

Изменения толщины коры и слоев в задней доле мозжечка человека в постнатальном онтогенезе

Т. А. Цехмистренко¹, С. В. Ключкова², А. Б. Мазлоев¹,

Д. Б. Никитюк^{2, 3}, Д. К. Обухов⁴

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

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии», Москва, Россия

⁴ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования – изучение возрастных изменений толщины коры и ее слоев в задней доле мозжечка у детей.

Материал и методы. Работа выполнена на постмортальном материале (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 методу Ниссля фронтальных гистологических срезах коры взятой в области правой и левой задних четырехугольных долек (H VI) на вершине листов мозжечка, измеряли толщину коры и толщину ее молекулярного и зернистого слоев. Анализ количественных данных проводили в годовых интервалах.

Результаты. В задней доле мозжечка увеличение толщины коры в левом полушарии происходит в два этапа: от рождения до 1 года и далее к 2 годам, в правом полушарии – в три этапа: от рождения до 1 года, а также к 2 и 7 годам. Правосторонняя асимметрия толщины коры мозжечка отмечается у новорожденных и детей 7 лет, толщины зернистого слоя – у новорожденных и детей 9 лет. Левосторонняя асимметрия характерна только для толщины коры и ее молекулярного слоя у детей 12 мес.

Заключение. Толщина коры мозжечка и ее слоев в области дольки H VI увеличивается на протяжении раннего детства, а в правом полушарии – также и на протяжении первого детства. Уменьшение поперечника коры и слоев в задней доле мозжечка детей от рождения до 12 лет не обнаружено.

Ключевые слова: толщина коры мозжечка, молекулярный и зернистый слои, задняя четырехугольная долька (H VI), онтогенез, морфометрия.

© Т. А. Tsekhmistrenko¹, S. V. Klochkova², A. B. Mazloev¹, D. B. Nikityuk^{2, 3}, D. K. Obukhov⁴, 2018

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

²First I.M. Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

³The Federal Research Centre of Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

⁴St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Changes in thickness of cortex and its layers in the posterior lobe of the cerebellum in postnatal ontogenesis

Objective – the study of age-related changes in the thickness of the cortex and its layers in the posterior lobe of the cerebellum of children.

Material and methods. The work is performed on postmortem material (62 cerebellum), obtained from children aged from birth to 12 years who died as a result of injuries without brain damage. Using computer morphometry on the painted method Nissle frontal histological sections of cortex, taken in region right and left posterior quadrangular lobules (H VI) on top of the folia of cerebellum, was measured the cortical thickness and the thickness of molecular and granular layers. Analysis of quantitative data was performed at annual intervals.

Results. The posterior lobe of the cerebellum the increase in the thickness of the cortex in the left hemisphere occurs in two stages: from birth to 1 year and then to 2 years, in the right hemisphere in three stages: from birth to 1 year, and 2 and 7 years. Right-sided asymmetry of the thickness of the cerebellar cortex observed in infants and children 7 years of age, thickness of granular layer in infants and children 9 years. Left-hand asymmetry is specific to cortical thickness and its molecular layer in children 12 months.

Conclusion. The thickness of the cerebellar cortex and its layers in the area of the lobule H VI increases during early childhood, and in the right hemisphere also during the first childhood. Reducing the diameter of the cortex and layer in the posterior lobe of the cerebellum of children from birth to 12 years of age are not detected.

Key words: thickness of the cerebellar cortex, molecular and granular layers, the posterior quadrangular lobule (H VI), ontogeny, morphometry.

Введение

Развитие методик прижизненной визуализации мозга позволило существенно продвинуться в изучении особенностей возрастных изменений толщины корковых формаций мозга человека на различных этапах онтогенеза с учетом морфофункциональных

особенностей обследуемого контингента людей [7–8].

Существуют многочисленные данные, свидетельствующие о том, что в постнатальном онтогенезе наблюдается постепенное уменьшение толщины коры (ТК) в различных областях неокортекса больших полушарий, особенно заметное уже у детей 3 лет и старше,

и продолжающееся с разной степенью выраженности и в последующие годы жизни [3]. Динамика возрастных изменений коры мозжечка изучена гораздо хуже, отдельные данные приведены в редких публикациях [15]. В частности, была обнаружена тенденция к увеличению ТК мозжечка вплоть до начала пубертатного периода [2, 14]. Между тем, ТК является важным интегративным показателем морфофункциональных особенностей экранных структур мозга на разных этапах возрастного развития в норме и при различных нарушениях мозговой деятельности [18].

Известно, что функциональная роль мозжечка не ограничивается управлением координацией движений. Кора мозжечка – важный компонент распределенных нейросетей, контролирующих обмен веществ и терморегуляцию, состояния «сон–бодрствование» и многие когнитивные функции мозга [13]. Однако вопрос о том, происходит ли уменьшение ТК мозжечка с возрастом, как это наблюдается в различных отделах коры большого мозга, остается малоизученным. Актуальной является проблема получения объективных данных о сроках и темпах постнатальных структурных преобразований, протекающих в коре мозжечка, а также об этапах роста и асимметрии показателей поперечника коры и слоев в его правом и левом полушариях. Особый интерес представляют данные о доле Н VI задней доли мозжечка, имеющей отношение к управлению бимануальной координацией [5], оптимизации функциональной активности коры большого мозга [17]. Она также специфически участвует в планировании произвольных движений и функциональной подготовке к их выполнению [4].

Целью настоящего исследования было изучение возрастных изменений ТК и ее слоев в задней доле мозжечка у детей, в том числе асимметрии показателей развития коры в ее правом и левом полушариях.

Материал и методы исследования

Материалом исследования послужили мозжечки детей мужского пола (62 наблюдения) в возрасте от рождения до 12 лет, погибших в результате несчастных случаев без повреждений головного мозга. Секционный материал был собран в судебно-медицинских моргах отделов № 2 и 4 ГБУЗ МО «Бюро СМЭ», а также в прозектурах Морозовской детской городской клинической больницы и Городской детской клинической больницы №13 имени Н.Ф.Филатова Департамента здравоохранения г. Москвы. Сбор материала разрешен этической комиссией Института возрастной физиологии РАО, решение № 4 от 15 февраля 1996 года. Материал сгруппирован по годам с 3–6 наблюдениями в возрастной группе. После фиксации в 10% нейтральном

формалине кусочки ткани вырезали в симметричных латеральных участках правого и левого полушарий мозжечка в области задней четырехугольной доли (Н VI), обезвоживали в спиртах восходящей концентрации и заливали в парафин. С каждого кусочка изготавливали фронтальные серийные срезы толщиной 10 мкм, из которых 4–5 штук произвольно отбирались для исследования. Применяли компьютерную визуализацию гистологических срезов, окрашенных крезильовым фиолетовым по Нисслю по стандартной методике, для чего использовали технологию Image Tools (National Institutes of Health, USA) и программу геометрических измерений микрообъектов ImageExpert™ Gauge (NEXSYS, Россия) на отечественном микроскопе Биолам-15 ЛОМО® с встроенной USB камерой UCMOS01300KPA (Altami, Россия). Измерения толщины коры (ТК), толщины молекулярного и зернистого слоев проводили в промежутках между нейронами Пуркинье ганглионарного слоя на вершине мозжечкового листка из расчета 10 измерений по каждому параметру на один срез, 40–50 измерений справа и столько же слева на один мозжечок. При оценке возрастных изменений ТК и ее слоев применялся метод сглаживания эмпирических рядов для получения аппроксимирующей кривой полиномиальной функции с удовлетворительным уровнем величины достоверности аппроксимации ($0.8 < R^2 < 0.95$). Статистический анализ полученных количественных данных проводили, вычисляя среднегрупповые величины изучаемых параметров и стандартные ошибки средних, при этом проверяли соблюдение нормальности распределения величин в сравниваемых выборках, анализировали распределение вероятностей количественных признаков [1]. Значимость различий определяли с применением двухвыборочного непараметрического t-критерия Стьюдента при $P \geq 95\%$.

Результаты и их обсуждение

В результате изучения установлено, что у новорожденных детей в области задней четырехугольной доли мозжечка обнаруживаются значимые различия в ТК в правом и левом полушариях. Ее величина в правой доле Н VI составляет в среднем 295.1 ± 10.8 мкм, что в 1.2 раза больше, чем в левой доле, поперечник коры в которой составляет только 244.1 ± 11.2 мкм. Наличие асимметрии у новорожденных по такому макроскопическому показателю, как ТК, интересно в связи с полученными недавно данными о преобладании правосторонней асимметрии в различных отделах головного мозга здоровых новорожденных по показателям уровня метаболизма глюкозы [12]. Кроме того, известно, что в функциональном отношении правая и левая задние четырехугольные доли прояв-

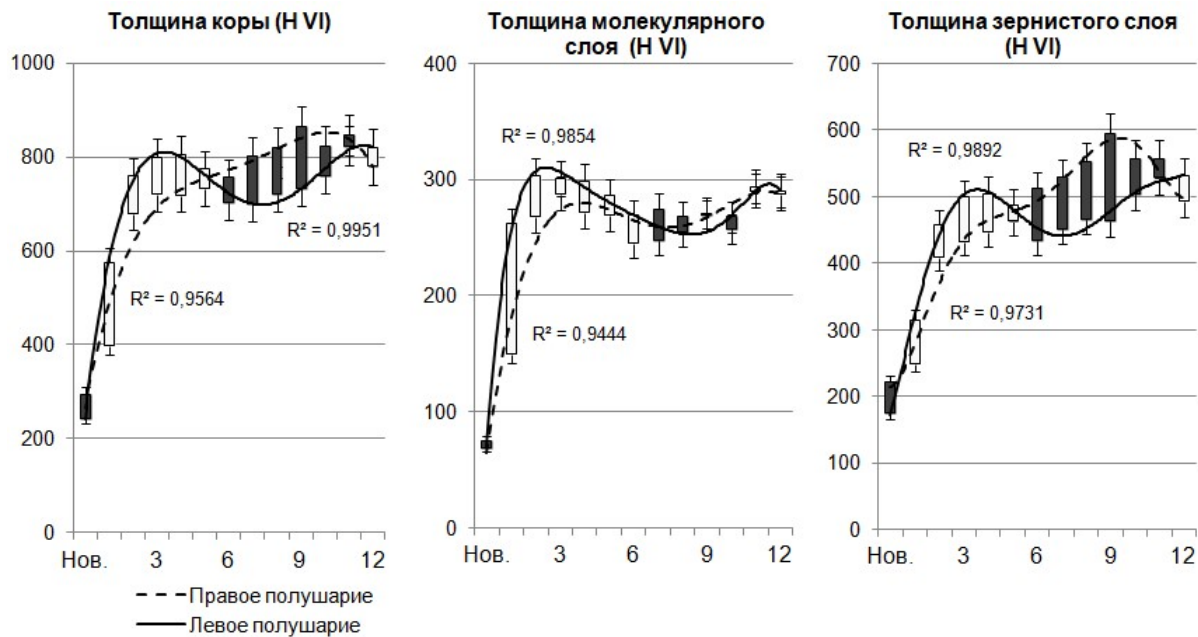


Рис. Изменение толщины коры и ее слоев в задней четырехугольной доле мозжечка у детей от рождения до 12 лет. Обозначения: по оси абсцисс – возраст в годах, нов. – новорожденные; по оси ординат – толщина коры и слоев в мкм. Линии – аппроксимирующие кривые полиномиальной функции, R^2 – уровень значимости аппроксимации, белые столбики – увеличение параметров левого полушария относительно правого, черные столбики – увеличение параметров правого полушария относительно левого, вертикальные отрезки – величина ошибки средней величины.

ляют функциональную асимметрию, проявляя доминирующую активность при различных регуляторных процессах с участием мозжечка [16]. Интересно также и то, что правое полушарие мозжечка контролируется левым большим полушарием, при этом у новорожденных обнаруживается левосторонняя асимметрия толщины коры в медиальной префронтальной коре, коре парацентральной доли и коре передней зоны поясной извилины, с которыми у правого полушария мозжечка существует тесная морфофункциональная связь, безусловно оказывающая влияние на темпы роста и формирования коры мозжечка [10].

По нашим данным, в постнатальном онтогенезе у детей ТК в задней доле мозжечка последовательно увеличивается, при этом этапы роста сменяются возрастными промежутками, когда видимых изменений толщины коры не происходит.

Увеличение ТК на вершине мозжечкового листка в области доли Н VI происходит в правом полушарии мозжечка в три этапа: от рождения до 1 года, к 2 и 7 годам. В левом полушарии значимые количественные изменения поперечника коры наблюдаются в два этапа: от рождения к концу первого года жизни, а также к 2 годам. При этом темпы роста ТК в задней четырехугольной доле в области правого и левого полушарий мозжечка неодинаковы. В течение первого года жизни ТК справа увеличивается в 1.3 раза по сравнению с новорожденными, тогда как в левом полушарии – в 2.4 раза. Опережающие темпы роста ТК в левом полушарии приводят к тому,

что к концу первого года жизни поперечник коры в левой задней четырехугольной доле становится больше, чем в правой в 1.4 раза. Увеличение ТК мозжечка в левой доле Н VI продолжается до 2 лет, достигая к этому возрасту в среднем 759.36 ± 32.24 мкм – величины, характерной для коры мозжечка взрослого (рис.).

Увеличение ТК в правой задней четырехугольной доле, хотя и более низкими темпами, чем в левой, продолжается до 7 лет.

К этому возрасту ТК мозжечка справа составляла в среднем 803.7 ± 24.0 мкм и во всех индивидуальных наблюдениях была в 1.1 раза больше, чем слева. После 7 лет темпы роста коры мозжечка в толщину в правой задней четырехугольной доле замедляются, межполушарные различия стираются. К 12 годам ТК в правом полушарии исследованной доли мозжечка составляет 780.5 ± 42.8 мкм, в левом полушарии – 820.9 ± 44.5 мкм. Таким образом, ТК в задней четырехугольной доле правого и левого полушарий мозжечка детей увеличивается не только гетерохронно, но и гетеродинамически, при этом ее нарастание в правом полушарии происходит продолжительнее по срокам в сравнении с левым полушарием.

Возрастные изменения ТК мозжечка связаны со структурными преобразованиями составляющих ее слоев. Изучение толщины молекулярного слоя показало, что у новорожденных его толщина справа и слева одинакова и составляет соответственно 74.60 ± 8.9 мкм и 69.12 ± 4.5 мкм. Ее увеличение происходит в правой доле Н VI в два этапа: от рождения

до 1 года и к 2 годам. В левой дольке Н VI увеличение толщины молекулярного слоя отмечается только на протяжении первого года жизни. К концу 1 года толщина молекулярного слоя коры мозжечка справа увеличивается в 2.0 раза по сравнению с новорожденными, а слева – в 3.8 раза. Более интенсивный рост поперечника молекулярного слоя слева приводит к тому, что у детей в возрасте 1 года отмечается левосторонняя асимметрия толщины этого слоя, которая составляет в правой задней четырехугольной дольке 149.6 ± 13.1 мкм, а в правой – 261.6 ± 19.2 мкм. У детей старше 1 года в дольке Н VI справа нарастание поперечника молекулярного слоя продолжается, и к концу 2-го года его толщина увеличивается в 3.6 раза по сравнению с новорожденными. У двухлетних детей асимметрия в размерных показателях молекулярного слоя справа и слева статистически не подтверждается, его толщина стабилизируется и мало изменяется на этапах первого и второго детства. К 12 годам толщина молекулярного слоя в правой задней четырехугольной дольке составляет в среднем 287.9 ± 22.2 мкм, в левой – 290.9 ± 29.5 мкм.

Толщина зернистого слоя коры новорожденных, как и общий поперечник коры, имеет выраженную правостороннюю латерализацию и составляет справа 220.5 ± 12.5 мкм, слева – 175.0 ± 8.4 мкм. Увеличение толщины зернистого слоя происходит в 2 этапа: в правой задней четырехугольной дольке – от рождения до 2 лет и далее к 7 годам, а в левой аналогичной дольке – от рождения до 1 года, а также к 2 годам. В дольке Н VI справа зернистый слой прирастает в толщину на первом этапе в 1.9 раза по сравнению с новорожденными, на втором – в 2.4 раза, а слева – соответственно в 1.8 раза и 2.6 раза. Результатом более продолжительного и интенсивного роста коры в толщину в задней доле мозжечка справа становится ее правосторонняя асимметрия, четко выраженная в 9 лет (рис.). В этом возрасте толщина зернистого слоя в правой дольке Н VI составляет 595.0 ± 39.4 мкм, а в левой – в среднем 463.7 ± 38.6 мкм. После 9 лет межполушарные различия в толщине зернистого слоя нивелируются, и к 12 годам толщина зернистого слоя в задней четырехугольной дольке мозжечка справа составляет 492.6 ± 23.4 мкм, слева – 531.0 ± 46.4 мкм.

Наблюдаемая нами асимметрия в развитии коры мозжечка большей частью носит правосторонний характер, за исключением конца первого года жизни, когда отмечается левосторонняя асимметрия толщины молекулярного слоя и коркового поперечника в целом. По нашему мнению межполушарная асимметрия в показателях толщины коры и слоев мозжечка является следствием неравномерных темпов их развития. Гетерохрон-

ный и гетеродинамический характер нарастания коры и слоев мозжечка в определенной степени генетически запрограммирован, однако обусловлен также комплексом взаимодействий с другими нервными центрами, в первую очередь с корой больших полушарий [6, 9, 11]. При этом полученные нами данные свидетельствуют о том, что с возрастом по мере усложнения двигательных функций все большую роль в интегрированных распределенных сетях мозга начинает играть нарастающая более продолжительно по срокам кора в области задней доли правого полушария мозжечка.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что толщина коры мозжечка и ее слоев в области дольки Н VI увеличивается на протяжении раннего детства, а в правом полушарии – также и на протяжении первого детства. Уменьшение поперечника коры и слоев в задней доле мозжечка детей от рождения до 12 лет не обнаружено.

На первом году жизни рост поперечника коры в дольке Н VI правого и левого полушарий мозжечка происходит за счет молекулярного и зернистого слоев, а к 2 годам слева и к 7 годам справа – только за счет зернистого слоя. В период от рождения до 12 лет на определенных этапах постнатального развития, а именно на протяжении первых 2 лет жизни, а также в 7 и 9 лет в задней четырехугольной дольке коры мозжечка наблюдаются межполушарные различия в толщине коры, а также в величине поперечника слагающих ее слоев. Правополушарный характер асимметрии коры мозжечка четко ограничен конкретными временными интервалами и наблюдается у новорожденных, а также у детей 7 лет по толщине коры и детей 9 лет – по толщине зернистого слоя. Можно предположить, что в коре мозжечка, так же, как в коре больших полушарий, существует межполушарная функциональная специализация отдельных корковых зон.

Исследования выполнены при поддержке программы РУДН «5–100».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ланг Т. А., Сесик М. Как описывать статистику в медицине/ Пер. англ. под ред. В.П.Леонова. М.: Практическая медицина, 2016. 480.
2. Цехмистренко Т. А. Возрастные изменения толщины слоев коры мозжечка человека в постнатальном онтогенезе. Естественные и технические науки. 2017; 1(103): 10–13.
3. Amlie I. K., Fjell A. M., Tamnes C. K., Grydeland H., Krogsrud S. K., Chaplin T. A., Rosa M. G. P., Walhovd K. B. Organizing Principles of Human Cortical Development—Thickness and Area from 4 to 30 Years: Insights from Com-

- parative Primate Neuroanatomy. *Cereb Cortex*. 2016; 26: 257–267. doi: 10.1093/cercor/bhu214.
4. Belkhiria C., Mssedi E., Habas C., Driss T., de Marco G. Collaboration of Cerebello-Rubral and Cerebello-Striatal Loops in a Motor Preparation Task. *Cerebellum*. 2018. doi: 10.1007/s12311-018-0980-z.
5. Boisgontier M. P., Cheval B., van Ruitenbeek P., Cuypers K., Leunissen I., Sunaert S., Meesen R., Adab H. Z., Renaud O., Swinnen S. P. Cerebellar grey matter explains bimanual coordination performance in children and older adults. *Neurobiology of Aging*. 2018; 1–53. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2018.01.016.
6. Buckner R. L., Krienen F. M., Castellanos A., Diaz J. C., Yeo B. T. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*. 2011; 106: 2322–2345. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00339.2011>.
7. Dickerson B. C., Fenstermacher E., Salat D. H., Wolk D. A., Maguire R. P., Desikan R., Pacheco J., Quinn B. T., Van der Kouwe A., Greve D. N., Blacker D., Albert M. S., Killiany R. J., Fischl B. Detection of cortical thickness correlates of cognitive performance: reliability across MRI scan sessions, scanners, and field strengths. *Neuroimage*. 2008; 39: 10–18.
8. Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage*. 2012; 62(2): 774–781. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.01.021.
9. Guell X., Schmahmann J. D., Gabrieli J. D. E., Ghosh S. S. Functional gradients of the cerebellum. *eLife*. 2018; 7: e36652. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.36652>.
10. Li G., Lin W., Gilmore J. H., Shen D. Spatial Patterns, Longitudinal Development, and Hemispheric Asymmetries of Cortical Thickness in Infants from Birth to 2 Years of Age. *J Neurosci*. 2015; 35(24): 9150–9162. doi: 10.1523/jneurosci.4107-14.2015.
11. Palesi F., Tournier J. D., Calamante F., Muhlert N., Castellazzi G., Chard D., D'Angelo E., Wheeler-Kingshott C. A. M. Contralateral cerebello-thalamo-cortical pathways with prominent involvement of associative areas in humans in vivo. *Brain Struct Funct*. 2015; 220: 3369–3384.
12. Park J. H., Kim C. S., Won K. S., Oh J. S., Kim J. S., Kim H. W. Asymmetry of cerebral glucose metabolism in very low-birth-weight infants without structural abnormalities. *PLoS One*. 2017; 12(11): e0186976. doi: 10.1371/journal.pone.0186976.
13. Stoodley C. J., Schmahmann J. D. Functional topography of the human cerebellum. In: M. Manto, T.A.G.M. Huisman (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology*. Vol. 154 (3rd series). The Cerebellum: From Embryology to Diagnostic Investigations. Elsevier; 2018: 59–70. doi:10.1016/b978-0-444-63956-1.00004-7.
14. Sussman D., Leung R. C., Mallar C. M. The developing human brain: age-related changes in cortical, subcortical, and cerebellar anatomy. *Brain and Behav*. 2016; 6(4): e00457. doi: 10.1002/brb3.457.
15. Van Essen D. C., Donahue C. J., Glasser M. F. Development and Evolution of Cerebral and Cerebellar Cortex. *Brain Behav Evol*. 2018; 91: 158–169. doi: 10.1159/000489943.
16. Wang D., Buckner R. L., Liu H. Cerebellar asymmetry and its relation to cerebral asymmetry estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. 2013; 109(1): 46–57. doi: 10.1152/jn.00598.2012.
17. Wang H., Chen H., Wu J., Tao L., Pang Y., Gu M., Ly F., Luo T., Cheng O., Sheng K., Luo J., Hu Y., Fang W. Altered resting-state voxel-level whole-brain functional connectivity in depressed Parkinson's disease, Parkinsonism and Related Disorders. 2018: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2018.02.019>.
18. Zielinski B. A., Prigge M. B. D., Nielsen J. A., Froehlich A. L., Abildskov T. J., Anderson J. S., Fletcher P. T., Zygmont K. M., Travers B. G., Lange N., Alexander A. L., Bigler E. D., Lainhart J. E. Longitudinal changes in cortical thickness in autism and typical development. *Brain*. 2014; 137: 1799–1812. doi:10.1093/brain/awu083.

References

1. Lang T.A., Sesik M. Kak opisyyvat' statistiku v medicine [How to describe statistics in medicine / Transl. English by ed. V.P.Leonov]. Moscow: Prakticheskaya medicina, 2016. 480 (in Russian). [Lang T.A., Secic M. How to report statistics in medicine. Philadelphia: American College of Physicians; 1997. 364].
2. Tsekhmistrenko T.A. Vozrastnye izmeneniya tolshchiny sloev kory mozzhechka cheloveka v postnatal'nom ontogeneze [Age-related changes in the thickness of layers of the human cerebellar cortex in postnatal ontogenesis]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2017; 1 (103): 10–13 (in Russian).
3. Amlen I.K., Fjell A.M., Tamnes C.K., Grydeland H., Krogstad S.K., Chaplin T.A., Rosa M.G.P., Walhovd K.B. Organizing Principles of Human Cortical Development—Thickness and Area from 4 to 30 Years: Insights from Comparative Primate Neuroanatomy. *Cereb Cortex*. 2016; 26: 257–267. doi: 10.1093/cercor/bhu214.
4. Belkhiria C., Mssedi E., Habas C., Driss T., de Marco G. Collaboration of Cerebello-Rubral and Cerebello-Striatal Loops in a Motor Preparation Task. *Cerebellum*. 2018. doi: 10.1007/s12311-018-0980-z.
5. Boisgontier M.P., Cheval B., van Ruitenbeek P., Cuypers K., Leunissen I., Sunaert S., Meesen R., Adab H.Z., Renaud O., Swinnen S.P. Cerebellar grey matter explains bimanual coordination performance in children and older adults. *Neurobiology of Aging*. 2018: 1–53. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2018.01.016.
6. Buckner R.L., Krienen F.M., Castellanos A., Diaz J.C., Yeo B.T. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*. 2011; 106: 2322–2345. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00339.2011>.
7. Dickerson B.C., Fenstermacher E., Salat D.H., Wolk D.A., Maguire R.P., Desikan R., Pacheco J., Quinn B.T., Van der Kouwe A., Greve D.N., Blacker D., Albert M.S., Killiany R.J., Fischl B. Detection of cortical thickness correlates of cognitive performance: reliability across MRI scan sessions, scanners, and field strengths. *Neuroimage*. 2008; 39: 10–18.
8. Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage*. 2012; 62(2): 774–781. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.01.021.
9. Guell X., Schmahmann J.D., Gabrieli J.D.E., Ghosh S.S. Functional gradients of the cerebellum.

- eLife 2018;7: e36652. 22 p. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.36652>.
10. Li G., Lin W., Gilmore J.H., Shen D. Spatial Patterns, Longitudinal Development, and Hemispheric Asymmetries of Cortical Thickness in Infants from Birth to 2 Years of Age. *J Neurosci*. 2015; 35(24): 9150-9162. doi: 10.1523/jneurosci.4107-14.2015.
11. Palesi F., Tournier J.D., Calamante F., Muhlert N., Castellazzi G., Chard D., D'Angelo E., Wheeler-Kingshott C.A.M. Contralateral cerebello-thalamo-cortical pathways with prominent involvement of associative areas in humans in vivo. *Brain Struct Funct*. 2015; 220: 3369-3384.
12. Park J.H., Kim C.S., Won K.S., Oh J.S., Kim J.S., Kim H.W. Asymmetry of cerebral glucose metabolism in very low-birth-weight infants without structural abnormalities. *PLoS One*. 2017. 12(11): e0186976. doi: 10.1371/journal.pone.0186976.
13. Stoodley C.J., Schmahmann J.D. Functional topography of the human cerebellum. In: M. Manto, T.A.G.M. Huisman (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology*. Vol. 154 (3rd series). The Cerebellum: From Embryology to Diagnostic Investigations. Elsevier; 2018: 59-70. doi:10.1016/b978-0-444-63956-1.00004-7.
14. Sussman D., Leung R.C., Mallar C.M. The developing human brain: age-related changes in cortical, subcortical, and cerebellar anatomy. *Brain and Behav*. 2016; 6(4): e00457. doi: 10.1002/brb3.457.
15. Van Essen D.C., Donahue C.J., Glasser M.F. Development and Evolution of Cerebral and Cerebellar Cortex. *Brain Behav Evol*. 2018; 91: 158-169. doi: 10.1159/000489943.
16. Wang D., Buckner R.L., Liu H. Cerebellar asymmetry and its relation to cerebral asymmetry estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. 2013; 109(1): 46-57. doi: 10.1152/jn.00598.2012.
17. Wang H., Chen H., Wu J., Tao L., Pang Y., Gu M., Ly F., Luo T., Cheng O., Sheng K., Luo J., Hu Y., Fang W. Altered resting-state voxel-level whole-brain functional connectivity in depressed Parkinson's disease, Parkinsonism and Related Disorders. 2018: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2018.02.019>.
18. Zielinski B.A., Prigge M.B.D., Nielsen J.A., Froehlich A.L., Abildskov T.J., Anderson J.S., Fletcher P.T., Zygumunt K.M., Travers B.G., Lange N., Alexander A.L., Bigler E.D., Lainhart J.E. Longitudinal changes in cortical thickness in autism and typical development. *Brain*. 2014; 137: 1799-1812. doi:10.1093/brain/awu083.

Сведения об авторах

Цехмистренко Татьяна Александровна – д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов». 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: tsekhmistrenko2010@yandex.ru

Ключкова Светлана Валерьевна – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет). 125009, г. Москва, ул. Моховая, д.11, стр.10. E-mail: swetlana.chava@yandex.ru

Мазлов Аслан Батразович – ассистент кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов». 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: aslan-mazlov@yandex.ru

Никитюк Дмитрий Борисович – член-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор, директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи». 109240, г. Москва, Устьинский проезд, дом 2/14. E-mail: dimitrynik@mail.ru

Обухов Дмитрий Константинович – д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры цитологии и гистологии Санкт-Петербургского государственного университета. 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9. E-mail: dkobukhov@yandex.ru

Поступила в редакцию 1.10.2018 г.

Для цитирования: Цехмистренко Т.А., Ключкова С.В., Мазлов А.Б., Никитюк Д.Б., Обухов Д.К. Изменения толщины коры и слоев в задней доле мозжечка человека в постнатальном онтогенезе. Журнал анатомии и гистопатологии. 2018; 7(4): 88-93. doi: 10.18499/2225-7357-2018-7-4-88-93.

For citation: Tsekhmistrenko T.A., Klochova S.V., Mazlov A.B., Nikityuk D.B., Obukhov D.K. Changes in thickness of cortex and its layers in the posterior lobe of the cerebellum in postnatal ontogenesis. *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2018; 7(4): 88-93. doi: 10.18499/2225-7357-2018-7-4-88-93