

О ЗАВИСИМОСТИ ОБЪЕМА ПАМЯТИ ОТ РАЗМЕРА АЛФАВИТА СТИМУЛОВ

© 2003 г. А. Н. Лебедев*, Н. А. Скопинцева**, Л. П. Бычкова***, Н. Б. Руманова****

*Доктор биол. наук, профессор, зав. лаб. ИП РАН

**Канд. психол. наук, ст. научный сотрудник ИП РАН

***Канд. психол. наук, ст. научный сотрудник ИП РАН

****Мл. научный сотрудник ИП РАН

В экспериментальном исследовании обнаружено, что объем сенсорной памяти на цифры, вычисленный по методике частичного отчета, равен объему кратковременной памяти, измеренному по методике полного отчета.

Объем H сенсорной памяти определялся размером A алфавита воспринимаемых стимулов, подчиняясь уравнению, выведенному из нейрофизиологических данных: $H = \lg C / \lg (AH)$, в котором константа C функционально связана с разнообразием нейронных кодов и емкостью долговременной памяти, а произведение размера алфавита A на объем кратковременной памяти H соответствует максимальному размеру субъективного алфавита. Подтверждена гипотеза о существовании единого кода как сенсорной, так и кратковременной памяти.

Ключевые слова: кратковременная и сенсорная память, нейрофизиологическая модель, количественные закономерности, электроэнцефалограмма, уравнение памяти.

ВВЕДЕНИЕ

Память является фундаментальной психологической характеристикой человека, которая во многом определяет его личностные черты, формирующиеся в ходе онтогенеза. Иногда она косвенно входит в тестовые показатели при исследовании личностных особенностей, а часто показатели памяти непосредственно измеряются и связываются при обработке с личностными характеристиками.

В рамках когнитивной психологии (информационный подход) разработана модель памяти, состоящая из трех блоков [12, 28, 29, 34, 35].

Блоки кратковременной и долговременной памяти были представлены еще в одной из первых моделей памяти Бродбента [29].

Работы Дж. Сперлинга [35] дали возможность выделить в структуре памяти еще один блок – самый первый из последовательности протекания процесса обработки информации – зрительную кратковременную память. Он создает полный сенсорный образ стимула. Впоследствии Найссер [34] назвал его иконической памятью.

Иконическая память – сенсорная копия зрительной информации, представленной наблюдателю на короткое время. В ней происходит сканирование и отбор информации, которая будет передана в блок кратковременной памяти, где информация хранится до 12 с при однократном предъявлении. При повторении, проговаривании информации она может сохраняться до 30 с и даже нескольких часов и дней. Объем удерживаемой здесь информации ограничен. Функция кратковременной памяти состоит в обработке информации и передаче ее части для хранения в долговременной памяти, где информация, по-видимому, может храниться неопределенно долго и объем ее может быть не ограничен.

Джордж Сперлинг [35] предложил также методику частичного отчета для измерения объема выделенной памяти. Полученные им данные позволили сделать вывод о различной природе иконической и кратковременной памяти.

Но уже в 1970-х гг. правомерность выделения иконической памяти ставилась под сомнение разными авторами [5, 30, 32].

Можно предположить, что сенсорная и кратковременная память являются одним и тем же процессом, в котором сенсорный регистр является входным каналом кратковременной памяти, где происходит начальное преобразование зрительной информации. Соответственно они имеют

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Гуманитарного научного фонда, грант № 00-06-00054а (2000–2002 гг.). "Определение объема и быстродействия кратковременной памяти по параметрам электроэнцефалограммы". Разработка программного обеспечения исследования поддержана также грантом № 99-06-00134а (1999–2000 гг.). "Нейрофизиологические предикторы личностных особенностей человека".

один и тот же механизм и подчиняются одним и тем же закономерностям.

Зарубежные и отечественные психологи [5, 13, 14, 31] высказывали представления о едином механизме фиксации следа памяти, предполагая, что сама память есть единое целое.

Представления о физиологических основах функционирования памяти изучались в работах многих исследователей (Hebb [31], Е.Н. Соколов [22, 23], Н.П. Бехтерева [3], Т.Н. Греченко, С.И. Кондратьева [8], Э.А. Голубева [9], Н.И. Чуприкова [24] и др.).

Структурные, синаптические изменения как материальная основа длительного хранения информации в памяти, — одна из самых распространенных гипотез физиологических механизмов памяти, позволившая объяснить многие явления. Но существуют экспериментальные факты, связанные с изучением импульсной активности нейронов мозга, которые позволяют придерживаться другой позиции.

Не отвергая гипотезы о структурных изменениях, А.Н. Лебедев [10] предположил возможность динамического кодирования информации в виде периодически повторяющихся устойчивых узоров биоэлектрической активности.

Согласно нейрофизиологической теории восприятия и памяти человека, каждый образ восприятия или памяти закодирован системой нейронных ансамблей [10, 17–20]. Единицами памяти, ее нейронными кодами (“нейронными буквами”) являются группы волн — синхронных импульсных разрядов нейронов в составе одного ансамбля. Ансамбли, вовлекаемые последовательно в течение одного цикла активности, образуют нейронное кодовое “слово”.

Нейронные кодовые “слова”, так же как и “нейронные буквы”, разделены пробелами, равными времени пониженной возбудимости нейронов 10 мс. Каждое “нейронное слово” содержит 9 “нейронных букв”. Общее же число слов определяется формулой $C = 9^9$, известной из теории информации. Это максимально возможное количество разных кодовых последовательностей — слов. Емкость долговременной памяти равна $C = 9^9 = 387420489$ единиц памяти.

Представление о циклических нейронных кодах восприятия и памяти позволяет осуществить количественный расчет ряда психологических характеристик.

Согласно нейрофизиологической модели памяти, количественная зависимость между тремя важными психологическими показателями: объемом долговременной памяти C , объемом кратковременной памяти H и алфавитом представляе-

мых стимулов A выражается в первом приближении формулой:

$$C = A^H \quad (1)$$

Прологарифмировав уравнение (1), мы получаем выражение для расчета значений объема кратковременной памяти:

$$H = 9 \lg 9 / \lg A \quad (2)$$

Эта формула устанавливает нелинейную обратную пропорциональную связь объема кратковременной памяти с размером внешне заданного алфавита и позволяет вычислить предельные значения объемов для каждого алфавита.

Алфавит — это набор разнообразных сигналов-стимулов (элементов алфавита), принадлежащих одному типу запоминаемого материала. Качественно разные типы стимульного материала (например, буквы, цифры, геометрические фигуры и т.д.) образуют разные алфавиты. Размер (длина) алфавита определяется количеством его разнообразных элементов (так, длина алфавита десятичных арабских цифр равна 10, букв русского алфавита — 33, латинского — 26 и т.д.).

Опираясь на нейрофизиологическую модель, мы исследовали блок кратковременной памяти. Получена количественная зависимость объема кратковременной памяти от длины алфавита запоминаемых сигналов [21].

Рассчитав по формуле (2) предельные значения объемов кратковременной памяти для разных алфавитов, мы установили, что теоретические значения и экспериментальные данные совпадают не во всем диапазоне значений. Наибольшее совпадение наблюдается при больших длинах внешних алфавитов, а наибольшее расхождение — у алфавитов малой длины. Причина этого, на наш взгляд, в том, что в действительности испытуемый работает с большим числом сигналов, чем ему предъявлено в эксперименте. Заданный экспериментальный алфавит по ассоциации вызывает множество образов, увеличивая внутренний алфавит, который мы назвали субъективным. Это тот реальный алфавит, с которым испытуемый имеет дело в эксперименте. Обозначим его буквой M и учтем его в формуле для объема памяти (2).

Таким образом, объем кратковременной памяти H теперь определяется размером M субъективного алфавита, подчиняясь уравнению, выведенному из нейрофизиологических данных [17]:

$$H = 9 \lg 9 / \lg M \quad (3)$$

Количественное выражение для субъективного алфавита было детально исследовано в работе Л.П. Бычковой [4].

Подсчет предельного значения субъективного алфавита осуществляется по формуле:

$$M = AN \quad (4)$$

Но максимальные значения субъективного алфавита в экспериментах не достигались и необходимо было более точно определить его значения.

Было показано, что реально испытуемый работает с величиной субъективного алфавита M , определяемой по формуле:

$$M = 0.5AN \quad (5)$$

Механизм сохранения информации, предлагаемый данной теорией, по нашему мнению, может объяснять и функционирование сенсорной памяти.

Гипотеза, которая легла в основу нашей работы, — это предположение: иконическая память имеет единый нейрофизиологический механизм с кратковременной памятью, подчиняется тем же закономерностям. Возможно, она является ранним, первым этапом кратковременной памяти, на котором происходит преобразование зрительной информации.

Мы провели экспериментальное исследование, чтобы выяснить, возможно ли описать феномены иконической памяти при помощи теории динамической памяти подобно феноменам кратковременной памяти.

Расчеты по формулам теории динамической памяти показали, что объем кратковременной памяти не превышает для большинства людей девяти случайно подобранных десятичных цифр.

Наша *первая* задача — проверить, является ли этот предел таким же и для сенсорной памяти и как он соотносится с теоретическими значениями, рассчитанными по уравнениям нейрофизиологической теории памяти.

Вторая задача — определить, существует ли зависимость объема иконической памяти от размера алфавита воспринимаемых стимулов, как это свойственно кратковременной памяти по формуле (3), выведенной ранее А.Н. Лебедевым [18, 19] из нейрофизиологических предпосылок.

МЕТОДИКА

Для оценки максимально возможного объема сенсорной памяти мы использовали модификацию предложенной Дж. Сперлингом методики частичного отчета. Сперлинг [35], впервые описавший феномен иконической памяти, предложил методику частичного отчета для измерения ее объема. В соответствии с ней испытуемые запоминали все символы предъявленной для кратковременной экспозиции (порядка 50 мс) буквенно-цифровой матрицы размером 3×4 элемента. После того как матрица гасла, испытуемым сообщалось (появлялась метка ряда), какую ее часть они должны воспроизвести. Полученные результаты при использовании данной методики показали, что испытуемые в течение примерно трети секунды помнят всю предъявленную информацию. В нашем эксперименте стимулами служили десятичные цифры (0...9), предъявляемые в виде матрицы.

После того как матрица гасла, надо было воспроизвести не целую строчку, а один из символов этой матрицы, аналогично методике, используемой в работе Averbach и Coriell [27].

В нашем эксперименте матрица состояла из 12 цифр, компактно расположенных по четыре в ряду в трех строках в центре экрана. Ширина матрицы равнялась примерно 1.5 см и высота 2.5 см при расстоянии от экрана до глаз испытуемого около одного метра, так что вся матрица попадала в фoveальную зону ясного видения в пределах 3–4-х угловых градусов [1, 2]. Все цифры желтого цвета были ясно различимы на синем фоне. Через 2 секунды от начала экспозиции матрица гасла, и на месте одной из цифр, выбранной случайно, равномерно в любом месте матрицы, через 10 мс появлялась короткая черта под бывшей на этом месте цифрой. Если такой уверенности не было, он нажимал клавишу наугад, стараясь все же не ошибиться. После этого гасли все цифры и спустя 3 секунды появлялась следующая матрица с новым случайным набором цифр. Эксперимент состоял из 20 предъявлений. Перед опытом проводилась тренировочная серия.

Компьютер подсчитывал число правильных воспроизведений. Указанное число, взятое по отношению ко всем пробам и умноженное на 12, т.е. на число всех символов в матрице, служило мерой максимального объема иконической памяти.

Проводились две серии измерений. В первой стимулы выбирались с равной вероятностью из двоичного алфавита ($A = 2$). Это были цифры ноль и единица. Во второй — размер алфавита возрастал до десяти. Это были все цифры от нуля до девяти, выбранные с равной вероятностью.

Вслед за тем в третьей серии опытов измеряли объем кратковременной памяти по модифицированной методике полного воспроизведения. На экране монитора сначала появлялась матрица из семи случайно выбранных десятичных цифр, размер алфавита которых был равен 10. В первой строке матрицы было три цифры, во второй — три и в третьей — одна. Цвет экрана, как и прежде — синий, цифры — желтые. Испытуемый по инструкции должен был прочитать матрицу один раз и воспроизвести на клавиатуре все цифры в том же порядке, слева направо сверху вниз. Если в течение 5 секунд он не нажимал на клавишу, это считалось пропуском и матрица заменялась другой, новой.

Если все цифры были воспроизведены полностью в нужном порядке и без ошибок, то такой их набор считался правильно воспроизведенным и следующий набор увеличивался на одну цифру. Максимальный размер матрицы составлял 9 цифр. Если случались два ошибочных воспроизведения матрицы подряд, то следующая матрица сокращалась на одну цифру. Опыт продолжался до тех пор, пока не было воспроизведено безошибочно восемь матриц. Среднее значение числа цифр в правильно воспроизведенных матрицах служило мерой объема кратковременной памяти.

У всех испытуемых производили запись электроэнцефалограммы на венгерском энцефалографе фирмы "Медикор" с использованием аналого-цифрового восьмиканального преобразователя фирмы "Интермед". Запись производилась в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в затемненной звукоизолированной камере. Электроды были расположены в симметричных точках лобных, центральных и затылочных областей мозга по международной системе 10–20. Индифферентные электроды располагались на мочках ушей. Частота съема потенциалов составляла 100 Гц. Обработка данных электроэнцефалограммы производилась методом быстрого преобразования Фурье.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Каждый из показателей оценивался прежде всего по характеру его распределения в изучаемой выборке. О нормальности распределения судили по его параметрам — дисперсии, эксцессу и показателю асимметрии. Показатели с распределением, достоверно отличающимся от нормаль-

Таблица 1. Объемы сенсорной и кратковременной памяти на цифровые стимулы, взятые из разных алфавитов

Код колонки	2И	10И	10К
Среднее значение	10.46	7.76	7.34
Стандартное отклонение	1.05	1.43	0.74
Число испытуемых	50	50	50

2И – объем сенсорной памяти для двоичного алфавита; 10И – объем сенсорной памяти для десятичного алфавита; 10К – объем кратковременной памяти для десятичного алфавита.

ного (при 5% уровне значимости), не учитывались в обработке в качестве предикторов или искомым функций. Кроме того, исследовали связи между показателями, измеряя коэффициенты корреляции (по Пирсону). Для расчета значений показателей – функций по параметрам, называемым предикторами, использовали уравнение множественной линейной регрессии [7]. Разницу между значениями показателей считали достоверной при уровне значимости различия 5%. Обычно использовался критерий Стьюдента.

В основных опытах приняли участие 50 школьников выпускного класса московского лицея в возрасте 16–17 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты представлены в табл. 1, содержащей три колонки. Первая из них содержит результаты измерения объема сенсорной памяти на двоичные цифры, вторая – на десятичные (по методике частичного отчета), третья – отражает размер кратковременной памяти на десятичные цифры (полный отчет).

Две особенности обращают на себя внимание. Объемы иконической памяти на двоичные и десятичные стимулы резко различаются (10.46 и 7.76). Уровень значимости различия по критерию Стьюдента много меньше общепринятого 5%-го уровня ($t = 10.6, p < 0.001$). Из этого следует: вероятность того, что найденная разность обусловлена какими-то случайными, привходящими обстоятельствами крайне мала. Поскольку эти экспери-

менты отличались только заданными алфавитами, а все процедурные моменты сохранялись одинаковыми, то, по всей видимости, причиной разницы в объемах и является именно размер алфавита.

Влияние размера алфавита нами исследовалось ранее [21]. На 138 испытуемых было показано, как количественно связаны между собой длина запоминаемого алфавита и продуктивность запоминания стимульного ряда, состоящего из сигналов этого алфавита.

В табл. 2 представлены экспериментальные и теоретические значения объемов кратковременной памяти для каждого алфавита. Теоретические значения объемов памяти получены с использованием уравнения (3) и обозначают предельные величины для каждой конкретной длины алфавита.

При исследовании зависимости объема сенсорной памяти от алфавита запоминаемых сигналов мы также получили обратную зависимость между размером алфавита и объемом памяти на его сигналы.

В то же самое время объемы сенсорной и кратковременной памяти (7.76 и 7.34) на десятичные цифры из одного и того же алфавита примерно равны. Малую недостоверную разность между ними ($t = 1.84, p < 0.05$) скорее всего можно объяснить именно случайными обстоятельствами. Даже при созданных, согласно методике, наилучших условиях сохранения ультракратковременного следа объем сенсорной памяти оказывается всего лишь на полпроцента больше объема кратковременной памяти. Если бы сенсорная память имела особый механизм сохранения следов (информации), то величины измеренных объемов различались бы гораздо больше. По крайней мере, их различие достигало бы уровня значимости. Этого не наблюдается, что, по нашему мнению, является основанием отрицать особый механизм для сенсорной памяти.

Дополнительным подтверждением совпадения механизмов кратковременной и сенсорной памяти является следующий теоретический расчет объемов памяти.

Таблица 2. Экспериментальные и теоретические значения объема кратковременной памяти на алфавиты разной длины

Алфавит А		Объем памяти		Число измерений	Верхний предел* объема памяти
элементы	длина	Н	стандартное отклонение		
Цифры (0, 1)	2	7.50	0.77	550	28.5
Цифры (0–9)	10	5.80	0.57	550	8.6
Бессмысленные слоги	4000	2.3	0.49	510	2.4

Примечание – * расчет производился по формуле $N = 9 \lg 9 / \lg A$.

Как упоминалось во введении, объем H кратковременной памяти определяется размером субъективного алфавита M , подчиняясь уравнению (3).

Представление о субъективном алфавите предполагает разнообразие внутренних образов, обусловленное уровнем внимания, сосредоточенности, эмоциональным состоянием и всем предшествующим опытом человека. Все вместе взятые и пока не дифференцированные образы расширяют и увеличивают внешне заданный воспринимаемый алфавит, формируя у испытуемого внутренний алфавит. Субъективный алфавит практически всегда больше внешнего. И только в условиях предельной нагрузки на память он равен объективному, заданному в эксперименте алфавиту.

Таким образом, объем H кратковременной памяти определяется размером M субъективного алфавита, который связан с заданным алфавитом A по формуле (4), подчиняясь уравнению [17], выведенному из нейрофизиологических данных:

$$H = \lg C / \lg(AH), \quad (6)$$

в котором константа C функционально связана с разнообразием нейронных кодов и емкостью долговременной памяти.

Воспользуемся формулой (6) и определим логарифм константы C :

$$\lg C = H \lg(AH). \quad (7)$$

Зная из эксперимента значения объема иконической памяти на двоичные цифры H , определим численное значение логарифма константы C :

$$\lg C = 10.46 \lg(2 \times 10.46). \quad (8)$$

По той же формуле (7) определим логарифм константы C для десятичного алфавита

$$\lg C = H \lg(10H). \quad (9)$$

Так как константа C одна и та же в уравнениях для различных алфавитов, приравняем друг к другу правые части уравнений (8) и (9),

$$10.46 \lg(2 \times 10.46) = H \lg(10H). \quad (10)$$

Отсюда рассчитаем объем сенсорной памяти для десятичного алфавита:

$$H = 10.46 \lg(2 \times 10.46) / \lg(10H) = 7.39. \quad (11)$$

Это уравнение решается путем итераций. Вычисленное по формуле (11) значение 7.39 примерно равно найденным в опыте объемам сенсорной памяти 7.76 и объемам кратковременной памяти 7.34. Разница между теоретическим значением и опытными величинами составляет менее 5% (табл. 1), что по критерию Стьюдента ($t = 1.83$, $p < 0.05$; $t = 0.47$, $p < 0.2$) незначимо. И этот ре-

зультат также говорит в пользу единого механизма сенсорной и кратковременной памяти.

Таким образом, во-первых, находим, что объем сенсорной памяти равен объему кратковременной памяти в пределах точности измерения. Во-вторых, объем сенсорной памяти существенно зависит от размера алфавита запоминаемых стимулов (10.46 для двоичных цифр и 7.76 для десятичных). Интересно отметить, что в опытах В.П. Зинченко с соавторами [11] объем кратковременной памяти, вычисленный по методике полного воспроизведения, приближался к уровню сенсорной памяти, вычисленному по методике частичного воспроизведения, и даже порой превышал последний, но лишь при условии повышенной мотивации испытуемых (8.0 и 7.3, соответственно). И все же он никогда не превышал нейрофизиологического порога, т.е. 9 цифр, даже если предъявлялось 12 цифр.

Исток, на наш взгляд, есть веские основания предполагать, что нет существенной разницы в механизмах хранения сигналов в сенсорной и кратковременной памяти. Речь идет об одном и том же феномене.

Третьим подтверждением правомерности высказанной гипотезы может служить индивидуальный расчет объема сенсорной памяти, выполненный по уравнению (6) с учетом нейрофизиологических данных.

Отклонения расчетных величин объема от экспериментальных значений по группе не больше 5–7%, а по индивидуальным показателям около 15%. Такое малое расхождение говорит в пользу гипотезы о едином механизме (циклические нейронные коды) как сенсорной, так и кратковременной памяти.

О точности совпадения теоретических, рассчитанных по формуле (6) и реальных, полученных в эксперименте показателей объема памяти для разных алфавитов стимулов, можно судить по данным табл. 3.

В крайней колонке слева указаны номера испытуемых с обозначением реальных объемов памяти, полученных в эксперименте (Э), средние значения которых приводятся в табл. 1, и объемов, полученных теоретическим расчетом (Р) по формуле (3) для каждого из 50 испытуемых.

В конце табл. 3 приводятся средние значения и стандартные отклонения по массиву из 50 пар таких показателей, а также коэффициенты корреляции между теоретическими и экспериментальными данными. Все коэффициенты намного (почти вдвое) превышают пороговый уровень, равный 0.28 для коэффициентов, достоверно отличающихся от нуля при 5%-м уровне значимости и числе испытуемых, равном 50.

Таблица 3. Объемы сенсорной и кратковременной памяти, полученные в опытах (Э) и вычисленные по уравнению (6) с использованием константы памяти (Р)

Испытуемый	02И	10И	10К	Испытуемый	02И	10И	10К
01_Э	10.56	8.64	6.50	27_Э	10.56	8.16	6.63
01_Р	10.52	7.83	6.39	27_Р	11.18	8.13	6.98
02_Э	9.12	5.28	8.88	28_Э	10.56	7.20	7.13
02_Р	10.53	7.75	7.75	28_Р	10.85	6.75	7.15
03_Э	11.04	6.72	7.14	29_Э	10.56	7.20	7.88
03_Р	10.89	6.84	6.91	29_Р	10.28	8.03	7.49
04_Э	11.52	8.16	7.14	30_Э	10.08	7.68	6.50
04_Р	11.26	7.52	7.25	30_Р	10.23	7.92	6.95
05_Э	8.16	4.80	7.14	31_Э	10.56	9.60	7.56
05_Р	9.77	7.27	7.39	31_Р	10.03	7.51	7.21
06_Э	11.04	7.68	8.34	32_Э	9.12	6.24	6.71
06_Р	10.40	7.38	7.57	32_Р	9.92	8.13	6.89
07_Э	10.56	8.16	7.25	33_Э	9.60	7.68	6.29
07_Р	10.05	7.23	7.32	33_Р	9.36	7.62	5.98
08_Э	8.64	7.20	7.00	34_Э	9.60	6.24	6.75
08_Р	10.44	9.14	7.33	34_Р	10.31	6.86	7.27
09_Э	11.52	7.86	6.71	35_Э	10.56	7.20	7.89
09_Р	10.14	8.26	7.13	35_Р	10.21	7.18	7.38
10_Э	11.04	7.20	7.50	36_Э	10.04	8.64	8.67
10_Р	10.97	7.53	7.99	36_Р	11.34	8.67	8.09
11_Э	10.56	8.64	7.25	37_Э	9.60	7.68	7.33
11_Р	10.23	8.20	7.16	37_Р	10.97	7.45	6.85
12_Э	12.00	7.20	8.63	38_Э	11.52	9.12	7.13
12_Р	10.84	7.99	7.92	38_Р	10.23	8.89	7.27
13_Э	11.52	5.76	9.22	39_Э	7.68	3.84	7.88
13_Р	10.84	7.77	7.68	39_Р	9.37	6.66	7.66
14_Э	12.00	7.68	7.13	40_Э	10.08	8.64	6.50
14_Р	11.28	7.28	7.39	40_Р	10.96	9.92	7.76
15_Э	11.04	10.08	7.22	41_Э	9.12	6.72	6.13
15_Р	10.78	8.89	6.64	41_Р	9.88	7.66	7.56
16_Э	10.56	8.64	7.29	42_Э	12.00	6.72	6.75
16_Р	11.10	8.51	7.08	42_Р	10.88	7.18	7.46
17_Э	12.00	10.08	7.22	43_Э	10.56	8.16	9.00
17_Р	10.61	9.36	7.57	43_Р	9.43	7.10	7.81
18_Э	11.52	7.68	8.14	44_Э	10.56	6.72	6.83
18_Р	11.08	7.75	8.13	44_Р	9.82	6.57	7.21
19_Э	8.64	6.24	7.17	45_Э	9.12	10.56	7.11
19_Р	9.68	6.29	7.44	45_Р	9.98	9.50	7.47
20_Э	12.00	6.72	8.00	46_Э	10.08	7.68	6.43
20_Р	9.99	7.30	7.74	46_Р	10.14	7.59	7.27
21_Э	11.52	9.12	6.38	47_Э	10.08	8.16	7.00
21_Р	12.00	7.77	7.47	47_Р	10.24	7.00	7.74
22_Э	10.08	10.08	7.13	48_Э	11.04	7.68	7.43
22_Р	11.13	8.33	7.32	48_Р	10.80	7.83	6.87
23_Э	11.52	8.16	7.11	49_Э	9.12	8.16	8.00
23_Р	10.77	6.74	7.35	49_Р	9.86	8.5	7.36
24_Э	10.08	10.56	8.50	50_Э	10.56	5.76	6.63
24_Р	9.70	7.56	7.25	50_Р	10.71	7.54	7.08
25_Э	10.56	8.64	7.13	Среднее	10.47	7.77	7.34
25_Р	10.64	7.88	7.33	Ст. откл.	0.84	1.15	0.60
26_Э	11.04	9.60	7.38	Коэф. корр.	0.56	0.55	0.54
26_Р	11.06	8.46	7.69	Число пар	50	50	50

Обозначения кодов колонок те же, что и в табл. 1.

Итак, в наших экспериментах определены следующие важные особенности иконической памяти.

Во-первых, объем сенсорной памяти не беспределен и даже не так велик, как предполагалось ранее. В наилучших условиях запоминания (указывается позиция исчезнувшего символа с кратчайшим интервалом в 10 мс) объем сенсорной памяти практически равен объему кратковременной памяти, определенному методом полного воспроизведения для одинаковых алфавитов.

Во-вторых, объем сенсорной памяти, рассчитанный по формуле (6), определяется размером алфавита воспринимаемых стимулов, причем точность расчета довольно высока.

Заметим, что известное правило Миллера [33] "семь плюс или минус два" для объема кратковременной памяти не позволяет рассчитывать ее объем в функции размера алфавита стимулов, равно как и объем сенсорной памяти.

Небольшое превышение объема, вычисленно по методике частичного отчета, можно объяснить меньшим вкладом моторной составляющей ответа испытуемого.

При полном отчете испытуемого, вероятно, часть информации в процессе воспроизведения длинного ряда стимулов утрачивается. По методике частичного отчета при воспроизведении всего одного символа это исключено.

Модификация методик, использованная в эксперименте, позволяет избежать интерферирующих воздействий в процессе сохранения информации и в более чистом виде оценивать объем сохраняемой информации, измерять максимально возможные, предельные значения объема памяти.

Подчеркнем, что именно процедура измерения объема сенсорной памяти с использованием методики частичного отчета обеспечила ожидаемый результат. В ней исключены все побочные нагрузки, связанные с трудоемким воспроизведением сигналов из памяти по методике полного воспроизведения. Возможно, именно методику частичного ответа мы возьмем на вооружение в будущих исследованиях как наилучший метод оценки объема именно кратковременной памяти, хотя и называемой в данной опытной ситуации – сенсорной, иконической.

Предварительная обработка данных электроэнцефалограммы (ЭЭГ) подтвердила предположение о связи параметров альфа-ритма с процессами памяти. Из 302 характеристик ЭЭГ было выделено четыре, которые наиболее сильно связаны с объемами сенсорной и кратковременной памяти. Этими характеристиками являются:

a_g – разность частот в двух поддиапазонах альфа-ритма, низко- и высокочастотном, с грани-

цей между ними, равной средней частоте альфа-ритма;

Liv – отношение средней частоты альфа-ритма к указанной разности частот, тесно связанное реципрокной связью с определенной ранее константой Ливанова [19];

$C63$ – средняя частота колебаний в затылочной области справа (зона $O2$) в диапазоне низкочастотного бета-ритма от 13.0 до 18.8 Гц;

$P62$ – средняя частота колебаний в той же области в диапазоне тета-ритма от 4.0 до 7.8 Гц.

По уравнению множественной регрессии, параметрами которого являются названные четыре характеристики ЭЭГ, был вычислен логарифм константы памяти индивидуально для каждого испытуемого. Обозначим эту расчетную константу памяти C_{eeg} :

$$\lg C_{eeg} = -42.227 - 4.735a_g - 0.102Liv + 3.368C63 + 5.116P62.$$

По уравнению нейрофизиологической теории памяти (6) был подсчитан логарифм константы C . Константы C и C_{eeg} измерены в одних и тех же единицах.

Коэффициент корреляции между логарифмами констант памяти C и C_{eeg} , подсчитанными разными способами, равен +0.56 и значимо отличается от критического уровня (0.28 для 50 измерений). В дальнейшей работе данные, полученные при записи электроэнцефалограммы, будут проанализированы более подробно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, результаты исследования позволили выявить:

- совпадение полученных в эксперименте объемов сенсорной и кратковременной памяти на десятичные алфавиты;

- совпадение рассчитанного по формуле (6) объема сенсорной памяти и экспериментального объема кратковременной памяти на десятичные алфавиты;

- обнаруженную в эксперименте зависимость объема сенсорной памяти от алфавита запоминаемых сигналов.

Все это позволяет утверждать, что память, определенная по методике частичного отчета, и память, определенная по методике полного отчета, – один и тот же феномен, подчиняющийся одним и тем же закономерностям.

Проведенное исследование подтвердило правильность высказанной гипотезы о нейронных кодах памяти.

Не случайно, видимо, и то, что идея иконического хранения не получила развития в современной психологии. На наш взгляд, правильное ут-

верждать, что нет двух принципиальных разных видов памяти и нет разных способов хранения информации, но есть один способ, проявляющийся по-разному в зависимости от методов оценки объемов памяти и других ее характеристик. Мы считаем, что применение нейрофизиологической теории памяти дает ответ на этот вопрос. Результаты опытов дают основание предполагать, что не только сенсорная, но и кратковременная, и долговременная память едины по механизму хранения информации.

Предварительный анализ данных выявил связь объема памяти с параметрами электроэнцефалограммы. Следующая фундаментальная задача, решение которой приблизилось, – получение новых данных для проверки выдвинутой гипотезы, но уже с привлечением характеристик электроэнцефалограммы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.А. Оптические измерения. М.: Недра, 1968.
2. Борисов С.В. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982.
3. Бехтерева Л.П. Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1980.
4. Бычкова Л.П. Влияние структуры стимульного ряда и его субъективного представления на продуктивность кратковременного запоминания: Автореферат дисс. ... канд. психол. наук. М., 1999.
5. Величковский Б.М. Память: может быть все-таки одна? // Вопросы психологии. 1976. № 4. С. 154–155.
6. Величковский Б.М. Современная когнитивная психология. М.: МГУ, 1982.
7. Дьяконов В.П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М.: Наука, 1989.
8. Греченко Т.Н., Кондратьева С.И. О механизме кратковременной памяти // Психол. журн. 1981. № 3. С. 95–99.
9. Голубева Э.А. Способности и индивидуальность. М.: Прометей, 1993.
10. Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.
11. Зинченко В.П., Величковский Б.М., Вучетич Г.Г. Функциональная структура зрительной памяти. М.: МГУ, 1980.
12. Клацки Р. Память человека. М.: Мир, 1978.
13. Корж Н.Н. Едина ли память? // Психол. журн. 1984. № 1. С. 103–111.
14. Корж Н.Н. Проблемы памяти // Тенденции развития психологической науки / Под ред. Б.Ф. Ломова и Л.И. Анцыферовой. М.: Наука, 1989. С. 34–45.
15. Лебедев А.Н., Луцкий В.А. Расчет закономерностей зрительного восприятия по частотным характеристикам электроэнцефалограммы // Эргономика. Труды ВНИИТЭ. Вып. 4. 1972. С. 95–134.
16. Лебедев А.Н. Психофизиологические закономерности памяти // Вопросы кибернетики. Проблемы измерения психических характеристик человека в познавательных процессах / Под ред. Ю.М. Забродина. М.: АН СССР, 1980. Вып. 66. С. 69–93.
17. Лебедев А.Н. Математическая модель восприятия и запоминания зрительной информации человеком // Нейрофизиологические механизмы поведения. М.: Наука, 1982.
18. Лебедев А.Н. Нейрофизиологические параметры памяти человека // ЖВНД. 1993. № 2. С. 277–285.
19. Лебедев А.Н. Константа М.Н. Ливанова в количественном описании психологических явлений // Психол. журн. 1997. № 6. С. 96–105.
20. Лебедев А.Н. Психофизиология памяти // Основы психофизиологии / Под ред. Ю.И. Александрова. М.: Инфра-М, 1997. С. 129–142.
21. Скопинцева Н.А. Количественные закономерности кратковременной памяти: Автореф. дисс. ... канд. психол. наук. М., 1994.
22. Соколов Е.Н. Механизмы памяти. М.: МГУ, 1969.
23. Соколов Е.Н. Нейронные механизмы памяти и обучения. М.: МГУ, 1981.
24. Чуприкова Н.И. О нейрофизиологических основаниях ограниченности объема внимания и памяти // Вопросы психологии. 1968. № 2. С. 23–37.
25. Эббингауз Г. Основы психологии. СПб., 1911.
26. Atkinson R.C., Shiffrin R.M. Human memory: A proposed system and its control processes // The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory / Eds. K.W. Spence, J.T. Spence. N.Y.: Acad. Press, 1968. V. 2. P. 89–195.
27. Averbach E., Coriell A.S. Short-term memory in vision // Bell System Techn. J. 1961. V. 40.
28. Atkinson R.C., Shiffrin R.M. The control of self-term memory // Sci. American. 1971. V. 220. № 4.
29. Broadbent D.E. Perception and communication. L.: Pergamon press, 1958.
30. Eriksen Ch.W., Schultz D.W. Temporal factors in visual information processing / Ed. J. Requin. Attention and performance VII. Hillsdale. N.Y., 1978.
31. Hebb D.O. The organization of behavior. N.Y., 1949.
32. Holding D. Sensory storage reconsidered // Mem. Cogn. 1975. V. 3.
33. Miller G.A. Human memory and the storage of information // Trans. IRE of Information Theory. 1956. V. IT-2. № 3. P. 129–137.
34. Neisser U. Cognitive psychology. N.Y., 1967.
35. Sperling G. The information available in brief visual presentations // Psychol. Monogr. 1960. V. 74.

DEPENDENCE OF MEMORY SPAN ON THE SIZE OF STIMULI ALPHABET

A. N. Lebedev*, N. A. Skopintseva**, L. P. Bychkova***, N. B. Rumanova****

*Dr. sci. (biology), professor, head of laboratory, IP RAS, Moscow

**Cand. sci. (psychology), sen. res. ass., the same Institute

***Cand. sci. (psychology), sen. res. ass., the same Institute

****Jun. res. ass., the same Institute

It was found that the sensory memory span on numerals calculated by the method of partial report is equal to the short-term memory span calculated on the method of complete report. The sensory memory span (H) was determined by the size of alphabet of perceived stimuli (A) and could be described by the equation elaborated on neurophysiological data: $H = \lg C / \lg(AH)$ (constant C is functionally correlated with the variety of neuron codes and long-term memory span; the product AH is the maximum size of subjective alphabet). The hypothesis about universal code of sensory and short-term memory was approved.

Key words: short-term and sensory memory, neurophysiological model, quantitative dependencies, electroencephalogram, memory equation.

СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ПАРАМЕТРАМИ ЭЭГ СТУДЕНТОВ В СИТУАЦИИ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО СТРЕССА

© 2003 г. Е. А. Умрюхин*, Т. Д. Джебраилова**, И. И. Коробейникова***

*Доктор биол. наук, член-корр. РАМН

**Канд. биол. наук, ведущий науч. сотр. лаборатории системных механизмов адаптации человека НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН

***Старший научн. сотр. той же лаборатории, канд. биол. наук

У 24 студентов (мужчины 18–20 лет) определяли скорость переработки зрительной информации (СПЗИ) в эмоционально нейтральной ситуации и перед сдачей экзамена; регистрировали ЭЭГ монополярно, ЭКГ (первое отведение). В обеих ситуациях СПЗИ положительно коррелировала с частотой доминирующего альфа-ритма ЭЭГ затылочных областей коры. Перед экзаменом СПЗИ была выше у студентов с большей выраженностью альфа-ритма и низкими значениями дельта и тета-индексов ЭЭГ правой затылочной области коры.

Возрастание СПЗИ перед экзаменом по сравнению с учебными днями наблюдалось у студентов с исходно низкой выраженностью тета-ритма в спектре ЭЭГ правой фронтальной области коры; снижение СПЗИ – у студентов с увеличением относительной спектральности мощности дельта-ритма ЭЭГ правой фронтальной области.

Ключевые слова: ЭЭГ, ЭКГ, эмоциональный стресс, скорость переработки зрительной информации.

Деятельность человека в условиях современного производства и обучения характеризуется необходимостью выполнения работы и получения результата в ситуациях, осложненных психоэмоциональным стрессом [1, 4, 11].

Известно, что эмоциональное напряжение изменяет результативность интеллектуальной работы. Если его умеренная степень способна повысить эффективность деятельности, то чрезмерное психоэмоциональное напряжение оказывает на деятельность дезорганизирующее влияние [9].

Экзаменационная ситуация является естественной моделью для изучения влияния эмоционального напряжения на результативность целенаправленной деятельности и в этих целях широко используется в психофизиологических исследованиях.

Не все субъекты, оказавшиеся в однотипной стрессовой ситуации, проявляют одинаковую склонность к развитию эмоционального стресса [10], поэтому существуют индивидуальные различия результативности целенаправленной деятельности в этих условиях; возникает вопрос и о