

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПРОБЛЕМАМ
ФИЗИОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД • 1977

125. Ross J., Hogben J. H. Short-term memory in stereopsis. — *Vision Res.*, 1974, v. 14, № 11, p. 1195—1201.
126. Sanderson K. J., Bishop P. O., Darian-Smith I. The properties of the binocular receptive fields of lateral geniculate neurons. — *Exp. Brain Res.*, 1971, v. 13, № 2, p. 178—207.
127. Sanderson K. J., Darian-Smith I., Bishop P. O. Binocular corresponding receptive fields of single units in the cat dorsal lateral geniculate nucleus. — *Vision Res.*, 1969, v. 9, № 10, p. 1297—1303.
128. Sanderson K. J., Sherman S. M. Naso-temporal overlap in visual field projected to lateral geniculate nucleus in the cat. — *J. Neurophysiol.*, 1971, v. 34, № 3, p. 453—466.
129. Sarmiento R. F. The stereoacuity of macaque monkey. — *Vision Res.*, 1975, v. 15, № 4, p. 493—498.
130. Sherman S. M., Sanderson K. J. Binocular interaction on cells of the dorsal lateral geniculate nucleus of visually deprived cats. — *Brain Res.*, 1972, v. 37, № 1, p. 126—131.
131. Shipley T. Visual contours in homogeneous space. — *Science*, 1965, v. 150, № 3694, p. 348—350.
132. Shipley T., Rawlings S. C. The nonius horopter. I. History and theory. II. An experiential report. — *Vision Res.*, 1970, v. 10, № 11, p. 1201—1299.
133. Shlaer R. Shift in binocular disparity causes compensatory change in the cortical structure of kittens. — *Science*, 1971, v. 173, № 3997, p. 638—641.
134. Singer W. Inhibitory binocular interaction in the lateral geniculate body of the cat. — *Exp. Brain Res.*, 1970, v. 10, № 2, p. 165—170.
135. Sperling G. Binocular vision: a physical and neural theory. — *Amer. J. Psychol.*, 1970, v. 83, № 3, p. 461—534.
136. Stone J. The naso-temporal division of the cat's retina. — *J. Comp. Neurol.*, 1966, v. 126, № 4, p. 585—600.
137. Ten Doesschate G. Results on an investigation of depth perception at a distance of 50 metres. — *Ophthalmologica*, 1955, v. 129, № 1, p. 56—57.
138. Ware C., Mitchell D. E. On interocular transfer of various visual after-effects in normal and stereoblind observers. — *Vision Res.*, 1974, v. 14, № 8, p. 731—734.
139. White B. W. Stimulus-conditions affecting a recently discovered stereoscopic effect. — *Amer. J. Psychol.*, 1962, v. 75, № 3, p. 411—420.
140. Whitteridge D. Binocular vision and cortical function. — *Proc. Roy. Soc. Medicine*, 1972, v. 65, № 11, p. 947—952.
141. Wiesel T. N., Hubel D. H. Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. — *J. Neurophysiol.*, 1963, v. 26, № 4, p. 1003—1017.
142. Wiesel T. N., Hubel D. H. Comparison of the effects of unilateral and bilateral eye closure on cortical unit responses in kittens. — *J. Neurophysiol.*, 1965, v. 28, № 6, p. 1029—1040.
143. Wiesel T. N., Hubel D. H. Extent of recovery from the effects of visual deprivation in kittens. — *J. Neurophysiol.*, 1965, v. 28, № 6, p. 1060—1072.
144. Woo G. C. S. The effect of exposure time on the foveal size of Panum's area. — *Vision Res.*, 1974, v. 14, № 7, p. 473—480.
145. Woo G. C. S. Temporal tolerance of the foveal size of Panum's area. — *Vision Res.*, 1974, v. 14, № 8, p. 633—635.

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ОБЪЕКТОВ НА ПЕРИФЕРИИ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

А. Л. ЯРБУС, Г. И. РОЖКОВА

Институт проблем передачи информации АН СССР, Москва

Знание особенностей периферического зрения человека существенно как теоретически, так и чисто практически для врачей-офтальмологов, широко применяющих периметрические исследования в диагностических целях. Однако, несмотря на наличие значительного числа экспериментальных работ, вопрос о характере различий между периферическим и цент-

ральным зрением до сих пор остается в значительной мере открытым. Это связано главным образом с трудностями разработки адекватных методик изучения периферического зрения.

К сожалению, до сих пор почти все исследования периферического зрения проводятся в условиях фиксации взора с использованием неподвижных или медленно движущихся по дуге периметра стимулов, скорость движения которых обычно выбирается достаточно произвольно, без каких-либо обоснований. В разных работах рекомендуются различные значения скоростей: от нескольких десятков угловых минут до нескольких градусов в секунду ([1, 3, 5] и др.). Указанная методика проведения опытов имеет серьезные недостатки. Во-первых, испытуемые вынуждены в подобных условиях раздвигать свое внимание, решая одновременно две противоречивые задачи: удерживать взгляд на точке фиксации и анализировать предъявляемый на периферии объект. Во-вторых, в этом случае трудно обеспечить достаточно устойчивое и четкое видение тест-объектов. Последний факт подчеркивается почти всеми исследователями периферического зрения ([7, 10] и др.).

Недавно нами было показано [6], что положение можно существенно улучшить, если перемещать тест-объекты не с произвольными, а с некоторыми вполне определенными скоростями, различными для разных точек поля зрения. Было обнаружено, что в фотопических условиях оптимальная для восприятия объектов ситуация создается при смещении их сетчаточных изображений со скоростями, находящимися в интервале $(5-15) \sin \varphi^\circ / c$ (φ — периферичность объекта). При этом оказалось, что образы объектов, движущихся с оптимальными скоростями, стабильны и при достаточно большой величине объектов имеют резкие контуры.

Совершенно очевидно, однако (и предварительные опыты это отчетливо выявляют), что для обеспечения нормального видения на периферии необходимо устранить и вторую мешающую анализу периферических объектов причину — т. е. нужно избавить испытуемого от необходимости фиксировать взор и предоставить ему возможность пользоваться произвольными движениями глаз.

По-видимому, наилучшими для исследования периферического зрения являются условия, при которых человек может свободно рассматривать тестовые изображения с помощью исследуемого участка сетчатки. Создать такие условия можно различными способами. Один из простейших — ограничение работающего участка сетчатки с помощью специальных экранящих заслонок, укрепляемых на присосках [8]. Этот способ и был использован нами для изучения особенностей восприятия объектов на периферии поля зрения.

Методика

Задачей и стоящего исследования было сравнение описаний, даваемых испытуемыми предъявлявшимся объектам при рассматривании их свободным глазом и глазом, у которого выключена из процесса восприятия центральная часть сетчатки большего или меньшего диаметра.

Все опыты проводили при свободном монокулярном рассматривании испытуемыми предлагаемых тест-объектов и окружающей обстановки. Время экспозиции не ограничивали. На работающий глаз ставили специальную присоску с приспособлениями, позволяющими экранировать нужный центральный участок сетчатки. Конструкция присоски схематически представлена на рис. 1. Особенностью ее является наличие прозрачного экрана, укрепленного на 4 легких стерженьках. На этот экран помещали непрозрачные бумажные кружочки, которые заслоняли во время опыта нужный участок сетчатки. Угловые размеры заслонок колебались от 0.5 до 30° . Для крепления бумажных заслонок их смачивали водой. Это позволяло легко осуществлять смену заслонок и коррекцию их положения. Центрирование заслонок производили следующим образом. Испытуемым предлагали фиксировать на фронтально расположенном экране точку пересечения горизонтальной и вертикальной линий. Затем очень маленькую заслонку передвигали по прозрачному экрану присоски до тех пор, пока человек не переставал видеть точку фиксации. Найденное положение рассматривалось как центр при креплении заслонок большего диаметра.

Свободный от присоски глаз прикрывали непрозрачной повязкой. В ряде опытов испытуемым предлагали периодически приподнимать повязку и поочередно рассматривать объект то свободным глазом, то глазом с присоской. Это позволяло наблюдателю выявлять даже небольшие различия между восприятием в норме и при наличии заслонки. Однако в большей части опытов сравнение формируемых с помощью периферического зрения образов с нормальными производились по памяти уже после снятия присоски.

В некоторых экспериментах вели регистрацию движений глаз, продолжительностью которой всегда была равна 2 мин. Методика записи движений глаз подробно описана ранее [8].

Были поставлены две серии опытов. В первой испытуемым предъявляли один

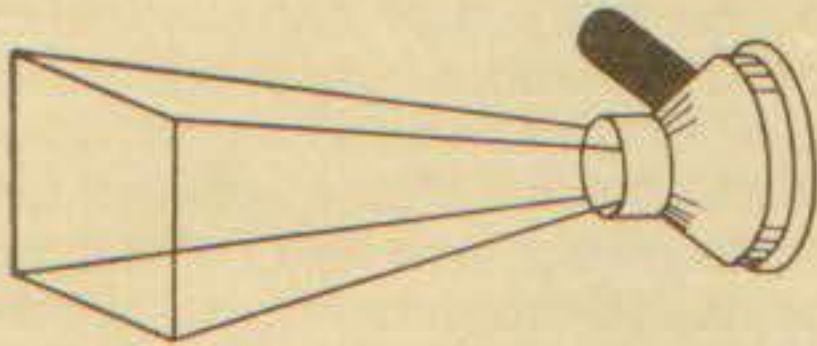


Рис. 1. Схематическое изображение использованной в опытах присоски.

Объяснения в тексте.

и тот же объект, а величину заслонки меняли. При этом сравнивались образы, формируемые человеком для одного и того же объекта при постепенном выключении из работы все больших и больших центральных участков сетчатки. Во второй серии размер заслонки был постоянным, а меняли величину и контраст тест-объектов для определения тех параметров, при которых данная зрительная задача могла быть решена с помощью аппарата периферического зрения. В этой серии опытов испытуемым предлагали следующие зрительные задачи: узнавание знакомых объектов, ознакомление с незнакомыми объектами с целью их последующего отождествления, нахождение различий между двумя сходными объектами, выделение отдельных объектов из совокупности, пересчет объектов. В качестве тест-объектов использовали реальные предметы окружающей обстановки, фотографии знакомых и незнакомых лиц, печатный текст, изображения отдельных букв, геометрических фигур, животных и т. д.

Результаты

Опишем сначала типичные результаты, получаемые в опытах с постепенным выключением из процесса восприятия все возрастающих по величине центральных участков сетчатки. Возьмем в качестве примера опыт, в котором тест-объектом служил фотографический портрет (рис. 2, А).

При постепенном увеличении диаметра заслонок (Д) испытуемый констатировал следующие изменения воспринимаемого образа.

Д: $0.5-1^\circ$. Восприятие всего лица в целом и его выражения практически не отличается от нормального. Не видны только самые мелкие детали. Наличие заслонки никак не ощущается: узнать о ее существовании испытуемый может только косвенным путем, примерно так же, как о существовании слепого пятна; например фиксируя взгляд на какой-нибудь мелкой детали, он способен обнаружить ее исчезновение.

Д: $1.3-1.5^\circ$. Замечается некоторая размытость черт лица. Человек начинает испытывать неудобство при рассматривании портрета, но не может сказать, в чем оно выражается.

Д: $2-3^\circ$. Размытость черт лица увеличивается. В целом лицо еще хорошо узнается, правильно определяется его выражение. Неудобство, связанное с наличием заслонки, усиливается, но испытуемый по-прежнему не знает, в чем оно выражается. Наблюдатель обнаруживает, что восприятие изображения существенно зависит от характера движений глаз. Объект воспринимается удовлетворительно только в том случае, когда глаз непрерывно совершает макродвижения. В моменты произвольных или произвольных фиксаций лицо узнать почти невозможно, выражение его сильно искажается. Чтобы обеспечить себе хорошую видимость объекта, человек существенно увеличивает интенсивность движений глаз по сравнению с нормой.

Д: $4-5^\circ$. Изображение кажется еще более размытым. Испытуемый явно осознает, что не видит центральной частью сетчатки. Интенсивность движений глаз еще увеличивается, что хорошо видно на записях (рис. 2, В—Д).

Д: 7—8°. Выражение лица испытуемый видит совершенно искаженным. Заслонка кажется темным пятном, края которого размыты и во многих местах сливаются с объектом восприятия.

Д: 10—11°. Испытуемый узнает, что перед ним — лицо человека, но не может никак его охарактеризовать.

Д: 14—15°. Вместо фотографии девочки испытуемый видит неоднородное по яркости пятно.

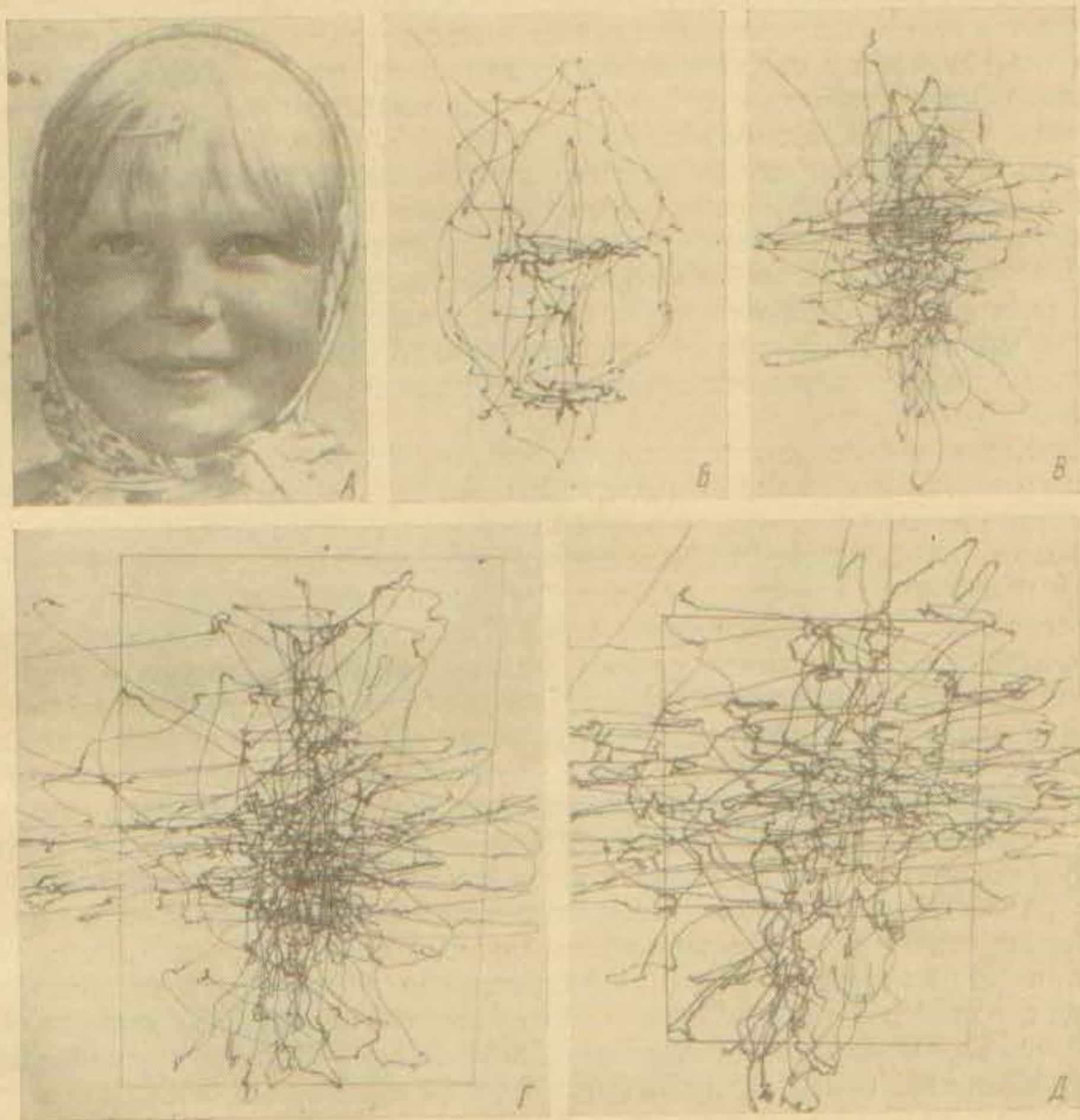


Рис. 2. Тест-объект (А) и записи движений глаз при его рассматривании (Б—Д). Б — запись движений глаз при монокулярном рассматривании объекта свободным глазом; В—Д — то же при наличии заслонок диаметром 5° (В), 10° (Г), 15° (Д). Время записи — 2 мин. На Г и Д отмечена проекция границ тест-объекта на плоскость записи.

Суммируя результаты данного опыта, можно сказать, что по мере перехода к рассматриванию тест-объекта все более периферическими участками сетчатки происходило постепенное расплывание деталей и искажение воспринимаемого образа, пока он наконец полностью не утратил сходства с оригиналом. Последняя фаза наступила довольно быстро — уже при диаметре заслонки 14—15°, т. е. при радиусе выключенного из работы участка сетчатки около 7°. Однако из этого не следует, что для периферического зрения в отличие от центрального вообще характерны расплывчатые и искаженные образы объектов и что средняя и далекая периферия сетчатки не может обеспечить формирования удовлетворительных образов. Дело в том, что качество формируемых с помощью периферического зрения образов сильно зависит от величины и контрастности

объектов. Так, например, если вместо полутонового портрета, показанного на рис. 2, А, предъявлять испытуемым контурные портреты того же размера с достаточной толщиной линии, они будут удовлетворительно восприниматься при всех указанных выше диаметрах заслонки.

Опыты с разнообразными тест-объектами показывают, что при больших и контрастных стимулах качество формируемых посредством периферии образов достаточно хорошее. Так, у испытуемых создается впечатление, что интерьер лаборатории они воспринимают вполне нормально даже при наличии заслонок диаметром 30° . Иногда у наблюдателей даже возникает сомнение в правильности постановки заслонки: им кажется, что заслонка сдвинута в сторону и они имеют возможность «видеть центром». Это подозрение рассеивается только после того, как им предложат рассмотреть более мелкие объекты.

Следует заметить, что расплывчатые и искаженные образы являются нормальным явлением и для центрального зрения, если размеры объектов достаточно малы. Действительно, если, например, постепенно удалять от испытуемого небольшой портрет, то и при анализе с помощью центрального зрительного аппарата на некотором расстоянии этот портрет тоже будет восприниматься просто как неоднородное по яркости пятно: восприятие проходит через все стадии, описанные выше для периферического зрения.

Перейдем теперь к результатам опытов второй серии. Испытуемым предлагали набор сложных зрительных задач, чтобы выяснить, какие из них представляют трудности для анализа периферическим зрительным аппаратом. Во всех опытах испытуемым ставили большие заслонки (Д: $25-30^\circ$), чтобы они могли пользоваться лишь средней и далекой периферией сетчатки. Следует отметить, что в этих условиях наблюдатели удовлетворительно справлялись со многими сложными задачами. При подходящих размерах и контрастности тест-объектов испытуемые с большим или меньшим успехом осуществляли узнавание и анализ изображений знакомых лиц и предметов, запоминание изображений незнакомых лиц и предметов с последующим выбором их из контрольного набора, чтение, счет точек или штрихов и т. д. Наиболее просто и быстро с помощью периферического зрения производилось узнавание изолированных предметов. Анализ деталей объектов, расчленение объектов на части, определение дефектов и искажений в изображениях осуществлялись с трудом и весьма медленно. Такие задачи нередко решались лишь после наводящих вопросов, причем для ответа на них испытуемые сознательно сканировали тестовое изображение. На рис. 3, А—В даны примеры изображений, вызывавших затруднения. Круг из красных и синих секторов, наклеенных на белую бумагу (рис. 3, А), испытуемый не мог расчленить на части, он видел «круг, в котором есть что-то синее и что-то красное», но как эти цвета перемешаны, понять не мог, хотя форму и цвет предъявляемых по отдельности красного и синего секторов видел отчетливо. На рис. 3, В показаны два объекта, которые испытуемый при первом взгляде воспринял как одинаковые. Только после того, как экспериментатор выразил сомнение и попросил посмотреть на объекты внимательнее, испытуемый нашел и правильно определил различие. На рис. 3, В приведены примеры изображений, которые в целом узнавались быстро, но дефекты которых констатировались с задержкой, после просматривания изображения по кусочкам.

Следует отметить, что узнавание знакомых лиц и предметов, а также анализ их деталей производился намного быстрее и лучше, чем в случае незнакомых тест-объектов. Так, например, испытуемые легко «прочитывали» заголовки знакомых газет, хотя отдельные буквы соответствующего размера узнавали с трудом. Таким образом, особенно просто аппаратом периферического зрения осуществляется сравнение с хорошо выработанными эталонами.

Оказалось, что довольно трудную для периферического зрения задачу представляет собой выделение объекта на сложном фоне или отделение

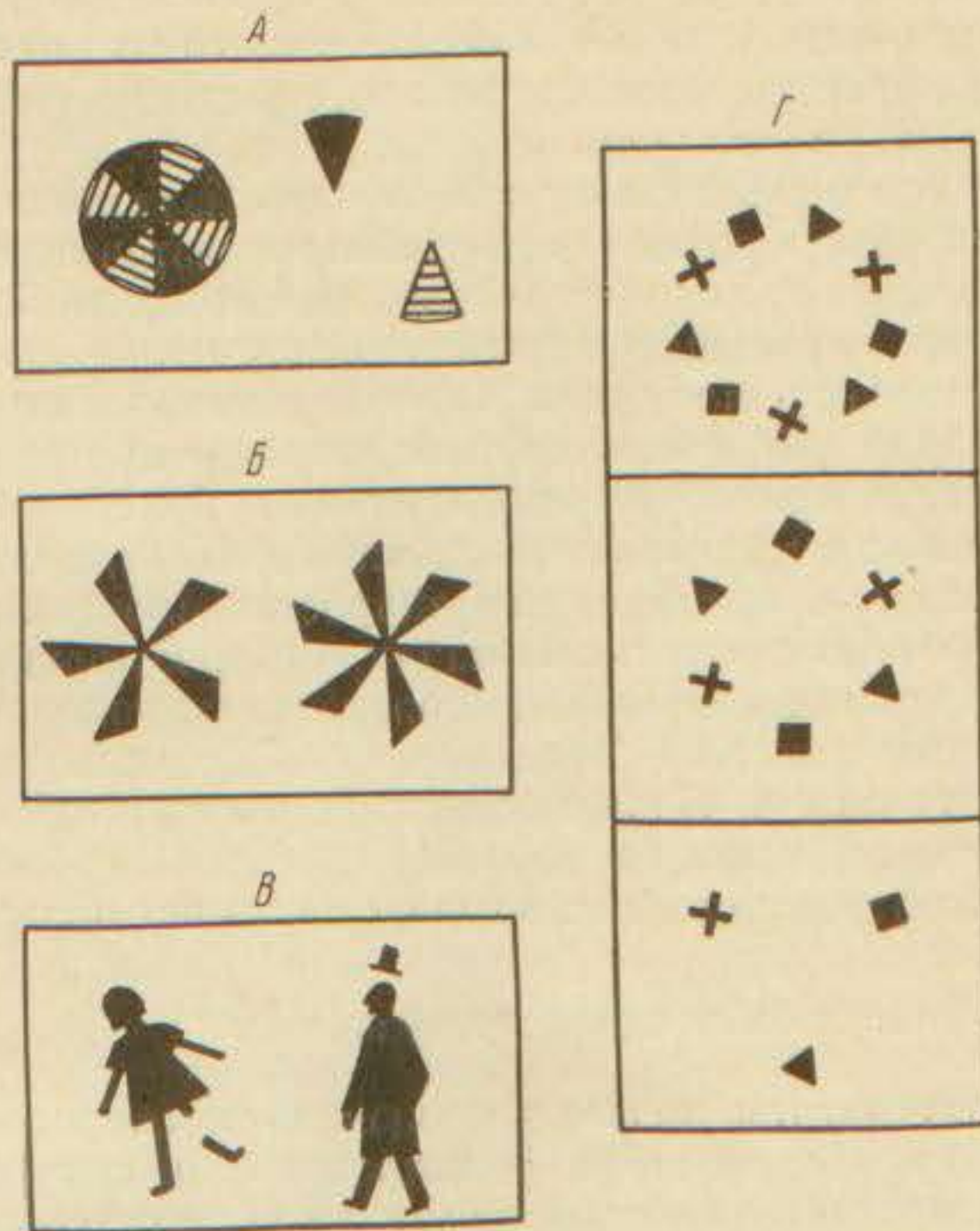


Рис. 3. Примеры тест-объектов, использованных в опытах второй серии.

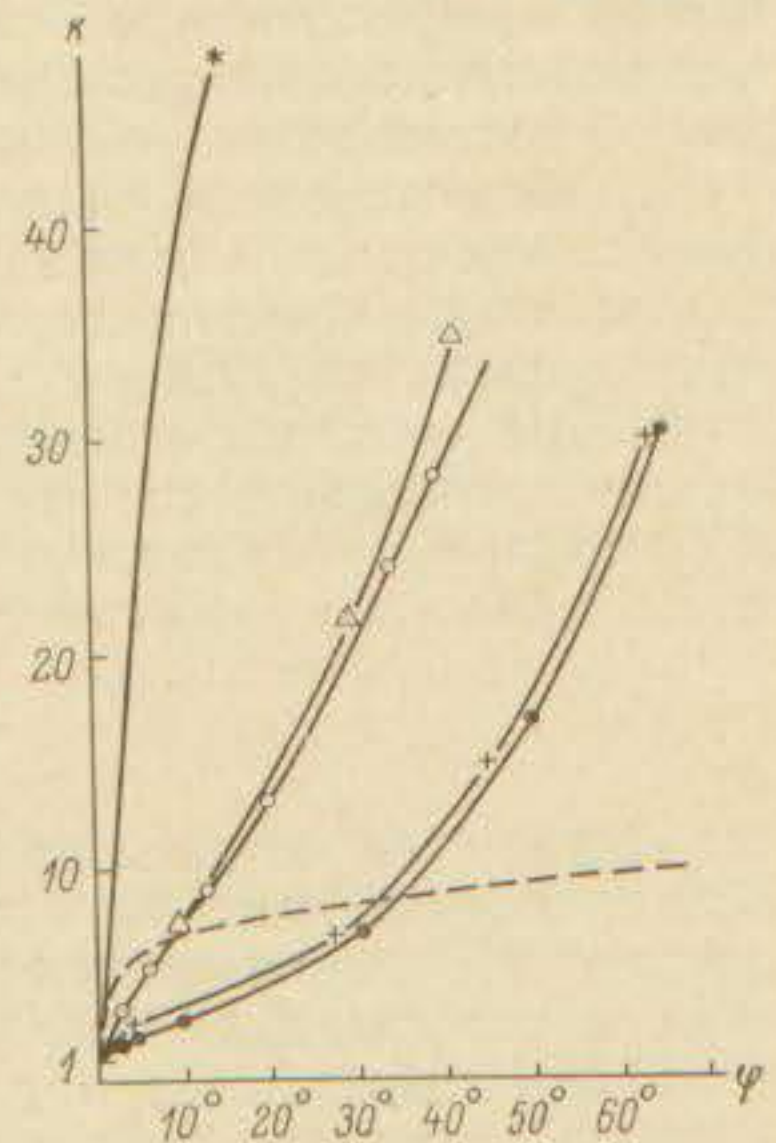
Объяснения в тексте.

одного объекта от другого при небольших расстояниях между ними. Данные трудности иллюстрируются рис. 3, Г. При показе 9 фигур, расположенных по кольцу, испытуемые не могли их узнать, при уменьшении числа фигур до 6 — узнавали их, но с трудом, при уменьшении числа фигур до 3 узнавание осуществлялось легко и быстро.

Характерной чертой периферического зрения является то, что при од-

Рис. 4. Зависимость коэффициентов размеров тестовых изображений (κ) (в сравнении с пороговыми центральными) от степени периферичности тест-объектов (ψ) для некоторых зрительных задач.

Крестик — обнаружение черных объектов на белом фоне; черный кружок — определение цвета насыщенных цветных кружков на белом фоне; треугольник — узнавание простых геометрических фигур (круг, квадрат, треугольник); светлый кружок — определение места разрыва в кольцах Ландольта; звездочка — узнавание букв. Штриховая кривая — межколбочковые расстояния. Освещенность тестового поля — 200 лк.



ной и той же величине полутоновых тест-объектов их видимые образы существенно зависят от степени контрастности изображений. Так, например, при снижении контрастности фотографического изображения лица можно исказить видимый образ человека до неузнаваемости. Очевидно, при слишком малых градиентах освещенности на сетчатке система не

способна «привести» некоторые совершенно необходимые для узнавания границы. Следует особо отметить, что живые лица вообще никогда не воспринимались адекватно и не узнавались (во второй серии опытов). Возможно, это связано с малой контрастностью живых лиц, так как фотографические портреты соответствующих размеров испытуемые прекрасно узнавали и анализировали.

В заключение этого раздела нужно сказать несколько слов о том, во сколько раз нужно было увеличивать размеры тестовых изображений по сравнению с пороговыми (для центрального зрения), чтобы данная задача могла быть решена с помощью периферического зрения. К сожалению, в опытах с присосками получить пороговые значения коэффициентов увеличения размеров (K) очень трудно: пороговые измерения требуют большого времени, а присоску нельзя ставить более чем на несколько минут. Поэтому мы приведем здесь в основном данные, полученные в условиях фиксации взора и оптимальных скоростей смещения тест-объектов для некоторых простых зрительных задач, не требующих сложных движений глаз (обнаружение, оценка цветового тона, узнавание формы простой геометрической фигуры). Зависимости K (φ) для этих зрительных задач приведены на рис. 4. Большая часть данных, необходимых для построения этих кривых, взята из работы [6], где подробно описана методика постановки соответствующих опытов; частично использованы новые результаты.

Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что аппарат периферического зрения способен формировать адекватные, отчетливые, резкие образы объектов, имеющие нормальные цветовые соотношения, если угловые размеры и контрастность объектов достаточно велики, а скорости смещения их сетчаточных изображений находятся в нужном интервале.

В связи с тем что для большей части периферии сетчатки оптимальные скорости существенно выше типичных скоростей фиксационных движений глаз, автоматически получается, что в реальной жизни периферия наиболее эффективно работает при обнаружении движущихся объектов, а также при движениях самого наблюдателя. При этом следует отметить два обстоятельства.

1. Обнаружение и анализ движущихся по сложному фону объектов облегчается тем, что вместо фона (ввиду его относительной неподвижности) на значительной площади периферии поля зрения наблюдатель «видит» пустое поле (см. [6]).

2. При движении человека, как правило, должна эффективно работать вся сетчатка. Действительно, если, например, человек идет со скоростью v и смотрит во время ходьбы вперед, то изображения видимых им неподвижных объектов разбегаются от центра сетчатки с угловыми скоростями:

$$\omega = \frac{180}{\pi} \frac{v}{R} \sin \varphi^\circ / c,$$

где R и φ — расстояния до объекта и периферичность его изображения. При сравнении этого выражения с формулой для средних оптимальных скоростей [6] можно заключить, что объекты, находящиеся от наблюдателя на расстояниях около $(6v \cdot 1 \text{ с})$, при любом угле зрения создают на сетчатке изображения, перемещающиеся с оптимальными скоростями. Таким образом, для этих объектов на всей сетчатке должны создаваться наилучшие для видения условия. Изображения более близких объектов перемещаются со скоростями, превышающими оптимальные, и их образы должны смазываться. Изображения более далеких объектов перемещаются слишком медленно, и их образы должны быть в той или иной мере искажены возникновением пустого поля.

Полученные результаты показывают, что с помощью средней и далекой периферии сетчатки человек способен решать весьма сложные зрительные задачи. Быстрое узнавание знакомых объектов связано с тем, что эту задачу периферическое зрение наиболее часто решает в норме. Другие предлагавшиеся задачи (нахождение различий между двумя сходными объектами, анализ деталей изображений и др.) в норме обычно решаются с помощью центрального зрения, поэтому неудивительно, что для решения этих задач с помощью периферического зрения испытуемым требовалось довольно значительное время.

Неудивительно также, что более сложные зрительные задачи для удовлетворительного решения требовали большего увеличения масштаба тестового изображения, чем простые (рис. 4). Ведь чем сложнее зрительная задача, тем существеннее для ее решения соответствующие «поисковые» движения глаз, а их, по-видимому, не просто организовать при анализе изображения периферическим зрительным аппаратом.

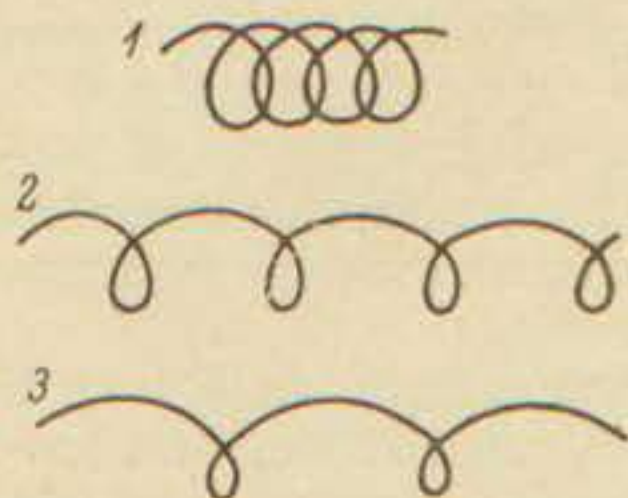
Более интересно то, что для ряда зрительных задач значения K растут с удалением от центра сетчатки довольно медленно, медленнее, чем увеличиваются межколбочковые расстояния (см. рис. 4). Можно было бы думать, что причиной этого являются палочки, плотность которых с удалением от центра сетчатки вначале растет; однако, учитывая сильную конвергенцию палочек, мы считаем такое предположение маловероятным. С другой стороны, данный факт легко объяснить, если учесть смещение сетчаточных изображений и наличие в зрительной системе памяти. При этом окажется, что «зернистость» формируемой человеком в пространстве восприятия зрительной картины должна определяться не межрецепторными расстояниями, а размерами рецепторов. Действительно, благодаря смещениям сетчаточного изображения каждый рецептор-датчик может дать информацию не об одной, а о многих точках рассматриваемой картины, и если система способна помнить полученные данные достаточное время, то мозаика формируемого изображения практически не должна зависеть от количества датчиков, а должна определяться только их размерами.

Чтобы оценить правдоподобность этого рассуждения, проведем следующий простой расчет. Вычислим скорость, с которой нужно перемещать изображение по полю рецепторов (двигать глаз), чтобы за время формирования зрительной картины (T) все точки рассматриваемого изображения оказались «просмотренными» хотя бы по одному разу каким-нибудь из рецепторов. Пусть плотность рецепторов равна n и, следовательно, на каждый рецептор приходится площадь $1/n$. За время T вся эта площадь должна быть «заполнена» траекторией рецептора, поочередно «просматривающего» точку за точкой, перемещаясь с некоторой скоростью v . Если диаметр рецептора равен d , то, очевидно, что при скорости v за время T он успеет просмотреть площадь dvT . Таким образом, должно выполняться соотношение

$$dvT = \frac{1}{n}.$$

По данным психофизических опытов с кратковременным предъявлением стимулов можно заключить, что T равно 50—100 мс [2, 4], поскольку примерно до таких длительностей наблюдается заметное улучшение восприятия с увеличением экспозиции. Плотность и размеры рецепторов на различных расстояниях от fovea можно оценить по данным [11]. Подставляя в приведенное выше соотношение взятые из этих работ величины (для центра сетчатки: $d \sim 12-20''$, $n \sim 20000-35000/\text{угл.град.}^2$ и для периферии в 30° : $d \sim 1-2'$, $n \sim 300-400/\text{угл.град.}^2$), получаем значения оптимальных скоростей: $v_0 \sim 3-20'/\text{с}$, $v_{30} \sim 1-2.5'/\text{с}$. Эти значения находятся в хорошем соответствии с результатами, полученными нами, и данными других авторов [9] для fovea.

В связи с изложенной точкой зрения напрашивается следующее предположение о роли тремора (высокочастотных низкоамплитудных движений глаз) в процессе зрительного восприятия. Дело в том, что при указанном механизме формирования зрительной картины весьма желательны были бы движения глаз, помогающие лучше выполнять акт замера в данном месте изображения и отделять один замер от другого. Амплитуда таких движений должна быть одного порядка с размерами датчика-рецептора. Эти движения должны способствовать удержанию взора на данном месте



при каждом акте замера. Таким условиям как будто бы соответствует тремор глаз. При фиксации взора амплитуда тремора составляет 15—40'' (1—2 диаметра фовеальных колбочек), а частоты находятся в интервале

Рис. 5. Результаты сложения тремора и дрейфа.

Параметры тремора: амплитуда — 15'', частота — 40 Гц. Скорости дрейфа (в 1 с): 1 — 10', 2 — 20', 3 — 30'.

30—90 Гц [8, 9]. В результате тремора ось глаза движется по конусообразным поверхностям. Сочетание тремора с указанными параметрами и направленного дрейфа, имеющего скорость 6—30'/с, должно приводить к следующим траекториям рецептора по рассматриваемой картине (рис. 5). Такие траектории можно интерпретировать как совокупность отдельных актов замера.

Отметим одно интересное следствие, вытекающее из изложенной точки зрения: поскольку размеры периферических колбочек в несколько раз превышают размеры центральных, при рассматривании изображений с помощью периферии нужно ожидать возрастания амплитуды тремора в несколько раз. Хотя специальных исследований в этом отношении не проводилось, указания на то, что это действительно может иметь место, можно обнаружить на рис. 2, Г, Д. Рассматривая записи движений глаз, можно обнаружить множество траекторий типа 1—3 на рис. 5. Размах этих кривых около 2—3', что в несколько раз больше, чем для центра, и примерно соответствует размерам периферических колбочек.

Авторы выражают большую благодарность А. Л. Бызову, Н. А. Полищук, Г. М. Зенкину за обсуждение работы.

Summary

Human peripheral vision has been studied using special masks affixed to the suction device so that the central parts of the retina were excluded from visual process. It appears that in such conditions one can see good images of the test-objects (adequate, with sharp contours and normal color) and can recognize and analyze them if the sizes of the objects, their contrast to the background and retinal image (eye movement) velocities are large enough.

Литература

1. Богословский А. И., Рославцев А. В. Методы исследования поля зрения. — В кн.: Многотомное руководство по глазным болезням. М., 1962, с. 118—136.
2. Глезер В. Д. Механизмы опознания зрительных образов. М.—Л., 1966.
3. Зарецкая Р. Б., Щербатова О. И. Новые методы исследования поля зрения. — В кн.: Новые методы функциональной диагностики в офтальмологии. Тр. Моск. НИИ им. Гельмгольца. В. XVII. 1973, с. 201—224.
4. Зинченко В. П., Вергилес Н. Ю. Формирование зрительного образа. М., 1969.
5. Нурдыгин П. Я. Исследование психофизических возможностей зрительного анализатора по различению сигналов периферическим зрением. — Тр. секц. авиац. и косм. мед. Моск. физиол. о-ва. Т. 1. 1967, с. 318—324.
6. Рожкова Г. И., Ярбус А. Л. Зависимость периферического зрения от скорости смещения сетчаточного изображения. — Биофизика, 1974, т. 19, № 5, с. 508—912.

7. Фридман С. Я. Форменное периферическое зрение. — В кн.: Вопросы физиологии и патологии зрения. М., 1950, с. 83—106.
8. Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М., 1966.
9. Ditchburn R. W. Eye movements and visual perception. Oxford, 1973.
10. Mandelbaum J., Sloan L. Peripheral visual acuity. — Amer. J. Ophthalmol., 1947, v. 30, № 5, p. 581—588.
11. Polyak S. L. The Retina. Chicago, 1941.

О РАЗМЕРНОСТИ МНОГООБРАЗИЯ ЦВЕТОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА¹

В. Е. ЩАДРИН

[Институт проблем передачи информации АН СССР, Москва

В настоящее время можно считать общеизвестным, что цветовое зрение человека трехмерно. Это, в частности, означает, что если наблюдателя поместить в особые, так называемые колориметрические условия — в центре поля зрения предъявлять однородное цветное поле достаточно малых размеров на фоне темноты, то любое цветовое ощущение, которое он вообще способен при этом испытать, можно получить, варьируя только три независимых параметра раздражения.

Но человек не живет в колориметрических условиях. В естественной обстановке цветовое ощущение для любого данного участка поля зрения зависит как от характеристик излучения, исходящего от этого участка, так и от параметров других излучений, попадающих в глаз. Поэтому в естественной обстановке факт зависимости всякого цветового ощущения только от трех параметров становится не только не очевидным, но, наоборот, вызывает сильное сомнение. В самом деле уже при наличии всего только двух раздражающих полей, например тестового пятна и индуцирующего кольца, на видимый цвет пятна могут оказывать влияние шесть независимых величин — это две тройки возбуждений приемников в районе пятна и кольца соответственно.

Несмотря на это обстоятельство, для описания цветовых ощущений в любых случаях применяется одна и та же система из трех сенсорных характеристик: цветового тона (φ), насыщенности (ρ) и светлоты (z), которым обычно придают смысл трехмерных цилиндрических координат воспринимаемого цвета. При этом φ и ρ характеризуют сенсорное качество ощущения, называемое цветностью, а z определяет сенсорную интенсивность, которую и называют светлотой.

Из сказанного вытекает одно из двух следующих альтернативных утверждений.

1. Информация о цвете преобразуется и редуцируется в зрительной системе так, что множество цветов оказывается в любом случае трехпараметрическим, и, таким образом, каждый цвет, доступный наблюдению в естественной обстановке, может быть реализован также и в колориметрических условиях подбором трех параметров раздражения.

2. Описание в терминах цветового тона, насыщенности и светлоты неполно, неоднозначно и требует пересмотра.

Первое предположение не выполняется ввиду того, что в естественной обстановке сплошь и рядом встречаются цвета (например, коричневый,

¹ Работа доложена на II Симпозиуме по физиологии сенсорных систем в 1973 г. [4].