

УДК 612.821

## МОЗГОВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОПОЗНАНИЯ ФРАГМЕНТАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ У ЛИЦ С РАЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ ЗАДАЧИ

© 2013 г. Н. Е. Петренко, Д. А. Фарбер

ФГНУ Институт возрастной физиологии РАО, Москва

Поступила в редакцию 25.02.2013 г.

У взрослых испытуемых анализировались поведенческие и нейрофизиологические показатели при опознании неполных изображений, предъявляемых последовательно от низкого уровня фрагментации до полного изображения. Выделены две группы с разной эффективностью опознания. Группа 1 характеризовалась незначительным числом ошибок. Группа 2 характеризовалась значимо большим числом ошибок; при этом у испытуемых этой группы были меньше время реакции и ниже порог опознания (уровень фрагментации, на котором опознается объект). При анализе связанных с событием потенциалов (ССП) выявлена связь эффективности опознания и степени участия в этом процессе фронтальных и каудальных отделов коры. У испытуемых 2 группы в отличие от группы 1 не отмечено значимое влияние опознания на ранние и поздние компоненты ССП дорсолатеральной префронтальной коры; в каудальных отделах коры наблюдается увеличение компонентов  $P1$  и  $P2$ , отражающих обработку модально-специфической информации. Полученные данные рассматриваются как подтверждение гипотезы о роли дорсолатеральной префронтальной коры в обеспечении эффективности опознания фрагментарных изображений.

**Ключевые слова:** опознание фрагментарных изображений, связанные с событием потенциалы, префронтальная кора, эффективность опознания.

DOI: 10.7868/S0131164613040103

В многочисленных нейровизуализационных и электрофизиологических исследованиях установлена сложная мозговая организация зрительного опознания. Показано, что этот процесс реализуется при участии локальных и распределенных нервных сетей, объединяющих проекционные корковые поля, экстрастриарную кору, префронтальную кору и лимбические структуры мозга [1–16]. Отсюда следует, что возможность опознания объектов разной сложности определяется степенью и характером участия как модально-специфических структур в анализе и обработке зрительной информации, так и регуляторных систем, модулирующих функциональную активность различных корковых зон. Важнейшая роль в когнитивных процессах, в том числе и зрительном опознании, принадлежит префронтальной коре и ее управляющим влияниям, направленно воздействующим на активность областей коры, участвующих в выполнении когнитивных задач [14–19].

Значимость управляющих механизмов (*executive functions*) в опознании фрагментарных изображений была показана в онтогенетических исследованиях. Отмечено существенное возрастание эффективности опознания по мере морфофунк-

ционального созревания префронтальной коры и ее возрастающего участия в когнитивных процессах [20–24]. В наших исследованиях при одновременном анализе поведенческих и электрофизиологических (связанные с событием потенциалы – ССП) показателей опознания фрагментарных изображений у детей от 5 до 10 лет было показано, что наиболее значительное улучшение эффективности опознания происходит в период от 5–6 к 7–8 годам [24]. Установлено, что существенному изменению эффективности опознания фрагментарных изображений у детей соответствует увеличение степени участия в этом процессе префронтальной коры и ее нисходящих влияний на корковые зоны вентральной зрительной системы, с которой непосредственно связан процесс зрительного опознания [1–4, 10, 11].

Известно, что у взрослых людей при сформированной системе зрительного восприятия также наблюдаются индивидуальные различия эффективности зрительного опознания, которые могут быть обусловлены разными причинами, такими как организация направленного внимания [25–27], индивидуальная стратегия деятельности [28–32], личностные характеристики и эмоциональное со-

стояние [33, 34]. Нейрофизиологические механизмы, определяющие индивидуальную эффективность опознания фрагментарных изображений, практически не изучены. Для выяснения причин и механизмов, лежащих в основе индивидуальных особенностей опознания, нами был проведен комплексный анализ поведенческих и нейрофизиологических показателей эффективности опознания фрагментарных изображений у взрослых испытуемых, результаты которого изложены в настоящей статье.

## МЕТОДИКА

В исследовании участвовали 38 взрослых испытуемых (средний возраст  $24.01 \pm 0.05$  лет), имеющих нормальное зрение.

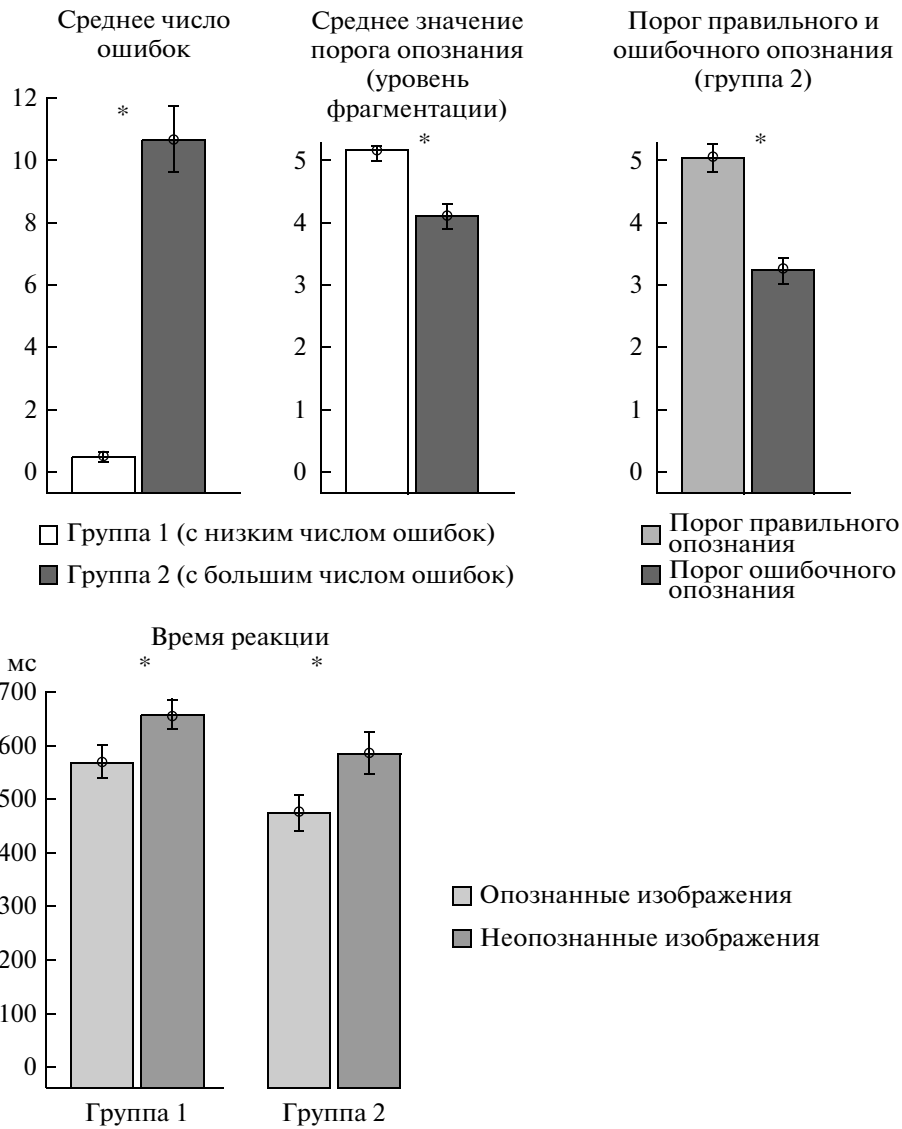
Испытуемым предъявлялось 16 знакомых изображений предметов (стул, утюг, очки и др.) и животных (слон, верблюд, лошадь) из стандартного набора [35]. Каждое изображение без их предварительного показа предъявлялось в 5 фрагментарных уровнях (2, 4, 5, 7 и 8 уровни) от трудно опознаваемого фрагментарного уровня (2 уровень) до полного изображения (8 уровень). Для каждого изображения показывались все 5 уровней фрагментации. Время предъявления стимулов – 750 мс. Модель эксперимента изложена ранее [16, 24]. Анализировалась точность опознания по числу ошибок, порог опознания – по уровню фрагментации, на котором опознается изображение, и время реакции на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения. У этих же испытуемых анализировались связанные с событием потенциалы (ССП). Проводилась непрерывная регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) по международной системе 10–20 от затылочных ( $O_1, O_2$ ), теменных ( $P_3, P_4$ ), передневисочных ( $T_3, T_4$ ), задневисочных ( $T_5, T_6$ ), центральных ( $C_3, C_4$ ) и лобных ( $F_3, F_4, F_7, F_8, FC_3, FC_4, FT_7, FT_8$ ) областей коры. Для анализа SSP использовались безартефактные отрезки ЭЭГ. Усреднялись следующие классы SSP: SSP при отсутствии опознания – те уровни фрагментации изображения, на которые испытуемый отвечал “Не знаю”, и SSP при опознании – те уровни фрагментации изображения, на которых объект был правильно опознан. Для каждого класса SSP усреднялись 16  $\pm$  2 отрезков ЭЭГ. Усредненные по классам SSP отдельных испытуемых использовались для группового усреднения и анализа с помощью метода главных компонент (*Principal component analysis*). Суммарная амплитуда SSP на временных отрезках, соответствующих выделенным главным компонентам, обрабатывалась с помощью дисперсионного анализа (*ANOVA Repeated measure*). Использовались следующие факторы: “Опознание” (опознанные, неопознанные); “Полушарие” (левое, правое); “Отведения” (9 пар отведений). Дисперсионный анализ проводился как

для всех регистрируемых отведений (9 пар), так и отдельно для лобно-центральных ( $F_3, F_7, FC_3, FT_7, C_3, T_3, F_4, F_8, FC_4, FT_8, C_4, T_4$ ) и каудальных отведений ( $O_1, P_3, T_5, O_2, P_4, T_6$ ). Достоверность различий суммарных амплитуд SSP компонентов SSP, соответствующих тем временным интервалам, в которых было выявлено значимое влияние фактора “Опознание” и его взаимодействие с факторами “Полушарие” и “Отведение”, оценивалась с использованием непараметрического критерия Вилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Поведенческие показатели опознания фрагментарных изображений.** Анализ поведенческих показателей опознания фрагментарных изображений позволил выявить существенные индивидуальные различия в эффективности выполнения задания (рис. 1). По числу ошибок опознания были выделены две группы испытуемых. Группа 1 ( $n = 13$ : 6 мужчин, 7 женщин; средний возраст  $23.67 \pm 0.07$  лет) характеризовалась практически отсутствием ошибок: среднее количество ошибок составляло  $0.46 \pm 0.14$ . В группе 2 ( $n = 13$ : 7 мужчин, 6 женщин; средний возраст  $24.17 \pm 0.15$  лет), количество ошибок составляло  $10.61 \pm 0.88$ . Различия между группами по числу ошибок высоко значимы ( $F(1; 20) = 40.67$ ;  $p = 0.000$ ). Среднее значение порога (уровня фрагментации) опознания в группе 1 составляет  $5.13 \pm 0.12$  и значимо ( $Z = -3.41$ ;  $p = 0.01$ ) отличается от порога опознания в группе 2 –  $4.18 \pm 0.20$ . При этом порог ошибочного опознания у испытуемых группы 2 составляет  $3.34 \pm 0.21$  и значимо ( $Z = -4.41$ ;  $p = 0.001$ ) меньше порога правильного опознания –  $5.03 \pm 0.19$ . Различия между опознанными и неопознанными фрагментарными изображениями получены и по времени реакции. Для группы 1 время реакции на неопознанные изображения составляет  $664.66 \pm 27.29$  мс и значимо отличаются от опознанных –  $547.51 \pm 29.19$  мс ( $Z = -3.18$ ;  $p = 0.01$ ). В группе 2 время реакции на правильно опознанные изображения составляет  $488.02 \pm 33.14$  мс и значимо меньше времени реакции на неопознанные фрагментарные изображения –  $603.89 \pm 36.91$  мс ( $Z = -3.179$ ;  $p = 0.001$ ). Межгрупповые различия по времени реакции выявлены только на уровне тенденции для правильно опознанных изображений ( $Z = -1.781$ ;  $p = 0.07$ ) и отражаются в уменьшении времени реакции у испытуемых группы 2.

**Нейрофизиологический анализ опознания фрагментарных изображений.** Результаты дисперсионного анализа, представленные в табл. 1, выявили значимое влияние фактора “Группа” и его взаимодействия с факторами “Опознание”, “Полушарие”, “Отведение” на суммарную амплитуду SSP, как на начальных этапах анализа информации, так и во временных интервалах, соответствующих бо-



**Рис. 1.** Поведенческие показатели опознания фрагментарных изображений у взрослых испытуемых с разной эффективностью деятельности.

более поздним когнитивным операциям, что свидетельствует об определенных отличиях в мозговой организации процесса опознания в группах, допускающих и не допускающих ошибки.

Как видно из табл. 1, для обеих групп изолированное влияние фактора “Опознание”, выявлено во временном интервале, соответствующем характерному для процесса опознания компоненту *N250-400*, и во временном интервале, соответствующем позднему позитивному комплексу (*LPC*).

Взаимодействие фактора “Опознание” с факторами “Полушарие” и “Отведение” проявляется и на более ранних временных интервалах, соответствующих обработке модально-специфической информации.

В связи с возможными различиями влияния фактора “Опознание” и его взаимодействия с другими факторами на передне-центральный и каудальный отделы коры [16, 36, 37], дисперсионный анализ для 1 и 2 группы был осуществлен отдельно для передне-центральных и каудальных отделов коры (таблицы 2 и 3).

Значимое влияние фактора “Опознание” в передне-центральных областях (табл. 2) у обеих групп испытуемых проявляется в одних и тех же временных интервалах. При этом наблюдаются ряд существенных отличий взаимодействующих факторов “Опознание”, “Отведение”, “Полушарие”.

Эти различия отчетливо выявлены при анализе параметров ССП методом парного сравнения.

**Таблица 1.** Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП всех регистрируемых отведений на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у групп, допускающих и не допускающих ошибки

	40–80 мс <i>fac 11</i>	80–150 мс <i>fac 4</i>	150–200 мс <i>fac 8</i>	200–250 мс <i>fac 9</i>	250–315 мс <i>fac 6</i>	315–390 мс <i>fac 5</i>	390–490 мс <i>fac 3</i>	490–590 мс <i>fac 1</i>	590–690 мс <i>fac 2</i>	690–750 мс <i>fac 7</i>
Группа	$F(1;24) = 4.398$ $P = 0.04$									$F(1;24) = 3.646$ $P = 0.055$
Опознание					$F(2;46) = 3.469$ $P = 0.041$				$F(2;23) = 3.422$ $P = 0.05$	$F(2;23) = 6.439$ $P = 0.005$
Опознание × Полушарие	$F(2;23) = 4.876$ $P = 0.02$									
Опознание × Ответение		$F(1;14) = 5.722$ $P = 0.033$			$F(7;164) = 2.218$ $P = 0.036$	$F(1;25) = 5.298$ $P = 0.03$	$F(5;112) = 3.197$ $P = 0.012$			$F(9;16) = 5.261$ $P = 0.01$
Опознание × Ответение × Группа			$F(2;23) = 5.755$ $P = 0.025$						$F(16;384) = 1.961$ $P = 0.015$	
Опознание × Ответение × Полушарие				$F(16;384) = 1.689$ $P = 0.046$				$F(1;25) = 4.732$ $P = 0.04$	$F(1;25) = 4.790$ $P = 0.039$	
Опознание × Ответение × Полушарие × Группа	$F(1;25) = 7.290$ $P = 0.01$			$F(1;25) = 4.491$ $P = 0.045$		$F(9;16) = 3.774$ $P = 0.024$				$F(12;303) = 1.776$ $P = 0.047$

**Таблица 2.** Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП передне-центральных отведений на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у испытуемых группы 1 (А) и группы 2 (Б)

	40–80 мс <i>fac 11</i>	80–150 мс <i>fac 4</i>	150–200 мс <i>fac 8</i>	200–250 мс <i>fac 9</i>	250–315 мс <i>fac 6</i>	315–390 мс <i>fac 5</i>	390–490 мс <i>fac 3</i>	490–590 мс <i>fac 1</i>	590–690 мс <i>fac 2</i>	690–750 мс <i>fac 7</i>
Опознание					$F(1;12) = 6.481$ $P = 0.026$					$F(1;12) = 6.930$ $P = 0.022$
Опознание × Отведение			$F(1;12) = 5.77$ $P = 0.033$				$F(1;12) = 5.781$ $P = 0.031$			
Опознание × Отведение × Полушарие	$F(1;12) = 5.264$ $P = 0.041$			$F(1;12) = 5.458$ $P = 0.038$	$F(1;12) = 4.663$ $P = 0.052$				$F(3;10) = 5.95$ $P = 0.013$	$F(3;33) = 4.346$ $P = 0.013$
	40–80 мс <i>fac 11</i>	80–150 мс <i>fac 4</i>	150–200 мс <i>fac 8</i>	200–250 мс <i>fac 9</i>	250–315 мс <i>fac 6</i>	315–390 мс <i>fac 5</i>	390–490 мс <i>fac 3</i>	490–590 мс <i>fac 1</i>	590–690 мс <i>fac 2</i>	690–750 мс <i>fac 7</i>
Опознание					$F(1;12) = 5.776$ $P = 0.033$					$F(1;12) = 6.831$ $P = 0.023$
Опознание × Отведение × Полушарие				$F(1;12) = 4.965$ $P = 0.046$	$F(3;10) = 6.670$ $P = 0.009$	$F(1;12) = 5.751$ $P = 0.034$			$F(1;12) = 5.59$ $P = 0.036$	

Как видно на рис. 2, А, в передне-центральных отделах коры группы 1 при опознании значимо возрастает амплитуда компонентов ССП:  $P100$  ( $F_4 - Z = -1.963$ ;  $p = 0.051$ ;  $F_8 - Z = -2.331$ ;  $p = 0.02$ ),  $P200$  ( $F_3 - Z = -3.270$ ;  $p = 0.001$ ;  $FC_3 - Z = -2.386$ ;  $p = 0.017$ ;  $FC_4 - Z = -2.559$ ;  $p = 0.01$ ;  $FT_7 - Z = -2.647$ ;  $p = 0.008$ ;  $C_4 - Z = -2.255$ ;  $p = 0.024$ ;  $T_3 - Z = -2.313$ ;  $p = 0.021$ ),  $N250-300$  ( $F_3 - Z = -2.024$ ;  $p = 0.043$ ;  $F_4 - Z = -2.241$ ;  $p = 0.025$ ;  $F_7 - Z = -2.110$ ;  $p = 0.035$ ;  $FC_3 - Z = -2.327$ ;  $p = 0.02$ ;  $FT_8 - Z = -2.835$ ;  $p = 0.005$ ),  $P350-400$  ( $F_3 - Z = -1.992$ ;  $p = 0.046$ ) и поздней позитивности ( $F_4 - Z = -2.095$ ;  $p = 0.036$ ).

В отличие от первой группы, в группе 2 (рис. 2, Б) при той же направленности изменений амплитуды основных компонентов ССП на опознанные стимулы, эти различия не достигают уровня значимости в дорсолатеральной префронтальной коре (отведения  $F_3-F_4$ ). В то же время в других передне-центральных зонах коры выявлено значимое увеличение амплитуды компонентов ССП:  $P100$  ( $F_8$ ;  $Z = -1.992$ ;  $p = 0.046$ ;  $FC_3$ ;  $Z = -1.992$ ;  $p = 0.046$ ;  $FT_8$ ;  $Z = -2.341$ ;  $p = 0.019$ ),  $P200$  ( $FC_4$ ;  $Z = -2.433$ ;  $p = 0.016$ ;  $C_3$ ;  $Z = -2.691$ ;  $p = 0.007$ ;  $T_3$ ;  $Z = -2.201$ ;  $p = 0.028$ ) и  $N250-300$  ( $F_8$ ;  $Z = -2.110$ ;  $p = 0.035$ ;  $FC_3$ ;  $Z = -2.202$ ;  $p = 0.028$ ;  $FT_7$ ;  $Z = -2.480$ ;  $p = 0.013$ ;  $FT_8$ ;  $Z = -2.411$ ;  $p = 0.019$ ;  $T_4$ ;  $Z = -1.992$ ;  $p = 0.046$ ).

Выраженные различия между 1 и 2 группами наблюдаются в каудальных отделах. Дисперсионный анализ, проведенный для каудальных отведений группы 1 (табл. 3, А), показал, что влияние фактора “Опознание” и его взаимодействие с фактором “Отведение” значимо во временных интервалах, соответствующих сенсорному компоненту  $P100$ , и во временном интервале, соответствующем негативным компонентам  $N300$  и  $N500$ , связанным с опознанием. В группе 2 (табл. 3, Б) влияние фактора “Опознание” и его взаимодействие с факторами “Отведение” и “Полушарие” на ССП каудальных отделов значительно более выражено.

При парном сравнении амплитуды компонентов ССП на опознанные и неопознанные стимулы у испытуемых этой группы (рис. 2, А) показано, что при опознании значимо возрастает амплитуда компонента  $P100$  в левой затылочной области ( $O_1 - Z = -1.963$ ;  $p = 0.053$ ), негативного комплекса  $N300-500$  в обоих затылочных отведениях и теменном отведении правого полушария ( $O_1 - Z = -3.111$ ;  $p = 0.002$ ;  $O_2 - Z = -3.169$ ;  $p = 0.001$ ;  $P_4 - Z = -2.516$ ;  $p = 0.012$ ).

У испытуемых группы 2 (рис. 2, Б) эффект опознания отмечается практически во всех каудальных отделах коры. В затылочных областях левого полушария при опознании увеличивается ампли-

**Таблица 3.** Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП каудальных отведений на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у группы 1 (А) и группы 2 (Б)

	40–80 мс <i>fac</i> 11	80–150 мс <i>fac</i> 4	150–200 мс <i>fac</i> 8	200–250 мс <i>fac</i> 9	250–315 мс <i>fac</i> 6	315–390 мс <i>fac</i> 5	390–490 мс <i>fac</i> 3	490–590 мс <i>fac</i> 1	590–690 мс <i>fac</i> 2	690–750 мс <i>fac</i> 7
Опознание							$F(1;12) = 4.654$ $P = 0.053$			
Опознание × Отведение		$F(2;11) = 3.880$ $P = 0.053$								
Опознание	40–80 мс <i>fac</i> 11	80–150 мс <i>fac</i> 4	150–200 мс <i>fac</i> 8	200–250 мс <i>fac</i> 9	250–315 мс <i>fac</i> 6	315–390 мс <i>fac</i> 5	390–490 мс <i>fac</i> 3	490–590 мс <i>fac</i> 1	590–690 мс <i>fac</i> 2	690–750 мс <i>fac</i> 7
Опознание							$F(1;12) = 23.37$ $P = 0.000$			
Опознание × Отведение			$F(2;20) = 4.000$ $P = 0.036$	$F(2;11) = 6.789$ $P = 0.012$						
Опознание × Отведение × Полушарие	$F(2;23) = 3.39$ $P = 0.049$	$F(1;12) = 4.179$ $P = 0.034$					$F(2;23) = 4.36$ $P = 0.026$	$F(2;11) = 6.367$ $P = 0.015$	$F(2;11) = 8.920$ $P = 0.005$	

туда позитивных компонентов основного комплекса  $P100$  ( $O_1$ :  $Z = -1.991$ ;  $p = 0.046$ ) и  $P200$  ( $O_1$ :  $Z = -2.201$ ;  $p = 0.028$ ). Увеличение негативного комплекса  $N300-500$  достигает уровня значимости практически для всех каудальных областей ( $O_1$ :  $Z = -2.830$ ;  $p = 0.005$ ;  $O_2$ :  $Z = -2.740$ ;  $p = 0.006$ ;  $P_4$ :  $Z = -2.970$ ;  $p = 0.003$ ;  $T_5$ :  $Z = -2.062$ ;  $p = 0.039$ ;  $T_6$ :  $Z = -2.691$ ;  $p = 0.007$ ). У испытуемых этой группы в каудальных отделах также наблюдается уменьшение сенсорно-специфического компонента  $M100$  на опознанные изображения, достигающее значимого уровня в правой теменной области ( $P_4$ :  $Z = -1.991$ ;  $p = 0.046$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование выявило существенные индивидуальные различия в эффективности опознания фрагментарных изображений, на основе которого выделены две группы испытуемых: испытуемые, практически не ошибающиеся (группа 1), и испытуемые с большим числом ошибок опознания (группа 2). Более низкий порог опознания (меньшее число фрагментов, используемых для опознания) и меньшее время реакции в группе 2 свидетельствуют об определенной поспешности при опознании изображений. Как вид-

но при сопоставлении порога правильного и ошибочного опознания, в данной группе последнее происходит при наиболее низком числе фрагментов. Принятие решений при недостаточном числе фрагментов предъявляемого изображения приводит, очевидно, к значительному числу ошибок у испытуемых этой группы и к соответственно более низкой эффективности опознания фрагментарных изображений.

В нейрофизиологических исследованиях у испытуемых с разной эффективностью опознания выявлены различия в степени и характере вовлечения корковых зон в опознание фрагментарных изображений. Эти различия проявляются в отсутствии значимого влияния опознания на ССП дорсолатеральной префронтальной коры у испытуемых с низкой эффективностью деятельности (группа 2), при его наличии у испытуемых группы 1, во временных интервалах, соответствующих как обработке сенсорной информации, так и осуществлению когнитивных операций. Связь эффективности опознания фрагментарных изображений с активацией префронтальной коры была нами показана при исследовании детей дошкольного и младшего школьного возраста. Установлено [24, 38, 39], что в 7–8 лет в сравнении с 5–6-летними детьми, наряду со значительным повы-

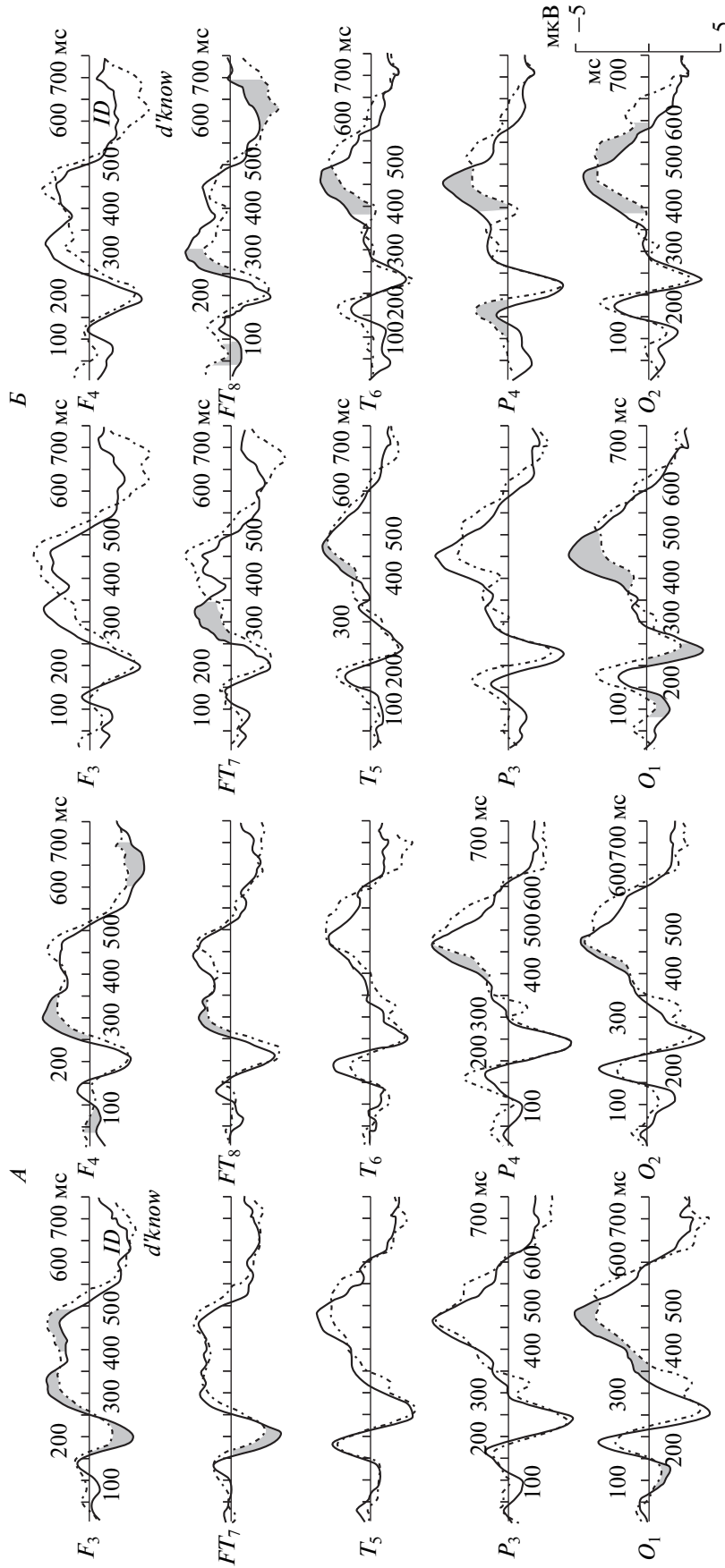


Рис. 2. Связанные с событием потенциалы (СВП) разных областей коры на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у группы 1 (А) и группы 2 (Б). Опознанные изображения – жирная линия, неопознанные – штриховая линия. Значимые ( $P < 0.05$ ) различия заштрихованы.

шением эффективности опознания (меньше число ошибок и снижение порога опознания), существенно возрастает степень участия префронтальной коры в опознании фрагментарных изображений. В этих корковых зонах наблюдаются значимые различия параметров начальных и поздних компонентов ССП на опознанные и неопознанные изображения. Индивидуальный анализ ССП у детей 5–6 лет выявил среди этого контингента группу, наиболее эффективно справляющуюся с заданием. В отличие от большинства детей этого возраста у испытуемых этой группы значимо увеличивается степень участия префронтальной коры в процессе опознания. Одновременно изменяется и характер вовлечения в этот процесс экстрастриарной коры (вентральная зрительная система) – в нижнетеменных и задневисочных отделах увеличивается амплитуда негативного компонента M250–400, в котором преимущественно отражается процесс опознания [5–7, 10, 11]. Эти данные позволили заключить, что эффективность опознания у детей определяется вовлечением префронтальной коры и ее нисходящими активирующими влияниями на вентральную зрительную систему [40].

У взрослых испытуемых в обеих группах наблюдается бóльшая, в сравнении с детьми, степень участия лобной коры в опознании фрагментарных изображений. При этом у лиц с неэффективным опознанием при общей направленности увеличения связанных с опознанием компонентов ССП во всех передне-центральных отведениях в дорсолатеральной префронтальной коре эти изменения не достигают уровня значимости. У этих испытуемых больше, чем у испытуемых с высокой эффективностью при опознании, выражено участие экстрастриарной коры в процессе опознания.

Можно полагать, что опознание фрагментарного изображения у испытуемых этой группы происходит в основном за счет интеграции сенсорных признаков объекта без выраженного участия в этом процессе префронтальной коры и ее нисходящих управляющих влияний [6].

Согласно гипотезе М. Бара [1, 3], префронтальная кора, получающая информацию по быстропроводящей дорзальной зрительной системе, играет важнейшую роль в извлечении следов и поиске возможного аналога объекта в памяти, информация о котором, поступая по нисходящим связям в корковые зоны вентральной зрительной системы, облегчают процесс опознания. В этой связи можно полагать, что у испытуемых второй группы меньшая степень вовлечения дорсолатеральной префронтальной коры и отсутствие информации о возможном объекте на основе извлечения следов, хранящихся в памяти, может существенно снизить эффективность опознания фрагментарных изображений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ поведенческих и нейрофизиологических показателей выявил связь эффективности зрительного опознания и функциональной организации мозга в процессе его осуществления. Группа испытуемых, практически безошибочно опознающих фрагментарные изображения, характеризуется высокой степенью участия в этом процессе передне-центральных отделов коры, включая дорсолатеральную префронтальную кору. При этом значимое увеличение амплитуды префронтальных ССП при опознании наблюдается как во временном интервале, соответствующем сенсорной обработке информации, так и при осуществлении когнитивных операций. У испытуемых, опознание которых характеризуется большим количеством ошибок, отсутствует значимое влияние опознания на ССП дорсолатеральной префронтальной коры. При этом значительно больше, чем у испытуемых с эффективным опознанием, в эти процессы вовлекаются каудальные корковые зоны. Предполагается, что меньшая степень участия префронтальной коры, при участии которой осуществляется поиск возможных аналогов объекта в памяти, является одной из причин низкой эффективности этого вида деятельности.

Работа выполнена при поддержке РГНФ (грант № 12-06-00052).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bar M. A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition // *J. Cogn. Neurosci.* 2003. V. 15. P. 600.
2. Bar M., Kassam K.S., Ghuman A.S. et al. Top-down facilitation of visual recognition // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2006. V. 103. № 2. P. 449.
3. Kveraga K., Boshyan J., Bar M. Magnocellular Projections as the Trigger of Top-Down Facilitation in Recognition // *J. Neurosci.* 2007. V. 27. № 48. P. 13232.
4. Kveraga K., Ghuman A.S., Kassam K.S. et al. Early onset of neural synchronization in the contextual associations network // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2011. V. 108. № 8. P. 3389.
5. Doniger G.M., Foxe J.J., Schroeder Ch.E. et al. Visual perceptual learning in human object recognition areas: A repetition priming study using high-density electrical mapping // *NeuroImage.* 2001. V. 13. P. 305.
6. Doniger G.M., Foxe J.J., Murray M.M. et al. Impaired visual object recognition and dorsal/ventral stream interaction in schizophrenia // *Arch. Gen. Psychiatry.* 2002. V. 59. P. 1011.
7. Gerlach C., Aaside C.T., Humphreys G.W. et al. Brain activity related to integrative processes in visual object recognition: bottom – up integration and the modulatory influence of stored knowledge // *Neuropsychologia.* 2002. V. 40. P. 1254.



8. *Grutzner Ch., Uhlhaas P.J., Genc E. et al.* Neuroelectromagnetic Correlates of Perceptual Closure Processes // *J. Neurosci.* 2010. V. 30. № 24. P. 8342.
9. *Luu P., Geyer A., Fidopiastis C. et al.* Reentrant processing in intuitive perception // *Plos ONE.* 2010. V. 5. № 13. P. e9523.
10. *Sehatpour P., Molholm S., Javitt D.C., Foxe J.J.* Spatiotemporal dynamics of human object recognition processing: An integrated high-density electrical mapping and functional imaging study of “closure” processes // *NeuroImage.* 2006. V. 29. P. 605.
11. *Sehatpour P., Molholm S., Schwartz T. et al.* A human intracranial study of long-range oscillatory coherence across a frontal-occipital-hippocampal brain network during visual object processing // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2008. V. 105. № 11. P. 4399.
12. *Stuss D.T., Picton T.W., Cerri A.M. et al.* Perceptual closure and object identification: Electrophysiological responses to incomplete pictures // *Brain and Cognition.* 1992. V. 19. P. 253.
13. *Viggiano M.R., Kutas M.* Overt and covert identification of fragmented objects inferred from performance and electrophysiological measures // *J. Experim. Psychology: General.* 2000. V. 129. № 1. P. 107.
14. *Костандов Э.А.* Влияние контекста на пластичность когнитивной установки // *Физиология человека.* 2010. Т. 36. № 5. С. 5.
15. *Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г.* Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе // *Физиология человека.* 2005. Т. 31. № 5. С. 5.
16. *Фарбер Д.А., Петренко Н.Е.* Оpozнание фрагментарных изображений и механизмы памяти // *Физиология человека.* 2008. Т. 34. № 1. С. 5.
17. *Лурия А.Р.* Основы нейропсихологии. М., 1973.
18. *Фарбер Д.А.* Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ // *Мир психологии.* 2003. № 2. С. 114.
19. *Baddeley A.D., Hitch G.J.* Working Memory: Past, Present and Future? // *The cognitive neuroscience of working memory* / Eds. N. Osaka, R.H. Logie, M. D'Esposito. Oxford: Oxford University Press, 2007. P. 1.
20. *Russo R., Parkin A.J.* Age differences in implicit memory: More apparent than real // *Memory & Cognition.* 1993. V. 21. № 1. P. 73.
21. *Cycowicz Y.M.* Memory development and event-related brain potentials in children // *Biological Psychology.* 2000. V. 54. P. 145.
22. *Cycowicz Y.M., Friedman D., Snodgrass J.G., Rothstein M.* A developmental trajectory in implicit memory is revealed by picture fragment completion // *Memory.* 2000. V. 8. № 1. P. 1935.
23. *Полонская Н.Н.* Нейропсихологическая диагностика детей младшего школьного возраста. М.: Асадемия, 2007. 192 с.
24. *Фарбер Д.А., Петренко Н.Е.* Формирование механизмов опознания неполных изображений в дошкольном и младшем школьном возрасте // *Физиология человека.* 2012. Т. 38. № 5. С. 5.
25. *Thut G., Nietzel A., Brandt S., Pascual-Leone A.*  $\alpha$ -Band Electroencephalographic Activity over Occipital Cortex Indexes Visuospatial Attention Bias and Predicts Visual Target Detection // *J. Neurosci.* 2006. V. 26(37). P. 9494.
26. *Yamagishi N., Callan D., Goda N. et al.* Attentional modulation of oscillatory activity in human visual cortex // *NeuroImage.* 2003. V. 20. P. 98.
27. *Rohenkohl G., Nobre A.C.* Alpha Oscillations Related to Anticipatory Attention Follow Temporal Expectations // *J. Neurosci.* 2011. V. 31. № 40. P. 14076.
28. *Campbell D.R., Dyer F.N., Boersma F.J.* Field dependence and picture recognition ability // *Percept. Mot. Skills.* 1967. V. 25. № 3. P. 713.
29. *Bell M. A., Fox N. A.* Cognition and affective style: Individual differences in brain electrical activity during spatial and verbal tasks // *Brain and Cognition.* 2003. V. 53. № 3. P. 441.
30. *Rawal A., Willson R.* An exploratory study of cognitive style in performance on matched and mismatched tasks // *Percept. Mot. Skills.* 2005. V. 100. № 2. P. 451.
31. *Разумникова О.М.* Особенности активации коры у лиц с высокой и низкой вербальной креативностью: анализ альфа 1,2 ритмов // *Журн. высш. нерв. деятельности.* 2009. Т. 59. № 5. С. 581.
32. *Кошельков Д.А., Мачинская Р.И.* Функциональное взаимодействие корковых зон в процессе выработки стратегии когнитивной деятельности. Анализ когерентности тета-ритма ЭЭГ // *Физиология человека.* 2010. Т. 36. № 6. С. 55.
33. *Михайлова Е.С., Розенберг Е.С., Абрамова А.А., Логунова Н.Н.* Оpozнание эмоций по лицевой экспрессии испытуемыми с разным личностным профилем // *Журн. высш. нерв. деятельности.* 2004. Т. 54. № 6. С. 750.
34. *Лавров В.В.* Межполушарная асимметрия и опознание неполных изображений при изменении эмоционального состояния // *Сенсорные системы.* 2010. Т. 24. № 1. С. 41.
35. *Snodgrass J.G., Corwin J.* Perceptual identification thresholds for 150 fragmented pictures from the Snodgrass and Vanderwart picture set // *Percept. Mot. Skills.* 1988. V. 67. P. 3.
36. *Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г.* Формирование мозговой организации рабочей памяти в младшем школьном возрасте // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 1. С. 5.
37. *Фарбер Д.А., Сеницын С.В.* Функциональная организация рабочей памяти у детей 7–8 лет // *Физиология человека.* 2009. Т. 35. № 2. С. 5.
38. *Фарбер Д.А., Петренко Н.Е.* Нейрофизиологические механизмы опознания фрагментарных изображений в 5–6-летнем возрасте // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 6. С. 5.
39. *Петренко Н.Е., Фарбер Д.А.* Возрастная динамика мозговой организации опознания фрагментарных изображений от 5–6 к 7–8 годам // *Альманах “Новые исследования”.* 2011. № 4. С. 5.
40. *Фарбер Д.А., Петренко Н.Е.* Индивидуальные особенности зрительного опознания у детей дошкольного возраста // *Альманах “Новые исследования”.* 2012. № 1. С. 30.

## **Brain Organization of Recognition of Fragmented Pictures in Subjects Who Show Different Levels of the Task Performance Success**

**N. E. Petrenko, D. A. Farber**

We studied the behavioral and EEG changes in healthy adults during the recognition of fragmented pictures presented in a series beginning with a low fragmentation level up to the complete figure. Our sample was divided into two groups according to the recognition success. The first group had a small amount of mistakes. The other group had a significantly higher amount of mistakes as compared to the first group; this group had a lower reaction time and recognition threshold (i.e. the fragmentation level at which the object became recognizable). The ERP analysis showed the statistical dependence between the recognition success and the involvement of the frontal and caudal cortical areas. As compared to the second group, in the first one we found no significant association between the recognition process and both early and late ERP components in the dorsolateral prefrontal cortex; we found the increase of sensory-specific components P1 and P2 in caudal areas. These results support the hypothesis of the impact of the prefrontal cortex on the successfulness of recognition of fragmented pictures.

*Keywords:* recognition of fragmented, event-related potential, prefrontal cortex, individual difference.