

СТАТЬИ

УДК 611.813.1-055

МЕЖПОЛУШАРНАЯ АСИММЕТРИЯ ПЕРЕДНЕЙ ЛИМБИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ КОРЫ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Боголепова И.Н., Агапов П.А., Малофеева И.Г., Пилецкая И.А.

ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, e-mail: bogolepovaira@gmail.com

Целью настоящего исследования было цитоархитектоническое исследование и сравнительный анализ структурной организации поля 24 передней лимбической области мозга мужчин и женщин в левом и правом полушарии. Изучено строение коры поля 24 лимбической области мозга мужчин (5 случаев) и женщин (5 случаев) зрелого возраста (20–59 лет). Исследование выполнено на срезах толщиной 20 мкм, окрашенных кризидом фиолетовым методом Ниссля. Измерены следующие показатели: профильное поле пирамидных нейронов, толщины коры, толщина цитоархитектонических слоев коры поля 24. Данные морфометрические показатели измерены на комплексах анализа изображений Leica® (Германия) и «ДиаМорф» (Россия), также использовался стереомикроскоп МБС-9. Изучив цитоархитектоническое строение коры передней лимбической области мозга мужчин и женщин, мы выявили различия её цитоархитектонической организации в левом и правом полушарии мозга, а также различия между мужчинами и женщинами. Для коры поля 24 мозга мужчин и женщин характерна правополушарная асимметрия толщины коры и её цитоархитектонических слоев, а также большая правополушарная асимметрия значения профильного поля пирамидных нейронов передней лимбической области мозга женщин по сравнению с аналогичной областью мозга мужчин.

Ключевые слова: мозг, мужчина, женщина, передняя лимбическая область, межполушарная асимметрия

INTERHEMISPHERIC ASYMMETRY OF THE ANTERIOR LIMBIC CORTEX

Bogolepova I.N., Agapov P.A., Malofeeva I.G., Piletskaya I.A.

Research Center of Neurology, Moscow, e-mail: bogolepovaira@gmail.com

The aim of this study was a cytoarchitectonic study and a comparative analysis of the structural organization of area 24 of the anterior limbic region of the left and right hemispheres of male and female brains. The structure of the cortex of area 24 of the limbic region of male (5 cases) and female (5 cases) brains (age 20-59 years old) was studied. The study was performed on 20-µm-thick sections, stained with cresyl violet using the Nissl method. The following parameters were measured: the profile field of pyramidal neurons, the thickness of the cortex, the thickness of the cytoarchitectonic layers of the cortex of area 24. These morphometric parameters were measured on the image analysis complexes «Leica» (Germany) and «DiaMorf» (Russia), and the stereomicroscope MBS-9 was also used. After studying the cytoarchitectonic structure of the cortex of the anterior limbic region of male and female brains, we revealed differences in their cytoarchitectonic organization in the left and right brain hemispheres, as well as differences between men and women. The cortex of area 24 of male and female brains is characterized by a right-hemisphere asymmetry in the thickness of the cortex and its cytoarchitectonic layers, as well as a large right-hemisphere asymmetry in the value of the profile field of pyramidal neurons in the anterior limbic region of the female brain compared with a similar area of the male brain.

Keywords: brain, man, woman, anterior limbic area, interhemispheric asymmetry

В настоящее время вопрос межполушарной асимметрии мозга человека вызывает большой интерес. В литературе опубликовано немалое количество морфологических, электрофизиологических и биохимических работ, описывающих новые данные о функциональной специализации левого и правого полушария и их межполушарном взаимодействии [1–4].

Большой интерес представляют исследования динамики межполушарных различий постоянных потенциалов при патологии. Изучение кровообращения головного мозга людей страдающих дисциркуляторной энцефалопатией, показало некоторые корреляции между функционированием вегетативной нервной системы и когнитивными процессами.

Большое количество отличий выявлено в эмоциональном поведении мужчин и женщин, в особенностях процесса обучения [5, 6]. Для женщин более типичным

является проявление таких чувств, как радость, любовь, печаль, страх, в то время как мужчины чаще показывают такие чувства, как гордость, агрессия, враждебность. Для женщин более характерным является умение следовать правилам, в то время как мужчины склонны к лидерству и новаторству [7]. Женщины более ярко выражают свои чувства. Мужчины более сдержанны и склонны скрывать свои переживания. Женщины и мужчины по-разному ведут себя в семье: так, для женщины необходимы забота, понимание, преданность, а для мужчины важными являются одобрение, признательность, восхищение. Лимбическая область коры мозга человека тесно взаимосвязана с реализацией эмоций мужчин и женщин, а также обеспечивает их адекватное поведение.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования стало изучение цитоархитектонической межполушарной асимме-

трии передней лимбической области коры мозга мужчин и женщин.

Материалы и методы исследования

Изучены парафиновые гистологические срезы мозга мужчин и женщин в возрасте от 20 до 59 лет (5 мозгов мужчин и 5 мозгов женщин). Толщина срезов составляла 20 мкм, срезы окрашены крезилом фиолетовым по методу Ниссля. Исследование проведено на материале, взятом из коллекции лаборатории анатомии и архитектоники мозга отдела исследований мозга ФГБНУ ИЦН. Во всех случаях причиной смерти были соматические заболевания или несчастный случай, изученные мужчины и женщины не имели заболеваний психического или неврологического характера.

В нашей работе мы изучили основные цитоархитектонические характеристики коры поля 24 передней лимбической области мозга человека: толщину коры, толщину цитоархитектонических слоев и профильное поле нейронов. При измерении значения профильного поля нейронов мы измеряли нейроны, находящиеся в фокусе, в которых присутствовали ядро и ядрышко.

Для проведения данного исследования мы использовали стереомикроскоп МБС-9 (общее увеличение $\times 28$) и комплексы анализа изображений «ДиаМорф» (Россия) и «Leica» (Германия) (окуляр $\times 10$, объектив $\times 100$). В данном исследовании мы выполнили измерения не менее 100 нейронов на случай (всего измерено более 2000 нейронов) и не менее 30 измерений толщины коры и цитоархитектонических слоев в каждом изученном полушарии.

Для вычисления средних значений отличий использована программа STATISTICA-12. Статистически достоверные отличия ($p \leq 0,05$) вычисляли с применением теста Вилкоксона и U-критерия Манна – Уитни. Коэффициент межполушарной асимметрии вычислялся по формуле:

$$\text{Касс} = \frac{\text{Млев} - \text{Мпр}}{\text{Млев} + \text{Мпр}} \times 100\%,$$

где Кас – коэффициент межполушарной асимметрии Млев – среднее значение параметра в левом полушарии мозга, а Мпр – среднее значение параметра в правом полушарии мозга.

Результаты исследования и их обсуждение

Корковое поле 24 лимбической области коры мозга располагается на поясной извилине медиальной поверхности полушарий мозга (рис. 1, 2).

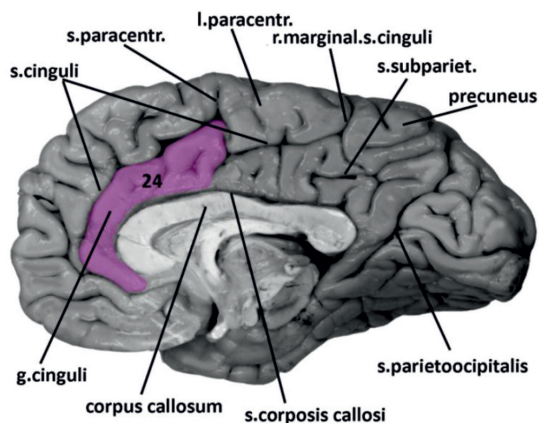


Рис. 1. Борозды и извилины лимбической области коры мозга человека. Топография переднего лимбического поля 24

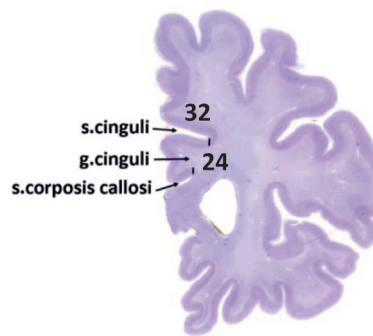


Рис. 2. Границы поля 24 на фронтальном срезе мозга. Окраска крезилом фиолетовым по методу Ниссля

В результате изучения коры поля 24 мы выявили различия её строения у мужчин и женщин. Нейронная организация коры поля 24 передней лимбической области мозга мужчин и женщин значительно различается по выраженности радиальной исчерченности и горизонтальной стратификации.

Измерение ширины поперечника коры поля 24 передней лимбической области мозга мужчин и женщин показало выраженную межполушарную асимметрию. Ширина поперечника коры поля 24 правого полушария мозга женщин была больше, чем аналогичная кора левого полушария мозга женщин. Среднее значение коэффициента межполушарной асимметрии в группе женщин равнялось 7,3, а в группе мужчин 3,2, что примерно в два раза меньше, чем у женщин.

Значительные различия установлены при измерении ширины отдельных цитоархитектонических слоев коры поля 24 в левом и правом полушарии мозга мужчин и женщин. Ширина слоя III коры поля 24 правого полушария мозга мужчин составляла

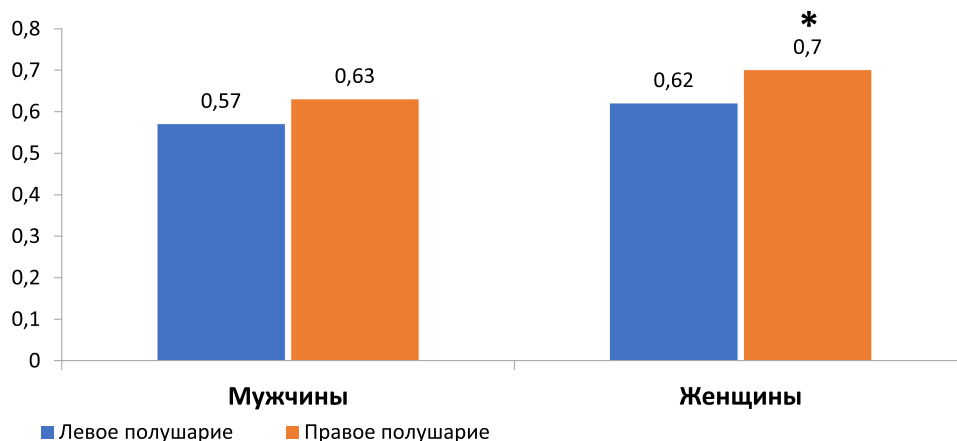
0,63 мм, левого полушария мозга 0,57 мм, у женщин значение этого показателя равнялось в правом полушарии 0,70 мм, в левом полушарии мозга 0,62 мм. В правом полушарии гендерные отличия ширины коры слоя III статистически значимы (рис. 3).

В значении ширины слоя V коры поля 24 левого и правого полушария мозга мужчин и женщин различий нами не выявлено, так, в правом полушарии мозга женщин ширина цитоархитектонического слоя V коры поля 24 составляла 0,80 мм, а в левом полушарии – 0,65 мм. У мужчин значение ширины данного слоя равнялось в правом полушарии 0,71 мм, в левом полушарии 0,60 мм (рис. 4).

Межполушарная асимметрия также установлена при исследовании нейронного состава цитоархитектонического слоя III коры поля 24 передней лимбической об-

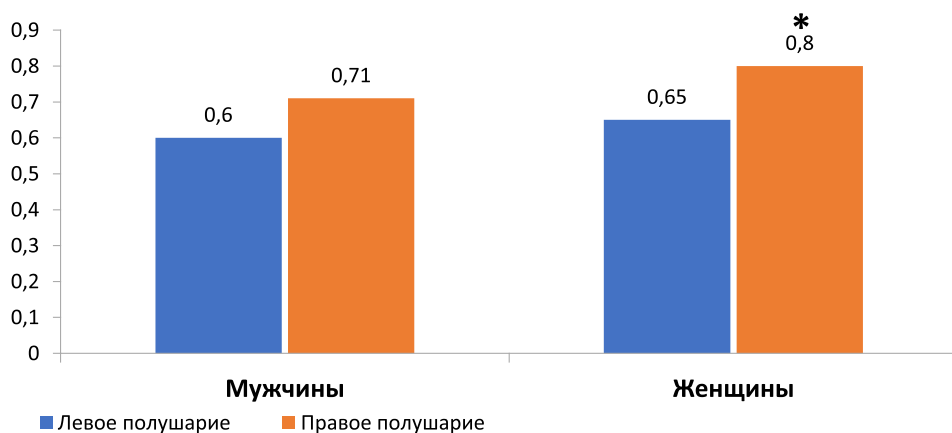
ласти мозга мужчин и женщин, этот слой значительно различается в левом и правом полушарии мозга по величине профильного поля нейронов (рис. 5).

Среднее значение профильного поля пирамидных нейронов слоя III коры поля 24 в левом полушарии мозга женщин составляет $180,9 \pm 55,4$ мкм², в правом полушарии мозга женщин значение профильного поля нейронов равнялось $203,9 \pm 74,4$ мкм². В свою очередь у мужчин величина профильного поля пирамидных нейронов аналогичной области в левом и правом полушарии мозга различалась не сильно и составляла $160,9 \pm 45,1$ мкм² в левом полушарии и $168,2 \pm 53,8$ мкм² в правом полушарии и была значительно меньше по сравнению с величиной пирамидных нейронов коры поля 24 передней лимбической области мозга женщин (рис. 6).



* – статистически значимые гендерные отличия, $p \leq 0,05$

Рис. 3. Ширина слоя III коры поля 24 лимбической области в левом и правом полушарии мозга мужчин и женщин (мм)



* – статистически значимые гендерные отличия, $p \leq 0,05$

Рис. 4. Ширина слоя V коры поля 24 лимбической области в левом и правом полушарии мозга мужчин и женщин (мм)

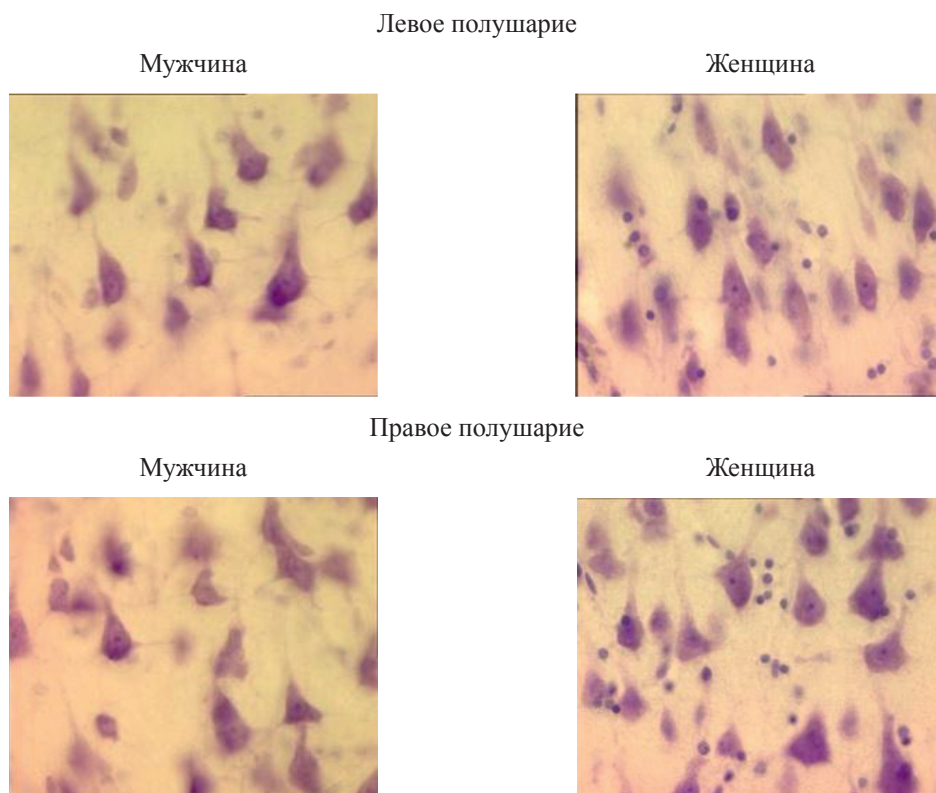
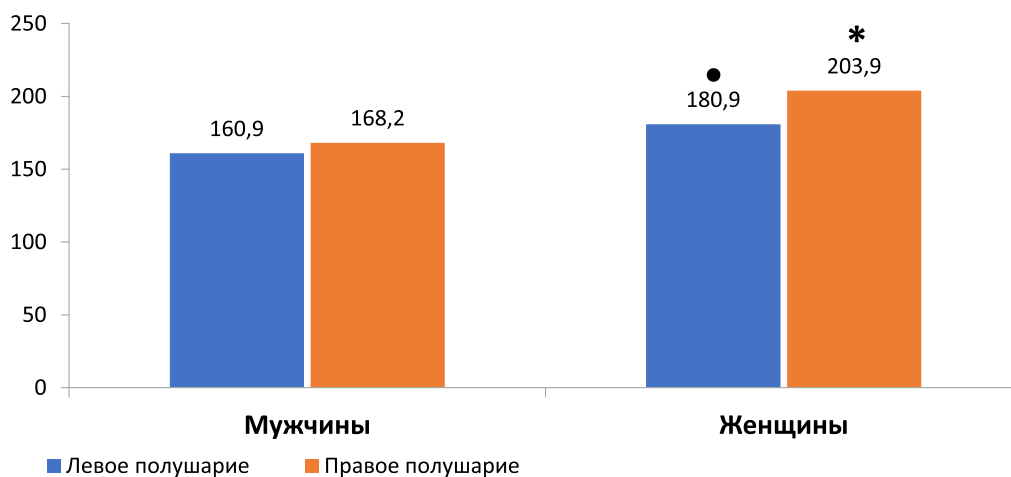


Рис. 5. Цитоархитектоника слоя III коры поля 24 лимбической области мозга человека. Окраска крезолом фиолетовым по методу Ниссля. Об. $\times 100$, Ок. $\times 10$



- * – статистически значимые гендерные отличия, $p \leq 0,05$;
- – статистически значимые межполушарные отличия, $p \leq 0,05$

Рис. 6. Профильное поле нейронов слоя III коры поля 24 лимбической области в левом и правом полушарии мозга мужчин и женщин (мкм²)

Морфометрические исследования максимального значения величины профильного поля пирамидных нейронов выявили, что у женщин размер пирамидных нейронов слоя III коры поля 24 правого по-

лушария мозга варьировал от 378,4 мкм² до 500,2 мкм², а в левом полушарии – от 318,5 мкм² до 333,4 мкм². У мужчин значение максимальной величины профильного поля пирамидных нейронов слоя III коры

поля 24 в правом полушарии варьируется от 303,2 мкм² до 341,3 мкм², а в левом полушарии – от 238,5 мкм² до 280,7 мкм².

Таким образом, в результате проведенных исследований была выявлена правополушарная асимметрия нейронной организации коры поля 24 передней лимбической области мозга, как мужчин, так и женщин. Наши данные коррелируют с данными Jiang Xin и других авторов [8–10], которые показали значительные морфологические различия в правом и левом полушариях мозга мужчин и женщин. Наибольшие особенности были найдены в постцентральной извилине, в орбитальной извилине лобной области и некоторых других структурах левого и правого полушария мозга мужчин и женщин. По мнению некоторых авторов, эти особенности строения корковых и подкорковых формаций мозга мужчин и женщин и их межполушарная асимметрия взаимосвязаны с особенностями когнитивных функций, памяти, восприятия различных ощущений и с особенностями эмоционального поведения [7, 11]. Особенно большие различия у мужчин и женщин были установлены при проявлении различных сенсорных эмоций, при узнавании лица, при решении разных задач и принятии решений. Именно эти когнитивные функции могут быть ассоциированы со спецификой и особенностями строения корковых структур в левом и правом полушариях мозга мужчин и женщин.

Было также установлено, что в правом полушарии наблюдается увеличение ширины поперечника коры и ширины цитоархитектонических слоев III и V. Особенно четко это выражено в мозге женщин. Также было показано, что в мозге женщин более ярко выражена правополушарная асимметрия среднего и максимального значения величины площади профильного поля нейронов коры поля 24 передней лимбической области. В последние годы ученые показали, что величина аксона и его разветвлений, степень миелинизации и уровень волокнистой организации коррелируют с нормальным процессом старения мозга и его возможностью обучения. В современной литературе также показана большая разница в организации внутриполушарных и межполушарных волокнистых структур в мозге женщин и мужчин, что связано, по-видимому, с особенностями их нейронного состава [12–14]. Следует подчеркнуть, что у женщин установленные отличия величины изученных показателей выражены в большей степени, чем у мужчин. Нами выдвигается гипотеза, что выявленная более яркая межполушарная асимметрия величины толщины попе-

речника коры и её цитоархитектонических слоев, а также величины профильного поля нейронов обуславливают в определенной степени функциональные особенности передней лимбической области коры правого полушария мозга женщин по сравнению с той же областью мозга мужчин.

Список литературы

1. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В., Кандыков А.С., Боголепова И.Н., Белопасова А.В. Функциональная асимметрия речевых структур у здоровых людей, выявляемая при помощи функциональной магнитно-резонансной томографии // В сборнике: Современные направления исследований функциональной межполушарной асимметрии и пластичности мозга. Экспериментальные и теоретические аспекты нейропластичности: материалы Всероссийской конференции с международным участием / Под общ. ред. С.Н. Иллариошкина, В.Ф. Фокина. 2010. С. 361–368.
2. Боголепова И.Н. Предпосылки структурной асимметрии речедвигательной зоны Брока мозга человека. Вестник Академии медицинских наук. 2001. № 4. С. 82–87.
3. Фокин В.Ф. Современные направления функциональной межполушарной асимметрии: материалы Всероссийской конференции с международным участием «Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность». М., 2012. С.185–190.
4. Маркина Л.Д., Баркар А.А. Межполушарная асимметрия головного мозга: морфологический и физиологический аспекты // Тихоокеанский медицинский журнал. 2014. № 1 (55). С. 66–70.
5. Bless J.J., Westerhausen R., von Koss Torkildsen J., Gudmundsen M., Kompus K., Hugdahl K. Laterality across languages: Results from a global dichotic listening study using a smartphone application. *Laterality*. 2015. Vol. 20. No. 4. P. 434–452. DOI: 10.1080/1357650X.2014.997245.
6. Del Giudice M., Booth T., Irwing P. The distance between Mars and Venus: measuring global sex differences in personality. *PLoS One*. 2012. Vol. 7. No. 1. e29265. DOI: 10.1371/journal.pone.0029265.
7. Gur R.E., Gur R.C. Sex differences in brain and behavior in adolescence: Findings from the Philadelphia Neurodevelopmental Cohort. *Neurosci Biobehav Rev*. 2016. Vol. 70. P. 159–170. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.07.035.
8. Xin J., Zhang Y., Tang Y., Yang Y. Brain Differences Between Men and Women: Evidence From Deep Learning. *Front Neurosci*. 2019. Vol. 13. P. 185. DOI: 10.3389/fnins.2019.00185.
9. Grabowska A. Sex on the brain: Are gender-dependent structural and functional differences associated with behavior? *J Neurosci Res*. 2017. Vol. 95. No. 1–2. P. 200–212. DOI: 10.1002/jnr.23953. PMID: 27870447.
10. Guadalupe T., Zwiers M.P., Wittfeld K., Teumer A., Vasquez A.A., Hoogman M., Hagoort P., Fernandez G., Buitelaar J., van Bokhoven H., Hegenscheid K., Völzke H., Franke B., Fisher S.E., Grabe H.J., Francks C. Asymmetry within and around the human planum temporale is sexually dimorphic and influenced by genes involved in steroid hormone receptor activity. *Cortex*. 2015. Vol. 62. P. 41–55. DOI: 10.1016/j.cortex.2014.07.015.
11. Gotts S.J., Jo H.J., Wallace G.L., Saad Z.S., Cox R.W., Martin A. Two distinct forms of functional lateralization in the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013. Vol. 110. No. 36. E3435–44. DOI: 10.1073/pnas.1302581110.
12. Боголепова И.Н., Амуни В.В., Оржеховская Н.С., Малофеева Л.И. Особенности цитоархитектонического строения корковых и подкорковых образований мозга у мужчин и женщин. В книге: Руководство по функциональной межполушарной асимметрии. Российская медицинская академия наук, Научный центр неврологии, ответственный редактор В.Ф. Фокин, М., 2009. С. 257–273.
13. Gong G., He Y., Evans A.C. Brain connectivity: gender makes a difference. *Neuroscientist*. 2011. Vol. 17. No. 5. P. 575–591. DOI: 10.1177/1073858410386492.
14. Ingalhalikar M., Smith A., Parker D., Satterthwaite T.D., Elliott M.A., Ruparel K., Hakonarson H., Gur R.E., Gur R.C., Verma R. Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014. Vol. 111. No. 2. P. 823–828. DOI: 10.1073/pnas.1316909110.