

Н. Т. ФЕДОРОВ

**О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОБОЧНЫХ
РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ НА РАЗЛИЧИТЕЛЬНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ
ГЛАЗА**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 6 XII 1938)

Изучение действий побочных раздражителей на функцию зрения в основном протекало в нашем Союзе. Работами П. П. Лазарева (1), Л. А. Орбели (2), Б. М. Теплова (3), А. В. Лебединского (4), С. В. Кравкова (5), К. Х. Кекчеева (6), Дионесова (7) и др. собран очень ценный экспериментальный материал в этой области. Большая часть работ вышеназванных авторов относится к действию побочных раздражителей на пороговую чувствительность глаза, причем очень большой интерес в этой области представляет изученное Б. М. Тепловым (3) и независимо от него К. Х. Кекчеевым (6) явление инверсии действия побочного раздражителя в зависимости от его интенсивности.

Настоящая статья посвящена количественному анализу главнейших имеющихся в настоящее время данных, касающихся действия побочных раздражителей на различительную чувствительность глаза.

Анализируя имеющийся здесь опытный материал, мы нашли, что все наблюдаемые на опыте закономерности очень просто и естественно объясняются, являясь простым следствием одного общего закона, который можно сформулировать так: «Изменение величины порогового раздражения при действии побочного раздражителя не зависит от интенсивности прямого и определяется лишь чувствительностью мозговых центров и интенсивностью побочного раздражителя».

Поясним, что раздражитель мы измеряем в энергетических (эрг, джоуль, калория, кг/м) или пропорциональных им единицах (например в люменах и т. п.), а под раздражением понимаем то физико-химическое изменение, которое этот раздражитель вызывает в концевых образованиях зрительного нерва или, по Эдриану, «всякое изменение среды, окружающей возбудимую ткань, способное при достаточной интенсивности привести ткань в возбужденное состояние». Это раздражение вызывает в свою очередь некоторое возбуждение в зрительном нерве, которое, распространяясь по нему до головного мозга, вызывает то или иное ощущение. Очевидно, что количество разложенного светом в сетчатке глаза вещества, количество раздражающих нервные окончания продуктов распада зависит от силы действующего на глаз света, что в общем виде мы можем записать так:

$$x = f(I).$$

Из этого уравнения, выражая I через x , получим:

$$I = \varphi(x). \quad (1)$$

Увеличим теперь I на величину ΔI , при которой получается едва заметная разница яркости. В качестве гипотезы мы можем принять такие возможности: а) для получения едва заметного прироста яркости ΔI необходимо, чтобы прирост Δx разложенного светом вещества x равнялся некоторой постоянной, зависящей от чувствительности центров величине (гипотеза Кобба*), или б) чтобы постоянной величине равнялось отношение $\frac{\Delta x}{x}$ (гипотеза Лазарева). Учтя, что $(\Delta x)^2$ и $\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2$ меньше порога, мы получим из уравнения (1), разлагая $\varphi(x + \Delta x)$ в ряд по степеням Δx :

$$\Delta I = \varphi'(x) \Delta x \text{ и } \frac{\Delta I}{I} = \frac{\varphi'(x)}{\varphi(x)} \Delta x = \psi(x) \Delta x, \quad (2)$$

причем по первой гипотезе $\Delta x = \text{const.}$

Уравнение (2) можно написать так:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta x}{x} x \psi(x) = \frac{\Delta x}{x} \psi_1(x). \quad (3)$$

Отсюда легко видеть, что для постоянного, заданного I оба предположения приводят к выводу, что Δx для заданного I должно быть постоянным, причем величина его зависит от чувствительности мозга. Если чувствительность мозга при действии побочного раздражителя ухудшилась, Δx должно увеличиться, и мы можем написать, что в этом случае

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{I} &= (\Delta x + \Delta_1 x) \psi(x) = \\ &= \Delta x \left(1 + \frac{\Delta_1 x}{\Delta x}\right) \psi(x) = \Delta x (1 + \alpha) \psi(x) **. \end{aligned} \quad (4)$$

Из формул (2) и (4) мы получаем ряд доступных опытной проверке выводов. Введя фотометрическую чувствительность глаза E как величину, обратную $\frac{\Delta I}{I}$, мы получим, что

$$E_1 = \frac{1}{\Delta x \psi(x)}$$

и

$$E_2 = \frac{1}{\Delta x (1 + \alpha) \psi(x)}.$$

Разделив E_2 на E_1 и заменив Δx через $\frac{1}{E_1 \psi(x)}$, мы получим:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + \alpha} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta_1 x}{\Delta x}} = \frac{1}{1 + E_1 \Delta_1 x \cdot \psi(x)}$$

или

$$E_2 = \frac{E_1}{1 + E_1 \cdot \Delta_1 x \cdot \psi(x)}. \quad (5)$$

* Эту гипотезу мы считаем наиболее вероятной.

** В случае же улучшения чувствительности мозга $\Delta_1 x$ войдет очевидно со знаком минус.

Рассмотрим три случая:

I. Пусть постоянны и побочный раздражитель, а следовательно и $\Delta'x$, и интенсивность прямого I , а следовательно и $\psi(x)$. Тогда

$$E_2 = \frac{E_1}{1 + \alpha E_1}. \quad (6)$$

Для проверки этой формулы возьмем данные С. В. Кравкова (8) из его работы о влиянии звука или освещения другого глаза на фотометрическую чувствительность в зависимости от начальной фотометрической чувствительности. На фиг. 1 приведены его данные для влияния звука, причем верхняя кривая относится к интенсивности (в относительных единицах) прямого $I=3$, а нижняя — к интенсивности прямого $I=100$. Квадратики и треугольники — опытные данные, а сплошные кривые вычислены по формулам:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + 0.0043 E_1} \quad (\text{для } I=3)$$

и

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + 0.0123 E_1} \quad (\text{для } I=100).$$

Совершенно аналогично при освещении другого глаза мы получим:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + 0.0016 E_1} \quad (\text{для } I=3)$$

и

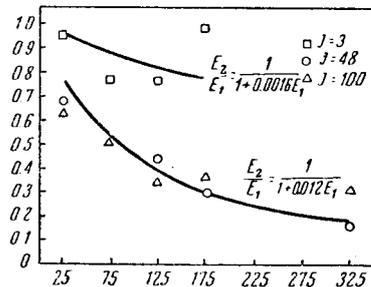
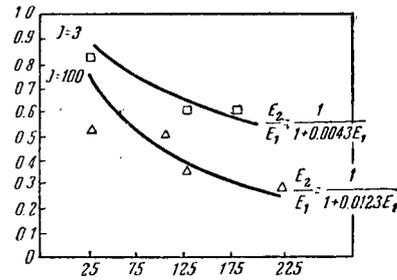
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + 0.012 E_1} \quad (\text{для } I=48 \text{ и } I=100)$$

(фиг. 1).

II. При постоянном побочном раздражителе и постоянной фотометрической чувствительности глаза E_1 мы получим:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + \beta \psi(x)} = \frac{1}{1 + \beta \psi[x(I)]}. \quad (7)$$

Формула (7) подтверждает кривые фиг. 1, из которых мы видим, что при постоянном E_1 для данного побочного раздражителя изменение фотометрической чувствительности глаза зависит от интенсивности прямого и что это изменение стремится к некоторому пределу: в то время как мы имеем большую разницу между кривыми для $I=3$ и $I=48$, кривые для $I=48$ и $I=100$ практически совпадают, что показывает, что кривая относительного изменения фотометрической чувствительности глаза в зависимости от изменения интенсивности прямого для I больше 48 единиц идет приблизительно параллельно оси абсцисс.



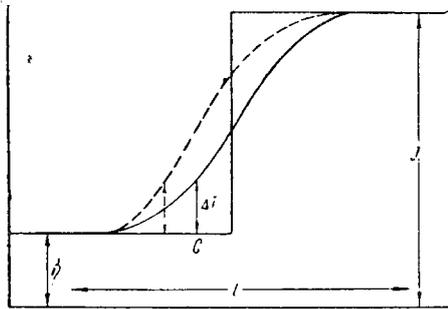
Фиг. 1.

III. При постоянстве фотометрической чувствительности глаза E_1 и интенсивности прямого раздражителя получим:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta_1 x}. \quad (8)$$

С увеличением интенсивности побочного раздражителя увеличивается $\Delta_1 x$, а поэтому должно снижаться и E_2 , что мы и имеем в еще неопубликованной работе Н. Н. Дзидзишвили⁽⁹⁾ (из лаборатории С. В. Кравкова), который нашел, что фотометрическая чувствительность глаза снижается при увеличении интенсивности побочного раздражителя сначала быстро, а затем все медленнее.

При постоянной чувствительности мозговых центров и при постоянстве побочного раздражителя отношение $\frac{E_2}{E_1}$ равно $\frac{1}{1 + \alpha}$, где α — постоянная, не зависящая от интенсивности прямого раздражителя величина, равная $\frac{\Delta_1 x}{\Delta x}$. Подтверждение этой формулы мы находим в работе Крав-



Фиг. 2.

кова⁽¹⁰⁾, озаглавленной «Действие побочного светового раздражения, как функция интенсивности прямого стимула», в которой определены значения этого отношения для разных интенсивностей прямого раздражителя. Для I , равного 3.7; 20 и 147 люксов на белом, это отношение оказалось равным соответственно 0.78, 0.73 и 0.75, т. е. в пределах точности измерений практически постоянным.

Совершенно аналогичные рассуждения можно применить и к объяснению явления иррадиации. Если мы имеем рядом два объекта: белый, отражающий $I\%$, и серый, отражающий $i\%$, то границу их мы видим обычно не там, где она есть на самом деле, но смещенную в положение C (фиг. 2). Приняв, что эту границу мы видим там, где $\frac{\Delta i}{i} = \Delta x \psi(x, l)$; ($\Delta x = \text{const}$), и учтя, что при действии побочного раздражителя мы будем иметь: $\frac{\Delta_1 i}{i} = \Delta x (1 + \alpha) \psi(x, l)$, мы можем найти, что изменение Δi на единицу длины в первом случае будет:

$$\frac{\Delta (\Delta i)}{\Delta l} = i \psi' (x, l) \Delta x,$$

а во втором

$$\frac{\Delta (\Delta_1 i)}{\Delta l} = i \psi' (x, l) (1 + \alpha) \Delta x.$$

Отсюда

$$\frac{\Delta (\Delta_1 i)}{\Delta l} = \frac{\Delta (\Delta i)}{\Delta l} (1 + \alpha), \quad (9)$$

т. е. при побочном раздражителе Δi нарастает как будто быстрее, что и имеет своим следствием кажущееся расширение белой полосы.

Если явление инверсии, установленное для абсолютной чувствительности глаза, имеет место и в случае различительной чувствительности, мы должны ожидать, что в некоторых случаях иррадиация будет не

увеличиваться, но уменьшаться, и что есть некоторая точка инверсии, где влияние побочного раздражителя будет равно нулю. Это подтверждается данными Билецкого и Кравкова⁽¹¹⁾ о действии звука различной силы на различительную чувствительность глаза*.

Таким образом мы видим, что все наблюдаемые на опыте изменения различительной чувствительности глаза при действии побочных раздражителей очень просто и последовательно объясняются, если мы примем, что изменение порога раздражения при действии побочного раздражителя не зависит от интенсивности прямого и определяется лишь интенсивностью этого побочного раздражителя и наличной чувствительностью мозга, увеличиваясь с увеличением того и другого ($\alpha = \frac{\Delta I x}{\Delta x}$). Утверждение Кравкова⁽¹⁰⁾, что «интенсивность возбуждения, вызванного побочным раздражителем, есть функция интенсивности прямого раздражителя», и все вытекающие отсюда следствия являются результатом, во-первых, применения закона Вебера-Фехнера:

$$\frac{\Delta I}{I + \beta} = \Delta E = \text{const},$$

где ΔE — прирост ощущения, который в этом виде, связывая непосредственно ощущение с раздражителем, является лишь одним из наиболее упорно державшихся в науке заблуждений, и, во-вторых, недостаточности четкого разделения раздражителя от вызываемого им раздражения, вследствие чего величину β , имеющую размерность раздражителя и которую можно следовательно выражать в эргах, джоулях, калориях и т. п., Кравков называет «добавочным возбуждением в мозговых центрах».

Лаборатория физиологической оптики
Всесоюзного института экспериментальной
медицины им. А. М. Горького.

Поступило
10 XII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. П. Лазарев, Изв. Акад. Наук СССР, XVIII А, 275 (1927) и ряд статей в ДАН за последние 10 лет. ² Л. А. Орбели, Лекция по физиологии нервной системы (1935). ³ Б. М. Теплов, Вестник офтальмологии, XI, 106 (1937). ⁴ А. В. Лебединский, Природа, 36 (1935). ⁵ С. В. Кравков, Сборн. «Зрит. ощущение и восприятия», 86 (1935), а также Сборник докладов VI всец. съезда физиологов, биохимиков и фармакологов, Тбилиси, 50 (1937). ⁶ К. Х. Кекчеев, ДАН, XIV, 495 (1937) и ряд сообщений в Бюлл. эксл. биол. и мед. с 1936 по 1938 г. ⁷ Дионесов и Лебединский, Физиолог. журн. СССР, XVII, 560 (1934). ⁸ С. В. Кравков, Graefes Archiv für Ophth., 132, 421 (1934). ⁹ Сборник докладов VI всец. съезда физиологов, биохимиков и фармакологов, 50 (1937). ¹⁰ S. W. Krawkow, Acta ophthalmologica, 15, 96 (1937). ¹¹ S. W. Krawkow u. G. S. Biletzky, Graefes Arch., 132, 379 (1934).

* Все вышеизложенное относится к действию любого побочного раздражителя (в том числе и болевого), причем, как уже указывалось, Δx может входить со знаком плюс или минус в зависимости от того, понижает или повышает побочный раздражитель чувствительность центров.