

*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., №1-7, 2007 г., №1-4 2008 г.*

## Публикация 20 Очковая оптика: Восприятие пространства

### Поле фиксации и поле зрения

Очковая линза формирует изображение оптического центра вращения глаза ( $Z'$ ) (см. «Вестник оптометрии», 2006, №2). Это изображение располагается перед оптическим центром вращения глаза  $Z'$  для линз с отрицательной задней вершинной оптической силой ( $Z^-$ ), если у линзы положительная задняя вершинная оптическая сила, то — позади  $Z'$  ( $Z^+$ ) (Рис. 20.1).

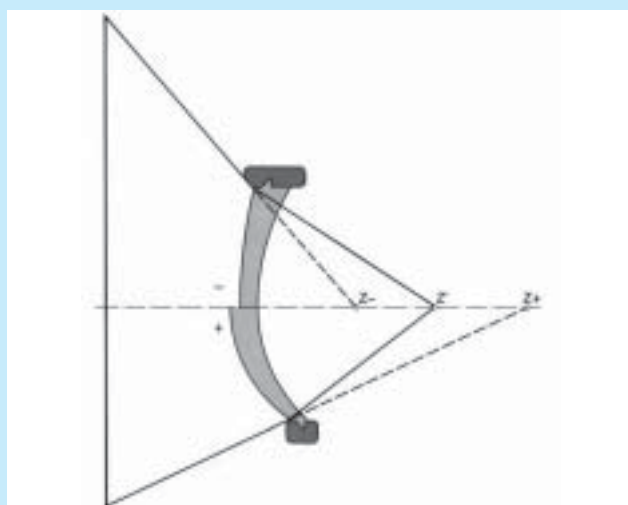
Поэтому угловое поле в пространстве объекта для отрицательных линз больше, а для положительных меньше, чем угловое поле в пространстве со стороны глаза (имеются в виду оптические пространства линзы). Это означает, что поле фиксации в пространстве объекта (и поле зрения) миопического глаза, скорректированного очковыми линзами, больше, а гиперметропического глаза меньше, чем у эметропического глаза с теми же угловыми полями в пространстве объекта.

Максимальный размер углового поля в пространстве объекта и, следовательно, размер соответствующего поля фиксации зависит от:

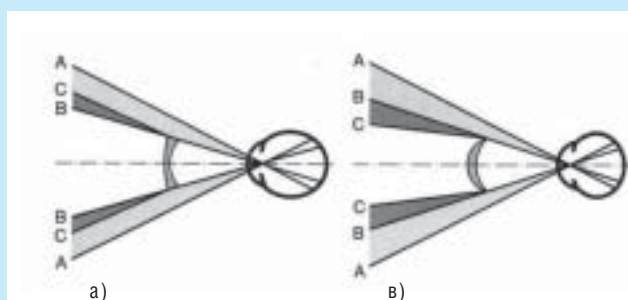
1. диаметра линзы
2. задней вершинной оптической силы линзы
3. заднего вертексного расстояния.

В табл.20.1 приведены диаметры полей фиксации для расстояния 5 м.

Увеличение поле фиксации и поля зрения миопического глаза, скорректированного очковыми линзами, приводит к угловому двоению изображения в расширенной зоне (рис.20.2). Для гиперметропического глаза, скорректированного очковыми линзами, из-за ограничения поля фиксации и поля зрения появляется слепая зона вокруг области четкого зрения (угловая скотома, рис.20.2, в). Объекты, расположенные в этой зоне, не могут быть видны без дополнительных движений головы, что особенно неудобно, если движущиеся объекты, появляются в поле зрения со стороны.



**Рис. 20.1.** Положение изображения центра вращения глаза ( $Z^+$ ,  $Z^-$ ) относительно оптического центра вращения глаза  $Z'$  для положительных и отрицательных линз



**Рис. 20.2.** Поля зрения с корректирующими очками:  
а) миопический глаз, в) гиперметропический глаз

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| а)                         | в)                         |
| В-В: поле четкого зрения   | С-С: поле четкого зрения   |
| В-С: двоение изображения   | В-С: угловая скотома       |
| С-А: поле нечеткого зрения | В-А: поле нечеткого зрения |

Поскольку при увеличении оптической силы положительной линзы поле фиксации и поле зрения становятся меньше, то рекомендуются линзы большего диаметра или специальные катарактальные линзы.

Например, пациент после удаления хрусталика пользуется лентикулярными линзами +12,0 D диаметром 32 мм. В этом случае поле фиксации на расстоянии 5 м будет диаметром всего 4,1 м, а при диаметре линзы 44 мм поле увеличится до 5,1 м. А миоп с корригирующей лентикулярной линзой -12,0 D диаметром 32 мм имеет поле фиксации 8,6 м на расстоянии 5 м.

### Перспектива (глубина пространства)

Разница между угловыми полями в пространстве объекта и в пространстве глаза приводит к изменению восприятия глубины пространства. Результатом этого для миопы будет увеличение глубины, т.е. глубина пространства переоценивается. У гиперметропов более плоское восприятие пространства, т.е. глубина пространства недооценивается. Изменение глубины увеличивается с ростом задней вершинной силы корригирующей линзы.

### Увеличение

Размер изображения объекта на сетчатке глаза, коррированного очковой линзой, отличается от размера на сетчатке эметропического глаза той же длины. Соотношение размеров этих изображений (увеличение) зависит от:

1. задней вершинной оптической силы линзы,
2. заднего вертексного расстояния,
3. фактора увеличения формы линзы.

Коэффициент увеличения  $P$  – это отношение рефракции дальнейшей точки  $K$  глаза к вертексной силе  $F'_v$  линзы, обеспечивающей полную коррекцию:

$$(20.1) \quad P = K / F'_v.$$

Напомним, что рефракция  $K$  зависит от формы линзы, от расстояния между главными точками системы глаз/линза и от рефракционной силы линзы («Вестник оптометрии», №2, 2008г.).

Полное увеличение  $SM$  системы глаз/линза зависит от коэффициента увеличения  $P$  и фактора увеличения формы  $S$ :

$$(20.2) \quad SM = P \times S.$$

Учитывая ранее приведенные формулы для  $P$  и  $S$ , имеем:

$$(20.3) \quad SM = 1 / (1 - d F_{sp}) = 1 + d K,$$

где  $F_{sp}$  – рефракционная сила линза,  $d$  – расстояние между главными точками системы глаз/линза.

Следовательно, для миопического глаза, коррированного очковой линзой, увеличение  $SM < 1$ , что означает уменьшение размера изображения, полученного с очковой линзой; для гиперметропического глаза, коррированного очковой линзой, происходит увеличение изображения, т.к.  $SM > 1$ . Если корригирующую линзу сместить на 1 мм вдоль оптической оси, то изображение на сетчатке изменяется примерно на 0,1%; уменьшение заднего вертексного расстояния приводит для отрицательных

$F'_v$ (D)	Диаметр линз (mm)																				
	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
Field of fixation diameter (m) at distance of 5 m																					
-20.0	9.5	10.5	11.6	12.9	14.3	16.1	18.2	21.0	24.9	30.7	41.8	79.5									
-18.0	9.1	10.0	11.0	12.2	13.5	15.1	16.9	19.2	22.2	26.5	33.2	46.9									
-16.0	8.7	9.6	10.5	11.6	12.7	14.1	15.7	17.6	20.1	23.2	27.8	35.3	51.4								
-14.0	8.3	9.1	10.0	11.0	12.0	13.2	14.6	16.2	18.2	20.7	24.0	28.6	36.4								
-12.0	7.9	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.2	14.5	15.9	17.6	19.6	22.0	25.2	29.4	35.5						
-10.0	7.3	7.9	8.6	9.3	10.0	10.9	11.7	12.7	13.8	15.0	16.4	17.9	19.7	21.9	24.6	27.9	32.4	38.7	48.6		
- 8.0	6.9	7.5	8.1	8.7	9.4	10.1	10.9	11.7	12.6	13.6	14.7	15.9	17.2	18.7	20.4	22.4	24.7	27.5	30.9	35.3	41.1
- 6.0	6.4	6.9	7.4	8.0	8.5	9.1	9.8	10.5	11.2	12.0	12.8	13.7	14.6	15.7	16.8	18.1	19.5	21.0	22.8	24.9	27.2
- 4.0	6.0	6.4	6.9	7.4	7.9	8.5	9.0	9.6	10.2	10.8	11.5	12.2	13.0	13.8	14.6	15.6	16.6	17.6	18.8	20.1	21.5
- 2.0	5.6	6.1	6.5	7.0	7.4	7.9	8.4	8.9	9.5	10.0	10.6	11.2	11.8	12.5	13.2	14.0	14.8	15.6	16.5	17.5	18.5
	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.3	9.8	10.2	10.7	11.2	11.7	12.3	12.8	13.4	14.0	14.6
+ 2.0	5.0	5.3	5.7	6.0	6.4	6.8	7.1	7.5	7.8	8.2	8.6	9.0	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.2	12.6
+ 4.0	4.7	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.6	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	8.8	9.1	9.5	9.3	9.6	9.9	10.1	10.4
+ 6.0	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.9	6.1	6.4	6.7	6.9	7.2	7.5	7.7	8.0	8.2	8.5	8.7	8.9	9.2	9.4	9.6
+ 8.0	4.4	4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.3	7.5	7.7	7.8	8.0	8.2	8.4		
+10.0	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.5	6.7	6.8	6.9					
+12.0	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	5.4	5.5	5.6	5.7								
+14.0	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9										
+16.0	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9													
+18.0	3.0	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4															
+20.0	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0															

Таблица 20.1. Зависимость диаметра поля фиксации для расстояния 5 м от диаметра линзы и задней вершинной силы корригирующей линзы  $F'_v$  для вертексных расстояний  $d = 15$  мм до  $\pm 6D$ ,  $d = 14$  мм до  $\pm 8D$  и  $\pm 10D$ ,  $d = 13$  мм выше  $\pm 10D$  (от -20 до +10 D Punktal, от +12 до +20 D Clarlux)

линз к увеличению, а у положительных к уменьшению ретинального изображения.

На рис.20.3 показано полное увеличение для заднего вертексного расстояния 12 и 16 мм.

Поскольку фактор увеличения формы S зависит в основном от толщины корригирующей линзы в центре, то им можно пренебречь для отрицательных линз, но необходимо учитывать для положительных линз с толщиной в центре больше примерно 3 мм.

В таблице 20.2 приведены значения фактора увеличения очковых линз с положительной оптической силой выше 1,5 D.

**Анизейкония**

При коррекции анизотропии разница между размером ретинальных изображений двух глаз обусловлена различным увеличением правой и левой систем линза/глаз, и это может привести к оптической анизейконии. На последнюю можно повлиять изменением заднего вертексного расстояния, т.к. увеличение согласно формуле (20.3) зависит от положения главной оптической точки системы линза/глаз. Степень изменения анизейконии определяется величиной изменения заднего вертексного расстояния (которое одинаково для левого и правого глаз) и разницей между рефракциями дальнейших точек K для двух глаз.

Если фактором увеличения формы корригирующей линзы можно пренебречь, и если  $P_1$  (%) – степень анизейконии, измеренная для заднего вертексного расстояния  $d_1$ ,  $x$  (см) – изменение заднего вертексного расстояния ( $x = d_2 - d_1$ ), а  $\Delta F'_v$  (D) – разница анизейконии ( $\Delta F'_v = F'_{v2} - F'_{v1}$ ), то приближенная оценка степени анизейконии для нового значения заднего вертексного расстояния  $d_2$  (%) будет:

$$(20.3) \quad P_2 = P_1 + x \Delta F'_v$$

Измеренная величина анизейконии должна использоваться с положительным знаком, если большее зрительное увеличение у того глаза, чья корригирующая линза

имеет математически большую заднюю вершинную силу  $F'_{v2}$ ; в противном случае она должна использоваться с отрицательным знаком. Изменение анизейконии составляет примерно 0,1% на каждый миллиметр изменения заднего вертексного расстояния и на 1 диоптрию анизейконии. При положительной анизейконии уменьшение заднего вертексного расстояния ( $x$  – отрицательный) приводит к уменьшению анизейконии.

Позиция, в которой должны быть расположены обе линзы для коррекции анизотропических глаз, чтобы обеспечить одинаковый размер изображений на сетчатке (пренебрегая фактором увеличения формы), часто называют нулевой точкой увеличения. При осевой анизотропии эта точка лежит в фокальных точках пространства объекта глаза, а при рефракционной анизотропии – в главных точках пространства объекта глаза. Измерение (всегда субъективное) анизейконии должно предшествовать любому теоретическому исследованию размера изображений на сетчатке и последствий этого эффекта.

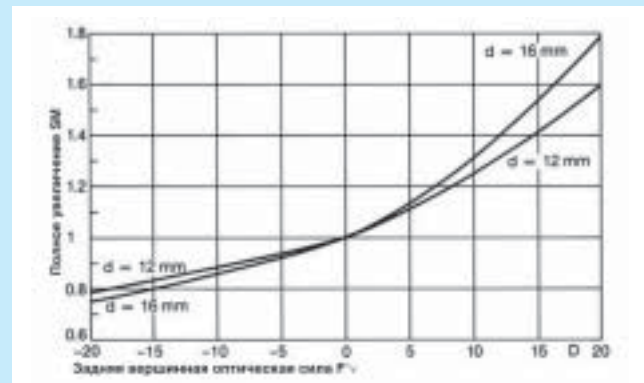


Рис. 20.3. Зависимость полного увеличения SM системы линза/глаз от задней вершинной силы  $F'_{v}$  и заднего вертексного расстояния  $d$

$F_1$ (D)	Paralux made of B270				Clarlet made of CR 39				Hypal made of HI-Crown 42			
	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)
1.5	70	3.0	5.5	1.011	70	3.2	5.8	1.013	70	2.5	4.7	1.007
2.0	70	3.5	6.0	1.014	70	3.8	5.8	1.015	70	2.9	4.7	1.009
2.5	70	4.0	6.4	1.017	70	4.4	6.8	1.020	70	3.2	5.4	1.011
3.0	70	4.5	6.9	1.021	70	4.9	6.8	1.023	70	3.6	5.4	1.012
3.5	70	5.0	7.3	1.025	70	5.4	6.8	1.025	70	4.0	6.4	1.016
4.0	70	5.6	7.8	1.029	70	6.0	6.8	1.028	70	4.4	6.4	1.018
4.5	66	5.7	9.2	1.035	65	5.9	8.2	1.033	70	4.8	7.3	1.022
5.0	66	6.3	9.6	1.041	65	6.5	8.2	1.036	70	5.3	7.3	1.025
5.5	66	6.9	10.0	1.047	65	6.9	8.2	1.039	70	5.7	8.3	1.030
6.0	66	7.5	10.5	1.054	65	7.3	8.2	1.042	70	6.2	8.3	1.033
6.5	60	6.7	11.0	1.051	60	6.8	9.7	1.046	65	6.1	9.2	1.036
7.0	60	7.2	11.4	1.057	60	7.2	9.7	1.049	65	6.5	9.2	1.039
7.5	60	7.7	11.8	1.063	60	7.7	9.7	1.052	65	6.9	10.0	1.045
8.0	60	8.2	12.2	1.070	60	8.1	9.7	1.055	65	7.3	10.0	1.048
8.5	60	8.8	12.5	1.078	60	8.9	11.1	1.070	60	6.6	10.9	1.047
9.0	60	9.3	12.9	1.085	60	9.3	11.1	1.074	60	6.9	10.9	1.049
9.5	60	9.9	13.3	1.094	60	9.7	11.1	1.077	60	7.3	11.7	1.056
10.0	60	10.4	13.6	1.102	60	10.1	11.1	1.081	60	7.6	11.7	1.059

$F_1$ (D)	Clarlux made of B270				Aphal made of CR 39				Tital made of BaSF64			
	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)	dia. t (mm)	$F_1$ (mm)	S	(D)
10.5	55	8.5	12.1	1.073	67	8.0	13.0	1.073	56	6.8	15.7	1.066
11.0	55	8.9	12.1	1.076	67	8.5	13.0	1.080	56	7.0	15.7	1.069
11.5	55	9.2	12.1	1.079	67	9.0	13.0	1.085	56	7.3	15.7	1.072
12.0	55	9.9	13.5	1.096	67	9.5	13.0	1.090	56	7.5	15.7	1.074
12.5	55	10.1	13.5	1.098	67	9.6	14.1	1.099	56	7.7	15.7	1.076
13.0	55	10.4	13.5	1.102	67	10.1	14.1	1.105	56	8.0	15.7	1.079
13.5	55	11.2	14.8	1.121	67	10.2	15.1	1.114	56	8.6	18.2	1.101
14.0	55	11.5	14.8	1.125	67	10.7	15.1	1.120	56	8.9	18.2	1.104
14.5	55	11.8	14.8	1.129	67	11.2	15.1	1.126	56	9.1	18.2	1.108
15.0	55	12.2	14.8	1.133	67	11.8	15.1	1.132	56	9.4	18.2	1.111
15.5	55	12.8	15.4	1.148	67	11.6	16.0	1.142	56	9.6	18.2	1.114
16.0	55	13.1	15.4	1.152	67	12.1	16.0	1.148	56	9.9	18.2	1.118
16.5	50	10.7	15.4	1.122	67	12.2	16.9	1.159	52	8.9	19.8	1.115
17.0	50	11.4	16.5	1.140	67	12.7	16.9	1.166	52	9.1	19.8	1.118
17.5	50	11.6	16.5	1.144	67	13.1	16.9	1.173	52	9.3	19.8	1.121
18.0	50	11.9	16.5	1.147	67	13.6	16.9	1.180	52	9.5	19.8	1.124
18.5	50	12.7	17.9	1.173	67	14.0	16.9	1.186	48	8.2	19.8	1.105
19.0	50	13.0	17.9	1.179	67	14.4	16.9	1.193	48	8.4	19.8	1.108
19.5	50	13.2	17.9	1.183					48	8.6	19.8	1.111
20.0	50	13.3	17.9	1.188					48	8.8	19.8	1.113

Таблица 20.2. Фактор увеличения формы S очковых линз с положительной оптической силой  $F'_1$  (t – толщина в центре,  $F'_1$  – эквивалентная оптическая сила передней поверхности). (Для очковых линз компании Carl Zeiss Punctal и Clarlux оптическая сила передней поверхности, измеренная с помощью линзматра, равна указанной силе рефракции передней поверхности  $F'_1$ . Для других очковых линз значения, измеренные с помощью линзматра, следует умножить на 0,52/(n-1) для того, чтобы получить оптическую силу передней поверхности  $F'_1$  (для Clarlet и Aphal на 1,05, для Hupal на 0,87, для Tital на 0,74).)