

ВОЗРАСТНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АССОЦИАТИВНЫХ КОРКОВЫХ ЗОН БОЛЬШОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА, УЧАСТВУЮЩИХ В ЗРИТЕЛЬНОМ ОПОЗНАНИИ ЛИЦА

Цехмистренко Т.А., Омар С.

*ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы»,
г. Москва, Россия*

Обухов Д.К.

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Представлены результаты исследования, в котором были изучены на количественной основе возрастные макроструктурные изменения в различных полях ассоциативных областей коры большого мозга, участвующих в опознании лица у детей, и оценить тесноту связи между этими изменениями.

Ключевые слова: *дети, неокортекс, центры опознания лица, морфометрия.*

AGE STRUCTURAL TRANSFORMATIONS OF ASSOCIATIVE CORTICAL AREAS OF THE HUMAN BRAIN INVOLVED IN VISUAL FACE IDENTIFICATION

Tsekhmistrenko T.A., Omar S.

*"Russian Peoples' Friendship University"
named after Patrice Lumumba"
Moscow, Russia*

Obukhov D.K.

*"St. Petersburg State University",
St. Petersburg, Russia*

The results of a study are presented in which age-related macrostructural changes in various fields of associative areas of the cerebral cortex involved in face recognition in children were studied on a quantitative basis, and the closeness of the connection between these changes was assessed.

Keywords: *children, neocortex, face recognition centers, morphometry.*

Введение. Восприятие лица человека представляет собой многокомпонентный когнитивный процесс, однако до настоящего времени нерешенным остается вопрос о структурных аспектах развития областей мозга, ответственных за распознавание лиц и их запоминание у детей. Постнатальные изменения толщины коры (cortical thickness, CTh) позволяют

проследить темпы и сроки формирования корковых нервных центров, участвующих в распознавании лиц. Наиболее интересной является веретенообразная лицевая область (fusiform face area, FFA), повреждение которой может вызывать прозопагнозию (нарушение распознавания лиц) [3]. Дорсолатеральная префронтальная кора участвует в когнитивных операциях, связанных с обновлением рабочей памяти, опознании и хранении черт лица [2]. Корковые центры функционально взаимодействуют благодаря анатомическим связям в системе нейросетей, осуществляющих восприятие лица. Интерес представляет вопрос о том, насколько связаны между собой изменения CTh и ее слоев в различных центрах опознания лица у детей по мере роста и развития.

Материалы и методы исследования. Материал составили левые полушария большого мозга мальчиков в возрасте от рождения до 12 лет (72 случая), погибших от травм без повреждений головного мозга. Сбор секционного материала был разрешен этической комиссией Института возрастной физиологии Российской академии образования (протокол № 3 от 23.05.1996 г.) и производился в судебно-медицинских моргах г. Москвы и Московской области. Материал группировали по годам. После фиксации в 10% нейтральном формалине фрагменты ткани вырезали в подполе 37a (латеральная затылочно-височная извилина), где расположена FFA, а также в полях префронтальной коры: 8 (глазодвигательное), 10 (интегративное поле лобного полюса), 44, 45 (речедвигательные) и 32/10 (паралимбическое). CTh, а также толщину III слоя (L_{III}) и V слоя (L_V) соответственно) измеряли на парафиновых срезах, окрашенных крезоловым фиолетовым по Нисслю, с помощью программ Image Tools (НИИ, USA) и ImageExpert™ Gauge (NEXSYS, Россия). Объем выборки для каждого среза составлял не менее 10, для каждого препарата – не менее 40, для каждого возраста – не менее 120 измерений по каждому показателю. Статистический анализ полученных количественных данных производили с использованием пакета программ SigmaStat (USA). Для показателей разных возрастных групп вычисляли среднюю арифметическую величину, стандартную ошибку и доверительный интервал, при этом проверяли соблюдение нормальности распределения величин в сравниваемых выборках на основе теста Шапиро-Уилка при $\alpha=0,05$ [1]. Значимость различий между средними показателями разных возрастных групп определяли с применением двухвыборочного t-критерия при $P \geq 95\%$ ($p < 0,05$). Для оценки связи между возрастными изменениями CTh, L_{III} и L_V в сравниваемых корковых полях рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R) и его статистическую значимость с использованием таблицы критических значений Стьюдента.

Результаты. К моменту рождения CTh в подполе 37a задней ассоциативной коры составляла в среднем 1477 ± 28 мкм, в полях префронтальной коры варьировала от 1317 ± 57 мкм в поле 45 до 1756 ± 101 мкм в поле 44. Статистически значимых различий по среднегрупповым

показателям СТн между подполем 37а и полями префронтальной коры в левом полушарии у новорожденных не обнаружено. В течение первого года жизни рост коры в толщину в исследованных корковых зонах происходил с разной интенсивностью. К 12 мес в подполе 37а задней ассоциативной коры, а также в полях 8 и 45 префронтальной коры СТн увеличивалась в 1,6 раза, в остальных полях лобной доли СТн нарастала менее интенсивно – в 1,2-1,3 раза по сравнению с новорожденными. Значимое увеличение поперечника коры в подполе 37а и поле 8 наблюдалось к 3 годам в 1,7 раза и 6 годам в 1,8 раза по сравнению с новорожденными. В остальных функционально различных полях префронтальной коры увеличение СТн у детей старше 12 мес происходило гетерохронно и гетеродинамически: в интегративном поле 10 – к 2 годам в 1,4 раза и к 6 годам – в 1,5 раза по сравнению с новорожденными; в паралимбическом подполе 32/10 – к 3 годам в 1,5 раза и к 7 годам в 1,6 раза; в речедвигательном поле 44 – к 3 годам в 1,4 раза. Наибольшая интенсивность роста коры в толщину наблюдалась в речедвигательном поле 45 – к 2 годам в 1,8 раза и к 6 годам в 1,9 раза. После 6-7 лет СТн стабилизировалась во всех исследованных зонах неокортекса, связанных с опознанием лица. Увеличение СТн в полях ассоциативных зон коры осуществлялось в основном за счет нарастания поперечника III и V citoархитектонических слоев. В подполе 37а суммарный прирост L_{III} и L_V в общем объеме прироста СТн составил $54,4 \pm 2,8\%$, а в полях префронтальной коры – от $50,0 \pm 3,6\%$ (подполе 32/10) до $67,5 \pm 3,8\%$ (поле 45).

Для оценки связи между темпами роста СТн, L_{III} и L_V в корковых центрах, участвующих в опознании лица, был использован ранговый корреляционный анализ Спирмена. Изучали коэффициенты корреляции R между средними показателями СТн, L_{III} и L_V в годовых интервалах и в ранговой шкале. Между возрастными изменениями СТн в подполе 37а и в исследованных полях префронтальной коры отмечали значимую и прямую (положительную) двустороннюю связь. При анализе корреляционных связей между подполем 37а и каждым из полей лобной области неокортекса R варьировал в пределах от 0,65 (пара «подполе 37а - поле 44») до 0,84 (пара «подполе 37а – поле 10») при уровне значимости $p \leq 0,016 \div 0,0004$, что свидетельствует о сопряженном развитии фронтальных корковых зон и затылочно-височного визуального центра опознания черт лица. Между возрастными изменениями L_{III} в поле 37а и в полях префронтальной коры теснота связи была умеренной и прямой ($R=0,57 \div 0,66$ при $p \leq 0,048 \div 0,017$). Между изменениями L_V в подполе 37а и подполем 32/10, как и полем 44 также была обнаружена умеренная прямая двусторонняя связь ($R=0,72$; $p \leq 0,005$). Однако между L_V в подполе 37а и полями 8, 10 и 45 префронтальной коры положительная взаимосвязь была незначимой и слабой ($R=0,46 \div 0,54$ при $p \leq 0,112 \div 0,057$).

Очевидно, что в процессе постнатального развития коры левого полушария большого мозга функциональные связи подполя 37а

поддерживаются со всеми исследованными полями префронтальной коры. Однако, как показал корреляционный анализ, в наибольшей степени взаимосвязь в ходе возрастных морфофункциональных преобразований между передней и задней ассоциативными зонами коры, функционально вовлекающимися в опознание лица, осуществляется на уровне ассоциативного слоя L_{III}. На уровне проекционного слоя L_V взаимосвязь между подполем 37а и префронтальной корой умеренно выражена только с паралимбическим подполем 32/10, участвующим в контроле психоэмоционального поведения, а также с полем 44, контролирующим базовую реализацию членораздельной речи (произношение отдельных фонем и слов). Вероятно, это связано с активным вовлечением этих корковых зон в механизмы эпизодической памяти на лица в структуре, контролирующей ее распределенной нейросети с участием корково-таламо-гиппокампадных связей [4], а также с важной ролью вентромедиальной префронтальной коры в процессах ориентации внимания на социально и эмоционально значимые стимулы при визуальном анализе эмоций [5]. Для L_V полей 8, 10 и 45 префронтальной коры, значимость которых высока при реализации таких функций, как письмо, чтение, устная связная речь, пение, поддержание рабочей памяти, целеполагание, создание и контроль поведенческих программ, взаимосвязь с L_V подполя 37а, контролирующим восприятие человеческого лица, оказалась незначительной.

Заключение. Наиболее значимые структурные преобразования в областях неокортекса левого полушария большого мозга, участвующих в обработке лица, происходят у детей в течение первого года жизни, а также в 2-3 года и 6-7 лет. Они осуществляются в системе тесной взаимосвязи между задней ассоциативной корой, реализующей перцептивную обработку информации, и функционально специализированными полями передней ассоциативной зоны в составе префронтальной коры, участвующими в когнитивном контроле, необходимом для задач распознавания лица в зависимости от ситуативной мотивации или психоэмоциональных аспектов поведения ребенка.

Работа выполнена по Программе стратегического академического лидерства РУДН имени Патриса Лумумбы «Приоритет-2030» Министерства науки и высшего образования РФ.

Литература

1. Lang, T. A. How to report statistics in medicine / T. A. Lang, M. Secic. Philadelphia : American College of Physicians, 1997. 364 p.
2. Li, J. A distributed neural system for top-down face processing / J. Li [et al.] // Neurosci Lett. 2009. Vol. 451 (1). P. 6-10. <https://doi:10.1016/j.neulet.2008.12.039>.
3. Lohse, M. Effective Connectivity from Early Visual Cortex to Posterior Occipitotemporal Face Areas Supports Face Selectivity and Predicts Developmental Prosopagnosia / M. Lohse [et al.] // J Neurosci. 2016. Vol. 36 (13). P. 3821-3828. <https://doi:10.1523/JNEUROSCI.3621-15.2016>.

4. Thielen, J. W. The increase in medial prefrontal glutamate/glutamine concentration during memory encoding is associated with better memory performance and stronger functional connectivity in the human medial prefrontal-thalamus-hippocampus network / J. W. Thielen [et al.] // Human brain mapping. 2018. № 39 (6). P.2381-2390. <https://doi.org/10.1002/hbm.24008>.

5. Wolf, R. C. Ventromedial prefrontal cortex mediates visual attention during facial emotion recognition / R. C. Wolf [et al.] // Brain : a journal of neurology. 2014. № 137 (Pt 6). P. 1772-1780. <https://doi.org/10.1093/brain/awu063>.