . . . . .	15
Построение оптического изображения . . . . .	18
Телескопическая система . . . . .	19
Диоптрика . . . . .	20
Глава 2. Оптическая система человеческого глаза . . . . .	24
Схематический глаз . . . . .	24
Оптическая система глаза . . . . .	25
Глава 3. Клиническая рефракция глаза . . . . .	45
Виды клинической рефракции . . . . .	45
Оценка эффективности методов лечения близорукости	62
Астигматизм . . . . .	66
Анизометропия . . . . .	74
Аккомодация . . . . .	80
Рефрактометрия . . . . .	101
Подбор очков . . . . .	118
Глава 4. Частные разделы офтальмологической оптики . . . . .	121
Контактные линзы . . . . .	121
Интраокулярные линзы . . . . .	130
Рефракционные операции . . . . .	134
Измерение толщины роговицы и глубины передней камеры. . . . .	139
Список рекомендуемой литературы . . . . .	142

## Монография

Николай Маркович Сергиенко

## ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИКА

2-е изд., перераб. и допол.

Зав. редакцией *Ю. В. Махотин*. Редактор *Л. Ю. Корякина*. Художественный редактор *С. М. Лымина*. Оформление художника *А. Е. Григорьева*. Технический редактор *Н. М. Клепикова*. Мл. редактор *Н. Ф. Евдошук*. Корректор *Н. П. Проходцева*

ИБ 5380

Сдано в набор 20.08.90. Подписано к печати 09.01.91. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литерат. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,56. Усл. кр.-отг. 7,77. Уч.-изд. л. 8,24. Тираж 10 000 экз. Заказ 1323. Цена 1 р. 80 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Медицина». 101000, Москва, Петроверигский пер., 6/8

Областная ордена «Знак Почета» типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли. 214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.



1 р. 80 к.

«Медицина» 1991

ISBN 5-225-02122-0