

Учет в оптическом дизайне положения ношения очковых линз

Д.Мейстер, специалист Carl Zeiss Vision

Измерение положения ношения линз

Измерение положения линз в оправе на практике должно быть достаточно простым и быстрым. Различные устройства, обычно предлагаемые специалистам, могут не позволять проводить прямые измерения горизонтального и вертикального наклона световых проемов оправы относительно передней референтной плоскости оправы, которые раньше использовались для определения положения ношения. Стандарт ISO 13666 обеспечивает оперативное определение положения ношения путем проведения трех клинических измерений, которые реально осуществить и которые позволяют дизайнеру линзы математическим путем определить положение и ориентацию готовой линзы в трехмерном пространстве. Сегодня имеется ряд методик измерения положения ношения линзы, включающих как простые угломеры, так и сложные видеоцентровочные системы; у каждой из них имеются свои достоинства и свои недостатки (в отношении точности измерений, простоты использования, стоимости оборудования и наличия дополнительных функций) (рис.5).

Положение ношения очковой оправы на лице может оказаться разным в зависимости от выбранной оправы и индивидуальных антропологических особенностей пользователя очками (рис.6)⁶. Широкий диапазон значений, которые могут принимать параметры, задающие положение линзы, подчеркивает важность индивидуализации оптического дизайна линзы для конкретного положения ношения. И поскольку подгонка оправы влияет на поло-



Рис.5. Компьютерные видеоцентровочные системы позволяют не только точно измерить положение ношения линз, но и межзрачковые расстояния и установочную высоту.

жение ношения, то оправа должна быть подогнана на лице пользователя до проведения каких-либо измерений.

Угол изгиба оправы часто измеряют без пользователя очками с помощью простых измерителей углов (рис.7). Его величину (горизонтальный угол между горизонтальной средней линией светового проема оправы и фронтальной плоскостью оправы) можно получить путем измерения угла, который образуют линия, соединяющая назальный и темпоральные края светового проема, и горизонтальные линии измерителя. Есть и другой способ получения угла изгиба оправы – можно измерить угол между двумя световыми проемами, в этом случае полученное значение надо разделить пополам. В любом случае нижний край оп-

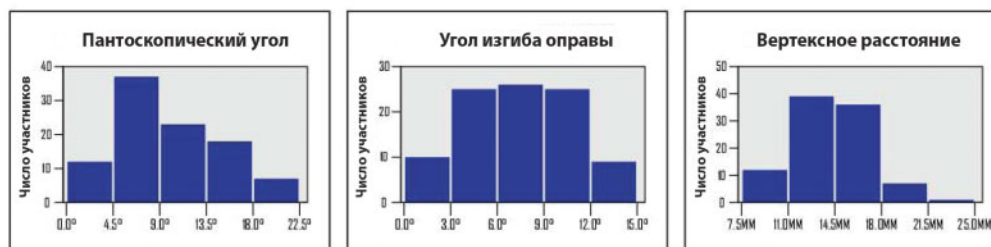


Рис.6. Распределение значений параметров положения, измеренных с помощью видеоцентровочной системы (в исследовании приняло участие 100 человек).

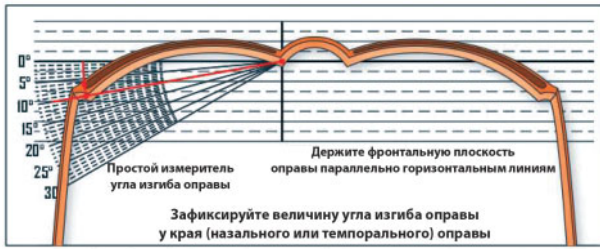


Рис.7. Угол изгиба оправы может быть определен с помощью простого измерителя углов. Фронтальная плоскость оправы располагается параллельно горизонтальным линиям измерителя (0 градусов), тогда край светового проема покажет угол изгиба оправы. По другой методике измерения можно параллельно горизонтальной линии расположить правый или левый световой проем, тогда определяемый краем противоположного светового проема угол надо разделить на 2. В любом случае оправу следует держать строго горизонтально (нижний край оправы расположен строго над верхним), чтобы пантоскопический наклон не внес искажений в измерение.

равы должен быть расположен строго над верхним, чтобы пантоскопический наклон не внес искажений в измерение. Необходимо также убедиться, что при надевании клиентом оправы не происходит нежелательного изгиба оправы из-за чрезмерного натяжения заушников. Угол изгиба оправы может быть также измерен некоторыми видецентровочными системами и электронными 3D трейсерами оправ.

Поскольку считается, что в положении «взгляд прямо вперед» (primary gaze) направление взгляда параллельно земле, то для измерения *пантоскопического угла* в положении ношения оправы часто используется сила гравитации — измеряется вертикальный угол между фронтальной плоскостью оправы и вертикальной плоскостью (перпендикулярной направлению взгляда). Для измерения пантоскопического наклона угломеры с отвесом или спиртовым уровнем прикладывают либо к фронтальной части оправы, либо к фальш-линзе. Отметим, что полученный угол обычно не равен «пантоскопическому углу», определяемому согласно стандарту ANSI Z80.5 как угол между фронтальной плоскостью оправы и средней линией заушника⁷, потому что пантоскопический угол в положении ношения зависит от посадки оправы на лице конкретного пользователя. Видецентровочные системы используют различные методики (например, с использованием устанавливаем

ых на оправу специальных датчиков) для измерения пантоскопического угла в положении ношения для конкретного пользователя.

Измерение пантоскопического угла в положении ношения чувствительно к наклону головы, привычному или случайному. Хотя плоскость, перпендикулярная линии взгляда при взгляде прямо вперед, часто бывает параллельной фронтальной плоскости лица, это может не выполняться, если пользователь имеет привычку наклонять голову. Следовательно, пантоскопический угол может быть не связан с плоскостью лица, если у пользователя есть привычка наклонять голову. Однако, если пользователь демонстрирует во время измерений нежелательный наклон головы вследствие случайного или непривычного для него положения тела, то это может привести к ошибочному измерению пантоскопического угла (рис.8). Таким образом, при измерении пантоскопического угла необходимо придерживаться следующих правил:

- Пользователь должен смотреть прямо вперед, желательно фиксируя удаленный объект для того, чтобы его линия взгляда оставалась в положении «прямо вперед» параллельной земле.
- Установочная точка линзы должна совпадать с центром зрачка, чтобы линия взгляда в положении «прямо вперед» пересекала линзу в установочной точке.
- Пользователь должен находиться в привычном для него положении, чтобы свести к минимуму влияние нежелательного наклона головы и получить правильное значение пантоскопического угла.

Вертексное расстояние часто измеряют с помощью простой линейки, которую располагают сбоку головы и оправы, или другого приспособления, позволяющего измерить расстояние вдоль линии взгляда от вершины роговицы до задней поверхности фальш-линзы в оправе. Согласно стандарту ISO 13666, вертексное расстояние измеряется вдоль линии взгляда, перпендикулярной фронтальной плоскости оправы, проходящей через средние вертикальные линии правого и левого светового проема. Это расстояние обычно совпадает с кратчайшим расстоянием между глазом и линзой. В то же время дизайнер линз может считать, что это измерение проведено в положении взгляда прямо вперед, т.е. что вертексное расстояние измерено по линии

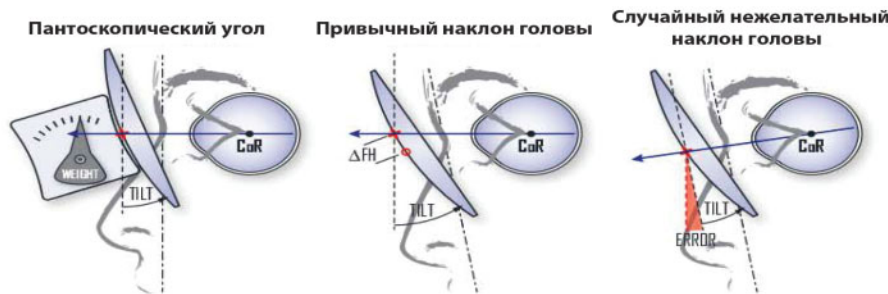


Рис.8. Пантоскопический угол измеряется от вертикальной плоскости, перпендикулярной линии взгляда в положении «прямо вперед», часто путем прикладывания измерительного инструмента прямо к вертикальной средней линии светового проема оправы. Привычный наклон головы пользователя во время измерения приведет к обоснованному изменению величины пантоскопического угла; установочная высота при этом должна быть изменена сдвигом на ΔFH , чтобы линия взгляда проходила через установочную точку линзы. Однако нежелательный случайный наклон головы во время проведения измерений приводит к неверному значению пантоскопического угла.

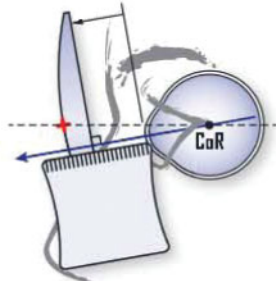


Рис.9. Согласно стандарту ISO 13666 вертексное расстояние измеряется от вершины роговицы до задней поверхности линзы по линии взгляда, проходящей перпендикулярно фронтальной плоскости оправы.

взгляда, проходящей через установочную точку на линзе при взгляде прямо вперед (рис.9). Если есть сомнения, как следует измерять вертексное расстояние для линз определенного оптического дизайна, этот вопрос необходимо уточнить у производителя данных линз. Вертексное расстояние может быть измерено и с помощью видеоцентровочной системы. Заметим, что вертексное расстояние для готовых линз может несколько отличаться от первоначально полученного значения из-за разницы в рефракции, форме и толщине готовой линзы и фальш-линзы в оправе.

Понимание оптических эффектов, зависящих от положения ношения линз

Очковая коррекция обычно определяется с помощью фороптера или набора пробных линз, которые располагаются перед глазами перпендикулярно (или почти перпендикулярно) к линии взгляда. При этом линия взгляда совпадает с оптической осью линзы, что исключает индуцирование негативных оптических эффектов, обусловленных наклонным падением на линзу световых лучей (рис.10). Специалист подбирает комбинацию силы сферы и цилиндра, которые компенсируют рефракционную ошибку глаз, в положении, когда плоскость фороптера или пробных линз находится примерно на расстоянии 13,5 мм от вершины роговицы. Это значение — *рефракционное вертексное расстояние*. Пользователь очками будет ощущать оптическое действие установленных в оправу готовых линз в положении ношения. Положение ношения готовых линз обычно зависит от пантоскопического угла и угла изгиба оправы. Кроме того, *реальное вертексное расстояние* готовых линз может отличаться от того, что было при измерении рефракции.

Если *реальное вертексное расстояние* не совпадает с *рефракционным вертексным расстоянием*, то эффективная оптическая сила линз в оправе будет больше или меньше значения, определенного для *рефракционного вертексного расстояния*. Изменение эффективной оптической силы ΔP будет примерно пропорционально разнице вертексных расстояний ΔV и квадрату оптической силы:

$$\Delta P \approx \Delta V \cdot \text{Power}^2,$$

где разница вертексных расстояний ΔV выражена в метрах. Компенсация вертексного расстояния обычно применяется в контактной коррекции для пересчета

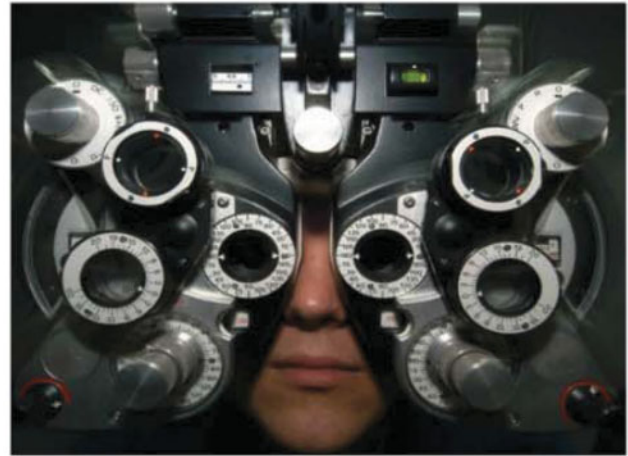


Рис.10. Очковая коррекция обычно определяется с помощью фороптера или пробных линз, которые располагаются так, что оптическая ось линз совпадает с линией взгляда, что исключает индуцирование астигматизма, вызванного наклонным падением световых лучей на линзу.

очковой коррекции в оптическую силу контактных линз. Однако вертексное расстояние также влияет на угол падения, который линия взгляда образует с линзой при разных направлениях взгляда, что в свою очередь влияет на качество оптики линзы для периферического (внеосевого) зрения.

Специалисты-оптики часто не очень хорошо осведомлены, как изменяется рецептурная сила линзы в зависимости от наклона линзы. Наклонное положение оптической оси линзы индуцирует тип аберраций, называемый астигматизмом наклонных пучков. Световые лучи, проходящие через центр наклоненной линзы, формируют астигматический фокус, состоящий из двух отдельных взаимно перпендикулярных линейных фокусов (расстояние между ними называется астигматической ошибкой), поскольку преломляющая сила линзы в тангенциальном меридиане (находящемся на плоскости угла наклона линзы) отличается от силы в сагиттальном меридиане (перпендикулярном тангенциальному) (рис.11). В случае наклона сферической линзы увеличивается сила сферы и индуцируется цилиндр (того же знака) с осью, совпадающей с осью вращения линзы.



Рис.11. Наклон оптической оси очковой линзы относительно заданной плоскости изображения индуцирует астигматизм наклонных пучков из-за наклонного падения световых лучей на линзу. В результате увеличивается оптическая сила по тангенциальному и по сагиттальному меридиану. Однако тангенциальное увеличение больше, чем сагиттальное. Поэтому у сферической линзы возникает цилиндрическая составляющая оптической силы.

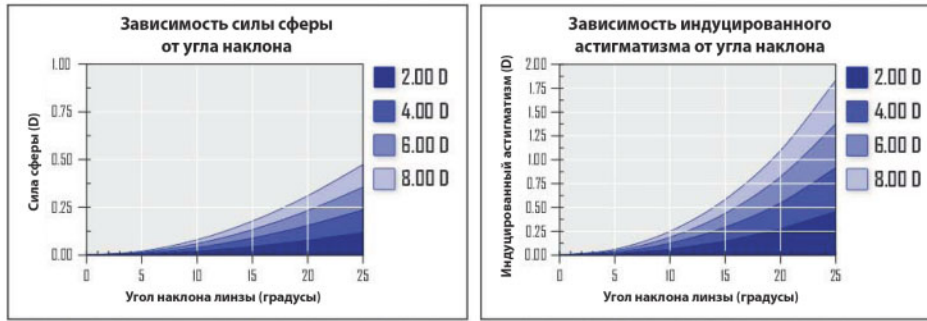


Рис.12. Графики зависимости сферической силы и силы индуцированного астигматизма от угла наклона линзы. Изменение происходит тем сильнее, чем больше угол наклона.

Как видно из графиков зависимости сферической силы и силы индуцированного астигматизма от угла наклона линзы, изменение оптических сил происходит тем значительней, чем больше угол наклона (рис.12). Видно также, что сила цилиндра увеличивается тем быстрее, чем больше сила сферы.

Ось индуцированного цилиндра параллельна оси линзы, относительно которой линза была повернута. Пантоскопический наклон относительно горизонтальной оси линзы индуцирует цилиндр с осью 180°, в то время как угол изгиба оправы приводит к наклону линзы относительно вертикальной оси и индуцирует цилиндр с осью 90°. Одновременное действие пантоскопического угла и угла изгиба оправы приводит к вращению линзы относительно новой оси, которая не совпадает ни осью 180°, ни с осью 90°. В результате индуцируется цилиндр с осью, имеющей промежуточную ориентацию. Картина с индуцированным астигматизмом еще более усложняется, если рассматриваемая линза астигматическая⁹.

Нежелательные изменения предписанной оптической силы линзы из-за ее наклона можно уменьшить, если для нейтрализации этих изменений ввести коррекцию в указанные в рецепте значения силы сферы и/или цилиндра. Можно также уменьшить астигматизм наклонных пучков, вызванный пантоскопическим наклоном линзы, опуская оптический центр линзы относительно линии взгляда при взгляде прямо вперед так, чтобы оптическая ось линзы проходила через центр вращения глаза (рис.13). Для этого оптический центр опускается на расстояние ΔOC: примерно на 1 мм на каждые 2 градуса пантоскопического наклона θ.¹⁰

$$\Delta OC = 27 \cdot \tan \theta \approx 1/2 \theta$$

Чтобы этот подход работал, необходимо также устранить астигматизм наклонных лучей, проходящих через периферию линзы, путем выбора базовой кривой «наилучшей формы», асферического или аторического дизайна, чтобы при взгляде прямо вперед не было «внеосевого» зрения. Компенсация путем децентрирования оптического центра линзы не применима для коррекции угла изгиба оправы, потому что при этом индуцируется горизонтальный призмный дисбаланс. Кроме того, чрезмерная вертикальная децентрация линзы приводит к возникновению значительной величины лате-

ральных хроматических aberrаций при больших рефракциях. Важно подчеркнуть, что коррективировка оптической силы линзы или децентрирование ее оптического центра с целью компенсации оптических эффектов, обусловленных положением ношения линзы, улучшает зрение только при взгляде прямо вперед. Имеется два разных оптических последствия, связанных с положением ношения: статический оптический эффект и динамический оптический эффект (рис.14):

- Изменение назначенной рефракции происходит при взгляде прямо вперед из-за наклонного падения световых лучей, что вызывает снижение четкости зрения через центр линзы при статическом зрении.
- Астигматические ошибки переменной величины появляются, когда смотрят через периферию линзы. Это приводит к изменяющимся уровням ухудшения изображения через периферию линзы при динамическом зрении.

Продолжение статьи в следующем номере.

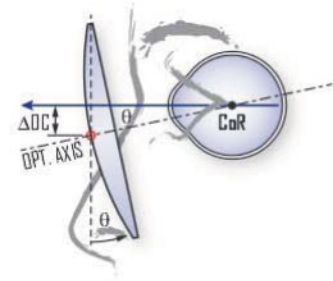


Рис.13. Астигматизм наклонных пучков, вызванный пантоскопическим наклоном линзы, можно уменьшить, опуская оптический центр линзы примерно на 1 мм на каждые 2 градуса наклона относительно линии взгляда при взгляде прямо вперед, чтобы оптическая ось линзы проходила через центр вращения глаза.

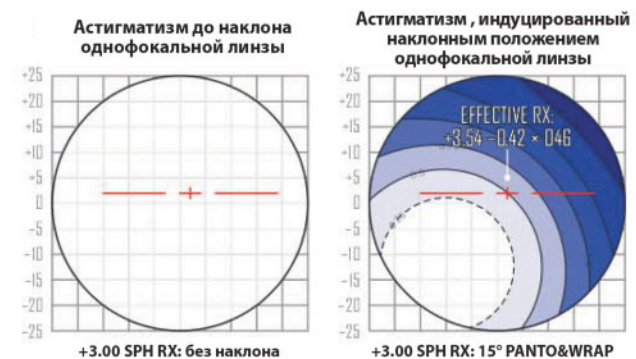


Рис.14. Астигматизм наклонных пучков, вызванный наклонным положением очковой линзы, приводит к изменению назначенной рефракции при взгляде прямо вперед через центр линзы, а также к ошибкам оптической силы переменного уровня при периферическом зрении по всей поверхности линзы.