

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТИ ЧЕЛОВЕКА

Г. А. АМИНЕВ, Т. М. ЛАРЮХИНА

(Казань)

Краткосрочная память человека характеризуется ее максимальным объемом, который обычно определяют по известной методике, описанной в руководстве Вудворта [4]. Экспериментальные данные говорят об ограниченности объема семью (± 2) единицами запоминаемого материала [7]. Отметим, что упомянутая методика в последние годы применяется не только в психологии, но и в нейрофизиологических [3] и психофармакологических исследованиях.

Относительно механизма краткосрочной памяти многие нейрофизиологи и психологи придерживаются мнения, что существует циркуляция нервных импульсов в замкнутых нейронных цепях (реверберрующие цепи) [11], [13].

Для некоторых форм памяти в соответствии с афферентной модальностью запоминаемой информации делаются попытки морфологической локализации означенных нейронных цепей в клеточных структурах коры головного мозга [2], а на моделях изучены логические возможности замкнутых колец по хранению информации [8]. Полагают, что забывание в краткосрочной памяти может происходить вследствие того, что возбуждение перестает «вращаться» в силу утомления или торможения некоторых звеньев нервных кругов [2].

Из приведенных представлений о психофизиологическом механизме краткосрочной памяти становится очевидной недостаточность характеристики ее лишь одним параметром максимального объема. Действительно, если в основе краткосрочной памяти лежит деятельность замкнутых нейронных цепей, то объем памяти должен определяться комплексом статических и динамических условий. К первым относятся: количество, нейронный состав и характер межнейронных связей в замкнутых цепях. К динамическим факторам, осуществляющим непрерывную регуляцию состояния механизма краткосрочной памяти, относятся процессы коркового возбуждения и торможения, от соотношения которых будет зависеть число активных и неактивных нейронов.

Электрофизиологические исследования последних лет, проведенные с применением микроэлектродной техники отведения спайковой активности отдельных нейронов, показали, что существует непрерывный колебательный (равновесный) характер взаимоотношений основных процессов в нервных элементах коры головного мозга [6]. Это дает основания полагать, что объем хранимой в краткосрочной памяти информации носит также непрерывно колеблющийся характер. Поэтому характеристика краткосрочной памяти должна включать, помимо максимального объема, определение среднего объема, а также параметра колебаний текущего значения объема памяти.

Целью настоящей работы являлась экспериментальная проверка гипотезы о колебательном характере краткосрочной памяти и разработка методики количественного определения ее параметров.

МЕТОДИКА

Экспериментатор зачитывал испытуемому ряды из 4, 5 и более цифр, подобранных по таблице случайных чисел [12]. Частота предъявления составляла одну цифру в секунду и регулировалась при помощи звукового сигнала, подаваемого экспериментатору через наушники от несимметричного мультивибратора.

В соответствии с предварительной инструкцией, испытуемый после каждого предъявления должен был по возможности точно воспроизвести предъявленный ряд. Результат воспроизведения оценивался по бинарной системе: 1 — при правильном и 0 — при ошибочном воспроизведении. Эффективность воспроизведения для каждой длины, исчисляемой по количеству цифр в ряде, определялась на основе итогов шести проб с различными рядами данной длины.

В опытах участвовало 25 испытуемых студентов 1—3 курсов в возрасте 18—20 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из приведенной выше гипотезы, величину объема краткосрочной памяти можно рассматривать как некоторую случайную функцию. Полученный нами материал описывает одну реализацию этой функции по конечному числу ее значений через дискретные интервалы времени. Поэтому в данной работе мы полагаем, что объем памяти представляет случайную величину v , характеристики которой и требуется оценить.

Для решения этой задачи необходимо определить функцию распределения случайной величины. Колебательный характер величины объема памяти связан с постоянными фоновыми изменениями активности корковых нейронов. Поскольку характерной чертой спонтан-

Таблица 1

СРЕДНИЕ ДАННЫЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАПОМИНАНИЯ РЯДА ЦИФР

Число цифр в ряду	Среднее число неправильных произведений	Среднее число правильных воспроизведений	Накопленные частоты		Вероятность незапоминания
			неправильных воспроизведений	правильных воспроизведений	
4	0,00	6,00	0,00	18,84	0,00
5	0,28	5,72	0,28	12,84	2,13
6	1,80	4,20	2,08	7,12	22,61
7	4,28	1,72	5,36	2,92	68,53
8	4,88	1,12	11,24	1,20	90,35
9	5,92	0,80	17,16	0,08	99,54
10	6,00	0,00	23,16	0,00	100,00

ной активности является ее свойство относительной равновесности [6], то следует ожидать, что фоновое распределение величины объема памяти подчиняется нормальному (гауссовскому) закону с плотностью вероятности:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v - \bar{v})^2}{2\sigma_v^2}} \quad (1)$$

где v — текущий и $\bar{v}$ — соответственно средний объем краткосрочной памяти, σ_v — дисперсия или показатель разброса значений объема памяти.

Экспериментально определить текущее значение объема памяти не представляется возможным. Следовательно, мы не можем непосредственно построить функцию распределения величины объема краткосрочной памяти. Действительно, если при данном предъявлении m цифр испытуемый дал правильное воспроизведение, мы можем лишь сказать, что объем памяти в данный момент предъявления был во всяком случае не меньше m , т. е. $v \geq m$. И, наоборот, если испытуемому не удалось воспроизвести m цифр, то объем памяти $v < m$.

Исходя из этих рассуждений, можно определить вероятность запоминания m цифр: она, очевидно, равна вероятности попадания случайной величины v в интервал $[m, \infty)$:

$$P_{\text{зап}}(m) = P(m \leq v < \infty) = 0,5 - \Phi\left(\frac{m - \bar{v}}{\sigma_v}\right) \quad (2)$$

Отсюда найдем вероятность ошибочного воспроизведения (вероятность незапоминания m цифр):

$$\bar{P}(m) = P(0 \leq v < m) = 0,5 + \Phi\left(\frac{m - \bar{v}}{\sigma_v}\right) \quad (3)$$

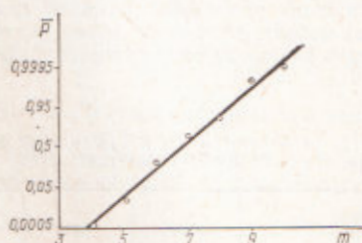
Из выражения 3 видно, что полученная теоретическая зависимость есть интегральная функция нормального распределения. Сопоставим ее с результатами эксперимента. В табл. 1 приводятся средние данные, иллюстрирующие эффективность запоминания ряда цифр, возрастающего по длине.

Экспериментальное значение интегральной функции распределения (3) можно было бы получить делением среднего числа неправильных воспроизведений из табл. 1 на число испытанных проб при данном m , т. е. на 6. Но для получения более точных результатов можно использовать прием «накопления частот», который в нашем случае означает следующее. Если из шести предъявлений m цифр испытуемый k раз ошибся, то очевидно, что если бы в те же моменты времени мы предъявляли не m , а большее число цифр $m+1$, $m+2$ и т. д., то испытуемый уже наверняка бы k раз дал неправильное воспроизведение. Аналогично, если из 6 предъявлений m цифр испытуемый показал 6 — k правильных воспроизведений, то при предъявлении ряда из меньшего числа цифр ($m-1$, $m-2$ и т. д.) испытуемый также должен

воспроизвести не менее 6 — k рядов. Таким образом, столбец 5 «накопленных частот» числа правильных воспроизведений определялся путем последовательного суммирования снизу вверх столбца 3, а столбец 4 — путем последовательного суммирования сверху вниз данных столбца 2. Вероятность неправильного воспроизведения ряда из m цифр вычисляется как отношение частот из столбца 4 к сумме соответствующих частот столбцов 4 и 5 в табл. 1.

Для выяснения характера зависимости вероятности неправильных воспроизведений от длины запоминаемого материала (числа запоминаемых символов) была сделана попытка вы-

Рис. 1. Выравнивание экспериментальных значений вероятности ошибочного воспроизведения на вероятностной бумаге нормального распределения.



равнивания указанных экспериментальных данных на «вероятностной бумаге» нормального распределения (рис. 1) [5].

Как видно из рисунка 1, экспериментальные данные достаточно хорошо ложатся вдоль прямой, что подтверждает нашу гипотезу о гауссовском характере распределения величины объема краткосрочной памяти человека.

*

Поскольку колебания величины объема памяти подчиняются нормальному закону, то для описания краткосрочной памяти каждого испытуемого можно применить два параметра: средний объем памяти $\bar{V}$ и среднее квадратическое отклонение σ_v . Для оценки этих параметров удобно использовать метод Беренса, широко применяемый в медико-биологических исследованиях [1]. В табл. 2 приводятся величины означенных параметров памяти, усредненные по результатам всего обследованного контингента испытуемых.

Таблица 2
СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТИ

Средний объем памяти $\bar{V}$	Минимальный объем V_{16}	Максимальный объем V_{84}	Резервный объем $V_{84} - \bar{V}$	Коэффициент неустойчивости памяти ρ в процентах
$6,65 \pm 0,14$	$6,01 \pm 0,08$	$7,33 \pm 0,18$	$0,69 \pm 0,08$	$9,5 \pm 6,5$

Средний объем памяти для каждого испытуемого определялся как длина последовательного ряда цифр, которая воспроизводится в 50% проб, т. е. в трех из шести. Величина v_{16} является расчетной [1] и означает такую длину ряда, которая воспроизводится в 16% случаев, т. е. приблизительно один раз из шести. Величина v_{84} является также расчетной и соответствует длине ряда, невоспроизводимого пять раз из шести, т. е. в 84% проб. Условно можно назвать эти величины минимальным и максимальным объемами памяти, причем для v_{84} приведем далее и некоторые обоснования для подобной терминологии.

Среднее квадратическое отклонение по известному свойству интегрального закона нормального распределения вычисляется как полуразность максимального и минимального объемов:

$$S = \frac{v_{84} - v_{16}}{2}$$

Очевидно, чем больше последняя величина, тем больше величина разброса текущих значений объема памяти около среднего и тем, следовательно, память более неустойчива. Отсюда коэффициент неустойчивости памяти можно рассчитать по формуле коэффициента вариации:

$$\rho = \frac{S}{\bar{v}} 100$$

Резервным объемом памяти может быть названа разность между максимальным и средним объемами памяти. В случае нормального распределения величина резервного объема, очевидно, не будет отличаться от среднего квадратического отклонения.

Таким образом, объем памяти каждого испытуемого представляет некоторую непостоянную величину, колеблющуюся около ее среднего значения. Интересно отметить также, что по параметрам среднего объема и максимального объема испытуемые различаются между собой не столь значительно, как по параметру устойчивости памяти (табл. 2). Наличие резервного объема памяти позволяет, по нашему мнению, распространить физиологический принцип функциональной мобильности и на механизм краткосрочной памяти [9]. Применительно к памяти этот принцип можно сформулировать следующим образом: в условиях обычного, «спокойного» функционирования мозг использует только часть «ячеек» краткосрочной памяти и лишь при особых режимах деятельности (например, значительной умственной нагрузке) мобилизуется весь объем этого вида памяти. Особенно ярко это проявляется при речевой деятельности, в процессе синтеза которой, как нам удалось показать, использу-

Таблица 3
СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАКСИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТИ M_1 , ПОДСЧИТАННЫЕ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЧИСЛЕ КОНТРОЛЬНЫХ ПРОБ

Показатели па- мязи	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	$v_{8.4}$
Средние значе- ния	6,28	6,64	6,72	6,69	7,12	7,16	7,33
Стандартные ошибки	0,21	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,18

ется лишь часть объема памяти. Ограничиваясь приведенным примером, мы заканчиваем изложение гипотезы о функциональной мобильности краткосрочной памяти, так как более подробное обсуждение этого вопроса выходит за рамки настоящей статьи.

В числе указанных выше характеристик памяти параметр $v_{8.4}$ был назван нами максимальным объемом памяти. Рассмотрим, каково соотношение $v_{8.4}$ с тем показателем M_3 максимального объема, который определяется по классической методике [4]. Алгоритм определения M_3 заключается в следующем. Предъявляется для запоминания ряд из m цифр. Если испытуемый дал правильное воспроизведение, то предъявляется ряд из $m+1$ цифр. При неправильном воспроизведении ряд из m цифр предъявляется еще раз, и опять, если испытуемый на второй раз сумеет повторить m цифр, переходят к предъявлению более длинного ряда. Повторные предъявления рядов из одного и того же количества m цифр производятся три раза (константа алгоритма), т. е. если испытуемый ряд из m цифр не воспроизвел три раза, то делается заключение, что максимальный объем памяти составляет $m-1$. Возникает естественный вопрос, достаточно ли при данном алгоритме определения максимального объема краткосрочной памяти ограничиваться лишь тремя контрольными пробами, не получаются ли при этом слишком заниженные значения.

Для проверки этого предположения мы вычисляли максимальный объем краткосрочной памяти путем реализации описанного алгоритма при различном количестве контрольных проб, т. е. при значениях константы алгоритма, меняющейся от 1 до 6. Значение максимального объема, определенное при помощи алгоритма с константой i , будем обозначать через M_i (отсюда максимальный объем памяти по методике Вудворта есть величина M_6).

Значения M_i , усредненные по обследованной группе испытуемых, приведены в табл. 3. Как видно из таблицы 3, M_i образуют в среднем монотонно возрастающую последовательность, т. е. $M_i < M_{i+1}$. Каждое последующее значение M_i является лучшим приближением к истинному значению максимального объема памяти. Ограничиваясь лишь тремя контрольными пробами, мы получаем заниженное значение максимального объема памяти по сравнению с тем, когда этот показатель определяется на основе шести контрольных проб, так как $M_6 - M_3 = 0,44 \pm 0,13$ (разница статистически достоверна): вероятность нулевой гипотезы, подсчитанная на основе сравнения попарно сопряженных вариантов [10] $\approx 0,002$. Из сопоставления значений M_6 и $v_{8.4}$ можно заключить, что последний параметр является лучшим показателем максимального объема памяти.

Таким образом, изложенные в настоящей работе методы позволяют получить как более точную, так и более разностороннюю характеристику состояния краткосрочной памяти человека и свидетельствуют о непостоянном, колебательном характере величины объема памяти. В условиях стационарного режима работы мозга эти колебания носят равновесный характер, но равновесие может значительно нарушаться при тех или иных функциональных нагрузках. В заключение необходимо отметить, что для более точной характеристики памяти можно было бы воспользоваться не методом Беренса, а каким-либо из методов пробит-анализа [1]. Однако значительная трудоемкость последнего и ряд затруднений, связанных с дискретным характером мнемического материала, заставляют отдать предпочтение более простому методу Беренса.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беленький М. Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л., Медгиз, 1963.
2. Бериташвили И. С. Память позвоночных животных, ее характеристика и происхождение. Тбилиси, 1968.
3. Бехтерева Н. П., Бондарчук А. Н., Смирнов В. М., Трохачев А. И. Физиология и патофизиология глубоких структур мозга человека. Л.-М., Медицина, 1967.
4. Вудвортс Р. Экспериментальная психология. М., 1950.
5. Герцбах И. Б., Кордонский Х. Б. Модели отказов. М., «Советское радио», 1966.
6. Ливанов М. Н. Нейрокинетика. В сб.: «Проблемы современной нейрофизиологии». М.-Л., «Наука», 1965.
7. Миллер Д. ж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию. В сб.: «Инженерная психология». М., «Прогресс», 1964.
8. Радченко А. И. Моделирование основных механизмов мозга. Л., «Наука», 1968.
9. Снякин П. Г. Метод функциональной мобильности в эксперименте и клинике. М., Медгиз, 1959.
10. Урбах В. Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. М., Изд-во АН СССР, 1963.
11. Хиден Х. Нейрон В сб.: «Функциональная морфология клетки.» М., Изд-во иностр. лит., 1963.
12. Шрейдер Ю. А. и Бусленко Н. П. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах. М., Физматгиз, 1961.
13. K o n o r s k y J. The physiological approach to the problem of recent memory. In: «Brain mechanisms and learning». Oxford, 1961.

