

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЦИТОАРХИТЕКТониКИ КОРЫ РЕЧЕДВИГАТЕЛЬНОЙ ЗОНЫ МОЗГА У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН

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

Научный центр неврологии, Москва, Россия

AGE-RELATED CHANGES OF THE CYTOARCHITECTONIC OF THE SPEECH-MOVEMENT AREA OF THE BRAIN OF MEN AND WOMEN

Bogolepova IN, Malofeeva LI, Agapov PA, Malofeeva IG

Scientific Center of Neurology, Moscow, Russia

DOI: 10.20340/mv-mn.17(25).01.07

Боголепова И.Н., Малофеева Л.И., Агапов П.А., Малофеева И.Г. Возрастные изменения цитоархитектоники коры речедвигательной зоны мозга у мужчин и женщин// Морфологические ведомости.- 2017.- Том 25.- № 1.- С. 32-36

Резюме. Изучалась цитоархитектоника поля 44 речедвигательной зоны коры мозга мужчин и женщин в трех возрастных группах: I группа – зрелый возраст (мужчины – 28,0±5,1 лет, женщины – 25,8±6,1 лет); II группа – пожилой возраст (мужчины – 66,2±5,4 лет, женщины – 67,2±4,8 лет); III группа – старческий возраст (мужчины – 86,0±2,3 лет, женщины – 83,2±2,9 года). Всего исследовано у каждого пола 30 полушарий мозга, по 10 полушарий в каждом возрасте. Современными морфометрическими методами были изучены следующие цитоархитектонические характеристики поля 44: толщина коры, площадь профильного поля нейронов слоев III и V, их классовый состав, плотность нейронов. Установлено, что величина изученных цитоархитектонических характеристик статистически значимо изменяется у мужчин и женщин только в старческом возрасте. В пожилом возрасте структурные изменения поля 44 были незначительные. У мужчин отмечается тенденция к большим изменениям морфометрических характеристик, чем у женщин. С возрастом отмечается снижение межполушарной асимметрии строения коры речедвигательной зоны мозга.

Ключевые слова: *мозг, возраст, мужчина, женщина, цитоархитектоника, речедвигательная зона коры, поле 44*

Summary. Cytoarchitectonic of area 44 of speech-movement area of cerebral cortex of men's and women's brains in three age groups has been studied: group I – mature age (men 28,0±5,1 years, female 25,8±6,1 years); group II – older age (men 66,2±5,4 years, female 67,2±4,8 years); III group – old age (men 86,0±2,3 years, female 83,2±2,9 years). 30 hemispheres of men's brains and 30 hemispheres of women's brains have been studied, 10 hemispheres in each age. Modern morphometric methods have been used for studying of cytoarchitectonic characteristics of area 44, for thickness of cortex, the area of the profile fields of neurons of layers III and V, their class composition, the density of neurons. We found that the amount of the cytoarchitectonic characteristics changes statistically significant in men's and women's brains in old age. In old age, structural changes to area 44 was not significant. Men have a tendency to large changes in the morphometric characteristics than that of women. With age, there is a decrease of interhemispheric asymmetry of the structure of speech-motor areas of brain.

Key words: *brain, men, woman, age-related changing, cytoarchitectonic, cortex's speech-movement area, area 44*

Введение. Старение человека является сложным многоуровневым процессом. Ключевую роль в этом процессе играют возрастные изменения головного мозга. В последние десятилетия использование магнитно-резонансной томографии с высокой разрешающей способностью позволило проводить детальные морфометрические изучения структур мозга человека в норме и патологии [3, 8, 10, 12]. В связи с развитием прижизненных нейровизуализационных методов исследования в литературе резко увеличилось число работ, посвященных изучению структурных изменений мозга человека в процессе старения. Данные ВОЗ свидетельствуют о том, что во всех странах мира продолжительность жизни у мужчин меньше, чем у женщин. В России по данным Росстата средняя продолжительность жизни у мужчин на 2016 год составляет 67,0 лет, женщин на 10 лет больше – 77,3 года. Каковы причины этих различий? Имеются ли отличия в темпах старения мозга у мужчин и женщин? Какие структуры мозга и в каком возрасте в большей степени подвержены атрофическому процессу? Несмотря на большое количество морфометрических данных по изучению возрастных изменений строения мозга мужчин и женщин эти вопросы остаются спорными и до конца не решенными [16-19, 21, 25]. Большой вклад в решение гендерных отличий старения мозга мужчин и женщин вносят цитоархитектонические и гистологические исследования. Однако, число таких работ незначительно [1, 4, 7, 11, 22]. Речевая функция является сложной, специфически человеческой функцией человека. Короткие поля 44, 45, обеспечивающие моторную сторону речи, развиваются по-разному у мальчиков и девочек и имеют гендерные отличия цитоархитектонического строения во взрослом состоянии [5, 6]. Данные по изучению гендерных особенностей старения цитоархитектоники речедвигательных структур мозга мужчин и женщин в литературе отсутствуют.

Целью настоящей работы явилось изучение возрастных изменений цитоархитектонических характеристик речедвигательного поля 44 коры мозга мужчин и женщин.

Материал и методы исследования. Исследование проводилось на непрерывных сериях тотальных фронтальных парафиновых сериях срезов левого и правого полушарий мозга мужчин и женщин, окрашенных крезиллом фиолетовым по методу Ниссля, толщина срезов 20 мкм. Имеющийся материал мы распределили в 3 возрастные группы: I группа – зрелый возраст (мужчины – 28,0±5,1 лет, женщины – 25,8±6,1 лет); II группа – пожилой возраст (мужчины – 66,2±5,4 лет, женщины – 67,2±4,8 лет); III группа – старческий возраст (мужчины – 86,0±2,3 лет, женщины – 83,2±2,9 года). Всего исследовано 60 полушарий мозга, по 10 полушарий в каждом возрасте. Все исследованные случаи не имели психических и неврологических заболеваний. Причина смерти – несчастные случаи без черепно-мозговой травмы, соматические заболевания. Взятие материала осуществлялось в течение 24 часов после смерти. Мозг фиксировался в 10% нейтральном формалине. На каждом 40-м срезе лобной доли левого и правого полушария мозга была проведена цитоархитектоническая дифференцировка поля 44 в соответствии с его характеристикой принятой в институте мозга [5].

В работе использованы современные морфометрические методы исследования. Были изучены следующие цитоархитектонические характеристики поля 44: толщина коры, площадь профильного поля нейронов слоев III и V, их классовый состав, плотность нейронов. Толщина коры поля 44 измерялась окуляр-микрометрическим методом на микроскопе МБС-9, ув. 8х4. Измерение проводилось на вершине извилины в 30-ти полях зрения. Площадь профильного поля нейронов изучалась с помощью системы оптико-электронного анализа изображений «Диаморф» (Россия). В слоях III и V было измерено по 100 нейронов, в которых четко выделялось ядро и ядрышко (об. х100, ок. х10). По величине профильного поля нейроны были разделены на три класса: мелкие (до 150 мкм²), средние (от 150 мкм² до 270 мкм²), крупные (свыше 270 мкм²). Плотность нейронов, подсчитывалась в 0,001 мм³ вещества мозга. Исследование проводилось на микроскопе «Ахсиоскор» (Германия) с учетом поправки по Аберкромби (об. х100, ок. х10). В каждом слое было изучено по 30 полей зрения. Обработка количественных данных проводилась с использованием t-критерия Стьюдента в программе Statistica 8. Отличия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение. В результате проведенного нами исследования было установлено, что у мужчин и женщин зрелого возраста выявлены гендерные отличия макроскопического строения борозд и извилин речедвигательной зоны коры мозга, подробно описанные нами ранее [5]. В пожилом возрасте в обеих популяциях на макроскопическом уровне признаков атрофии коры данной структуры мозга не наблюдается. Оперкулярная и триангулярная части нижней лобной извилины не сужены, плотно прилегают друг к другу. Окружающие извилину борозды не расширены. Гендерных отличий возрастных изменений макроскопического строения зоны Брока в исследованных нами случаях мужчин и женщин пожилого возраста не выявлено.

В старческом возрасте, как у мужчин, так и у женщин в ряде исследованных нами полушариях мозга наблюдается расширение латеральной, прецентральной, нижней лобной борозд, которые ограничивают структуру снизу, сзади и сверху. У мужчин расширение этих борозд наблюдалось в большем числе случаев, чем у женщин. Цитоархитектоника речедвигательного поля 44 в пожилом возрасте у мужчин и женщин остается достаточно сохранной и визуально не отличается от аналогичной в зрелом возрасте по степени выраженности горизонтальной и вертикальной стратификации коры, её толщины. Следует, однако, отметить, что в пожилом возрасте в обеих популяциях в поле 44 отмечаются нарушение структуры отдельных нейронов: набухание и деформация их тела, ядра, накопление липофусцина, появление клеток-теней, глиозных узелков. Деструктивные изменения нейронов более выражены в нижнем этаже коры (слоях V и VI).

В старческом возрасте в поле 44 коры мозга мужчин и женщин наблюдается увеличение степени деструктивных изменений не только на уровне отдельных нейронов, но и цитоархитектоники в целом. Отмечается истончение и разреженность коры, увеличение числа мелких очагов клеточного опустошения, нарушение вертикальной упорядоченности расположения нейронов. Определение гендерных отличий возрастных изменений цитоархитектоники коры поля 44 у мужчин и женщин в старческом возрасте на визуальном уровне затруднено в силу индивидуальной вариабельности его строения (рис. 1, 2). Анализ морфометрических данных показал, что в пожилом возрасте в изученных случаях у мужчин и женщин выявлено незначительное снижение толщины коры поля 44 по сравнению с аналогичной в зрелом возрасте. У мужчин она уменьшается в левом и правом полушарии мозга в среднем по группе на 0,7% и 0,4%, у женщин – на 1,4% и 2,5%. Статистически значимых гендерных отличий возрастных изменений толщины коры в пожилом возрасте не выявлено.

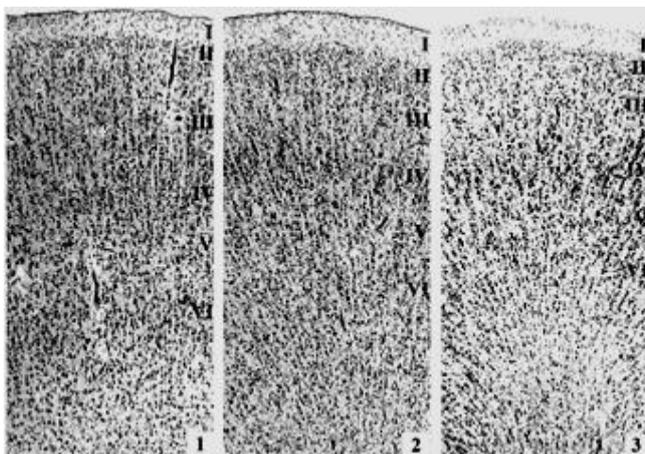


Рис. 1. Цитоархитектоника коры поля 44 в левом полушарии мозга мужчин в зрелом (1), пожилом (2) и старческом (3) возрасте. Окраска крезилем фиолетовым по методу Ниссля. Об. х2,5, ок. х10.

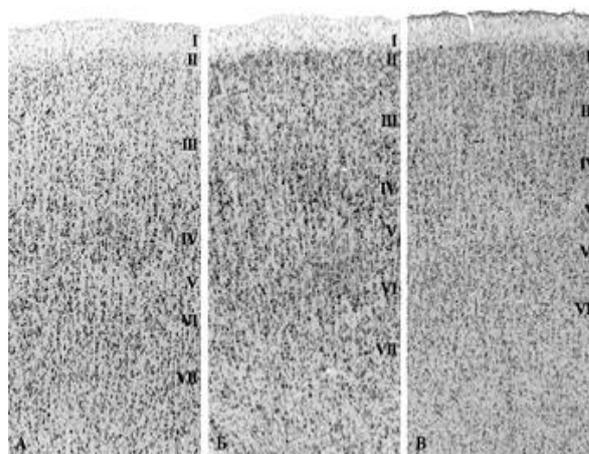


Рис. 2. Цитоархитектоника коры поля 44 в левом полушарии мозга женщин в зрелом (А), пожилом (Б) и старческом (В) возрасте. Окраска крезилем фиолетовым по методу Ниссля. Об. х2,5, ок. х10.

В старческом возрасте при сравнении со зрелым наблюдается более значительное уменьшение величины данного показателя. У мужчин в среднем по группе толщина коры уменьшается на 10,5% и 7,2% в левом и правом полушарии мозга, у женщин – на 6,9% и 7,5%. Гендерных отличий изменения толщины коры поля 44 у мужчин и женщин в старческом возрасте также не выявлено (рис. 3). С возрастом в изученных нами экземплярах мозга мужчин и женщин в слоях III и V поле 44 наблюдается снижение площади профильного поля нейронов. В пожилом возрасте в слое III поля 44 площадь профильного поля нейронов при сравнении с аналогичным показателем в зрелом возрасте меньше у мужчин на 6,8% и

8,5% в левом и правом полушарии мозга, у женщин на такую же величину – на 6,5% и 9,5%. В слое V возрастные изменения величины данного показателя в большей степени выражены у мужчин. Уменьшение размера нейронов у мужчин составляет 9,3% и 10,4% в левом и правом полушарии мозга, у женщин значительно меньше – 2,1% и 7,8%. В старческом возрасте при сопоставлении со зрелым возрастом отмечается более значительные, чем в пожилом возрасте снижение площади профильного поля нейронов в обоих изученных слоях коры поля 44. В слое III оно статистически значимо не отличается у мужчин и женщин и составляет в левом и правом полушарии у мужчин – 26,2% и 17,0%, у женщин – 21,4% и 16,8%. В слое V поля 44 уменьшение размера нейронов в старческом возрасте выражено в большей степени у мужчин, чем у женщин. У мужчин площадь профильного поля нейронов этого слоя в среднем по группе снижается в левом и правом полушарии мозга на 27,5% и 21,9%, у женщин – всего на 11,9% и 15,7% соответственно.

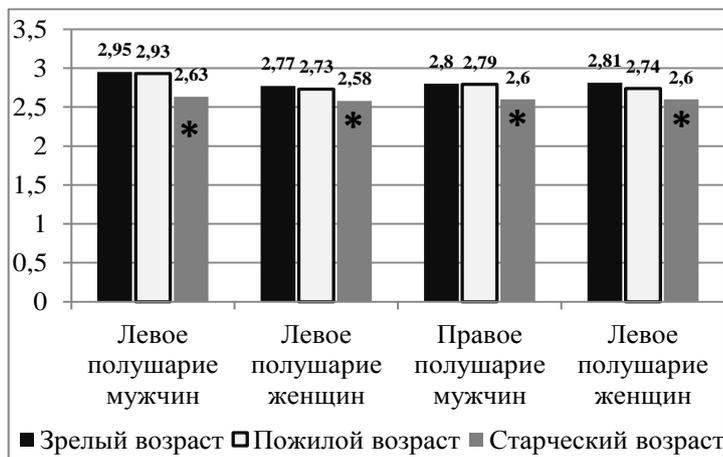


Рис. 3. Толщина коры поля 44 мозга мужчин и женщин в зрелом, пожилом и старческом возрасте (мм); * – возрастные отличия при $p < 0,05$.

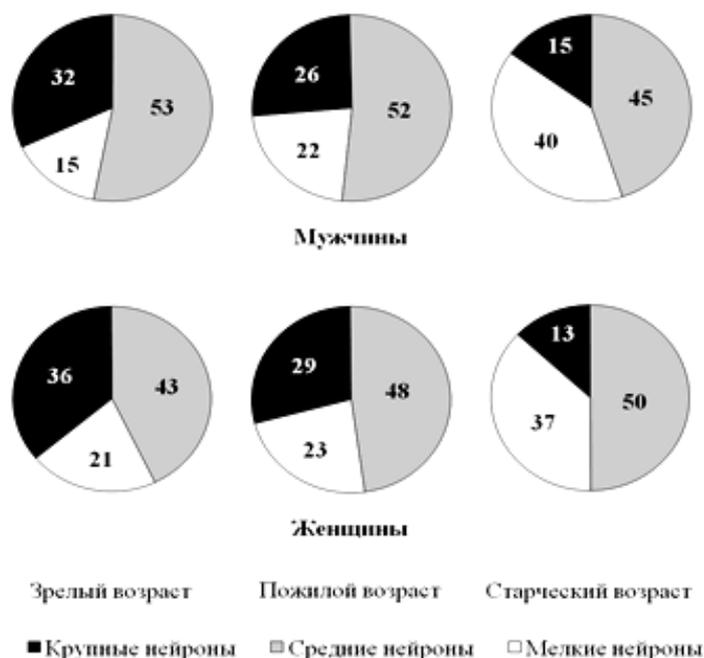


Рис. 4. Нейронный состав слоя III коры поля 44 в левом полушарии мозга мужчин и женщин в зрелом, пожилом и старческом возрасте (%).

В пожилом и старческом возрасте при сравнении со зрелым возрастом у мужчин и женщин в поле 44 коры мозга отмечается перегруппировка нейронного состава слоев III и V слое. В обоих изученных слоях коры наблюдается уменьшение процента нейронов крупной величины и увеличение числа мелких нейронов. Мы предполагаем, что эти изменения связаны как с процессом гибели нейронов, так и с уменьшением (сморщиванием) их сомы. Наиболее значимые изменения нейронного состава слоев III и V были выявлены в старческом возрасте. Так, например, у мужчин процент крупных нейронов в этом слое в зрелом, пожилом и старческом возрасте составляет в левом полушарии мозга 32%, 26%, 15%, у женщин – 36%, 29%, 13% соответственно (рис. 4). Одним из ведущих признаков физиологического старения мозга человека является снижение с возрастом плотности нейронов.

Результаты наших исследований показали, что в пожилом возрасте снижение плотности нейронов в слое III поля 44 составляет у мужчин 6,4% и 8,5%, у женщин больше – 10,2% и 12,4%. В слое V гендерные отличия очень значительные. У мужчин в группе пожилого возраста плотность нейронов по сравнению с аналогичным в зрелом возрасте снижается в левом и правом полушарии мозга на 13,7% и 14,3%, у женщин в 3 раза меньше – на 4,5% и 5,6%.

В старческом возрасте при сравнении со зрелыми изменения плотности нейронов выражены в большей степени, чем в пожилом. В слое III поля 44 она снижается у мужчин в левом и правом полушарии мозга – на 22,3% и 23,7%, у женщин аналогично – на 22,2% и 22,4%. В слое V плотность нейронов в старческом возрасте уменьшается еще более значительно: у мужчин на 31,5% и 34,9%, у женщин – на 30,8% и 33,8%. Гендерных отличий возрастных изменений плотности нейронов в обоих изученных слоях коры поля 44 в старческом возрасте не наблюдается (рис. 5).

Таким образом, исследование возрастных изменений структурной организации поля 44 речедвигательной зоны коры мозга мужчин и женщин позволило выявить как общие закономерности характерные для обеих популяций, так и их гендерные отличия. К общим закономерностям можно отнести следующие:

В пожилом возрасте при сравнении со зрелым как у мужчин, так и у женщин признаки изменений макроскопического и цитоархитектонического строения коры речедвигательной зоны мозга не выражены. Деструктивные изменения наблюдаются только на уровне отдельных нейронов. Данные морфометрического исследования свидетельствуют о том, что в обеих популяциях в пожилом возрасте отмечается незначительное уменьшение толщины коры поля 44, площади профильного поля нейронов слоев III и V и процента в них крупных нейронов.

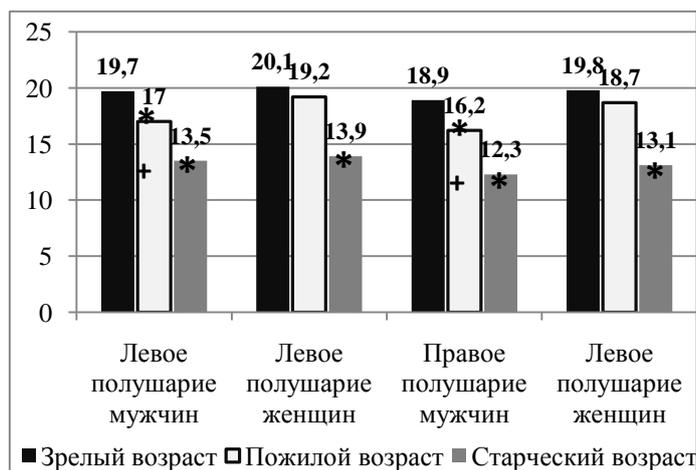


Рис. 5. Плотность нейронов слоя V поля 44 коры мозга мужчин и женщин в зрелом, пожилом и старческом возрасте (в 0,001 мм³). * – возрастные отличия при $p < 0,05$; + – гендерные отличия возрастных изменений при $p < 0,05$.

В старческом возрасте половой диморфизм структурных изменений речедвигательной зоны коры выражен менее значительно, чем в пожилом возрасте. Однако у мужчин так же отмечается тенденция к большим изменениям изученных параметров, чем у женщин. В старческом возрасте у мужчин структурные изменения морфометрических характеристик более четко выражены в левом полушарии мозга. У женщин эти изменения выражены одинаково в левом и правом полушарии мозга.

Проведенные наши исследования показали, что речедвигательная зона коры мозга мужчин и женщин характеризуются достаточно замедленным темпом возрастных изменений макроскопических, цитоархитектонических и морфометрических характеристик её строения. Статистически значимые изменения большинства показателей выявлены только в старческом возрасте, в то время как в коре префронтальной (поле 10) и верхней теменной области (поле 7) мозга по нашим данным изменения отмечались уже в пожилом возрасте [1, 7]. В литературе высказывается точка зрения о том, что речевые функции имеют большое значение для сохранности человека. Речь и мыслительные функции способны сопротивляться всеобъемлющему процессу старения больше, чем другие психофизиологические функции. Ее инволюционные сдвиги наступают намного позднее, чем в других функциях мозга [2]. Наши данные свидетельствуют о том, что степень выраженности возрастных изменений большинства цитоархитектонических характеристик поля 44 коры мозга мужчин и женщин статистически значимо не отличается. Однако необходимо отметить тот факт, что у мужчин наблюдается тенденция к большой величине структурных изменений мозга в пожилом и старческом возрасте, чем у женщин, что согласуется с данными ряда других исследователей. Так, у мужчин по сравнению с женщинами было выявлено более сильное изменение ширины верхней височной, коллатеральной и поясной борозд [20]. Мужчины по сравнению с женщинами показали большее снижение толщины коры в средней и нижней лобной извилине [24]. У мужчин отмечается тенденция к большему снижению с возрастом объема серого вещества [25]. Более значительные возрастные изменения объема лобной доли у мужчин, чем у женщин были выявлены и другими исследователями [17].

Заключение. Речедвигательные поля мозга человека характеризуются левополушарной асимметрией цитоархитектонического строения, более четко выраженной у мужчин, чем у женщин. Проведенные исследования показали, что с возрастом наблюдается снижение межполушарных различий большинства изученных показателей. В старческом возрасте структурные изменения поля 44 у мужчин в большей степени выражены в левом полушарии мозга, у женщин симметрично в обоих полушариях, о чем свидетельствуют и данные других исследователей [19]. Полученные результаты согласуются с данными о том, что у здоровых людей пожилого и старческого возраста наблюдается уменьшение межполушарной когерентности во всех частотных диапазонах ЭЭГ, что указывает на снижение межполушарного взаимодействия [13, 15]. Литературные данные свидетельствуют о том, что структурные изменения мозга человека связаны не только с процессом старения, но обусловлены также влиянием и других эндогенных и экзогенных факторов [23]. В пожилом и старческом возрасте увеличивается число хронических заболеваний. Большое влияние на состояние ткани мозга оказывает стресс, снижение уровня половых гормонов. Гипертония и сердечнососудистая недостаточность является распространенными заболеваниями в старости. При выраженной гипоксии и ишемии мозга выявлены значительные изменения его структурных элементов и прежде всего нейронов [8, 9]. Мы полагаем, что выявленные нами возрастные изменения цитоархитектоники речедвигательной коры мозга мужчин и женщин обусловлено не только процессом старения, но и влиянием других факторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Агапов П.А., Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. Изменение плотности нейронов и глии поля 7 коры мозга мужчин в процессе старения // *Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия*

В пожилом возрасте как у мужчин, так и у женщин возрастные изменения строения речедвигательной зоны коры в большей степени выражены в правом полушарии мозга, чем в левом. В старческом возрасте в обеих популяциях в отдельных случаях наблюдается расширение латеральной, прецентральной и нижней лобной борозды, ограничивающих речедвигательную зону. В старческом возрасте как у мужчин, так и у женщин отмечается статистически значимые изменения величины ведущих цитоархитектонических характеристик коры речедвигательного поля 44: уменьшение толщины коры, площади профильного поля нейронов и их плотности, процента нейронов большой величины.

Наряду с общими закономерностями были выявлены ряд гендерных отличий возрастных изменений цитоархитектонических характеристик коры поля 44. В пожилом возрасте при сравнении со зрелым более значимые изменения морфометрических параметров цитоархитектоники поля 44 отмечаются у мужчин, чем у женщин, особенно в слое V.

- нейропластичность, нейродегенерация. *Материалы Второй Всероссийской научной конференции с международным участием*. 2016. С. 366-372.
2. Ананьев Б.Г. *Человек, как предмет познания*. Л.: Ленинград, 2011. 288 с.
 3. Боголепова И.Н., Кротенкова М.В., Малофеева Л.И., Коновалов Р.Н., Агапов П.А. *Архитектоника коры мозга человека. МРТ-атлас*. М.: Издательский холдинг «Атмосфера», 2010. 216 с.
 4. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. *Возрастные изменения цитоархитектоники речедвигательных полей лобной области коры мозга мужчин // Журнал анатомии и гистопатологии*. 2013. Т. 2. №1. С. 25–30.
 5. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. *Мозг мужчины, мозг женщины*. М.: Галлея-принт, 2014. 300 с.
 6. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. *Структурная асимметрия корковых формаций мозга человека*. М.: РУДН, 2003. 155 с.
 7. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И., Агапов П.А., Малофеева И.Г. *Цитоархитектоника префронтальной коры мозга женщин в пожилом возрасте // Морфологические ведомости*. 2016. №3(24). С. 9-14.
 8. Брюхов В.В., Куликова С.Н., Кротенкова М.В. и др. *Современные методы визуализации в патогенезе рассеянного склероза // Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2013. Т.7. №3. С. 47–53.
 9. Гулевская Т.С., Маргунов В.А. *Патологическая анатомия нарушений мозгового кровообращения при атеросклерозе и артериальной гипертензии*. М.: «Медицина», 2009. 296 с.
 10. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В. *Функциональная магнитно-резонансная томография // Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2011. Т. 5. №1. С. 30–39.
 11. Оржеховская Н.С. *Нейроно-глиальные отношения в коре лобной области большого мозга человека при нормальном и патологическом старении (болезни Альцгеймера) // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*. 1986. Т. ХСІ, №11. С. 5–12.
 12. Пирадов М.А., Танащян М.М., Кротенкова М.В., Брюхов В.В., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н. *Передовые технологии нейровизуализации // Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2015. Т. 9. №4. С. 11-18.
 13. Пономарева Н.В., Павлова О.Л. *Межполушарные отношения при нормальном старении и болезни Альцгеймера // Асимметрия*. 2007. Т. 1. №1. С. 74-76.
 14. Самойлов М.О. *Реакция нейронов мозга на гипоксию*. Л.: Наука, 1985. 190 с.
 15. Фокин В.М., Пономарева Н.В. *Энергетическая физиология мозга*. М.: Антидор, 2003. 288 с.
 16. Coffey C.E., Lucke J.F., Saxton J.A., et al. *Sex Differences in Brain Aging: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study // Arch. Neurol.* 1998. V. 55. P. 169–179.
 17. Cowell P.E., Turetsky B.I., Gur R.C., Grossman R.I., Shtasel D.L., Gur R.E. *Sex differences in aging of the human frontal and temporal lobes // J. Neurosci.* 1994. V. 14 P. 4748-4755.
 18. Crivello F., Tzourio-Mazoyer N., Tzourio C., Mazoyer B. *Longitudinal assessment of global and regional rate of grey matter atrophy in 1,172 healthy older adults: modulation by sex and age // PLoS One*. 2014. V.9. № 12. e114478. doi: 10.1371/journal.pone.0114478. eCollection 2014.
 19. Gur R.C., Mozley P.D., Resnick S.M., et al. *Gender differences in age effect on brain atrophy measured by magnetic resonance imaging // Proc Natl. Acad. Sci. USA* 1991. V. 88. P. 2845-2849.
 20. Kochunov P., Mangin J.F., Coyle T., Lancaster J., Thompson P., Riviere D. et al. *Age-related morphology trends of cortical sulci // Human Brain Mapping*. 2005. V. 26. P. 210-220.
 21. Lemaitre H., Crivello F., Grassiot B., et al. *Age- and sex-related effects on the neuroanatomy of healthy elderly // NeuroImage*. 2005. V. 26. I. 3. P. 900–911.
 22. Pakkenberg B., Gundersen H.J. *Neocortical neuron number in humans: Effect of sex and age // J. Comp. Neurol.* 1997. V. 384. P. 312–320.
 23. Raz N., Rodrigue K.M. *Differential aging of the brain: Patterns, cognitive correlates and modifiers // Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2006. V. 30. P. 730-748.
 24. Thambisetty M., Wan J., Carass A., An Y., Prince J.L. et al. *Longitudinal changes in cortical thickness associated with normal aging // NeuroImage*. 2010. V. 52. P. 1215-1223.
 25. Xu J., Kobayashi S., Yamaguchi S., et al. *Gender Effects on Age-Related Changes in Brain Structure // Neuroradiol.* 2000. V. 21. P. 112–118.

Авторская справка:

1. Боголепова Ирина Николаевна – заведующая лабораторией анатомии и архитектоники мозга ФГБНУ НЦН, академик РАН, 105064, г. Москва, переулок Обуха, д. 5, тел. 8(495)917-94-84; e-mail: bogolepovair@gmail.com.
2. Малофеева Лидия Ивановна – ведущий научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга ФГБНУ НЦН, кандидат биологических наук, 105064, г. Москва, переулок Обуха, д. 5, тел. 8(495)916-39-86.
3. Агапов Павел Алексеевич – научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга ФГБНУ НЦН, кандидат биологических наук, 105064, г. Москва, переулок Обуха, д. 5, тел. 8(495)916-39-86; e-mail: pavelscn@yandex.ru.
4. Малофеева Ирина Григорьевна – младший научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга ФГБНУ НЦН, 105064, г. Москва, переулок Обуха, д. 5, тел. 8(495)916-39-86; e-mail: mig.66@mail.ru.