

ЗАОЧНАЯ ШКОЛА CARL ZEISS

Уважаемые читатели! Мы продолжаем публикацию учебных материалов из руководства «Handbook of Ophthalmic Optics», подготовленного компанией Carl Zeiss. В указанном руководстве в конспективном виде изложены практически все необходимые для работы врача-офтальмолога и оптика вопросы.

«Заочная школа Carl Zeiss» была уже напечатана в следующих номерах: №6, №7 2005 г., №1, №2, №4-7 2006 г. В этих номерах были изложены вопросы геометрической, физической и физиологической оптики.

Публикация 9 Физиологическая оптика: Глаз (продолжение)

Бинокулярное восприятие пространства Восприятие направления

Бинокулярное восприятие пространства — это восприятие центральной области между двумя глазами (циклопический глаз). Прямая, соединяющая зафиксированную двумя глазами точку объекта и центр между оптическими центрами вращения глазного яблока, называется средней линией глаз (ML) (линия взгляда циклопического глаза). Вертикальная плоскость, проходящая через эту среднюю линию при взгляде прямо вперед, называется меридианной плоскостью пары глаз.

Точки на сетчатке двух глаз, которые при бинокулярном зрении передают идентичное пространственное направление вне зависимости от изображений, лежащих на них, называют корреспондирующими точками сетчатки. Точки на сетчатке двух глаз, которые передают разное пространственное направление, называют диспаратными точками сетчатки. Взаимодействие корреспондирующих точек сетчатки называют корреспонденцией. Корреспондирующие центры — это точки на сетчатке двух глаз, которые при бинокулярном зрении обеспечивают величину направленности «прямо вперед». В идеале корреспондирующие центры лежат в центрах фовеа (бицентральная корреспонденция).

Точки сетчатки двух глаз, на которые любой точечный объект отображается одновременно, известны как идентичные изображению точки сетчатки.

Гороптер — это пространство вокруг точки фиксации, точки которого (при бицентральной корреспонденции) отображаются на корреспондирующих точках сетчатки обоих глаз (рис.9.1). Точки объекта, расположенные вне гороптера, отображаются в диспаратных точках сетчатки. Расстояние до диспаратной точки сетчатки от точки сетчатки, корреспондирующей с идентичной изображению точки сетчатки другого глаза известно как диспаратность (несоответствие). Латераль-

ная диспаратность — это горизонтальный компонент диспаратности при положении головы вверх-прямо. Компонент перпендикулярный этому — вертикальная диспаратность. Соответствующие точки на сетчатке называются латеральными диспаратными и вертикальными диспаратными точками сетчатки.

Все точки объекта, лежащие на гороптере, обеспечивают ортопетальный фузионный стимул, т.е. фузионный стимул, приближающий к ортопозиции (ортоположению). Объекты, расположенные вне гороптера, вызывают ортофугальный фузионный стимул, т.е. фузионный стимул, удаляющий в сторону от ортопозиции. В горизонтальном ортофугальном фузионном стимуле проводят различие между изопетальным (двигающим внутрь) фузионным стимулом (от объектов, расположенных перед гороптером) и экзопетальным (двигающим наружу) фузионным стимулом (от объектов, расположенных позади гороптера).

Каждая точка сетчатки, корреспондирующая точке сетчатки другого глаза, окружена областью, в которой, несмотря на диспаратность, монокулярные зрительные изображения сливаются, обеспечивая адекватную равность получающихся изображений. Эти маленькие области называются областями фузии (областями Панума) и в первом приближении имеют форму горизонтального эллипса. В зависимости от используемой методики измерения в литературе приводятся различные размеры центральной зоны фузии (от нескольких угловых минут до 1 градуса (угол узловой точки)). Размеры зон фузии Панума увеличиваются по мере удаления от центра к периферии сетчатки.

Если корреспондирующие центры двух глаз лежат внутри центральной зоны фузии, то имеет место нормальная корреспонденция. Если один корреспондирующий центр лежит вне центральной зоны фузии, это называется аномальной корреспонденцией, которая существует только как следствие гетеротропии.

Стереозрение

При нормальном бинокулярном зрении разницу в расстояниях до одновременно наблюдаемых объектов можно ощутить только лишь благодаря различию в латеральной диспаратности. Латеральное диспаратное ощущение глубины называется стереоскопическим зрением (стереозрением). Разница в вертикальной диспаратности не дает ощущения пространства. Стереоскопический угол φ служит для измерения величины латеральной диспаратности. Угол φ – угол, при котором появляется стереоскопический параллакс y (рис. 9.2). Видно, что размер стереоскопического параллакса точки в пространстве, не расположенной на горизонте, зависит от расстояния l от объекта фиксации до глаза:

$$\theta = y_p/l \quad (9.1)$$

Применительно к парам стереоскопических изображений стереоскопический параллакс измеряют в плоскости изображения (рис. 9.4).

При одинаковом расположении объектов стерео угол тем больше, чем больше межзрачковое расстояние p . Если расстояние между фиксируемым объектом и стерео объектом мало по сравнению с расстоянием l до объекта фиксации, то стерео угол равен:

$$\theta = p \Delta/l^2 \quad (9.2.)$$

При одинаковом расстоянии до объектов больший стерео угол в норме обеспечивает лучшее бинокулярное пространственное восприятие.

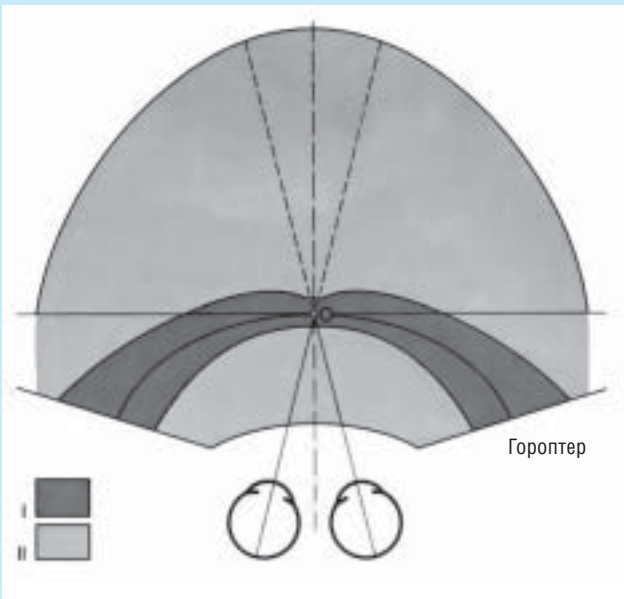


Рис.9.1. Схематическое изображение зон стереоскопического зрения (O – бицентрально фиксированный точечный объект)
I бинокулярное зрение II двоение

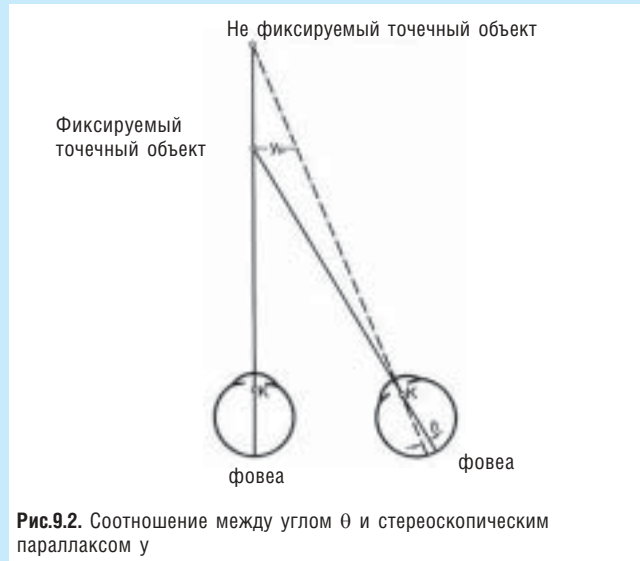


Рис.9.2. Соотношение между углом θ и стереоскопическим параллаксом y

Объекты, лежащие перед горизонтом, отображаются с темпоральной латеральной диспаратностью, а позади горизонта – с назальной латеральной диспаратностью. Точки объекта, отображаемые внутри зоны фузии (Панум), образуют фузионное пространство Панума. Для точек объекта вне фузионного пространства Панума стереоскопическая оценка пространственного положения возможна до определенной степени, хотя, возможно, уже имеется двоение. Эти области показаны на рис.9.1.

Наименьший стерео угол, обеспечивающий стереозрение, называется порогом стереозрения θ_g , который составляет около 10 угловых секунд для фотопического зрения. Он известен как глубина поля (острота стерео зрения). Наименьшая глубина, ощущаемая с данным значением θ_g , называется глубиной различения t , и она зависит от расстояния до объекта фиксации и межзрачкового расстояния. Разница в глубине меньше t приводит к стерео углам меньшим θ_g , и, следовательно, не может ощущаться стереоскопически.

Глубина различения становится значительно больше, если увеличивается расстояние фиксации, осо-



Рис.9.3. Зависимость порога стереозрения от освещенности

Таблица 9.1

a (м)	a + t (м)
5	5,02
10	10,08
20	20,3
50	52
100	108
200	235
500	800
670	∞

Расчетные значения диапазона расстояний, где уже отсутствует различие стереоскопической глубины для наблюдателя с межзрачковым расстоянием 65 мм и порогом стереозрения $\theta = 10''$ (a - расстояние до объекта фиксации, t - глубина различения)

бенно при расстояниях выше 600 м. В табл.9.1. показаны расчетные значения глубины различения. Еще одним фактором, от которого зависит порог стереозрения, является освещенность пространства объекта (рис.9.3).

Стереоскопия

Создание трехмерного зрительного впечатления раздельными для двух глаз объектами, обусловленное разницей в латеральной диспаратности, известно как стереоскопичность и используется для проверки стереозрения.

Стереотест прибора Polatest компании Carl Zeiss содержит 2 тестовых объекта, расположенных на одинаковой высоте по обе стороны от бинокулярно фиксированной точки O (высота точек несколько отлична от высоты точки фиксации) (рис.9.4).

Расстояние между двумя тестовыми объектами определяет стереоскопический параллакс y_p . Каждый из тестовых объектов виден только од-

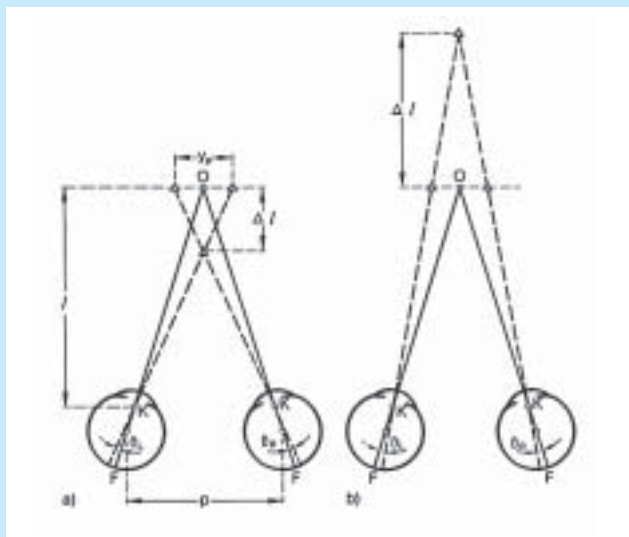


Рис.9.4. Связь глубины объекта Δl , стереоскопического параллакса y_p , расстояния от глаз до точки фиксации O и межзрачкового расстояния p с латеральной диспаратностью типа теста: а) височная латеральная диспаратность, б) назальная латеральная диспаратность (K – узловая точка, F – фовеа, стереоугол $\theta = \theta_l + \theta_n$)

ному глазу. Глубина восприятия индуцируется слиянием тестовых объектов, изображаемых на сетчатке с латеральной диспаратностью в парacentральной зоне фузии Панума. Если расстояние l между плоскостью объекта и глазами достаточно большое, то можно считать, что расстояние между узловыми точками обоих глаз равно межзрачковому расстоянию p, и осязаемая глубина объекта Δl равна:

$$\Delta l = l \cdot y_p / (p \pm y_p) \quad (9.3)$$

где знак «+» применяется в случае темпоральной латеральной диспаратности изображений тестовых объектов, а «-» - для назальной латеральной диспаратности (рис.9.4). Как следует из формулы (9.3), пара глаз с большим межзрачковым расстоянием p воспринимает стерео объект на более коротком расстоянии Dl от объекта фиксации, чем пара глаз с меньшим межзрачковым расстоянием (из-за постоянного стереоскопического параллакса в плоскости тестов).

Рассмотрим теперь стереоскопию случайных точек (пятен). Пусть объекты, наблюдаемые двумя глазами, состоят из случайных точек, образующих фигуру со стереоскопическим параллаксом (например, рука или круг и прямоугольник). Так как нет возможности распознать этот тип тестового объекта монокулярно или бинокулярно без стереозрения, то тесты такого типа могут быть использованы для проверки чистой латеральной диспаратной глубины восприятия.

Баланс стерео зрения

В Германии степень, в которой каждый из двух глаз участвует в стерео зрении, называют «валентностью». Если кроме объекта фиксации стерео объект также расположен на медианной плоскости глаз (рис.9.4) и локализован бинокулярно в том же (горизонтальном) направлении, что и точка фиксации, то говорят, что имеется эквивалентность (изовалентность) глаз. Если, с другой стороны, один глаз доминирует в стерео зрении, стерео объект воспринимается латерально по отношению к точке фиксации: имеет место преваленция (преобладание) этого глаза. Если, например, глаз справа превалирует, то стерео объект будет казаться смещенным влево при темпоральной латеральной диспаратности (рис.9.4а), и вправо при назальной латеральной диспаратности (рис.9.4.б).

Если имеется эквивалентность для обоих направлений диспаратности, то обеспечен стерео баланс. Если имеется отклонение от стерео баланса, то может быть использован соответствующий тест (например, стерео тест в Polatest) для грубой количественной оценки степени превалирования исследуемого глаза.