М. С. СМИРНОВ и М. М. БОНГАРД

О ГИПОТЕЗЕ ГРОЗДЬЕВ ЦВЕТОВОСПРИНИМАЮЩИХ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ

В настоящее время широко распространено мнение, что в сетчатке человека имеются колбочки нескольких типов с различными кривыми спектральной чувствительности. По имеющимся в литературе данным, колбочки каждого типа якобы расположены группами (гроздьями). Так, например, Хартридж [2] указывает на фиксацию разными местами сетчатки светящихся точек с разной длиной волны. Он объясняет это явление тем, что при фиксации точки глаз поворачивается так, что изображение точки попадает на гроздь колбочек, наиболее чувствительных к данной длине волны.

Существование описанных Хартриджем гроздьев однотипных колбочек с поперечником порядка 15 μ противоречит способности человека

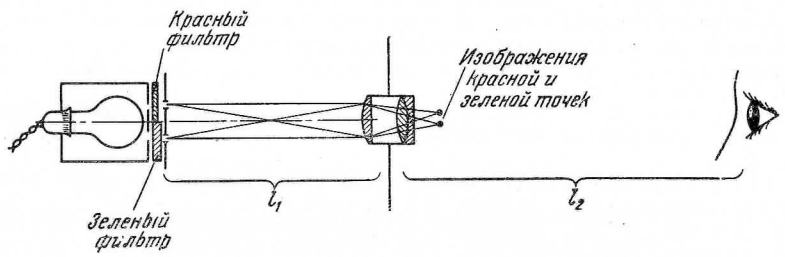


Рис. 1. Схема установки для измерения расстояния на сетчатке между изображениями разрешаемых цветных точек

различать мелкие детали цветного объекта. Легко понять, что невозможно видеть различие в цветах деталей, расстояние между изображениями которых на сетчатке меньше диаметра грозди.

Базируясь на этом соотношении, мы определили верхнюю границу поперечника гроздьев в центральной ямке сетчатки человека.

Для измерения расстояния между изображениями цветных точек на сетчатке, при котором человек еще видит их цвета раздельно, нами применялась установка по схеме рис. 1. В передней стенке осветителя были сделаны два небольших отверстия, прикрытых красным и зеленым светофильтрами. Осветитель мог вращаться вокруг оси, указанной на рисунке. Между осветителем и наблюдателем помещался непрозрачный экран с укрепленным в его отверстии короткофокусным объективом. Расстояние x между центрами изображений красной и зеленой точек на сетчатке с достаточной точностью рассчитывается по формуле:

$$x = da\,\frac{F}{l_1\,l_2},$$

где: a — расстояние между отверстиями в осветителе;
F — фокусное расстояние объектива;
l_1 — расстояние от объектива до осветителя;
l_2 — расстояние от глаза до объектива.

Заднее узловое расстояние глаза d мы принимали равным 17 мм.

Задачей наблюдателя было определить, справа, сверху, слева или снизу расположена красная точка относительно зеленой. Опыт показал, что наблюдатели с достаточной остротой зрения могут легко справиться с этой задачей при расстоянии между центрами изображений на сетчатке, равном микрону.

Образец протокола. Стрелкой указано направление от зеленой точки к красной.

Испытуемая Р., правый глаз. Расстояние между центрами изображений на сетчатке 1 μ.

Показано	←	↑	→	←	↑	↓	→	↓
Ответ	←	↑	→	←	↑	↓	→	↓

Вероятность простого угадывания направления равняется $^1/_4$. Поэтому вероятность восьми правильных ответов подряд была бы чрезвычайно мала, если бы испытуемый в действительности не видел направления, а отвечал наугад. Поскольку многократно повторявшиеся опыты давали аналогичный результат, случайность совпадения ответов испытуемого с показанным расположением точек совершенно исключается.

Совершенно очевидно, что если бы сетчатка испытуемого состояла из гроздьев колбочек размерами 15×15 μ или даже 5×5 μ, различение цветов точек было бы невозможно в условиях этого опыта, т. е. при расстоянии между центрами изображений, равном 1 μ.

Таким образом, нужно признать, что гроздьев таких размеров в центральной ямке сетчатки человека нет.

В связи с этим возникает сомнение, действительно ли человек фиксирует светящиеся точки разных цветов разными местами сетчатки. Поэтому мы предприняли проверку опытов Хатриджа, который нашел, что число точек фиксации для различных длин волн «больше трех и, повидимому, равно семи» (рис. 2).

Мы применяли метод объективной регистрации движений глаза, разработанный А. Л. Ярбусом [3]. Испытуемому предлагали смотреть на отверстие с видимым угловым диаметром 0,3′, освещенное при помощи монохроматора (рис. 3). На одном глазе испытуемого укреплялось плоское зеркало; другой глаз был занавешен так, что им испытуемый не видел точки. Свет осветителя, отраженный от глазного зеркала, падал на фотобумагу. Расположение было таким, что при перемещении изображения на сетчатке вследствие поворота глаза на 1 μ зайчик на фотобумаге сдвигался на 0,3 мм. Разрешающая сила объектива осветителя, диаметр отверстия диафрагмы и качество зеркала позволяли получать зайчик диаметром 10,5 мм. Таким образом могли безусловно регистрироваться повороты глаза, вызывающие смещение изображения на сетчатке на 2 μ, т. е. менее чем на одну колбочку. Испытуемый рассматривал отверстие, которое освещалось то красным (670—690 mμ), то зеленым (500—510 mμ) светом. Запись положений глаза в этих двух случаях велась на отдельных листах осциллографной бумаги, которые можно было затем

совместить с погрешностью, меньшей 0,5 мм. Пример таких записей дан на рис. 4.

Такие записи сразу показывают ошибочность утверждения Хартриджа, что глаз может продолжительно фиксировать малый объект со смещениями не более 2—3 колбочек (5—10 μ). На записях видно, что нет точек фиксации, а есть целые области, содержащие в себе сотни колбочек, по которым ползает изображение точки в промежутках между скачками глаза. На рис. 4 показаны наименьшие из полученных нами областей. Области

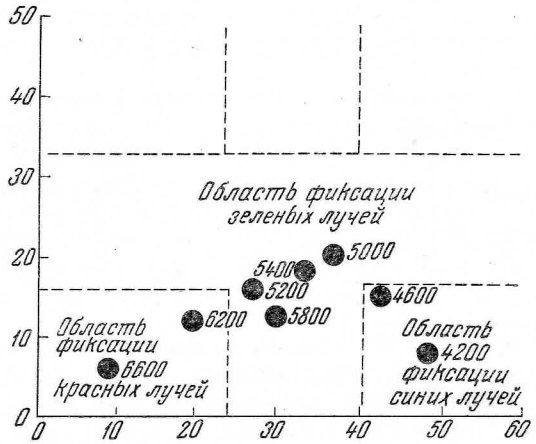


Рис. 2. План области фиксации центральной ямки глаза человека по Хартриджу. Масштаб на осях в микронах

сетчатки, используемые при рассматривании точек разного цвета, совпадают.

Другим экспериментальным основанием теории гроздьев были опыты, в которых наблюдателю казалось, что желтая точка становится то крас-

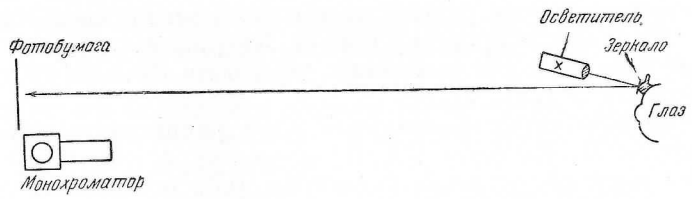
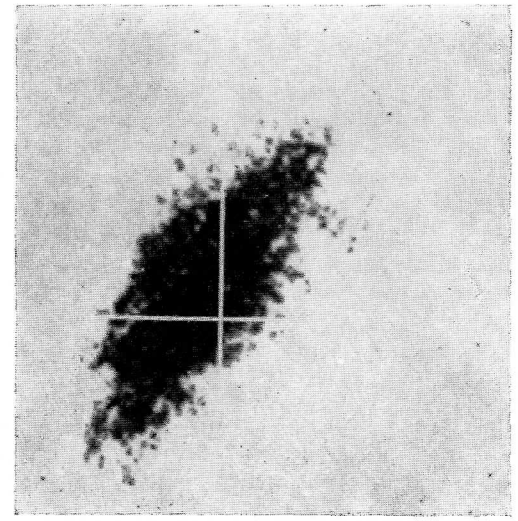


Рис. 3. Схема опыта по регистрации движений глаза

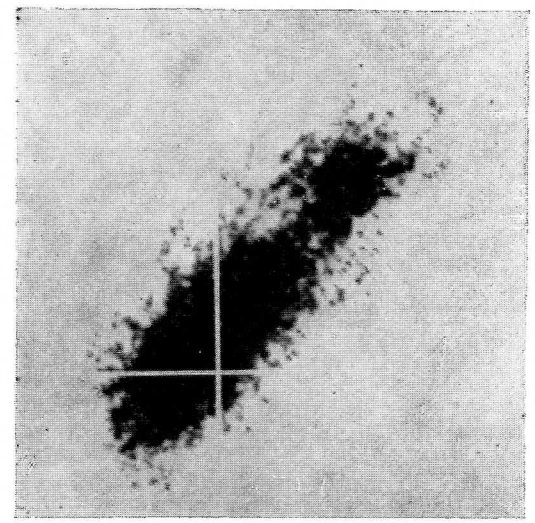
ной, то зеленой. Это объясняли тем, что изображение попадает временами то на «красноощущающие», то на «зеленоощущающие» гроздья.

Для проверки того, действительно ли изменяется видимый цвет желтой точки при попадании ее изображения на различные места сетчатки, был поставлен следующий опыт.

Наблюдателю показывали на 0,01 сек. отверстие с угловым размером 0,2′, освещенное красным, зеленым или желтым монохроматическим светом с длиной волны 630, 550 и 590 mμ. Наблюдатель должен был различать цвета вспышек. В случае, если бы видимый цвет желтой точки зависел от того, на какое место сетчатки попадает ее изображение, наблюдатель должен был бы иногда принимать цвет желтой вспышки за красный



1



2

Рис. 4. Записи, произведенные при рассматривании цветных точек

1 — красная точка $\lambda = 680$ mμ; *2* — зеленая точка $\lambda = 500$ mμ

Белыми крестами обозначены точки записей, соответствующие проектированию изображений на одно и то же место сетчатки. Каждая запись производилась в течение четырех минут

или зеленый. Опыт показал, что наблюдатели из сотен желтых вспышек ни одну не увидели красной или зеленой. В то же время они всегда правильно называли цвета красных и зеленых вспышек, которые им показывали вперемежку с желтыми.

Возникает вопрос, каким образом некоторыми авторами были получены данные, что белая или желтая точка кажется меняющей свой цвет. Мы считаем, что эти опыты относятся скорее к области психологии, ибо наблюдатель знал, что светящаяся точка объективно не меняет своего цвета, и должен был оценивать изменение своих ощущений. В наших же опытах наблюдатель не знал, какого цвета будет вспышка. Правильность его оценок цвета вспышек доказывает отсутствие существенных флюктуаций ощущений и соответствие ощущений испытуемого объективному стимулу. В тех опытах, когда испытуемый сам должен был оценивать степень отклонений своего ощущения от предыдущего, результат мог сильно зависеть от внушения экспериментатором испытуемому того, что точка должна менять свой видимый цвет. Подтверждение этого предположения мы видим в том, что не все испытуемые в этих опытах видели изменения цвета.

Выводы

1. Описанные в литературе опыты, якобы подтверждающие наличие в сетчатке гроздьев колбочек, ошибочны.
2. Твердо установлено, что центральная ямка сетчатки человека не состоит из гроздьев колбочек размером 5×5 μ или более крупных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравков С. В. Цветовое зрение. М., 1952.
2. Хартридж Г. Современные успехи физиологии зрения. М., ИЛ, 1952.
3. Ярбус А. Л. Исследование закономерностей движений глаз в процессе зрения. «Докл. АН СССР», 1954.