АРХИТЕКТОНИКА НЕЙРОННЫХ АНСАМБЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ И ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТЯХ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ ОТ 8 ДО 12 ЛЕТ

© *Валентина А. Васильева¹, Людмила А. Павлычева², Нина С. Шумейко¹*

¹ФГБНУ «Институт возрастной физиологии» РАО. 119121, Москва, Погодинская ул., 8, кор. 2,

²ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма», г. Москва, Сиреневый бульвар, 4.

Контактная информация: Васильева Валентина Андреевна — старший научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности, канд. биол. наук. E-mail: vavasileva@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Статья посвящена изучению структурной организации нейронных ансамблей в двигательной и зрительной областях коры большого мозга (26 наблюдений) у детей от 8 до 12 лет методом компьютерной морфометрии. Изучены основные качественные (форма гнездных группировок, композиция и состав входящих в группировки пирамидных нейронов) и количественные показатели: ширина, высота, площадь профильного поля (ППП) группировок нейронов III и IV слоев полей 4р, 6, 6ор двигательной коры и полей 17, 19 зрительной коры. Измерения производили, используя систему интерактивного анализа изображений «Armgestol» (Лаб-метод) на базе микроскопа Nikon Eclipse E-200 и цветной видеокамеры CCD-camera. Показано, что размеры, количество, типы и композиция нейронов в составе гнездных группировок различны в разных полях коры большого мозга. По данным компьютерной морфометрии значимое увеличение площади профильных полей нейронных группировок происходит в поле 6ор к 8 и 10 годам, в полях 4р и 6 — к 9 годам, в поле 17 — к 10 и 12 годам, в поле 19 — к 8 и 12 годам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кора большого мозга, нейрон, клеточные группировки, ансамбли, компьютерный анализ

ARCHITECTONICS OF NEURAL ENSEMBLES IN THE MOTOR AND VISUAL REGIONS OF THE CEREBRAL CORTEX IN CHILDREN FROM 8 TO 12 YEARS OLD

© *Valentina A. Vasilyeva¹, Ludmila A. Pavlycheva², Nina S. Shumeyko¹*

Federal State “Institute of Age Physiology”, RAEI. 119121, Moscow, Pogodinskaya str., 8, cor. 2; Federal State University of physical culture, sports, youth and tourism, Moscow.

Contact information: Valentina A.Vasilyeva — senior researcher at the laboratory of neurophysiology of cognitive activity, PhD. Biol. sciences. E-mail: vasilyeva@mail.ru

ABSTRACT: The article is devoted to the study of the structural organization of neural ensembles in the motor and visual regions of the cerebral cortex (26 observations) in children from 8 to 12 years old with the method of computer morphometry. The basic quality (form of nesting groups, the composition and the composition of its constituent groupings of pyramidal neurons) and quantitative parameters: width, height, area of the profile fields (APF) groups of neurons of III and IV layers of the fields 4p, 6, 6op of the motor cortex and fields 17, 19 of the visual cortex. Measurements were made using the “Armistol” interactive image analysis system (Labmetod) based on the Nikon Eclipse E-200 microscope and the CCD-camera color video camera. It is shown that the size, number, type and composition of neurons in nesting groups are different in different fields of the cerebral cortex. According to computer morphometry, a significant increase in the area of the pro-

file fields of neural groupings occurs in the field 6p to 8 and 10 years, in the fields 4p and 6 — to 9 years, in the field 17 — to 10 and 12 years, in the field 19 — to 8 and 12 years.

KEY WORDS: cerebral cortex, neuron, cell groups, ensembles, computer analysis.

В соответствии с современными представлениями о морфофункциональной организации высших корковых формаций большого мозга в ее основе лежит модульный принцип построения распределенных нейрональных сетей [7, 1, 4, 8]. Важными структурными компонентами модулей являются локальные скопления нейронов разного типа в ансамблеобразующих слоях коры (клеточные группировки, микроансамбли, кластеры) [5]. Однако данные о структурных преобразованиях архитектоники нейронных ансамблей в двигательной и зрительной областях коры большого мозга человека в детском и подростковом возрастах малочисленны. Задачей нашей работы было изучение возрастных особенностей ансамблевой организации в двигательной и зрительной областях коры большого мозга у детей от 8 до 12 лет методом компьютерной морфометрии. Учитывая гетерохронное созревание различных полей, мы анализировали развитие коры мозга в годовых интервалах. Материалом послужили полушария головного мозга детей от 8 до 12 лет (26 наблюдений). Из залитых в парафин блоков на микротоме делались срезы толщиной 10 микрон (с каждого блока по 8–10 стекол с 3–4 срезами на каждом), которые окрашивались крезоловым фиолетовым по Нисслю. Часть препаратов импрегнировалась по Гольджи с последующей заливкой в целлоидин. Изучены основные качественные (форма гнездных группировок, композиция и состав входящих в группировки пирамидных нейронов) и количественные показатели: ширина, высота, площадь профильного поля (ППП) группировок нейронов III и IV слоев. Измерения производили, используя систему интерактивного анализа изображений «Armgestol» (Лаб-метод) на базе микроскопа Nikon Eclipse E-200 и цветной видеокамеры CCD-camera. Обработка количественных данных проводилась методами вариационной статистики.

Двигательная область коры характеризуется четкой колончатой организацией. Группировки нейронов имеют разнообразные размеры и взаиморасположение в них клеток в разных полях и слоях коры. Форма группировок зависит от пространственного расположения входящих в их состав нейронов, количество которых также варьирует. В поле 4p в коре

большого мозга детей до 7 лет вертикальная упорядоченность клеток лучше выражена в нижних слоях коры, а после 8 лет — во всех слоях [6]. В период от 8 до 12 лет изменяется ширина колонок и упорядоченность нейронов в колонках.

В 8 лет в поле 4p средняя площадь профильных полей (ППП) клеточных группировок составляет $3563,73 \pm 80,2$ мкм², ширина — $44,58 \pm 1,12$ мкм, высота — $79,94 \pm 1,76$ мкм. До 9–10 лет нет существенных изменений в композиции и размерах пирамидных нейронов в компактных гнездных группировках, имеющих преимущественно округлую, грушевидную, реже овальную форму и образованных 5–8 малыми и средними пирамидными нейронами. Средняя ППП группировок в III подслое поля 4p коры большого мозга детей 10 лет составляет $3801,06 \pm 97,56$ мкм². В состав клеточных группировок входят, как правило, нейроны размером от 50 до 125 мкм в количестве 5–8. Гнездные группировки становятся более компактными. К 12 годам немного увеличивается высота нейронных группировок, а остальные параметры почти не изменяются.

В поле 6 вертикальная упорядоченность клеток выражена лучше, чем в поле 4p, вероятно, отчасти из-за меньших размеров нейронов. Группировки нейронов по своей конфигурации в III подслое значительно отличаются от таковых в полях 4p и 6p. За период от 8 до 12 лет ширина группировок значительно увеличивается от 8 лет ($44,50 \pm 1,00$ мкм) к 11 годам ($54,8 \pm 1,46$ мкм), высота группировок — от 8 ($83,40 \pm 1,50$ мкм) до 10 лет ($87,20 \pm 1,38$ мкм), а средняя ППП группировок — от 8 ($3711,30 \pm 107,52$ мкм²) к 9 годам ($4262,12 \pm 86,94$ мкм²), оставаясь до 12 лет на том же уровне. К 12 годам наблюдается некоторое разрежение структуры коры.

В поле 6p в период от 8 до 12 лет выявляется более четкая упорядоченность коры и наибольшее разнообразие клеточных группировок в ансамблеобразующих III и V слоях. В III подслое чаще встречаются гнездные группировки из 6–10 довольно крупных пирамидных нейронов с длинными апикальными дендритами, сходящимися в пучки, но есть и типичные лестничные группировки. Ширина нейронных группировок достоверно

увеличивается от $49,94 \pm 1,68$ мкм в 8 лет до $52,48 \pm 1,39$ мкм в 9 лет, достигая максимума ($56,72 \pm 1,71$ мкм) в 11 лет. Высота нейронных группировок колеблется на протяжении всего изучаемого периода, а средние ППП группировок почти не изменяются и составляют $4599,88 \pm 96,12$ мкм² в 12 лет. Вертикальные взаимосвязи в клеточных колонках в полях двигательной коры в период от 8 до 12 лет усложняются благодаря развитию апикальных дендритов, эфферентных аксонов и афферентных волокон.

В центральном поле 17 зрительной коры колончатая организация нейронов выявляется в IV, V и VI слоях. В IVc подслое и VI слое определяются вертикальные колонки, в IVa подслое — преимущественно группировки лестничного типа, в IVb подслое — редкие гнездовые группировки. Как показали полученные нами ранее данные, наиболее значительный рост группировок нейронов в поле 17 отмечается к 1 году (в 1,6 раза), 3 годам (в 2 раза) и 5 годам [3].

К 8 годам жизни площадь профильных полей (ППП) группировок нейронов в IVb подслое поля 17 изменяется незначительно и составляет $1156,75 \pm 45,14$ мкм². В поле 17 встречаются как лестничные, так и гнездовые группировки. Последние чаще образованы однотипными (пирамидными) нейронами, но встречаются и смешанные группировки, в состав которых входят звёздчатые и пирамидные нейроны. Звёздчатые нейроны в основном расположены на периферии группировки. В составе группировок определяется от 3 до 6 клеток. Форма группировок разнообразна, часто клетки располагаются по кругу в виде розетки, придавая группировке округлую форму. Некоторые группировки образованы 3–4 пирамидными нейронами одинакового размера в виде цепочки. К 10 годам в IVb подслое поля 17 достоверно увеличиваются размеры группировок нейронов преимущественно за счет высоты ($39,9 \pm 1,08$ мкм) и в среднем составляют $1279,76 \pm 44,23$ мкм². ППП группировок нейронов значимо увеличивается к 12 годам до $1521,61 \pm 49,10$ мкм² как за счет ширины, так и высоты группировок. В этом возрасте в составе группировок более часто определяются звездчатые нейроны крупных размеров. Звездчатые нейроны обеспечивают тонкий специализированный анализ стимулов. Также к 12 годам отмечается увеличение размеров пирамидных нейронов.

В поле 19 затылочной области коры по сравнению с полем 17 колончатая организа-

ция нейронов выражена более четко, особенно в III подслое. С возрастом растет разнообразие форм группировок: цепочечные, лестничные, гнездовые. Последние чаще имеют округлую форму или форму усеченных пирамид. Интенсивность роста размеров группировок нейронов наиболее значительна в первые три года постнатальной жизни. По данным компьютерной морфометрии достоверное увеличение площади профильных полей нейронных группировок в поле 19 отмечается к 1 году (в 2,6 раза), 3 годам (в 3,4 раза), 4 и 6 годам.

К 8 годам в поле 19 в составе гнездовых группировок определяется от 4 до 9 нейронов, увеличиваются размеры пирамидных нейронов, а также ППП группировок нейронов в основном за счет их высоты ($89,8 \pm 2,50$ мкм) и в среднем составляет $4939,52 \pm 217,36$ мкм². К 9 годам ППП группировок нейронов существенно не изменяется, но с 9 лет более часто выявляются гнездовые образования нейронов, нарастает их многообразие как по формам (овальные, круглые, усеченные пирамиды), так и по клеточному составу. Большая часть группировок состоит из одного крупного пирамидного нейрона, расположенного у основания группировки, 5–6 средних и 1–2 малых пирамидных нейронов. Некоторые группировки образованы тремя крупными нейронами, тремя средними и двумя малыми нейронами. В смешанных группировках помимо пирамидных нейронов определяются 1–2 звездчатых, расположенных в центре группировки или на её периферии. К 10 годам уменьшается ППП группировок нейронов до $4616,28 \pm 235,72$ мкм², что, по-видимому, обусловлено более плотным расположением нейронов в группировках и увеличением ширины радиарных пучков волокон, отделяющих группировки друг от друга. В III подслое поля 19 коры ребенка 10 лет мы наблюдали группировку пирамидных нейронов, расположенных цепочкой вдоль сосуда. К 12 годам отмечается достоверное увеличение площади группировок до $5156,71 \pm 165,03$ мкм² в основном за счет их высоты. В этом возрасте также отмечается увеличение размеров пирамидных нейронов, сопровождающееся усложнением ветвлений базальных дендритов и усложнением связей по горизонтали в III подслое поля 19. Одним из существенных факторов объединения пирамидных нейронов в группировки являются вертикально ориентированные пучки апикальных дендритов. Дендритный пучок представляет собой ми-

кросистему, предназначенную для синхронной работы вертикально организованного объединения нейронов [2, 4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в период от 8 до 12 лет в двигательной и зрительной областях коры большого мозга отмечается усложнение ансамблевой организации, обусловленное увеличением размеров нейронов и площади профильных полей нейронных группировок, развитием вертикальных внутриансамблевых связей и усложнением горизонтальных межансамблевых связей. Размеры, количество, типы и композиция нейронов в составе гнездных группировок различны в разных полях коры большого мозга. По данным компьютерной морфометрии значимое увеличение площади профильных полей нейронных группировок происходит в поле бор к 8 и 10 годам, в полях 4р и 6 — к 9 годам, в поле 17 — к 10 и 12 годам, в поле 19 — к 8 и 12 годам. Структурные преобразования нейронных ансамблей осуществляются в различных полях коры по единому принципу, но в разные сроки, с разным количественным и качественным представительством каждого из структурных компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабминдра В.П., Брагина Т.А., Ионов И.П., Нуртдинов Н.Р. Структура и модели нейронных комплексов головного мозга. Л.: Наука, 1988. 96 с.
2. Батуев А.С., Куликов Г.А. Введение в физиологию сенсорных систем. Высшая школа. 1983. 247 с.
3. Васильева В.А. Возрастные особенности ансамблевой организации зрительной и задней ассоциативной областей коры большого мозга у детей от рождения до 7 лет. Матер. междунар. конф. «Физиология развития человека». М., 2009. С. 18–19.
4. Краснощёкова Е.И., Зыкин П.А., Ткаченко Л.А., Самарина А.С. Гистохимическое, цитоархитектоническое, морфометрическое исследование модульной организации неокортекса и верхнего двухолмия мозга млекопитающих. Колосовские чтения — 2002: IV Междунар. конф. по функциональной нейроморфологии. СПб, 2002. С. 147–148.
5. 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). С. 188–193.

6. Шумейко Н.С. Особенности нейронных группировок в двигательной коре большого мозга у детей от рождения до 7 лет. Матер. междунар. конф. «Физиология развития человека». М., 2009. С. 119–120.
7. Маунткэстл В. (V.B. Mountcastle) Организующий принцип функции мозга — элементарный модуль и распределенная система. Разумный мозг. М.: Мир, 1981. С. 15–67.
8. Sepulcre J. Liu H., Talukdar T., Martincorena I., Thomas Yeo B.T., Buckner R.L. The Organization of Local and Distant Functional Connectivity in the Human Brain. PLoS Computational Biology. 2010. Vol. 6. Issue 6. e10000808 — P. 1–15.

REFERENCES

1. Babmindra V.P., Bragina T.A., Ionov I.P., Nurtdinov N.R. Structure and models of neural complexes in the brain. L.: Nauka, 1988. 96 p.
2. Batuev A.S., Kulikov G.A. Introduction to the physiology of sensory systems. Higher school. 1983. 247 p.
3. Vasilieva V.A. Age-related features of the ensemble organization of the visual and posterior associative regions of the cerebral cortex in children from birth to 7 years.. Mater. international. conf. "Physiology of human development". Moscow, 2009. P. 18–19.
4. Krasnoshchekova E.I., Zykin P.A., Tkachenko L.A., Samarina A.S. Histochemical, cytoarchitectonic, morphometric study of the modular organization of the neocortex and the upper two-lobe of the mammalian brain. Kolosov readings. 2002: IV International conf. in functional neuromorphology. St. Petersburg, 2002. P. 147–148.
5. Tsekhmistrenko T.A., Vasilyeva V.A., Shumeyko N.S. Features of modular neuroarchitectonics of the human cerebral cortex from birth to 7 years. Natural and technical Sciences. 2015. No. 6 (84). P. 188–193.
6. Shumeyko N.S. Features of neural groupings in the motor cortex of the large brain in children from birth to 7 years.. Mater. International. conf. "Physiology of human development". Moscow, 2009. P. 119–120.
7. Mountcastle V. (V.B. Mountcastle) Organizing principle of brain function — elementary module and distributed system. Intelligent brain. Moscow: Mir, 1981. P. 15–67.
8. Sepulcre J. Liu H., Talukdar T., Martincorena I., Thomas Yeo B.T., Buckner R.L. The Organization of Local and Distant Functional Connectivity in the Human Brain. PLoS Computational Biology. 2010. Vol. 6. Issue 6. e10000808 — P. 1–15.