

А. А. САГАЛ

О РАСШИРЕНИИ ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

(Представлено академиком Е. М. Крепом 12 I 1970)

В связи с широким проникновением математических методов в биологию происходит непрерывная переоценка традиционных методов в биометрии, в частности усиливается интерес к использованию классических методов психофизики в физиологии органов чувств (¹⁻³). Основное значение психофизики, созданной более 100 лет назад как науки о наиболее общих количественных соотношениях между физическими и психическими величинами, определяется введением строго обоснованного критерия чувствительности — способности к распознаванию сигналов анализаторными системами человека, давшего много сведений о функциях анализаторных систем (^{1, 4, 5}). С другой стороны, основное содержание наших знаний о физиологических процессах высших отделов мозга в целом составляет в настоящее время учение о высшей нервной деятельности (в.н.д.) человека и животных (⁶). Поэтому, естественно, возникает задача выяснения отношения количественных критериев психофизики к учению о в.н.д. Цель данной работы — расширить область определения чувствительности на все процессы в.н.д. При этом речь пойдет только об использовании количественной оценки чувствительности, так как качественно способность к распознаванию можно сопоставить лишь с частной стороной в.н.д. — способностью к дифференцированию раздражителей (⁶).

Как известно (^{1, 7}), измерение чувствительности сводится к определению величины порога $L = f(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ как функции параметров функций распределения $F_k = F(\xi_k, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$ условных случайных величин $\xi_k = X/Y_k$, где случайная величина X сигнала оценивается при помощи заданных категорий суждения Y_k ($k = 1, 2, \dots, r$) (⁷). Например, в двухкатегорном методе постоянных разниц стимулов порог в смысле Фехнера (¹) определяется как линейная функция общего стандартного отклонения σ функций распределения $F(X/Y_1)$ и $F(X/Y_2) = 1 - F(X/Y_1)$ величин сигналов $X = X_{ij}$, где $i = 1, 2, \dots, s$ — порядковый номер градации сигнала сравнения, $j = 1, 2, \dots, N$ ($N \geq s$) — порядковый номер сигнала в их последовательности*. Каждый сигнал сравнения X_{ij} появляется в паре с фиксированной величиной сигнала $X_0 = A$ — так называемым стандартным сигналом, для которого и вычисляется порог. Категории оценки сигнала, суждения о сигнале могут быть определены так: Y_1 — «предъявленный сигнал сравнения $X = X_{ij}$ меньше стандарта A » и Y_2 — «сигнал X больше стандарта A ». Таким образом, порог L — некоторый функционал функций распределения F_1 и F_2 условных случайных величин $\xi_1 = X/Y_1$ и $\xi_2 = X/Y_2$. Обычно ξ_k ($k = 1, 2, \dots, r$) считаются нормально распределенными случайными величинами: $\xi_k \in N(a_k, \sigma_k)$. Это предположение позволяет, например, в прообразе двухкатегорного метода — методе правильных и ложных случаев Фехнера (¹) — определить параметры распределений: центр a и стандартное отклонение σ для любых двух фиксированных градаций сигналов сравнения X_1 и X_2 ($s = 2$), распознаваемых друг от друга. Параметры отыскиваются из уравнений: $P(X_1/Y_2) = \Phi(t_1)$ и $P(X_2/Y_1) = 1 - \Phi(t_2)$, где $P(X_1/Y_2)$ и $P(X_2/Y_1)$ — найденные из опыта относи-

* Для конкретности в статье рассматривается оценка дифференциальной чувствительности; формализация абсолютной чувствительности, достаточная для включения ее в рамки данной работы, дана ранее (⁸).

тельные частоты ошибочного определения, соответственно, первого сигнала X_1 как второго X_2 , и, наоборот, X_2 как X_1 , а $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\tau^2/2} d\tau$ — функция нормального распределения $t_i = (X_i - a) / \sigma$ ($i = 1, 2$).

Таким образом, в классической психофизике о чувствительности говорят тогда, когда имеет место распознавание сигналов и существуют невырожденные условные случайные величины ξ_k типа описанных выше, определенные для каждого психофизического метода.

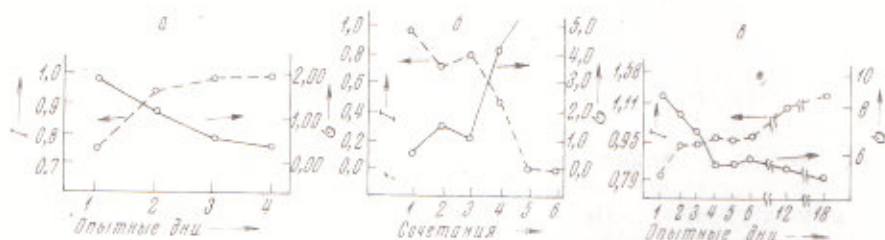


Рис. 1. Динамика дифференциальной чувствительности σ и количества переданной информации I в случаях выработки простой дифференцировки (а), замыкания условной связи (б) и выработки сложной дифференцировки (в)

Для решения задачи расширения области определения чувствительности достаточно считать справедливым, что чувствительность существует всегда, когда в опыте определяются любые обусловленные методикой эксперимента условные случайные величины ξ_k раздражителей X , вызывающих те или иные типы реакций Y_k , какие бы физиологические процессы ни обусловили их существование. Чувствительность и порог, вычисленные с учетом высказанного предположения, удобно называть обобщенными в отличие от аналогичных классических понятий.

Очевидно, описанные выше условные случайные величины ξ_k можно определять при развитии любого процесса в.н.д. Например, при замыкании условной связи всегда имеются, по меньшей мере, два фиксированных раздражителя: X_1 — индифферентный (он же условный) и X_2 — безусловный; два типа реакций: Y_1 — на индифферентный раздражитель и Y_2 — на безусловный раздражитель, и относительные частоты вида $P(X_i / Y_i)$ (9). В соответствии с этим, порог при развитии замыкания может быть определен, например, в точности как в методе Фехнера *. В рамках проведенного обобщения оказывается также определение статистических чувствительности и порога, вычисляемых не для величин раздражителей, а для вероятностей их появления (10).

При оценке традиционных методик исследования в.н.д. с точки зрения расширенной интерпретации чувствительности обнаруживаются многие неоднократно отмечавшиеся их недостатки (11): отсутствие учета статистических характеристик последовательностей раздражителей, игнорирование роли метрики сенсорного пространства и др. Однако даже ограниченная указанными недостатками сравнительная оценка обобщенной чувствительности по данным первых фундаментальных исследований в.н.д. оказывается весьма плодотворной, особенно в сочетании с современными методами количественного исследования в.н.д., например информационным анализом (12).

Для иллюстрации этого утверждения на рис. 1 приведен результаты

* В психометрике подробно обсуждаются необходимые и достаточные условия определения порога, например проблема минимально достаточных чисел категорий оценки r и сигналов s при заданной форме функции распределения F и т. п. (1-3). Весь этот методический аппарат легко распространяется на обобщенную чувствительность. При этом обнаруживается лишь тот «трудный» случай, когда процесс в.н.д. не развивается — скажем, не удается выработать условную связь — тогда обобщенный порог оказывается просто равным нулю.

оценки классической и обобщенной чувствительности в величинах фехнеровского порога (стандартного отклонения) $L = \sigma$ и количества переданной информации (к.п.и.) в функции времени — номера сочетания условного и безусловного раздражителей или номера опыта. Динамика величин σ и к.п.и. (иначе обозначается как L) показана для трех условий опытов: А) распознавания простых сигналов — посылаемая информация $H = 1,0$ бит/с (бит на символ) — по данным (¹²); Б) замыкания простой условно-рефлекторной связи — информация сигнала $H = 1,0$ бит/с — по (¹³); В) идентификации сложных звуковых сигналов $H = 6,0$ бит/с, — по данным (¹⁴). В случае А определялся классический порог, в случаях Б и В — обобщенный порог. При этом в случае Б, в силу методических недостатков первых исследований в.н.д., отмеченных выше, условно было принято: расстояние между условным (и) и безусловным (б) раздражителями $\rho_{и, б} = 1,0$, $P_{б/и} = 0,997$ (эти условности не ограничивают сделанных ниже выводов).

Данные рис. 1 иллюстрируют возможность в перспективность единообразной количественной оценки чувствительности в указанных качественно несравнимых условиях. Прежде всего выясняется, что при замыкании условной связи порог оказывается прямой оценкой чувствительности: чем больше порог, тем точнее отражается в рефлекторной деятельности статистическая структура раздражителей. В классической же психофизике порог всегда обратная оценка чувствительности: чем больше порог, тем меньше чувствительность. Так как прямая зависимость чувствительности от порога всегда будет иметь место при замыкании условных связей, то для таких случаев естественно применять термин чувствительности замыкания или ассоциации, в противоположность обычному порогу и чувствительности распознавания или диссоциации. Можно предположить, что классификация форм обобщенной чувствительности поможет по-новому интерпретировать классификацию процессов в.н.д.

Далее, приведенные данные иллюстрируют существенную количественную зависимость порога распознавания сигналов от их статистической сложности. Так, в описанных условиях порог идентификации сложных звуков ($H = 6,0$ бит/с) оказался в десятки раз большим, чем при распознавании простых звуков ($H = 1,0$ бит/с).

Наконец, приведенные данные иллюстрируют возможность сравнения в разнообразных условиях эксперимента двух основных количественных характеристик в.н.д.: чувствительности анализаторных систем и передачи по ним информации. Легко видеть, что во всех исследованных условиях оба функционала оказываются связанными обратной зависимостью функциями времени (периода развития процесса): чем больше порог, тем меньше количество переданной информации, и наоборот. При этом в случае распознавания раздражителей чувствительность и к.п.и. растут (порог падает), а в случае замыкания условной связи к.п.и. падает, а чувствительность и порог растут.

Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И. М. Сеченова
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
27 XII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. P. Guilford, Psychometric Methods, 2-nd Ed., London, 1954. ² Б. Ф. Ломов, Человек и техника, М., 1956. ³ J. Pollack, J. Acoust. Soc. Am., 26 (6), 1056 (1954). ⁴ G. Th. Fechner, Elemente der Psychophysik, Leipzig, 1860. ⁵ П. Фресс, Ж. Пиаже, Экспериментальная психология, М., 1966. ⁶ Ф. Майоров, История учения об условных рефлексах, М., 1948. ⁷ А. А. Сагал, Биофизика, 6, в. 2, 142 (1961). ⁸ W. A. Munson, I. E. Karlin, J. Acoust. Soc. Am., 26 (4), 542 (1954). ⁹ Р. Буш, Ф. Мостедлер, Стохастические модели обучаемости, М., 1962. ¹⁰ А. А. Сагал, III совещ. по применен. матем. методов в биологии, 1960, стр. 73. ¹¹ П. К. Апохин, Вопр. философии, № 4, 142 (1957). ¹² А. А. Сагал, Биофизика, 6, в. 3, 272 (1961). ¹³ М. Н. Ерофеева, Электрическое раздражение кожи собаки, как условный возбудитель работы слюнных желез, Диссертация, СПб., 1912.