

УДК 612.821

ОСОБЕННОСТИ ОПОЗНАНИЯ ФРАГМЕНТАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В 7–8 ЛЕТНЕМ ВОЗРАСТЕ. АНАЛИЗ ССП.

© 2009 г. Д. А. Фарбер, Н. Е. Петренко

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

Поступила в редакцию 21.10.2008 г.

У детей 7–8 лет анализировались топография и параметры связанных с событием потенциалов (ССП) на неполные изображения разного уровня фрагментации. Выявлены степень и характер участия различных корковых зон на разных этапах анализа и обработки фрагментарных изображений. Показано, что у детей как и у взрослых, в процесс опознавания неполных фигур вовлекаются префронтальные корковые зоны. Возрастные отличия проявляются в меньшей выраженности у детей медленного позитивного комплекса, отражающего процессы принятия решения и удержания информации при подготовке к ответу

Выяснение особенностей реализации памяти на разных этапах развития ребенка привлекает широкое внимание исследователей, что диктуется как важностью понимания механизмов формирования в онтогенезе этой когнитивной функции, так и необходимостью разработки адекватных возрасту средств воспитания и обучения.

Одной из моделей, используемых для изучения памяти, является предъявление неполных изображений с целью их опознания. Показано, что опознание фрагментарных изображений сопровождается активацией нижнетеменной и фузиформной извилин [1, 2]. В связанных с событием потенциалах (ССП), регистрируемых в областях проекций этих корковых зон, наиболее реактивной является негативная волна, регистрирующаяся в интервале 240–400 мс, амплитуда которой значительно увеличивается на опознанные стимулы [2–5]. Этот компонент расценивается как отражающий завершение процесса восприятия (*perceptual closure*) и обозначается как *Ncl* (*negativity closure*). Преимущественная выраженность *Ncl* в зрительных корковых зонах привела к заключению о реализации опознания фрагментарных изображений на основе модально-специфичной имплицитной памяти [6–8]. Такому представлению не соответствуют результаты, свидетельствующие об участии в опознании фрагментарных изображений префронтальной коры [2, 6–10]. На основании анализа топографии и временной последовательности изменений компонентов ССП при опознании фрагментарных изображений было выдвинуто предположение об участии в этом процессе более сложных механизмов памяти и роли префронтальной коры – основного звена рабочей памяти в извлечении долговременного следа, его сопоставлении с предъявляемым изображением и формированием единой нейронной сети на заключительном

этапе принятия решения и опознания фрагментарных изображений [10]. Эта точка зрения подтверждена при изучении функции когерентности (Ког) ритмических компонентов ЭЭГ в процессе опознания фрагментарных изображений [11]. Во временном интервале, соответствующем развитию *Ncl* на опознанные изображения по сравнению с неопознанными, значимо возрастает Ког в диапазоне β -ритма между префронтальной корой, латеральным затылочным комплексом (*lateral occipital complex* – *LOC*) и гиппокампом. Это дало авторам основание считать, что опознание фрагментарных изображений не ограничивается областью *LOC*, а осуществляется распределенной сетью, включающей различные структуры мозга.

Постепенное и гетерохронное созревание структур мозга [12–14] является важным фактором, определяющим специфику мозговой организации системы опознания фрагментарных изображений и ее эффективность на разных этапах развития ребенка. В поведенческих исследованиях установлены существенные изменения возможности опознания неполных изображений на протяжении длительного периода индивидуального развития. Изучая возможность опознания изображений с неполным набором признаков у детей младшего школьного возраста, Н.Н. Полонская [15] показала, что в первом и втором классах (7–8 лет) дети могут правильно идентифицировать только 50% неполных изображений. При исследовании показателей опознания фрагментарных изображений как новых, так и сравниваемых с ранее предъявленными, у четырех возрастных групп (5–7, 9–10 лет, подростки и взрослые) показано, что эффективность опознания неполных изображений существенно возрастает не только в течение первого десятилетия жизни, но и во втором десятилетии. При этом процент

правильно опознанных фрагментарных изображений продолжает нарастать [16]. Наиболее выраженные изменения опознания неполных изображений выявлены от 5–7 лет к 9–10 годам.

С целью выявления мозговых механизмов, определяющих особенности опознания неполных изображений в младшем школьном возрасте, в настоящей работе анализировались топография и параметры ССП при предъявлении изображения разного уровня фрагментации.

МЕТОДИКА

В эксперименте участвовали 25 детей (12 мальчиков и 13 девочек) в возрасте 7–8 лет (средний возраст 7.4 ± 0.5), учащихся 1–2 классов общеобразовательной гимназии г. Москвы, имеющих нормальное зрение.

Стимулами служили 16 изображений знакомых предметов (стул, утюг, очки и др.) и животных (слон, верблюд, олень и др.) из стандартного набора [17]. Все изображения предъявлялись в 5 фрагментарных уровнях (2, 4, 5, 7 и 8 уровни) от более фрагментарного (2 уровень) до полного изображения (8 уровень). Размеры изображения составляли 6×6 угловых градусов. Время экспозиции каждого стимула составляло 750 мс. Модель эксперимента и процедура исследования подробно изложены в работе [10].

Регистрацию ЭЭГ осуществляли по международной системе 10–20 от областей проекций 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, Cz) и лобных (F_1, F_4, F_7, F_8, Fz) зон коры. В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод. Частота квантования сигнала составляла 1000 Гц (система “Neocortex-pro” фирмы “Neurobotics”, Россия). Сопротивление электродов не превышало 5 кОм. Частота пропускания усилителя ограничивалась диапазоном 0.1–100 Гц. Контроль глазных движений осуществляли с помощью регистрации вертикальной и горизонтальной электроокулограммы (ЭОГ). Из записи удалялись реализации, в которых амплитуда ЭОГ превышала 50 мкВ.

Для анализа ССП использовались безартефактные отрезки ЭЭГ. Эпоха анализа постстимульного периода составляла 750 мс. Усреднялись следующие классы ССП: 1 – ССП при отсутствии опознания – те уровни фрагментарных изображений, на которые испытуемый отвечал “не знаю” и которые не предшествовали опознанию; 2 – ССП за 1 уровень до опознания – те уровни фрагментации изображений, которые предшествовали правильному опознанию (ответ испытуемого был “не знаю”); 3 – ССП при правильном опознании – те уровни фрагментарных изображений, на которых объект был правильно

опознан. ССП на ошибочные ответы из анализа были исключены. Усредненные по типам “опознаваемости” стимула ССП отдельных испытуемых использовались для группового усреднения и анализа с помощью метода главных компонентов [18]. Для выявления главных компонентов использовалась матрица, в которой по горизонтали были представлены амплитуды 750 точек ССП, а по вертикали – индивидуальные значения амплитуды каждой из точек при данных экспериментальных условиях: 3 типа стимулов (опознанные/неопознанные/за 1 уровень фрагментации до опознания) \times 2 полушария \times 7 отведений в каждом полушарии. Далее суммарная амплитуда ССП на временных отрезках, соответствующих выделенным главным компонентам, обрабатывалась с помощью дисперсионного анализа (*ANOVA Repeated measure* – программа SPSS 12.0). Дисперсионный анализ проводился по четырем схемам. В первой схеме использовались следующие факторы: “опознание” (опознанные/неопознанные/за 1 уровень до опознания); “полушарие” (левое/правое); “отведение” (7 пар отведений). Во второй схеме использовались факторы: “опознание” (опознанные/неопознанные); “полушарие” (левое/правое); “отведение” (7 пар отведений). В третьей схеме использовались факторы: “опознание” (опознанные/за 1 уровень до опознания); “полушарие” (левое/правое); “отведение” (7 пар отведений). В четвертой схеме использовались факторы: “опознание” (неопознанные/за 1 уровень до опознания); “полушарие” (левое/правое); “отведение” (7 пар отведений). Значимость различий суммарных амплитуд ССП отдельных областей оценивалась с использованием непараметрического критерия Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структура основного комплекса регионарных ССП у детей 7–8-летнего возраста не отличается от таковой у взрослых испытуемых [10].

Сопоставление ССП на опознанные, неопознанные и предшествующие опознанию изображения. Значимые различия, выявленные при дисперсионном анализе (*ANOVA Repeated measure*), проведенном совместно для трех “уровней опознания” (опознанные изображения, неопознанные и предшествующие опознанию) приведены в табл. 1, А.

Как видно из табл. 1, А, изолированное влияние фактора “опознание” сказывается во временных интервалах, соответствующих развитию компонента N350 и более поздних фаз ответа. Наиболее ранние различия по данным дисперсионного анализа проявляются в интервале 110–169 мс для совместного влияния факторов “опознание” \times “отведение”, что свидетельствует о выраженных региональных различиях в этом временном интервале в зависимости от уровня фрагментации изоб-

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП на опознанные, неопознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения (А) и на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения (Б)

Факторы	Временные интервалы, мс					
	110–169	210–249	250–319	320–369	546–611	708–750
А						
Опознание				$F(2;23) = 4.85$ $p = 0.017$	$F(2;41) = 3.44$ $p = 0.045$	$F(2;46) = 3.52$ $p = 0.039$
Опознание × × Полушарие			$F(2;48) = 7.92$ $p = 0.001$			
Опознание × × Отведение	$F(12;13) = 2.89$ $p = 0.035$		$F(6;149) = 3.05$ $p = 0.007$	$F(12;13) = 4.66$ $p = 0.005$		
Опознание × × Полушарие × × Отведение		$F(12;13) = 3.09$ $p = 0.027$				
Б						
Опознание	$F(1; 24) = 4.26$ $p = 0.05$				$F(1; 24) = 4.92$ $p = 0.036$	$F(1; 24) = 4.83$ $p = 0.038$
Опознание × × Полушарие		$F(1; 24) = 5.32$ $p = 0.03$	$F(1; 24) = 15.7$ $p = 0.001$			
Опознание × × Отведение	$F(6; 19) = 3.04$ $p = 0.029$	$F(4; 95) = 2.74$ $p = 0.035$		$F(6; 19) = 3.43$ $p = 0.018$		
Опознание × × Полушарие × × Отведение			$F(4; 87) = 3.23$ $p = 0.019$			

ражения. Совместное влияние этих факторов сказывается и во временных интервалах, соответствующих комплексу N250-N350. Для компонента N250 (250–319 мс) выявлено также совместное влияние факторов “опознание” × “полушарие”. Во временном интервале, соответствующем развитию позитивной волны P250 (210–249 мс) наблюдаются выраженные как региональные, так и межполушарные особенности (взаимодействие факторов “опознание” × “полушарие × отведение”).

Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения. Данные дисперсионного анализа (ANOVA Repeated measure), учитывающего динамику компонентов ССП при анализе двух уровней опознания: опознанные/неопознанные изображения, приведены в табл. 1, Б.

Выявленное по результатам дисперсионного анализа раннее влияние фактора “опознание” (интервал 110–169 мс) и его взаимодействие с фактором “отведение”, как видно на рис. 1, связано со значимым увеличением амплитуды позитивного компонента ССП на опознанный стимул в лобно-центральных и теменных отведениях преимущественно левого полушария ($F_3; Z = -2.14, p < 0.035$; $C_3; Z = -2.435, p < 0.015$; $F_8; Z = -2.09, p < 0.037$; $P_3; Z = -1.98, p < 0.048$).

Для комплекса волн P250-N250-N350 по данным дисперсионного анализа получены как меж-

полушарные, так и регионарные различия (210–249 мс: “опознание” × “полушарие”, “опознание” × “отведение”, “опознание” × “полушарие” × “отведение”; 250–319 мс: “опознание” × “полушарие”; 320–369 мс: “опознание” × “отведение”). Обе негативности имеют большую амплитуду на опознанные, по сравнению с неопознанными, изображения. Амплитуда позитивного компонента P250 увеличивается на опознанные изображения в правой теменной области (210–249 мс $P_4; Z = -2.11, p < 0.035$). Различия по негативностям N250-N350 обнаруживаются во временном интервале 210–249 мс в левой латеральной префронтальной коре, а на более позднем временном интервале проявляются в центральных, передневисочных, теменных областях правого полушария и задневисочных зонах обоих полушарий (210–249 мс: $F_7; Z = -2.92, p < 0.004$; 250–319 мс: $C_4; Z = -2.54, p < 0.011$; $T_4; Z = -2.89, p < 0.004$; $P_4; Z = -2.41, p < 0.016$; 320–369 мс: $T_5; Z = -2.33, p < 0.02$; $T_6; Z = -2.25, p < 0.025$).

Различия между опознанными и неопознанными изображениями в интервале 546–611 мс (фактор “опознание”) связаны с увеличением амплитуды позитивного компонента на опознанные изображения в центральных и передневисочных областях обоих полушарий и левой задневисочной области ($C_3; Z = -2.22, p < 0.026$; $C_4; Z = -2.22, p < 0.026$; $T_3; Z = -2.38, p < 0.017$; $T_4; Z = -2.25, p < 0.025$; $T_5;$

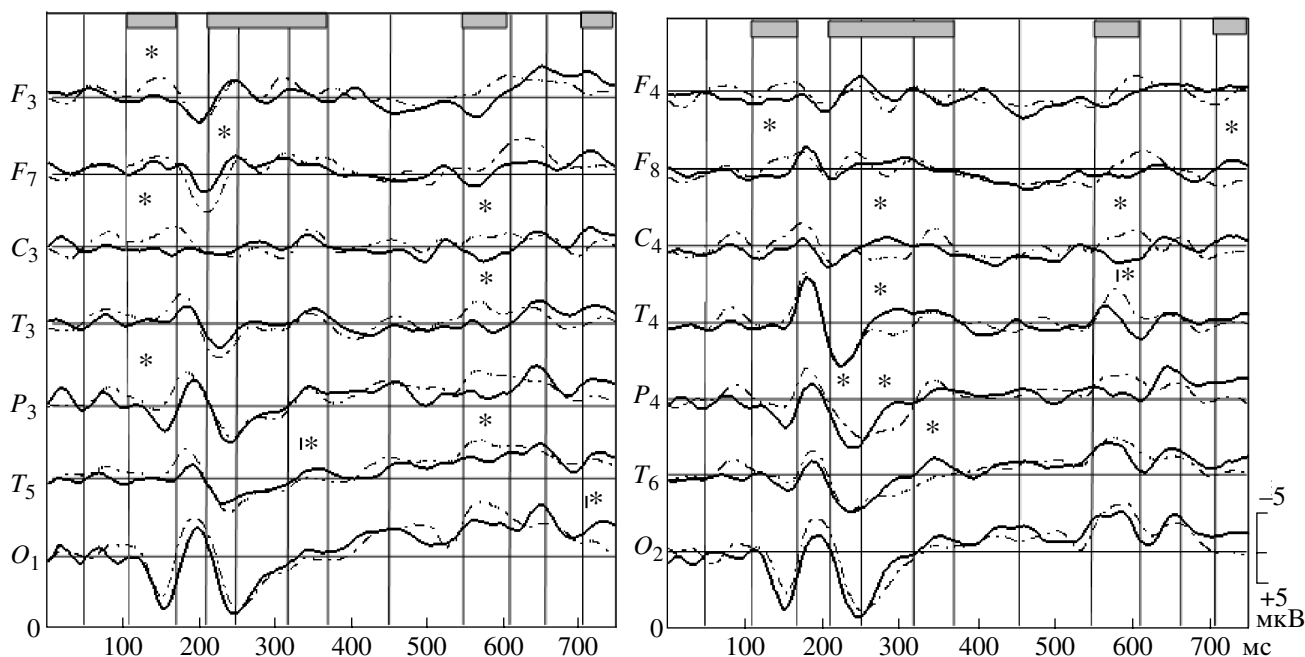


Рис. 1. ССП разных областей коры на опознанные (жирная линия) и не опознанные (штрих-пунктирная линия) фрагментарные изображения.

Вертикальные линии – границы временных интервалов, выделенных методом Главных компонент.

Серые прямоугольники – значимые различия параметров ССП по результатам дисперсионного анализа (ANOVA – Repeated measure).

* – значимые различия амплитуды компонентов ССП, выявленные при по-парном сравнении по критерию Вилкоксона. По оси абсцисс – время в мс.

$Z = -2.54, p < 0.011$). В интервале 705–750 мс (фактор “опознание”) на опознанные изображения происходит усиление негативной волны в правой латеральной префронтальной коре и затылочных областях обоих полушарий ($F_8: Z = -2.09, p < 0.037$; $O_1: Z = -2.33, p < 0.02$; $O_2: Z = -2.38, p < 0.017$).

Сопоставление ССП на опознанные стимулы и изображения, предшествующие опознанию. Результаты дисперсионного анализа, проведенного

для пары: опознанные/предшествующие опознанию изображения, приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Наиболее ранние (до 200 мс) различия отмечены по данным дисперсионного анализа для взаимодействия факторов “опознание” × “полушарие” × “отведение” и “опознание” × “отведение”, и связаны с более выраженной негативностью в ответе на стимул, предшествующий опознанию, в лобной области правого полушария ($F_4: Z = -2.25, p < 0.025$).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП на опознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения

Факторы	Временные интервалы, мс						
	50–109	110–169	250–319	320–369	612–659	660–707	708–750
Опознание				$F(1; 24) = 8.66$ $p = 0.007$			$F(1; 24) = 5.49$ $p = 0.028$
Опознание × × Полушарие							
Опознание × × Отведение		$F(6; 19) = 2.69$ $p = 0.046$	$F(6; 19) = 3.51$ $p = 0.016$	$F(3; 61) = 4.32$ $p = 0.011$		$F(6; 19) = 2.97$ $p = 0.032$	
Опознание × × Полушарие × × Отведение	$F(4; 90) = 2.66$ $p = 0.04$				$F(3; 74) = 2.99$ $p = 0.035$		$F(6; 19) = 3.29$ $p = 0.022$

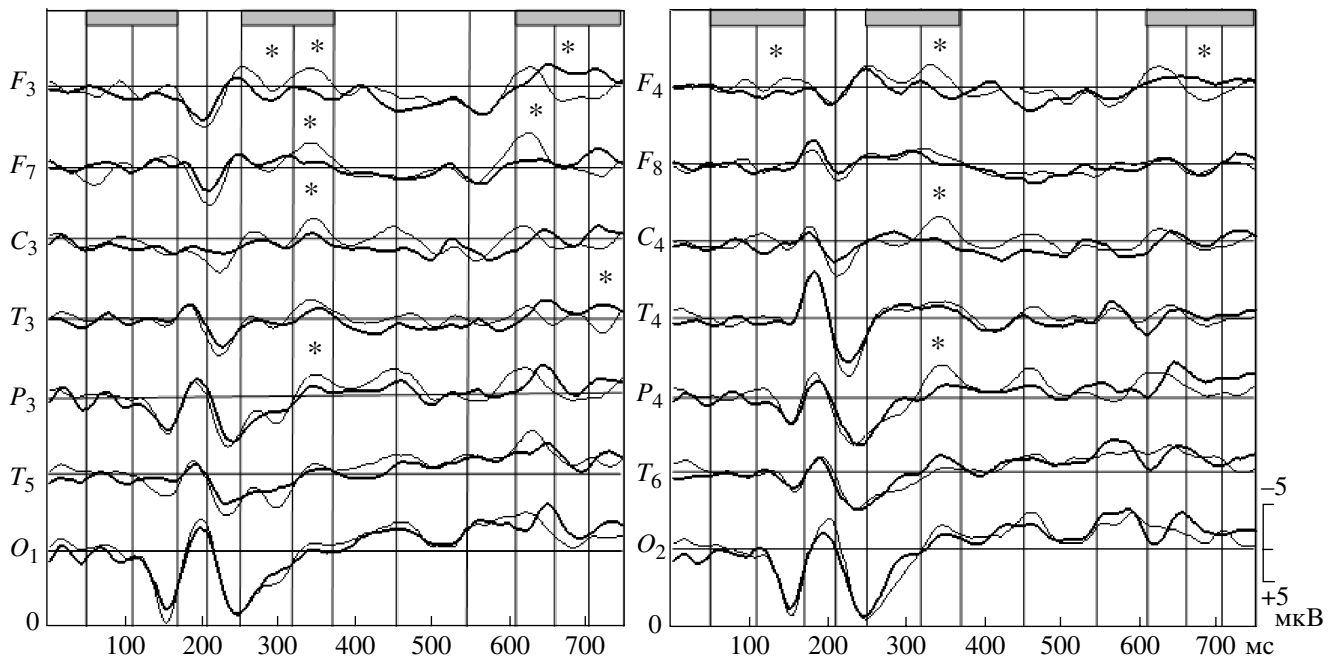


Рис. 2. ССП разных областей коры на опознанные (жирная линия) и предшествующие опознанию (тонкая линия) фрагментарные изображения. Обозначения см. рис. 1.

Влияние фактора “опознание” проявляется в более высоком значении амплитуды негативного компонента N250-N350 в переднецентральных и теменных отведениях обоих полушарий (250–319 мс: F_3 : $Z = -2.35$, $p < 0.02$; 320–369 мс: F_3 : $Z = -3.00$, $p < 0.003$; F_4 : $Z = -2.46$, $p < 0.016$; F_7 : $Z = -2.62$, $p < 0.01$; C_3 : $Z = -2.84$, $p < 0.005$; C_4 : $Z = -3.43$, $p < 0.0006$; P_3 : $Z = -2.06$, $p < 0.04$; P_4 : $Z = -3.32$, $p < 0.0009$).

На поздних стадиях обработки информации (612–750 мс) совместное влияние факторов “опознание” × “полушарие” × “отведение” связано с увеличением в левом полушарии амплитуды негативной волны ССП при предъявлении изображения, непосредственно предшествующего опознаваемому. При этом наибольшие значения она имеет в префронтальной коре (F_7 : $Z = -2.27$, $p < 0.025$). В ССП на опознанные стимулы негативность возникает позднее и также более выражена в лобных отведениях (660–707 мс: “опознание” × “отведение”; F_3 : $Z = -2.68$, $p < 0.008$; F_4 : $Z = -2.14$, $p < 0.035$; 708–750 мс: “опознание”, “опознание” × “полушарие” × “отведение” C_3 : $Z = -2.25$, $p < 0.025$; T_3 : $Z = -2.76$, $p < 0.007$).

Сопоставление ССП на неопознанные и предшествующие опознанию изображения. Специфику опознания изображений по уровню фрагментации близких к опознаваемым стимулам, подтверждает сопоставление их с неопознанными изображениями (табл. 3; рис. 3).

Как видно из рис. 3, ССП на стимул, наиболее близкий по уровню фрагментации к опознаваемо-

му, характеризуется значимым увеличением амплитуды основного позитивного компонента P150 в левой центральной, теменной, задневисочной и затылочных областях обоих полушарий (C_3 : $Z = -2.33$, $p < 0.02$; P_3 : $Z = -2.41$, $p < 0.016$; T_5 : $Z = -2.95$, $p < 0.006$; O_1 : $Z = -2.6$, $p < 0.01$; O_2 : $Z = -2.17$, $p < 0.03$).

Различия между неопознанными и предшествующими опознанию изображениями проявляются также в более выраженном увеличении негативных колебаний N250-N350-N400 в ответ на изображения, предшествующие опознанию. В более раннем временном интервале обнаруживаются значимые различия в переднецентральных областях правого полушария (250–319 мс: F_4 : $Z = -2.7$, $p < 0.007$; T_4 : $Z = -2.38$, $p < 0.017$; C_3 : $Z = -2.33$, $p < 0.02$) и далее выявляются в других регистрируемых областях коры с преобладающим участием левого полушария (320–369 мс: F_3 : $Z = -2.17$, $p < 0.03$; C_3 : $Z = -1.98$, $p < 0.48$; T_3 : $Z = -2.098$, $p < 0.037$; P_3 : $Z = -2.09$, $p < 0.037$; P_4 : $Z = -2.03$, $p < 0.042$; T_5 : $Z = -2.14$, $p < 0.032$; O_2 : $Z = -2.65$, $p < 0.008$; 370–455 мс: T_3 : $Z = -2.3$, $p < 0.021$; P_3 : $Z = -2.25$, $p < 0.025$; T_5 : $Z = -2.38$, $p < 0.017$; O_1 : $Z = -2.84$, $p < 0.005$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При опознании неполных фигур у детей 7–8 лет не выявлены отличия от взрослых испытуемых в структуре и реактивности основного комплекса региональных ССП [10]. Так же как и у взрослых, у детей 7–8 лет при опознании фрагментарных

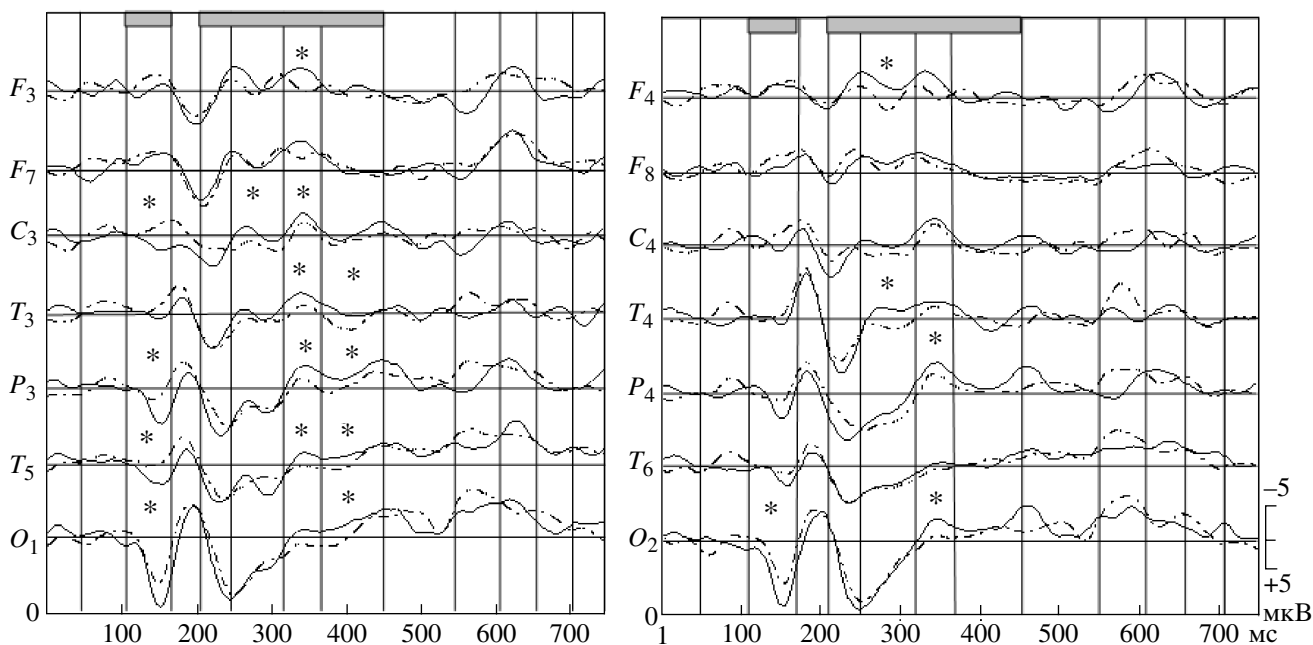
Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП на неопознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения

Факторы	Временные интервалы, мс				
	110–169	210–249	250–319	320–369	370–455
Опознание	$F(1, 24) = 4.22$ $p = 0.05$			$F(1, 24) = 5.90$ $p = 0.023$	$F(1, 24) = 4.41$ $p = 0.046$
Опознание × × Полушарие			$F(1, 24) = 6.09$ $p = 0.021$		
Опознание × × Отведение			$F(6, 19) = 4.43$ $p = 0.006$		$F(4, 99) = 2.39$ $p = 0.05$
Опознание × × Полушарие × × Отведение		$F(6, 19) = 3.95$ $p = 0.01$			

изображений увеличивается негативный комплекс N250-N350, соответствующий негативной волне “Ncl – closure negativity”, наиболее тесно связанной с опознанием фрагментарных изображений [2–5]. Значимое увеличение этого компонента наблюдается в корковых зонах, связанных с обработкой сенсорной зрительной информации и в префронтальной коре. У детей 7–8 лет, как и у взрослых испытуемых, участие префронтальной коры в опознании неполных фигур отмечается уже на достаточно ранних этапах анализа информации, и отражается в усилении позитивности P150 на опознанные и предшествующие опознанию изображения. Это соответствует имеющимся в литературе данным о вовлечении нейронного аппарата префрон-

тальной коры на относительно ранних этапах обработки зрительного стимула [10.19–23]. В ответ на неопознанные стимулы в этом временном интервале увеличивается негативность N150. Увеличение негативных компонентов (N100, N170) связывается с селективным вниманием [24.25]. По-видимому, высокий уровень фрагментации требует дополнительных ресурсов внимания, что отражается в отмеченном усилении этого компонента на неопознанные изображения.

Наиболее существенные возрастные отличия при предъявлении изображений разного уровня фрагментации отмечены в динамике параметров ССП на изображения, непосредственно предше-

**Рис. 3.** ССП разных областей коры на неопознанные (штрих-пунктирная линия) и предшествующие опознанию (тонкая линия) фрагментарные изображения.

Обозначения см. рис. 1.

ствующие по уровню фрагментации опознаваемым. Значимое усиление позитивностей P100 и P250 основного комплекса ССП у детей наблюдается на изображения, предшествующие опознанию, тогда как у взрослых амплитуда этих компонентов увеличивается на опознанные фигуры. Компонент P250, связанный с сенсорными характеристиками стимула [26, 27], вместе с тем отражает и их "сенсорную категоризацию" ("perceptual categorization") [28]. Это дает основание предположить, что хотя ребенок и не дает положительного ответа об опознании, фактически на этом уровне фрагментации процесс опознания уже близок к завершению. Об этом же свидетельствует большая выраженность компонентов N250-N350 не на опознанные стимулы, как это имеет место у взрослых испытуемых, а на предшествующие опознанию изображения. Это наталкивает на мысль о том, что затруднения в процессе опознания у детей возникают не на ранних этапах анализа и обработки сенсорных характеристик стимула (включая Nc1), а связаны с более поздним периодом обработки информации. В пользу этого предположения свидетельствует значительно меньшая выраженность медленного позитивного комплекса ССП детей в сравнении с таковым у взрослых, для которых было характерно генерализованное увеличение амплитуды поздней позитивности, начинающейся в префронтальной коре и охватывающей длительный временной интервал. Согласно имеющимся в литературе данным, усиление позитивного комплекса при опознании связано с принятием решения и дополнительной активацией корковых зон при необходимости удержания информации в период подготовки к ответу [29–31]. Недостаточная сформированность этих процессов на данном этапе онтогенеза может лежать в основе задержки ответа о правильном опознании и соответственно более низкой эффективности опознания фрагментарных изображений, отмеченной у детей этого возраста в поведенческих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У детей 7–8 лет выявлены существенные различия параметров ССП на опознанные, неопознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения. Сходство в структуре и реактивности основного комплекса регионарных ССП у детей и взрослых испытуемых позволяет считать, что на анализируемом этапе онтогенеза в опознание фрагментарных изображений вовлекаются те же области коры головного мозга, что и у взрослых. В отличие от взрослых, в ССП детей не выражен поздний позитивный комплекс. Этот факт, так же как и отмеченное у детей 7–8 лет более значимое усиление основного комплекса регионарных ССП, включая негативные компоненты N250-N350, не на опознанные стимулы, как это ха-

рактерно для взрослых, а при предъявлении изображений на один уровень фрагментации отличающихся от опознаваемых, свидетельствует о несформированности поздних этапов обработки информации, связанных с принятием решения и подготовкой к ответу. Предполагается, что незрелость регуляторных механизмов, определяющих процесс принятия решений и возможность удержания информации при подготовке к ответу, определяет более низкую эффективность опознания фрагментарных изображений в 7–8-летнем возрасте.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-04-00205а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Doniger G.M., Foxe J.J., Murray M.M. et al. Activation timecourse of ventral visual stream object-recognition areas: High density electrical mapping of perceptual closure processes // *J. Cogn. Neurosci*. 2000. V. 12. P. 615.
6. Cycowicz Y.M., Friedman D. ERP recordings during a picture fragment completion task: effects of memory instructions // *Cogn. Brain Res*. 1999. V. 8. P. 271.
7. 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.
8. Viggiano M.R., Kutas M. The covert interplay between perception and memory: event-related potential evidence // *EEG and Clin. Neurophysiol*. 1998. V. 108. P. 435.
9. 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.
10. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Опознание фрагментарных изображений и механизмы памяти // *Физиология человека*. 2008. Т. 34. № 1. С. 5.
11. Sehatpour P., Molholm S., Schwartz T.H. 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. Фарбер Д.А., Семенова Л.К., Алферова В.В. и др. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л.: Наука, 1990. 198 с.
13. Фарбер Д.А. Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ // Мир психологии. 2003. № 2. С. 114.
14. Цехмистренко Т.А., Васильева В.А. Структурные преобразования ассоциативной коры как морфологическая основа развития когнитивных функций человека от рождения до 20 лет // Физиология человека. 2001. Т. 27. № 5. С. 41.
15. Полонская Н.Н. Нейропсихологическая диагностика детей младшего школьного возраста. М.: Академия. 2007. 192 с.
16. Cysowicz Y. M., Friedman D., Snodgrass J., Rothstein M. A developmental trajectory in implicit memory is revealed by picture fragment completion // Memory. 2000. V. 8. № 1. P. 19.
17. Snodgrass J.G., Corwin J. Perceptual identification thresholds for 150 fragmented pictures from the Snodgrass and Vanderwart picture set // Percept. Motor Skills. 1988. V. 67. P. 3.
18. Donchin E. A multivariate approach to the analysis of average evoked potentials // IFFE Transactions on Bio-Medical Engineering. 1966. V. 13. № 3. P. 132.
19. 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.
20. Бетелева Т.Г. Изменения событийно связанных потенциалов в процессе классификации изображений // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 4. С. 64.
21. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Региональная и полушарная специализация операций зрительного опознания. Возрастной аспект // Физиология человека. 1999. Т. 25. № 1. С. 15–23.
22. Бетелева Т.Г., Фарбер Д.А. Роль лобных областей коры в произвольном и непроизвольном анализе зрительных стимулов. // Физиология человека. 2002. Т. 28. № 5. С. 5.
23. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе // Физиология человека. 2005. Т. 31. № 5. С. 26.
24. Hansen J.C., Hillyard S.A. Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. // EEG and Clin. Neurophysiol. 1980. V. 49. № 3–4. P. 277.
25. Wijers A.A., Otten L.I., Feenstra S. Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation // Psychophysiol. 1989. V. 26. № 4. P. 452.
26. Новикова Л.А., Зислина Н.Н., Толстова В.А., Фильчикова Л.И. Использование вызванных потенциалов для изучения зрительного восприятия. Сообщение II. Восприятие пространственно-структурированных стимулов // Физиология человека. 1979. Т. 5. № 3. С. 535.
27. Новикова Л.А., Фильчикова Л.И. Вызванные потенциалы человека при восприятии простых и сложных зрительных стимулов // Журн. высш. нерв. деятельности. 1976. Т. 26. Вып. 6. С. 1244.
28. Schendan H.E., Ganis G., Kutas M. Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms // Psychophysiology. 1998. V. 35. № 3. P. 240.
29. Костандов Э.А. Механизмы деятельности мозга человека. Ч. 1. Нейрофизиология человека / Под ред. Н.П. Бехтеревой. Л.: Наука, 1988. С. 491.
30. Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity // Psychophysiology. 2001. V. 38. № 3. P. 557.
31. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Игнатьева И.С. Функциональная организация мозга в процессе реализации рабочей памяти // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 2. С. 5.