

ФИЗИОЛОГИЯ

ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ КОРЫ И СЛОЕВ В ФУНКЦИОНАЛЬНО РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ОТ РОЖДЕНИЯ ДО 20 ЛЕТ

В.А. Васильева, Н.С. Шумейко¹

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО», Москва

С помощью гистологических методик, морфометрии и статистического анализа изучали возрастные изменения толщины коры и слоёв в двигательной и зрительной областях коры полушарий большого мозга 89 человек от рождения до 20 лет. Установлено, что в процессе постнатального онтогенеза отмечается неравномерное изменение толщины коры и слоёв, которое происходит в функционально различных зонах коры большого мозга человека неодинаково.

Ключевые слова: кора большого мозга, двигательная кора, зрительная кора, толщина коры, толщина слоёв.

Changes in cortical thickness and layers of motor and visual areas of the human brain from birth to 20 years old. Using histological techniques, morphometry, and statistical analysis we studied age-related changes in the thickness of the cortex and layers of the motor and visual cortex of 89 people from birth to the age of 20 y.o. It has been established that in the process of postnatal ontogenesis there is an uneven change in the thickness of the cortex and layers. It occurs differently in functionally different areas of the cortex of the human brain.

Keywords: cerebral cortex, motor cortex, visual cortex, cortical thickness, thickness of layers.

DOI:10.46742/2072-8840-2020-63-3-5-10

Коре большого мозга принадлежит ведущая роль в организации наиболее сложных форм поведения человека. Знание закономерностей структурных преобразований различных областей коры большого мозга в процессе онтогенеза является важным для характеристики функционирования здорового организма.

При проведении морфофункциональных исследований головного мозга человека недостаточно внимания уделяется изучению сроков и темпов нарастания толщины коры в постнатальном онтогенезе, хотя изучение таких параметров, как толщина и объём коры и её слоёв, проводились и ранее, но в ограниченных возрастных интервалах [4; 8]. Существует представление о том, что структурные преобразования в функционально отличающихся зонах протекают гетеродинамически и различаются по срокам. Количественная оценка толщины коры и отдельных слоёв позволяет определить степень различий в структурной организации функционально различных областей коры на разных этапах постнатального онтогенеза.

Контакты: ¹ Шумейко Н.С. – E-mail: <shumejko-nina@yandex.ru>

С целью изучения специфики возрастных преобразований различных отделов мозга в процессе постнатального онтогенеза нами проанализированы микроструктурные изменения коры больших полушарий в двигательной (поля 4р, 6 и бор) и зрительной (поля 17, 18 и 19) областях. В задачу работы входило исследование показателей толщины коры и её слоёв в изученных полях большого мозга человека от рождения до 20 лет.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом послужили 89 полушарий, преимущественно левых, головного мозга детей, подростков и юношей. Распределение материала проводилось в годовых интервалах. Фиксацию мозга производили в 10 %-ном нейтральном формалине с последующим обезвоживанием в спиртах восходящей концентрации. Парафиновые срезы мозга толщиной 10 микрон окрашивались крезильовым фиолетовым по Нисслю. С помощью окуляр-микрометра на фронтальных срезах на вершине извилины измеряли толщину коры и её отдельных слоёв. Для определения возрастных изменений средних значений размерных показателей при проведении измерений на группе срезов, полученных от разных индивидуумов, использовали метод оценки и сравнения средних величин с учётом вариабельности первичных измеряемых объектов и индивидуальной изменчивости [3]. Значимость различий между средними величинами изучаемых параметров разных возрастных групп или разных полей в одной возрастной группе определяли методами вариационной статистики с вычислением ошибки средней и доверительного интервала с уровнем значимости $P=95\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общим для всех полей двигательной зоны является то, что наиболее интенсивный рост коры в толщину в ходе всего онтогенеза осуществляется в первый год жизни, однако, темпы роста в разных полях различны. К моменту рождения наибольшая толщина коры отмечается в первичном поле 4р (1660 ± 20 мкм), наименьшая – во вторичных полях 6 (1355 ± 46 мкм) и бор (1340 ± 22 мкм). Значительное увеличение в толщину коры поля 4р отмечается от рождения до 3 месяцев. В поле 6 к 3 месяцам также наблюдается быстрый рост толщины коры, затем постепенное увеличение до 1 года. В поле бор от рождения до 1 года наблюдается равномерный рост коры в толщину. В полях 4р и 6 темпы роста толщины коры выше в первом полугодии жизни, а в поле бор – во втором полугодии. На 2-м году жизни величина годовых приростов толщины коры в изучаемых полях двигательной области постепенно уменьшается, хотя основной прирост наблюдается до 3 лет. К 7 годам годовые приросты заметно снижаются вплоть до 10 лет. По средним абсолютным значениям после 8 лет в поле бор, после 9 лет в поле 4р и после 12 лет в поле 6 отмечается уменьшение толщины коры с последующими незначительными колебаниями до 20 лет. Такое же уменьшение толщины коры с одновременным увеличением плотности нейронов на единицу площади в ряде полей головного мозга наблюдали и другие исследователи [1; 6]. Существуют данные о том, что уменьшение объёма коркового вещества наблюдается не только

у взрослых людей в процессе старения. В некоторых отделах мозга первые признаки этого процесса могут отмечаться уже после 16-18 лет и даже на более ранних этапах постнатального онтогенеза [7]. К 20 годам толщина коры в поле 6 составляет в среднем 2480 ± 112 мкм, в поле бор – 2433 ± 126 мкм, в поле 4р – 2327 ± 130 мкм. Результаты обработки индивидуальных показателей по ширине коры и слоёв показали, что наиболее высокий уровень варибельности по ширине коры отмечается в поле 4р у новорожденных (15,3 %), в поле 6 – в 8-12 лет (8,5 %), в поле бор – до 1 года и в 8-12 лет (14,7 %).

Рост коры в толщину в полях двигательной области осуществляется главным образом за счёт ансамблеобразующих III и V слоёв. К моменту рождения наибольшая толщина III слоя наблюдается в поле 4р, где составляет в среднем 730 ± 20 мкм. В полях 6 и бор толщина III слоя мозга новорожденных составляет в среднем 595 ± 22 и 525 ± 20 мкм соответственно. Толщина III слоя составляет 39-44 % от общего поперечника коры, толщина V слоя – 18-22 % от поперечника коры, что в 1,8-2,5 раза меньше по сравнению с III слоем. Толщина III и V слоёв достигает максимальных величин в поле бор к 8 годам, в поле 4р – к 9 годам, в поле 6 – к 12 годам. Прогрессивное развитие слоя III расценивается как признак того, что поля двигательной области выполняют высокие аналитико-синтетические функции [2]. Интенсивность увеличения толщины III слоя в проекционной зоне двигательной коры ниже, чем во вторичных проекционно-ассоциативных полях 6 и бор. Для III и V слоёв двигательной коры характерны более высокие значения коэффициентов вариации по сравнению со всей шириной коры. На фоне колебаний индивидуальных показателей толщина слоя III в полях 6 ор и 4р к 15-18 годам демонстрирует слабую тенденцию к снижению величины данного параметра с возрастом ($p > 0,05$), что, вероятно, не случайно [7]. По толщине V слоя у юношей 17-20 лет отмечаются индивидуальные варианты значимых различий между премоторным отделом моторной коры (поле 6) и её первичной двигательной зоной (поле 4р).

В зрительной области наиболее значительные изменения толщины коры в полях 17, 18 и 19 происходят в течение первого года жизни, хотя и с различной интенсивностью. В полях 17 и 18 наиболее интенсивный рост толщины коры отмечается от рождения до 6 месяцев (в 1,6 раза), а в поле 19 – от рождения до 1 года (в 1,7 раза). Толщина коры проекционного поля 17 уже к 3 годам достигает толщины коры взрослого, а полей 18 и 19 лишь к 7 годам. Наибольшая толщина коры наблюдается в поле 19 и к 20 годам составляет в среднем 2600 ± 124 мкм, в поле 18 – 2597 ± 96 мкм и наименьшая – в поле 17 (2448 ± 112 мкм). Высокий уровень индивидуальной варибельности толщины коры во всех полях зрительной области отмечается к 6-7 годам, нарастая к подростково-юношескому возрасту.

Рост толщины коры зависит от роста слоёв и подслоёв. Интенсивность роста слоёв в различных полях неодинакова: она наиболее высока в IV слое поля 17 и III слое полей 18 и 19. Слой IV в значительной степени определяет функциональную специфику первичной зрительной коры. В полях 18 и 19 ведущим слоем является слой III. В первые три года жизни скорость роста IV слоя поля 17 выше, чем III слоя в полях 18 и 19. Опережающие темпы роста IV слоя поля 17 свидетельствуют о большой значимости данного слоя не только для формирования зрительной коры, но и связанных с ней корковых областей большого мозга человека [5]. Тол-

щина IV слоя в поле 17 стабилизируется после 6 лет, III слоя в полях 18 и 19 – после 8 лет. Скорость роста V слоя во всех полях незначительна. Во всех изученных полях низкими темпами роста характеризуются I, II слои. Темпы роста слоев нижнего этажа коры (VI, VII) менее интенсивны и замедляются к 7 годам. Вероятно, к этому возрасту в основном завершается формирование распределенных сетей, обеспечивающих взаимосвязи коры больших полушарий с подкорковыми структурами.

У новорожденных толщина IV слоя в поле 17 не превышает 415 ± 18 мкм. Она в 1,2 раза меньше по сравнению с показателями слоя III в полях 18 и 19, поперечник которых составляет соответственно 511 ± 24 мкм и 449 ± 18 мкм. Несмотря на различия в абсолютных показателях, толщина этих слоев по отношению к общей толщине коры варьирует в узком диапазоне от 30 до 39 %. В поле 17 толщина IV слоя у новорожденных составляет 30 % по отношению к толщине коры, к 3 годам увеличивается до 38 % и остается примерно на одном уровне до 20 лет. Слои I, III и V в поле 17 в процессе постнатального онтогенеза относительно суживаются и составляют к 20 годам соответственно 9,7 %, 10,0 %, 11,0 %. В поле 18 толщина III слоя по отношению к общей толщине коры увеличивается от рождения до 20 лет с 33 % до 39 %. Толщина I, II, IV и V слоев нарастает примерно в 1,5-1,7 раза от рождения до 3 лет. Их относительная толщина существенно не изменяется в процессе онтогенеза и составляет 10-11 %. В поле 19 толщина III слоя по отношению к общей толщине коры увеличивается от рождения до 20 лет с 33 % до 37 %. После 8 лет толщина слоев поля 19 стабилизируется. Относительная толщина I, II и IV слоев в период от рождения до 20 лет существенно не изменяется и составляет соответственно 10,0 %, 8,0 %, 11,0 %. Слой V относительно суживается (с 16,4 % у новорожденных до 12,0 % к 20 годам), что также наблюдали Н.С.Преображенская и И.Н.Филимонов [4]. Индивидуальная вариабельность толщины слоя V велика во всех полях, особенно в проекционном поле 17, что свидетельствует о большой индивидуальной специфике системы обратных связей с подкорковыми структурами. Толщина слоев характеризуется более высоким уровнем вариабельности по сравнению с общей толщиной зрительной коры.

Индивидуальная изменчивость корковых структур рассматривается как результат адаптации к внешнесредовым факторам, а также к специфике интегративных процессов, осуществляемых центральной нервной системой.

ВЫВОДЫ

1. В период от рождения до 20 лет в двигательной и зрительной областях коры большого мозга человека скорости роста толщины коры, слоев и степень выраженности индивидуальной вариабельности по-разному проявляются в различных полях, что, вероятно, обусловлено их функциональными характеристиками.

2. В полях двигательной области наиболее интенсивное увеличение толщины коры наблюдается в различные месяцы первого года жизни и в основном завершается в поле 4р к 3 годам, в полях 6 и 6ор – к 5 годам. В полях зрительной области толщина коры наиболее значительно увеличивается в течение первого года жизни и приближается к уровню взрослого в поле 17 к 3 годам, в полях 18 и 19 – к 7 годам.

3. Рост коры в толщину в двигательной коре осуществляется главным образом за счёт III и V слоёв, толщина которых достигает максимальных величин в поле бор к 8 годам, в поле 4р – к 9 годам, в поле 6 – к 12 годам. В поле 17 зрительной области рост коры в толщину происходит в основном за счет IV слоя, а в полях 18 и 19 – за счет III слоя, толщина которых стабилизируется в поле 17 после 6 лет, в полях 18 и 19 – после 8 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева В.А. Структурные преобразования зрительной коры головного мозга человека в онтогенезе // Новые исследования по возрастной физиологии. – 1986. – №2 (27). – С. 32-37.

2. Кукуев Л.А. Структура двигательного анализатора (Эволюция, связи и роль в патологии мозга). – Л.: Медицина, 1968. – 279 с.

3. Потапова И.Г., Катинас Г.С., Стефанов С.Б. Оценка и сравнение средних величин с учётом вариабельности первичных измеряемых объектов и индивидуальной изменчивости // Архив анат., гистол. и эмбриол. – 1983. – Т.85. №9. – С. 86-92.

4. Преображенская Н.С., Филимонов И.Н. Затылочная область // Цитоархитектоника коры большого мозга человека. – М., 1949. – С. 240-253.

5. Khalil R., Levitt J.B. Developmental remodeling of corticocortical feedback circuits in ferret visual cortex // J. Comp. Neurol. – 2014. – Vol.522. N14. – P. 3208-3228. DOI: 10.1002/cne.23591.

6. Rabinowicz Th., Louba G., Heumann D. Morphologic maturation of the brain: a quantitative study // Brain fetal and infant. Current Research on Normal and Anormal Development. – The Hague, Nijhoff, 1977, XIV. – P.28-53.

7. Roders J.C., De Brito S.A. Cortical and Subcortical Gray Matter Volume in Youths with Conduct Problems: A Meta-analysis // JAMA Psychiatry. – 2016. – Vol. 73. N1. – P. 64-72.

8. Tamnes Ch.K., Herting M.M., Goddings A.-L., Meuwese R., Blakemore S.-J. et al. Development of the Cerebral Cortex across Adolescence: A Multisample Study of Inter-Related Longitudinal Changes in Cortical Volume, Surface Area, and Thickness. // Journal of Neuroscience. – 2017. – Vol. 37, № 12. – P. 3402-3412.

REFERENCES

1. Vasil'eva V.A. Strukturnye preobrazovaniya zritel'noj kory golovnogo mozga cheloveka v ontogeneze (Structural transformations of the visual cortex of the human brain in ontogenesis) / V.A Vasil'eva // Novye issledovaniya po vozrastnoj fiziologii. – 1986. – №2 (27). – S. 32-37.

2. Kukuev L.A. Struktura dvigatel'nogo analizatora (Jevoljucija, svjazi i rol' v patologii mozga) (Structure of the motor analyzer (Evolution, connections and role in the pathology of the brain)) / L.A.Kukuev – L.: Medicina, 1968. – 279 s.

3. Potapova I.G., Katinas G.S., Stefanov S.B. Ozenka i sravnenye srednikh velichin s uchotom variabel'nosti pervichnykh izmeryayemykh ob"ektov i individual'noy izmenchivosti (Evaluation and comparison of average values taking into account the vari-

ability of the primary measured objects and individual variability) / I.G.Potapova, G.S.Katinas, S.B.Stefanov. // Archiv anat., gistol. and embryol. – 1983. – T.85. N9. – P.86-92.

4. Preobrazhenskaja N.S., Filimonov I.N. Zatylochnaja oblast' (Occipital region) // Citoarhitektonika kory bol'shogo mozga cheloveka / N.S. Preobrazhenskaja, I.N. Filimonov. – M., 1949. – S. 240-253.