

DOI: 10.18499/2225-7357-2019-8-4-42-48

УДК 611.81.013

03.03.04 – клеточная биология, цитология, гистология

© Коллектив авторов, 2019



Структурные возрастные преобразования нейронных группировок коры большого мозга и мозжечка у детей

Т. А. Цехмистренко^{1, 2*}, Д. К. Обухов³, В. А. Васильева²,
А. Б. Мазлов¹, Н. С. Шумейко²

¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

²ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования»,
Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования – изучение возрастных изменений нейронных группировок (кластеров) коры большого мозга и коры мозжечка человека в процессе онтогенеза.

Материал и методы. Работа выполнена на постмортальном материале (75 левых полушарий большого мозга, 62 мозжечка), полученном от детей в возрасте от рождения до 12 лет, умерших в результате травм без повреждений головного мозга. С помощью компьютерной морфометрии на окрашенных по Нислю фронтальных гистологических срезах коры большого мозга на уровне слоя III полей 8, 6ор и 37ас, а также в зернистом слое парамедианной доли коры мозжечка (H VII B) измеряли площадь нейронной группировки на срезе и суммарную площадь нейронов в составе группировки. Анализ количественных данных проводили с применением вариационной статистики в годовых интервалах.

Результаты. У детей от рождения до 12 лет в динамике постнатального развития микроструктуры зон неокортекса большого мозга, связанных со зрительно-пространственным восприятием, выделены 4 этапа количественных изменений кластерной (ансамблевой) организации коры: I – от рождения до конца 1-го года жизни, II – от 1-го до конца 2-го года, III – от 3 до 5–6 лет, IV – от 5–6 до 8–9 лет. В коре мозжечка значимые изменения в структуре нейронных кластеров отмечаются к концу 1-го года жизни, к 3 и к 5–6 годам. Структурные изменения нейронных группировок отличаются по срокам и интенсивности в каждом из изученных полей.

Заключение. Размеры нейронных кластеров корковых формаций являются информативными показателями для выявления этапов значимых возрастных преобразований в различных зонах коры большого мозга и мозжечка человека в постнатальном онтогенезе и могут быть рекомендованы для применения в сравнительно-анатомических и клинических исследованиях.

Ключевые слова: кора большого мозга человека, кора мозжечка, нейронная группировка, кластеризация коры, постнатальный онтогенез, морфометрия.

Structural Transformations in Neural Clusters of the Cerebral and Cerebellar Cortex in Children

© Т. А. Tsekhmistrenko^{1, 2*}, D. K. Obukhov³, V. A. Vasil'eva², A. B. Mazlov¹, N. S. Shumeiko², 2019

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

²Institute of Age Physiology of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia

³St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Objective – the study of age-related changes in neural groups of the cerebral cortex and cerebellar cortex in the process of upward ontogenesis.

Material and methods. The work was done on post-mortal material (75 left cerebral hemispheres, 62 cerebellum) obtained from children from birth to 12 years old who died as a result of injuries without damage to the brain. Using computer morphometry on the Nissl stained frontal histological sections of the cerebral cortex taken in layer III of fields 8, 6op and 37ac, as well as in the granular layer of the paramedian lobule of the cerebellar cortex (H VII B), the area of the neural group on the section and the total area of neurons were measured as part of a grouping. Quantitative data analysis was carried out using variation statistics in annual intervals.

Results. In children from birth to 12 years, in the dynamics of developmental changes in the microstructure of the cerebral and cerebellar cortical zones associated with visual-spatial perception, 4 stages of quantitative changes in the cluster (ensemble) organization of the cortex are distinguished: I - from birth to the end of 1 year of life, II – from 1 to the end of 2 years, III – from 3 to 5–6 years, IV – from 5–6 to 8–9 years. In the cerebellum cortex, significant changes in the structure of neural clusters are observed by the end of 1 year of life, by 3 and by 5–6 years. Structural changes in neural groups differ in terms and intensity in each of the studied fields.

Conclusion. The sizes of neural clusters in the microstructure of the cerebral and cerebellar cortex are informative indicators for identifying the stages of significant age-related transformations in different zones of the human cortical formations in postnatal ontogenesis, and can be recommended for use in comparative anatomical and clinical studies.

Key words: human cerebral cortex, cerebellar cortex, neural grouping, cortical clustering, postnatal ontogenesis, morphometry.

***Автор для переписки:**

Цехмистренко Татьяна Александровна
Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Россия
E-mail: tsekhmistrenko2010@yandex.ru

***Corresponding author:**

Tat'yana Tsekhmistrenko
Peoples' Friendship University of Russia, ul. Miklukho-Maklaya, 8, Moscow, 117198, Russia
E-mail: tsekhmistrenko2010@yandex.ru

Введение

В настоящее время структурным преобразованиям корковых формаций мозга человека в постнатальном онтогенезе уделяется все более пристальное внимание. Методики прижизненной визуализации биологических тканей позволяют изучать морфофункциональную активность различных отделов мозга в условиях эксперимента и в ходе диагностических процедур. Однако пока не существует методик неинвазивных исследований структурной организации мозга на клеточном и тканевом уровнях непосредственно у живого человека, хотя их разработка продолжается [15]. Поэтому для изучения постнатальных изменений нейроархитектоники коры большого мозга и мозжечка человека продолжают использоваться классические гистологические методики в сочетании с морфометрией. По-прежнему является актуальным вопрос о сроках возрастных микроструктурных изменений в различных отделах корковых формаций мозга у детей и о поиске информативных количественных параметров-индикаторов, позволяющих корректно выделять этапы постнатальных структурных преобразований [10].

В последние годы широкое признание получила идея коннектома как системы всех связей в нервной системе и, особенно, в головном мозгу человека. Эта идея базируется на теории распределенных нейронных сетей, обеспечивающих реализацию функций контроля и управления жизнедеятельностью организма, в том числе с участием высших корковых формаций мозга. Известно, что в генерации нервного импульса, как правило, участвуют одновременно несколько корковых нейронов, образующих компактную группу в пределах одного цитоархитектонического слоя или подслоя [11]. Такие группировки нейронов (нейронные ансамбли или кластеры, Кл) четко обнаруживаются в наружной пирамидной пластинке (слой III) неокортекса. Нейроны в этом слое образуют обширные внутрикорковые, корково-корковые и корково-подкорковые связи, поэтому формируемые ими нейронные Кл могут рассматриваться в качестве функциональных единиц в узловых точках локальных нейросетей на различных иерархических уровнях коннектома [6]. Кл как таковой, в соответствии с его общепринятым определением в физике и информатике, состоит из компонентов, связанных между

собой, но сохраняющих индивидуальность [8]. Сформулированная нами концепция кластерной организации экранных структур мозга, предполагает, что Кл в коре большого мозга сформированы преимущественно пирамидными нейронами, рост и развитие которых продолжается вплоть до подростково-юношеского периода и отличается по темпам и срокам в разных корковых зонах [6]. Можно предположить, что возрастные изменения собственно Кл в микроструктуре неокортекса также носят регионально специфический характер. Этапы развития кластерной организации коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе практически не изучены. В ряде работ была продемонстрирована также кластеризация зернистого слоя коры мозжечка человека, постнатальные изменения в котором также представляют значительный интерес в связи с разработкой проблем функционального картирования коры мозжечка [13].

Целью работы было изучение постнатальных структурных преобразований нейронных Кл в корковых формациях большого мозга и мозжечка человека.

Материал и методы исследования

Материал исследования включал левые полушария большого мозга (75 наблюдений) и мозжечки (62 наблюдения) мальчиков в возрасте от рождения до 12 лет. Секционный материал принадлежал лицам, погибшим в результате травм без прижизненных повреждений головного мозга. Постмортальный биоматериал собирали в судебно-медицинских моргах отделов № 2 и 4 Бюро судебно-медицинской экспертизы Московской области (ГБУЗ МО «Бюро СМЭ»). Часть материала была получена в прозектурах Морозовской детской городской клинической больницы и Городской детской клинической больницы № 13 имени Н.Ф. Филатова г. Москвы. Решением № 4 от 15 февраля 1996 года сбор материала был разрешен этической комиссией Института возрастной физиологии РАО (г. Москва). Материал сгруппирован по годам с 3–7 наблюдениями в возрастной группе. Изучали функционально связанные отделы коры, участвующие в регуляции зрительно-пространственного восприятия, в том числе поле 6ор префронтальной коры, фронтальное глазное (глазодвигательное) поле 8, поле 37ас задней ассоциативной коры [3], а также симметричные участки парамедианной дольки (Н VII В) в правом и левом полушариях мозжечка. Кусочки ткани мозга фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина, обезжизивали в спиртах восходящей концентрации, смеси спирта и хлороформа, после чего заливали в парафин. Серийные фронтальные срезы неокортекса изготавливали

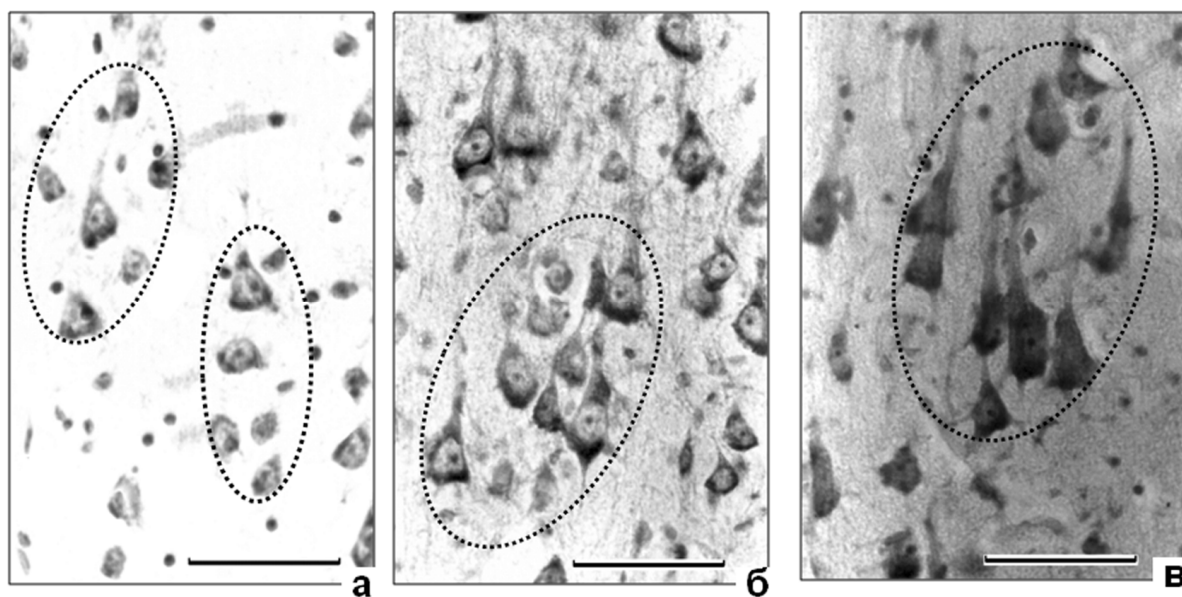


Рис. 1. Нейронные группировки в слое III поля бор премоторной коры у детей: а – 2 года 8 мес., б – 7 лет, в – 12 лет. Пунктиром выделены кластеры нейронов. Окраска крезильовым фиолетовым по Нисслю. Масштабный отрезок – 40 мкм.

толщиной 10 мкм, коры мозжечка – толщиной 5 мкм. Из каждой серии произвольно отбирали 4–5 срезов для исследования. Срезы окрашивали крезильовым фиолетовым по Нисслю по стандартной методике (рис. 1) и заключали в канадский бальзам. Для анализа гистологических препаратов использовали технологию Image Tools (National Institutes of Health, USA), позволяющую осуществлять компьютерную визуализацию оптических изображений, полученных на микроскопе Биолам-15 ЛОМО® (Россия) с встроенной USB камерой UCMOS01300KPA (Altami, Россия). Морфометрию микроструктур на гистологических препаратах проводили, применяя программу ImageExpert™ Gauge (NEXSYS, Россия), предназначенную для выделения микрообъектов и их полуавтоматизированных измерений с визуальным контролем. Группировки нейронов в слое III неокортекса и в зернистом слое коры мозжечка выделяли, объединяя в группу близко расположенные нейроны, измеренные расстояния между которыми не превышали их среднегруппового диаметра, который составлял для нейронов неокортекса 10–15 мкм, для зерновидных нейронов коры мозжечка – 5–7 мкм.

Морфометрический анализ по стандартным рекомендациям [1] включал измерение площади профильных полей группировки (Пг) и суммарной площади нейронов в группировке (Пнг) в слое III неокортекса, а также площади профильных полей группировки (ПгМ) в зернистом слое коры мозжечка. Объем выборки для каждого среза составлял не менее 10–20, для каждого препарата – 40–80, для каждого возраста – 100–120 группировок-кластеров. Статистический анализ данных производили, вычисляя среднегрупповые ве-

личины изучаемых параметров и стандартные ошибки средних, при этом проверяли соблюдение нормальности распределения величин в сравниваемых выборках, анализировали распределение вероятностей количественных признаков [2]. Значимость различий определяли с применением двухвыборочного t-критерия Стьюдента при $P > 95\%$ ($p < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Анализ количественных параметров Кл показал, что в слое III у новорожденных наибольшие группировки по показателю их площади профильного поля (Пг) обнаруживались в поле 37ас, где они достигали 1410.46 ± 58.3 мкм², наименьшие – в поле 8, где Пг составляла 559.5 ± 45.9 мкм², а в поле бор – 662.07 ± 40.7 мкм² (рис. 2).

Относительная площадь перикарионов нейронов в составе группировок была наименьшей в поле 37ас, где она достигала $14.9 \pm 0.8\%$ от площади группировки. Компактные кластеры, в которых нейроны на срезе располагались наиболее близко друг к другу, мы наблюдали в области поля 8, где Пнг занимала $57.9 \pm 3.3\%$ от Пг. В поле бор Пнг составляла $34.5 \pm 2.2\%$ от площади Кл. К 12 мес. нарастали размеры Кл в полях бор и 8 лобной доли в 2.9–3.0 раза, в поле 37ас височно-теменно-затылочной подобласти – в 2.1 раза по сравнению с новорожденными. Пнг в течение первого года жизни также увеличивалась в среднем в поле бор в 2.0 раза, в поле 8 – в 2.6 раза, в поле 37ас – в 2.4 раза. Ранее нами было показано, что у детей к концу первого года жизни размеры тел пирамидных нейронов в различных отделах коры увеличивались в 2.1–4.4 раза [6]. Очевидно, что синхронно с

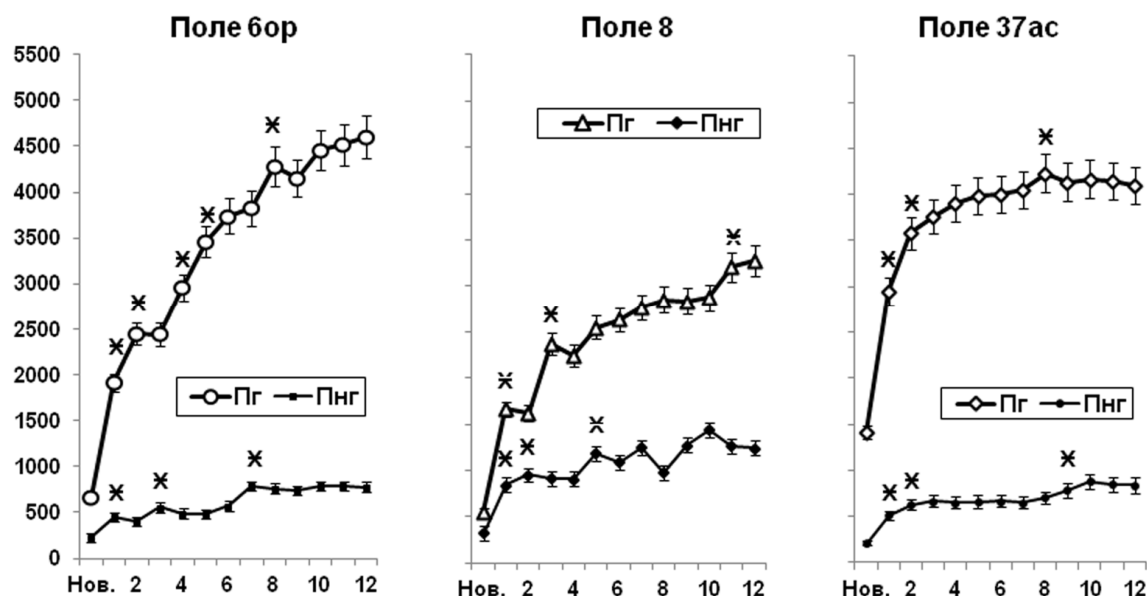


Рис. 2. Возрастная динамика площади группировок (Пг) и суммарной площади нейронов в составе группировки (Пнг) слоя III в полях 6ор, 8 и 37ас коры большого мозга у детей. Обозначения (здесь и на рис. 3): по оси абсцисс – возраст в годах, нов. – новорожденные, по оси ординат – площадь объекта на срезе в мкм², вертикальные отрезки – стандартная ошибка средней величины, звездочки – различия значимы по сравнению с предыдущим значимым изменением показателя (t-критерий Стьюдента, $p < 0.05$).

размерами нейронов увеличивалась и их суммарная площадь в составе нейронных группировок.

На моделях кластеризации веществ было продемонстрировано, что кластеры в жидких и газообразных средах с увеличением размеров должны приобретать более «рыхлую» структуру, уменьшая плотность пространственного расположения своих компонентов [4]. В изучавшихся нами биологических объектах эта особенность фрактальных кластеров была характерна для поля 6ор премоторной коры, где с увеличением Пг суммарная площадь нейронов в группировке к 12 мес. уменьшалась до $23.5 \pm 1.3\%$ по сравнению с новорожденными. В поле 8 префронтальной коры к концу первого года Пнг жизни значимо не изменялась по сравнению с новорожденными и составляла $50.8 \pm 1.8\%$ от Пг. В результате компактность Кл в среднем оставалась стабильной, несмотря на синхронное увеличение и Пг, и Пнг. В поле 37ас к 12 мес. Пнг значимо увеличивалась до $17.3 \pm 0.8\%$ от Пг по сравнению с новорожденными, что свидетельствует о нарастании плотности расположения нейронов в составе Кл. Таким образом, у детей 1 года мы наблюдали различия в кластерной организации неокортекса в функционально и топографически разных корковых зонах.

В течение 2-го года жизни Пг продолжала увеличиваться в поле 6ор в 1.3 раза и в поле 37ас в 1.2 раза по сравнению с детьми в возрасте 1 года и составляла 2450.4 ± 77.2 мкм² и 3583.3 ± 147.0 мкм² соответственно. При этом Пнг в поле 6ор не изменялась, а ее величина относительно Пг уменьшалась до $16.5 \pm 0.8\%$,

что свидетельствует о дальнейшем снижении плотности расположения нейронов в составе Кл в этом поле коры. Процесс уменьшения плотности нейронов в группировках, по-видимому, связан с интенсивным нарастанием толщины коры, усложнением фиброархитектоники и увеличением относительного содержания волокнистого компонента в III слое премоторной коры у детей от рождения до 2 лет [5]. В поле 37ас Пнг увеличивалась в течение 2-го года жизни в среднем в 1.2 раза, а относительное содержание Пнг в составе Пг не изменялось по сравнению с 12 мес. и к 2 годам составляло $17.5 \pm 0.6\%$. Это свидетельствует о синхронизации темпов роста размеров нейронных группировок, нейронов в их составе, а также об относительно низких темпах нарастания внутрикоркового волокнистого компонента на раннем этапе постнатального онтогенеза в ассоциативном поле 37ас по сравнению с проекционно-ассоциативным полем 6ор. Интересно, что усложнение внутрикорковых связей интерпретируется как увеличение функциональной значимости корковой формации в системе распределенных нейросетей [12]. Поэтому можно предположить опережающее развитие зоны премоторной коры, контролирующей функцию зрительно-пространственного поиска цели, на которую будут направлены действия субъекта (поле 6ор), по сравнению с корковой зоной, участвующей в фиксации зрительных образов, их цвета, формы и в целом – в дедуктивном анализе визуальной информации, включая информацию о движущихся объектах (поле 37ас). В глазодвигательном поле 8, в отличие от полей 6ор и 37ас, к 2 годам Пг не изменя-

лась и составляла 1622.2 мкм^2 . К этому возрасту размеры Кл в префронтальной коре были в 1.5–2.2 раза меньше по сравнению с другими исследованными полями. Пнг в поле 8 продолжала увеличиваться и к 2 годам достигала $953.3 \pm 46.2 \text{ мкм}^2$, тогда как в поле 6ор она составляла $403.9 \pm 20.1 \text{ мкм}^2$, а в поле 37ас – $628.1 \pm 20.4 \text{ мкм}^2$. В поле 8 к 2 годам Пнг составляла $58.8 \pm 2.8\%$ от Пг. Таким образом, к 2 годам в поле 8 мы наблюдали наиболее мелкие и плотные Кл по сравнению с другими полями. Эта особенность кластерной организации в верхнем этаже коры фронтального глазного поля сохранялась на протяжении всего восходящего онтогенеза [7]. У детей старше 2 лет количественные изменения Кл отличались по срокам и интенсивности в каждом из изученных полей.

В поле 6ор увеличение Пг отмечали к 4–5 и 8 годам в 1.2–1.4 и 1.7 раза соответственно по сравнению с аналогичным показателем двухлетних детей. После 8 лет Пг в поле 6ор стабилизировалась и в 12 лет составляла $4599.9 \pm 183.0 \text{ мкм}^2$. Пнг увеличивалась к 3 и 7 годам в 1.2 и 1.7 раза соответственно по сравнению с годовалыми детьми, после 7 лет не изменялась и в 12 лет составляла $779.5 \pm 49.3 \text{ мкм}^2$. В возрастном промежутке от 3 до 12 лет в поле 6ор плотность расположения нейронов в группировках не изменялась. Таким образом, кластерная организация слоя III в области поля 6ор премоторной коры была практически сформированной к 8–9 годам. К этому возрасту размеры пирамидных нейронов в поле 6ор достигали своей максимальной величины, усложнялись арборизации их апикальных и базальных дендритов, а в верхних слоях коры увеличивалось число горизонтальных и косых волокон [5].

В поле 37ас среднестатистический показатель Пг увеличивался к 8 годам в 1.2 раза по сравнению с 2 годами. Как и в поле 6ор, в поле 37ас височно-теменно-затылочной подобласти после 8 лет возрастные изменения Пг не наблюдались, и к 12 годам Пг составляла $4097.3 \pm 142.6 \text{ мкм}^2$. Интересно, что от рождения до 4 лет Пг в поле 37ас была в 1.5–2.1 раза больше, чем в поле 6ор. К 5 годам эти различия нивелировались, и вплоть до 12 лет различий между Пг во вторичном поле 6ор премоторной коры и третичным полем 37ас задней ассоциативной коры не наблюдалось. В поле 37ас Пнг увеличивалась к 9 годам в 1.3 раза по сравнению с 2 годами, позднее стабилизировалась и к 12 годам составляла $838.0 \pm 36.22 \text{ мкм}^2$. В возрастном промежутке от 3 до 8 лет в поле 37ас, как и в поле 6ор, плотность расположения нейронов в группировках оставалась постоянной, при этом Пнг составляла $16.5 \pm 0.6\%$ от Пг. К 9 годам и на возрастном промежутке от 10 до 12 лет Пнг увеличивалась до $20.5 \pm 0.9\%$, что свидетельст-

вует о нарастании плотности расположения нейронов в группировках.

В поле 8 Пг увеличивалась к 3 и 11 годам соответственно в 1.5 и 2.0 раза по сравнению с 2 годами, демонстрируя наибольший прирост этого показателя по сравнению с остальными полями неокортекса. В 12 лет Пг в префронтальной коре составляла $3272.3 \pm 155.9 \text{ мкм}^2$, что значимо меньше по сравнению с премоторной и задней ассоциативной корой. В поле 8 Пнг нарастала к 5 годам в 1.2 раза по сравнению с 2 годами и позднее, индивидуально варьируя, не изменялась и составляла к 12 годам $1241.1 \pm 96.2 \text{ мкм}^2$. К 3 годам Пнг составляла от величины Пг $38.4 \pm 2.2\%$. Нейронные группировки становились более «рыхлыми», что, вероятно, было обусловлено нарастанием волокнутого компонента в префронтальной коре к 3 годам. К 5 годам доля Пнг от Пг увеличивалась до $46.4 \pm 1.9\%$ в результате роста размеров пирамидных нейронов в составе Кл. После 5 лет в поле 8 наблюдался существенный прирост удельного объема внутрикорковых волокон, особенно выраженный в верхнем этаже коры к 8–11 годам [7]. Вследствие этого к 12 годам Пнг снижалась до $37.9 \pm 1.7\%$ от площади всей группировки.

По нашему мнению, кластерная организация характерна для всех корковых формаций мозга, поэтому была предпринята попытка проследить возрастные изменения площади нейронных кластеров в зернистом слое коры мозжечка (ПгМ). Установлено, что у новорожденных ПгМ в области правой парамедианной доли составляла $18.8 \pm 1.0 \text{ мкм}^2$, в левой – $21.2 \pm 0.87 \text{ мкм}^2$. Значимые приросты ПгМ синхронно справа и слева наблюдались к 1 и 3 годам в 1.5–1.7 раза по сравнению с новорожденными (рис. 3).

После 3 лет мы наблюдали значимый прирост размеров нейронных кластеров зернистого слоя в правой парамедианной доле к 6 годам в 1.2 раза, а в левой – к 5 годам в 1.3 раза по сравнению с 3 годами. После 5–6 лет Пг в парамедианной доле коры мозжечка стабилизировалась и составляла справа $58.0 \pm 3.0 \text{ мкм}^2$, слева – $57.9 \pm 2.2 \text{ мкм}^2$. Увеличение ПгМ совпадало со сроками постнатального прироста площади профильных полей грушевидных нейронов [14], на дендритные арборизации которых проецируются коллатерали аксонов зерновидных нейронов коры мозжечка, что является интересным фактом для понимания интеграционных процессов и взаимовлияния микроструктур в системе внутрикорковых взаимоотношений в развивающемся мозжечке.

Заключение

В рамках концепции кластерной (ансамблевой) организации неокортекса в

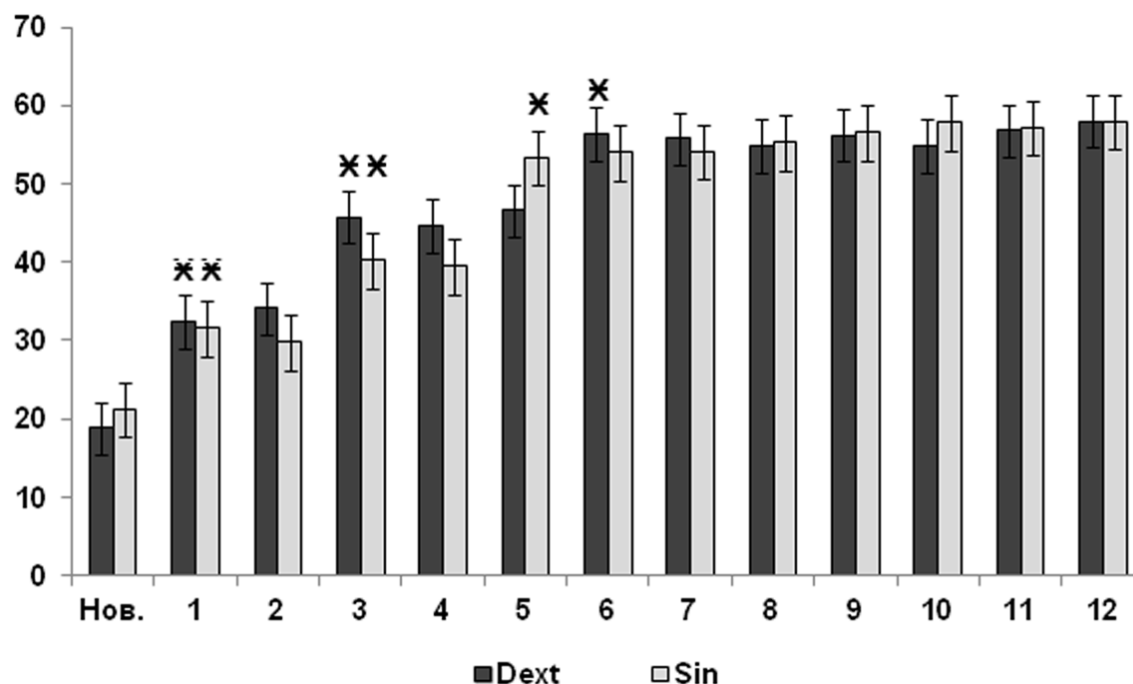


Рис. 3. Изменение площади нейронных кластеров в зернистом слое коры парамедианной доли (H VII B) мозжечка человека от рождения до 12 лет.

качестве функциональной единицы для реализации или освоения конкретного алгоритма мозговой деятельности рассматривается нейронная группировка в составе внутрикорковых минимодулей [9]. Как показали результаты исследования, изучение внутрикорковых локальных нейронных кластеров позволяет расширить возможности количественного анализа возрастных структурных преобразований корковых формаций мозга человека. Данные об изменениях коры большого мозга и коры мозжечка у детей, полученные в результате анализа возрастной динамики таких параметров, как площадь профильного поля нейронной группировки на срезе и суммарная площадь нейронов, входящих в группировку, согласуются с имеющимися в научной литературе данными о динамике роста и дифференцировки пирамидных и грушевидных нейронов, об изменениях нейро- и фиброархитектоники, а также изменениях соотношения нейронального и волокнистого компонентов коры человека в постнатальном онтогенезе.

Количественные показатели кластерной организации различных зон коры большого мозга и мозжечка детей, изученные в годовых интервалах, являются достаточно информативными для выявления этапов наиболее значимых возрастных изменений. В постнатальной динамике развития неокортекса у детей на возрастном промежутке от рождения до 12 лет можно выделить 4 этапа структурных преобразований нейронных группировок наружной пирамидной пластинки: I – от рождения до конца 1-го года жизни, II – от 1-го до конца 2-го года, III – от 3 до 5–6 лет, IV – от

5–6 до 8–9 лет. В коре мозжечка значимые изменения в структуре нейронных кластеров отмечаются к концу 1-го года жизни, к 3 и к 5–6 годам. Временные границы выявленных этапов постнатальных преобразований нейронных группировок в целом совпадают с границами возрастных периодов в соответствии с возрастной периодизацией постнатального морфофункционального развития детей (АПН СССР, 1965), наиболее адекватно отражающей этапы постнатального развития организма человека и широко применяемой в отечественной возрастной морфологии. Анализ полученных результатов свидетельствует об информативности используемых в настоящем исследовании количественных показателей, что, возможно, позволит применять их не только для изучения возрастных изменений микроструктуры корковых формаций мозга человека, но и в сравнительно-анатомических и клинических исследованиях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. М.: Медицина, 1990. 384 [Avtandilov GG. Meditsinskaya morfometriya. Moscow: Meditsina, 1990. 384] (in Russian).
2. Ланг Т.А., Сесик М. Как описывать статистику в медицине / Пер. англ. под ред. В.П.Леонова. М.: Практическая медицина, 2016. 480 [Lang TA, Sesik M. Kak opisyyvat' statistiku v meditsine / Trans. from Eng., ed. V.P. Leonov. Moscow:

- Prakticheskaya meditsina, 2016. 480] (in Russian).
3. Саркисов С.А., Филимонов И.Н., Кононова Е.П., Преображенская И.С. и др. Атлас цитоархитектоники коры большого мозга человека. М.: Медгиз, 1955. 280 [Sarkisov SA, Filimonov IN, Kononova EP, Preobrazhenskaya IS. i dr. Atlas tsitoarkhitektoniki kory bol'shogo mozga cheloveka. Moscow: Medgiz, 1955. 280] (in Russian).
 4. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука, 1991. 134 [Smirnov BM. Fizika fraktal'nykh klasterov. Moscow: Nauka, 1991. 134] (in Russian).
 5. Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Обухов Д.К., Шумейко Н.С. Строение и развитие коры большого мозга. М.: Спутник Плюс, 2019. 538 [Tsekhmistrenko TA, Vasil'eva VA, Obukhov DK, Shumeiko NS. Stroenie i razvitie kory bol'shogo mozga. Moscow: Sputnik Plyus, 2019. 538] (in Russian).
 6. Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Шумейко Н.С. Особенности модульной нейроархитектоники коры большого мозга человека от рождения до 7 лет. Естественные и технические науки. 2015; 6(84): 188–193 [Tsekhmistrenko TA, Vasil'eva VA, Shumeiko NS. Features modular neuroarchitecture of the cerebral cortex from birth to 7 years. Natural and technical sciences. 2015; 6(84): 188–93] (in Russian).
 7. Цехмистренко Т.А., Никитюк Д.Б., Обухов Д.К. Структурные преобразования префронтальной коры человека в постнатальном онтогенезе. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. 15(1):8–13 [Tsekhmistrenko TA, Nikitjuk DB, Obukhov DK. Structural transformations of the human prefrontal cortex in postnatal ontogenesis. System Analysis and Management in Biomedical Systems. 2016. 15(1):8–13] (in Russian).
 8. Янюшкин В.В. Кластеры распределенной системы тренажерно-моделирующего комплекса в задаче агрегации фракталов. Программные продукты и системы. 2010; 1:46–52 [Yanyushkin VV. Klastery raspredelennoi sistemy trenazhernomodeliruyushchego kompleksa v zadache agregatsii fraktalov. Programmye Produkty I Sistemy. 2010; 1:46–52] (in Russian).
 9. Casanova MF, Casanova EL. The modular organization of the cerebral cortex: Evolutionary significance and possible links to neurodevelopmental conditions. Journal of Comparative Neurology. 2018 Nov 15;527(10):1720–30. doi: 10.1002/cne.24554.
 10. Herculano-Houzel S, Catania K, Manger PR, Kaas JH. Mammalian Brains Are Made of These: A Dataset of the Numbers and Densities of Neuronal and Nonneuronal Cells in the Brain of Glires, Primates, Scandentia, Eulipotyphlans, Afrotherians and Artiodactyls, and Their Relationship with Body Mass. Brain, Behavior and Evolution. 2015;86(3–4):145–63. doi: 10.1159/000437413
 11. Reimann MW, Nolte M, Scolamiero M, Turner K, Perin R, Chindemi G, et al. Cliques of Neurons Bound into Cavities Provide a Missing Link between Structure and Function. Frontiers in Computational Neuroscience. 2017 Jun 12;11. doi: 10.3389/fncom.2017.00048
 12. Sporns O, Chilavo DR, Kaiser M, Hilgetag CC. Organization, development and function of complex brain networks. Trends in Cognitive Sciences. 2004 Sep;8(9):418–25. doi: 10.1016/j.tics.2004.07.008
 13. Stoodley CJ, Schmahmann JD. Functional topography of the human cerebellum. The Cerebellum: From Embryology to Diagnostic Investigations. 2018;59–70. doi: 10.1016/b978-0-444-63956-1.00004-7
 14. Tsekhmistrenko TA. Quantitative changes in human cerebellar pyriform neurons from birth to the age of 20 years. Neuroscience and Behavioral Physiology. 1999 Jul;29(4):405–9. doi: 10.1007/BF02461076
 15. Walter GF. Can we see the living brain? A review on in vivo visualization of the brain. International Neuroscience Journal. 2018 Jun 2;2(1):8–15. doi: 10.1515/inj-2017-0002

Поступила в редакцию 22.08.2019

Принята в печать 30.11.2019

Received 22.08.2019

Accepted 30.11.2019

Для цитирования: Цехмистренко Т.А., Обухов Д.К., Васильева В.А., Мазлоев А.Б., Шумейко Н.С. Структурные возрастные преобразования нейронных группировок коры большого мозга и мозжечка у детей. Журнал анатомии и гистопатологии. 2019; 8(4): 42–48. doi: 10.18499/2225-7357-2019-8-4-42-48

For citation: Tsekhmistrenko T.A., Obukhov D.K., Vasil'eva V.A., Mazloev A.B., Shumeiko N.S. Structural transformations in neural clusters of the cerebral and cerebellar cortex in children. Journal of Anatomy and Histopathology. 2019; 8(4): 42–48. doi: 10.18499/2225-7357-2019-8-4-42-48