

УДК 612.821.6

## РАЗВИТИЕ ФУНКЦИЙ ОПОЗНАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ СЕРДИТОГО ЛИЦА У ДЕТЕЙ В ВОЗРАСТЕ ОТ 5 ДО 11 ЛЕТ

© 2012 г. Э. А. Костандов<sup>1</sup>, Д. А. Фарбер<sup>2</sup>, Н. Е. Петренко<sup>2</sup>, Е. А. Черемушкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва

<sup>2</sup> ФГБУН Институт возрастной физиологии Российской академии образования, Москва

Поступила в редакцию 26.04.2012 г.

У детей 5–6, 7–8 и 10–11 лет на модели установки выявлены возрастные особенности влияния прошлого опыта на восприятие эмоционального выражения лица. У детей 5–6 лет формируется инертная установка на сердитое лицо, что проявляется на стадии тестирования в большом числе ошибочных опознаний лицевой экспрессии персеверативного типа (ассимилятивные иллюзии). Пластичность установки повышается в 7–8-летнем возрасте и значительно уменьшается число ассимилятивных иллюзий. В 10–11 лет установка не отличается существенно от взрослых людей по пластичности и соотношению числа ассимилятивных и контрастных иллюзий. Изменения пространственной синхронизации электрических потенциалов  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонов частот во всех возрастных группах наблюдаются в основном на стадии формирования установки. Во всех возрастных группах выявлена четкая корреляция между биоэлектрическими данными и особенностями влияния прошлого опыта на опознание экспрессии лица. На основе данных когерентности потенциалов  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонов показана возрастная динамика участия кортико-гиппокампальной и фронто-таламической функциональных систем интеграции активности мозга в организации установок на эмоционально-негативное выражение лица.

*Ключевые слова:* онтогенез, опознание, экспрессия лица, установка, ассимилятивные иллюзии, пластичность установки, ЭЭГ, когерентность потенциалов,  $\alpha$ - и  $\theta$ -ритмы.

Быстрое и адекватное опознание эмоционально отрицательного выражения лица другого человека в повседневной жизни имеет весьма важное значение в становлении межличностных отношений, в организации социального контакта и адекватного поведения в конкретной жизненной ситуации. Важностью этой функции в поведении человека объясняется большое количество психофизиологических работ, в которых изучаются факторы, влияющие на опознание лицевой экспрессии, выявляются ключевые мозговые структуры в разветвленной функциональной системе, обеспечивающие эту сложную когнитивную деятельность [1–4]. Психофизиологические исследования этой проблемы в онтогенетическом аспекте необходимы прежде всего для понимания нервных механизмов поведения ребенка в микросреде, его готовности к социальным контактам со сверстниками и взрослыми людьми. Изучение особенностей восприятия эмоциональной экспрессии лица детьми разных возрастных групп может дать также ценные сведения о структурно-функциональной организации этой когнитивной деятельности у взрослого человека. В ряде работ с помощью регистрации вызванных электрических потенциалов были изучены у детей различия корковой обработки сенсорной информации при восприятии изоб-

ражения лица с приятным и неприятным эмоциональным выражением, была установлена степень участия механизмов селективного внимания в организации функции опознания лицевой экспрессии детей разного возраста [5–11]. На основании данных скрытого периода ранних и поздних корковых вызванных потенциалов было высказано мнение о том, что дети в возрасте 5 лет способны быстро, хотя и недифференцированно, “холистически” опознавать сердитое, угрожающее выражение лица [6, 11].

Интересные данные по онтогенезу структурно-функциональной организации восприятия эмоционального выражения лица были получены при регистрации корковых вызванных потенциалов в опытах с инверсией изображения человеческого лица. Как известно, опознание такого рода изображений осуществляется на основе внутреннего представления, оживления в рабочей памяти образа данного конкретного стимула. Было показано, что это опознание у обследованных детей ассоциируется с негативным отклонением коркового электрического потенциала с латентностью 200–700 мс в лобно-центральных областях коры больших полушарий. Авторы работы пришли к выводу, что способность осуществления этой когнитивной деятельности развивается к 10 годам [6, 11]. Ключ-

чая роль внутренних состояний (установок), формирующихся в префронтальной коре, в онтогенетическом развитии способности опознавать негативную лицевую экспрессию обнаружилась в нашей предыдущей работе [12, 13]. Было показано, что у детей 5–6-летнего возраста в результате многократных (15 раз) повторений целевых стимулов можно сформировать установку на сердитое лицо, которая будет существенно влиять на восприятие лицевой экспрессии. Это влияние проявляется в ошибочных опознаниях экспрессии лица преимущественно персеверативного типа (ассимилятивные иллюзии): в тестирующей установке стадии опыта изображения лица с нейтральным выражением оценивается как “неприятное” в том месте зрительного поля, где ранее демонстрировалось сердитое лицо. Другая особенность установки в этом возрасте – чрезвычайная ригидность: ее смена на новую при изменении ситуации происходит медленно, что выражается в большом числе проб, в которых отмечаются иллюзорные искажения восприятия. У детей 10–11 лет не было обнаружено значительных различий от взрослых людей в формировании и способности к смене установок на эмоционально негативное выражение лица. Следует отметить, что пластичность когнитивных установок на простые невербальные стимулы (изображения кругов) также не отличается существенно у детей 10–11-летнего возраста от взрослых [14].

Было высказано предположение о том, что зрелость установки связана с совершенствованием нервного механизма произвольного внимания. Д.А. Фарбер и соавт. [15] рассматривают 10–11-летний возраст как важнейший период в формировании когнитивной деятельности, в функциональной организации различных видов произвольной деятельности. Наличие прямой корреляции “зрелости” установки у детей 10–11-летнего возраста с морфофункциональным созреванием к этому возрасту лобной коры [15, 16] мы считаем еще одним доказательством ключевой роли префронтальной коры в процессах формирования и смены установок на лицевую экспрессию [12, 13]. С этих позиций можно понять и причину “незрелости” установки у детей 5–6-летнего возраста. Вместе с тем сопоставление этих двух возрастных групп не давало возможности определить промежуточные возрастные этапы созревания фронто-таламической и кортико-гиппокампальной функциональных систем мозговой интеграции, их роли в эволюции функции опознания эмоционально негативного выражения лица и формирующихся при этом когнитивных установок. Ранее в исследованиях с простыми невербальными стимулами (круги) было обнаружено, что в возрасте 7–8 лет заметно повышается пластичность когнитивной установки, облегчается ее смена на новую. Этот факт мы свя-

зали со “скачком” в созревании в этом возрасте механизмов селективного внимания [17]. Критическая роль фронто-таламической системы в эволюции когнитивных установок выявилась также при исследованиях детей с ЭЭГ-признаками функциональной незрелости, у детей 8-летнего возраста [18]. Вышесказанное определило выбор нами группы детей 7–8-летнего возраста.

Цель настоящей работы: выявление возрастных этапов эволюции функции опознания эмоционально-негативного выражения лица; особенностей влияния на опознание лицевой экспрессии прошлого опыта детей разного возраста; определение участия фронто-таламической и кортико-гиппокампальной систем интеграции активности мозга в этих когнитивных процессах. Задачи работы – сопоставить у детей 5–6 лет, 7–8 лет и 10–11 лет: 1) число ошибочных опознаний лицевой экспрессии на стадии тестирования установки; 2) число персеверативных (ассимилятивных) и контрастных иллюзий и их динамику; 3) время реакции на пробный стимул; 4) изменения когерентности корковых электрических потенциалов  $\alpha$  (8–13 Гц) и  $\theta$  (4–7 Гц) диапазонов частот (по отношению к фоновой ЭЭГ с открытыми глазами) на стадиях формирования и тестирования установки; 5) сравнить поведенческие и биоэлектрические данные с результатами взрослых людей, полученными той же методикой [17].

## МЕТОДИКА

Исследованы 18 детей в возрасте от 5.1 до 6.6 лет ( $M = 6.1 \pm 0.3$ ) из детского сада № 1826 г. Москвы, 24 ребенка в возрасте от 6.7 до 8.5 лет ( $M = 7.6 \pm 0.1$ ) учащихся 1–2 классов и 25 детей в возрасте от 9.4 до 11.4 лет ( $M = 10.5 \pm 0.1$ ), учащихся 3–4 классов школы № 710 г. Москвы. Ранее в экспериментах с установкой они не участвовали. Подробные сведения о стимулах и процедуре изучения функции опознания эмоциональной экспрессии приведены в предыдущих статьях [12, 13]. Поэтому мы даем краткое изложение эксперимента. При формировании установки 15 раз на мониторе предъявляли одновременно две фотографии с изображением лица одного и того же взрослого человека: слева – с сердитым выражением, справа – с нейтральным, спокойным. На стадии тестирования установки, которая проводилась непосредственно после формирования, 30 раз также одновременно предъявляли две фотографии с нейтральным выражением лица того же человека [19]. Время экспозиции лицевых стимулов – 450 мс. После паузы в 1 с в центре экрана появлялся пробный стимул в виде зеленого пятна диаметром 3 мм, с длительностью свечения 2 с. Пауза между комплексами стимулов составляла от 3 до 7 с, она менялась в случайном порядке. Согласно инструкции (экспериментатор

убеждался, что инструкция понятна), ребенок после появления зеленого пятна должен был нажать на кнопку джойстика и после этого сказать: “одинаковые” — если выражения лиц были, по его мнению, одинаковые; “слева”, если он считал более неприятным лицо слева; “справа”, если справа.

Управление экспериментом, регистрацию времени реакции (ВР) и ЭЭГ, которую отводили в течение всего опыта, проводили с помощью системы Neocortex-Pro (“Neurobotics”, Россия). Частота дискретизации ЭЭГ — 1000 Гц. Полоса пропускания частот — 0.5–35 Гц. ЭЭГ регистрировали с помощью хлорсеребряных электродов (“Micromed”, Венгрия) с сопротивлением, не превышающим 5 кОм. Электрическую активность мозга отводили с помощью 16 электродов, расположенных на голове в соответствии с международной схемой 10–20% ( $F_3, F_4, F_7, F_8, F_z, C_3, C_4, C_z, T_3, T_4, P_3, P_4, T_5, T_6, O_1, O_2$ ). Отведение ЭЭГ — монополярное, референтный электрод — объединенный ушной. В качестве фоновой анализировали одноминутную запись ЭЭГ, сделанную перед опытом в состоянии спокойного бодрствования (глаза открыты, испытуемый смотрит в центр экрана монитора). При деятельности для анализа использовались 3-секундные записи ЭЭГ перед предъявлением стимулов с изображением лица: 15 эпох на стадии формирования и 30 эпох на стадии тестирования установки.

На основании преобразования Фурье для безартефактных записей в состоянии спокойного бодрствования и предстимульной ЭЭГ по всем парам отведений вычисляли функцию когерентности (Ког) с шагом 1 Гц. Для приближения распределения значений Ког к нормальному проводили  $z$ -преобразование Фишера. По каждому испытуемому усредняли показатели Ког предстимульных отрезков ЭЭГ на стадиях формирования и тестирования установки. Выделяли максимумы усредненных Ког в  $\theta$  (4–7 Гц) и  $\alpha$  (8–13 Гц) диапазонах. Если у функции в том или ином диапазоне было несколько пиков, то среди них выбирали наибольший. Для каждой пары отведений проводили дисперсионный анализ ANOVA. Анализировали влияние фактора “стадия опыта” на выделенные максимальные значения Ког в диапазонах  $\theta$  и  $\alpha$ . Данные, полученные в состоянии спокойного бодрствования при открытых глазах, сравнивали попарно с данными в стадиях формирования и тестирования установки. Результаты сравнения отображались на картах-схемах: если величина параметра была достоверно больше, чем в состоянии спокойного бодрствования ( $p < 0.05$ ), то на карте-схеме это отображалось в виде сплошной линии, если меньше — пунктиром.

Гистограммы распределения испытуемых по числу ошибок в восприятии лицевой экспрессии

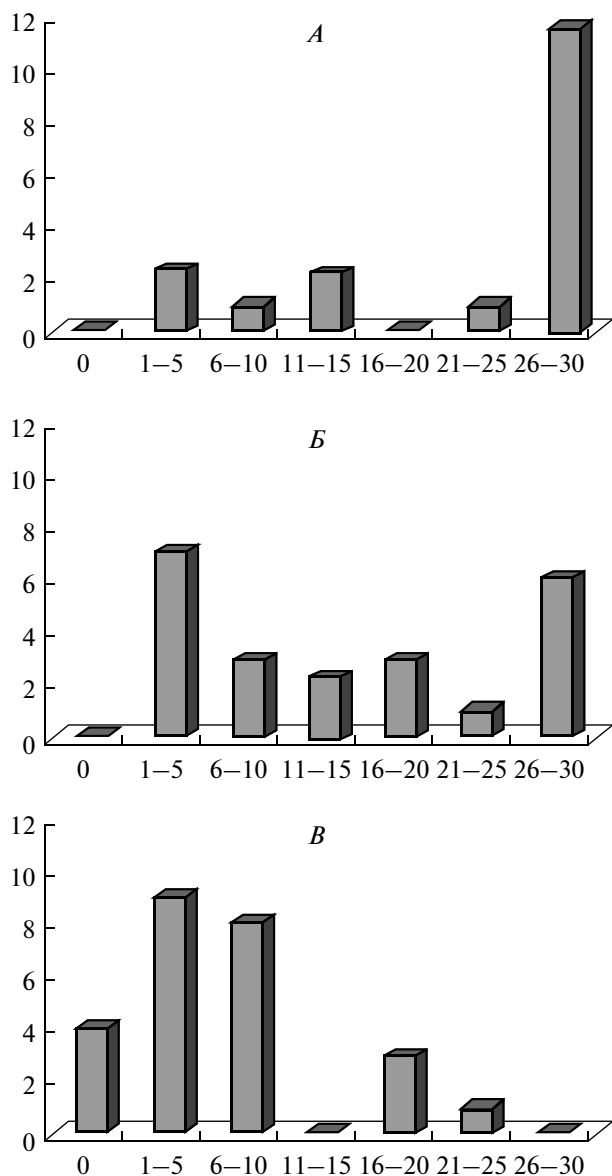
сравнивались по критерию  $\chi^2$ . Сравнение ассиметричных и контрастных ошибок проводилось по парному критерию Вилкоксона. Для сравнения ВР на пробный стимул у детей разных возрастных групп был использован одномерный дисперсионный анализ (ANOVA). В качестве фактора, влияющего на ВР, брался возраст детей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дети трех возрастных групп, включенные в анализ, усвоили инструкцию эксперимента и справились с задачей опознания эмоционального выражения лица: на стадии формирования установки они во всех пробах правильно определяли лицо с сердитым выражением, как более “неприятное”. Это служило принципиальным условием для продолжения эксперимента, а именно: для перехода к стадии тестирования установки. По этому критерию были исключены 4 ребенка 5–6-летнего возраста и 2 ребенка 7–8 лет. У детей самой младшей группы пришлось отказаться от приема с пробным стимулом, так как одновременное осуществление словесного отчета о сравнительной оценке эмоционального выражения лиц на двух кадрах и нажатие на кнопку в ответ на пусковой стимул оказалось для них трудной задачей. Остальные дети с ней справлялись.

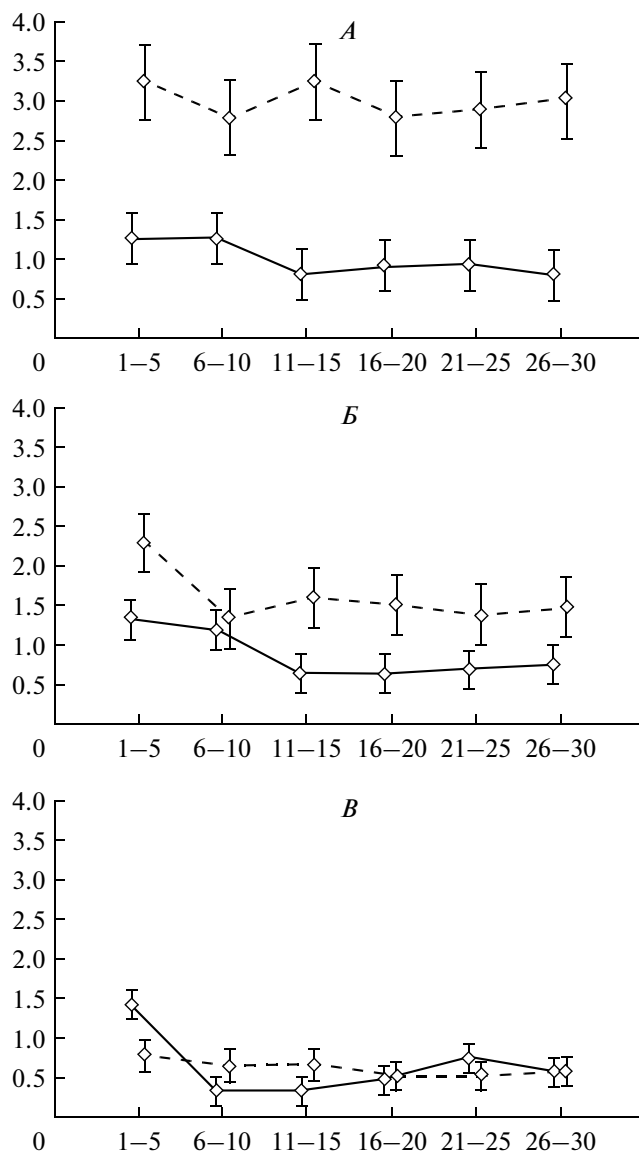
Как можно видеть из рис. 1, у детей разных возрастных групп на стадии тестирования установки наблюдается существенная разница в опознании лицевой экспрессии. У детей 5–6 лет число ошибочных оценок явно больше. В этой группе преобладают испытуемые (12 из 18), у которых почти во всех пробах отмечались ошибки в опознании. У детей 7–8 лет ошибок в опознании было явно меньше. В этой группе стало больше испытуемых, у которых число проб с ошибками не превышало 10 предъявлений тестирующих стимулов, т.е. изображений лиц с нейтральным выражением. Вместе с тем из рис. 1, B можно видеть, что у довольно большей части детей (7 из 22) ошибки в опознании отмечались в значительном числе проб. У детей старшей группы они почти не наблюдались, среди них преобладали испытуемые с небольшим числом ошибочных проб, а у 4 испытуемых их и вовсе не отмечалось (рис. 1, B). Разница в распределении числа проб с ошибочным опознанием между группами была следующая:  $\chi^2 = 8.5, df = 5, p < 0.048$  (5–6 и 7–8 лет);  $\chi^2 = 30.6, df = 6, p < 0.001$  (5–6 и 10–11 лет);  $\chi^2 = 14.4, df = 6, p < 0.01$  (7–8 и 10–11 лет).

Существенные межгрупповые различия выявились и при анализе качества ошибочных опознаний лицевой экспрессии. У детей самой младшей возрастной группы в большинстве случаев ошибки имели персеверативный характер, т.е. как “неприятное” оценивалось лицо с нейтральным, спокой-



**Рис. 1.** Распределение детей разного возраста по числу проб с ошибочным восприятием эмоционального выражения лица в тестирующей стадии эксперимента. По вертикали — число испытуемых; по горизонтали — число проб с ошибками. *A* — дети 5–6 лет, *B* — 7–8 лет, *B* — 10–11 лет.

ным выражением, экспонируемое в том месте зрительного поля, где до этого (на стадии формирования установки) демонстрировалось сердитое лицо. Такие ошибочные опознания мы, вслед за Д.Н. Узнадзе [20], обозначаем как ассимилятивные, в отличие от контрастных иллюзий, когда как “неприятное” оценивается изображение лица в той части зрительного поля, в которой ранее предъявлялось “нейтральное” лицо. На рис. 2 представлены усредненные значения (бин равен 5 пробам) ошибочных опознаний ассимилятивного и контрастного характера на протяжении всей



**Рис. 2.** Динамика изменений оценки эмоционального выражения лица на стадии тестирования установки у детей разного возраста. По вертикали — усредненное число проб с иллюзиями, по горизонтали — номер пробы; сплошная линия — контрастные иллюзии, пунктир — ассимилятивные. *A* — дети 5–6 лет, *B* — 7–8 лет, *B* — 10–11 лет. Показаны ошибки средних.

тестирующей стадии. На рисунке можно видеть, что у детей младшей группы число контрастных иллюзий значительно меньше, чем ассимилятивных, и это соотношение не меняется в течение всей стадии тестирования установки. У детей 7–8-летнего возраста уменьшение ошибочных опознаний, по сравнению с младшей группой, происходит за счет ассимилятивных иллюзий. Это приводит к тому, что их величина по парному критерию Вилкоксона ( $T = 63.5, p < 0.12$ ) не превышает число контрастных иллюзий (рис. 2, *B*). У испытуемых старшей возрастной группы число контрастных

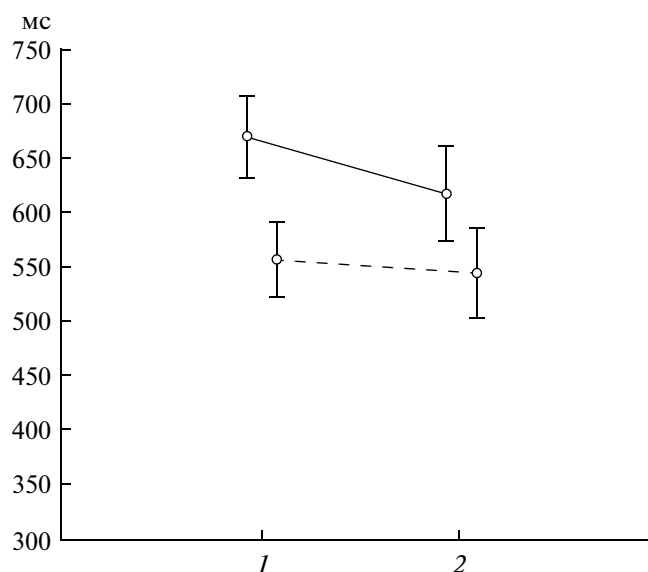
иллюзий при первых 5 предъявлениях целевых стимулов достоверно больше, чем ассимилятивных ( $T = 31.0, p < 0.05$ ). Однако затем, в последующих предъявлениях, оно снижается и уже не наблюдается различий между двумя видами ошибочных опознаний (рис. 2, *B*).

Обнаружено влияние фактора “возраст” на ВР на стадии формирования установки ( $F(1, 45) = 4.85; p < 0.03$ ), когда одновременно предъявлялись “сердитое” и “нейтральное” лицо. ВР было больше у детей 7–8 лет, чем у испытуемых более старшей возрастной группы (рис. 3). Следует отметить, что в обеих группах не наблюдалось снижения величины ВР на стадии тестирования (когда предъявлялись два кадра с нейтральным выражением лица). У детей 5–6 лет ВР отсутствует, так как опознание лицевой экспрессии и нажатие на кнопку оказалось для них трудной задачей, и прием с пробным стимулом был исключен из методики.

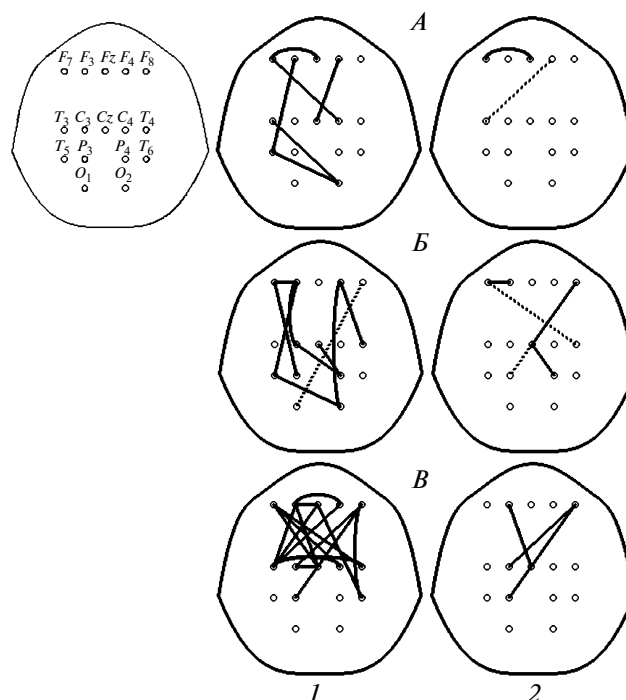
**Анализ когерентности корковых электрических потенциалов  $\theta$ -диапазона частот (4–7 Гц)** выявил определенную возрастную динамику этой функции на стадии формирования и тестирования установки на восприятие эмоционально-негативного выражения лица. Особенности пространственной синхронизации  $\theta$ -активности в онтогенезе показаны на рис. 4 в виде карт-схем, в которых отображены изменения когерентности потенциалов по отношению к фоновой ЭЭГ (с открытыми глазами). Из рис. 4, *A* видно, что в самой младшей группе на стадии формирования установки происходит усиление единичных когерентных связей преимущественно в левом полушарии. В левом полушарии усиливается когерентность между  $\theta$ -потенциалами двух участков лобной области ( $F_3$  и  $F_z$ ), а также между лобной ( $F_3$ ) и задневисочной ( $T_3$ ) зонами. Кроме того, усиливаются отдельные межполушарные когерентные связи височного и париетального участков левого полушария с правой затылочной областью. На стадии тестирования существенных изменений по отношению к фоновой ЭЭГ не отмечается.

У детей 7–8 лет усиление когерентных связей по  $\theta$ -потенциалам на стадии формирования установки больше выражено, чем у младшей группы. У них в меньшей степени проявляется полушарная асимметрия: когерентные связи между передним и задними корковыми участками отмечаются как в левом, так и в правом полушариях (рис. 4, *B*). Межполушарные когерентные связи у них отмечаются в задних корковых зонах. На стадии тестирования, как и в младшей группе, отмечается бедность когерентных связей.

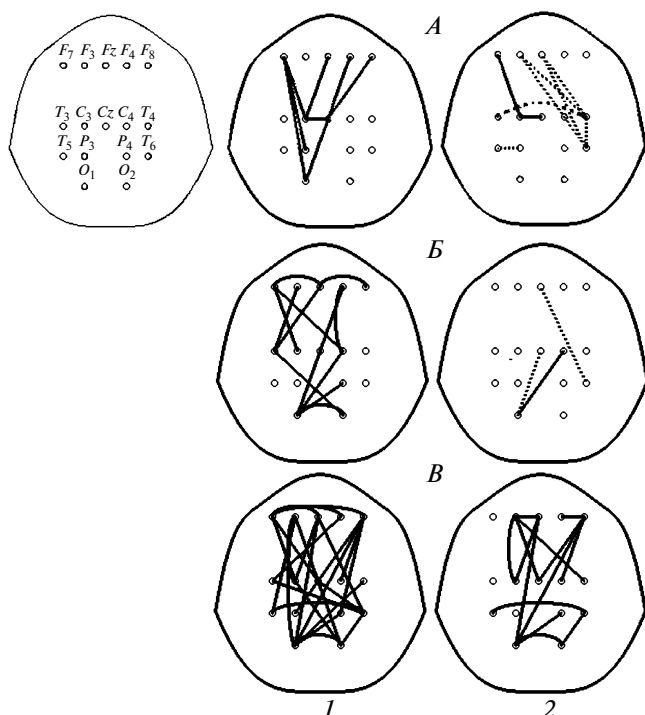
У испытуемых старшей группы изменения пространственной синхронизации  $\theta$ -потенциалов явно больше выражены, чем у детей более младшего



**Рис. 3.** Время реакции на пробный стимул у детей разного возраста. По вертикали – время, мс, по горизонтали – стадии опыта: 1 – формирование установки, 2 – тестирование. Сплошная линия – дети 7–8 лет, пунктир – дети 10–11. Показаны ошибки средних.



**Рис. 4.** Изменения функции когерентности корковых потенциалов (Ког)  $\theta$ -диапазона (4–7 Гц) на отдельных стадиях эксперимента с установкой на лицевую экспрессию по отношению к фону (глаза открыты) у детей разного возраста. 1 – формирование установки, 2 – тестирование; сплошная линия – достоверное ( $p < 0.05$ ) увеличение Ког, пунктир – уменьшение. *A* – дети 5–6 лет, *B* – 7–8 лет, *B* – 10–11 лет.



**Рис. 5.** Изменения функции когерентности корковых потенциалов  $\alpha$ -диапазона (8–13 Гц) на отдельных стадиях эксперимента с установкой на лицевую экспрессию по отношению к фону (глаза открыты) у детей разного возраста. Обозначения см. на рис. 4.

возраста. Как можно видеть из рис. 4, *В*, на стадии формирования установки происходит значительное усиление когерентности  $\theta$ -потенциалов между передними и задними отделами коры больших полушарий. Усиливаются межполушарные когерентные связи в передних и центральных корковых зонах. Следует отметить усиление межполушарных связей: между заднелатеральной префронтальной корой ( $F_8$ ) и задневисочной зоной ( $T_6$ ) в правом полушарии; между лобной ( $F_3$ ) и передневисочной ( $T_3$ ) корковыми зонами в левом полушарии. На стадии тестирования установки когерентные связи по  $\theta$ -потенциалам значительно меньше выражены, чем в предыдущей стадии эксперимента. Как видно из рис. 4, *В*, усиливаются единичные связи: правой заднелатеральной лобной зоны ( $F_8$ ) с центральной ( $C_3$ ) и париетальной ( $P_3$ ) областями левого полушария, а также левой лобной области ( $F_3$ ) с центральной зоной коры ( $Cz$ ).

**Анализ когерентности корковых электрических потенциалов  $\alpha$ -диапазона частот (8–13 Гц).** Из рис. 5, *А* видно, что у детей 5–6-летнего возраста когерентные связи на стадии формирования установки увеличивались в основном между лобными зонами обоих полушарий ( $F_7$ ,  $F_4$ ,  $F_8$ ,  $Fz$ ) с париетальной ( $P_3$ ) и затылочной ( $O_1$ ) областями левого

полушария. На стадии тестирования установки пространственная синхронизация  $\alpha$ -потенциалов у этой возрастной группы испытуемых заметно уменьшалась по сравнению с фоновой ЭЭГ (с открытыми глазами), особенно в правом полушарии (рис. 5, *А*). У них отмечалась только единичная когерентная связь между заднелатеральной ( $F_7$ ) и центральной ( $C_3$ ) зонами в левом полушарии.

У детей 7–8-летнего возраста на стадии формирования установки пространственная синхронизация  $\alpha$ -потенциалов больше выражена, чем у детей предыдущей группы, в основном за счет усиления внутрилобных когерентных связей в обоих полушариях, связей между лобными и центральными областями, а также связей последних с затылочными областями (рис. 5, *Б*). Отмечается межполушарная асимметрия: когерентные связи больше выражены в левом полушарии. На стадии тестирования наблюдается та же картина, как у детей младшей группы (рис. 5, *Б*).

У детей 10–11 лет усиление пространственной синхронизации  $\alpha$ -ритма явно больше выражено, чем у детей более младших возрастных групп. Как можно видеть из рис. 5, *В*, на стадии формирования установки увеличивается когерентность  $\alpha$ -потенциалов между отдельными зонами левой и правой лобных областей, а также между ними и задними отделами коры больших полушарий. При этом нет заметно выраженной межполушарной асимметрии, которая наблюдалась у детей младших групп. Особо надо отметить усиление внутрислобных когерентных связей заднелатеральной лобной зоны ( $F_8$ ) с центральной ( $C_4$ ), височной ( $T_6$ ) и париетальной ( $P_4$ ) областями в правом полушарии, а также межполушарных связей этого участка префронтальной коры с париетальной ( $P_3$ ) и затылочной ( $O_1$ ) областями левого полушария. Внутрислобные и межполушарные связи наблюдаются и между левой лобной областью и задними корковыми отделами, а именно с височной, париетальной и затылочной областями обоих полушарий. На стадии тестирования установки когерентные связи потенциалов  $\alpha$ -диапазона частот значительно уменьшались (рис. 5, *В*), но сохранялись межполушарные связи левой лобной коры ( $F_3$ ) с правой передневисочной областью ( $T_4$ ) и правой лобной заднелатеральной зоны ( $F_8$ ) с левой затылочной областью ( $O_1$ ). На этой стадии эксперимента также сохранялись межполушарные когерентные связи между задневисочными зонами коры ( $T_5$  и  $T_6$ ) и между двумя затылочными областями ( $O_1$  и  $O_2$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Онтогенетические исследования выявили существенные возрастные особенности в характере и

степени влияния прошлого опыта на восприятие эмоционального выражения лица. У детей в возрасте 5–11 лет в результате повторных предъявлений изображений лица взрослого человека с сердитым выражением в последующем может искажаться восприятие лицевой экспрессии. Значение прошлого опыта в опознании и оценке детьми эмоционального выражения лица было продемонстрировано в психологических исследованиях [21]. Оказалось, что дети из разных семей неоднозначно оценивают эмоциональное выражение лица. Дети, имеющие агрессивное настроение, часто проявляющих отрицательные эмоции родителей, значительно быстрее обрабатывают информацию при предъявлении им лица с сердитым или угрожающим выражением. Они легче составляют мнение (гипотезу) об отрицательных чувствах других людей, но обнаруживают явный дефицит в дифференцированной оценке экспрессии лица. В последние годы высказывается мнение о том, что повышение в онтогенезе способности распознавать эмоциональное выражение лица связано с улучшением общей способности восприятия явлений окружающего мира, с развитием когнитивных возможностей ребенка [7, 11]. В опытах с инверсией изображения лица было показано, что способность использовать для опознания такого рода изображений внутреннее представление (“внутренние черты”) о конкретном лице, развивается к 10 годам жизни ребенка. Это хорошо согласуется с полученными в нашей работе фактами, которые показывают, что у 10–11-летних детей формирующаяся установка на сердитое лицо по основным качественным и количественным показателям мало отличается от установки, вырабатывающейся у взрослых людей с помощью той же модели эксперимента [22]. Это относится к способности обновления (*updating*) или смены (*switching*) установки на сердитое лицо при изменении действующих целевых стимулов: оно происходит также, как у взрослых, т.е. с тем же числом проб, в которых искажается опознание изображений лица с “нейтральным” выражением. Качественный характер искажений у детей этого возраста такой же, как и у взрослых, т.е. иллюзии персеверативного типа не превышают количество контрастных иллюзий, в отличие от детей более младшего возраста.

У 5–6-летних детей влияние опыта восприятия сердитого лица на стадии формирования установки существенно, но оно сильно отличается от того, которое наблюдается у детей 10–11-летнего возраста. Большинство испытуемых этого возраста до конца тестирования не смогли правильно опознать лицо с нейтральным выражением. Ошибки опознания в основном были персеверативного типа, т.е. как “неприятное” оценивалось “нейтральное” лицо в том месте зрительного поля, где до этого демонстрировалось сердитое лицо. Этот тип

иллюзий, который мы называем ассимилятивными, объясняют эффектом прайминга [23, 24]. В опытах на взрослых людях, 15-кратное предъявление сердитого лица (как в наших опытах) в последующем влияло на оценку экспрессии “нейтрального” лица. Характер эффекта зависел в значительной мере от степени опознания стимулов на стадии “формирования памятного следа”: если стимулы предъявлялись на очень короткое время, то наблюдался ассимилятивный эффект, если на большее время – контрастный. Оба эффекта авторы объясняют механизмом прайминга, т.е. особой формой имплицитной памяти. С этой гипотезой мы можем согласиться только частично. Она имеет отношение к механизму ассимилятивных иллюзий.

Мы считаем, что оба типа искажения восприятия лицевой экспрессии следует рассматривать в рамках теории когнитивных установок, т.е. внутренних состояний, формирующихся в префронтальной коре при восприятии эмоционально-негативного выражения лица [4, 25–27]. С этих позиций, в основе ошибочных оценок персеверативного типа, так же, как и контрастных иллюзий, лежит формирование той или иной степени инертности неосознаваемых внутренних представлений (установок) об эмоциональном выражении лица. У детей 5–6 лет это внутреннее состояние более инертно. По-видимому, оно в значительной мере поддерживается механизмом прайминга, что и определяет трудность обновления установки при смене целевых лицевых стимулов и, как следствие этого, наличие большого числа иллюзорных искажений восприятия персеверативного типа. Интересно, что в 7–8-летнем возрасте значительно (в два раза) уменьшается число ассимилятивных иллюзий, по сравнению с более младшей группой, что, по нашему мнению, является следствием повышения пластичности (гибкости) формирующихся установок на лицо. Эта тенденция продолжается вплоть до 10–11-летнего возраста. К этому возрасту происходит определенное морфофункциональное созревание лобной коры [15, 16], вследствие чего, по нашему мнению, повышается пластичность установок, а количественное соотношение контрастных и ассимилятивных иллюзий в основном соответствует данным, наблюдаемым у взрослых людей.

Изучение электрической активности коры больших полушарий выявило интересный факт: изменения пространственной синхронизации потенциалов  $\alpha$ - и  $\theta$ -диапазонов частот, которую мы определяли с помощью анализа функции когерентности потенциалов, происходят в основном на стадии формирования установки. Напомним, на этой стадии одновременно предъявляются лица с нейтральным и сердитым выражением, которые правильно различают испытуемые всех возраст-

ных групп. На стадии тестирования изменения пространственной синхронизации (по сравнению с фоновой ЭЭГ) явно слабее выражены, особенно у детей 5–6 и 7–8 лет. Логично данный факт объяснить тем, что в первом случае используется изображение сердитого лица, а при тестировании оба лица “нейтральные”. Однако с этим не согласуется характер полушарной асимметрии: на стадии формирования установки у детей двух младших групп наблюдается усиление когерентных связей  $\theta$ - и  $\alpha$ -потенциалов в левом, а не в правом полушарии, как следовало ожидать, исходя из общепринятого положения о том, что последнее преимущественно связано с обработкой эмоционально-негативной информации. Левополушарную асимметрию можно объяснить тем, что различие эмоционально-негативной лицевой экспрессии у детей младших возрастных групп осуществляется все еще с трудом, оно требует большего участия произвольного внимания и вовлечения речевой системы – функций, связанных с левым полушарием. Данное предположение подтверждается тем, что у детей 10–11 лет мы не обнаружили подобной полушарной асимметрии. Для объяснения обсуждаемого факта интересно мнение, высказанное Тейлором и соавт. [6], что у детей младшего возраста недостаточно развита способность к холистическому восприятию лицевой экспрессии. Они опознают эмоциональное выражение лица преимущественно аналитически, с использованием информации об отдельных индивидуальных чертах лица, а следовательно с большим участием левого полушария.

Таким образом, выявлена четкая корреляция между возрастными особенностями установки и биоэлектрическими данными. Это дает основание считать, что на этапе формирования установки на эмоционально-негативное выражение лица организуются ее пластические свойства, создаются нейрофизиологические условия для торможения эффекта старой установки и смены ее на новую, адекватную новым стимулам.

Анализ функции когерентности электрических потенциалов, регистрируемых с разных областей коры, дал возможность изучить у детей трех возрастных групп степень участия кортико-гиппокампальной и фронто-таламической функциональных систем мозговой интеграции в организации установки на эмоционально-негативное выражение лица. Обнаружена прямая зависимость пластичности когнитивной функции от уровня тонической активности этих двух функциональных систем. Он существенно выше у детей 10–11 лет, у которых формируется в основном “зрелая” установка. Отметим, что только у испытуемых этого возраста на стадии формирования установки усиливались когерентные связи между лобной и височной областями в правом полушарии. По современным представлениям, синхронизация активности между этими двумя корковыми структурами

является ключевым фактором в организации когнитивного контроля. В процессе опознания зрительного объекта, вследствие обучения облегчается передача нисходящих (*top-down*) импульсов из префронтальной коры, источником которых служит внутреннее состояние (установка), в зрительную и височную кору [28–31]. Интересно, что у этой группы детей на стадии тестирования, когда уже произошла смена установки и испытуемые правильно опознают лицевую экспрессию, эти связи отсутствуют или слабо выражены.

По нашему мнению, не меньший интерес для понимания роли функциональных систем интеграции корковой активности представляют данные сравнения пространственной синхронизации  $\theta$ - и  $\alpha$ -потенциалов у двух младших возрастных групп. У детей 7–8-летнего возраста появляются когерентные связи в правом полушарии между лобной корой и височной и зрительной областями, и уменьшается полушарная асимметрия. У них же заметно облегчается смена установок и уменьшается число иллюзий персеверативного типа, по сравнению с детьми 5–6-летнего возраста. Все эти факты явно свидетельствуют о возрастной эволюции участия фронто-таламической и кортико-гиппокампальной функциональных систем в организации когнитивной установки на эмоционально-негативное выражение лица.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У детей 5–6, 7–8 и 10–11 лет на модели установки выявлены возрастные особенности влияния прошлого опыта на восприятие эмоционального выражения лица. У детей 5–6 лет формируется инертная установка на сердитое лицо, что проявляется на стадии тестирования в большом числе ошибочных опознаний лицевой экспрессии персеверативного типа (ассимилятивные иллюзии). Пластичность установки повышается в 7–8-летнем возрасте и значительно уменьшается число ассимилятивных иллюзий. В 10–11 лет установка не отличается существенно от взрослых людей по пластичности и соотношению числа ассимилятивных и контрастных иллюзий. Изменения пространственной синхронизации электрических потенциалов  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонов частот во всех возрастных группах наблюдаются в основном на стадии формирования установки. Во всех возрастных группах выявлена четкая корреляция между биоэлектрическими данными и особенностями влияния прошлого опыта на опознание экспрессии лица. На основе данных когерентности потенциалов  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонов показана возрастная динамика участия кортико-гиппокампальной и фронто-таламической функциональных систем интеграции активности мозга в организации установок на эмоционально-негативное выражение лица.



Работа выполнена при поддержке РГНФ (грант № 10-06-00032а).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bar M., Aminoff E., Ishai A. Famous faces activate contextual associations in the parahippocampal // *Cortex. Cerebral Cortex*. 2008. V. 18. P. 1233.
2. Chiao J.Y., Iidaka T., Gordon H.L. et al. Cultural specificity in amygdala response to fear faces // *J. Cogn. Neurosci.* 2008. V. 20. № 12. P. 2167.
3. Haxby J.V., Hoffman E.A., Gobbini M.I. The distributed human neural system for face perception // *Trends Cogn. Sci.* 2000. V. 4. P. 223.
4. Sergerie K., Yepage M., Armony J.Y. A face to remember: emotional expression modulates prefrontal activity during memory formation // *Neuroimage*. 2005. V. 24. P. 580.
5. Taylor M.J., McCarthy G., Saliba E., Degiovanni E. ERP evidence of developmental changes in processing of faces // *Clin. Neurophysiol.* 1999. V. 110. № 5. P. 910.
6. Taylor M.J., Batty M., Itier R.J. The faces of development: A review of early face processing over childhood // *J. Cogn. Neurosci.* 2004. V. 16. № 8. P. 1426.
7. Halit H., Csibr G., Volein A., Johnson H. Face-sensitive cortical processing in early infancy // *J. Child Psychology and Psychiatry*. 2004. V. 45. № 7. P. 1228.
8. Ka Wai Wong T., Chin Wan Fung P., McAlonan G.M., Siew Eng Chua S. Spatiotemporal dipole source localization of face processing ERPs in adolescents: a preliminary study // *Behav. Brain Funct.* 2009. V. 5. P. 16.
9. Kesterbaum R., Nelson C.A. Neural and behavioral correlates of emotion recognition in children and adults // *J. Experim. Child Psychology*. 1992. V. 54. P. 1.
10. Gauthier I., Nelson C.A. The development of face expertise // *Curr. Opin. Neurobiol.* 2001. V. 11. P. 219.
11. Dennis T.A., Malone M.M., Chen C. Emotional face processing and emotion regulation in children: An ERP Study // *Develop. Neuropsychol.* 2009. V. 34. № 1. P. 1.
12. Костандов Э.А., Фарбер Д.А., Черемушкин Е.А. и др. Формирование когнитивного контроля при опознании эмоционально-негативного выражения лица у детей в возрасте 5–10 лет // *Физиология человека*. 2011. Т. 37. № 4. С. 5.
13. Костандов Э.А., Фарбер Д.А., Черемушкин Е.А. и др. Пространственная синхронизация корковых электрических колебаний тета и альфа диапазонов при формировании установки на сердитое лицо у детей 5–11 лет // *Физиология человека*. 2011. Т. 37. № 5. С. 5.
14. Костандов Э.А., Черемушкин Е.А., Ашкинази М.Л. Особенности зрительной невербальной установки у детей дошкольного и младшего школьного возраста // *Журн. высш. нерв. деятельности*. 2005. Т. 55. № 3. С. 347.
15. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Горев А.С. и др. Функциональная организация развивающегося мозга в формировании когнитивной деятельности // *Физиология развития ребенка / Под ред. Безруких М.М., Фарбер Д.А. М.: НПО “Образование от А до Я”, 2000. С. 82.*
16. Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Шумейко Н.С. Структурное преобразование коры головного мозга и мозжечка человека в постнатальном онтогенезе // *Физиология развития ребенка / Под ред. Безруких М.М., Фарбер Д.А. М.: НПО “Образование от А до Я”, 2000. С. 60.*
17. Костандов Э.А., Фарбер Д.А., Черемушкин Е.А. и др. Пространственная организация корковой электрической активности на разных стадиях зрительной установки у детей дошкольного и младшего школьного возраста // *Журн. высш. нерв. деятельности*. 2008. Т. 58. № 1. С. 46.
18. Костандов Э.А., Фарбер Д.А., Мачинская Р.И. и др. Пространственная синхронизация корковой электрической активности на отдельных стадиях зрительной установки у детей 8-летнего возраста с разным уровнем развития фронто-таламической системы избирательного внимания // *Журн. высш. нерв. деятельности*. 2010. Т. 60. № 1. С. 3.
19. Ekman P., Friesen W.Y. *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto (CA) Consult Psychol. Press, 1976.
20. Узнадзе Д.Н. Экспериментальные исследования по психологии установки. Тбилиси, 1958.
21. Pollak S., Sinha P. Enhanced perceptual sensitivity for anger among physically abused children // *Developmental Psychology*. 2002. V. 38. № 5. P. 784.
22. Костандов Э.А., Курова Н.С., Черемушкин Е.А. и др. Установка как регулирующий фактор в функции опознания эмоционального выражения лица // *Журн. высш. нерв. деятельности*. 2006. Т. 56. № 5. С. 581.
23. Werheid K., Alpay G., Jentsch I., Sommer W. Priming emotional facial expressions as evidenced by event-related brain potentials // *Int. J. Psychophysiol.* 2005. V. 55. P. 209.
24. Stapel D.A., Koomen W. The flexible conscious: investigating the judgmental impact of varieties of unaware perception // *J. Experim. Soc. Psychol.* 2006. V. 42. P. 112.
25. Streit M., Dammers J., Simsek-Kraues S. et al. Time course of regional brain activations during facial emotion recognition in humans // *Neurosci. Lett.* 2003. V. 342. P. 101.
26. Balconi M., Lucchiari C. EEG correlates (event-related desynchronization) of emotional face elaboration: a temporal analysis // *Neurosci. Lett.* 2006. V. 392. P. 118.
27. Fisher H., Sandblom J., Gavazzeni J. et al. Age-differential patterns of brain activation during perception of angry faces // *Neurosci. Lett.* 2005. V. 386. P. 99.
28. Kveraga K., Ghuman A.S., Bar M. Top-down predictions in the cognitive brain // *Brain and Cognition*. 2007. V. 65. P. 145.
29. Barret L.F., Bar M. See it with feeling: affective predictions during object perception // *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2009. V. 364. P. 1325.
30. Kirk I.G., Mackay J.C. The role of theta-range oscillations in synchronizing and integrating activity in distributed mnemonic networks // *Cortex*. 2003. V. 9. P. 993.
31. Костандов Э.А., Черемушкин Е.А., Ашкинази М.Л. Изменение опознания эмоционального выражения лица при введении в контекст дополнительной зрительно-пространственной задачи // *Физиология человека*. 2011. Т. 37. № 2. С. 5.

## **Development of Function of the Recognition of an Angry Face Expression at Children of 5–11 Years Old Age**

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

At children 5–6, 7–8 and 10–11 years on model of cognitive set are revealed age features of influence of last experience on perception of a face expression. At children of 5–6 years rigid set on an angry face was experimentally formed: at a testing stage show set-shifting caused large number of erroneous recognition of face expression of perseverative type (assimilative illusions). Plasticity of the set raises in 7–8-year age and considerably the number of assimilative illusions decreases. On 10–11 years sets doesn't differ essentially from adult people on plasticity and a ratio of number of assimilative and contrast illusions. Changes of spatial synchronization of electric potentials  $\theta$ - and  $\alpha$  ranges of frequencies in all age groups it is observed generally at a stage of formation of set. On all age groups strong correlation between bioelectric data and features of the set on a face expression is revealed. These data supports the hypothesis that cortico-hippocampal and fronto-thalamic functional systems of integration of a brain activity participate in the organization of a set on an emotional face expression and provide cognitive flexibility.

*Keywords:* ontogeny, recognition, face expression, set, assimilative illusions, set plasticity, EEG, coherence brain potentials,  $\alpha$ - и  $\theta$ -rhythms.