

ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГОВ КОНТРАСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТИПА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

Лекомцева А.А.¹, Маясова Т.В.¹

¹ФГБОУ ВПО НГПУ им. К. Минина, Нижний Новгород, Россия, e-mail: lecomtseva.anna@yandex.ru

Современная жизнь характеризуется непрерывным потоком зрительных и звуковых сигналов и шумов, постоянной необходимостью принятия быстрых и точных решений. Главенствующую роль в переработке информативного потока занимает зрительный анализатор. Всеобщая компьютеризация последних десятилетий привела к повышенной нагрузке и быстрой утомляемости глаз, снижению контрастной чувствительности и временного разрешения после длительной работы на видеодисплейтерминалах. Поэтому изучение условий, факторов и времени работы за компьютером является одной из основных психофизиологических проблем сенсорного восприятия. Исследование проводилось с помощью программы «UltraVision» на 30 студентах. Изучались дифференциальные пороги контрастной чувствительности по четырем цветам (красный, желтый, зеленый и синий) и пороги определения типа геометрической фигуры (круг, квадрат и треугольник). Параметры стимулов задавались в системе RGB и HLS и изменялись с шагом в 1 у.е. Установлено, что для желтого цвета требовалось минимальное количество шагов для определения типа фигуры, для красного и зеленого цвета пороги были больше, а самые высокие значения наблюдались для синего цвета. Наименьший порог определения геометрических фигур наблюдался при различении треугольника. Наиболее трудной фигурой для опознания являлся квадрат, круг занимал среднее положение. Предполагается обсуждение полученных результатов.

Ключевые слова: дифференциальные пороги, цветоразличение, контрастная чувствительность, система RGB и HLS

DEPENDENCE OF THRESHOLDS OF CONTRAST SENSITIVITY ON THE WAVELENGTH OF RADIATION AND TYPE OF GEOMETRICAL FIGURES

Lekomtseva of A.A.¹, Mayasova T.B.¹

¹FGBOU VPO NGPU of K. Minin, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: lecomtseva .anna@yandex.ru

Modern life is characterized by a continuous stream of visual and sound signals and noise, constant need of adoption of fast and exact decisions. The predominating role in processing of an informative stream is occupied by the visual analyzer. The general computerization of the last decades led to the raised loading and fast fatigue of eyes, decrease in contrast sensitivity and temporary permission after long work on the videodisplayterminals. Therefore studying of conditions, factors and operating time at the computer is one of the main psychophysiological problems of touch perception. Research was conducted by means of the UltraVision program on 30 students. Differential thresholds of contrast sensitivity on four flowers (red, yellow, green and blue) and definition thresholds like a geometrical figure (a circle, a square and a triangle) were studied. Parameters of incentives were set in RGB and HLS system and changed with a step to 1 c.u. It is established that yellow color required the minimum quantity of steps for definition like figure, for red and green color thresholds were more, and the highest values were observed for blue color. The smallest threshold of definition of geometrical figures was observed at distinction of a triangle. The most difficult figure for an identification was the square, the circle held average position. Discussion of the received results is supposed.

Keywords: differential thresholds, color discrimination, contrast sensitivity, RGB and HLS system

На протяжении последних лет основная доля зрительного информационного потока приходится на компьютеры, планшеты, гаджеты, сотовые телефоны, видеодисплейтерминалы. Одним из главных требований любого пользователя к современной технике является ее цветовое разрешение, которое определяет возможность одновременного отражения на экране сразу нескольких цветов. Создавать как основные цвета, так и оттенки можно с помощью нескольких цветовых моделей, например RGB, CMYK, HLS. Известно,

что качество цветового изображения влияет на общий функциональный тонус работающего за персональным компьютером, определяет нагрузку и утомляемость глаз. Поэтому разработано много разных методик, позволяющих оценивать динамику зрительной сенсорной системы как в качественном плане (визоконтрастометрия, кампиметрия, стереоскопия, аномалоскоп), так и в ее временном разрешении (тахистоскопическое предъявление стимулов, фликкер-фотометрия, критическая частота появления или слияния мельканий, порог двойного светового импульса, анализ окулограмм и др.) [8].

Вместе с тем в психофизике и физиологии сенсорных систем одной из актуальных проблем остается интерпретация данных о соотношении предъявляемого дистального физического стимула и ощущаемого проксимального субъективного образа. Есть несколько предположений и данных о наличии в зрительной системе отдельных самостоятельных каналов обработки информации о разных свойствах изображения: цвете, форме, величине, яркости и других параметрах. На высшем уровне обработки информации, в процессе зрительного узнавания происходит взаимодействие между отдельными каналами [4].

Известно, что спектральная чувствительность глаза, определяемая с помощью хроматических стимулов, зависит от многих факторов (например, длительности экспозиции вспышек, частоты следования мельканий, яркости и размера тестового сигнала, а также длины волны излучения и типа геометрических фигур) [5]. Также установлено, что яркостные пороги меньше, чем хроматические, поэтому, определяя цветоразличение по тону, нужно первоначально выровнять их яркостную составляющую. На это обращает внимание Р.К. Kaiser [9], указывая на индивидуальный характер силы ощущения яркости определяемой индивидуальной спектральной чувствительности. Он предлагает понятие «ощущаемая яркость» (единица измерения $\text{ивс}/\text{м}^2$).

В техническом плане наиболее частая процедура выравнивания разноокрашенных стимулов — это гетерохроматическая фликкерфотометрия. Также есть данные, что фотометрическая яркость основана на средней спектральной чувствительности человека, а конкретные наблюдатели имеют разную структуру своей спектральной фоточувствительности [10].

Цель исследования

Определить зависимость порогов контрастной чувствительности от длины волны излучения (красный, зеленый, синий, желтый фон) и типа тестовых геометрических фигур (круг, квадрат, треугольник) в программе «UltraVision».

Объект исследования

В качестве объекта исследования выступили студенты Мининского университета в возрасте от 18 до 25 лет на добровольной основе. Всего было обследовано 30 людей (15

девушек и 15 юношей). Все испытуемые обладали нормальным цветоразличением, которое определялось с помощью таблиц Рабкина. Острота зрения была не ниже единицы. Исследование проводилось в первой половине дня, бинокулярно, расстояние до экрана монитора равнялось 20 см.

Методика исследования

Компьютерная технология цветовой кампиметрии позволяет формировать разнообразные цветовые стимулы и обеспечивает широкий набор измерения порогов цветоразличения по координатам виртуального цветового пространства в интерактивном режиме. В физиологии зрения кампиметрия применяется для изучения механизмов пространственной и временной суммации, контрастной чувствительности, цветового различения.

В 1991 г. на кафедре физиологии человека ФГБОУ ВПО НГПУ им. К. Минина была разработана компьютерная программа по цветоразличению «Vision», которую позднее модифицировали в программу «UltraVision». В данных программах дифференциальные пороги по оттенку измерялись в виртуальном цветовом пространстве, сконструированном в экспериментальной среде по технологии компьютерной цветовой кампиметрии. Набор цветовых стимулов задавался по двум цветовым моделям: RGB и HLS.

Модель RGB предполагает, что любой цвет состоит из трех основных компонентов: красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue). Эти цвета называются основными. При наложении одного хроматического компонента на другой (аддитивное смешение) можно получить все остальные цветовые оттенки. Совмещение всех трех компонентов дает нейтральный цвет (серый), который при большой яркости стремится к белому цвету. Интенсивность для красного (R), зеленого (G) и синего (B) цветов выставляется в условных единицах (у.е.) от 0 до 250 с шагом в 0,1 у.е.

Модель HLS соответствует пространству субъективных ощущений – оттенку (H — hue), насыщенности (S — saturation) и яркости (L — lightness). При регистрации дифференциальных цветовых порогов яркость и насыщенность стимула остаются постоянными на протяжении всего эксперимента, в то время как оттенок изменяется в диапазоне от 0 до 250 условных единиц (у.е.). В качестве порога цветоразличения принята такая разница между оттенком фона и тестовой фигуры, при которой испытуемый правильно определяет форму геометрической фигуры. Испытуемого знакомили с набором изображений заранее.

Характеристика цветового стимула: в качестве источника излучения был использован монитор персонального компьютера. Во время тестирования экран монитора имел три зоны: 1) серый общий фон; 2) фоновый стимул; 3) тестируемый стимул. В качестве

фонового стимула предъявлялся квадрат, центрированный по экрану монитора, его размер составлял 10x10 см, тон выбирал экспериментатор из всего цветового спектра (в нашем исследовании использовались только 4 оттенка: красный, желтый, зеленый и синий). Данный квадрат выполнял функцию исходного тонового уровня с заданной яркостью и насыщенностью и оставался с фиксированными параметрами на протяжении всего эксперимента постоянным. Тестируемым стимулом была геометрическая фигура (круг, квадрат или треугольник), которая задавалась в случайном порядке по центру фонового квадрата. Насыщенность и яркость теста оставались постоянными на протяжении всей пробы и равнялись соответствующим параметрам фона, в нашем исследовании $S=220$ и $L=100$. Пороги контрастной чувствительности определялись только по тону и выражались в у.е.

Установлено, что стимул с такими заданными характеристиками, как:

- $L=100$, $S=220$, $H=0$ воспринимается как красный цвет, акцептором данного вида излучения являются длинноволновые L-колбочки и соответствующие оппонентные каналы передачи информации;
- $L=100$, $S=220$, $H=40$ – воспринимается как желтый цвет, акцептором данного вида излучения являются одновременно длинноволновые L- и средневолновые M-колбочки;
- $L=100$, $S=220$, $H=80$ – на экране монитора будет зеленый квадрат, акцептором данного вида излучения выступают средневолновые M-колбочки;
- $L=100$, $S=220$, $H=180$ – возникает ощущение синего цвета, возбуждаются коротковолновые S-колбочки.

Процедура измерения. Каждая серия эксперимента состоит из двух этапов – обучения и измерения. На этапе обучения испытуемому сообщается, что цель данного тестирования состоит в распознавании геометрической фигуры, появляющейся в центре фонового квадрата; внимание наблюдателя фокусируется в центре экрана монитора; испытуемый пошагово с интервалом в 1 у.е. изменяет оттенок теста путем нажатия на определенное поле; при конечном решении задачи студент нажимает на кнопку, соответствующую форме фигуры (либо круг, либо квадрат, либо треугольник) и получает ответ «верно» или «неверно». Экспериментатор дает установку определить фигуру за наименьшее количество нажатий кнопки (наименьшее смещение по у.е.), а после решения данной задачи по отношению к одному цветовому окну наблюдатель переходит к другому цветовому окну и повторяет процедуру.

Результаты тестирования дифференциальных цветовых порогов по тону заносятся в электронную таблицу данных в соответствии с порядковым номером для каждого испытуемого в текущей измерительной процедуре. При регистрации каждого наблюдателя

учитываются персональные данные (ФИО, возраст, пол, дата, время суток). Исследование проводилось до занятий.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенного исследования было установлено, что вероятность опознания формы геометрических фигур (круг, квадрат или треугольник) зависит от всех трех параметров, задаваемых моделью HLS, т.е. от тона, яркости и насыщенности. Но в условиях субъективного равенства как по насыщенности, так и по яркости фона и теста основным фактором, определяющим порог опознания геометрической формы, является цвет объекта.

Анализ полученных результатов показал, что наименьшие пороги контрастной чувствительности по всем геометрическим фигурам наблюдаются при тестировании желтого цвета (табл. 1). Так, среднее значение (M) для определения треугольника по данному тону составило $M=1,5$ у.е, для круга – 1,6 у.е, а для квадрата этот порог больше по сравнению с предыдущими двумя фигурами и равняется 1,8 у.е.

Таблица 1
Пороги контрастной чувствительности по тону и типу геометрической фигуры (M±δ)

	Треугольник	Квадрат	Круг
Желтый	1,5±0,1 у.е.	1,8±0,1 у.е.	1,6±0,1 у.е.
Красный	2,1±0,1 у.е.	2,4±0,1 у.е.	2,4±0,1 у.е.
Зеленый	2,2±0,1 у.е.	2,8±0,1 у.е.	2,6±0,1 у.е.
Синий	3,2±0,2 у.е.	3,4±0,2 у.е.	3,4±0,2 у.е.

Пороги контрастной чувствительности по красному и зеленому цвету не имеют достоверных различий между собой, но достоверно больше порогов по желтому тону и достоверно меньше порогов по синему цвету. Например, дифференциальный порог определения треугольника по красному тону составил 2,1 у.е., а по зеленому цвету – 2,2 у.е., порог определения квадрата – 2,4 и 2,8 у.е. соответственно.

Пороги по синему оттенку самые высокие (M для различения треугольника = 3,2 у.е., квадрата и круга – 3,4 у.е.). Например, для сравнения, эти пороги по желтому тону меньше в 2 раза (1,5, 1,8 и 1,6 у.е. соответственно). Это связано с тем, что пороги цветоразличения для промежуточных оттенков (желтого, голубого) всегда меньше, чем для основных цветов (красного, зеленого, синего).

Анализ порогов по определению типа геометрических фигур показал, что наименьшие пороги наблюдаются у испытуемых при тестировании треугольника (например, для красного цвета $M=2,1±0,1$, для зеленого $2,2±0,1$, для синего – $3,2±0,2$). Для желтого цвета достоверных различий не выявлено: порог распознавания треугольника равен $1,5±0,1$

у.е, а круга – $1,6 \pm 0,1$ у.е., но есть различия между треугольником и квадратом (1,5 и 1,8 у.е. соответственно). Не выявлено достоверных различий дифференциальных порогов по квадрату и кругу по всем четырем цветам. Полученные данные согласуются с данными других исследований [1, 2, 3, 6, 7]. Хотя в нашем исследовании время свечения стимулов было не ограничено, есть также данные о том, что пороги опознания фигур при уравненных яркостях зависели от времени их экспозиции. Например, в работе А.В. Бертулис [2] пороги опознания треугольника составляли 60 мс, а квадрата – 80 мс.

Важно указать, что исследование проводилось на студентах утром до занятий, уровень освещенности в помещении составлял 100 люкс, такие условия были комфортными для работы за компьютером и проведении тестирования. При уменьшении освещенности в сторону мезопического уровня пороги контрастной чувствительности увеличивались, хотя достоверных различий не выявлено. Есть предварительные данные и о возрастных различиях дифференциальных порогов определения геометрических фигур в разных областях спектра. Пороги опознания фигур в выборке, полученной при тестировании преподавателей вуза (50 лет и больше), значительно выше, чем соответствующие пороги у студентов, т.е. контрастная спектральная чувствительность с возрастом снижается, особенно сильно в промежуточных оттенках (желтом и голубом) и меньше в основных цветах (красном, зеленом и синем).

Выводы

В результате проведенного исследования по компьютерной программе «UltraVision» получены данные о порогах цветовой контрастной чувствительности «фигура — фон» в зависимости от тона фона (красный, зеленый, синий, желтый) и типа тестируемой геометрической фигуры (круг, квадрат и треугольник). Вероятность опознания формы фигур в разных спектральных областях зависела от трех параметров, задаваемых моделью HLS: тона, насыщенности и яркости стимулов. В условиях выравнивания по субъективной яркости и насыщенности определяющим фактором в контрастной чувствительности становился тон объекта.

Пороги дифференциальной контрастной чувствительности зависели от длины волны излучения: для желтого цвета требовалось минимальное количество шагов в у.е. для определения типа фигуры, для красного и зеленого цвета пороги были выше, а самые высокие значения наблюдались для синего цвета.

Полученные результаты показали, что наименьший порог определения геометрических фигур наблюдался при различении треугольника. Наиболее трудной фигурой для опознания являлся квадрат, круг занимал среднее положение.

Список литературы

1. Арефьева Ю.А. Контрастная и цветовая чувствительность в диагностике глаукомы: нейрофизиологические аспекты // Вестник офтальмологии. — 1998. — № 4.— С. 49–51.
2. Бертулис А.В., Гутаускас А.И. Время опознания формы цветовых стимулов // Физиология человека. — 1982. — № 6. — С. 919–923.
3. Бертулис А.В., Гутаускас А.И. Пороги опознания разных признаков цветовых стимулов // Физиология человека. — 1980. — № 1. — С. 24–29.
4. Голубцов К.В., Куман И.Г., Хейло Т.С. и др. Мелькающий свет в диагностике и лечении патологических процессов зрительной системы человека // Информационные процессы. — 2003. — Т. 3, № 2. — С. 114–120.
5. Лекомцева А.А. Роль фактора времени в формировании зрительного цветового образа: дис...канд. биол, наук. — Н.Новгород. 2009. — 118 с.
6. Стромкова Е.Г., Парин С.Б., Полевая С.А. Влияние стрессовой ситуации на дифференциальные пороги восприятия цвета // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ. — 2004. — С. 46–56.
7. Шайтор Э.П., Зайнуллин Р.Г. Влияние угловых размеров, длительности и формы стимулов на обнаружение порядка следования зрительных сигналов // Физиология человека. — 1978. — № 2. — С. 245–251.
8. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии // Издательство: Медицина. — 1999.— 416 с.
9. Kaiser P.K. Sensation luminance: a new name to distinguish CIE luminance from luminance dependent on an individual's spectral sensitivity // Vision Res. — 1988. — Vol. 28. — No. 3: 455.
10. Stringham J.M., Hammonda B.R., Nolan J.M.et al. The utility of using customized heterochromatic flicker photometry (cHFP) to measure macular pigment in patients with age-related macular degeneration // Experimental Eye Research. — 2008. — No.87: 445.

Рецензенты:

Ягин В.В., д.б.н., профессор каф.физиологии и БЖ человека ФГБОУ ВПО НГПУ им. К. Минина, г. Нижний Новгород;

Дмитриев А.И., д.б.н., профессор каф.биологии, химии и биолого-химического образования ФГБОУ ВПО НГПУ им. К. Минина, г. Нижний Новгород.