

# Индивидуальные FreeForm прогрессивные линзы: в чем их преимущества?

Э.Чаморро, Х.Клева, М.Алварес, П.Консепсьон, А.Гонсалес, М.Суберо, Х.Алонсо (ИОТ, Испания)

## Введение

Прогрессивная линза (PAL) - это мультифокальная линза, поверхность которой обеспечивает непрерывное плавное увеличение сферической силы от верхней до нижней части линзы, что позволяет пользователям видеть на всех расстояниях, используя для этого разные зоны линзы [1]. Однако такое изменение геометрии поверхности линзы приводит к возникновению нежелательного периферического астигматизма, который ограничивает поля четкого зрения пользователей при взгляде через линзу [2] (рис.1). Фактически, этот астигматизм в периферических областях линзы является причиной нежелательных искажений, размытости и «плавающего эффекта» при взгляде через эти области линзы [3].

До появления FreeForm технологии традиционное производство PAL основывалось на использовании небольшого набора полученных методом литья в форме заготовок с определенными параметрами оптической силы на передней поверхности линзы и реализации Rx параметров пользователя на задней поверхности путем формирования сферической или торической поверхности. Однако такому подходу присущи ограничения, поскольку для изготовления линз «наилучшей формы» (с минимумом периферического астигматизма), как известно, требуется, чтобы лаборатории поддерживали очень большой запас заготовок с различными базовыми кривыми. В реальности ограниченный набор базовых кривых в лаборатории затрудняет изготовление оптимальной линзы для индивидуального рецепта [4].

В последние годы метод изготовления линз значительно изменился благодаря повсеместному внедрению технологии FreeForm. По сравнению с традиционными производственными процессами, которые позволяют формировать на задней поверхности линзы только сферу или цилиндр, технология FreeForm позволяет получать поверхности произвольной формы. Сочетание заготовок с отлитой сферической поверхностью с генерированием методом FreeForm «точка за точкой» задней поверхности позволяет значительно лучше ком-



Рис.1. Оптические зоны прогрессивной линзы

пенсировать aberrации наклонных пучков. Кроме того, метод FreeForm дает возможность компенсировать эти aberrации, учитывая при расчете прогрессивного дизайна положение линзы (наклон) в оправе на лице пользователя. Другими словами, технология FreeForm позволяет оптимизировать дизайн линзы для всех направлений взгляда в соответствии со зрительными потребностями каждого пациента, параметрами выбранной оправы и положением линз на лице пользователя, то есть обеспечить полностью индивидуальный дизайн линзы. Благодаря сложному программному обеспечению, используемому при разработке дизайна линз, можно рассчитать нежелательные aberrации наклонных пучков, ухудшающие качество зрения в очках. Специальные алгоритмы, оптимизирующие заднюю поверхность линзы так, чтобы компенсировать эти нежелательные aberrации, принимают во внимание все факторы: показатель преломления линзы, данные рецепта, базовую кривую, параметры оправы и параметры, описывающие положение линз в очках на лице пациента (монокулярное межзрачковое расстояние, установочную высоту, заднее вертексное расстояние, пантоскопический угол, угол изгиба плоскости оправы или расстояние для работы вблизи). В результате получается линза с индивидуальной изготовленной задней

поверхностью, оптимизированная для ношения конкретным пациентом [5].

Уменьшение аберраций наклонных пучков должно приводить к улучшению качества зрения и удовлетворенности пациентов за счет уменьшения искажений, повышения четкости изображения, уменьшения размытости в периферийных областях линзы и увеличения ширины полей четкого зрения в прогрессивных линзах [5]. Целью данного исследования является анализ влияния индивидуальной персонализации прогрессивных линз на общую удовлетворенность пользователей прогрессивными FreeForm линзами.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Дизайн исследования.** Было проведено сравнительное исследование с целью проанализировать субъективное восприятие пользователей двумя различными типами PAL линз, каждую из которых они носили в течение 7 дней. Обе линзы были изготовлены по технологии FreeForm и имели сферические базовые кривые и похожие карты распределения оптической силы. Однако они были рассчитаны с использованием различных методов оптимизации для уменьшения аберраций наклонных пучков. Линза 1A-Basic была оптимизирована с использованием базовой оценочной функции без учета индивидуальных параметров пользователя. Линза 1B-DRP была оптимизирована с использованием технологии Digital Ray-Path (компания IOT, Испания), которая персонализирует линзу, учитывая положение линз на лице (пантоскопический угол, угол изгиба плоскости оправы и вертексное расстояние). В исследовании приняли участие пользователи очками с пресбиопией в возрасте от 45 до 75 лет. Критериями включения в исследование были а) ношение прогрессивных линз в течение не менее 1 года до начала исследования; б) ошибка рефракции для миопии / гиперметропии от -6,00 D до + 4,00 D с астигматизмом меньше 2,50 D и аддидацией от 1,00 до 3,00 D; в) монокулярная острота зрения с наилучшей коррекцией выше, чем 0,1 logMAR для обоих глаз; и d) анизометропия менее 1,50 D. Из исследования исключались пользователи, имевшие какую-либо аномалию бинокулярного зрения, патологии глаза или проходившие медикаментозное лечение, которое могло повлиять на зрительную функцию.

**Процедура.** Перед началом исследования было проведено полное оптометрическое обследование, чтобы убедиться, что участники соответствуют указанным выше критериям включения. Исследование зрения состояло из подробного анамнеза, измерения остроты зрения, бинокулярной рефракции, стереопсиса с помощью Титмус-теста, теста Worth, теста с прикрытием глаза и оценки глазной моторики. Если испытуемый соответствовал критериям отбора, то он выбирал модель

оправы, а затем измерялись параметры, описывающие положение линз в выбранной оправе на лице пользователя. Расстояние между зрачками измеряли с помощью автоматического пупиллометра, установочную высоту измеряли вручную, а параметры посадки, включающие пантоскопический угол, вертексное расстояние и угол изгиба плоскости оправы, измеряли с помощью специальной линейки (Personalization Key, IOT, Испания).

Обе тестируемые линзы были изготовлены по одним и тем же рецептам с одинаковыми монокулярными зрачковыми расстояниями, установочной высотой и параметрами оправы, из одного материала (показатель преломления 1,6) и с просветляющим покрытием. Обе пары исследуемых очков были проверены при получении на соответствие рецепту (Rx, параметры установки линз в оправу) согласно требованиям ISO на допустимую погрешность [6]. Кроме того, для всех линз были проверены карты оптической силы (с помощью Dual Lens Mapper компании Automation & Robotics, Verviers, Belgium), чтобы убедиться, что FreeForm оборудование правильно воспроизвело рассчитанную поверхность линзы.

После получения и проверки обеих пар очков было проведено 3 основных контрольных осмотра с интервалом 7 дней между визитами. При первом визите всех испытуемых предупредили о процессе адаптации к ношению новых прогрессивных линз, и случайным образом для них была выбрана первая пара. Порядок рандомизированного распределения очков был таким, чтобы гарантировать, что половина испытуемых начнет исследование с тестирования линз А, а другая половина – линз В. Во время второго визита испытуемый возвращал первую пару линз и получал взамен вторую. Во время 3-го визита испытуемому отдавали 2 пары очков, использованных во время исследования. Для тестирования различий в зрительных характеристиках испытуемые оценивали общий зрительный комфорт в баллах от 1 до 5, где 1 была самой низкой оценкой комфорта, а 5 – высшей. Пользователи оценили линзы сразу, когда их впервые надевали, в соответствии со своими первыми впечатлениями, и после 7 дней использования. Наконец, после использования каждой пары линз в течение 7 дней пользователям было предложено выбрать предпочтительные линзы для их дальнейшего повседневного ношения.

**Статистический анализ.** Для оценки зрительных характеристик каждого дизайнера прогрессивных линз сравнивались полученные для разных линз оценки. Для определения различий в показателях удовлетворенности использовался специальный блок-тест. Для определения различий в предпочтениях для каждой линзы было проведено сравнение в процентах. Уровень значимости был установлен на уровне  $P < 0,05$ , а статистическая сила на уровне 0,8. Все статистические тесты были выполнены

с использованием методики Statgraphics Centurion XVI. II (StatPoint Technologies Inc., США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследовании участвовало 30 человек (18 мужчин и 12 женщин в возрасте от 48 до 71 года). При тестировании общего комфорта двух типов линз явное предпочтение было отмечено для персонализированной линзы. Сразу после надевания оценки пользователей для обеих линз были примерно одинаковыми. Однако после ношения линз в течение 7 дней большинство пользователей предпочли линзу 1B-DRP. Как видно из рис.2В, 63% пользователей выбрали персонализированный дизайн 1B-DRP, в то время как дизайн 1A-Basic выбрали лишь 20% ( $P=0,0001$ ). Кроме того, достоверные различия наблюдались в оценках степени удовлетворенности после ношения линз в течение 7 дней. Как и ожидалось, через 7 дней испытуемые оценили персонализированные линзы выше, чем базовые линзы.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показывают, что пользователи персонализированных линз в большей степени удовлетворены прогрессивными очками. Персонализированные линзы были выбраны после 7 дней использования большинством пользователей со статистически значимыми отличиями. 63% пользователей считают, что персонализированные линзы лучше их удовлетворяют в целом.

Отметим, что, хотя персонализированная линза теоретически обеспечивает лучшее качество изображения, все же 20% пользователей предпочли базовую FreeForm линзу. Существуют различные объяснения этого предпочтения. Одно из них заключается в том,

что преимущества персонализации дизайна не одинаковы для всех рецептов и зависят от базовой кривой, выбранной для расчетов. Когда базовая кривая, выбранная для базовой линзы, близка к оптимальной, качество оптики базовой линзы будет близко к качеству персонализированной линзы. Еще одним фактором, влияющим на качество зрения в персонализированной линзе, может быть точность определения индивидуальных параметров, и даже если все параметры были определены тщательно, ошибки в установке линз в оправу оказывают значительное влияние на зрение пользователя в прогрессивных очках. Наконец, некоторые пользователи менее чувствительны к улучшению зрения, обеспечиваемому персонализированными линзами, либо из-за низкой остроты зрения, либо потому, что они менее чувствительны к размытию изображения, создаваемого линзой. Эти факторы, иногда действующие совместно, приводят к тому, что некоторые пользователи не чувствуют каких-либо существенных различий между персонализированной и базовой линзами. В этом случае выбор дизайна делается практически случайно. Но все же проведенное нами сравнение показывает, что большинство пользователей предпочитают персонализированные дизайны линз, и статистически значимое различие в предпочтениях указывает на то, что предоставляемое персонализированными линзами улучшение качества зрения реально ощущается большинством пользователей.

Результаты нашего исследования согласуются с другими исследованиями различных авторов, которые анализировали различия в зрительном восприятии и субъективной удовлетворенности пользователей персонализированными и неперсонализированными линзами. Han et al [7] (95 пользователей) пришли к выводу, что

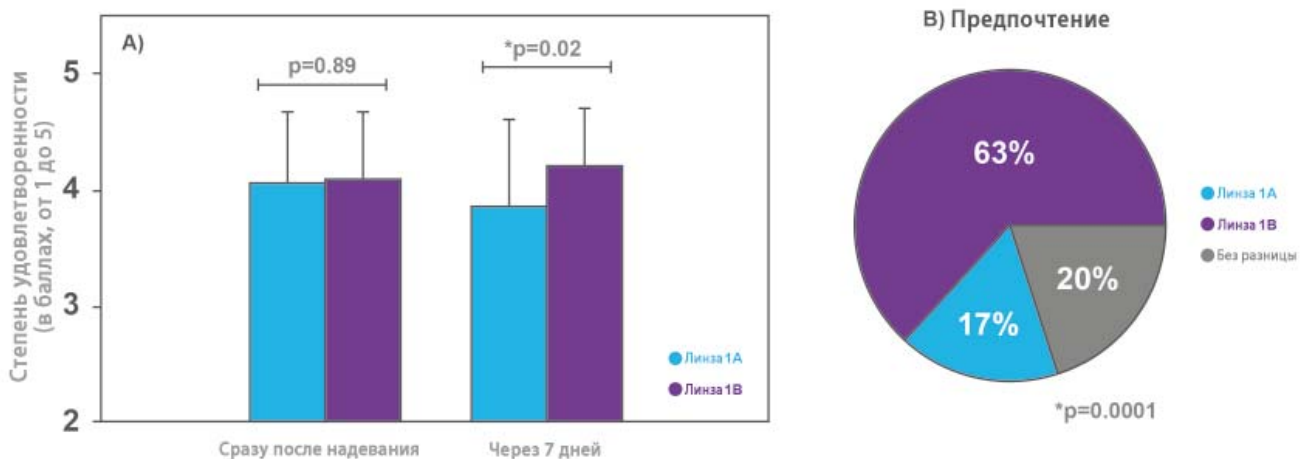


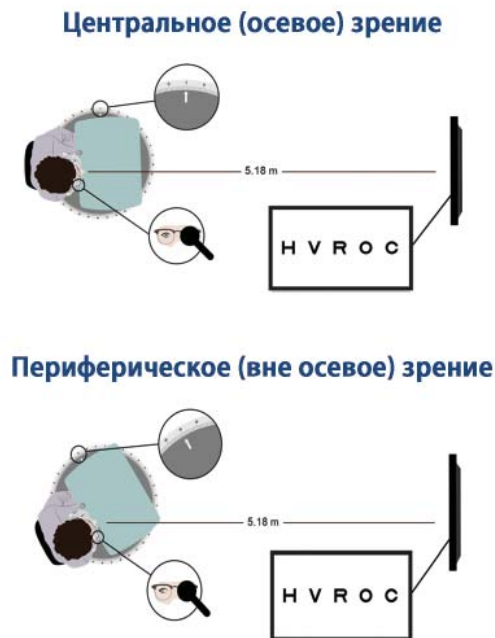
Рис.2. Результаты сравнения двух типов линз (среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение)

персонализированные линзы предлагают субъективно лучшие ощущения, чем неперсонализированные линзы. Muzdalo et al [8] провели исследование с участием 40 пользователей, которые сообщили о более легкой и быстрой адаптации к персонализированным линзам. В самом последнем исследовании Forkel et al [9] с участием 54 пользователей также сделан вывод, что большинство испытуемых предпочли персонализированные линзы из-за лучшего комфорта и переносимости линз. Некоторые другие исследования, проведенные нашей исследовательской группой, также показали, что острота зрения через периферию линзы и субъективные зрительные ощущения при выполнении некоторых конкретных задач лучше, если пользователи носят очки с персонализированными линзами.

В работе Conserción et al [10] применяли специальное приспособление, названное PAL-диск, для оценки монокулярной остроты зрения в очках при внеосевых направлениях взгляда. Использовали тонированные персонализированные и неперсонализированные линзы, установленные в спортивные оправы с углами изгиба плоскости оправы более  $10^\circ$  и базовыми кривыми более 6 D. Устройство обеспечивало надежное закрепление лба и подбородка на подставке, установленной на испытательном столе. Это позволяло контролировать поворот головы пользователя, который можно было измерять в градусах. Для каждого испытуемого обеспечивались максимальная устойчивость головы и иммобилизация при сохранении приемлемой позы и комфорта испытуемого. Монокулярная острота зрения

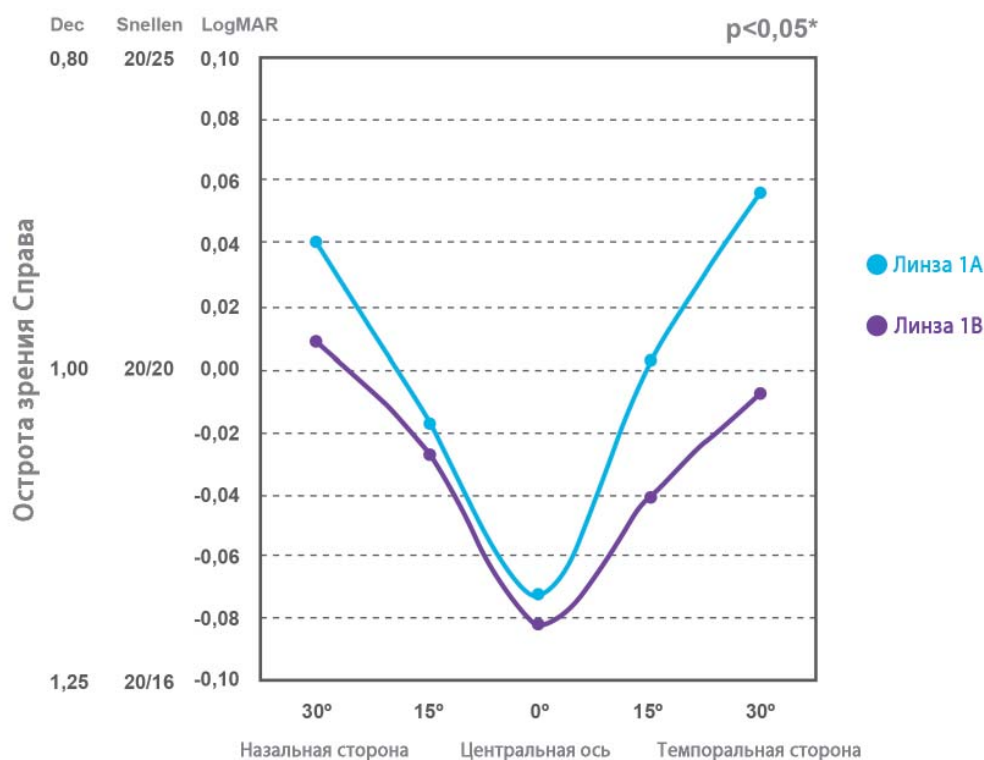
оценивалась при высоком (100%) контрасте для доминирующего глаза пользователя по таблице знаков Снеллена из теста Freiburg Visual Acuity Test (FrACT, universitäts-Augenklinik, Germany [12,13]), установленной на высоте 5,18 м. Для определения остроты зрения использовали различные варианты знаков, чтобы испытуемые не могли запомнить расположение букв. Для исследования остроты внеосевого зрения головы испытуемых оставались неподвижными, и испытуемые для просмотра опто типов ETDRS могли двигать только глазами. Остроту зрения измеряли при разных углах зрения: от  $0^\circ$  (по оси) до  $20^\circ$  и  $30^\circ$  от оси к периферии вправо и влево, соответственно (рис.3). Результаты показали существенные различия, и с линзами, персонализированными с помощью технологии Digital Ray-Path, острота зрения была существенно лучше, чем с неперсонализированными линзами; причем разница была более заметной для внеосевого зрения (рис. 4).

Наконец, важно понимать, что показывает линзметр при измерении изготовленной на заказ персонализированной линзы. Линзметр измеряет преломление световых лучей, перпендикулярных задней поверхности линзы. Эта классическая конфигурация соответствует оптической силе линзы, воспринимаемой пользователем только для центрального зрения, когда линза установлена без наклона. Из-за аберраций наклонных пучков при различных направлениях взгляда оптическая сила линзы в разных ее областях может отличаться от рецептурных значений. При проверке прогрессивной линзы с помощью линзметра



**Рис.3.** Схема исследования монокулярной остроты центрального и периферического зрения пользователя по таблице Снеллена (из Conserción et al. [10])

## ОЧКОВЫЕ ЛИНЗЫ



**Рис.4.** Результаты измерения монокулярной остроты центрального и периферического зрения пользователя с помощью теста Снеллена (из Concepción et al. [10])

оптическая сила линзы в контрольных точках зон зрения вблизи и вдаль будут разными. Однако эта разница в оптической силе обеспечивают наилучшее зрение пациенту с пресбиопией при взгляде через различные зоны линзы, улучшая зрение даже в его периферических областях [5].

В заключение можно заметить, что новые технологии изготовления очковых линз позволяют применять новые методы расчета оптического дизайна, которые уменьшают aberrации наклонных пучков, ответственных за снижение качества зрения пользователей прогрессивными линзами. Результаты проведенного исследования демонстрируют эффективность персонализированных FreeForm прогрессивных линз для улучшения качества зрения и удовлетворенности пациентов. Следует помнить, что измеренная с помощью линзметра оптическая сила прогрессивной линзы в каждой точке линзы может существенно отличаться от рецептурных данных.

В статье содержится информация, ранее опубликованная в статьях:  
 - Chamorro, E., et al., *Lens Design Techniques to Improve Satisfaction in Free-Form Progressive Addition Lens Users*. *JOJ Ophthalmology*, 2018. 6(3): p. 1-10.  
 - Chamorro, E., et al., *Free-Form Lenses: Why My Patient is Not Wearing My Prescription?* *JOJ Ophthalmology*, 2017. 2(1): p. 1-4.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Raasch, T. W., L. Su and A. Yi (2011). «Whole-surface characterization of progressive addition lenses.» *Optom Vis Sci* 88(2): E217-226.
2. Sheedy, J. E., C. Campbell, E. King-Smith and J. R. Hayes (2005). «Progressive powered lenses: The Minkwitz theorem.» *Optometry and Vision Science* 82(10): 916-922.
3. Han, S. C., A. D. Graham and M. C. Lin (2011). «Clinical assessment of a customized free-form progressive add lens spectacle.» *Optom Vis Sci* 88(2): 234-243.
4. Chamorro, E., J. Cleva, P. Concepcion, M. S. Subero and J. Alonso (2018). «Lens Design Techniques to Improve Satisfaction in Free-Form Progressive Addition Lens Users.» *JOJ Ophthalmology* 6(3): 1-10.
5. Chamorro, E., J. Alonso, J. Cleva and D. Crespo (2017). «Free-Form Lenses: Why My Patient is Not Wearing My Prescription?» *JOJ Ophthalmology* 2(1): 1-4.
6. International Organization for Standardization (2017). *Ophthalmic optics — Uncut finished spectacle lenses — Part 2: Specifications for power-variation lenses*. Technical Committee: ISO/TC 172/SC 7. *Ophthalmic optics and instruments*. ISO 8980-2:2007.
7. Han, S. C., A. D. Graham and M. C. Lin (2011). «Clinical assessment of a customized free-form progressive add lens spectacle.» *Optom Vis Sci* 88(2): 234-243.
8. Muzdalo, N. V. and M. Mihelcic (2015). «Individually designed PALs vs. power optimized PALs adaptation comparison.» *Coll Antropol* 39(1): 55-61.
9. Forkel, J., et al. «Personalized Progressive Addition Lenses: Correlation between Performance and Design.» *Optom Vis Sci* 94.2 (2017): 208-18. Print.
10. Concepcion, P., J. Cleva, E. Chamorro, D. Crespo, M. Garcia, C. Gago, M. Subero and J. Alonso (2017). *Clinical Evaluation of Free-Form PALs: Customized vs Standard Designs*. European Academy of Optometry and Optics annual conference. Barcelona, Spain.
11. M.Bach. «The Freiburg visual acuity test – automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Visual Science*». Vol.73, No.1, pp.49-53
12. M.Bach. «The Freiburg visual acuity test – variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arc Clin Exp Ophthalmol*, 2007, 245:965-971