

УДК 612.82

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-1-35-44

АКТИВНОСТЬ МОЗГОВЫХ СТРУКТУР У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И ОТМЕРИВАНИИ КОРОТКОГО ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ

Бушов Ю. В.¹, Ушаков В. Л.^{2,3,4}, Светлик М. В.¹, Карташов С. И.⁵, Орлов В. А.⁵

¹*Национальный Исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

²*Институт перспективных исследований мозга, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*НИЯУ МИФИ, Москва, Россия*

⁴*ГБУЗ «Психиатрическая клиническая больница №1 им. Н. А. Алексеева» ДЗМ, Москва, Россия*

⁵*Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт», Москва, Россия*
E-mail: bushov1945@mail.ru

Методом фМРТ исследовали активность мозговых структур у мужчин и женщин при наблюдении и отмеривании короткого интервала времени 0,8 с. Установлено, что наблюдение за отмериванием интервала времени сопровождается у мужчин и женщин активацией не только тех зон коры, где расположены «двигательные» зеркальные нейроны, но и других зон ассоциативной, сенсорной и двигательной коры, а также мозжечка. Отмеривание короткого интервала времени левой или правой рукой сопровождается у мужчин и женщин активацией частично тех же мозговых структур, что и при наблюдении за отмериванием, но они активируются значительно сильнее. Отмеривание короткого интервала времени левой рукой сопровождается более сильной активацией «заинтересованных» мозговых структур, чем при отмеривании правой рукой. Обнаружены гендерные различия активации мозговых структур при наблюдении и отмеривании короткого интервала времени.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, наблюдение и отмеривание короткого интервала времени, интерпретация действий и намерений.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия пристальное внимание исследователей привлекают, так называемые зеркальные нейроны, которым отводится важная роль в социальном поведении человека [1]. Согласно популярной в настоящее время гипотезе [2], зеркальные нейроны могут служить нейрональной основой для интерпретации действий, подражательного обучения и имитации поведения других людей. По мнению исследователей [3], это достигается путем копирования мозгом наблюдателя действий другого человека посредством актуализации соответствующих двигательных программ. Однако не все исследователи разделяют эту точку зрения. В частности, Грег Хикок [4] на основе анализа имеющихся данных приходит к выводу, что «ранняя гипотеза о том, что эти клетки лежат в основе понимания действия, является интересной и, на первый взгляд, разумной идеей. Однако, несмотря на широкое признание, это предположение никогда не

было адекватно проверено у обезьян, а у людей есть эмпирические данные против неё». Владимир Косоногов [5] видит другое противоречие. По мнению автора, сторонники теории зеркальных нейронов в качестве нейрофизиологической основы понимания действий постулируют, что активность зеркальных нейронов отражает цели чужих действий, потому что они активируются, если наблюдаемое действие целенаправленно. Однако остается неясным: откуда они (зеркальные нейроны) «знают», что определенное действие целенаправленно? На какой стадии их активации они обнаруживают цель движения или её отсутствие? Автор считает, что система зеркальных нейронов может быть активирована только после того, как цель наблюдаемого действия определяется некоторыми другими структурами мозга [5]. С возражениями против того, что зеркальные нейроны ответственны за понимание намерений других людей, выступили и некоторые нейрофилософы. В частности, Патриция Чёрчлэнд [6] считает, что понимание намерений другого человека осуществляется на уровне более сложной нейронной активности, чем уровень отдельных нейронов.

Таким образом, вопрос об участии зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений требует дополнительного изучения.

Целью настоящего исследования явилось изучение роли зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений. В задачу исследований входило: изучить активность «двигательных» зеркальных нейронов у мужчин и женщин при наблюдении и отмеривании короткого интервала времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях участвовали добровольцы – 20 мужчин и 20 женщин в возрасте от 19 до 27 лет, учащиеся вузов. От каждого испытуемого было получено согласие на участие в экспериментах, также были заполнены форма добровольного информированного согласия, опросный лист и согласие на обработку персональных данных. Разрешение на проведение исследований на людях было предоставлено Этической Комиссией НИЦ Курчатовский институт. В ходе предварительного обследования изучали особенности латеральной организации мозга с определением ведущей руки. Для выявления ведущей руки использовалась анкета Аннет. По результатам анкетирования подсчитывали показатель мануального предпочтения (ПМП). В качестве модели сенсомоторной деятельности испытуемым предлагали деятельность, связанную с наблюдением и отмериванием интервала 0,8 с. Исследование включало несколько серий экспериментов. В первой серии (Наблюдение за отмериванием интервала времени) испытуемому демонстрируют видеоролик с изображением неподвижной руки оператора (контроль 1). Затем видеоролик с изображением руки того же оператора, которой он отмеривает интервал 0,8 с паузой между двумя нажатиями на клавишу “Пробел”. Во второй серии (Отмеривание интервала времени) испытуемому на экране демонстрируют интервал времени 0,8 с который он должен отмерить в начале левой рукой, затем правой рукой. После этого испытуемому, находящемуся в состоянии оперативного покоя, предлагают фиксировать взор на белый крест в центре экрана (контроль 2).

Результаты структурной и функциональной МРТ получены в НБИКС-технологий НИЦ «Курчатовский институт» на томографе SIEMENS Magnetom Verio 3 Tesla. Для получения структурного изображения мозга с высоким разрешением (T1-взвешенное изображение) были использованы следующие параметры последовательности быстрого градиентного эхо (rapid gradient echo): 176 срезов, TR (время повторения) = 1900 мс, TE (время эхо) = 2.19 мс, толщина среза = 1 мм, угол поворота = 90, время инверсии = 900 мс, поле наблюдения = 250x218 мм. Для получения данных фМРТ использованы следующие параметры: TR = 2 секунды, TE = 20 миллисекунд, количество срезов – 42, размер воксела – 2x2x2 мм. Дополнительно были получены данные для уменьшения пространственных искажений эхо-планарных изображений.

Все фМРТ-данные были предварительно обработаны с помощью пакета SPM8. В рамках каждой из парадигм были выполнены попарные сравнения на основании статистики Стьюдента и получены индивидуальные и групповые карты с уровнем значимости $p < 0.001$. Все полученные статистические карты наносились на шаблонное T-1 изображение и производилась анатомическая привязка «активных» вокселей к атласу CONN.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение латеральной организации мозга испытуемых показало, что среди 20 мужчин преобладают «правши» (18 человек), имеются «левши» (2 человека) и отсутствуют «амбидекстры». Среди 20 женщин также преобладают «правши» (17 человек), имеется «левша» и 2 «амбидекстра».

Сравнение условия просмотра видеоролика с изображением руки оператора, которой он отмеривает интервал 0,8 с с просмотром видеоролика с изображением неподвижной руки оператора позволило обнаружить у мужчин активацию двигательных, сенсорных, ассоциативных зон коры и, в частности, латеральной затылочной коры, справа и слева, средней височной извилины, справа и слева, прецентральной извилины, справа и слева, височной площадки справа и слева, затылочной веретеновидной извилины, справа, средней лобной извилины, справа и некоторых других зон коры. У женщин в тех же условиях обнаружена активация прецентральной извилины, справа и слева, латеральной затылочной коры, справа и слева, дополнительной моторной коры, справа и слева, верхней лобной извилины, справа и слева, средней височной извилины, справа и слева, парасингулярной извилины, справа и слева, постцентральной извилины, справа и слева, а также других зон коры и некоторых зон мозжечка.

Гендерные различия проявились в том, что у женщин при наблюдении за отмериванием интервала 0,8 с активруется и большее количество «заинтересованных» мозговых структур и они активируются сильнее. Так, если у мужчин количество активированных вокселей в области латеральной затылочной коры справа и слева составляет соответственно 81 и 51 вокселей, то у женщин – соответственно 332 и 292 вокселей.

Сравнение условия отмеривания интервала времени 0,8 с правой или левой рукой с состоянием оперативного покоя с фиксацией взора на белый крест в центре

экрана позволило обнаружить у мужчин активацию лобных, височных, теменных и затылочных зон коры, а также ряда подкорковых структур (мозжечок и др.). Часть из них активируются и при наблюдении за отмериванием того же интервала времени. Среди них: средняя височная извилина, справа и слева, прецентральная извилина, справа и слева, височная площадка, справа и слева, средняя лобная извилина, справа, центральная оперкулярная кора, справа, кора теменной покрышки, справа. Оказалось, что перечисленные структуры сильнее активируются при отмеривании заданного интервала времени левой рукой. Вероятно, это связано с тем, что большинство обследованных мужчин являются «правшами» и отмеривание интервала времени левой рукой для них представляет более сложную задачу, которая требует вовлечения дополнительных «мозговых ресурсов».

Кроме того, ряд областей мозга (латеральная затылочная кора, затылочная веретенообразная извилина), которые активируются при наблюдении за отмериванием, не активируются при отмеривании того же интервала левой и правой рукой.

Активность мозговых структур у мужчин при наблюдении и отмеривании интервала 0,8 с левой и правой рукой иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1
Активность мозговых структур у мужчин при наблюдении и отмеривании интервала времени 0,8 с левой (Л) и правой (П) рукой, уровень значимости $p < 0,001$

№ п.п.	Анатомический регион	Наблюдение	Отмеривание Л/П
1.	LOC r (Lateral Occipital Cortex, inferior division Right)	81	0/0
2.	toMTG r (Middle Temporal Gyrus, temporooccipital part Right)	64	109/0
3.	LOC l (Lateral Occipital Cortex, inferior division Left)	51	0/0
4.	PreCG r (Precentral Gyrus Right)	53	1319/21
5.	PreCG l (Precentral Gyrus Left)	44	231/290
6.	PT r (Planum Temporale Right)	42	177/0
7.	PO r (Parietal Operculum Cortex Right)	39	268/0
8.	OFusG r (Occipital Fusiform Gyrus Right)	36	0/0
9.	toMTG l (Middle Temporal Gyrus, temporooccipital part Left)	27	18/0
10.	MidFG r (Middle Frontal Gyrus Right)	29	506/16
11.	PT l (Planum Temporale Left)	22	45/0
12.	CO r (Central Opercular Cortex Right)	19	128/0

Примечание: в таблице указано количество активирующихся вокселей в соответствующем анатомическом регионе при наблюдении и отмеривании интервала 0,8 с.

Сравнение активности мозговых структур у женщин при отмеривании интервала 0,8 с левой и правой рукой с состоянием оперативного покоя с фиксацией взора на белый крест в центре экрана позволило обнаружить активацию сенсорных, двигательных и ассоциативных зон коры, а также ряда подкорковых структур. Часть этих структур активируются и при наблюдении за отмериванием того же интервала времени. Среди них: прецентральная извилина, справа и слева, дополнительная моторная кора, справа и слева, верхняя лобная извилина, справа и слева, средняя височная извилина, справа, парасингулярная извилина, справа и слева, постцентральная извилина, слева, средняя лобная извилина, справа и слева и некоторых других зон коры, а также мозжечка. Оказалось, что активность одних и тех же мозговых структур у мужчин и женщин существенно выше при отмеривании интервала времени, чем при наблюдении за отмериванием того же интервала времени. Кроме того, у женщин, как и у мужчин, активность «заинтересованных» структур оказалась существенно выше при отмеривании интервала 0.8 с левой рукой. Вероятно, это объясняется тем, что среди женщин преобладают «правши». Поэтому отмеривание интервала времени левой рукой для них представляет более сложную задачу, которая требует больше «мозговых ресурсов».

Активность мозговых структур у женщин при наблюдении и отмеривании интервала 0,8 с левой и правой рукой иллюстрирует таблица 2.

Таблица 2

Активность мозговых структур у женщин при наблюдении и отмеривании интервала 0,8 с левой (Л) и правой (П) рукой, уровень значимости $p < 0,001$

№ п.п.	Анатомический регион	Наблюдение	Отмеривание Л/П
1.	PreCG l (Precentral Gyrus Left)	517	409/376
2.	PreCG r (Precentral Gyrus Right)	113	818/41
3.	SMA r (Juxtapositional Lobule Cortex -formerly Supplementary Motor Cortex- Right)	80	358/37
4.	SMA L(Juxtapositional Lobule Cortex -formerly Supplementary Motor Cortex- Left)	76	338/183
5.	SFG r (Superior Frontal Gyrus Right)	75	163/3
6.	toMTG r (Middle Temporal Gyrus, temporooccipital part Right)	64	9/0
7.	PaCiG r (Paracingulate Gyrus Right)	49	0/7
8.	PostCG l (Postcentral Gyrus Left)	44	73/185
9.	SFG l (Superior Frontal Gyrus Left)	10	229/29
10.	MidFG l (Middle Frontal Gyrus Left)	6	217/0
11.	Cerebl r (Cerebellum Crus l Right)	6	40/0
12.	MidFG r (Middle Frontal Gyrus Right)	6	139/28
13.	PaCiG l (Paracingulate Gyrus Left)	5	133/19

Согласно имеющимся данным «двигательные» зеркальные нейроны у человека локализируются в передней части нижней теменной коры, нижней части прецентральной извилины и задней части нижней лобной извилины [7]. Однако полученные данные свидетельствуют о том, что при наблюдении за отмериванием интервала времени активируются не только те зоны коры, где расположены двигательные зеркальные нейроны, но и другие зоны коры, а также подкорковые структуры (таблица 1, таблица 2).

Аналогичные результаты получены нами в опытах с наблюдением и репродукцией ритма, с наблюдением и произнесением слов. Оказалось, что наблюдение за репродукцией ритма и произнесением неэмоционального слова сопровождается активацией не только тех зон коры, где расположены «двигательные» и «коммуникативные» зеркальные нейроны, но и других зон коры, а также таламуса и базальных ганглиев, где зеркальные нейроны отсутствуют [8].

Все эти данные убеждают в том, что сами по себе зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений, хотя и участвуют в этих процессах. В этом плане мы солидарны с мнением некоторых исследователей, которые также считают, что сами по себе зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений других людей [4–6]. Важно отметить, что активацию различных зон коры при наблюдении, выполнении и мысленном представлении действий, которые не входят в ядро зеркальной системы, отмечали и другие исследователи [9, 10].

Полученные данные позволяют предположить, что «двигательные» зеркальные нейроны выполняют функцию посредника и обеспечивают взаимодействие между префронтальной корой, которая участвует в планировании, постановке целей и инициации действия, двигательными, сенсорными и ассоциативными зонами коры, а также местами хранения в мозге двигательных программ (базальные ганглии и мозжечок). Результатом взаимодействия этих структур, вероятно, и является понимание действий и намерений другого человека. Эта «посредническая» функция зеркальных нейронов объясняет, почему они активируются не только при наблюдении, но также при выполнении или мысленном воспроизведении действий.

Проведенные нами исследования позволили обнаружить отчетливые гендерные различия активности зеркальных нейронов при наблюдении и выполнении транзитивных действий, связанных с отмериванием интервала времени, что соответствует литературным данным [11]. Вероятно, эти различия связаны, главным образом, с особенностями латеральной организации мозга у мужчин и женщин, которые оказывают существенное влияние на когнитивные функции человека [12–14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что сенсомоторная деятельность, связанная с наблюдением за отмериванием короткого интервала времени сопровождается активацией не только тех зон коры, где расположены «двигательные» зеркальные нейроны, но также других зон коры и мозжечка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сами по себе «двигательные» зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений, хотя и

участвуют в этих процессах. Предполагается, что они обеспечивают взаимодействие между префронтальной корой, сенсорными и двигательными зонами коры, а также местами хранения в мозге двигательных программ. Результатом взаимодействия указанных структур, по-видимому, и является понимание действий и намерений других людей. Эта «посредническая» функция зеркальных нейронов позволяет понять их участие и активность при наблюдении, выполнении и мысленном воспроизведении действий.

Обнаружены гендерные различия активации мозговых структур при наблюдении и отмеривании короткого интервала времени, что вероятно связано с особенностями латеральной организации мозга у мужчин и женщин.

Установлено, что отмеривание «правшами» короткого интервала времени левой рукой сопровождается более выраженной активацией «заинтересованных» мозговых структур.

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 18-013-00758.

Список литературы

1. Лебедева Н. Н. Система зеркальных нейронов мозга: ключ к обучению, формированию, личности и пониманию чужого сознания / Н. Н. Лебедева, А. И. Зуфман, В. Ю. Мальцев // Успехи физиологических наук. – 2017. – 48 (4). – С. 16–28.
2. Skoyles J. R. Gesture Language Origins and Right Handedness / J. R. Skoyles // Psychology. – 2000. – 11. – P. 24–29.
3. Schippers M. B. Mapping the information flow from one brain to another during gestural communication/ M. B. Schippers, A. Roebroek, R. Renken, L. Nanetti, C. Keysers // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – 107 (20). – P. 9388–9393.
4. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. / Hickok G. // Journal of cognitive neuroscience. – 2009. – 21(7). – P. 1229–1243.
5. Kosonogov V. Why the mirror neurons cannot support action understanding / V. Kosonogov // Neurophysiology. – 2012. – 44 (6). – P. 499–502.
6. Churchland P. S. Braintrust: What neuroscience tells us about morality / P. S. Churchland – Princeton: Princeton University Press, 2011. – 288 p.
7. Rizzolatti J. Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy / J. Rizzolatti, K. Sinigaglia. – М.: Languages of Slavic cultures, 2012. – 208 p.
8. Бушов Ю. В. Роль зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений / Ю. В. Бушов, В. Л. Ушаков, М. В. Светлик, С. И. Карташов, В. А. Орлов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 56. – С. 86–107.
9. Лебедева Н. Н. Зеркальная система мозга при наблюдении, выполнении и представлении моторных задач – нейрофизиологическое отражение восприятия чужого сознания / Н. Н. Лебедева, Е. Д. Каримова, В. В. Карпычев, В. Ю. Мальцев // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2018. – 68(2). – С. 204–215.
10. Mukamel R. Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions / R. Mukamel, A. D. Ekstrom, J. Kaplan, M. Iacoboni, I. Fried // Curr Biol. – 2010. – 20. – P. 750–756.
11. Базян А. С. Зеркальные нейроны, физиологическая роль, особенности функционирования и эмоционально насыщенная карта мозга /А. С. Базян// Успехи физиологических наук. – 2019. – 50(2). – С. 42–62.
12. Игнатова Ю. П. Современные аспекты изучения функциональной межполушарной асимметрии мозга (обзор литературы) / Ю. П. Игнатова, И. И. Макарова, О. Ю. Зенина, А. В. Аксенова // Экология человека. – 2016. – № 9. – С. 30–39.

13. Олоненко Е. С. Психофизиологические аспекты гендерной дифференциации / Е. С. Олоненко, А. И. Кодочигова, В. Ф. Киричуг, М. А. Деева // Психосоматические и интегративные исследования. – 2016. – 2(1). – С. 1–4.
14. Хорольская Е. Н. Гендерные особенности функциональной асимметрии полушарий мозга и каналов восприятия учебной информации у 14-15-летних подростков / Е. Н. Хорольская, Т. А. Погребняк // Научный результат. Физиология. – 2017. – 3 (1). – С. 19–24.

ACTIVITY OF BRAIN STRUCTURES IN MEN AND WOMEN WHEN OBSERVING AND MEASURING A SHORT TIME INTERVAL

Bushov Yu. V.¹, Ushakov V. L.^{2,3,4}, Svetlik M. V.¹, Kartashov S. I.⁵, Orlov V. A.⁵

¹*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

²*Institute for Advanced Brain Research, Moscow State University M. V. Lomonosova, Moscow, Russia*

³*NRNU MEPhI, Moscow, Russia*

⁴*GBUZ "Psychiatric Clinical Hospital No. 1 named after. ON THE. Alekseeva" DZM, Moscow, Russia*

⁵*National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia*

E-mail: bushov1945@mail.ru

Studying the functions of mirror neurons in human social behavior is an urgent task of modern neurophysiology. A currently popular hypothesis is that mirror neurons may serve as the neural basis for interpreting actions, imitative learning, and imitating the behavior of others. According to researchers, this is achieved by the observer's brain copying the actions of another person by updating the corresponding motor programs. However, not all researchers share this point of view. The purpose of the present study was to examine the role of mirror neurons in the interpretation of actions and intentions.

Methodology. Volunteers participated in the research – 20 men and 20 women aged 19 to 27 years, university students. During the preliminary examination, the features of the lateral organization of the brain were studied with the determination of the leading hand. Annette's questionnaire was used to identify the dominant hand. As a model of sensorimotor activity, subjects were offered activities associated with observing and measuring an interval of 0.8 s. In the first series, the subject is shown a video with an image of the operator's motionless hand. Then a video showing the hand of the same operator, with which he measures a time interval of 0.8 with a pause between two presses of the "Space" key. In the second series, the subject is shown on the screen a time interval of 0.8 s, which he must measure first with his left hand, then with his right hand. After this, the subject, who is in a state of operational rest, is asked to fix his gaze on a white cross in the center of the screen. The results of functional MRI were obtained at the Kurchatov Institute Research Center using a SIEMENS Magnetom Verio 3 Tesla tomograph. All fMRI data were preprocessed using the SPM8 package. Within each paradigm, pairwise comparisons were performed based on Student's t statistics and individual and group maps were obtained with a significance level of $p < 0.001$. All obtained statistical maps were applied to a template T-1 image and anatomical binding of "active" voxels to the CONN atlas was performed.

Results. A study of the lateral organization of the brain of the subjects showed that among 20 men, “right-handers” predominate (18 people), there are “left-handers” (2 people) and there are no “ambidexters”. Among the 20 women, “right-handers” also predominate (17 people), there is a “left-hander” and 2 “ambidexters”. It has been established that observation of the measurement of an interval of 0.8 s is accompanied in women by activation of the precentral gyrus, right and left, lateral occipital cortex, right and left, supplementary motor cortex, right and left, superior frontal gyrus, right and left, middle temporal gyrus, right and left. on the left, paracingular gyrus, right and left, postcentral gyrus, right and left, as well as other areas of the cortex and some areas of the cerebellum. Gender differences manifested themselves in the fact that in women, when observing the measurement of an interval of 0.8 s, a larger number of “interested” brain structures are activated, and they are activated more strongly. Measuring the same time interval with the right or left hand is accompanied in men and women by activation of partly the same brain structures that are activated when observing the measurement of the same time interval, but they are activated much more strongly. Measuring a time interval with the left hand is accompanied by stronger activation of “interested” brain structures.

Conclusion. The results obtained indicate that observation of the measurement of a short time interval is accompanied in men and women by activation of not only those cortical areas where “motor” mirror neurons are located, but also other cortical areas, as well as the cerebellum. These findings suggest that “motor” mirror neurons alone do not provide insight into actions and intentions. These neurons are thought to mediate interactions between the prefrontal cortex, sensory and motor cortices, and the storage sites for motor programs in the brain. The result of the interaction of these structures, apparently, is the understanding of the actions and intentions of other people.

Keywords: mirror neurons, observation and measurement of a short time interval, interpretation of actions and intentions.

References

1. Lebedeva N. N., Zufman A. I., Mal'tsev V. YU. Sistema zerkal'nykh neuronov mozga: klyuch k obucheniyu, formirovaniyu, lichnosti i ponimaniyu chuzhogo soznaniya, *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, **48 (4)**, 16 (2017).
2. Skoyles J. R. Gesture Language Origins and Right Handedness, *Psychology*, **11**, 24 (2000).
3. Schippers M. B., Roebroek A., Renken R., Nanetti L., Keysers C. Mapping the information flow from one brain to another during gestural communication, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107 (20)**, 9388 (2010).
4. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of cognitive neuroscience*, **21(7)**, 1229 (2009).
5. Kosonogov V. Why the mirror neurons cannot support action understanding, *Neurophysiology*, **44 (6)**, 499 (2012).
6. Churchland P. S. *Braintrust: What neuroscience tells us about morality*, 288 p. (Princeton: Princeton University Press, 2011).
7. Rizzolatti J., Sinigaglia K. *Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy*, 208 p. (M.: Languages of Slavic cultures, 2012).
8. Bushov YU. V., Ushakov V. L., Svetlik M. V., Kartashov S. I., Orlov V. A. Rol' zerkal'nykh neuronov v interpretatsii deistvii i namerenii, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, **56**, 86 (2021).

9. Lebedeva N. N., Karimova E. D., Karpychev V. V., Mal'tsev V. YU. Zerkal'naya sistema mozga pri nablyudenii, vypolnenii i predstavlenii motornykh zadach – neirofiziologicheskoe otrazhenie vospriyatiya chuzhogo soznaniya, *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, **68(2)**, 204 (2018).
10. Mukamel R., Ekstrom A. D., Kaplan J., Iacononi M., Fried I. Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions, *Curr Biol.*, **20**, 750 (2010).
11. Bazyan A. S. Zerkal'nye neirony, fiziologicheskaya rol', osobennosti funktsionirovaniya i ehmtsional'no nasyshchennaya karta mozga, *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, **50(2)**, 42 (2019).
12. Ignatova YU. P., Makarova I. I., Zenina O. YU., Aksenova A. V. Sovremennye aspekty izucheniya funktsional'noi mezhpolusharnoi asimmetrii mozga (obzor literatury), *Ehkologiya cheloveka*, **9**, 30 (2016).
13. Olonenko E. S., Kodochigova A. I., Kirichug V. F., Deeva M. A. Psikhofiziologicheskie aspekty gendernoi differentsiatsii, *Psikhosomaticheskoe i integrativnoye issledovaniya*, **2(1)**, 1 (2016).
14. Khorol'skaya E. N., Pogrebnyak T. A. Gendernye osobennosti funktsional'noi asimmetrii polusharii mozga i kanalov vospriyatiya uchebnoi informatsii u 14-15-letnikh podrostkov, *Nauchnyi rezul'tat. Fiziologiya*, **3 (1)**, 19 (2017).