

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХРОМАТИЧЕСКИХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ЧАСТИЧНЫХ ПОМУТНЕНИЯХ ОПТИЧЕСКИХ СРЕД ГЛАЗА

Курбанов К.К., Алиев А-Г.Д.^{*}, Алиева М.Г.^{*}

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала
ГУ НПО «Дагестанский центр микрохирургии глаза», г. Махачкала^{*}

В последние годы в оптометрии появились новые подходы к компенсации зрительных функций, связанные с использованием окрашенных стекол. Их применение направлено, с одной стороны, на улучшение разрешающей способности глаза, с другой стороны, - на защиту структур глаза от фотоповреждения.

В целях изучения возможностей спектральной коррекции для компенсации хроматических aberrаций и оптимизации зрительных функций нами предпринято исследование действия желтых светофильтров на контрастную чувствительность при 5 видах необскурирующих помутнений оптических структур глаза: легкое облачковидное помутнение роговицы, субэпителиальная фибро-плазия (хейз) после ФРК, начальная катаракта, помутнение задней капсулы хрусталика после имплантации ИОЛ, помутнение стекловидного тела, а также при искусственных помутнениях, моделируемых у здоровых людей с помощью светорассеивающих полиэтиленовых пленок, закрывающих поле зрения.

Хроматические aberrации рассчитывали как продольные aberrации, образуемые крайними лучами видимого спектра: красного и синего цветов, так как показатель преломления зависит от длины волны.

Оптическую остроту зрения в зависимости от длины волны λ рассчитывали как разрешение двух точечных источников σ_1 и σ_2 , распределение освещенности которых $E(\sigma)$ определяли по формуле:

$$E(\sigma) = \frac{\left(\iint_{\rho_1-\rho_2, \theta_1-\theta_2} \rho \cos \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\sigma \rho}{F} \cos \theta \, d\rho \, d\theta \right)^2 + \left(\iint_{\rho_1-\rho_2, \theta_1-\theta_2} \rho \sin \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\sigma \rho}{F} \cos \theta \, d\rho \, d\theta \right)^2}{0,25 (\rho_1^2 - \rho_2^2) (\theta_1 - \theta_2)}$$

Повышение остроты зрения рассчитывали для средней длины волны, получаемой при осреднении видимого диапазона, пропускаемого светофильтром.

Расчеты продольных aberrаций были выполнены с целью охарактеризовать длину интервала по оптической оси, по которому пересекаются с ней лучи в артифактическом глазу, проходящие через всю площадь зрачка - «интервал светорассеяния» по оси глаза.

Продольные aberrации ИОЛ рассчитывали по следующей формуле:

$$dv = -(n(\lambda)-1)/n(\lambda)^2 \cdot ((1/R_1-1/u)^2 \cdot 1/R_1-(n(\lambda)+1)/u) - \\ - (1/R_2-1/v)^2 \cdot (1/R_2-(n(\lambda)+1)/v)) \cdot v^2 \cdot h^2/2,$$

где $h = 2,5$, $u = 250$, $n(\lambda)$ – показатель преломления в зависимости от длины волны, $v = n(\lambda)/(1/u + (n(\lambda)-1)/R_1)$, R_1 , R_2 – радиусы кривизны смежных преломляющих поверхностей.

Использование данных математических расчетов позволило эмпирически определить оптимальные границы светопропускания хроматических фильтров, обеспечивающие наибольшую остроту зрения.

В целом полученные результаты показали, что применение желтых светофильтров оказывает благоприятное воздействие на разрешающую способность глаза при всех видах помутнений оптических сред глаза. Например, контрастная чувствительность при различных помутнениях, включая смоделированные помутнения, до и после использования желтых светофильтров повышалась во всем исследуемом диапазоне пространственных частот (рис. 1).

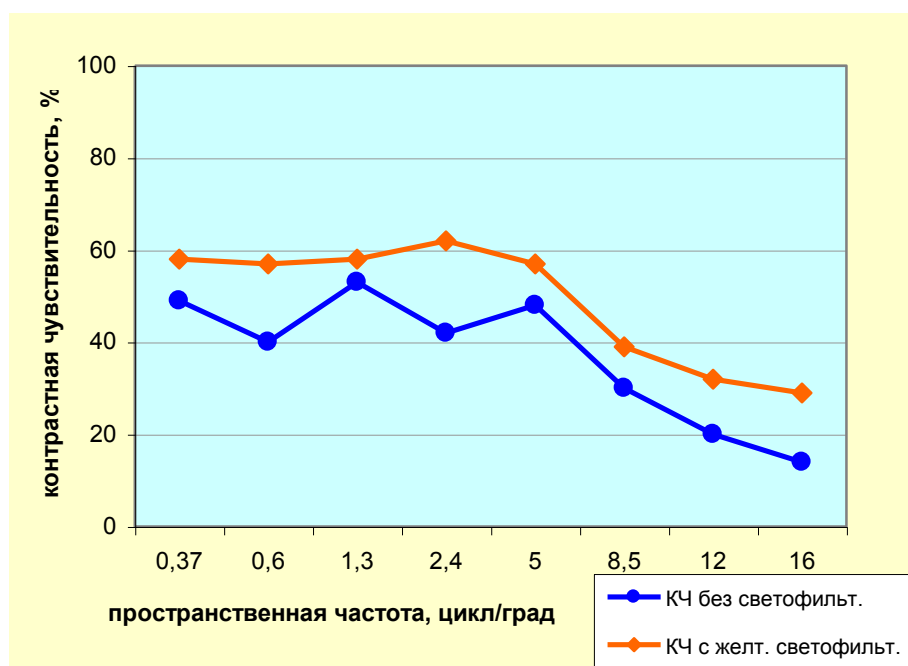


Рис. 1. Изменение контрастной чувствительности глаз с частичными помутнениями оптических сред до и после применения светофильтров

По оценке остроты зрения повышение составляет от 0,37 до 0,52 (на 40%), а по оценке контрастной чувствительности – на 25-30% по отношению к величинам, наблюдаемым без использования желтых светофильтров, что составляет для высоких пространственных частот повышение в 1,5-2 раза. Достоверность различий – более 99,9%.

На основе анализа результатов проведенных математических и клинических исследований нами предложен способ спектральной коррекции зрения при частичных помутнениях оптических сред глаза (Патент РФ на изобретение № 2197924 от 10.02.2003 г.).

Сущность предложенного способа заключается в том, что в способе оптической коррекции зрения, предусматривающем очковую коррекцию с окрашенными линзами, используют линзы с заданными спектральными характеристиками, дозировано поглощающими коротковолновую часть видимого света в диапазоне до 380 нм – не менее 99%, в диапазоне 380-520 нм – до 55-60% и в диапазоне свыше 520 нм – до 10-25%. Результат, достигаемый при осуществлении способа, основан на улучшении качества изображения на сетчатке глаза, за счет поглощения синей части видимого спектра, который размывает

контуры изображения из-за повышенного светорассеяния и хроматической аберрации. Кроме этого, снижение количества света с длиной волны короче 380 нм, достигаемое при использованных линзах, уменьшает световую нагрузку на катарактальный хрусталик, который поглощает свет именно в этом, опасном для него, диапазоне.

Конкретные величины светопропускания линз для осуществления предлагаемого способа взяты, исходя из данных по спектрам пропускания естественных хрусталиков, которые сами по себе дозировано поглощают синюю часть спектра и ближнее ультрафиолетовое излучение. Анализ спектральных характеристик естественных хрусталиков достаточно очевидно показывает, что использование линз, менее светофильтрующих видимый свет, чем естественный хрусталик, не может быть достаточно эффективным, и наоборот линзы, которые чрезмерно, по сравнению с хрусталиком, поглощают свет, заметно изменяют нормальные уровни возбуждения трех типов колбочек и, таким образом, цветовосприятие и зрительный комфорт человека.

Поэтому, линзы, используемые для осуществления предложенного нами способа в видимой части соответствуют спектрам пропускания хрусталиков пожилых людей и стариков, где в диапазоне 380-520 нм светопропускание составляет в среднем 40-45%, и свыше 520 нм - 75-90%. В диапазоне ближнего ультрафиолетового излучения, потенциально опасного для хрусталика глаза, достаточно ослабления света в 100 раз, т.е. до 1%.

Согласно клиническим испытаниям предложенного способа спектральной коррекции зрения с использованием указанных светофильтров у пациентов с частичными помутнениями оптических сред глаза наблюдается повышение остроты центрального зрения по сравнению как с нормой данного пациента без использования каких-либо светофильтров, так и в сравнении со способом, выбранным в качестве прототипа. Способ-прототип воспроизводился с использованием широко распространенной линзы УВИЦ-ТС (Россия), соответствующей ГОСТ 21306. Недостатком указанного способа-прототипа является то, что он не позволяет повысить зрительные функции глаза при диффузных помутнениях оптических сред глаза, и его применение эффективно только при центральных помутнениях хрусталика. При этом качество изображения на сетчатке повышается за счет использования краевых зон хрусталика при расширении зрачка, вызванного уменьшением общего количества света. Кроме этого, применение указанных линз не оптимально еще и потому, что они обладают избыточным светопропусканием в диапазоне 350-420 нм, опасном для структур глаза.

Сопоставление спектральных характеристик предложенных светофильтров и известных линз показывает, что хроматические фильтры позволяют не менее чем в 20 раз, в сравнении с линзами по ГОСТ 21306, снизить количество света в повреждающем диапазоне короче 380 нм, провоцирующем и ускоряющем развитие катаракт.

Данный способ спектральной коррекции зрения является эффективным, патогенетически обоснованным методом функциональной реабилитации пациентов не только при начальных помутнениях оптических сред глаза, но и после эксимерлазерных рефракционных вмешательств на роговице, в частности фоторефрактивной кератэктомии, при которой доминирующим фактором снижения зрительных функций является субэпителиальная фиброплазия роговицы (хейз, флер).

Таким образом, предложенный нами способ спектральной коррекции зрения, позволяющий улучшить разрешающую способность глаза и защитить его от фотоповреждения, эффективен при любых начальных или частичных помутнениях оптических сред глаза, что позволяет рекомендовать его к широкому использованию в клинической практике для решения поставленной задачи оптической коррекции зрения и улучшения зрительных функций.