

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© И.Н. Боголепова, Л.И. Малофеева, 2011
УДК 611.813.1

И.Н. Боголепова и Л.И. Малофеева

ГЕНДЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИТОАРХИТЕКТониКИ РЕЧЕДВИГАТЕЛЬНЫХ ПОЛЕЙ 44 И 45 МОЗГА

Лаборатория анатомии и архитектоники мозга (зав. — чл.-кор. РАМН проф. И.Н. Боголепова), Научный центр неврологии РАМН, Москва, e-mail: irina_bogolepova@mtu-net.ru

Исследована цитоархитектоника речедвигательных полей 44 и 45 мозга 5 взрослых мужчин и 5 женщин. На тотальных фронтальных срезах толщиной 20 мкм, окрашенных крезильным фиолетовым, была измерена толщина коры и ее слоев, определена площадь профильного поля нейронов слоев III и V, плотность расположения нейронов в слое III поля 45, плотность сателлитных глиоцитов и нейронов, окруженных ими. Как у мужчин, так и у женщин выявлена тенденция к левополушарной доминантности величины ряда цитоархитектонических признаков — толщины ассоциативного слоя III, размеров профильного поля нейронов этого слоя, увеличения в нем доли нейронов крупного и сверхкрупного размера. Межполушарные различия этих показателей более выражены у мужчин, чем у женщин. У мужчин и женщин выявлены ряд признаков полового диморфизма. Наиболее значимыми из них являются увеличение у женщин по сравнению с мужчинами плотности расположения нейронов, сателлитных глиоцитов и нейронов, окруженных ими.

Ключевые слова: кора большого мозга, цитоархитектоника, полушарие мозга, половой диморфизм

Известно, что центр речи человека располагается в левом полушарии в нижней лобной извилине. Накоплен большой клинический и психологический материал, свидетельствующий о гендерных различиях в речевом поведении женщин и мужчин, которые выражаются в фонетических, семантических, грамматических особенностях, а также психологических феноменах. Речь женщины и мужчины различается по скорости произношения предложения, по богатству словарного запаса, по использованию вежливых форм, уменьшительных суффиксов и т.д. Женщины, как правило, более эмоциональны при вербальном общении, чем мужчины. Исследования также показали, что, разговаривая, женщина может выполнять еще ряд дел, в то время как при разговоре мужчина чаще всего не отвлекается на выполнение какого-либо другого действия [2, 7]. Эти и многие другие гендерные различия в поведении мужчин и женщин побудили нас к исследованию структурной организации их мозга для поиска морфологических предпосылок особенностей когнитивной психологии мужчин и женщин.

Цель данной работы — изучение цитоархитектоники речедвигательных полей 44 и 45 мозга у мужчин и женщин.

Материал и методы. Исследование проведено на сериях тотальных фронтальных срезов мозга толщиной 20 мкм, окрашенных крезильным фиолетовым. Материал получен из коллекции лаборатории анатомии и архитектоники мозга Научного центра неврологии РАМН. Исследованы оба полушария мозга у 5 мужчин и 5 женщин в возрасте 19–59 лет, не страдавших при жизни неврологиче-

скими и психическими заболеваниями (правши). Границы полей 44 и 45 определяли на каждом 40-м срезе полушария мозга под микроскопом МБС-9 (об. 4, ок. 7). С помощью системы оптико-электронного ввода и анализа изображений «ДиаМорф Cito-W» (Россия) в слоях III и V полей 44 и 45 в идентичных местах левого и правого полушария мозга в каждом случае измеряли площадь профильного поля 100 нейронов (об. 100, ок. 10). Под микроскопом Аxcioskop (Zeiss, Германия) (об. 90, ок. 7) в 30 полях зрения в каждом случае и образовании с помощью окулярного микрометра измеряли толщину коры и ее слоев. В 0,001 мм³ вещества мозга, с учетом поправки по Аберкромби, в слое III³ поля 45 вычисляли плотность расположения всех нейронов, сателлитных глиоцитов и нейронов, окруженных ими. Сателлитными глиоцитами считали такие, которые были расположены от тел нейронов или начальных отделов дендритов на расстоянии не более диаметра ядра глиоцита. Обработка количественных данных проведена А.Д. Антюховым с использованием программы «Статистика-6». Различия оценивали по t-критерию Стьюдента, парному тесту Вилкоксона, U-критерию Манна—Уитни. Значимыми различия считали при P<0,05. Величину гендерных различий изученных параметров между мужчинами и женщинами определяли в каждом полушарии мозга по формуле [(Мж-Мм)/((Мж+Мм)/2)]×100%, где Мж — среднее значение параметра в выборке у женщин; Мм — среднее значение параметра в выборке у мужчин.

Результаты исследования. Речедвигательный центр мозга человека располагается в лобной области и состоит из двух корковых полей — поля 44, локализованного на оперкулярной части нижней лобной извилины, и поля 45, расположенного на треугольной части этой извилины (рис. 1).

Поле 45 — area triangularis — характеризуется довольно толстой корой, хорошо выражен-

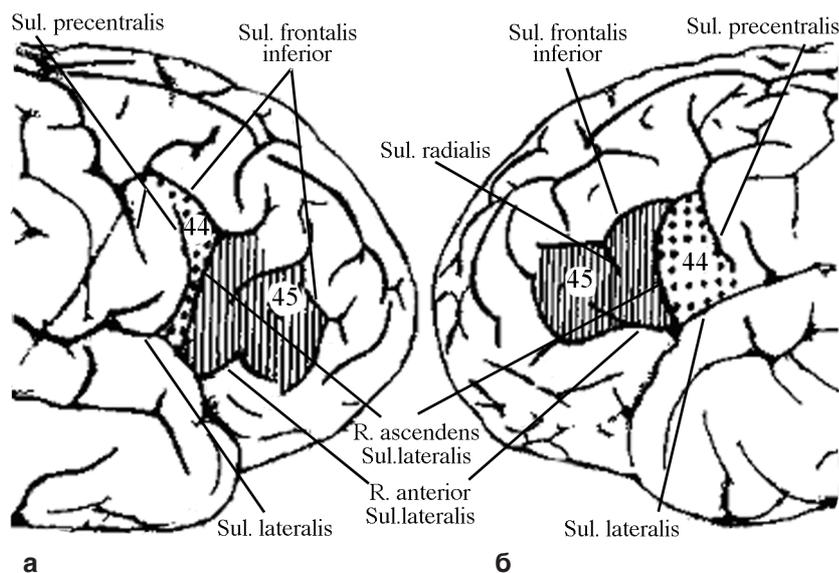


Рис. 1. Топография корковых полей 44 и 45 в правом (а) и левом (б) полушариях мозга человека (А-345, женщина).

ными цитоархитектоническими слоями III и V, а также наличием хорошо развитых слоев II и IV, особенно цитоархитектонического слоя IV. В слое III³ располагается большое число крупных пирамидных нейронов. Для этого поля характерна тонкая радиарная исчерченность. Поле 44 — *area opercularis* — отличается от поля 45 более слабым развитием слоев II и IV. Поле 44 так же, как и поле 45, характеризуется толстой корой, хорошо выраженной радиарной исчерченностью. В слое III³ поля 44 находится много крупных пирамидных нейронов.

Как у мужчин, так и у женщин отмечается значительная вариабельность ведущих цитоархитектонических признаков речедвигательных структур. Наряду с этим, в строении полей 44 и 45 выявлены ряд признаков полового диморфизма. Так, у мужчин по сравнению с женщинами в левом полушарии мозга отмечается тенденция к увеличению толщины коры и ассоциативного слоя III (рис. 2). В правом полушарии мозга большая величина этих показателей выявлена у женщин. Толщина коры поля 45 в правом полушарии равна у женщин $2,92 \pm 0,06$ мм, а у мужчин — $2,76 \pm 0,09$ мм.

Аналогичная закономерность выявлена и при изучении профильного поля нейронов. В левом полушарии размер нейронов слоя III поля 44 был незначимо ($P > 0,05$) больше у мужчин (на 3,1%). В правом полушарии мозга нейроны данного слоя были значимо крупнее у женщин на 15,8% ($P = 0,003$). В правом полушарии мозга у женщин выявлена большая доля нейронов крупного и сверхкрупного размера. Так, в поле 45 в слое III они составляли у женщин 24%, у мужчин — 15%. Данные морфологических исследований показали, что коэффициент асимметрии величины

профильного поля нейронов речедвигательных полей значительно больше у мужчин, чем у женщин. Наибольшие различия этого показателя выявлены в слое III поля 44. У мужчин он равен 25,4%, у женщин — 8,8%.

При исследовании плотности расположения нейронов в цитоархитектонических слоях речедвигательных полей 44 и 45 мозга у мужчин и женщин обнаружено, что этот показатель в слое III³ поля

45 в левом полушарии мозга варьировал у различных мужчин от 15,0 до 23,0 и в среднем составлял 20 ± 6 нейронов в $0,001$ мм³ вещества мозга. У женщин плотность расположения нейронов колебалась от 19,5 до 25,5, а в среднем в группе была 22 ± 5 . В левом полушарии мозга плотность расположения нейронов в слое III поля 45 у женщин была на 11,3% больше, чем у мужчин ($P = 0,003$).

В правом полушарии мозга плотность расположения нейронов в слое III поля 45 различалась у мужчин и женщин в меньшей степени, чем в левом. В группе мужчин она варьировала от 15,8 до 23,8; у женщин — от 19,3 до 24,8. В среднем в группе мужчин она была равна 21 ± 5 ; в группе женщин — 22 ± 5 . Различия этого показателя у мужчин и женщин были незначимы.

Плотность расположения нейронов, окруженных сателлитными глиоцитами, в слое III поля 45 различалась у мужчин и женщин как в левом, так и в правом полушарии мозга. В группе женщин этот показатель был в обоих полушариях мозга значимо выше ($P < 0,05$), чем у мужчин (таблица).

Та же закономерность получена и при анализе доли нейронов, окруженных сателлитными глиоцитами. У мужчин средняя величина данного показателя составила в левом полушарии мозга 55,8%, в правом — 53,1%. У женщин доля нейронов, окруженных сателлитными глиоцитами, в обоих полушариях мозга значимо выше, чем у мужчин, и в левом полушарии мозга составила 64,0%, в правом — 59,1%.

Значительные гендерные различия были обнаружены при подсчете плотности расположения сателлитных глиоцитов. Установлено, что этот показатель в слое III поля 45 также больше у женщин, чем у мужчин, как в левом (на 37,0%),

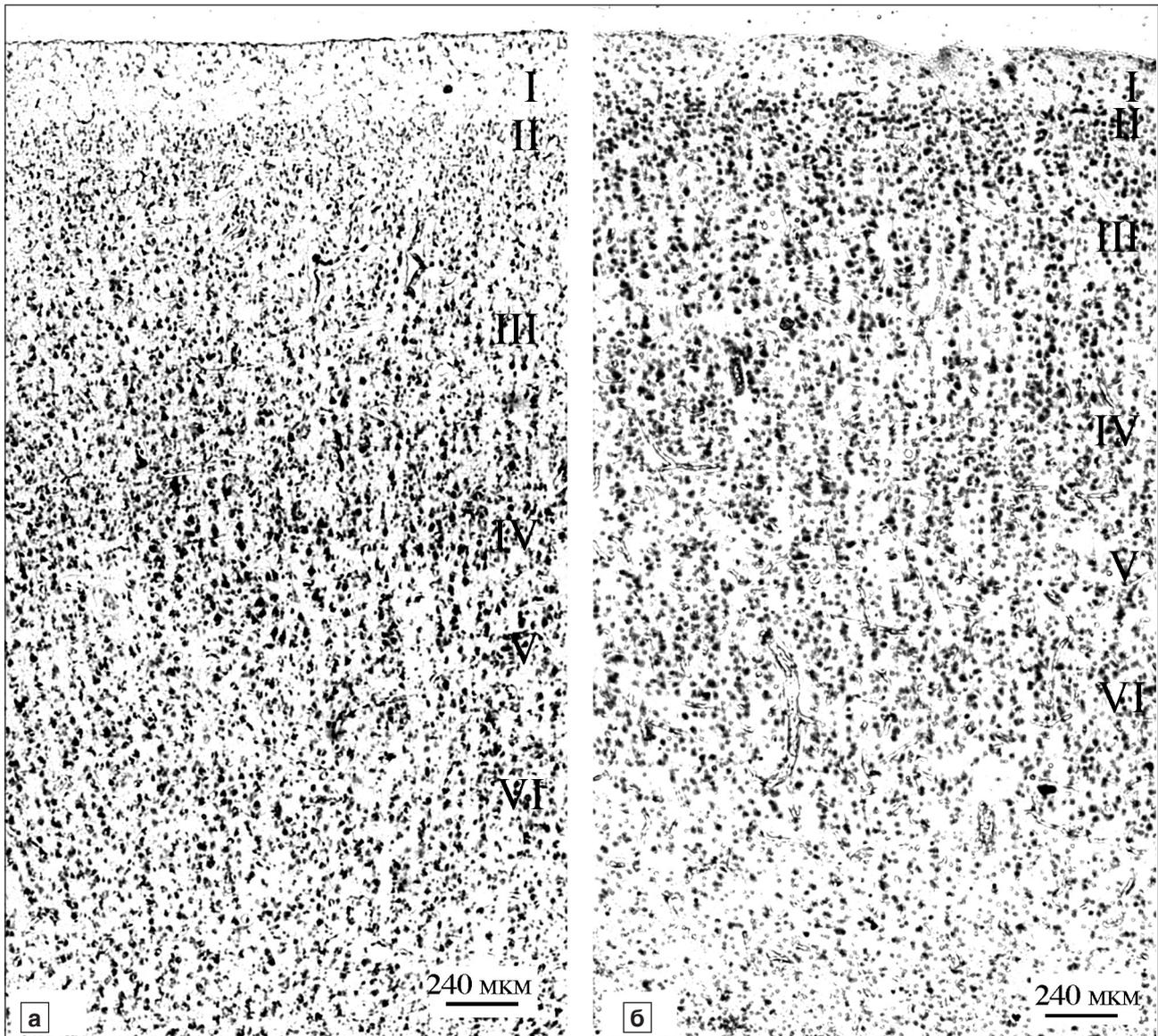


Рис. 2. Цитоархитектоника коркового поля 44 в левом полушарии мозга человека.

а — у мужчины (А-27); б — у женщины (А-7). I-VI — слои коры. Окраска кризалиновым фиолетовым.

так и в правом полушарии мозга (на 24,6%). В левом полушарии мозга у мужчин он равен 16 ± 5 ; у женщин — 24 ± 7 ; в правом полушарии — 16 ± 6 и 21 ± 6 соответственно. Различия между этими показателями у мужчин и женщин статистически значимы ($P < 0,001$).

Следует также отметить, что между мужчинами и женщинами имеются различия в количестве глиоцитов, расположенных вокруг одного нейрона. Так, доля нейронов с тремя и четырьмя сателлитными глиоцитами больше у женщин, чем у мужчин, особенно в левом полушарии мозга. У мужчин они составляют как в левом, так и в правом полушарии мозга 9%, у женщин в левом

полушарии мозга их в 2 раза больше — 18%, в правом полушарии — 14%.

Морфометрические исследования нейроно-глиальных соотношений свидетельствуют о наличии гендерных различий в величине нейроно-перинеуроглиального индекса, который показывает, сколько в среднем сателлитных глиоцитов приходится на 1 нейрон. Установлено, что в среднем в группе женщин он равен в левом полушарии 1,74; в правом — 1,66. У мужчин нейроно-перинеурональный индекс меньше и равен 1,54 в левом и 1,52 — в правом полушарии мозга.

Обсуждение полученных данных. Таким образом, при количественных исследованиях цитоархитектоники речедвигательных полей

**Плотность расположения нейронов, окруженных сателлитными глиоцитами, в слое III поля 45 мозга человека
(в 0,001 мм³)**

Пол	Шифр мозга	Полушарие	M	Med	Min	Max	НК	ВК	СКО	Значение P
Женщины	A-239	Левое	16,8	17,5	10,0	25,0	15,0	20,0	3,2	0,339
		Правое	15,8	15,0	10,0	22,5	12,5	17,5	2,7	
	A-7	Левое	15,0*	15,0	10,0	20,0	12,5	17,5	2,7	0,001
		Правое	11,5	12,5	7,5	17,5	10,0	12,5	2,5	
	A-1	Левое	13,3	12,5	7,5	17,5	10,0	15,0	2,7	0,374
		Правое	12,5	12,5	7,5	22,5	10,0	15,0	3,2	
	A-236	Левое	13,3	15,0	7,5	17,5	10,0	15,0	3,2	0,696
		Правое	13,7	15,0	10,0	17,5	12,5	15,0	2,2	
A-46	Левое	11,5	12,5	7,5	15,0	10,0	15,0	2,5	0,448	
	Правое	11,0	10,0	7,5	15,0	10,0	12,5	2,2		
Мужчины	A-20	Левое	11,8	12,5	5,0	17,5	10,0	12,5	2,7	0,930
		Правое	11,8	12,5	7,5	15,0	10,0	12,5	2,2	
	A-247	Левое	10,3	10,0	7,5	12,5	10,0	12,5	1,8	0,094
		Правое	11,3	10,0	7,5	15,0	10,0	12,5	2,2	
	A-27	Левое	9,0	10,0	5,0	12,5	7,5	10,0	2,0	0,631
		Правое	8,8	10,0	5,0	12,5	7,5	10,0	2,2	
	A-24	Левое	11,3	10,0	5,0	17,5	7,5	15,0	3,5	0,810
		Правое	11,8	10,0	7,5	20,0	10,0	12,5	3,5	
A-60	Левое	11,5	11,3	5,0	17,5	10,0	15,0	3,0	0,627	
	Правое	11,0	10,0	7,5	17,5	10,0	12,5	2,5		
Женщины (n=5)		Левое	14,0**	15,0	7,5	25,0	12,5	17,5	3,4	0,372
		Правое	12,9**	12,5	7,5	22,5	10,0	15,0	3,3	
Мужчины (n=5)		Левое	10,8	10,0	5,0	17,5	7,5	12,5	2,9	0,692
		Правое	10,9	10,0	5,0	20,0	10,0	12,5	2,9	

Примечание. M — среднее значение в выборке; Med — медиана выборки; НК — нижний квартиль выборки; ВК — верхний квартиль выборки; СКО — среднее квадратическое отклонение.

* Различия по сравнению с показателями в правом полушарии мозга значимы при $P < 0,05$ (парный тест Вилкоксона).

** Различия по сравнению с показателями у мужчин значимы при $P < 0,05$ (U-критерий Манна—Уитни).

44 и 45 коры мозга у мужчин и женщин выявлен ряд гендерных различий. Основными из них являются обнаруженная у женщин в правом полушарии мозга бóльшая толщина коры этих полей и бóльшая величина профильного поля нейронов ассоциативного слоя III.

К важному гендерному признаку, различающему цитоархитектоническое строение речедвигательных полей 44 и 45 мозга у мужчин и женщин, относится также величина плотности расположения нейронов в отдельных цитоархитектонических слоях коры. Наибольшие статистически значимые различия плотности расположения нейронов были обнаружены нами в слое III коркового поля 44 у женщин по сравнению с таковой у мужчин, где величина этого показателя в коре мозга женщин значительно выше. Как известно, цито-

архитектонический слой III состоит в основном из нейронов, формирующих длинные межполушарные и внутрикоровые связи, и значительная густоклеточность этого слоя в речедвигательных полях мозга у женщин может свидетельствовать о более интенсивном развитии у них межкорковых и межполушарных связей. Густоклеточность корковых структур мозга у женщин отмечали и другие исследователи. Так, например, у женщин была установлена бóльшая плотность расположения нейронов в задней височной коре в поле TA1 [15]. Можно предположить, что выявленная бóльшая плотность расположения нейронов в слое III речедвигательных структур мозга у женщин в какой-то степени обусловлена тем, что центр речи в мозгу у женщин связан с бóльшим числом других корковых структур и это, возмож-

но, позволяет женщинам при разговоре выполнять одновременно и другие действия в отличие от мужчин, для поведения которых более характерно выполнение одного вида деятельности. Возможно, что большая плотность расположения клеток в структурах мозга у женщин обусловлена меньшей (по сравнению с мужчинами) массой мозга, что наблюдается в исследованных нами выборках: масса мозга у мужчин в среднем по выборке равна 1359 г, у женщин — 1283 г.

Установлены гендерные различия плотности расположения глиоцитов в речедвигательных полях мозга у мужчин и женщин. Выявлено большее количество перинеурональных глиоцитов и нейронов, окруженных ими, в корковом поле 45 мозга у женщин по сравнению с таковым в аналогичном поле мозга у мужчин. Глиоциты выполняют несколько важных функций: трофическую, защитную, опорную, изолирующую. С деятельностью глиоцитов связан фагоцитоз. В последние десятилетия в литературе появляется все больше данных, указывающих на то, что глиоциты способны изменять нейронные сигналы на уровне синаптических контактов, а также влиять на образование синапсов. Глия является источником энергии для нейронов, обуславливает сохранение следового процесса при кратковременной памяти [6, 8], нейроно-глиальное соотношение рассматривается как один из показателей активности нейронов [1, 3–5]. Значительное увеличение количества перинеурональной глии и возрастание показателя плотности расположения глиоцитов, окружающих нейрон, по-видимому, коррелируют с большей возможностью включения компенсаторных механизмов у женщин при нарушении речевых функций [11].

Морфометрические исследования выявили в речедвигательных структурах мозга как у мужчин, так и у женщин тенденцию к левополушарной доминантности величины ряда цитоархитектонических признаков — толщины ассоциативного слоя III, величины профильного поля нейронов этого слоя, увеличения в нем доли нейронов крупного и сверхкрупного размера.

Проведенные нами ранее исследования также показали, что объем зоны Брока был больше в левом полушарии как у мужчин, так и у женщин. Левополушарная асимметрия была установлена и в отношении общего числа нейронов [14]. Преобладание объема треугольной и оперкулярной части зоны Брока в левом полушарии мозга как у мужчин, так и у женщин было выявлено и при использовании магнитно-резонансного метода [9, 10]. Межполушарные различия этих показателей более выражены у мужчин, чем у

женщин. Ряд других исследователей также выдвигали предположение, что мозг мужчины более латерализован по сравнению с мозгом женщин [12, 13].

Морфологические данные о более симметричном строении центра речи у женщин согласуются с наблюдениями, показавшими, что женщины для формирования речи используют как левое, так и правое полушарие. У мужчин отмечается более асимметричное строение центра речи, что, по-видимому, связано с тем, что для речевых функций мужчины больше используют левое полушарие.

Можно предположить, что особенности строения мозга у мужчин и женщин, различия в цитоархитектонической организации корковых формаций центра речи коррелируют с различиями в когнитивных способностях мужчин и женщин и особенно в их речевых функциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровская М.М., Бразовская Ф.А. и Гейнисман Ю.А. Морфологическая перестройка нейроглии в условиях усиленного функционирования нервных центров. Докл. АН СССР, 1968, т. 180, вып. 3, с. 719–725.
2. Бурлакова М.К. Речь и афазия. М., Медицина, 1977.
3. Мац В.Н. Нейроно-глиальные соотношения в неокортексе при обучении. М., Наука, 1994.
4. Певзнер Л.З. Функциональная биохимия нейроглии. М., Наука, 1972.
5. Ройтбак А.И. Глия и её роль в нервной деятельности. СПб., Наука, 1993.
6. Чайлахян Л.М. Возможная роль глиальных клеток в обеспечении нейронов АТФ. В кн.: Функция нейроглии. Тбилиси, Мецниереба, 1987, с. 15–20.
7. Чекалина А.А. Гендерная психология. М., Ось, 2009.
8. Fields R.D. and Stevens-Graham B. New insights into neuron-glia communication. *Science*, 2002, v. 298, p. 556–562.
9. Foundas A.L., Eure K.F., Luevano L.F. and Weinberger D.R. MRI asymmetries of Broca's area: the pars triangularis and pars opercularis. *Brain Lang.*, 1998, v. 64, p. 282–296.
10. Foundas A.L., Weisberg A., Browning C.A. and Weinberger D.R. Morphology of the frontal operculum: A volumetric magnetic resonance imaging study of the pars triangularis. *J. Neuroimaging*, 2001, v. 11, p. 153–159.
11. Kimura D. Are men's and women's brains really different? *Canad. Psychol.*, 1987, v. 28, p. 133–147.
12. McGlone J. Sex difference in the human brain asymmetry: a critical survey. *Behav. Brain Sci.*, 1980, v. 3, № 2, p. 215–263.
13. Shaywitz B.A., Shaywitz S.E., Pugh K.R. et al. Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 1995, v. 373, № 6515, p. 607–609.
14. Uylings H.B.M., Malofeeva L.I., Bogolepova I.N. et al. No postnatal doubling of number of neurons in human Broca's areas (Brodmann areas 44 and 45)? A stereological study. *Neuroscience*, 2005, v. 136, p. 715–728.

15. Witelson S.F., Glezer I.I. and Kigar D.L. Women have greater density of neurons in posterior temporal cortex. *J. Neurosci.*, 1995, v. 15, p. 3418–3428.

Поступила в редакцию 19.05.2011

GENDER-RELATED PECULIARITIES OF CYTO-ARCHITECTURE OF SPEECH-MOTOR FIELDS 44 AND 45

I.N. Bogolepova and L.I. Malofeyeva

Cytoarchitecture of brain speech-motor fields 44 and 45 was studied in 5 adult men and 5 women. The width of the cortex and its layers, the profile field area of layer III and V neurons, the numerical density of layer III neurons in area 45, and the numerical density of satellite gliocytes and neurons surrounded by them,

were measured in 20 μm thick total frontal sections, stained with cresyl violet. Both in men and women, the tendency for the left hemisphere dominance was detected for the values of the number of the cytoarchitectural indices, including the width of the associative layer III, the value of the profile field area of the neurons of this layer, the increased frequency of large and super large neurons. Interhemispheric differences of these indices were more expressed in men as compared to women. Several signs of sexual dimorphism were found between men and women. The most significant of these were the increase of neuronal numerical density and of the density of satellite gliocytes and neurons surrounded by them, found in women.

Key words: *cerebral cortex, cytoarchitecture, hemisphere, sexual dimorphism.*

Laboratory of Brain Anatomy and Architectonics, RAMS Scientific Center of Neurology, Moscow

© Коллектив авторов, 2011
УДК 612.823.5:612.65:636.8

Н.С. Меркульева, А.А. Михалкин, Н.И. Никитина и Ф.Н. Макаров

РАЗВИТИЕ СВЯЗЕЙ ПЕРВИЧНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ С ЦЕНТРОМ АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ: РОЛЬ ЗРИТЕЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

Лаборатория нейроморфологии (зав. — проф. Ф.Н. Макаров), Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, e-mail: mer-natalia@yandex.ru

С целью изучения пластичности зрительных корково-корковых связей в онтогенезе при экспериментальном изменении зрительного окружения (стимуляция мелькающим светом) проведено исследование развития аксональных связей между первичной зрительной корой (поле 17) и зрительным центром анализа движения у кошки. Методом, основанным на ретроградном аксональном транспорте с использованием маркера пероксидазы хрена, исследовано распределение в поле 17 инициальных нейронов, посылающих афферентные волокна к заднемедиальной области латеральной супрасильвиевой борозды, у 16 котят в возрасте 5 и 12–14 нед, выросших в условиях нормального зрительного окружения или стимулированных светом, мелькающим с частотой 15 Гц. Показано, что сеансовая стимуляция мелькающим светом приводит к нарушению нормального развития упорядоченной организации связей между этими зрительными областями: снижению площади мечения и числа инициальных нейронов в поле 17. Полученные данные проясняют структурные основы корковых механизмов, лежащих в основе нарушения обработки информации о движении зрительных объектов у стимулируемых котят.

Ключевые слова: *зрительная кора, корково-корковые связи, ритмическая световая стимуляция, онтогенез*

Одним из фундаментальных понятий современной нейробиологии является пластичность ЦНС, или её способность к адаптивным структурно-функциональным перестройкам. Пластичность — неотъемлемое свойство развивающегося мозга; это развитие определяется совокупностью воздействия как внутренних, так и внешних факторов. Влияние окружающей среды особо важно для развивающихся сенсорных систем. У человека, как и у большинства приматов, а также многих представителей отряда хищных (*Carnivora*), доминирующим сенсорным анализатором является зри-

тельная система. Многочисленные исследования показали, что изменение зрительного опыта в раннем постнатальном периоде онтогенеза приводит к сдвигам, зачастую необратимым, в функционировании зрительной системы [9, 33]; особенно уязвимой оказывается зрительная кора. Наибольшая пластичность зрительной коры наблюдается во время так называемого критического периода раннего постнатального онтогенеза, границы и длительность которого зависят от вида животного и от конкретно рассматриваемой функции зрения.