

ВИРТУАЛЬНЫЕ ДИАФРАГМЫ – ПРОСТАЯ АЛЬТЕРНАТИВА МУЛЬТИФОКАЛЬНЫМ ИОЛ?

Отличительной особенностью зрительного акта человека является активная обработка воспринимаемой информации. Посредством механизма латерального торможения соседних рецептивных полей сетчатки происходит усиление четкости, глубины восприятия при предъявлении объектов разной контрастности. Авторами предлагается использование метода ступенчатой аподисации с созданием виртуальной диафрагмы («virtual pinhole») как способа интраокулярной коррекции с целью улучшения качества зрения и сведения к минимуму дифракционных искажений.

Ключевые слова: ИОЛ, виртуальная диафрагма.

Актуальность

В настоящее время удаление катаракты с имплантацией интраокулярных линз является самым частым оперативным вмешательством офтальмохирургов. Однако на сколько «новое» зрение будет удовлетворять требованиям пациента – вопрос к моменту окончания операции открытый. Конечным результатом хирургического лечения катаракты является достижение оптимальной для пациента остроты зрения, которая не всегда соответствует BCVA (best corrected visual acuity) [1]. Современная хирургия катаракты должна сочетаться с имплантацией оптимального искусственного хрусталика. Поскольку зрение – сложный нейрофизиологический процесс, включающий кроме остроты зрения и другие характеристики (контрастная чувствительность, цветоощущение, бинокулярность, глубина фокуса, зрение при различных степенях освещенности), следует персонализировать («to customized») подход к выбору оптимальной ИОЛ.

Для решения вопроса оптимизации изображения на сетчатке в конструкции современных ИОЛ большое значение придается устранению или уменьшению основной аберрации глаза – сферической аберрации. В искусственных асферических ИОЛ уменьшение сферической аберрации достигается использованием преломляющих поверхностей с кривизной, уменьшающейся при удалении от главной оптической оси. Однако естественная эволюция оптической системы глаза предполагает уменьшение выраженности аберрации при сужении зрачка, компенсированной положительной рефракцией роговицы, гипербо-

лоидной формой задней кривизны хрусталика и неупорядоченностью рефракционного индекса внутри хрусталика, меняющегося с возрастом при формировании плотного ядра. В работах В.П.Треушниковой с соавторами [2] с использованием компьютерного моделирования показано прохождения света через сферические и асферические линзы. Значимое улучшение изображения, однако, существенно повышает требования к точности установки ИОЛ по отношению к зрачковому отверстию. Искажения при продольном смещении хрусталика в случае использования сферической ИОЛ меньше, чем при асферической ИОЛ. Таким образом, решением проблемы могла бы стать асферическая оптика, которая позволила бы значительно увеличить глубину фокуса оптической системы глаза, увеличить интервал расстояний от глаза до объекта и в меньшей степени зависела бы от продольного смещения линзы.

Высокотехнологичность современных ИОЛ – в решении проблемы аккомодации. Совершенствование оптических возможностей линзы сопряжено с большими требованиями к точности её имплантации и последующей интраокулярной стабильности. Недостаточно «прицеленные» линзы «премиум-класса» могут неприятно «удивить» даже при минимальных неточностях имплантационной технологии. Успешная же имплантация ИОЛ не означает стабильного «счастья» в последующие годы. Первые 5 лет практически все ИОЛ занимают центральное положение, но с прогрессирующим старением организма не редки смещения линзы из-за растяжения дегенеративно-измененных цинновых связок с последую-

щей децентрацией линзы. При этом отрицательные функциональные результаты будут более ощутимы в случае имплантации мультифокальной ИОЛ по сравнению с монофокальной линзой.

При использовании мультифокальных многофокусных ИОЛ могут появляться световые феномены и увеличиваться светорассеяние (до 61% пациентов в первые недели предъявляют жалобы на возникновение световых феноменов) [3]. Решающую роль в возникновении дисфотопсий при мультифокальных ИОЛ играет диаметр зрачка. Так при расширении зрачка более 4 мм происходит ухудшение некорригированной остроты зрения вблизи. При сужении зрачка менее 3,4 мм Tecnis ZMB 00 Nova NY -60 теряют свойство многофокальности и преимущества мультифокальных ИОЛ. Порядка 10% линз не могут использовать преимущества мультифокальности, поскольку имеют диаметр, сопоставимый при мезопических условиях с диаметром зрачка. Мультифокальные ИОЛ более уязвимы в сравнении с монофокальными линзами при децентрированности линзы и смещении в продольном направлении по оси глаза, при рубцовом сморщивании капсулы [2]. По данным литературы, количество эксплантации мультифокальных ИОЛ в связи с развитием побочных эффектов в США достигает 16% [3].

Современные ИОЛ также должны решать проблемы, связанные с волновыми свойствами света – дифракция, интерференция, поляризация. Наибольшую значимость для зрения могут представлять дифракционные феномены, которые могут возникать при наличии препятствия на пути световых волн, будь то край оптического элемента (искусственной интраокулярной линзы) или наличие небольшого отверстия (зрачок).

Для улучшения изображения оптических приборов в различных отраслях производства активно используется феномен аподизации. Данным термином в оптике обозначают процесс затемнения краев оптического отверстия с целью уменьшения аберраций (чаще применяют дифракционные кольца). Аподизация (a-podization) – буквальный перевод (греч.) – «отрезать (удалить) ноги». Аподизированная оптика может несколько уменьшить разреше-

ние, но «вычленяет» мелкие детали и увеличивает глубину фокуса.

Самый простой способ демонстрации данного явления – изменение формы оптического отверстия, например, квадратного или ромбовидного или затемнение по краям диафрагмы, создающий известный в фотографии эффект «смазанного», размытого изображения – боке-эффект. По нашему мнению, своеобразным аподизирующим механизмом может являться строение пигментной каймы зрачка у млекопитающих и у приматов (рис.1, цветная вкладка). Наличие пигментированных бороздок и пигментной бахромы с неровными контурами создают все технические предпосылки для «гашения» световых волн, огибающих край зрачка и уменьшающих феномен дифракции.

Использование явления аподизации в конструкции ИОЛ AcrySoft IQ Restor заключается в постепенном уменьшении высоты дифракционных ступенек в парацентральной области, что приводит к уменьшению оптических помех и улучшению качества изображения.

Процесс аподизации в зрительном восприятии, в известной авторам литературе, объясняется только исходя из законов геометрической и волновой оптики. Однако зрительный акт – динамический процесс, лишь отдаленно похожий на фотоаппарат. Фундаментальные работы Д.Х. Хьюбела, Т.Н. Визеля, У. Миллера, Ф. Ратклиффа, Х. Хартлайна показали, что даже на уровне сетчатки происходит не поточечное описание изображения, а первичная обработка информации и распределение ее по специализированным каналам. Таким образом, зрение – процесс динамически самоорганизующийся, автоматически выделяющий наиболее значимые детали, объекты. Оптические недостатки зрительной системы компенсируются процессами нейрофизиологического зрительного восприятия. В сетчатке происходит усиление электросигналов путем передачи от макулярной области через горизонтальные связи (рис. 2).

Первичные элементы восприятия – фоторецепторы вместе с биполярными клетками формируют рецептивные поля, которые активно взаимодействуют друг с другом, подчеркивая контуры объектов путём усиления контрастности на границе полей (принцип лате-

рального торможения рецептивных полей). Учитывая способность рецептивных полей сетчатки повышать чувствительность макулярной зоны, представляется логичным использовать данный феномен, модифицируя соответствующим образом оптику глаза.

Цель

Предложено применение явления аподициации искусственного хрусталика с заведомо различной светопропускающей способностью центра и периферии.

Материал и методы

Серия экспериментов, проведенных нами на здоровых людях (включая авторов) с использованием разработанных нами «виртуальных» диафрагм (рис. 3–4, цветная вкладка) показала возможности и действенность предложенного метода.

Принципиальным является создание необходимой и достаточной разности контраста (порядка 12%) между прозрачным центром и периферией, а не затемнение всей периферии. Максимальный эффект улучшения зрения отмечается при разности контраста в 35–40%. Таким образом, при использовании «виртуальной» диафрагмы (в отличие от истинной) и центр, и периферия линзы прозрачны, но яркость и контрастность центрального объекта усиливаются (по-видимому за счет феномена латерального торможения рецептивных полей)[4].

На базе теоретических данных о нейрофизиологии сетчатки и модельных экспериментов с виртуальной диафрагмой была разработана новая модель эластичного искусственного хрусталика – МИОЛ 34 (рис. 5, цветная вкладка) [5].

Результаты и их обсуждение

Клинические эксперименты показали возможность восстановления псевдоакомодации и более высокие результаты некорригированной остроты зрения при отсутствии дисфотопсий [6].

Использование в оптических системах диафрагмирования с целью увеличения глубины фокуса давно известно фотографам. Принцип диафрагмирования реализован в конструкции импланта КАМРА INLAY для коррекции пресбиопии. Однако при имплантации этого изделия исключается парацентральная часть поля

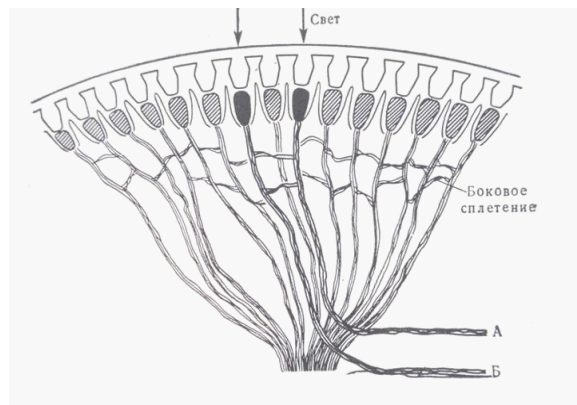


Рисунок 2. Рецептивные поля, глаз мечаехвоста (в кн. Живая клетка: Наука. – 1982)

зрения по типу огромной кольцевидной скотомы. Наша концепция виртуальной диафрагмы основана на переменных уровнях затемнённости (от 30% парацентрально до 60% на периферии), расположенных виде колец вокруг прозрачного центра в 1,5 мм. Эта своеобразная аподизированная ИОЛ позволит создать на сетчатке различия в контрасте, которые включают механизм латерального торможения с увеличением контрастности изображения в центральной (макулярной) зоне [7].

Авторы считают оправданным в конструкции современных ИОЛ создание оптимальных условий для увеличения глубины фокуса и ускорения процессов обработки информации зрительной системой. Стремление к «supervision» и полное устранение aberrаций может оказаться «нагрузочным», утомительным для функционирования сетчатки как части зрительной системы и помешать выявлению существенных информативных признаков объектов. Учитывая двойственность зрительной системы (макулярная область условно носит название – телескопической системы, а периферия сетчатки представляет собой периметрическую систему) самые маленькие рецептивные поля макулярной зоны, захватывающей всего 1 угловой градус, задействуют 70–80% зрительной коры [8]. Эволюция зрительной системы приматов наряду со сверхчувствительной макулой, создала огромную, в процентном соотношении, периферию как детектора обнаружения и дифференциации движущихся объектов, использующую только низкочастотную пространственную информацию (крупные предметы). Таким образом, стремление полностью ликвидировать периферические

абберации «WAVE FRONT» системы, на наш взгляд не совсем оправдано.

Заключение

Предложенная концепция виртуальной диафрагмы, реализованная в монофокальной

ИОЛ с дифракционной аподизацией по всей периферии линзы и созданием «виртуальной» диафрагмы, вероятно, соответствует эволюционно сложившимся интерактивным механизмам зрительной системы и обеспечивает гармоничную зрительную коррекцию пресбиопии.

7.11.2014

Список литературы:

1. Controversies in IOL Design. Supplement to Cataract and Refractive Surgery Today. – 2006. – 15 с.
2. Треушников, В.М. Перспективы развития интраокулярных линз / В.М. Треушников. – Научно-производственное предприятие Репер-НН. – Н.Новгород. – 2012. – С. 1–38.
3. Малюгин, Б.Э. Премияльные ИОЛ – волшебный Грааль или маркетинговый ход? Круглый стол / Б.Э. Малюгин // Новое в офтальмологии. – 2013. – №1. – С. 45–50.
4. Kaufman, P.L. Adler's Physiology of the eye: Clinical application / P.L. Kaufman, A. Alm. – 2003. – P. 650–661.
5. Патент РФ 2485916 Эластичная интраокулярная линза 04.04.2011
6. Паштаев, Н.П. Новая модель диафрагмирующей эластичной ИОЛ / Н.П. Паштаев, Н.Н. Пивоваров, В.М. Треушников // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. – Москва. – 2011. – С. 196–210.
7. Пивоваров, Н.Н. Клинические аспекты нейрофизиологии зрения при коррекции аббераций глаза / Н.Н. Пивоваров, Е.Н. Суркова // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2013. – Т.13. – №4. – С. 4–9.
8. Бауэр Психофизиология фовеа и периферии – «перескопическое и телескопическое зрение» / Ю.Е. Шелепин [и др.] // Макула 2012 V Всероссийский семинар. – Ростов-на-Дону. – 2012. – С. 20–35.

Сведения об авторах:

Пивоваров Н.Н., профессор кафедры офтальмологии Российской медицинской академии последипломного образования, доктор медицинских наук

123995, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1, e-mail: pivovarov-nn@mail.ru

Дементьев Д.Д., медицинский директор «Международного офтальмологического центра», профессор

Паштаев Н.П., директор Чебоксарского филиала МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н.Федорова, член правления Общества офтальмологов России, Чебоксары, доктор медицинских наук, профессор

Суркова Е.Н., врач-офтальмолог ФГБУ ЦКБ УДП РФ, кандидат медицинских наук