

УДК 612.82; 159.91; 572.1/4

DOI 10.5281/ZENODO.20786898

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ В ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Светлик М. В., Бушов Ю. В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, Россия
E-mail: bushov@bio.tsu.ru*

В кратком обзоре анализируется роль зеркальных нейронов в эволюции человека. Обсуждаются вопросы, связанные с происхождением этих нейронов, с их участием в интерпретации действий и намерений, в формировании речи и языка, в распознавании эмоций, в детекции корректных и ошибочных действий.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, эволюция человека.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение роли зеркальных нейронов в эволюции человека, в формировании его когнитивных способностей является актуальной междисциплинарной проблемой, представляющий большой интерес для широкого круга специалистов: нейробиологов, психофизиологов, антропологов и др. Вместе с тем ряд вопросов, касающихся происхождения этих нейронов, их роли в эволюции человека, в различных когнитивных процессах, остаются во многом нерешенными.

В настоящем обзоре предпринята попытка анализа роли зеркальных нейронов в эволюции человека, в формировании его когнитивных способностей. В ходе анализа использовались литературные данные и результаты собственных исследований.

В обзор включены статьи, найденные в доступных базах данных <https://cobalt.colab.ws/>, <https://scholar.google.com/> и elibrary.ru по ключевым словам «зеркальные нейроны», «происхождение зеркальных нейронов», «зеркальные нейроны в эволюции человека», «mirror neurons», «the origin of mirror neurons», «mirror neurons in human evolution» за период с 2000 по 2025 годы.

Проведенный анализ литературных источников показал, что в опубликованных ранее обзорах, посвященных зеркальным нейронам, обсуждаются методы изучения и функции этих нейронов [1–3], их роль в патогенезе некоторых нервно-психических расстройств (аутизм, шизофрения и др.) [4–6]. Однако, вопросы, касающиеся происхождения и роли зеркальных нейронов в эволюции человека, практически не рассматриваются. Настоящий обзор восполняет этот пробел.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ

В настоящее время отсутствует единая точка зрения на происхождение зеркальных нейронов. Одни исследователи отводят важную роль в происхождении этих нейронов ассоциативному обучению, другие – наследственным факторам.

На основе анализа литературы и результатов собственных исследований, нами предложена гипотеза о важной роли социализации, наследственных факторов, нейрогенеза и обучения в происхождении зеркальных нейронов [7].

Предполагается, что появление зеркальных нейронов у птиц и млекопитающих явилось результатом филогенетической адаптации этих животных к условиям проживания в социуме, сопровождалось перестройками в генетическом аппарате и оказало положительное влияние на их выживание. В пользу предложенной гипотезы свидетельствуют следующие факты.

В настоящее время зеркальные нейроны обнаружены у социальных животных: летучих мышей, крыс, певчих птиц, макаки и человека, которые образуют устойчивые сообщества [8].

С помощью метода околоинфракрасной спектроскопии доказано наличие зеркальных нейронов у шести- и семимесячных младенцев [9]. Эти данные свидетельствуют о том, что базовый набор зеркальных нейронов имеется у человека уже на ранних этапах постнатального онтогенеза и указывают на важную роль наследственных факторов в происхождении этих нейронов.

В ходе исследований, связанных с наблюдением и произнесением слов на родном (русском) и неродном (английском) языках, нами обнаружена более выраженная активация «коммуникативных» зеркальных нейронов у билингвов по сравнению с монолингвами. Предполагается, что это связано с ростом числа этих нейронов у билингвов при освоении неродного языка [10]. Это подтверждают результаты МРТ-исследований, которые показали, что трехмесячный курс обучения иностранному языку сопровождается у учащихся увеличением толщины коры в нижней лобной извилине левого полушария, где расположены «коммуникативные» зеркальные нейроны [11].

Приведенные данные подтверждают гипотезу о важной роли социализации, наследственных факторов, нейрогенеза и обучения в происхождении зеркальных нейронов.

Можно ожидать, что зеркальные нейроны имелись уже у человека умелого (*Homo habilis*), жившего примерно 2,3–1,65 млн. лет назад, способного изготавливать простейшие каменные орудия, и этот навык передавался из поколения в поколение.

Изучение особенностей строения черепа у хабилисов показало, что по сравнению с австралопитековыми у них возникают специфические выпуклости в областях, где у современных людей находятся речевые центры Брока и Вернике [12]. Эти данные могут служить доказательством того, что хабилисы общались между собой с помощью языка жестов, так как звуковая речь появилась у наших предков значительно позже. Вероятно, освоение хабилисами языка жестов, а также навыками орудийной деятельности происходило, как и у современных антропоидов, при участии зеркальных нейронов.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ В ПОНИМАНИИ ДЕЙСТВИЙ И НАМЕРЕНИЙ

Важную роль в социальном поведении современного человека и других социальных животных играет способность понимать действия и намерения других членов группы. По мнению исследователей [13], зеркальные нейроны могут служить нейрональной основой для интерпретации действий и намерений других людей. Предполагается, что это может обеспечиваться копированием мозгом наблюдателя действий другого человека. Однако, не все исследователи согласны с этой точкой зрения, полагая, что понимание намерений другого человека не может осуществляться на уровне отдельных нейронов [14].

И действительно, проведенные нами томографические исследования показали, что, сами по себе, зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений, хотя и участвуют в этих процессах [15].

В частности, оказалось, что наблюдение за выполнением транзитивных и речевых действий сопровождается активацией не только тех зон коры, где расположены «двигательные» и «коммуникативные» зеркальные нейроны, но и других зон коры, а также базальных ганглиев и мозжечка. Предполагается, что зеркальные нейроны лишь обеспечивают взаимодействие между префронтальной корой, сенсорными и двигательными зонами коры, а также местами хранения в мозге двигательных программ (базальные ганглии и мозжечок). Взаимодействие этих структур, вероятно, и обеспечивает понимание действий и намерений других.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ В ЭВОЛЮЦИИ РЕЧИ И ЯЗЫКА

Совместная трудовая деятельность, очевидно, невозможна без развитой системы коммуникации. Эту функцию в человеческих сообществах выполняет язык. С другой стороны, язык, устная и письменная речь, обеспечивают передачу умений и знаний. По мнению исследователей, важную роль в происхождении речи и языка сыграли зеркальные нейроны. Предполагается, что эти нейроны обеспечили переход от языка жестов к звуковой речи [16]. По понятным причинам проверить это предположение не представляется возможным. Вместе с тем, современные исследования, связанные с изучением формирования билингвизма, подтверждают важную роль зеркальных нейронов в изучении языка.

В частности, проведенные нами исследования показали, что наблюдение за оператором, который произносил эмоциональные и неэмоциональные слова на родном (русском) и неродном (английском) языках, а также произнесение тех же слов испытуемым, сопровождается у билингвов (мужчин и женщин) более выраженной, чем у монолингвов (мужчин и женщин), депрессией мю-ритма [10].

Предполагается, что освоение второго языка сопровождается у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза.

Сравнительные данные, касающиеся строения черепа ископаемых гоминид, а также современных антропоидов и человека, указывают на то, что звуковая речь появляется у ранних сапиенсов – неандертальцев (*Homo sapiens neanderthalensis*, жившего около 130–28 тыс. лет назад), хотя отдельные признаки,

свидетельствующие о наличии звуковой речи, имеются уже у гейдельбергского человека, жившего около 800–130 тыс. лет назад [17].

Появление у наших предков речи и языка, вероятно, оказало влияние на формирование и других когнитивных способностей и, в частности, мышления и сознания. На существование связи между речью, мышлением и сознанием указывали в своих трудах Л. С. Выготский [18] и П. В. Симонов [19].

Согласно популярной гипотезе «лингвистической относительности» Сепира-Уорша, язык может оказывать существенное влияние на мышление, восприятие, познание и другие когнитивные процессы. Однако, результаты проверки этой гипотезы оказались крайне противоречивыми [20].

В связи с этим, нами были предприняты исследования, направленные на изучение влияния билингвизма на когнитивные способности учащихся [21].

Проведенные исследования позволили обнаружить статистически значимые различия между монолингвами и билингвами по эмоциональной шкале эмпатии. В частности, установлено, что женщины-билингвы отличаются от женщин-монолингвов более высоким уровнем эмпатии ($p = 0,014$, критерий Манна-Уитни).

Полученные данные свидетельствуют в пользу гипотезы «лингвистической относительности» Сепира-Уорша, так как уровень эмпатии является важным компонентом эмоционального интеллекта [22], от которого зависит профессиональная успешность индивида в разных видах деятельности.

Предполагается, что повышение уровня эмпатии и эмоционального интеллекта у лиц, изучающих иностранный язык, может быть связано с ростом числа «эмоциональных» зеркальных нейронов.

Таким образом, зеркальные нейроны сыграли очень важную роль в эволюции речи и языка. В свою очередь появление звуковой речи у сапиенсов, вероятно, послужило основой для развития у них и их потомков мышления и сознания.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ В РАСПОЗНАВАНИИ ЭМОЦИЙ

Важную роль в социальном поведении современного человека и его предков, очевидно, играли, так называемые «эмоциональные» зеркальные нейроны, которые активируются при переживании собственных эмоций и при наблюдении за эмоциями других.

Эти нейроны локализуются в передней поясной коре, миндалине и инсुлярной коре [8, 23, 24]. Считается, что указанные нейроны обеспечивают распознавание эмоций и играют важную роль в механизмах эмпатии.

Предполагается, что существуют два механизма распознавания эмоций: первый – автоматический, реализуется при участии зеркальных нейронов; второй контролируется сознанием [25]. В последнем случае участие зеркальных нейронов остается под вопросом.

Согласно современным представлениям эмоциональное поведение человека является результатом взаимодействия базовых нейросетей мозга, которые образуют нейрофизиологическую основу эмоционального интеллекта и обеспечивают распознавание эмоций [26].

В ходе томографических исследований нами обнаружены существенные отличия в активации мозговых структур у мужчин и женщин, правшей при произнесении эмоционального и неэмоционального слов. В частности, оказалось, что произнесение эмоционального слова «Боль» сопровождается у мужчин и женщин более выраженной активацией инсулярной коры, чем произнесение неэмоционального слова «Раз» [27].

Так, если у мужчин при произнесении слова «Раз» в инсулярной коре справа активируются 477 вокселей, то при произнесении слова «Боль» – 938 вокселей.

Если при произнесении слова «Раз» у женщин в инсулярной коре справа активируются 282 вокселя, то при произнесении слова «Боль» – 421 воксел.

Таким образом, произнесение эмоционального слова сопровождается у мужчин и женщин, правшей более выраженной, чем при произнесении неэмоционального слова, активацией инсулярной коры справа, где локализуются «эмоциональные» зеркальные нейроны. Характер активации этой области мозга отличается у мужчин и женщин.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ В ДЕТЕКЦИИ ОШИБОК

Огромную роль в развитии человеческой цивилизации сыграло обучение. В ходе обучения приобретались полезные навыки, необходимые для изготовления орудий труда, приемы охоты, рыбной ловли и т.д. Считается, что важную роль в процессах обучения играли зеркальные нейроны [25]. Очевидно, что эффективность обучения существенно зависит от способности обучающегося распознавать собственные ошибки, ошибки других и вносить необходимые коррективы в свою деятельность.

Большой интерес в этом плане представляет изучение взаимодействий между мозговым «детектором ошибок» и системой зеркальных нейронов, так как эти взаимодействия оказались вне поля зрения исследователей [28].

С этой целью нами были предприняты исследования, направленные на изучение активности зеркальных нейронов у мужчин и женщин при выполнении корректных и ошибочных действий, связанных с узнаванием коротких интервалов времени.

Испытуемым предлагалась задача на узнавание эталона (светлый квадрат со стороной 3,5 см, появляющийся на 300 мс в центре экрана монитора). Предварительно эталон не менее 10 раз предъявляется испытуемому для запоминания, затем совместно с девиантными стимулами, которые отличаются от эталона в большую и меньшую сторону на 150 мс. Стимулы предъявляются многократно (не менее 50 раз) в случайном порядке с межстимульным интервалом 5–7 с. Предварительные эксперименты показали, что при такой разнице между эталоном и девиантными стимулами испытуемый различает эталон в 70–90 % случаев.

В соответствии с инструкцией испытуемый нажимает на клавишу «Пробел» средним и указательным пальцами ведущей руки при предъявлении эталона и пропускает сигналы другой длительности. ЭЭГ регистрировали с помощью электроэнцефалографа «Энцефалан–131-03» в лобных, центральных, височных, теменных и затылочных отведениях по системе «10–20 %».

При обработке ЭЭГ-данных использовали электромагнитную томографию низкого разрешения (LORETA), подсчитывали оценки спектральной мощности мю-ритма на коротких (2 с), лишенных артефактов, отрезках записи ЭЭГ за 2 с до стимула (этап «Фон»), при выполнении корректного действия, при пропуске целевого стимула, а также при ошибочном нажатии на клавишу компьютера.

При оценке статистической значимости различий использовали многомерный статистический анализ и t-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. С целью «нормализации» исследуемых показателей использовали преобразование Фишера.

Обнаружены статистически значимые различия в активации зеркальных нейронов при выполнении корректных и ошибочных действий, связанных с узнаванием коротких интервалов времени, зависимость этих различий от пола испытуемых.

Проведенные исследования, в частности, показали, что у мужчин при корректном нажатии на клавишу компьютера отмечается депрессия мю-ритма в 4, 40 и 44 полях Бродмана (ПБ), что указывает на активацию «двигательных» зеркальных нейронов [8, 23, 24, 29] и отсутствует в 6 и 45 ПБ. Наряду с этим, у них отмечается депрессия мю-ритма в 24 и 32 ПБ, что указывает на активацию «эмоциональных» зеркальных нейронов [8, 23, 29] и отсутствует в 33 ПБ.

У женщин, в отличие от мужчин, депрессия мю-ритма отмечается в 6 и 40 ПБ, где локализуются «двигательные» зеркальных нейроны и практически отсутствует в 4, 38, 44 и 45 ПБ. Депрессия мю-ритма также наблюдается в 24 ПБ, где локализуются «эмоциональные» зеркальные нейроны и отсутствует в 32 и 33 ПБ.

Оказалось, что у мужчин при ошибочном нажатии на клавишу компьютера депрессия мю-ритма наблюдается в 24 и 32 ПБ и отсутствует в 33 ПБ, где расположены «эмоциональные» зеркальные нейроны. Помимо этого, у мужчин отмечается депрессия мю-ритма в 40 ПБ, что указывает на активацию «двигательных» зеркальных нейронов.

У женщин, в отличие от мужчин, при ошибочном нажатии на клавишу компьютера в ответ на предъявление девиантного стимула наблюдается депрессия мю-ритма в 24 ПБ, где расположены «эмоциональные» зеркальные нейроны, а также в 38 и 40 ПБ, где находятся «двигательные» зеркальные нейроны.

У мужчин при пропуске целевого стимула депрессия мю-ритма отмечается в 4, 6 и 38 ПБ, где локализуются «двигательные» зеркальные нейроны. В то время как у женщин, депрессия мю-ритма отмечается в 38, 40 и 45 ПБ, где локализуются «двигательные» зеркальные нейроны, а также в 32 ПБ, где локализуются «эмоциональные» зеркальные нейроны.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что зеркальные нейроны избирательно реагируют на корректные и ошибочные действия и фактически выступают как часть мозговой системы детекции ошибок.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Известно, что физический тип человека остается практически неизменным в течение последних 40 тыс. лет.

Вместе с тем, эволюция человека продолжается.

Анализ имеющихся литературных данных позволяет выделить следующие основные тенденции развития современного человека.

Современные антропологические исследования свидетельствуют о том, что за последние 25 тысяч лет головной мозг человека уменьшился на 5 % с 1,500 до 1,425 см³ (у мужчин) и эта тенденция сохраняется [30].

Имеются данные о том, что в развитых странах мира, где ведется статистика заболеваний, в последние десятилетия отмечается рост численности детей, страдающих аутизмом [31], что связывают с дисфункцией зеркальных нейронов [32].

Некоторые исследователи высказывают опасение, что растущая цифровизация, внедрение систем искусственного интеллекта, неспособность современного человека воспринимать и обрабатывать растущие потоки информации могут оказать негативное влияние на когнитивные функции человека (память, внимание, восприятие, скорость принятия решений и др.) [33].

Группа авторов на основе анализа литературы и результатов собственных исследований приходят к выводу о том, что наблюдаемое в последние десятилетия снижение интеллекта у молодежи связано с информационной перегрузкой и цифровой зависимостью, а у взрослых – с хроническим стрессом и возрастными изменениями когнитивных функций [34].

Эти негативные тенденции ставят перед современной наукой чрезвычайную по сложности задачу – научиться управлять эволюцией человека, с тем чтобы со временем он не превратился в субтильное существо с маленьким мозгом, большими глазами и укороченной пищеварительной системой [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, накопленные к настоящему времени данные указывают на важную роль зеркальных нейронов в эволюции человека и формировании его когнитивных способностей. Появление этих нейронов у предков современного человека, вероятно, явилось результатом длительной филогенетической адаптации к социальному окружению.

Предполагается, что решающую роль в происхождении этих нейронов сыграли социализация, наследственные факторы, нейрогенез и обучение. Эти нейроны обеспечили успешную социальную адаптацию и выживание наших предков. Благодаря этим нейронам, наши предки получили возможность понимать действия и намерения других членов группы, их эмоциональное состояние.

Эти нейроны сыграли важную роль в эволюции речи и языка, в развитии мышления и сознания, в приобретении новых умений и навыков.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры физиологии человека и животных Томского государственного университета: ассистенту А. А. Скрыбиной, аспиранту М. В. Мошкиной, магистранту Е. В. Вавилиной, а также сотрудникам НИЦ «Курчатовский институт» – к.б.н., доценту В. Л. Ушакову, инженеру-исследователю С. И. Карташову, научному сотруднику В. А. Орлову, чей труд способствовал выполнению настоящего исследования.

Список литературы

1. Косоногов В. Зеркальные нейроны: краткий научный обзор / В. Косоногов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 24 с.
2. Махин С. А. Система «зеркальных нейронов»: актуальные достижения и перспективы ЭЭГ-исследований / С. А. Махин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 142.
3. Базян А. С. Зеркальные нейроны, физиологическая роль, особенности функционирования и эмоционально насыщенная когнитивная карта мозга / А. С. Бзян // Успехи физиологических наук. – 2019. – Т. 50, № 2. – С. 42.
4. Зайцева Ю. С. Зеркальные клетки и социальная когниция в норме и при шизофрении / Ю. С. Зайцева // Социальная и клиническая психиатрия. – 2013. – Т. 23, № 2. – С. 96.
5. Лушекина Е. А. Расстройства аутистического спектра. Обзор современных экспериментальных исследований / Е. А. Лушекина, В. Б. Стрелец // Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. – 2014. – Т. 64, № 6. – С. 585.
6. Рагимова А. А. Исследование функционирования зеркальных нейронов в норме и при нейropsychиатрических состояниях: систематический обзор литературы / А. А. Рагимова, Г. С. Первознюк, Б. А. Волель, Д. С. Петелин, Д. С. Пономарева, М. И. Соломатин, А. А. Бятов, М. Феурра // Неврологический вестник. – 2024. – Т. 56, № 3. – С. 272.
7. Бушов Ю. В. О происхождении зеркальных нейронов / Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, А. А. Скрыбина // Вестник психофизиологии. – 2025. – № 2. – С. 103.
8. Rizzolatti G. The mirror mechanism: a basic principle of brain function / G. Rizzolatti, C. Sinigaglia // Nature Reviews Neuroscience. – 2016. – Vol. 17, No 12. – P. 757.
9. Якобони М. Отражаясь в людях: Почему мы понимаем друг друга / Марко Якобони; [Пер. с англ. Л. Мотылев] – М.: ООО "Юнайтед Пресс", 2011. – 366 с.
10. Скрыбина А. А. Активность зеркальных нейронов у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении слов на родном и неродном языках / А. А. Скрыбина, М. В. Светлик, Ю. В. Бушов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2024. – Т. 10 (76), № 3. – С. 207.
11. Mårtensson J. Growth of language-related brain areas after foreign language learning / J. Mårtensson, J. Eriksson, N. C. Bodammer, M. Lindgren, M. Johansson, L. Nyberg and M. Lövdén // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, No 1. – P. 240.
12. Tobias P. V. The skulls, endocasts and teeth of *Homo habilis* / P. V. Tobias // Olduvai Gorge: Vol. 4. Cambridge: Cambridge Univ. Press. – 1991. XXXV. – 921 p.
13. Skoyles J. R. Gesture Language Origins and Right Handedness / J. R. Skoyles // Psychology. – 2000. – No 11. – P. 24.
14. Churchland P. S. Braintrust: What neuroscience tells us about morality / P.S. Churchland. – Princeton: Princeton University Press. 2011. – 288 p.
15. Бушов Ю. В. Роль зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений / Ю. В. Бушов, В. Л. Ушаков, М. В. Светлик, С. Н. Карташов, В. А. Орлов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 56. – С. 86.
16. Rizzolatti G. Language and mirror neurons / G. Rizzolatti, L. Craighero. – Oxford Handbook of Psycholinguistics. Oxford: Oxford University Press, 2007. – P. 771.

17. Бурлак С. Происхождение языка: Факты, исследования, гипотезы / Светлана Бурлак. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019. – 609 с.
18. Выготский Л. С. Мышление и речь / Л. С. Выготский. – М.: Лабиринт, 1999. – 352 с.
19. Симонов П. В. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности / П.В. Симонов. – М.: Издательство «Институт психологии РАН», 1998. – 98 с.
20. Терещенко Т. В. Гипотеза лингвистической относительности: теоретический анализ и экспериментальные данные / Т. В. Терещенко, О. А. Гончаров // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека. – 2014. – № 2. – С. 11.
21. Скрябина А. А. Влияние билингвизма на индивидуально-психологические особенности учащихся / А. А. Скрябина, М. В. Светлик, Ю. В. Бушов // Вестник психофизиологии. – 2024. – № 3. – С. 120.
22. Никитина О. А. Эмоциональный интеллект: понятие, структура, генезис / О. А. Никитина, А. Р. Никитина // Психология и педагогика служебной деятельности. – 2024. – № 3. – С. 58.
23. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / E. Farina, F. Borgnis, T. Pozzo // Journal of Neuroscience Research. – 2020. – Vol. 98, No 6. – P. 1070.
24. Bonini L. Mirror neurons 30 years later: implications and applications / L. Bonini, C. Rotunno, E. Arcuri, V. Gallese // Trends in cognitive sciences. – 2022. – Vol. 26, No 9. – P. 767.
25. Риццолатти Д. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживания / Д. Риццолатти, К. Синигалья – М.: Языки славянских культур, 2012. – 208 с.
26. Чипеева Н. А. Нейрофизиологические механизмы эмоционального интеллекта / Н. А. Чипеева // Психология. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 65.
27. Бушов Ю. В. Зеркальные нейроны в восприятии времени и речевых процессах / Ю. В. Бушов, В. Л. Ушаков, М. В. Светлик, С. Н. карташов, В. А. Орлов. — 2 -ое изд. перераб. и доп. – Москва: РУСАЙНС. 2021. – 212 с.
28. Мошкина М. В. Зеркальные нейроны и мозговой «детектор ошибок» в распознавании корректных и ошибочных действий / М. В. Мошкина, В. Е. Вавилина, Ю. В. Бушов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2025. – Том 11 (77), № 2. – С. 145.
29. Hari E. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarina klinik yaklaşım / E. Hari, C. Cengiz, F. Kılıç, E. Yurdakoş // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Vol. 84, No 3. – С. 430.
30. Дробышевский Станислав Достающее звено. Книга вторая. Люди / Станислав Дробышевский – Москва: Издательство АСТ. CORPUS. 2019. – 592 с.
31. Никуличев Ю. В. Глобальное здоровье: Аналит. обзор / Ю. В. Никуличев. – М.: РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глобал. и регионал. Проблем. Отд. пробл. европ. безопасности, 2018. – 68 с.
32. Рамачандран В. С. Разбитые зеркала: теория аутизма / В. С. Рамачандран, Л. М. Оберман // Аутизм и нарушения развития. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 1.
33. Лызь Н. А. Влияние цифровизации на когнитивные процессы: обзор причин и последствий / Н. А. Лызь, Е. В. Гладкая // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. – 2025. – Вып. 3. – С. 396.
34. Горбунова Т. П. Проблема снижения интеллекта / Т. П. Горбунова, Т. М. Тонджу, А. Э. Цатурян, М. В. Дробышевская // Медицинское образование, наука, практика: Сборник статей X Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, 22-23 апреля 2025 г. Т. 1. – Екатеринбург, 2025. – С. 292.

MIRROR NEURONS IN HUMAN EVOLUTION

Svetlik M. V., Bushov Yu. V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University", Tomsk, Russia
E-mail: bushov@bio.tsu.ru*

The study of the role of mirror neurons in human evolution and the formation of cognitive abilities is a pressing interdisciplinary problem of great interest to a wide range of specialists: anthropologists, psychologists, psychophysicists, neurobiologists, etc. At the same time, a number of questions regarding the origin of these neurons and their role in various cognitive processes remain largely unresolved. In the present study, using the results of our own research, an attempt is made to analyze the role of mirror neurons in human evolution and the formation of our cognitive abilities. Analytical Review. In this brief review, using the results of our own research, issues related to the origin of mirror neurons are discussed. A hypothesis is proposed regarding the crucial role of socialization, hereditary factors, neurogenesis, and learning in the origin of these neurons. The role of mirror neurons in the interpretation of actions and intentions is analyzed. It is shown that, by themselves, mirror neurons do not ensure the understanding of actions and intentions, although they participate in these processes. It is assumed that these neurons act as an intermediary and ensure interaction between the prefrontal cortex, sensory, motor, and associative areas of the cortex, as well as the storage sites of motor programs in the brain (basal ganglia and cerebellum). The result of the interaction of these structures is likely the understanding of the actions and intentions of others. The role of mirror neurons in speech processes and, in particular, in the development of bilingualism is discussed. It is shown that when observing and pronouncing words in their native (Russian) and non-native (English) languages, bilinguals exhibit more pronounced activation of "communicative" mirror neurons than monolinguals. It is hypothesized that this is due to the fact that learning a foreign language is accompanied by an increase in the number of "communicative" mirror neurons in bilinguals due to neurogenesis. The impact of bilingualism on students' cognitive abilities is analyzed. A comparison of boys and girls (monolingual and bilingual) revealed statistically significant between-group differences on the emotional empathy scale. In particular, it was found that bilingual women differed from monolingual women in their higher levels of empathy ($p = 0.014$, Mann-Whitney test). The obtained data support the Sapir-Whorf "linguistic relativity" hypothesis, since the level of empathy is an important component of emotional intelligence, which determines an individual's professional success in various activities. It is assumed that increased empathy and emotional intelligence in individuals learning a foreign language may be associated with an increase in the number of "emotional" mirror neurons. This article examines the role of mirror neurons in human emotional behavior, specifically during the observation and pronunciation of emotional and non-emotional words. It is shown that observing an operator pronouncing emotional and non-emotional words and the subject pronouncing the same words is accompanied by a depression of the mu rhythm at certain frequencies and, most often, an increase in the level of cortical connections at

this rhythm frequency. The nature of these changes significantly depends on gender, brain lateralization, mu rhythm frequency, the emotional significance of the word, and the type and stage of the activity. The role of mirror neurons in the execution of correct and erroneous actions is analyzed. Statistically significant differences in mirror neuron activation were found during the execution of correct and erroneous actions related to the recognition of short time intervals, and these differences depend on the gender of the subjects. The obtained data indicate that mirror neurons selectively respond to correct and erroneous actions and, in fact, act as part of the brain's error detection system.

The accumulated evidence to date points to the important role of mirror neurons in human evolution and the development of cognitive abilities.

Keywords: mirror neurons, human evolution.

References

1. Kosonogov V. *Zerkal'ny'e nejrony': kratkij nauchny'j obzor*, (Rostov-na-Donu: Phoenix, 2009), p. 24.
2. Maxin S. A. Sistema «zerkal'ny'x nejrónov»: aktual'ny'e dostizheniya i perspektivy` E`E`G-issledovaniy, *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya i Khimiya*, **25(64)**, 142 (2012).
3. Bazyan A. S. Zerkal'ny'e nejróny, fiziologicheskaya rol', osobennosti funkcionirovaniya i e`mocional'no nasy`shennaya kognitivnaya karta mozga, *Uspexi fiziologicheskix nauk*, **50(2)**, 42 (2019).
4. Zajceva Yu. S. Zerkal'ny'e kletki i social'naya kogniciya v norme i pri shizofrenii, *Social'naya i klinicheskaya psixiatriya*, **23(2)**, 96 (2013).
5. Lushhekina E. A., Strelec V. B. Rasstrojstva autisticheskogo spektra. Obzor sovremenny'x e`kspperimental'ny'x issledovaniy, *Zhurnal vy'sshej nervnoj deyatel'nosti imeni I. P. Pavlova*, **64(6)**, 585 (2014).
6. Ragimova A. A., Perevoznyuk G. S., Volel' B. A., Petelin D. S., Ponomareva D. S., Salamatin M. I., Byatov A. A., Feurra M. Issledovanie funkcionirovaniya zerkal'ny'x nejrónov v norme i pri nejropsixiatricheskix sostoyaniyax: sistematicheskij obzor literatury, *Nevrologicheskij vestnik*, **56(3)** 272 (2024).
7. Bushov Yu. V., Svetlik M. V., Skryabina A. A. O proisxozhdenii zerkal'ny'x nejrónov, *Vestnik psixofiziologii*, **2**, 103 (2025).
8. Rizzolatti G., Sinigaglia C., The mirror mechanism: a basic principle of brain function, *Nature Reviews Neuroscience*, **17(12)**, 757 (2016).
9. Yakoboni M. *Otrazhayas' v lyudyax: Pochemu my` ponimaem drug druga*, per. s angl. L. Moty`lev (Moskva: OOO Yunajted Press, 2011), p. 366.
10. Skryabina A. A., Svetlik M. V., Bushov Yu. V. Aktivnost' zerkal'ny'x nejrónov u monolingvov i bilingvov pri nablyudenii i proiznesenii slov na rodnom i nerodnom yazy`kax, *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya i Khimiya*, **10(3)**, 207 (2024).
11. Mårtensson J., Eriksson J., Bodammer N. C., Lindgren M., Johansson M., Nyberg L. and Lövdén M. Growth of language-related brain areas after foreign language learning, *Neuroimage*, **63(1)**, 240 (2012).
12. Tobias P. V. *The skulls, endocasts and teeth of Homo habilis, Olduvai Gorge*, (Cambridge: Cambridge University Press, 1991) p. 921.
13. Skoyles J. R., Gesture Language Origins and Right Handedness, *Psychology*, **11**, 24 (2000).
14. Churchland P. S. *Braintrust: What neuroscience tells us about morality*, (Princeton: Princeton University Press, 2011) p. 288.
15. Bushov YU. V., Ushakov V. L., Svetlik M. V., Kartashov S. I., Orlov V. A., Rol' zerkal'nykh neironov v interpretatsii deistvii i namerenii, *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*, **56**, 86 (2021).
16. Rizzolatti G., Craighero L. *Language and mirror neurons*, *Oxford Handbook of Psycholinguistics*. (Oxford: Oxford University Press, 2007) p. 771.
17. Burlak S. *Proisxozhdenie yazy`ka: Fakty`, issledovaniya, gipotezy*, 2-e izd., pererab. i dop., (Moskva: Al`pina non-fikshn, 2019), p. 609.

18. Vy`gotskij L. S. *My`shlenie i rech`*, (Moskva: Labirint, 1999), p. 352.
19. Simonov P. V. *Lekcii o rabote golovnogo mozga. Potrebnostno-informacionnaya teoriya vy`sšej nervnoj deyatel`nosti*, (Moscow: Izdatel'stvo «Institut psixologii RAN», 1998), p. 98.
20. Tereshenko T. V., Goncharov O. A. Gipoteza lingvisticheskoy otnositel`nosti: teoreticheskij analiz i e`ksperimental`ny`e danny`e, *Psixologicheskij zhurnal Mezhdunarodnogo universiteta prirody, obshhestva i cheloveka*, **2**, 11 (2014).
21. Skryabina A. A., Svetlik M. V., Bushov Yu. V. Vliyanie bilingvizma na individual`no-psixologicheskie osobennosti uchashhixsya, *Vestnik psixofiziologii*, **3**, 120 (2024).
22. Nikitina O. A., Nikitina A. R. E`mocional`ny`j intellekt: ponyatie, struktura, genesis, *Psixologiya i pedagogika sluzhebnoj deyatel`nosti*, **3**, 58 (2024).
23. Farina E., Borgnis F., Pozzo T., Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *Journal of Neuroscience Research*, **98**(6), 1070 (2020).
24. Bonini L., Rotunno C., Arcuri E., Gallese V., Mirror neurons 30 years later: implications and applications, *Trends in Cognitive Sciences*, **26**(9), 767 (2022).
25. Rizzolatti D., Sinigal'ya K. *Zerkala v mozge: o mekhanizmax sovmestnogo deistviya i soperezhivaniya*, per. s angl. O. A. Kurakovoi, M. V. Falikman (Yazyki slavyanskikh kul'tur, Moskva, 2012), p. 208.
26. Chipeeva N. A. Nejrofiziologicheskie mexanizmy` e`mocional`nogo intellekta, *Psixologiya. Psixofiziologiya*, **16**(3) 65 (2023).
27. Bushov Yu. V., Ushakov V. L., Svetlik M. V., Kartashov S. N., Orlov V. A. *Zerkal`ny`e nejrony` v vospriyatii vremeni i rechevy`x processax*, 2-e izd., pererab. i dop., (Moskva: RUSAJNS, 2021), p. 212.
28. Moshkina M. V., Vavilina V. E., Bushov Yu. V. Zerkal`ny`e nejrony` i mozgovoj «detektor oshibok» v raspoznavanii korrektny`x i oshibochny`x dejstvij, *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya i Khimiya*, **11**(2), 145 (2025).
29. Hari E., Cengiz C., Kılıç F., Yurdakoş E., Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84**(3), 430 (2021).
30. Droby`shevskij Stanislav *Dostayushhee zveno. Kniga vtoraya. Lyudi*, (Moskva: Izdatel'stvo AST. CORPUS, 2019), p. 592.
31. Nikulichev Yu. V. *Global`noe zdorov`e: Analit. Obzor*, (Moskva: RAN. INION. Centr nauch.-inform. issled. global. i regional. Problem. Otd. probl. evrop. Bezopasnosti, 2018), p. 68.
32. Ramachandran V. S., Oberman L. M. Razbity`e zerkala: teoriya autizma, *Autizm i narusheniya razvitiya*, **6**(3) 1 (2008).
33. Ly`z` N. A., Gladkaya E. V. Vliyanie cifrovizacii na kognitivny`e processy`: obzor prichin i posledstvij, *Vestnik Permskogo universiteta. Filosofiya. Psixologiya. Sociologiya*, **3**, 396 (2025).
34. Gorbunova T. P., Tondzhu T. M., Czaturyan A. E., Droby`shevskaya M. V. Problema snizheniya intellekta, Medicinskoe obrazovanie, nauka, praktikain the sbornik statej "X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molody`x ucheny`x i studentov, 22-23 aprelya 2025 g", Vol. 1, Ekaterinburg (2025) p. 292.