

УДК 612.822.3+612 821.8

© 2000 г. КОЗЛОВСКИЙ С.А., ВАРТАНОВ А.В.

ОПЕРАТИВНАЯ ПАМЯТЬ И ЗРИТЕЛЬНЫЙ ВЫЗВАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Исследовали изменения ЭЭГ и вызванного потенциала на сложный цветовой стимул при трех когнитивных задачах: пассивном наблюдении, зрительном поиске и при выполнении задачи запоминания и сохранения стимула в оперативной памяти. Обнаружено, что включение механизмов памяти приводит к подавлению альфа-ритма как в затылочных, так и во фронтальных областях мозга, а также к возникновению медленной позитивной волны (вызванного потенциала) во фронтальных областях (в затылочных областях эта волна проявлялась как негативная).

В последнее время механизмы кратковременной зрительной памяти, и в частности цветовая память, основательно исследовались на обезьянах и людях с патологией памяти – работы С. Зеки [3, 10], П.С. Гольдман-Ракич [2]. Значительное продвижение в изучении физиологических основ кратковременной памяти на здоровом человеке оказалось возможным благодаря использованию таких новых методов, как позитронно-эмиссионная томография и ядерно-магнитный резонанс (см. например, [9]). Эти методы, однако, имеют ограниченные возможности с точки зрения изучения тонкой временной нейродинамической основы изучаемой психической функции. Задачей настоящей работы являлось электроэнцефалографическое исследование процессов удержания сложного зрительного образа в оперативной (рабочей или кратковременной) памяти человека. Основная проблема такого исследования собственно механизмов памяти заключается в слитности, одновременности протекания различных, частично параллельных, а частично взаимозависимых процессов – это непосредственная обработка информации при восприятии, сам процесс удержания информации в оперативной памяти, процесс перекодирования информации из одной формы в другую и, наконец, процессы непосредственного использования сохраняемой в памяти информации либо при решении некоторой когнитивной задачи (например, при опознании), либо в ходе ее воспроизведения. Поскольку использование метода усреднения электрических потенциалов мозга, закономерно связанных с динамикой исследуемого процесса, требует наличия внешней синхронизации, разделение процесса восприятия стимула с процессом его удержания в памяти возможно лишь при сравнении вызванных потенциалов (ВП) на один и тот же стимул, но в условиях выполнения испытуемым различных задач. В данном случае, применяя один и тот же набор сложных зрительных стимулов, создавались три разные ситуации: пассивное восприятие стимулов, активное восприятие стимулов (зрительный поиск или обращение внимания испытуемого на отдельные детали сложного стимула) и задача удержания данных стимулов в оперативной памяти в течение заданного времени с последующей проверкой.

МЕТОДИКА

В эксперименте принимали участие четыре испытуемых (два мужчины и две женщины) с нормальным цветовым зрением в возрасте от 20 до 30 лет. Стимулы в виде цветowych паттернов (квадратные матрицы размером 6.4 × 6.4 см, состоящие из 9 цветных ква-

дратов размером 2 × 2 см каждый) предъявлялись на экране монитора компьютера (на нейтрально-сером фоне средней яркости) в условиях световой адаптации (средняя освещенность помещения 20 лк, освещенность глаза испытуемого 5 лк). Цветовые паттерны различались набором цветовых квадратов, а также их местоположением: использовались 25 цветовых оттенков (включая 16 насыщенных цветов приблизительно равной яркости, 5 малонасыщенных цветов и 4 ахроматических стимула разной яркости). Стимулы наблюдались бинокулярно с расстояния 70 см. Набор стимулов и условия наблюдения были точно такими же, как в нашем психофизическом эксперименте, подробно описанном ранее [1]. Регистрация ЭЭГ осуществлялась монополярно по 16 стандартным отведениям (система 10/20) на энцефалографе фирмы "Nikon Kohden" (Япония) с вводом в компьютер, обработку и анализ ЭЭГ и ВП проводили с использованием системы программ "BrainSys".

В первой серии эксперимента – пассивное наблюдение – от испытуемого требовалось только следить за возникающими на 1 с в случайном порядке со случайными паузами (в диапазоне от 1 до 1.2 с) различными цветовыми паттернами (использовали 9 вариантов паттернов, причем 3 вида паттернов предъявляли по 50 раз каждый, в то время как остальные 6 видов – только по 5 раз) и нажимать на любую клавишу дополнительной клавиатуры компьютера, когда стимул исчезал. Предполагалось, что с моментом предъявления паттерна в данной серии эксперимента будут синхронизированы только те электрические ответы мозга, которые связаны с процессом восприятия данного стимула как целостной картины.

Во второй серии эксперимента – зрительный поиск – испытуемому первоначально предъявляли на 0.5 с отдельный элемент сложного паттерна (один цветной квадрат, задающий цветовой образец), а затем через интервал 0.5 с – сложный паттерн на 1 с; от испытуемого требовалось определить местоположение, занимаемое данным цветом в паттерне и, после того как паттерн исчезнет, нажать на соответствующую этому месту клавишу дополнительной клавиатуры компьютера. В данной серии использовались квазислучайные сочетания 25 одиночных цветовых образцов с 9 вариантами цветовых паттернов таким образом, чтобы одиночный цвет обязательно присутствовал в следующем за ним паттерне: 3 из 9 паттернов предъявлялись по 90 раз каждый, а остальные 6 – только по 9 раз; последовательность предъявления пары цвет – паттерн также была случайной со случайными паузами (в диапазоне от 1 до 1.2 с). Предполагалось, что в этой серии с моментом предъявления паттерна будут синхронизированы только те электрические ответы мозга, которые связаны: 1) с процессом восприятия данного паттерна; 2) с процессом актуализации в памяти одиночного цветового образца; 3) с процессом определения местоположения заданного образцом цвета в цветовом паттерне; 4) с удержанием в памяти выявленного местоположения и подготовкой двигательного ответа.

В третьей серии эксперимента – удержание зрительного образа в памяти – испытуемому первоначально предъявляли на 1 с один из тех же 9 вариантов цветовых паттернов, как и в предыдущих сериях, но теперь испытуемому требовалось запомнить и удерживать в памяти в течение 0.5 с (длительность паузы, во время которой на экране был только стандартный фон) весь этот паттерн, включая информацию о том, какой цвет в каком месте матрицы располагается. Далее, после паузы, предъявляли (на 0.5 с) один из 9 возможных для данного паттерна одиночных цветов и от испытуемого требовалось указать место, на котором, по его мнению, находился данный цвет в паттерне, нажав соответствующую клавишу на дополнительной клавиатуре компьютера. В этой серии, так же как и в предыдущей, использовали квазислучайные сочетания 25 одиночных цветовых образцов с 9 вариантами цветовых паттернов; 3 из 9 паттернов предъявлялись по 90 раз каждый, а остальные 6 – только по 9 раз; последовательность предъявления пары паттерн – цвет также была случайной со случай-

* Авторы выражают признательность разработчикам данного программного продукта, в особенности А.А. Митрофанову за помощь в математическом анализе данных.

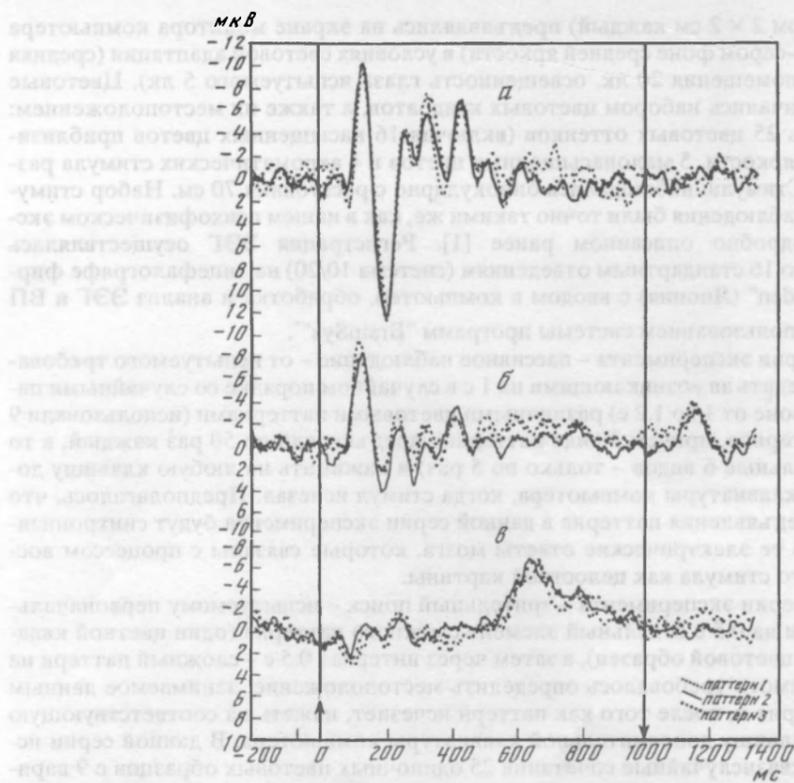


Рис. 1. Усредненные вызванные потенциалы (исп. Б) в отведении О2 для задачи пассивного наблюдения (а), зрительного поиска (б), запоминания и сохранения в памяти (в). По оси абсцисс – время, мс; по оси ординат – амплитуда, мкВ (для каждого из условий своя шкала). Стрелками показаны моменты появления и исчезновения сложного цветового стимула на экране

ными паузами (в диапазоне от 1 до 1.2 с). Предполагалось, что в этой серии эксперимента с моментом предъявления паттерна будут синхронизированы только те электрические ответы мозга, которые связаны: 1) с процессом восприятия данного паттерна (этот процесс доминирует на начальном этапе после включения стимула); 2) с процессом запоминания данного паттерна и/или отдельных его частей; 3) с удержанием данного зрительного образа в памяти (этот процесс доминирует после выключения стимула).

Все серии эксперимента проводили последовательно в один и тот же день с небольшими перерывами; в начале и в конце эксперимента для контроля изменения функционального состояния испытуемого в течение 1 мин записывалась его фоновая ЭЭГ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обработка полученных записей ЭЭГ для всех экспериментальных серий заключалась в сортировке отрезков записей (анализировались отрезки, начиная за 200 мс до момента предъявления стимула и кончая 1400 мс после его включения) по предъявляемым паттернам и отбраковыванием отрезков, содержащих визуально различимые

Таблица 1.

Усредненные по трем паттернам значения амплитуд компонентов ВП (отведение O2) для трех экспериментальных условий (исп. Б), мкВ

	P100	N150	P200	N250
Пассивное наблюдение	1.85 (11.74)	-9.89 (22.01)	12.12 (16.19)	-4.07
Зрительный поиск	0.45 (8.94)	-8.49 (11.29)	2.80 (5.05)	-2.25
Запоминание	2.57 (2.9)	-0.33 (1.19)	0.86 (2.48)	-1.62

Примечание. В скобках приведены абсолютные значения межпиковых амплитуд.

мые артефакты от движений глаз или других произвольных движений испытуемого. Электрические ответы мозга на предъявление одинаковых паттернов усредняли внутри экспериментальных серий. В итоге получено по три ВП на наиболее часто предъявляемые паттерны по трем сериям эксперимента. На рис. 1, а представлены ВП одного из испытуемых: регистрируемые в отведении O2 при пассивном восприятии трех разных цветовых паттернов (первая серия эксперимента). На рис. 1, б представлены ВП того же испытуемого на те же самые стимулы в том же отведении, но в процессе осуществления им зрительного поиска (вторая серия эксперимента). На рис. 1, в также представлены ВП того же испытуемого на те же стимулы и в том же отведении, но при выполнении третьей серии эксперимента – при удержании в памяти соответствующего цветового образа. Внутри каждой серии ответы мозга на разные цветовые паттерны очень сходны, однако при сопоставлении ВП на один и тот же паттерн, но в разных сериях эксперимента выявляется их существенное различие. Это различие проявляется в значительной редукции значений амплитуд компонентов N150, P200, N250 зрительного ВП на включение стимула при переходе от пассивного к активному восприятию и в еще большей степени в процессе удержания этого образа в памяти (табл. 1). Это обнаруживается не только при анализе амплитуд отдельных компонентов, но еще отчетливее проявляется в динамике абсолютных величин межпиковых амплитуд (плечи компонентов P100–N150, N150–P200, P200–N250). Аналогичные феномены обнаруживаются у всех испытуемых (с поправкой на индивидуальные особенности компонентного состава ВП). Другие компоненты ВП в отведении O2 также претерпевают определенные изменения, но их динамика не столь определена. На рис. 2, а, б и в представлены ВП этого же испытуемого, только в отведении F7. И в этом отведении обнаруживаются различия ВП в связи с изменением задачи в разных экспериментальных сериях, однако здесь видны также и несколько большие различия ВП на разные паттерны внутри одной экспериментальной серии. Прямой анализ амплитуд компонентов для различных отведений обнаруживает сложные изменения ВП, которые трудно объяснить какой-либо простой закономерностью, связанной с изменениями экспериментальных условий.

Для комплексного сопоставления и выявления закономерных изменений ВП с учетом всех отведений, стимулов и экспериментальных условий по данным испытуемого Б. был применен специальный вариант факторного анализа (метод главных компонент). Обычно так называемая R-техника факторного анализа (см. [4]) используется для исследования ЭЭГ с целью выявления источников электрической активности мозга [5]. В этом случае вычисляют корреляции между развернутой во времени ЭЭГ-активностью по различным отведениям (в нашем случае матрица корреляции должна была бы быть размером 16 × 16 отведений). Так называемая Q-техника факторного анализа [4] обычно используется для исследования ВП с целью выявления "истинных" компонентов, при этом в качестве переменных выступают амплитуды последовательных точек ВП, измеренных по разным отведениям или реализациям стимула внутри одного отведения (размерность матрицы корреляции в этом случае

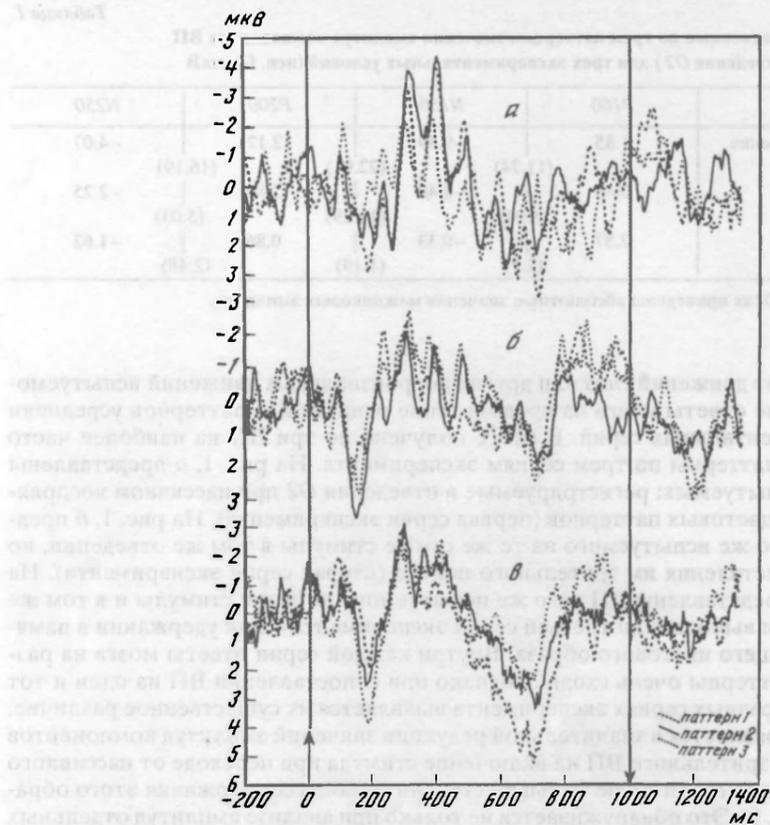


Рис. 2. Усредненные вызванные потенциалы (исп. Б) в отведении F7 для задачи пассивного наблюдения (а), зрительного поиска (б), запоминания и сохранения в памяти (в). Обозначения как на рис. 1

определяется частотой оцифровки сигнала и временем анализа). Однако, как следует из теории факторного анализа [4], обе эти техники полностью эквивалентны, и при решении основного уравнения факторного анализа определяют лишь порядок и точность вычислений, но в результате дают одну и ту же (с точностью до оценки числа факторов и вращения) информацию. Таким образом, применение факторного анализа к ВП позволяет одновременно находить и его составляющие (временную динамику и компоненты), и определять их локализацию [6].

С учетом целей настоящей работы – поиск мозговых механизмов оперативной памяти – представлялось целесообразным использовать модифицированный вариант факторного анализа зрительных ВП. В данном исследовании проводили анализ массива оцифрованных данных размером 48 переменных (16 отведений по каждому из трех экспериментальных условий) и 1005 случаев измерений (335 точек для трех вариантов паттернов). Такая организация данных и вычисление матрицы корреляций размером 48×48 переменных позволяла проанализировать изменения как формы ВП (составляющих компонентов), так и локализации исследуемых процессов (коррелировались отведения ЭЭГ как внутри одного условия, так и между условиями, что позволяло обнаружить соответствующие различия в локализации вызванных ответов). В результате анализа было выделено 6 факторов, описывающих в совокупности 79% исходной дисперсии. В результате варимаксного вращения удалось получить

Таблица 2.

Факторные нагрузки после варимаксного вращения

Условие	Отведение	Номер фактора					
		затылочно-теменные			фронтальные		
		1	2	3	4	5	6
Первая серия, пассивное восприятие	O2	0.861	0.187	0.122	0.098	0.281	-0.078
	O1	0.834	-0.126	0.192	0.161	0.263	-0.006
	P4	0.802	0.008	0.183	0.409	0.208	-0.029
	P3	0.665	-0.437	0.176	0.404	0.026	0.066
	C4	0.364	-0.131	0.114	0.790	0.159	0.171
	C3	0.249	-0.259	0.058	0.790	0.146	0.187
	F4	0.264	0.147	0.112	0.816	0.198	0.235
	F3	-0.01	0.063	0.150	0.829	0.216	0.111
	Fp2	0.044	0.342	0.032	0.795	0.195	-0.001
	Fp1	-0.270	0.345	0.214	0.690	0.239	-0.055
	T6	0.770	0.188	0.120	-0.082	-0.050	-0.325
	T5	0.721	-0.411	0.209	0.065	-0.138	-0.094
	T4	0.097	0.010	0.234	0.592	-0.132	0.077
	T3	0.139	-0.266	0.101	0.723	0.029	-0.099
F8	0.055	0.209	0.178	0.752	0.077	0.226	
F7	-0.205	0.229	0.085	0.762	0.345	0.079	
Вторая серия, зрительный поиск	O2	0.231	-0.499	0.061	-0.152	-0.655	0.161
	O1	0.008	-0.666	0.138	-0.178	-0.384	0.021
	P4	0.269	-0.690	0.148	-0.074	0.096	0.205
	P3	-0.144	-0.790	0.037	-0.074	0.431	-0.102
	C4	0.144	-0.107	0.092	0.099	0.809	0.313
	C3	0.042	-0.098	0.092	0.040	0.881	0.289
	F4	0.187	0.131	0.129	0.140	0.816	0.394
	F3	0.104	0.002	0.073	0.124	0.866	0.362
	Fp2	0.149	0.254	0.050	0.204	0.790	0.279
	Fp1	0.122	0.126	0.085	0.235	0.813	0.266
	T6	0.163	-0.593	0.260	-0.110	-0.560	-0.135
	T5	-0.189	-0.754	0.083	-0.064	-0.278	0.363
	T4	0.092	0.055	0.158	0.088	0.719	0.206
	T3	-0.016	-0.199	0.048	0.093	0.867	0.020
F8	0.118	0.255	0.052	0.128	0.776	0.392	
F7	0.004	0.030	0.098	0.151	0.893	0.261	
Третья серия, память	O2	0.340	0.102	0.677	-0.037	-0.006	-0.288
	O1	0.129	0.163	0.832	0.024	0.124	-0.189
	P4	0.226	-0.088	0.756	0.155	0.109	0.188
	P3	-0.043	-0.082	0.891	0.121	0.013	0.176
	C4	0.023	-0.195	0.088	0.209	0.321	0.787
	C3	-0.142	-0.017	0.102	0.092	0.197	0.902
	F4	0.094	-0.132	0.083	0.164	0.243	0.875
	F3	-0.128	0.063	0.126	0.005	0.139	0.918
	Fp2	0.072	0.072	0.147	0.107	0.206	0.860
	Fp1	-0.153	0.239	0.160	-0.032	0.160	0.841
	T6	0.278	-0.264	0.701	0.029	-0.116	-0.358
	T5	0.113	-0.107	0.875	0.028	-0.145	-0.220
	T4	0.058	-0.270	0.075	0.224	0.357	0.537
	T3	-0.106	0.130	0.283	0.111	0.261	0.694
F8	0.021	-0.042	0.213	0.178	0.365	0.788	
F7	-0.208	0.130	0.192	-0.009	0.234	0.836	
Процент от общей дисперсии		10.0	8.9	9.6	13.8	19.4	17.5

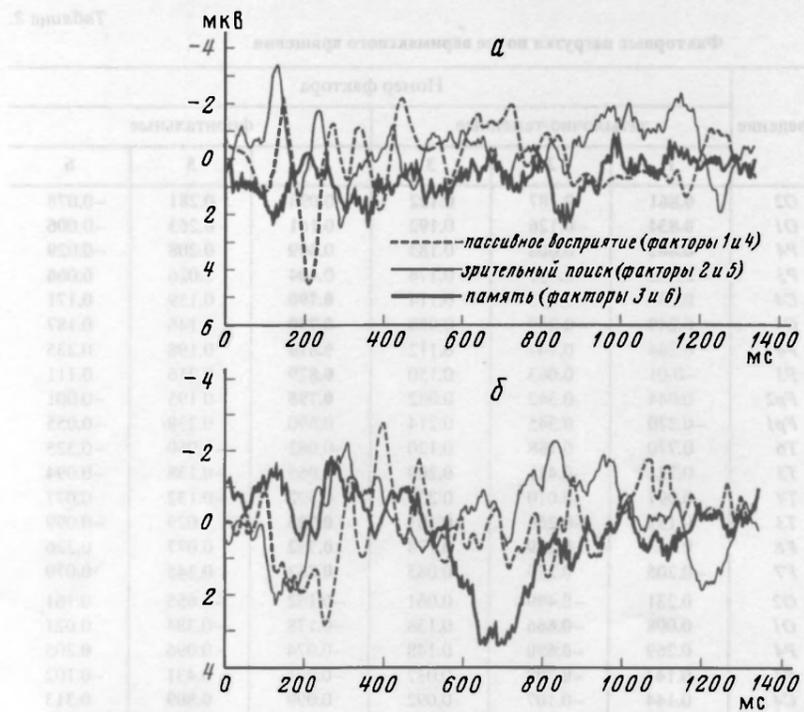


Рис. 3. Измеренные значения выделенных факторов по данным исп. Б. Для паттерна 1. Факторы 1, 2, 3 (а) – преимущественно затылочная локализация, факторы 4, 5, 6 (б) – преимущественно фронтальные области

хорошо интерпретируемую простую структуру факторов (табл. 2): каждое из экспериментальных условий описывается одновременно двумя факторами, при этом для всех условий получено, что один из факторов (факторы 1, 2, 3) описывает активность в основном заднетеменных областей (отведения $O2, O1, T5, T6, P3, P4$), а второй (факторы 4, 5, 6) – переднецентральных областей (оставшиеся отведения $F3, F4, F7, F8, Fr1, Fr2, C3, C4, T3, T4$). Временная динамика (измеренные значения) выделенных факторов представлена на рис. 3. Один из каждого двух факторов (рис. 3, а, факторы 1, 2, 3) с заднетеменной локализацией при изменении условий обнаруживает связь с генерацией зрительного (затылочного) альфа-ритма. Так, в условиях пассивного наблюдения и зрительного поиска происходит плавно затухающая ритмическая модуляция ответа на частоте 10 Гц, более выраженная при пассивном восприятии; в условиях удержания зрительного образа наблюдается резкое подавление этого ритма и возникновение слабо выраженного по амплитуде ритма с частотой 5 Гц (двукратное уменьшение частоты). Факторы второго типа, описывающие активность переднецентральных областей (факторы 4, 5, 6) представлены на рис. 3, б. Видно, что в условиях пассивного наблюдения (и в значительно меньшей степени при зрительном поиске) динамика ответа также характеризуется ритмической (плавно затухающей) модуляцией на частоте 10 Гц. Однако при запоминании и удержании в памяти зрительного образа в начальный период предъявления стимула наблюдаются в 2 раза более медленные волны (5 Гц), которые в период $2/3$ длительности стимула (600–800 мс от начала) превращаются в медленную волну, являющуюся в этих фронтальных отведениях позитивной (порядка 3, 4 мкВ), а в затылочных областях негативной (порядка –5, –6 мкВ).

Таким образом, эффект изменения электрического ответа мозга на один и тот же стимул в зависимости от экспериментальной задачи характеризуется одновременным и независимым влиянием двух феноменов: 1) подавлением альфа-ритма как в затылочных, так и в лобных областях; 2) возникновением медленных волн (медленного затылочно-негативного или лобно-позитивного сдвига). Этот вывод подтверждается также и при картировании спектров мощности исследуемых ВП, обнаруживая статистически достоверную (по критерию Фишера для сравнения дисперсий) разницу ответов именно в затылочно-теменной и лобно-центральных областях в диапазоне альфа-, дельта- и тета-ритмов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Примененный вариант факторного анализа позволил выявить в электрической активности мозга феномены, которые соответствуют процессам удержания зрительного образа в оперативной памяти. Используемая группировка данных позволила выявить факторы, которые описывают только те изменения, которые обусловлены разными экспериментальными задачами, в то время как изменения стимульного паттерна (цветовая форма стимула) оставались индифферентными к этим факторам. В итоге выделение 6 независимых факторов в этом массиве данных можно интерпретировать как свидетельство независимости или непохожести электрических реакций мозга на один и тот же стимул, когда этот стимул включен в разные экспериментальные задачи. При этом, с учетом независимости факторов, обнаруженная закономерность в концентрации всех составляющих ВП только в двух областях может интерпретироваться как перестройка активности одновременно двух структур мозга, которые и обеспечивают функционирование механизмов кратковременной памяти.

Аналогичные изменения электрической активности мозга человека отмечались в работе [8]: медленное негативное смещение на 5–10 мкВ сопровождало процесс активации ассоциаций в долговременной памяти, а также реактивацию следов памяти при восприятии различного рода стимулов. При этом фокус негативности при запоминании информации о цвете также обнаруживался в правой затылочно-теменной области.

Полученные результаты показывают также, что процесс запоминания сложного паттерна существенно отличается по ВП от процесса зрительного поиска местоположения элемента в этом же паттерне по заданному цвету. Хотя по сравнению с пассивным восприятием задача зрительного поиска также сопровождается подавлением фронтально-выраженного альфа-ритма (изменения по второму фактору), но медленная волна (затылочная негативность), явно выраженная при задаче запоминания, в данном случае не наблюдается. Это хорошо совпадает с данными [7]: хранение информации о местоположении стимула в отличие от информации о цвете и форме стимулов осуществляется другой подсистемой рабочей памяти, что и определяет соответствующее различие ВП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электрический ответ мозга человека, специфичный относительно процессов запоминания и удержания в памяти сложного цветового стимула, характеризуется двумя составляющими (компонентами): первый компонент реакции связан с подавлением альфа-ритма как в затылочных, так и во фронтальных областях мозга, а второй характеризуется возникновением медленной позитивной волны во фронтальных областях (в затылочных областях эта волна проявляется как негативная).

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 97-06-80289).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вартанов А.В.* Различение цветовых образов в оперативной памяти человека // Журн. высш. нерв. деят. 1998. Т. 48. № 6. С. 965–979.
2. *Гольдман-Ракич П.С.* Оперативная память и разум // В мире науки. 1992. № 11–12. С. 63–70.
3. *Зеки С.* Зрительный образ в сознании и мозге // В мире науки. 1992. № 11–12. С. 33–41.
4. *Иберла К.* Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. С. 398.
5. *Koles Z.J., Lind J.C., Soong A.C.K.* Spatio-temporal decomposition of the EEG: a general approach to the isolation and localization of sources // EEG a. Clin. Neurophysiol. 1995. V. 95. P. 219–230.
6. *Lopes da Silva F.H., Spekreijse H.* Localization of brain sources of visually evoked responses: using single and multiple dipoles. An overview of different approaches // Event-Related Brain Research (EEG Suppl. 42) / Eds C.H.M. Brunia, G. Mulder, M.N. Verbaten. Elsevier Sci. Publ. B.V. 1991. P. 38–46.
7. *Martin-Loeches M., Rubia F.J.* Encoding into working memory of spatial location, color, and shape: electrophysiological investigations // Intern. J. Neurosci. 1996. V. 91. No. 3–4. P. 277–294.
8. *Rosler F., Heil M., Hennighausen E.* Exploring memory functions by means of brain electrical topography: a review // Brain Topogr. 1995. V. 7. No. 4. P. 301–313.
9. *Swartz B.E., Haldren E., Fuster J., Mandelkern M.* An FDG-PET study of cortical activation during a short-term visual memory task in humans // NeuroReport. 1994. V. 5. P. 925–928.
10. *Zeki S., Marini L.* Three cortical stages of colour processing in the human brain // Brain. 1998. V. 121. No. 9. P. 1669–1685.

Кафедра психофизиологии Московского
государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
11.I.1999

Принята в печать
19.V.1999

OPERATIVE MEMORY AND VISUAL EVENT-RELATED POTENTIAL

KOZLOVSKY S.A., VARTANOV A.V.

Department of Psychophysiology, Lomonosov State University, Moscow

Changes in human EEG and event-related potentials to the complex color stimulus were studied during performance of three cognitive tasks: passive viewing, visual searching, and memorizing and storing of the stimulus in the operative memory. It was shown that involvement of memory mechanisms resulted in the alpha rhythm suppression in both occipital and frontal brain areas. It was also accompanied by a generation of the slow positive component in the evoked potential recorded in the frontal areas (in the occipital areas this wave was manifested as negative).