

К ЮБИЛЕЮ ЖУРНАЛА «НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

DOI: 0.46742/2072-8840-2026-85-1-7-39

УДК 612.821

МОЗГОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛОСТНОГО ВОСПРИЯТИЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ В ПЕРИОД ОТ 5-6 ДО 13 ЛЕТ. ЦИКЛ АРХИВНЫХ СТАТЕЙ Д.А. ФАРБЕР И Н.Е. ПЕТРЕНКО, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ» В 2010 – 2015 ГГ.

Мачинская Р.И.,

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка», Москва

АННОТАЦИЯ. В юбилейном выпуске журнала «Новые исследования» представлена серия статей Д.А. Фарбер и Н.Е. Петренко, выполненные с 2010 по 2015 гг. и охватывающих одно из ключевых направлений исследований формирования механизмов зрительного предметного восприятия у детей и подростков. В данных статьях рассмотрены предшкольный, младший школьный, предподростковый и подростковый периоды.

Выбор именно этих работ связан с двумя обстоятельствами: все они были опубликованы в журнале «Новые исследования» и являются частью его архивных материалов, что дает уникальную возможность вновь познакомить специалистов с актуальными исследованиями, но главное – другое. В этих работах очень ярко отражены важнейшие методические находки, методологические подходы, и выявленные по результатам исследований закономерности развития мозговых механизмов зрительного восприятия.

Ключевые слова: статьи Д.А. Фарбер и Н.Е. Петренко, годы выпуска 2010-2015 гг., зрительное восприятие, возраст.

Machinskaya R.I.

Brain mechanisms of formation of holistic perception in children and adolescents aged 5-6 to 13 years. A series of archival articles by D.A. Farber and N.E. Petrenko, published in the journal "New Research" in 2010-2015.

ABSTRACT. The anniversary issue of the journal *New Research* presents a series of articles by D.A. Farber and N.E. Petrenko, carried out from 2010 to 2015, covering one of the key areas of research into the formation of mechanisms of visual object perception in children and adolescents. These articles cover pre-school, junior high school, pre-adolescence, and adolescence. The choice of these particular papers is related to two circumstances: all of them were published in the journal *New Research* and are part of its archival materials, which provides a unique opportunity to re-introduce specialists to relevant research, but

the main thing is different. These works vividly reflect the most important methodological findings, methodological approaches, and patterns of development of brain mechanisms of visual perception revealed by the results of research.

Keywords: *articles by D.A. Farber and N.E. Petrenko, years of issue 2010-2015, visual perception, age*

Проблема формирования нейрональной основы целостного зрительного восприятия изучалась в лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности Института развития, здоровья и адаптации ребенка (ранее Институт возрастной физиологии РАО) в течение многих лет.

В исследованиях лаборатории можно выделить несколько направлений, наиболее значимых с точки зрения понимания мозговых механизмов зрительного восприятия и их формирования в процессе индивидуального развития (онтогенеза):

(1) изучение процессов обработки зрительной модально-специфической информации в сенсорно-специфических областях коры и за пределами соответствующих сенсорно-специфических зон;

(2) анализ возвратного влияния ассоциативных зон коры на обработку сенсорно-специфических сигналов;

(3) исследование роли лобных отделов коры и их связей с подкорковыми структурами в избирательном «управлении» обработкой зрительной информации в разных корковых зонах и на разных этапах когнитивной деятельности.

В первые 20 лет работы лаборатории исследования механизмов зрительного восприятия, проводились с использованием двух основных электрофизиологических методов – экстраклеточной регистрации спайковой активности отдельных нейронов коры и глубинных структур с помощью вживленных датчиков у животных (кроликов) и регистрации электрической активности отдельных корковых зон, вызванной внешним сигналом, с последующим вычислением суммы ответных реакций – вызванных потенциалов (ВП). В более поздних исследованиях, когда применение компьютеров позволило создавать более сложные экспериментальные модели с автоматическим управлением стимулами и регистрацией ответных реакций, одним из основным инструментом исследования стали связанные с событием потенциалы (ССП) – суммарная активность корковых зон, обусловленная определёнными периодами обработки информации при решении когнитивных задач.

Анализ реакций корковых нейронов на зрительные сигналы на разных стадиях раннего онтогенеза у кролика [2] позволил обнаружить,

что условием появления специфических ответов зрительной коры является морфологическое созревание межкорковых пластических связей, что создает возможность влияний задних и передних ассоциативных зон на нейроны зрительной области, что, в свою очередь, является условием формирования там необходимой для обработки зрительной информации реакций нейронов. Онтогенетические исследования лаборатории в модельных экспериментах на животных позволили сделать нетривиальный, но чрезвычайно важный для всей нейрофизиологии когнитивного развития вывод о том, что **формирование мозговых механизмов когнитивных процессов не подчиняется закону «снизу вверх» или «от более простого к более сложному», а представляет собой процесс взаимного влияния и постоянного взаимодействия сенсорно-специфических и ассоциативных корковых структур разной сложности.** Эта закономерность многократно подтверждалась в исследованиях формирования мозговых механизмов когнитивных функций у детей, как в работах лаборатории, так и в мировой современной нейрокогнитивной науке в целом. Однако, к сожалению, представления о созревании мозга «снизу вверх» все еще доминируют не только в популярных изданиях.

В 1974 вышла теоретическая обзорная статья Д.А. Фарбер [4], в которой были проанализированы результаты исследований лаборатории и литературные данные о роли различных сенсорно-специфических и ассоциативных областей коры в обработке зрительной информации разного уровня сложности. Эти исследования были выполнены на основе регистрации и количественного анализа ВП. Анализ ВП позволил оценить специфический вклад различных корковых зон в работу распределенной нейронной сети, осуществляющей обработку внешней информации на разном уровне: от анализа отдельных признаков объектов (сенсорный уровень) до сложных когнитивных операций (опознавание, сравнение, категоризация, принятие решений и т. д.). По результатам этого анализа был сделан вывод о том, что **«степень включения нейронных элементов коры... определяется значимостью той или иной корковой зоны в восприятии афферентного сигнала в данной конкретной ситуации, что в свою очередь, определяется включением в анализ стимула мотивационной и эмоциональной систем»** [4, с. 234]. Этот аргументированный экспериментальными исследованиями вывод является чрезвычайно актуальным и для современной когнитивной нейронауки. Он отражает один из основных принципов

системного подхода к мозговой организации когнитивных процессов. С точки зрения системного подхода зрительное восприятие, так же, как и другие когнитивные функции и в целом сложные формы поведения, обеспечивается динамичными функциональными объединениями сенсорно-специфических и ассоциативных зон коры, связанных с глубинными подкорковыми образованиями. **Причем такие функциональные объединения (распределенные нейронные сети) складываются в процессе целенаправленной деятельности для достижения нужного результата.** Уже с первых лет существования лаборатории под руководством Д.А. Фарбер системные представления о нейрональных механизмах когнитивных функций, в том числе зрительного предметного восприятия, стали методологической основой экспериментальных исследований (подробнее см. в [1]).

В более поздних исследованиях роли проекционных и ассоциативных зон коры в обработке зрительной информации у детей с помощью анализа ВП, и в дальнейшем ССП [5] были обнаружены специфические паттерны активации затылочной, теменной и височно-теменно-затылочной (ТРО) областей в операциях выделения контрастных границ, пространственных характеристик зрительных объектов и предметных изображений (лицевых паттернов) соответственно. При этом было показано, что функциональная специфичность различных корковых зон в процессах зрительного восприятия **формируется постепенно и отмечена у детей только после 6 лет** (подробнее см. в [1]). Длительное и одновременное формирование специфического участия различных корковых зон в единой функциональной системе зрительного восприятия связывалось в работах Д.А. Фарбер и сотрудников **со взаимным влиянием нейронных сетей, обрабатывающих внешнюю информацию, и «управляющих» такой обработкой в соответствии с текущими задачами**, прежде всего лобными зонами коры и их взаимодействием с заднеассоциативными зонами.

Таким образом, были выделены **звенья, обеспечивающие обработку и интеграцию информации (информационные компоненты системы), и звенья, создающие условия для выделения значимой информации и ее использования при организации поведения (регуляторные компоненты системы).** Это касалось как анализа нейрональных процессов во время реализации деятельности, так и изучения закономерностей их формирования в онтогенезе. Такой подход, получивший развитие и в других направлениях исследования лаборатории,

в том числе в исследованиях избирательного внимания и рабочей памяти (подробнее см. [1]), в какой-то степени является визитной карточкой лаборатории, и его можно найти уже в первых исследованиях Д.А. Фарбер, направленных на **изучение нейрональных основ зрительного восприятия**.

Роль нисходящих влияний лобной коры в механизмах обработки зрительной информации у детей разного возраста позже стала предметом интенсивных исследований в совместных работах Т.Г. Бетелевой, Н.Е. Петренко, Е.И. Савченко и Д.А. Фарбер и других сотрудников лаборатории [2,3,5,6]. На основании анализа связанных с событием потенциалов (ССП) в сенсорно-специфических и ассоциативных зонах коры при выполнении детьми, подростками и взрослыми зрительных перцептивных задач разной сложности был сделан фундаментальный вывод о том, что **префронтальная кора осуществляет избирательные модулирующие влияния на активность корковых зон как на начальном, так и на завершающем этапе зрительного восприятия в соответствии с конкретной когнитивной задачей**. Кроме того, префронтальная кора сама является важным звеном распределенной зрительной нейронной сети, принимающей непосредственное участие в зрительном опознании. При этом **морфофункциональное созревание нейронного аппарата лобной коры способствует формированию сенсорно-специфических нейрональных механизмов зрительного восприятия в течение длительного периода онтогенеза от рождения до юношеского возраста**.

Предлагаемая вниманию читателей юбилейного выпуска журнала «Новые исследования» серия статей Д.А. Фарбер и Н.Е. Петренко представляет одно из ключевых направлений исследований формирования механизмов зрительного предметного восприятия у детей и подростков. В нее включены работы, выполненные с 2010 по 2015 гг. и охватывающие значимые возрастные периоды развития когнитивных функций – предшкольный, младший школьный, предподростковый и подростковый.

Выбор именно этих работ связан с двумя обстоятельствами: все они были опубликованы в журнале «Новые исследования» и являются частью его архивных материалов, что дает уникальную возможность вновь познакомить специалистов с актуальными исследованиями, но главное – другое. В этих работах очень ярко отражены важнейшие методические находки, методологические подходы, и выявленные по результатам ис-

следований закономерности развития мозговых механизмов зрительного восприятия.

Во всех представленных ниже работах использовалась одна и та же экспериментальная парадигма – участнику исследования предъявлялись фрагменты знакомого изображения, количество которых постепенно увеличивалось с каждым предъявлением до тех пор, пока образ объекта не осознавался участником. Особенность этой серии исследований в том, что механизмы формирования сознательного образа изучались как на стадии, предшествующей опознанию (подготовки к опознанию), так и в период обработки предметной зрительной информации. При этом методы анализа ССП использовались для исследования различных этапов обработки изображений, а для изучения роли различных аспектов внимания при настройке мозга на зрительное опознание использовались методы количественной оценки функциональной связности между префронтальными и различными зрительными зонами на основании анализа ритмической биоэлектрической активности коры в диапазоне основного (альфа) ритма.

Возрастной аспект проблемы формирования системных мозговых механизмов зрительного предметного восприятия сочетался в данной серии исследований с анализом связи между особенностями функциональной организации мозга при формировании образа и эффективностью этой когнитивной операции. Связь результатов экспериментальных электрофизиологических исследований с эффективностью когнитивной деятельности безусловно может служить весомым аргументом в пользу выявленных закономерностей формирования мозговых механизмов зрительного восприятия в процессе развития детей и подростков.

Исследования, проведенные с участием взрослых, свидетельствуют о вовлечении префронтальной коры в процесс опознания фрагментарных изображений и ее роли в сенсорно-специфической обработке изображений [7]. Исследования, проведенные с участием детей 5–6 лет [8, 13], выявили менее выраженное влияние префронтальной коры на процессы обработки зрительной информации, что проявилось в параметрах ССП заднеассоциативной коры, которые ассоциируются с завершением опознания. Полученные данные дают основание считать, что формирование целостных образов еще несовершенно в предшкольном возрасте, а опознание неполных изображений осуществляется за счет их узнавания на основе суммации сенсорных признаков в условиях незрелости нисходящего контроля со стороны лобной коры. Сопостав-

ление электроэнцефалографических данных с анализом параметров деятельности показало, что возрастная незрелость мозговых механизмов опознания целостных изображений по их фрагментам определяет его низкую эффективность. Однако, индивидуальный разброс темпов созревания системы зрительного восприятия чрезвычайно высок. Это наблюдение подтвердилось при учете успешности решения когнитивной задачи: дети 5–6 лет, отвечающие с большим количеством ошибок, отличались от детей той же возрастной группы, опознающих практически безошибочно, меньшей реактивностью префронтальной коры и меньшей дифференцированностью ответов в заднеассоциативных зонах. К 7–8-ми годам значительно увеличивается амплитуда компонентов ССП в префронтальной коре, связанных с опознанием предъявляемых изображений [9]. В этом возрасте обнаруживается и выраженное влияние префронтальной коры на активность нижневисочных ассоциативных зон, что указывает на формирующуюся систему нисходящего контроля. Изменению мозговых систем целостного восприятия к 7–8 годам соответствует уменьшение числа ошибок и снижение порога опознания [9]. К 9–10 [10] годам при опознании фрагментарных изображений наблюдается более выраженная активация префронтальных и экстрастриарных корковых зон, одновременно отмечается тенденция к дальнейшему улучшению эффективности деятельности. По мере морфофункционального созревания мозга к 10-11 годам возрастает роль префронтальной коры и ее связей с другими ассоциативными и сенсорными зонами в обеспечении формирования осознанного образа [11]. В этом процессе ведущую роль начинает играть избирательная настройка мозга на обработку значимой для достижения цели информации. Функционирование механизмов избирательного направленного внимания и рабочей памяти (РП) при подготовке к опознанию целевых изображений отчетливо выявляется у детей 10-11 лет, успешно опознающих знакомый предмет по его фрагментам, тогда как у неуспешных детей этого возраста еще преобладает усиление функциональных связей в период неспецифической мобилизационной готовности. В предпоздковом возрасте (11-12 лет) обнаруживается отрицательная тенденция в функциональной организации процесса формирования сознательного образа. Она проявляется в уменьшении степени вовлечения в этот процесс вентролатеральных зон префронтальной коры, входящих в системы эмоционально-мотивационной регуляции когнитивной деятельности и поведения. Еще в большей степени сниженная реактивность вентролате-

ральной префронтальной коры в период настройки мозга на решение когнитивной задачи (опознания целого объекта по фрагментам) проявляется в раннем подростковом возрасте (12-13 лет) [12], что предположительно связано с началом полового созревания и влиянием этого процесса на функционирование прежде всего глубинных и корковых звеньев мозговых систем эмоционально-мотивационной регуляции. Вероятно, именно снижением эффективности мотивационной регуляции можно объяснить выявленное при анализе поведенческих параметров повышение порога опознания знакомых изображений у подростков 12-13 лет [12] по сравнению с детьми 10-11 и 11-12 лет. Удивительно, что выводы о роли регуляторных, в том числе мотивационных составляющих мозговой организации зрительного восприятия были сделаны Д.А. Фарбер еще по результатам нейронных исследований и исследований ВП в обзоре 1974 г.

Это краткое резюме представляемой серии исследований лишь предваряет знакомство с оригинальными текстами, теми, которые были опубликованы в журнале «Новые исследования». Чтение текстов экспериментальных исследований в первоисточнике позволяет читателю проследить логику каждого эксперимента в отдельности и серии исследований в целом, познакомиться с основными методами электроэнцефалографических исследований мозговой организации когнитивных процессов, способами анализа и представления данных, которые позволили их авторам получить результаты, представляющие большой интерес для современных исследователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачинская Р.И. Нейрофизиология когнитивного развития. История лаборатории и научного направления // Новые исследования. 2024. №3 (79). С.144-182.
2. Савченко Е.И., Фарбер Д.А. Формирование функциональных влияний межанализаторных корковых зон на зрительную проекционную область коры в онтогенезе кроликов // Журн. высш. нервн. деят. – 1980. –Т. 30, № 5.– С.1061-1063.
3. Савченко Е.Н., Фарбер Д.А. Влияние стимуляции межанализаторных ассоциативных областей коры мозга кролика на вызванные потенциалы и ответы нейронов зрительной коры // Журн. высш. нервн.деят. –1980.–Т. 30, Вып.3. – С.575-581.
4. Фарбер Д.А. О специфичности так называемых неспецифических зрительных вызванных потенциалов //Основные проблемы электрофизиологии головного мозга. – М.: Издательство «Наука»,1974 г. – С. 222-235.

5. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Горев А.С., Савченко Е.И. Зрительная функция непроекционных отделов коры и ее отражение в вызванных потенциалах // Сенсорные системы. Зрение. – Ленинград: Наука, 1982. – С. 53-64.
6. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Дубровинская Н.В., Савченко Е.И. Взаимодействие восприятия и внимания на разных этапах индивидуального развития // Журн. высш. нервн. деят. – 1990. – Т. 40, № 5.– С. 860-869
7. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Оpozнание фрагментарных изображений и механизмы памяти // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 1. С. 5-18.
8. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Индивидуальные особенности зрительного опознания у детей дошкольного возраста // Новые исследования. 2012. № 1 (30). С. 31-44.
9. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности опознания фрагментарных изображений в 7-8-летнем возрасте. Анализ связанных событий потенциалов // Физиология человека. – 2005. – Т. 35, № 3. – С. 5–12.
10. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности опознания неполных изображений в 9-10 летнем возрасте. Анализ ССП // Новые исследования. 2010. № 1 (22). С. 5-18.
11. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Произвольное направленное внимание и эффективность опознания фрагментарных изображений у детей 10-11 лет // Новые исследования. 2013. № 3 (36). С. 5-26.
12. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности мозговой организации произвольного внимания и их влияние на эффективность целостного опознания у подростков 12-13 лет // Новые исследования. 2015. № 4 (45). С. 5-17.
13. 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 – 18.

REFERENCES

1. Machinskaya R.I. Neurofiziologiya kognitivnogo razvitiya. Istoriya laboratorii i nauchnogo napravleniya // Novye issledovaniya. 2024. №3 (79). S. 144-182.
2. Savchenko E.I., Farber D.A. Formirovanie funktsional'nykh vliyaniy mezhanalizatornykh korkovykh zon na zritel'nyuyu proektsionnyuyu oblast' kory v ontogeneze krolikov // Zhurn. vyssh. nervn. deyat. – 1980. –Т. 30, № 5.– S. 1061-1063.
3. Savchenko E.N., Farber D.A. Vliyanie stimulyatsii mezhanalizatornykh assotiativnykh oblastey kory mozga krolika na vyzvannyye potentsialy i otvety neyronov zritel'noy kory // Zhurn. vyssh. nervn. deyat. – 1980. –Т. 30, Vyp.3. – S. 575-581.
4. Farber D.A. O spetsifichnosti tak nazyvaemykh nespetsificheskikh zritel'nykh vyzvannykh potentsialov // Osnovnyye problemy elektrofiziologii golovnogo mozga. – M.: Izdatel'stvo «Nauka», 1974 g. – S. 222 – 235.
5. Farber D.A., Beleva T.G., Gorev A.S., Savchenko E.I. Zritel'naya funktsiya neproektsionnykh otdelov kory i ee otrazhenie v vyzvannykh potentsialah // Sensornyye sistemy. Zrenie. – Leningrad: Nauka, 1982. – S. 53-64.

6. Farber D.A., Beleva T.G., Dubrovinskaya N.V., Savchenko E.I. Vzaimod-eystvie vospriyatiya i vnimaniya na raznyh etapah individual'nogo razvitiya // Zhurn. vyssh. nervn. deyat. – 1990. – Т. 40, № 5. – S.860-869
7. Farber D.A., Petrenko N.E. Opoznanie fragmentarnykh izobrazheniy i mekh-anizmy pamyati // Fiziologiya cheloveka. 2008. Т. 34, № 1. S. 5-18.
8. Farber D.A., Petrenko N.E. Individual'nye osobennosti zritel'nogo opoznani-ya u detey predshkol'nogo vozrasta // Novye issledovaniya. 2012. № 1 (30). S. 31-44.
9. Farber D.A., Petrenko N.E. Osobennosti opoznaniya fragmentarnykh izo-brazheniy v 7-8-letnem vozraste. Analiz svyazannykh sobytiem potentsialov // Fiziologiya cheloveka. – 2005. – Т. 35, № 3. – S. 5-12.
10. Farber D.A., Petrenko N.E. Osobennosti opoznaniya nepolnykh izobrazheniy v 9-10 letnem vozraste. Analiz SSP // Novye issledovaniya. 2010. № 1 (22). S. 5-18.
11. Farber D.A., Petrenko N.E. Proizvol'noe napravlennoe vnimanie i effek-tivnost' opoznaniya fragmentarnykh izobrazheniy u detey 10-11 let // Novye issledo-vaniya. 2013. № 3 (36). S. 5-26.
12. Farber D.A., Petrenko N.E. Osobennosti mozgovoy organizatsii proiz-vol'nogo vnimaniya i ih vliyanie na effektivnost' tselostnogo opoznaniya u podrost-kov 12-13 let // Novye issledovaniya. 2015. № 4 (45). S. 5-17.
13. Farber D.A., Petrenko N.E. Formirovanie mekhanizmov opoznaniya nep-olnykh izobrazheniy v predshkol'nom i mladshem shkol'nom vozraste // Fiziologiya cheloveka. – 2012. – Т.38, №5. – S.5-18.

**Цикл архивных статей Д.А. Фарбер, Н.Е. Петренко,
опубликованных в журнале «НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»
в 2010 – 2015 гг.**

1. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21075383> Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Индивидуальные особенности зрительного опознания у детей дошкольного возраста // Новые исследования. 2012. № 1 (30). С. 31-44. E-mail: <develop.physiol@inbox.ru>

***АННОТАЦИЯ.** У детей 5-6 лет анализировались поведенческие и нейрофизиологические показатели опознания изображений разного уровня фрагментации – от низкого уровня до полного изображения. Выделены две группы с разной эффективностью опознания: группа 1 характеризовалась незначительным числом ошибок и опознанием на уровне фрагментации близком к целому изображению, группа 2 – значимо большим числом ошибок и опознанием на более низком уровне фрагментации. При анализе регионарных связанных с событием потенциалов (ССП) у детей группы 2 по сравнению с группой 1 выявлена значимо меньшая степень участия в процессе опознания заднеассоциативных зон коры, в которых осуществляется интеграция сенсорных признаков в целостный образ и префронтальных корковых зон, являющихся ключевыми в системе регуляции и контроля. Отмеченные особенности мозговой организации зрительного опознания определяют низкую эффективность этого важнейшего компонента познавательной деятельности значительной части детей 5-6 лет, что позволяет рассматривать этот контингент как группу риска возникновения трудностей школьного обучения на начальном его этапе.*

***Ключевые слова:** опознание фрагментарных изображений, дети 5-6 лет, связанные с событием потенциалы, фронтальные области, импульсивность.*

ABSTRACT. *Individual peculiarities of visual recognition in children of preschool age. There were studied behavioural and neurophysiological indices of image recognition of fragmented pictures. Two groups of recognition efficiency were found out. The first group was characterized by little number of mistakes and by recognition at fragmentation close to the whole image. The second group was characterized by a higher number of mistakes and recognition at a lower level of fragmentation. The regional analysis of event-related potentials (ERP) in children of the second group (in comparison with the first group) showed lower participation of caudal association cortex where sensory stimuli are integrated in the whole image and prefrontal zones which are the most important for regulation and control. These peculiarities of brain organization determine low effectiveness of visual recognition in most 5-6-year-old children. The data make it possible to conclude that these children can make a higher risk group in school learning at an early-stage education.*

Key words: *recognition of fragmented images, children at the age of 5-6 years old, ERP, frontal cortex, impulsiveness*

Важнейшим условием познавательного развития ребенка является опознание, идентификация объектов внешнего мира. У человека в этом процессе ключевая роль принадлежит зрительному каналу поступления информации. Опознание зрительных стимулов осуществляется при участии различных мозговых систем. В этот процесс включаются нейронные сети, осуществляющие анализ и интеграцию сенсорных признаков объекта, а также системы, обеспечивающие хранение и извлечение из памяти информации необходимой для его опознания. В зависимости от характера опознаваемого стимула и конкретной когнитивной задачи зрительное опознание осуществляется при участии различных видов памяти, в основе которых лежит функционирование разных нейронных систем. При предъявлении легко узнаваемых, знакомых объектов осуществляется произвольное опознание объекта на основе идентификации его сенсорных характеристик, происходящее с преимущественным участием модально-специфических корковых структур. При необходимости произвольного припоминания знакомых, но трудно узнаваемых объектов их опознание требует извлечения информации из долговременной памяти, осуществляемого с участием системы регуляции и контроля (управляющего механизма). Постепенность и гетерохронность морфофункционального созревания различных корковых зон и формирования их функциональных объединений определяет специфику зрительного опознания в детском возрасте [2, 12-17, 22-24].

Установлено [2, 6, 11, 26], что в 4-5 летнем возрасте дети трудно распознают целостный образ и испытывают трудности в распознавании сложных изображений. При изучении зрительного опознания с использованием метода функциональной магнитной резонансной томографии [28] у детей 5-8, 9-10 лет и взрослых показано увеличение с возрастом активации структур относящихся к вентральной зрительной системе, как известно ответственной за опознание по модально-специфическим признакам [27, 36, 37, 39, 40].

Исследования, касающиеся возрастных особенностей зрительного опознания немногочисленны и в основном выполнены на группах, включающих дошкольный и младший школьный возраст. Между тем, согласно нейроморфологическим и нейрофизиологическим данным в возрастном диапазоне от 4-5 к 7-8 годам происходит прогрессивное преобразование нейронной организации коры больших полушарий, приводящее к значительным изменениям когнитивных процессов [12, 13]. Учитывая особую значимость дошкольного периода для адаптации ребенка к систематическому обучению в школе, представлялось важным выяснение возрастных и индивидуальных возможностей

опознания объектов на этапе, непосредственно предшествующем школьному обучению – в 5-6 лет.

Адекватной моделью изучения зрительного опознания является предъявление неполных изображений разного уровня фрагментации. Эта модель позволяет оценить как степень зрелости механизмов обработки сенсорных признаков и их интеграции в целостный образ, так и механизмов управляющего контроля. В поведенческих работах установлено, совершенствование показателей эффективности опознания неполных изображений от 5 к 9-10 годам [22-24, 29, 34]. Однако по вопросу о механизмах, лежащих в основе специфики опознания в детском возрасте, в литературе имеются существенные расхождения. По данным одних исследователей механизмы, связанные с функцией модально-специфических систем, созревают в раннем постнатальном периоде, а низкая эффективность опознания у детей дошкольного возраста определяется незрелостью системы управляющего контроля [30, 34, 35]. По мнению других исследователей [22-24] как узнавание, опирающееся на суммацию сенсорных признаков, так и опознание на основе извлечения следов из долговременной памяти формируется постепенно в онтогенезе.

Для уточнения механизмов зрительного опознания в период, предшествующий обучению детей в школе, нами было предпринято комплексное изучение возрастных особенностей опознания неполных изображений разного уровня фрагментации на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях. У детей 5-6 лет по сравнению с 7-8 летними были выявлены значимо более низкие показатели эффективности зрительного опознания [10, 16]. Было установлено, что эти особенности опознания в 5-6 лет определяются как незрелостью механизмов управляющего контроля, так и недостаточным участием вентральной зрительной системы в опознании фрагментарных изображений. Важной особенностью 5-6 летних детей являются более выраженные индивидуальные различия показателей успешности опознания. В связи с этим был предпринят дифференцированный анализ мозговой организации зрительного опознания у двух групп детей 5-6 лет: первая группа – дети, отвечающие в основном безошибочно, вторая группа – дети, допускающие значительное число ошибок опознания. Результаты этого анализа изложены в настоящей статье.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемые: В эксперименте участвовал 22 ребенка (12 мальчиков, 10 девочек) в возрасте 5-6 лет (средний возраст $6,01 \pm 0,05$) имеющих нормальное зрение. Во всех случаях на участие в эксперименте было получено согласие детей и их родителей. В зависимости от количества допущенных в эксперименте ошибок опознания дети были разделены на две группы: в 1 группу входило 10 человек – средний возраст $6,17 \pm 0,068$, во 2 группу – 12 человек – средний возраст $5,97 \pm 0,15$.

Стимулы: Испытуемым предъявлялось 16 знакомых изображений предметов (стул, утюг, очки и др.) и животных (слон, верблюд, лошадь) из стандартного набора [38]. Изображения без их предварительного показа предъявлялись в 5 фрагментарных уровнях (2, 4, 5, 7 и 8 уровни) от трудно опознаваемого фрагментарного уровня (2) до полного изображения (8 уровень). Размеры изображения составляли 6×6 угловых градуса. Для каждого изображения показывались все 5 уровней фрагментации. Время предъявления – 750мс. Перед

каждым фрагментарным изображением испытуемому предъявлялся предупреждающий стимул (восклицательный знак), после предъявления изображения – вопросительный знак, сигнализирующий о необходимости ответа. Размер вопросительного и восклицательного знаков составляли 4 угловых градуса. В поведенческом эксперименте анализировалась точность опознания по числу ошибок и его эффективность по уровню, на котором безошибочно опознается изображение.

Статистический анализ проводился методом однофакторного анализа ANOVA и непараметрического критерия Манн-Уитни. В нейрофизиологическом эксперименте анализировались связанные с событием потенциалы (ССП). Проводилась непрерывная регистрация ЭЭГ по системе 10-20% от затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4), передневисочных (T3, T4), задневисочных (T5, T6), центральных (C3, C4, Cz) и лобных (F3, F4, F7, F8, Fz) областей коры. Для анализа СПП использовались безартефактные отрезки ЭЭГ. Усреднялись следующие классы СПП: СПП при отсутствии опознания – те уровни фрагментации изображения, на которые испытуемый отвечал "Не знаю"; СПП непосредственно предшествующие опознанию – те уровни фрагментации изображения, которые предшествовали правильному опознанию (испытуемый отвечал "Не знаю") и СПП при опознании – те уровни фрагментации изображения, на которых объект был правильно опознан. Усредненные по типам "опознаваемости" стимула СПП отдельных испытуемых использовались для группового усреднения и анализа с помощью метода главных компонент. Суммарная амплитуда СПП на временных отрезках, соответствующих выделенным главным компонентам, обрабатывались с помощью дисперсионного анализа (ANOVA Repeated measure – программа SPSS). Использовались следующие факторы: «опознание» (опознанные, неопознанные, за 1 уровень до опознания); «полушарие» (левое, правое); «отведения» (7 пар отведений) (Within-subject effect); и фактор «Группа» (группа с ошибками и без ошибок) (Between-subject effect). Достоверность различий суммарных амплитуд СПП отдельных областей оценивалась с использованием непараметрического критерия Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поведенческие показатели опознания фрагментарных изображений.

Исследования поведенческих показателей опознания фрагментарных изображений позволили установить их существенные различия у детей, опознающих изображения без ошибок (1 группа) и с ошибками (2 группа). Среднее количество ошибок в первой группе составляло $1,1 \pm 0,37$, во второй группе – $9,83 \pm 1,23$, различия между группами высоко значимы ($F(1,20) = 40,67$; $p = 0,000$). Средний уровень фрагментации, на котором происходило опознание, в первой группе составляет $6,65 \pm 0,14$, во второй группе средний опознаваемый уровень фрагментации составляет $6,34 \pm 0,97$ ($F(1,20) = 4,383$; $p = 0,049$), при этом уровень фрагментации ошибочного опознания у детей этой группы составляет $4,06 \pm 0,13$ и значимо отличается от правильного опознания в этой группе ($Z = -3,059$; $p < 0,002$). Это указывает на то, что дети этой группы отвечают поспешно, когда для ответа используется недостаточное для правильного опознания число сенсорных признаков, что и приводит к низкой эффективности опознания в этой группе детей.

Нейрофизиологический анализ опознания фрагментарных изображений.

Результаты дисперсионного анализа, представленные в таблице 1, выявили значимые взаимодействия фактора «Группа» с факторами «Опознание», «Полушарие», «Отведение», что свидетельствует о значимых различиях в степени участия разных корковых зон в операциях опознания у детей, допускающих и не допускающих ошибки. Групповые различия (взаимодействие факторов «Опознание x Полушарие x Отведение x Группа») выявлены в интервале 80-140, 140-220 и 220-300 и 300-390мс. В интервале 300-390мс выявлено так же взаимодействие факторов «Опознание x Полушарие x Группа». Взаимодействие факторов «Опознание x Отведение x Группа» выявлено в интервале 390-470 мс.

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП всех регистрируемых отведений на опознанные, неопознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения у групп детей, допускающих и не допускающих ошибки опознания

	20-80мс	80-140мс	140-220мс	220-300мс	300-390мс	390-470мс	470-560мс	560-660мс	660-750мс
Опознание		F (2,38) = 5,119; P=0.04				F (2,17) = 3,129; P=0.06	F (2,36) = 3,122; P=0.05		
Опознание x полушарие x группа					F (1,18) = 4,397; P=0.05				
Опознание X Отведение	F (1,18) = 6,125; P=0.024		F (1,18) = 7,364; P=0.014		F (1,18) = 6,072; P=0.03			F (1,18) = 5,193; P=0.035	
Опознан X Отвед. X Группа						F (1,18) = 5,673; P=0.029			
Опознан. X полуш. X Отвед.				F (2,17) = 3,329; P=0.05					
Опознан. X полуш. X отвед. X Группа		F (1,18) = 4,839; P=0.04	F (1,18) = 6,391; P=0.025	F (1,18) = 4,839; P=0.04	F (1,18) = 5,570; P=0.03				

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП всех регистрируемых отведений на опознанные, неопознанные и предшествующие опознанию фрагментарные изображения у детей, не допускающих ошибки опознания

	20-80мс	80-140мс	140-220мс	220-300мс	300-390мс	390-470мс	470-560мс	560-660мс	660-750мс
Опознание	F (2, 8) = 4,956; P=0.04	F (2, 8) = 5,343; P=0.015				F (2, 8) = 3,993; P=0.054			
Опознание X Отведение							F (1, 9) = 6,893; P=0.028	F (1, 9) = 7,088; P=0.024	F (1, 9) = 5,452; P=0.044
Опознан X полуш X отвед X			F (10, 93) = 2,007; P=0.04	F (12, 108) = 1,945; P=0.037					

Таблица 3

**Результаты дисперсионного анализа суммарной амплитуды ССП
 всех регистрируемых отведений на опознанные, неопознанные
 и предшествующие опознанию фрагментарные изображения у детей,
 допускающих ошибки опознания**

	20-80мс	80-140мс	140-220мс	220-300мс	300-390мс	390-470мс	470-560мс	560-660мс	660-750мс
Опознание									
Опознание X Отведение		F(1, 9)= 7,43; P=0.023	F(1, 9)= 8,996; P=0.015	F(1, 9)= 4,659; P=0.05	F(1, 9)= 6,659; P=0.03				
Опознан X полуш X отвед X									F(1, 9)= 7,858; P=0.025

Установлено так же, что изолированное влияние фактора «опознание» на амплитуду ССП сказывается на временных интервалах 80-140мс и 470-560мс. На уровне тенденции ($p=0,06$) изолированное влияние этого фактора отмечено в интервале 390-470мс. В интервалах 20-80мс, 140-220, 300-390 и 560-660мс получено достоверное взаимодействие факторов «опознание x отведение», что свидетельствует о выраженных региональных различиях в зависимости от уровня фрагментации изображения. Регионарные и полушарных различия в опознании фрагментарных изображений, отражающиеся во взаимодействии факторов «опознание x полушарие x отведение» получено для интервала 220-300мс.

При совместном анализе двух групп было выявлено не изолированное влияние фактора «Группа», а только его совместные влияния с другими факторами. В связи с этим для получения дополнительных сведений о специфике зрительного опознания был проведен дисперсионный анализ отдельно для каждой из групп.

Как видно при сравнении таблицы 2 и 3 результаты дисперсионного анализа существенно различаются в исследуемых группах. У детей безошибочной группы выявлено как изолированное значимое влияние фактора «опознание», так и его взаимодействия с факторами «полушарие», «отведение».

Эти различия достигают уровня значимости в разных временных интервалах, как соответствующих ранним периодам анализа стимула, так и при реализации операции опознания. Иная картина наблюдается у детей, допускающих ошибки. В этой группе отсутствует изолированное влияние фактора «опознание», отмечено лишь значимое взаимодействие факторов «опознание x отведение»

Для выявления специфики изменения параметров ССП при опознании фрагментарных изображений в тех временных интервалах, в которых методом дисперсионного анализа было выявлено значимое влияние фактора «опознание» и его взаимодействия с факторами «отведение» и «полушарие» методом парного сравнения проводилось сопоставление амплитудных значений компонентов ССП на опознанные и неопознанные стимулы.

На рис. 2А приведены ССП в ответ на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у детей «без ошибочной» группы. Статистически значимые различия между опознанными и неопознанными изображениями выявленные во временном интервале 20-80мс как в передних, так и в каудальных областях коры обеих полушарий ($F4 - t= 2,719; p=0,024; T4 - t= 6,497; p=0,0001; P3 -$

$t = -2,501$; $p = 0,033$; $O1 - t = -2,559$; $p = 0,03$; $O2 - t = -2,516$; $p = 0,032$). В каудальных областях амплитуда компонента основного комплекса P100 имеет большие значения на опознанные изображения по сравнению с неопознанными, различия носят значимый характер в левой затылочной и правой задневисочной областях ($O1 - t = -2,465$; $p = 0,035$; $T6 - t = -3,058$; $p = 0,013$). Во время развития компонента P250 значимые различия получены в вентролатеральной префронтальной коре ($F7 - t = 3,078$; $p = 0,013$), где этот компонент имеет большую амплитуду в ответ на опознанные изображения. В каудальных областях в этом временном интервале большая амплитуда компонента N250 отмечена на опознанные изображения ($P3 - t = 2,244$; $p = 0,051$; $O1 - t = 3,261$; $p = 0,008$). На поздних временных интервалах (470-560мс) различия между опознанными и неопознанными фрагментарными изображениями наблюдаются в центральной и теменной областях левого полушария, и проявляются в развитие поздней позитивности в ответ на опознанные стимулы ($C3 - t = -2,392$; $p = 0,041$; $P3 - t = -2,339$; $p = 0,044$).

Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения у детей, не совершающих ошибки опознания (группа 1).

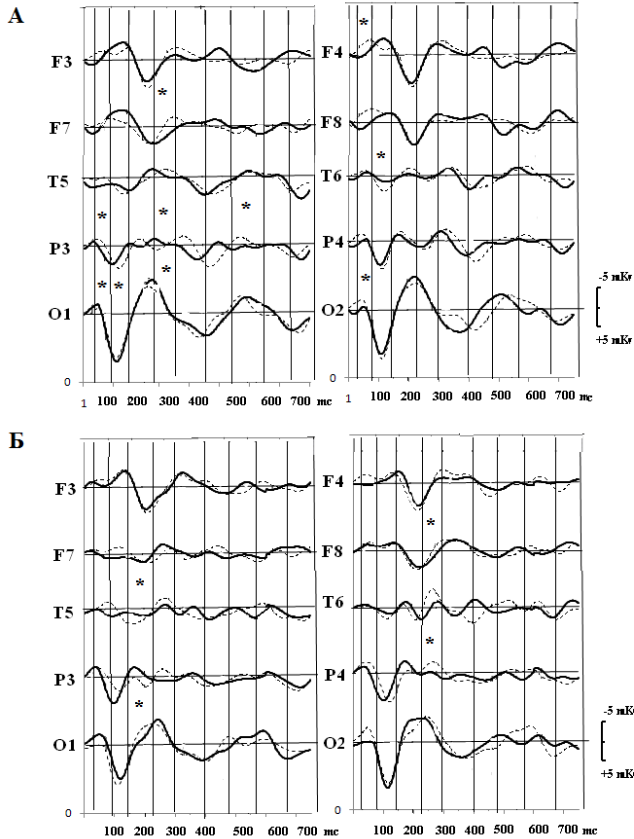


Рис. 2. ССП на опознанные (сплошная линия) и не опознанные (штрих-пунк-тир) фрагментарные изображения у детей 5-6 лет группы 1 (А) и группы 2 (Б). Вертикальные линии – границы временных интервалов, выделенных методом Главных компонентов.
* – значимые различия амплитуды компонентов ССП выявленные при парном сравнении.

Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения у детей, совершающих ошибки опознания (группа 2).

На рис. 2Б приведены ССП в ответ на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у детей «ошибочной» группы. Наиболее ранние статистически значимые различия между опознанными и неопознанными изображениями у этой группы детей выявленные во временном интервале 140-220мс и связаны с увеличением амплитуды компонента N150-200 в ответ на опознаваемые стимулы в передневисочной, заднее-височной и затылочной областях левого полушария ($T3 - t = -2,396; p = 0,037; T5 - t = 2,244; p = 0,051; O1 - t = -2,268; p = 0,049$). Негативный компонент N250 имеет большую амплитуду в ответ на неопознанные изображения, значимые различия получены в венстралатеральной префронтальной коре и теменной зоне правого полушария ($F8 - t = 2,245; p = 0,048; P4 - t = 2,280; p = 0,045$).

Сопоставление ССП на опознанные изображения у детей группы 1 и группы 2.

Сопоставление параметров ССП у детей, совершающих и не совершающих ошибки (рис 3) выявило наличие их значимых различий. На этапе сенсорного анализа в каудальных областях коры эти различия проявляются в значительно большей амплитуде компонентов C1 ($O1 - t = 5,754; p = 0,032$), P100 ($O1 - t = 5,946; p = 0,025$), N200 ($O1 - t = -3,630; p = 0,042; O2 - t = -2,286; p = 0,05$) и P350 ($O2 - t = -3,155; p = 0,023$) в затылочных областях у детей не совершающих ошибки опознания. В задневисочных областях значимые различия между ошибочной и безошибочной группами детей выявлены в интервале 20-85мс ($T5 - t = 5,125; p = 0,036$) и во время развития компонента N200, имеющего большую амплитуду слева у без ошибочной группы, а справа – у ошибочной ($T5 - t = 4,091; p = 0,025; T6 - t = 6,467; p = 0,014$).

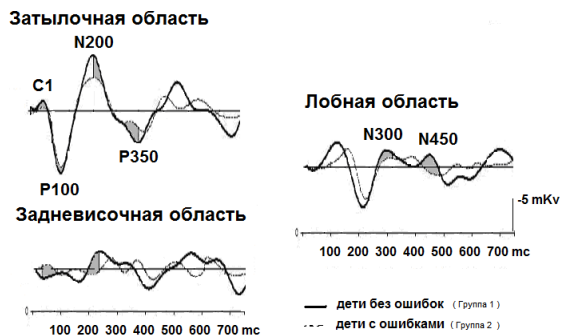


Рис. 3. ССП на опознанные фрагментарные изображения у детей 5-6 лет группы 1 (сплошная линия) и группы 2 (штрих-пунктир).

Значимые различия амплитудных показателей компонентов ССП заштрихованы.

Выявлены так же существенные различия в ССП дорсолатеральной префронтальной коры, где негативности N250 ($F4 - t = -2,666; p = 0,025$) и N450 и ($F3 - t = 4,936; p = 0,016; F4 - t = 4,554; p = 0,017$) имеют большие значения амплитуды у детей не совершающих ошибки по сравнению с ошибочной группой.

Таким образом, исследование поведенческих показателей опознания фрагментарных изображений позволило установить, что дети второй группы, до-

пускающие значимо большее число ошибок, опознают изображения на уровне фрагментации более низком, то есть более отличающемся от полного изображения, чем дети, не допускающие ошибок. При этом сравнение уровня фрагментации, на котором дети дают правильные и ошибочные ответы, выявило их значимые отличия: правильным ответам соответствует более высокий уровень фрагментации, ошибочным – более низкий. Это означает, что дети этой группы отвечают поспешно – быстро и неточно, что характерно для импульсивной стратегии, свойственной многим детям дошкольного возраста. Известно, что с возрастом число импульсивных детей снижается и, как показало лонгитюдинальное исследование, по мере морфофункционального созревания системы регуляции и контроля импульсивный тип когнитивной стратегии смещается в сторону рефлексивного [1, 4, 5, 7, 31, 32]. Интересно, что дети второй группы, реагирующие быстро и неточно, по возрасту отличаются от первой – безошибочной группы ($5,97 \pm 0,15$ и $6,17 \pm 0,068$ соответственно). В нейроморфологических и нейрофизиологических исследованиях показано, что в исследуемом диапазоне происходят существенные прогрессивные морфофункциональные перестройки нейронного аппарата коры больших полушарий [8, 9, 12-15, 17].

Результаты предпринятого нами анализа степени и характера участия различных областей коры в зрительном опознании у детей 5-6 лет свидетельствуют о том, что в пределах этого года жизни наблюдаются значимые отличия в формировании нейронных сетей, задействованных в процессе опознания. Показано, что характерная для детей 5-6 лет незрелость модально-специфической зрительной системы [16] у детей, допускающих много ошибок выражена значимо больше. Главным образом это относится к вентролатеральной зрительной области в которой осуществляется интеграция сенсорных признаков объекта в целостный образ. Как показали результаты анализа ССП задневиочных отведений (Т5, Т6) в ответах на опознаваемые стимулы характерный для обработки сенсорной информации негативный компонент N200, у детей, опознающих без ошибок выражен значимо больше, чем в «ошибочной» группе. Существенные различия мозговой организации зрительного опознания у детей исследуемых групп проявляется в степени участия в этом процессе дорсолатеральной префронтальной коры (отведения F3, F4), с которой согласно многочисленным данным связано функционирование управляющего (регуляторного) механизма [19, 21, 25]. Для детей, опознающих с большим количеством ошибок характерна слабая выраженность и а реактивность к фактору «опознание» негативных компонентов, в том числе компонента N400-500, отражающего когнитивную составляющую опознания. У детей безошибочной группы в ответах на опознанные изображения этот компонент отчетливо выражен. Полученные данные согласуются с недавними исследованиями [20], согласно которым негативность N400-500, отражающая формирование управляющих механизмов проявляется только после 5 лет. О постепенности формирования с возрастом регуляторных (управляющих) функций свидетельствуют данные полученные при изучении механизмов формирования произвольного внимания и рабочей памяти [3, 6, 8, 9, 14, 15, 17]. Одной из важнейших составляющих управляющего механизма является тормозный контроль, от которого в значительной степени зависит успешность опознания. При исследовании

возможностей управляющих механизмов у детей 5-6 и 8 лет [33, 41] было показано, что низкие показатели успешности выполнения когнитивных заданий у детей связаны с несформированностью управляющих функций и прежде всего тормозного контроля. Отсутствие тормозного контроля в значительной степени определяет импульсивную стратегию выполнения когнитивных задач, наблюдаемую нами у детей второй группы. Полученные нами данные дают основание полагать, что степень морфофункциональной зрелости нейрональных систем, обеспечивающих обработку сенсорной информации, и функции регуляции и контроля определяет индивидуальные возможности зрительного опознавания в дошкольном возрасте, а следовательно, и индивидуальные возможности обучения в школе. Значительные индивидуальные различия эффективности зрительного опознавания у детей 5-6 лет свидетельствуют о том, что на этом этапе онтогенеза происходит интенсивное формирование механизмов, лежащих в основе обработки информации, а следовательно этот возраст можно рассматривать как чувствительный период наиболее благоприятный для целенаправленного развития мозговых механизмов зрительного опознавания – важнейшего компонента познавательной деятельности ребенка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У детей 5-6 лет выявлены значимые индивидуальные различия эффективности опознавания фрагментарных изображений и нейрофизиологических механизмов, ее определяющих. Дети, допускающие большое число ошибок, опознают изображения на уровне фрагментации более низком, то есть более отличающемся от полного изображения, чем дети, не допускающие ошибок. При этом, в данной группе правильным ответам соответствует более высокий уровень фрагментации, ошибочным – более низкий. Такой тип опознавания – быстрая и неточная реакция соответствует импульсивной стратегии, свойственной многим детям дошкольного возраста. Нейрофизиологическое исследование показало, что характерная для 5-6 лет незрелость модально-специфической зрительной системы, в которой осуществляется интеграция сенсорных признаков объекта в целостный образ, у детей, допускающих много ошибок выражена значимо больше, чем у детей отвечающих безошибочно. Для детей, опознающих изображения с большим количеством ошибок также характерна, меньшая степень участия префронтальной коры, и соответственно, регуляторных (управляющих) влияний в опознании зрительных изображений. Незрелость регуляторных механизмов определяет отсутствие тормозного контроля (импульсивность), и низкую эффективность опознавания, что позволяет рассматривать этих детей, как группу возможного риска трудностей на начальном этапе обучения в школе. Значительный индивидуальный разброс в созревании механизмов обработки зрительной информации у детей 5-6 лет, позволяет рассматривать этот возраст как чувствительный период, благоприятный для целенаправленного развития нейрофизиологических механизмов, определяющих эффективность зрительного опознавания, что чрезвычайно важно при обучении письму и чтению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешина Е.С. Исследование импульсивности – рефлексивности в дифференциальной психологии обучения // Когнитивные стили: Тезисы научно – практического семинара. – Таллин, 1986. – С. 123-127.

2. Бетелева Т.Г. Нейрофизиологические механизмы зрительного восприятия. – М.: Наука, 1983. – 175 с.
3. Бетелева Т.Г., Сеницын С.В. Связанные с событием потенциалы на разных этапах реализации зрительной рабочей памяти // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, №3. – С. 5-15
4. Бетелева Т.Г., Петренко Н.Е. Возрастная динамика показателей скорости и точности выбора тестового изображения у детей младшего школьного возраста // Альманах «Новые исследования». – 2002. – №1(2). – С. 54-59.
5. Клаус Г. Введение в дифференциальную психологию учения. – М.: Педагогика, 1987. – 176 с.
6. Крупская Е.В., Мачинская Р.И. Возрастные изменения параметров распознавания иерархических стимулов в условиях направленного внимания у детей от 5 до 10 лет // ЖВНД, – 2010. – Т.60, № 6. –С. 679-690.
7. Колга В. Возможные миры когнитивных стилей. //Когнитивные стили: Тезисы научно – практического семинара. – Таллин,1986. – С. 32.
8. Мачинская Р.И. Функциональное созревание мозга и формирование нейрофизиологических механизмов избирательного произвольного внимания у детей младшего школьного возраста // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 1. – С. 26.
9. Мачинская Р.И., Курганский А.В. Возрастные особенности мозговой организации регуляторных и информационных компонентов рабочей памяти у детей 7 лет // Журнал высшей нервной деятельности. – 2012.
10. Петренко Н.Е., Фарбер Д.А. Возрастная динамика мозговой организации опознавания фрагментарных изображений у детей 5-6 и 7-8 лет // Новые исследования. – 2011. – №4 (29). – С. 5-15.
11. Полонская Н.Н. Нейропсихологическая диагностика детей младшего школьного возраста. – 2007, –Academia. –192 с.
12. Развитие мозга и формирование когнитивной деятельности ребенка // Ред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. – М.; Воронеж: МПО «Модэк», 2009. – 432 с.
13. Семенова Л.К., Васильева В.А., Цехмистренко Т.А. Структурные преобразования коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. – Л., Наука, 1990. – С. 8-44.
14. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе // Физиология человека. – 2005. – Т.31, №5. – С. 26.
15. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Формирование мозговой организации рабочей памяти в младшем школьном возрасте / Д.А. Фарбер // Физиология человека. – 2011. – Т.37, №1. – С. 5-17
16. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Нейрофизиологические механизмы опознавания фрагментарных изображений в 5-6 летнем возрасте//Физиология человека, – 2011. – Т.37, №6. – С. 5-17
17. Фарбер Д.А., Сеницын С.В. Функциональная организация рабочей памяти у детей 7-8 лет // Физиология человека. – 2009. – Т.35, №2. – С. 5-15.
18. Холодная М.А. Когнитивные стили: о природе индивидуального ума. – М.: ПЕР СЕ, 2002. – 304 с.
19. Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. Working Memory: Past, Present and Future? In: N. Osaka, R.H. Logie & M. D’Esposito (Eds.), The cognitive neuroscience of working memory. – Oxford: Oxford University Press, 2007.
20. Buss K.A., Dennis T.A., Brooker R. J., Sippel L.M. An ERP study of conflict monitoring in 4–8-year-old children: Associations with temperament // Developmental Cognitive Neuroscience. – 2011. – №1. – P. 131–140
21. Curtis E, Zald D., Pardo J. Organization of WM within human prefrontal cortex // Neuropsychologia. – 2000. – 38. – P. 1503-1510.

22. Cycowicz Yael M. Memory development and event-related brain potentials in children // *Biological Psychology*. – 2000. – V. 54. – P. 145.
23. Cycowicz Y.M., Friedman D. ERP recordings during a picture fragment completion task: effects of memory in instructions // *Cogn. Brain Res.* – 1999. – V. 8. – P. 271.
24. 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.
25. D'Esposito M. From cognitive to neural models of working memory // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* – 2007. – V. 362, № 1481. – P. 761.
26. Dukette D., Stiles J. The effects of stimulus density of children's analysis of hierarchical patterns. *Dev. Sci.* – 2001. – 4. – P. 233-251.
27. 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.
28. Gathers, A. D.; Bhatt, R.; Corbly, C. R.; Farley, A. B.; Joseph, J. E. Developmental shifts in cortical loci for face and object recognition // *NeuroReport*. – 2004. – V15. №10. – P. 1549-1553
29. Gollin, E. S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects // *Perceptual and Motor Skills*. – 1960. – V.11. – P. 289.
30. Hayes, B.K., Hennessy, R. The nature and development of nonverbal implicit memory // *J. Exp. Child Psychol.* – 1996. – V.63. – P. 22.
31. Kagan J., Rosman B., Day L., Albert J., Phillips W. Information processing in the child: Significance of analytic and reflective attitudes. // *Psychological Monographs*. – 1964. – V.78, N1. – P. 1-37.
32. Messer, S.B. Reflection – impulsivity: a review. // *Psychological Bulletin*. – 1976. – V.83, N6. – P. 1026-1052.
33. Molfese V.J., Peter J. Molfese P.J., Molfese D.L. Rudasill K.M., Armstrong N., Starkey G. Executive function skills of 6–8-year-olds: Brain and behavioral evidence and implications for school achievement // *Contemporary Educational Psychology*. – 2010. – V.35. – P. 116-125
34. Parkin, A.J., Street, S. Implicit and explicit memory in young children and adults. *Br. J. Psychol.* – 1988. – V.79. – P.361
35. Rovee-Collier C. Dissociations in infant memory: rethinking the development of implicit and explicit memory. // *Psychological review*. – 1997. – V.104. №3. – P. 467.
36. Schendan H.E., Maher S.M. Object knowledge during entry level categorization is activated and modified by implicit memory after 200 ms // *Neuroimage*. – 2008. – V. 44. – P. 1423.
37. 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.
38. 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. 3–36
39. Stuss, D.T., Picton, T.W., Cerri, A.M., Leech, E.E., and Stethem, L.L. Perceptual closure and object identification: electrophysiological responses to incomplete pictures // *Brain Cogn.* – 1992. – V.19. – P. 253.
40. 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.
41. Wetzel N., Widmann A., Schroger E. Processing of novel identifiability and duration in children and adults // *Biological psychology*. – 2011. – V.36. – P.

2. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17091982> Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности опознания неполных изображений в 9-10 летнем возрасте. Анализ ССП // Новые исследования. 2010. № 1 (22). С. 5-18.

АННОТАЦИЯ. У детей 9–10 лет анализировались топография и параметры ССП, регистрируемые при предъявлении неполных изображений разного уровня фрагментации, что позволило выявить характер участия различных корковых зон в процессе опознания. Установлена роль лобных областей коры на разных этапах восприятия фрагментарных изображений. Различия опознанных и неопознанных изображений в ССП передних и каудальных отведений во временном интервале 24–75 мс связаны с появлением ранней негативности С1 на опознанные фигуры. В лобных областях достоверно больше при идентификации изображений выражен компонент N250 (Nc1) связанный с опознанием. Изображения, предшествующие опознанию, характеризуются возникновением позднего позитивного комплекса, преимущественно в передних областях, не отмеченного в возрасте 7–8 лет.

Ключевые слова: дети, головной мозг, ССП.

ABSTRACT. The topography and ERP parameters were analyzed in 9–10-year-old children presented with incomplete pictures with various level of fragmentation. It helped to determine the role of different cortex areas in the process of picture identification. It was found out that frontal lobe takes part in the perception of incomplete pictures at different stages. Differences in identified and unidentified pictures in ERP of frontal and caudal leads in the range of 24–75ms are connected with an early negative C1 component. The component N250 (Nc1) connected with identification is manifested significantly higher when identifying the picture. Pictures preceding the identification series are characterized by the late positive complex mainly in frontal areas not mentioned at the age of 7–8.

Keywords: children, brain, ERP.

Согласно современным представлениям, восприятие является активным процессом и осуществляется как сложный системный акт, в который включены различные структуры головного мозга, от подкорковых центров до проекционных и ассоциативных областей коры. Восприятие, как и другие психические функции, развиваются в онтогенезе постепенно и гетерохронно, что обусловлено степенью зрелости и характером взаимодействия структур мозга, обеспечивающих данную деятельность [12]. К концу младшего школьного возраста, 9–10 годам, по мере структурно-функционального созревания головного мозга происходят существенные прогрессивные преобразования проекционных и в особенности ассоциативных областей коры. Морфологические исследования показали, что к этому возрасту усложняется структура нейронных ансамблей, включающих разные типы нейронов, увеличивается количество горизонтальных связей [9], объединяющих различные корковые зоны, что в свою очередь приводят к значительным изменениям функциональной организации мозга, приводящим к изменению электроэнцефалограммы. Формирование близкого к дефинитивному типу ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования обеспечивает оптимальную готовность к восприятию информации и организации деятельности. Специфика организации системы зрительного восприятия в детском возрасте обнаружена при использовании метода регистрации связанных с событием потенциалов и функционально магнитного резонанса [2,11,19,21,25]. Изучение нейрофизиологических коррелятов опознания лиц по сравнению с другими стимулами у детей 5–8, 9–11 лет и у взрослых показало, что у всех исследуемых групп происходит более сильная активация в вентральном зрительном пути в ответ на лицевые стимулы [19]. Однако вовлечение этих областей при анализе сложных стимулов в разных возрастных группах различно. Если у детей 9–11 лет, как и у взрослых, активность отмечалась в специфичной для лиц фузиформной области, то у детей

5–8 лет в анализе участвуют более каудальные области вентрального зрительно го пути (the posterior ventral processing stream).

Для понимания возрастных преобразований процесса зрительного восприятия значительный интерес представляет изучение механизмов, лежащих в основе хорошо известной способности человека опознавать изображение по отдельным его фрагментам. В исследованиях, проведенных на взрослых испытуемых, установлено, что опознание фрагментарных изображений осуществляется при участии различных отделов мозга. При использовании нейровизуализационных методов (PET, fMRI) показано, что опознание фрагментарных изображений [20, 26] про исходит в латеральном экстрастриарном регионе, называемом LOC – lateral occipital complex. Причем фузиформная и нижняя теменная извилины более сильно активируются в ответ на опознаваемые (фрагментарные) изображения, по срав нению с неопознаваемыми стимулами [20]. Электрофизиологические исследования с использованием связанных с событием потенциалов у взрослых испытуемых показали, что с опознанием фрагментарных изображений связана негативная волна, регистрирующаяся в каудальных отделах в интервале 240–400 мс и названная «closure negativity – Ncl» [13,16,26]. О возрастных особенностях такого опознания известно мало. Поведенческие исследования показали, что в возрасте 5–7 лет, по сравнению с группами 9–10летних, процент правильного опознания фрагментарных изображений достоверно ниже [8, 15, 22]. Проведенное нами [14] изучение степени и характера вовлечения различных корковых зон в опознании фрагментарных изображений у детей 7–8 лет показало, что в отличие от взрослых опознание на основе следов в долговременной памяти осуществляется с меньшим участием префронтальной коры в сравнении со взрослыми. Незрелость префронтальной коры, бесспорно, является одним из важнейших факторов, определяющим ограниченные возможности рабочей памяти в 7–8летнем возрасте, поскольку ее нисходящим управляющим влияниям принадлежит особая роль в системной организации мозговых структур при реализации рабочей памяти. Целью данного исследования было выявления мозговых механизмов, определяющих особенности опознания неполных изображений в возрасте 9–10 лет, путем анализа топографии и параметров ССП при предъявлении изображения разного уровня фрагментации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В эксперименте участвовало 25 детей (14 мальчиков, 11 девочек) в возрасте 9–10 лет (средний возраст $9,32 \pm 0,138$) имеющих нормальное зрение и не наблюдающихся у невропатолога. Во всех случаях на участие в электрофизиологическом эксперименте было получено согласие детей и их родителей.

Испытуемым предъявлялось 16 знакомых изображений предметов (стул, утюг, очки и др.) и животных (например: слон, верблюд, лошадь) из стандартного набора [24]. Изображения предъявлялись в 5 фрагментарных уровнях (2,4, 5,7 и 8 уровни) от более фрагментарного уровня (2) до полного изображения (8 уровень). Размеры изображения составляли 6 x 6 угловых градуса. Для каждого изображения показывались все 5 уровней фрагментации.

Перед каждым фрагментарным изображением испытуемому предъявлялся предупреждающий стимул (восклицательный знак), после предъявлялся вопросительный знак, свидетельствующий о том, что нужно отвечать. Размер вопросительного и восклицательного знаков составляли 4 угловых градуса.

Во время эксперимента испытуемые располагались в затемненном помещении в удобном кресле в 1 метре перед светящимся экраном жидкокристаллического 256цветного монитора. В произвольно выбираемый промежуток времени (меж стимульный интервал 3–5 сек) испытуемому предъявлялся предупредительный стимул – восклицательный знак. Через 1250–1350 мс после него предъявляется тестовый стимул – фрагментарное изображение. После которого на экране монитора появляется знак вопроса, вслед за которым испытуемый должен был нажать на кнопку пульта, находящегося у него в руках и ответить либо «Не знаю» – если изображение не опознано, либо назвать, что изображено на картинке. Время экспозиции каждого стимула составляло 750 мс. Задачей испытуемого было словесно ответить, какое изображение он видит.

Во время эксперимента проводили непрерывную 20-канальную регистрацию ЭЭГ по системе 10–20% от затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4), передневисочных (T3, T4), задневисочных (T5, T6), центральных (C3, C4, Cz) и лобных (F3, F4, F7, F8, Fz) областей. В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод. Частота квантования сигнала составляла 1000 Гц (система «Neocortexpro» 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 те реализации, в которых амплитуда ЭОГ превышала 50 мкВ.

Для анализа использовались безартефактные отрезки ЭЭГ. Эпоха анализа пост стимульного периода составляла 750 мс. Усреднялись следующие классы ССП:

1 – ССП при отсутствии опознания – те уровни фрагментарных изображение, на которые испытуемый отвечал «Не знаю» и которые не предшествовали опознанию;

2 – ССП за 1 один уровень до опознания – те уровни фрагментарных изображение, которые предшествовали правильному опознанию и на которых не давался ошибочный ответ (ответ испытуемого был «Не знаю»).

ССП при опознании – те уровни фрагментарных изображение, 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 компонент. Для выявления Главных компонент 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) x 2 полушария x 7 отведений в каждом полушарии. Далее суммарная амплитуда ССП на временных отрезках, соответствующих выделенным Главным компонентам, обрабатывались с помощью дисперсионного анализа (ANOVA Repeated measure – программа SPSS). Дисперсионный анализ проводился по трем схемам. Во всех схемах использовались следующие факторы: «опознание» (опознанные \ неопознанные), (опознанные \ за 1 уровень до опознания) и (неопознанные и за 1 уровень до опознания; «полушарие» (левое, правое); «отведения» (9 пар отведений). Достоверность

различий суммарных амплитуд ССП отдельных областей оценивалась с использованием критерия Стьюдента (Ttest).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Компонентный состав ССП

Визуальный анализ и использование метода Главных компонентов показано, что ССП, регистрируемые при идентификации неполных изображений во всех ситуациях и во всех отведениях имеют сходную конфигурацию и определенную временную последовательность компонентов (рис 1). На начальных этапах анализа информации в каудальных отделах наблюдается ранний позитивный компонент P100 (75–129мс). В передних областях в этом временном интервале виден компонент C1, развивающийся в ответ на опознанные изображения. В каудальных областях волна C1 развивается несколько раньше – в интервале 25–74 мс. Вслед за позитивностью P100 регистрируется негативный компонент N200 (130–190), переходящий в компонент P250–300 (191–244 и 245–309 мс). В передних областях в интервале 130–249 мс регистрируется позитивность P200 и следующий за ней негативный компонент N250. В интервалах 310–369 и 370–429 мс в каудальных областях регистрируется волна N350. В передних областях ей соответствует позитивно негативный комплекс P300– N400. Вслед за этим с 430 мс по всей коре регистрируется поздний позитивный комплекс, имеющий наибольшую амплитуду в передних областях и медленные позитивные и негативные колебания.

Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения

Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения приведены на рис 2. Различия между правильно опознанными и неопознанными фрагментарными изображениями (табл. 1а) начинаются на очень ранних этапах анализа информации (75–129мс) и связаны с негативностью, возникающей по всей коре на опознанные стимулы, максимально выраженной в лобных областях («Опознание х полушарие»). По критерию Стьюдента различия носят значимый характер в левой лобной области (F_3 : $t=2,087$, $df=24$, $p<0,05$).

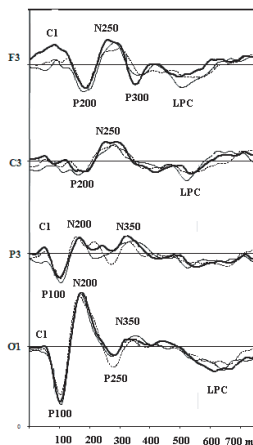


Рис.1. Компоненты ССП на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения. Толстая линия – опознанные изображения; тонкая линия – неопознанные, близкие по уровню фрагментации к опознанным (за 1 уровень до опознания); штрихпунктир – неопознанные изображения, значительно отличающийся по уровню фрагментации от опознанных. Позитивность на этом и всех последующих рисунках – отклонение вниз.

По критерию Стьюдента различия носят значимый характер в левой лобной области (F3: $t=2,087$, $df=24$, $p<0,05$).

Различия между сопоставляемыми изображениями отражаются так же в компоненте P250 (191–244мс) и носят выраженный межполушарный характер («Опознание х полушарие»). Сравнение по Стьюденту выявило, что компонент P250 имеет большую амплитуду на неопознанные стимулы, по сравнению с опознанными в затылочной ($t=1,998$, $df=24$, $p<0,045$).

Различия между опознанными и неопознанными стимулами связаны с негативным компоненте N250, для которого получено изолированное влияние фактора «опознание» и совместное влияние факторов «опознание х отведение». Сравнение по Стьюденту выявило, что негативность N250 имеет большую амплитуду на опознанные стимулы, по сравнению с неопознанными в лобных областях как правого, так и в левого полушария (245–309 мс: F3: $t=2,584$, $df=24$, $p<0,02$; F4: $t=4,321$, $df=24$, $p<0,001$; C4: $t=-2,661$, $df=24$, $p<0,015$). Для позитивной волны P300 (310–369мс), по данным дисперсионного анализа, получены как регионарные, так и межполушарные различия («Опознание х отведение»; «Опознание х полушарие»).

Амплитуда компонента P300 больше на опознанные изображения, по сравнению с неопознанными, различия носят значимый характер в левой лобной области (F3: $t=-2,278$, $df=24$, $p<0,035$).

Различия между опознанными и неопознанными изображениями отражаются в позднем позитивном комплексе (430–499мс), имеющем большую амплитуду на опознанные стимулы, и носят межполушарный характер («Опознание х полушарие»). По критерию Стьюдента различия значимы в лобно-височной и теменной областях правого полушария (F8: $t=-2,703$, $df=24$, $p<0,015$; T4: $t=-2,703$, $df=24$, $p<0,015$). Для поздних стадий анализа информации, по данным дисперсионного анализа, получены как межполушарные, так и регионарные различия (550–614мс: «Опознание х полушарие», «Опознание х отведение»; 615–679мс: «Опознание х полушарие»). На опознанные изображения происходит усиление медленной негативной волны передних преимущественно правого полушария (550–614мс: C4: $t=2,247$, $df=24$, $p<0,035$; T4: $t=2,602$, $df=24$, $p<0,017$; 615–679мс: F3: $t=4,130$, $df=24$, $p<0,001$; F4: $t=2,356$, $df=24$, $p<0,03$; F8: $t=2,912$, $df=24$, $p<0,01$).

Сопоставление ССП на опознанные стимулы и изображения, предшествующие опознанию

Сопоставление ССП на опознанные изображения и изображения отличающиеся от опознаваемых на 1 уровень фрагментации приведены на рис 3 и таблице 1б. Различия по данным дисперсионного анализа отмечены на ранних (25–74 мс и 75–129 мс) стадиях анализа информации для изолированного влияния фактора «опознание» и взаимодействия факторов «опознание х отведение». Они связаны с более выраженной негативностью C1 в ответе на опознанные стимулы. Достоверные различия по Стьюденту наблюдаются в преимущественно в левом полушарии (25–74мс: F3: $t=4,477$, $df=24$, $p<0,0001$; F4: $t=5,265$, $df=24$, $p<0,0001$; F7: $t=2,498$, $df=24$, $p<0,02$; F8: $t=6,521$, $df=24$, $p<0,0001$; C3: $t=3,149$, $df=24$, $p<0,005$; T3: $t=3,383$, $df=24$, $p<0,005$; P3: $t=2,002$, $df=24$, $p<0,05$; T5: $t=2,263$, $df=24$, $p<0,035$; 75–129мс: F3: $t=2,962$, $df=24$, $p<0,001$; F4: $t=2,343$, $df=24$, $p<0,03$; F7: $t=2,673$, $df=24$, $p<0,015$).

Таблица 1

*Влияние фактора «Опознание» и его взаимодействия с другими факторами на суммарные амплитуды ССП
 А. При совместном анализе опознанных и неопознанных фрагментарных изображений*

	24-74мс 3 factor	75-129мс 10 factor	130-190мс 11 factor	191-244мс 9 factor	245-309мс 2 factor	310-369мс 7 factor	370-429мс 8 factor	430-499мс 4 factor	500-549мс 12 factor	550-614мс 5 factor	615-679мс 6 factor	680-750мс 1 factor
опознание					F(1;24)=6,26 p=0,02							
Опознание х полушар		F(4;90)=2,98 p=0,026		F(1;24)=4,39 p=0,047				F(1;24)=9,05 p=0,006		F(1;24)=4,45 p=0,045		
Опознание х отведен					F(6;19)=3,56 p=0,016	F(2;48)=3,57 p=0,036				F(6;19)=3,59 p=0,015	F(3;84)=4,79 p=0,002	
опознание х полушар х отведен						F(5;126)=2,32 p=0,044						

Б. При совместном анализе опознанных и предшествующих опознанию фрагментарных изображений

	24-74мс 3 factor	75-129мс 10 factor	130-190мс 11 factor	191-244мс 9 factor	245-309мс 2 factor	310-369мс 7 factor	370-429мс 8 factor	430-499мс 4 factor	500-549мс 12 factor	550-614мс 5 factor	615-679мс 6 factor	680-750мс 1 factor
опознание	F(1;24)=15,9 p=0,001	F(1;24)=4,13 p=0,05										
Опознание х полушар												
Опознание х отведен	F(4;97)=2,66 p=0,037								F(6;19)=2,89 p=0,036		F(6;19)=2,66 p=0,048	
опознание х полушар х отведен												

Б. При совместном анализе опознанных и предшествующих опознанию фрагментарных изображений

	24-74мс 3 factor	75-129мс 10 factor	130-190мс 11 factor	191-244мс 9 factor	245-309мс 2 factor	310-369мс 7 factor	370-429мс 8 factor	430-499мс 4 factor	500-549мс 12 factor	550-614мс 5 factor	615-679мс 6 factor	680-750мс 1 factor
опознание	F(1;24)=15,9 p=0,001	F(1;24)=4,13 p=0,05										
Опознание х полушар												
Опознание х отведен	F(4;97)=2,66 p=0,037									F(6;19)=2,66 p=0,048		
опознание х полушар х отведен									F(6;19)=2,89 p=0,036			

На поздних стадиях анализа информации различия между опознанными и предшествующими опознанию изображениями связаны с поздним позитивным комплексом (500–549мс «опознание x полушарие x отведение»; 550–614мс – «опознание x отведение»), который имеет большую амплитуду на изображения, предшествующие опознанию в лобной (550–614мс: F3: $t=2,409$, $df=24$, $p<0,025$) и центральной (500–549мс: C3: $t=2,194$, $df=24$, $p<0,04$) областях левого полушария.

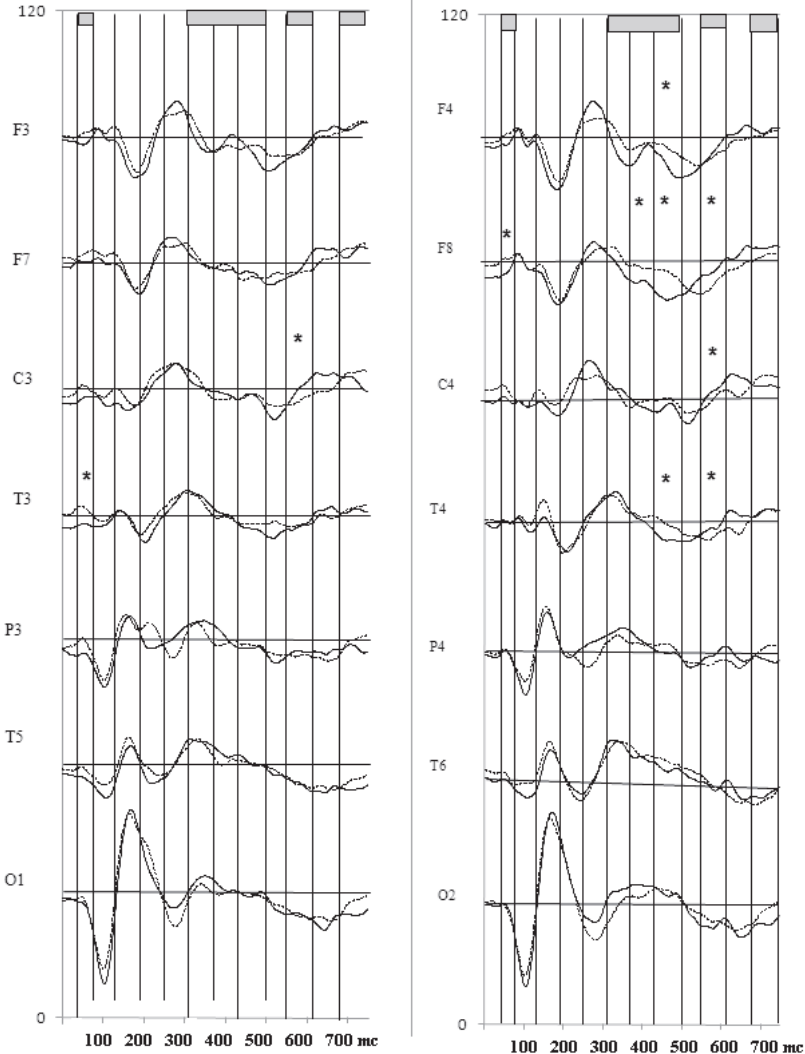


Рис.2. ССП разных областей коры на опознанные (толстая линия) и не опознанные (итрихпунктир) фрагментарные изображения. Вертикальные линии – границы временных интервалов, выделенных методом Главных компонент.

Серый прямоугольник – значимые различия параметров ССП по результатам дисперсионного анализа (ANOVA – Repeated measure).

* – значимые различия амплитуды компонентов ССП выявленные при подпарном сравнении по критерию Стьюдента.

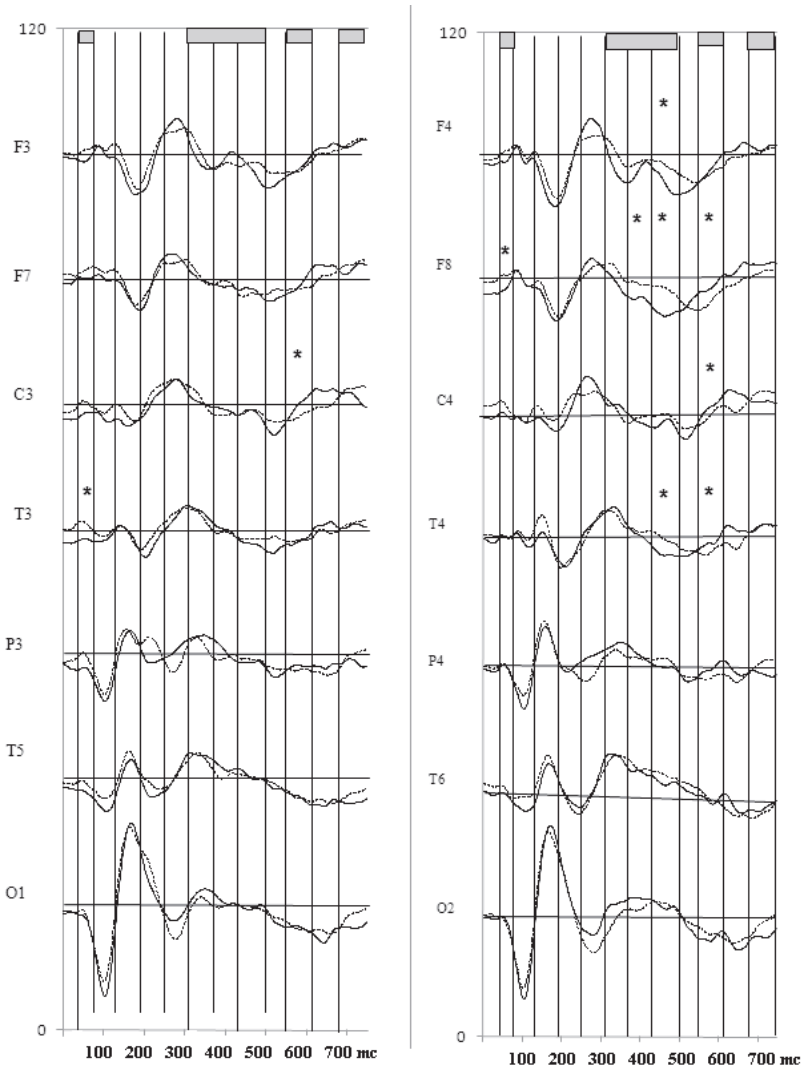


Рис.3. ССП разных областей коры на опознанные (толстая линия) и предшествующие опознанию (тонкая линия) фрагментарные изображения. Обозначения как на предыдущем рисунке

Сопоставление ССП на неопознанные стимулы и изображения, предшествующие опознанию

Сопоставление ССП на неопознанные изображения и изображения отличающиеся от опознаваемых на 1 уровень фрагментации приведены на рис 4 и таблице 1в. По данным дисперсионного анализа наиболее ранние различия существуют в интервале 25–74мс («опознание») и проявляются в усилении ранней негативности на неопознанные изображения (F8: $t=-2,060$, $df=24$, $p < 0,05$; T3: $t=-2,730$, $df=24$, $p < 0,015$).

На более поздних стадиях анализа информации различия между неопознанным и предшествующими опознанию фрагментарным изображением

отражаются на компоненте P300 (310–369мс: «опознание х отведение»), переходящем в поздний позитивный комплекс (370–429 мс: «опознание х полушарие»; 430–499мс: «опознание х полушарие»). Большая его амплитуда наблюдается в передних областях на стимулы, предшествующие опознанию (370–429 мс: F8: $t=-2,635$, $df=24$, $p<0,015$; 430–499мс: F4: $t=-2,424$, $df=24$, $p<0,025$; F8: $t=-3,374$, $df=24$, $p<0,005$; T4: $t=-2,680$, $df=24$, $p<0,015$). Во время развития медленных позитивных и негативных волн, различия отмечаются в интервале 550–614мс: «опознание х отведение» и 680–750мс: «опознание х полушарие х отведение» и связаны с возникновением в ответ на предшествующие опознанию изображения негативных колебаний, ССП на неопознанные стимулы имеет более позитивный потенциал (550–614мс: F8: $t=2,129$, $df=24$, $p<0,045$; C3: $t=2,064$, $df=24$, $p<0,05$; C4: $t=2,566$, $df=24$, $p<0,02$; T4: $t=2,598$, $df=24$, $p<0,02$).

Исследование опознания изображений разного уровня фрагментации у детей 9–10 лет, выявило особенности ССП в различных отделах коры связанные с «уровнем опознания» неполных изображений. Показано, что при опознании фрагментарных изображений, существенную роль играют не только каудальные структуры, связанные с анализом сенсорных характеристик стимула, но и передние ассоциативные зоны коры. Активация каудальных областей при опознании неполных изображений особенно у взрослых испытуемых неоднократно описаны в литературе [13,16,26]. Есть данные об участии в этом процессе фронтальных областей [13–14,18,26,28]. Как и у взрослых испытуемых компонент N250–300,

«Nc1 – closure negativity», рассматриваемый в литературе в качестве ключевого компонента опознания, базирующегося на сенсорном анализе [13,16,26] у детей 9–10 лет имеет большую амплитуду на опознанные фрагментарные изображения. На ранних стадиях анализа информации в ответ на опознанные изображения происходит увеличение ранней негативности C1, отмеченное как в каудальных, так и передне-центральных областях, что отличает их от взрослых испытуемых, у которых C1 усиливается в ответ на неопознанные изображения. Компонент C1, особенно регистрирующийся в каудальных областях, связывается с привлечением внимания [7,17,23], однако, кроме этого, этот компонент чувствителен и к эмоциональной составляющей стимула [27]. Можно предположить, что усиление C1 связано с одной стороны с более напряженным вниманием у детей при опознании изображения, а с другой стороны – с тем, что само по себе опознание является мощной эмоциональной посылкой для детей. Интересно отметить отсутствие этого компонента в 7–8-летнем возрасте не только при опознании фрагментарных изображений, но и в ситуации, требующей дополнительного привлечения внимания [6]. При опознании фрагментарных изображений в 9–10 лет так же происходит усиление компонента P300, как и в 7–8-летнем возрасте. Э.А. Костандов [4–5] рассматривает этот компонент как отражение эндогенных когнитивных процессов, связанных с привлечением внимания к значимым характеристикам стимула и принятием решения. Сходные данные получены Д.А.Фарбер и Т.Г.Бетелевой [3,10], которые показали, что с правильностью ответа у взрослых коррелирует поздний позитивный комплекс, связанный с заключительными этапами анализа информации.

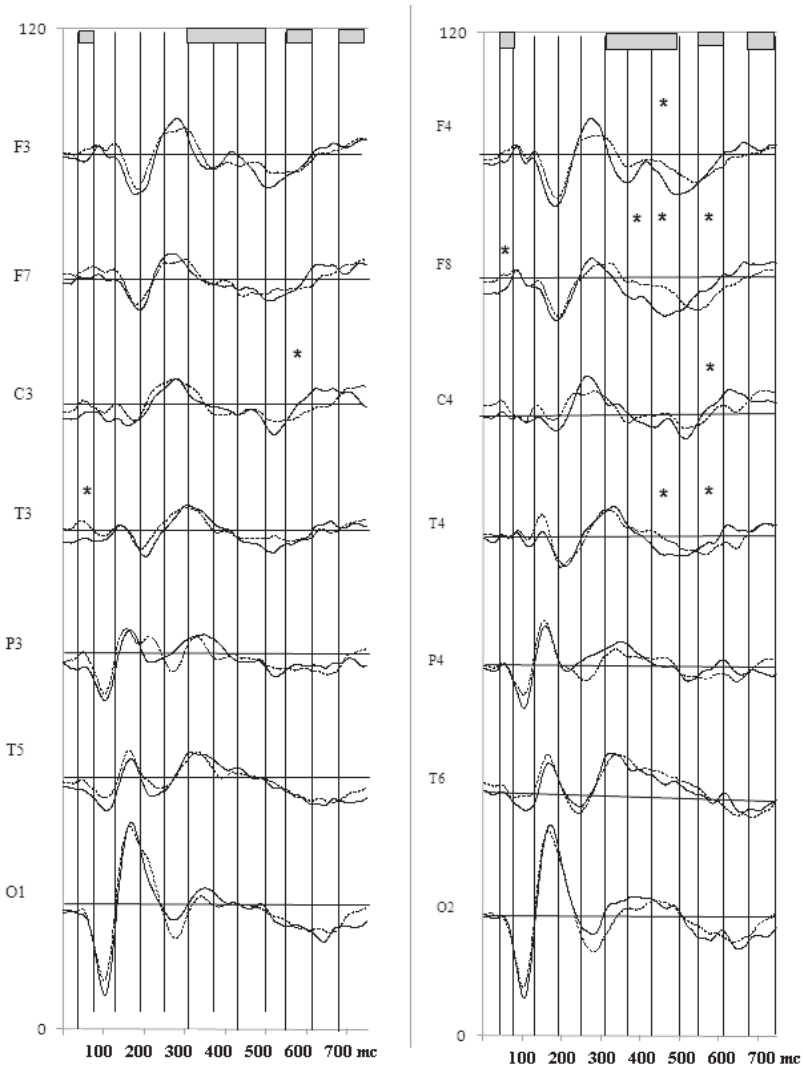


Рис.4. ССП разных областей коры на неопознанные (штрих8пунктир) и предшествующие опознанию (тонкая линия) фрагментарные изображения. Обозначения как на рисунке 2

У 9–10-летних детей, как и у взрослых испытуемых, на поздних стадиях анализа информации в лобных областях происходит усиление позднего позитивного комплекса на предшествующие опознанию изображения. В то время как у 7–8-летних детей поздний позитивный комплекс в ССП не выражен [14]. Этот факт, как и отмеченное в 7–8 лет более значимое усиление основного комплекса регионарных ССП, включая негативные компоненты N250–N350 не на опознанные стимулы, как это характерно для взрослых, а при предъявлении изображений на один уровень фрагментации отличающихся от опознаваемых, расценивалось нами как показатель несформированности поздних этапов обработки информации, связанных с функциями передне-ассоциативных

структур – процессами принятия решений и подготовки к ответу [14]. Полученные данные свидетельствуют о том, что характер опознания неполных изображений к 9–10-летнему возрасту становится более зрелым и приближается к взрослому типу реагирования.

ВЫВОДЫ

1. Анализ топографии и параметров ССП, регистрируемых при предъявлении неполных изображений разного уровня фрагментации позволил выявить характер участия различных корковых зон в процессе опознания в 9–10-летнем возрасте.

2. Установлена роль лобных областей коры на разных этапах восприятия фрагментарных изображений. В лобных областях достоверно больше при идентификации изображений выражен компонент N250 связанный с опознанием.

3. В 9–10-летнем возрасте изображения, на 1 уровень фрагментации отличающиеся от опознанных характеризуются усилением позднего позитивного комплекса, преимущественно в передних ассоциативных областях, не отмеченного в возрасте 7–8 лет.

4. Мозговые механизмы, определяющие опознание неполных изображений, претерпевают прогрессивные изменения на протяжении младшего школьного возраста и к 9–10 годам приближаются к дефинитивному уровню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетелева Т.Г., Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А. Сенсорные механизмы развивающегося мозга. Москва, Наука. 1977
2. Бетелева Т.Г., Синицын С.В., Фарбер Д.А. Возрастные особенности обработки зрительной информации в системе рабочей памяти // Физиология человека, 2009, Т. 35, №6
3. Бетелева Т.Г., Фарбер Д.А. Электрофизиологический анализ межполушарных различий механизмов зрительного опознания// Ж.В.Н.Д., т 34, вып 5, 1984, с. 841–847.
4. Костандов Э.А. Механизмы деятельности мозга человека. Ч. 1. Нейрофизиология человека. // Ред. Н.П. Бехтерева. – Л.: Наука, 1988, с.491–526
5. Костандов Э.А., Важнова Т.Н. Отражение процесса принятия решения в корковой вызванной электрической активности человека. // Журнал высшей нервной деятельности, 1979, Т. 26, № 6, с. 1123–1132
6. Петренко Н.Е. Механизмы опознания глобальной и локальной информации детьми младшего школьного возраста // Новые исследования, 2009, №1 (18), с. 14–26.
7. Петренко Н.Е. ССП при смене стратегии зрительного восприятия в ситуации опознания иерархического стимула // Физиология человека, 2008, Т. 34, №3, с. 23–29
8. Полонская Н.Н. Нейропсихологическая диагностика детей младшего школьного возраста. 2007, Academia, 192с.
9. Семенова Л.К., Васильева В.А., Цехмистренко Т.А. Структурные преобразования коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе. // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л., Наука, 1990, с. 8–44.
10. Фарбер Д.А. Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ// Мир психологии, 2003, № 2, С. 114
11. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г. Региональная и полушарная специализация операций зрительного опознания. Возрастной аспект. // Физиология человека, 1999, т.25, № 1, с. 15–23.
12. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе. // Физиология человека, 2005, т.31, т.5, с 26–36

13. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Опознавание фрагментарных изображений и механизмы памяти. // Физиология человека, 2008, №1, том. 34, с. 5–18
14. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности опознавание фрагментарных изображений в 7–8-летнем возрасте. Анализ ССП // Физиология человека, 2009, Т. 35, №3, с. 5–12
15. Cycowicz Yael M. Memory development and event-related brain potentials in children. *Biological Psychology* 54 (2000) 145–174
16. Doniger, G. M., Foxe, J. J., Murray, M. M., Higgins, B. A., Snodgrass, J. G., Schroeder, C. E., and Javitt, D. C. 2000. Activation timecourse of ventral visual stream object-recognition areas: High density electrical mapping of perceptual closure processes. *J. Cogn.Neurosci.* 12:615–621.
17. 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, 139–150
18. Ganis G., Schendan H., Kosslyn S. Neuroimaging evidence for object model verification theory: Role of prefrontal control in visual object categorization //Neuro- Image 34 (2007) 384–398
19. Gathers, A. D.; Bhatt, R.1; Corbly, C. R.; Farley, A. B.; Joseph, J. E. Developmental shifts in cortical loci for face and object recognition// NeuroReport:Volume 15(10)19 July 2004pp 1549–1553
20. Gerlach, C., Aaside, C.T., Humphreys, G.W., Gade, A., Paulson, O.B., Law, I., Brain activity related to integrative processes in visual object recognition: bottom–up integration and the modulatory influence of stored knowledge. *Neuropsychologia*, 2002, 40, 1254–1267
21. Greenham S. L., Stelmack R.M. Event-Related Potentials and Picture–Word Naming: Effects of Attention and Semantic Relation for Children and Adults. //Developmental neuropsychology, 20(3), 2000, pp 619–638.
22. Guyette J. Developmental Trends in Object Recognition From Preschool to Adolescence: A Preliminary Investigation// Psi Chi Journal: Fall 1998,
23. Hillyard SA, Anllo-Vento L (1998) Even t-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc Natl Acad Sci USA* 95:781–787.
24. J.G. Snodgrass, J. Corwin, Perceptual identification thresholds for 150 fragmented pictures from the Snodgrass and Vanderwart picture set, *Percept. Motor Skills*, 1988, V. 67, p.3–36
25. Kok A., Rooijackers J.A. Comparison of event-related potentials of young children and adults in a visual recognition and word reading task // *Psychophysiol*, 1985, v 22, p11.
26. 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* 29 (2006) 605–618
27. Stolarova M., Keil A.and Moratti S. Modulation of the C1 Visual Event-related Component by Conditioned Stimuli: Evidence for Sensory Plasticity in Early Affective Perception. \ \ *Cerebral Cortex* June 2006;16:876–887
28. Stuss, D. T., Picton, T. W., Cerri, A. M., Leech, E. E., & Stethem, L. (1992). Perceptual closure and object identification: Electrophysiological responses to incomplete pictures. *Brain and Cognition*, 19, 253–266.
29. Viggiano M.R., Kutas M. Overt and Covert Identification of Fragmented Objects Inferred From Performance and Electrophysiological Measures. / *Journal of Experimental Psychology: General*, 2000, Vol. 129, No. 1, 107–125.