

СВЯЗАННЫЕ С СОБЫТИЕМ ПОТЕНЦИАЛЫ ПРИ СМЕНЕ СТРАТЕГИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ В СИТУАЦИИ ОПОЗНАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО СТИМУЛА

© 2008 г. Н. Е. Петренко

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

Поступила в редакцию 15.11.2007 г.

У взрослых испытуемых путем регистрации связанных с событием потенциалов (ССП) исследовались мозговые механизмы смены стратегии опознания глобального и локального уровней иерархического изображения. Смена стратегии зрительного опознания приводит к существенным изменениям параметров СПП в каудальных и передне-центральных областях коры. Активационный эффект переключения с одной стратегии опознания на другую отражается в увеличении амплитуды ранних компонентов СПП (C_1 , P_{100} , N_{150}) каудальных областей коры. Изменения более поздних компонентов СПП, связанных с обработкой значимых признаков информации при смене стратегии опознания, наблюдаются в лобных областях во временном интервале 388–579 мс и выражаются в увеличении амплитуды компонентов N_{300} и N_{400} .

Восприятие объектов окружающего мира во многом зависит от конкретной когнитивной задачи, определяющей стратегию восприятия, в частности, необходимости опознания либо целостного образа (глобальный уровень), либо его деталей (локальный уровень). Адекватной моделью для исследуемой стратегии опознания разных признаков изображения является иерархическая фигура в которой в зависимости от задачи могут выделяться как глобальные, так и локальные признаки. Исследования связанных с событием потенциалов (ССП) выявили специфику мозговой организации при опознании глобальных и локальных признаков [1–3]. Показано изменение параметров СПП при смене уровня опознания [4, 5]. Целью настоящего исследования являлось изучение специфики нейрофизиологических механизмов смены стратегии восприятия при переключении с опознания глобального уровня на локальный и наоборот.

МЕТОДИКА

В эксперименте участвовали 15 здоровых испытуемых (7 женщин, 8 мужчин, средний возраст 28 ± 8 лет), имеющих нормальное зрение.

Тестовыми стимулами являлись иерархические фигуры: прямоугольник и крест, построенные из таких же элементов (рис. 1). Глобальный и локальный уровни иерархической фигуры могли либо совпадать, либо не совпадать. Каждый стимул представлял собой матрицу 7×7 элементов. Размеры глобального стимула 6×3.5 угл. град, локального стимула – 0.7×0.4 угл. град, расстояние между отдельными локальными стимулами 0.16 угл.град. Перед каждой тестовой фигурой

предъявлялся предупреждающий стимул. Круг большого размера (6 угл. град) – “глобальный ключ” требовал последующего опознания глобального уровня иерархического стимула, маленький круг (0.7 угл. град) – “локальный ключ” требовал последующего опознания локального уровня стимула. Тестовые изображения и предупреждающие стимулы предъявлялись в центре экрана. Интервал между предупреждающим и тестовым стимулом варьировал в пределах 3.5–4 с.

Во время эксперимента испытуемые располагались в затемненном помещении в удобном кресле в 1 метре перед светящимся экраном жидкокристаллического монитора. В произвольно выбираемый промежуток времени (межстимульный интервал 4–6 с) испытуемому предъявлялся “ключ”, определяющий уровень опознания следующего за ним тестового стимула. Через 3500–4000 мс после “ключа” предъявлялось изображение тестового стимула. Время экспозиции и ключа и тестового стимула составляло 85 мс. Испытуемому предъявлялось 60 пар стимулов. Задачей испытуемого было опознание изображения (прямоугольник или крест) на заданном ключе уровне. Ответ осуществлялся путем нажатия на одну из двух кнопок, помеченных соответствующим изображением. Количество стимулов, требующих опознания глобальной и локальной фигур, а также стимулов с совпадением и несовпадением глобального и локального уровней было сбалансировано.

Регистрировали активность лобных (F_3 , F_4), лобно-височных (F_7 , F_8), центральных (C_3 , C_4), теменных (P_3 , P_4), задневисочных (T_5 , T_6) и затылочных (O_1 , O_2) областей коры больших полушарий.

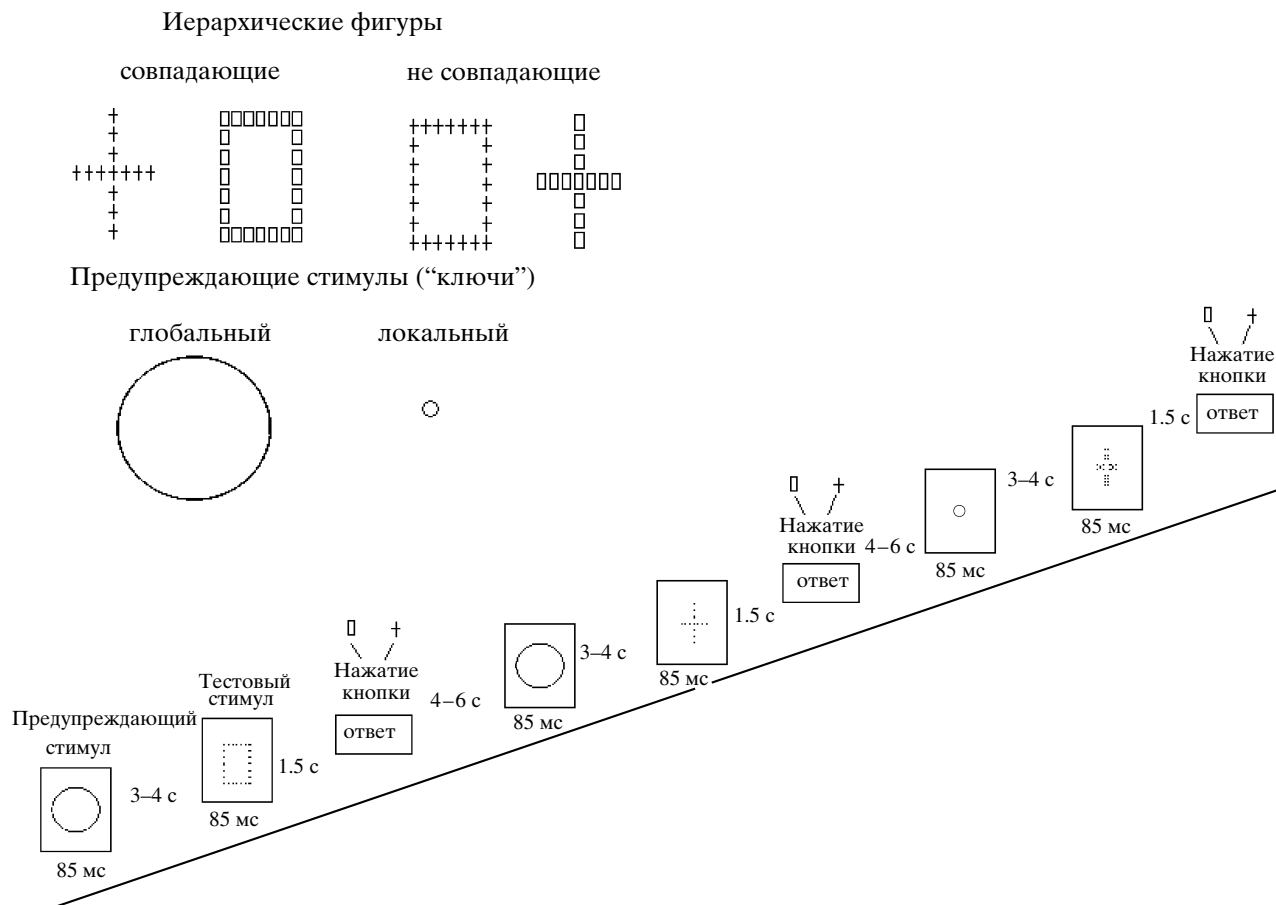


Рис. 1. Экспериментальная модель и пример предъявляемых иерархических фигур.

В качестве референтного использовался объединенный ушной электрод. Полоса пропускания электроэнцефалографа: $DC - 100$ Гц, частота опроса – 1000 точек в секунду. Для выделения ССП на тестовые стимулы использовались безартефактные отрезки ЭЭГ. Эпоха анализа постстимульного периода составляла 800 мс. При выделении ССП использовалась дополнительная фильтрация 0.1–35 Гц.

ССП усреднялись по ситуации – при стабильно повторяющемся предъявлении стимулов одного уровня и при переключении на другой уровень (с глобального на локальный и наоборот), и по классам, соответствующим опознанию глобального и локального уровней иерархического изображения. С помощью анализа методом Главных компонентов [6] были выделены временные границы, соответствующие компонентам ССП. Для анализа зависимости выделенных компонентов ССП от условий эксперимента применялся дисперсионный анализ (*ANOVA-Repeated measure*). В качестве переменной использовалась суммарная амплитуда вызванного ответа в интервалах, соответствующ-

щих выделенным компонентам. В дисперсионном анализе были использованы следующие факторы: “ситуация” (2 уровня: стабильное предъявление и переключение); “стимул” (2 уровня: глобальный и локальный признаки стимула); “полушарие” (2 уровня: правое и левое); “регион” (2 уровня: передние и задние корковые зоны); “отведения” (6 уровней: лобные, лобно-височные, центральные, теменные, задневисочные, затылочные). Для уточнения вклада отдельных областей в формирование стратегии восприятия проводился анализ *ANOVA-Repeated measure* параметров ССП затылочных, задневисочных, теменных, центральных, лобных и лобно-височных областей обоих полушарий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Сопоставление ССП при стабильно опознаваемой глобальной и локальной информации в ситуации переключения с одного уровня опознания на другой приведено на рис. 2. Данные дисперсионно-

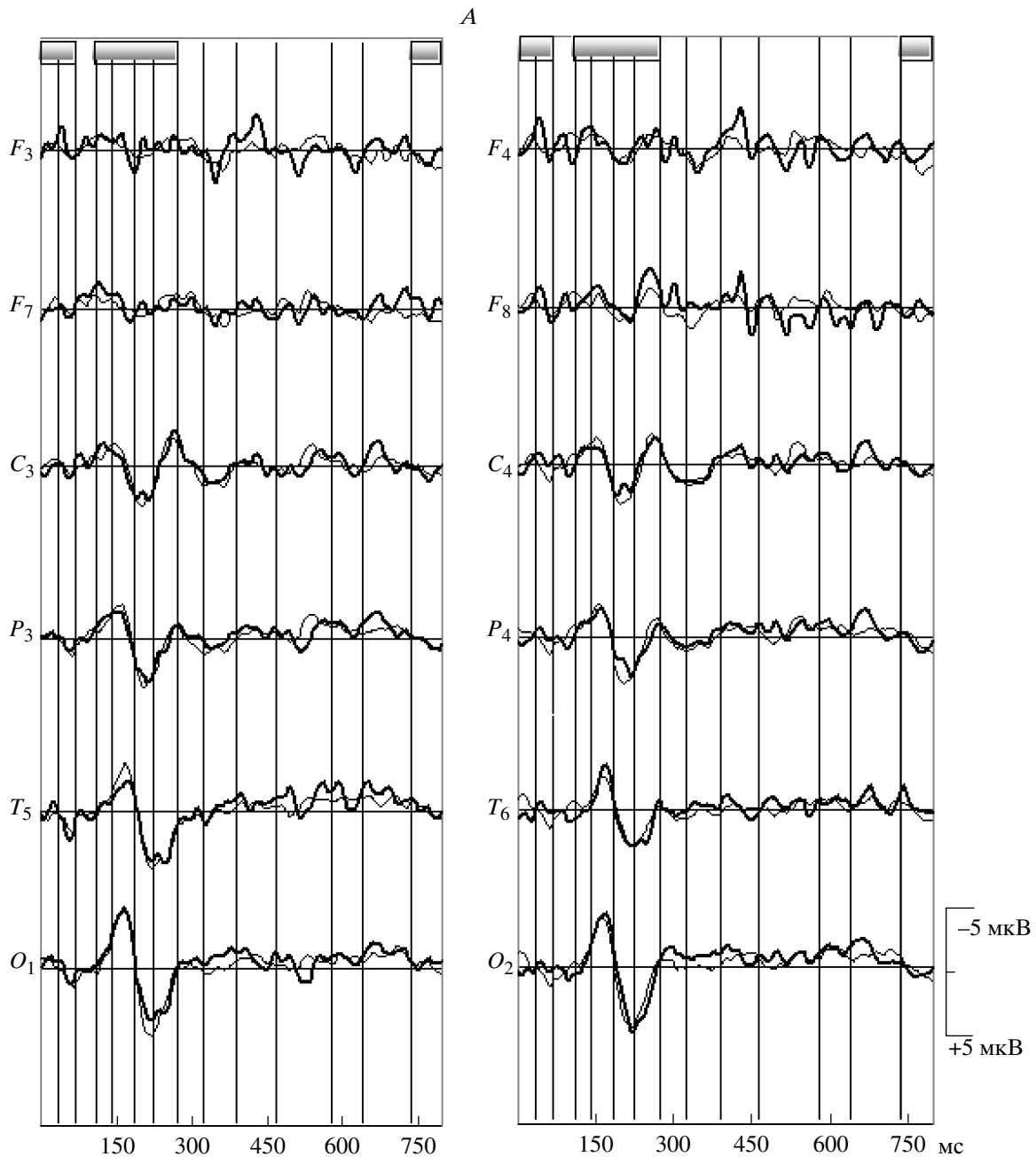


Рис. 2. ССП при опознании глобальных (А) и локальных (Б) признаков иерархической фигуры в ситуации стабильного опознания и при смене стратегии.

Тонкая линия – ССП при повторяющемся уровне опознания. Толстая линия – при переходе от опознания локальных признаков к опознанию глобальных, на Б – при переходе от опознания глобальных признаков к опознанию локальных. Вертикальные линии – границы временных интервалов, выделенных методом Главных компонент. Позитивность – отклонение вниз. Светло-серый прямоугольник – достоверные влияния фактора “ситуация”, выявленные методом дисперсионного анализа (*ANOVA-Repeated measure*).

го анализа показали, что различия связанные с изменением стратегии опознания, наблюдаются как на ранних, так и на поздних стадиях анализа информации. В ССП при стабильном опознании виден ранний позитивный компонент, а при переключении внимания наблюдается возникновение

ранней негативности, распространенной по всей коре (1–33 мс: ситуация × полушарие × регион $F(1;13) = 6.16$; $p = 0.028$; 34–70 мс: ситуация × стимул × полушарие $F(1; 13) = 4.97$; $p = 0.044$). Данные различия специфичны как для опознания глобальной, так и локальной информации. Одна-

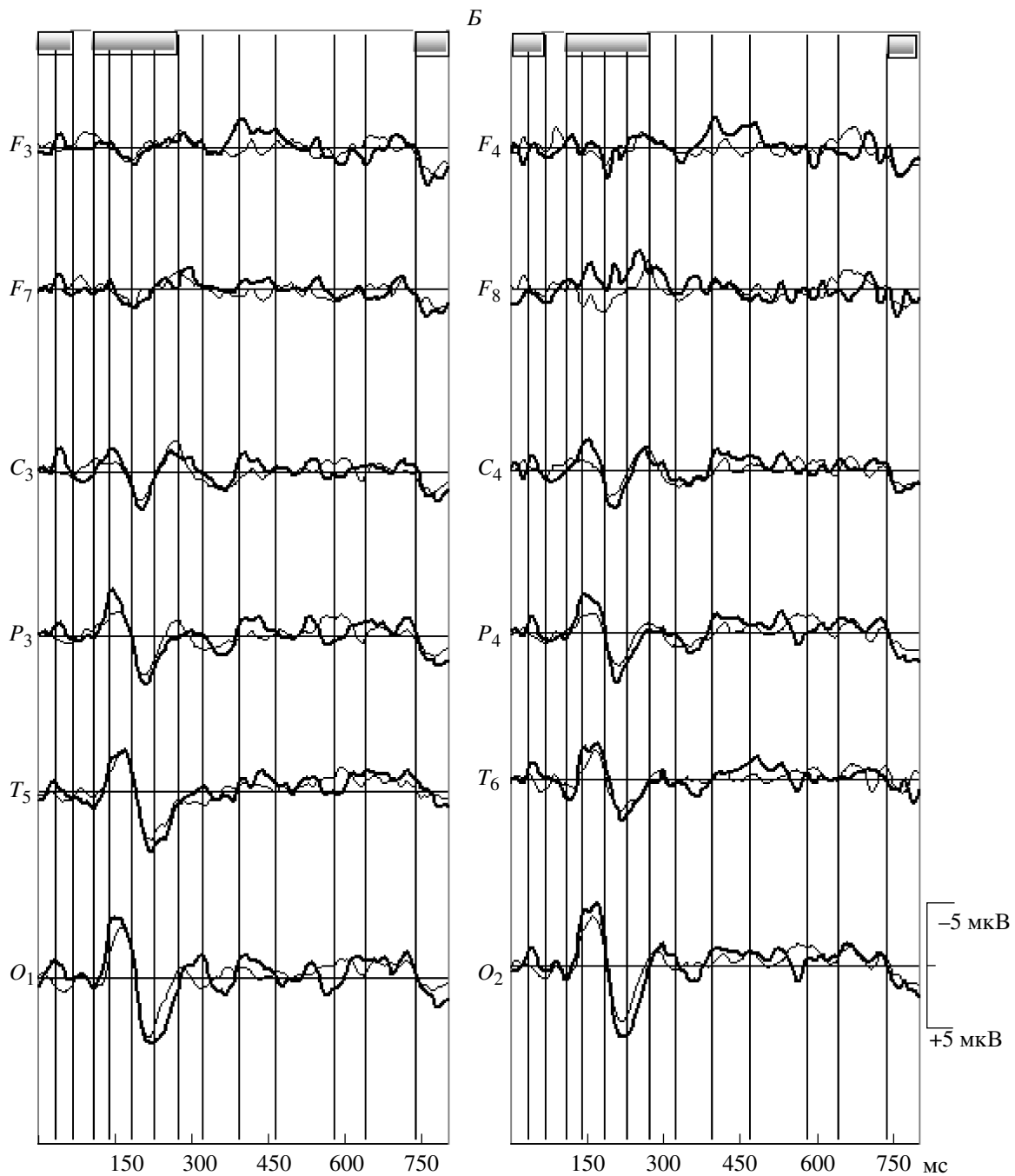


Рис. 2. Окончание

ко для последней они носят более выраженный характер. Фокс и Симпсон [7] рассматривают этот компонент как аналог ранней затылочной негативности $C1$. Авторы, отметившие его проявление во фронтальных структурах в ситуации модально-специфического внимания, и высказали предположение о возможном наличии независимого быстрого входа во фронтальную кору, подготавливающего в ситуации внимания этот высший контролирующий центр к последующим

зрительным операциям. Такое предположение представляется вероятным и для объяснения выявленного нами феномена наличия $C1$, распространенного по всей коре, отражающего поверхностную негативацию на иерархические стимулы в ситуации переключения внимания с одного уровня опознания на другой. Сама же ситуация внимания в настоящем исследовании задавалась так же, как в исследовании Фокса и Симпсона предупреждающим стимулом. Различия получе-

ны также для компонента P1 (ситуация × регион $F(1;13) = 4.699; p = 0.049$), который в каудальных областях имеет большую амплитуду при изменении стратегии опознания. Согласно литературным данным, компонент P100 связан с селективным вниманием. Работы, аналогичные нашей [4, 5], показали, что различия между повторяющимся уровнем опознания и его сменой связаны с компонентом P100, регистрирующимся в затылочной области. На более поздних стадиях анализа информации различия, связанные с изменением уровня опознания, выявлены для комплекса N150–P200–N200. Для компонента N150 получены достоверные взаимодействия факторов ситуация × регион ($F(1;13) = 11.69; p = 0.005$), ситуация × стимул × полушарие × отведение ($F(2;26) = 4.13; p = 0.026$) и ситуация × стимул × регион × отведение ($F(2;21) = 4.69; p = 0.027$); для P200 – ситуация × полушарие ($F(1;13) = 7.84; p = 0.015$), ситуация × полушарие × отведение ($F(2;12) = 7.75; p = 0.007$), ситуация × полушарие × регион × отведение ($F(2;12) = 6.14; p = 0.015$) для N200 – ситуация × полушарие × отведение ($F(2;12) = 15.51; p = 0.0001$). Для поздних фаз ответа различия получены только в интервале 734–800 мс (ситуация × регион × отведение $F(2;12) = 4.12; p = 0.044$). Компонент N150, особенно при опознании локального уровня иерархического изображения, имеет большую амплитуду при переключении, по сравнению со стабильной ситуацией. Известно, что компонент N1, связан с привлечением внимания к пространственным характеристикам стимула [8]. Большая сложность опознания именно локального уровня, при переключении внимания, была показана в работе Хана и соавт. [5]. Меньшие амплитудные значения этого компонента при стабильном опознании соответствуют описанному механизму автоматического облегчения анализа стимула (automatic gating mechanism) [9]. Позитивность P200 при опознании элементов, из которых состоит фигура (локальный уровень информации), имеет большую амплитуду при переключении внимания с глобального уровня на локальный. При опознании фигуры целиком (глобальный уровень) амплитуда этого компонента больше в случае стабильного внимания. Компонент N300 в затылочной и задневисочной области имеет большую амплитуду при переключении на другой уровень опознания, а в теменной области – если ситуация стабильна, причем независимо от того глобальный или локальный уровни иерархической фигуры опознаются. Отмеченная нами его наибольшая чувствительность к переключению на другой уровень опознания в каудальных областях совпадает с описанными в литературе данными [4, 5]. Для изучения эффекта переключения стратегии опознания для глобальных и локальных признаков изображения был проведен дисперсионный анализ отдельно для пар затылочных, задневисочных, те-

менных, центральных, лобно-височных и лобных областей (таблица). При опознании глобального уровня иерархического изображения (таблица, А) наиболее ранние различия (34–70 мс) наблюдаются в теменных и центральных областях, и связаны с возникновением в ситуации стабильного внимания в ССП позитивной волны. В ответ на переключение внимания с одного уровня на другой регистрируется ранняя негативность, возможно являющаяся аналогом каудальной С1, связанная с повышением уровня активации. В теменных областях выявлены достоверные различия компонента P200 (184–225 мс), имеющего большую амплитуду в ситуации стабильного опознания. Различия имеют более выраженный характер в правом полушарии. В задневисочных областях позитивность P200 развивается позднее, чем в теменных (226–273 мс), и имеет большую амплитуду при стабильном опознании в левом полушарии. Лобно-височные области, по данным ANOVA, включаются в опознание фрагментарных изображений позднее каудальных (226–273 и 274–324 мс), что выражается в развитии в правом полушарии негативности N300 при переключении на другой уровень опознания. На более поздних этапах анализа информации в интервале (463–579 мс), различия отмечены в лобных, центральных и теменных областях. В ССП при смене стратегии наблюдается позитивация потенциала, тогда как при стабильном опознании регистрируется небольшая поздняя негативная волна. На самых поздних временных интервалах (641–734 и 735–800 мс) различия опять связаны с ССП лобно-височных и лобных областей, в которых в ответ на переключение внимания продолжают развиваться поздние негативные волны.

При сопоставлении параметров ССП при опознании локального уровня иерархической фигуры (таблица, Б) для ситуации стабильного опознания и смены стратегии, по данным ANOVA, не выявлены достоверные различия ранних компонентов, характерные для опознания глобального уровня. В затылочных областях компонент P200 (226–273 мс) имеет большую амплитуду в ответ на переключение стратегии опознания. В лобных областях различия связаны с компонентом N400 (388–462 и 463–579 мс), который имеет большую амплитуду при переключении. Для лобных областей различия получены так же для временного интервала 735–800 мс.

Из представленной таблицы видно, что в нашем исследовании эффект смены стратегии более выражен при опознании глобальных признаков, чем локальных, что объясняется характером используемой иерархической фигуры. Согласно литературным данным, трудности опознания локальных или глобальных признаков изображения в значительной мере определяются соотношением размеров целостной фигуры и ее элементов. Увеличение

Достоверные изменения параметров связанных с событием потенциалов (ССП) при смене стратегии опознания

Отведения	Компоненты ССП												
	C1	P100		N150	P200		N300	ППК	N400		Медленные компоненты		
	34–70 мс	71–108 мс	109–138 мс	139–183 мс	184–225 мс	226–273 мс	274–324 мс	325–387 мс	388–462 мс	463–579 мс	580–640 мс	641–734 мс	735–800 мс
А													
лобные													$F(1; 3) = 5.93$ $P = 0.03$
лобно-височные						$F(1; 3) = 8.61$ $P = 0.012$	$F(1; 3) = 5.66$ $P = 0.033$						
центральные	$F(1; 3) = 5.71$ $P = 0.033$									$F(1; 3) = 5.30$ $P = 0.038$			
теменные	$F(1; 3) = 5.59$ $P = 0.034$				$F(1; 3) = 6.27$ $P = 0.027$								
задневисочные						$F(1; 3) = 4.53$ $P = 0.05$							
затылочные													
Б													
лобные									$F(1; 3) = 21.1$ $P = 0.001$	$F(1; 3) = 6.27$ $P = 0.02$			$F(1; 3) = 5.93$ $P = 0.03$
лобно-височные													
центральные													
теменные													
задневисочные													
затылочные						$F(1; 3) = 4.35$ $P = 0.05$							

Примечания. А – опознание глобального уровня; Б – опознание локального уровня изображения.

Жирный шрифт – изолированное влияние фактора “ситуация”; Обычный шрифт – взаимодействие факторов “ситуация × полушарие”.

ППК – поздний позитивный комплекс.

размеров элементов изображения ведет к облегчению выделения локальной информации, по сравнению с глобальной [10, 11]. Структура используемой в настоящей работе иерархической фигуры, в которой отдельные элементы изображения были достаточно большого размера и были расположены более редко (см. рис. 1), вызвала облегченное опознание локальных признаков и большие трудности опознания целостного изображения.

ВЫВОДЫ

1. Смена стратегии зрительного опознания приводит к существенным изменениям параметров ССП как в каудальных, так и в передне-центральных областях коры.

2. Активационный эффект переключения с одной стратегии на другую отражается в увеличении амплитуды ранних компонентов ССП ($C1$, $P100$, $N150$) каудальных областей коры.

3. Изменения более поздних компонентов ССП, связанных с обработкой значимых признаков информации при смене стратегии опознания, наблюдаются в лобных областях во временном интервале 388–579 мс и выражаются в увеличении амплитуды компонентов $N300$ и $N400$.

Работа выполнена при поддержке РГНФ (грант № 07-06-00374а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heinze H.J., Hinrichs H., Scholz M. et al. Neural mechanisms of global and local processing. A combined PET and ERP study // *J. Cogn. Neurosci.* 1998. V. 10. P. 485.
 2. Yamaguchi S., Yamagata S., Kobayashi S. Cerebral asymmetry of the 'top-down' allocation of attention to global and local features // *J. Neurosci.* 2000. V. 20. P. 1.
 3. Volberg G., Hubner R. On the role of response conflicts and stimulus position for hemispheric difference in global / local processing: an ERP study // *Neuropsychologia.* 2004. V. 42. P. 1805.
 4. Han S., He X., Woods D.L. Hierarchical processing and level-repetition effect as indexed by early brain potentials // *Psychophysiology.* 2000. V. 37. № 6. P. 817.
 5. Schatz J., Erlandson F. Level-repetition effects in hierarchical stimulus processing: timing and location of cortical activity // *Int. J. Psychophysiol.* 2003. V. 47. № 3. P. 255.
 6. Donchin E. A Multivariate Approach to the Analysis of Average Evoked Potentials // *IFFE Transactions on Bio-Medical Engineering.* 1966. V. 13. № 3. P. 132.
 7. Foxe J.J., Simpson G.V. Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining "early" visual processing // *Exp. Brain. Res.* 2002. V. 142. P. 139.
 8. Clark V., Hillyard S. Spatial selective attention affects early extrastriate but not striate components of the visual evoked potential // *J. Cognit. Neurosci.* 1996. V. 8. P. 387.
 9. Singnal A., Doerfling P., Fowler B., Effects of a dual task on the N100–P200 complex and the early and late Nd attention waveforms // *Psychophysiology.* 2002. V. 39. P. 236.
 10. Lamb M.R., Robertson L.C. The processing of hierarchical stimuli: Effect of retinal locus, locational uncertainty, and stimulus identity // *Perception & Psychophysics.* 1988. V. 44. P. 172.
- Sasaki Y., Hadjikhani N., Fischl B. et al. Local and global attention are mapped retinotopically in human occipital cortex // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2001. V. 98. P. 2077.