

УДК 616-092

## Зеркальные нейроны

Пальцын А.А.<sup>1,2</sup>, Свиридкина Н.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии».

125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

<sup>2</sup> Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская Академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

123995, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1

*Представление о зеркальных нейронах было создано и разработано в начале 21 века группой итальянских врачей под руководством Джакомо Риззолатти. Так они стали называть нейроны, которые возбуждались не физическим движением, а наблюдением физического движения или даже размышлениями о движении. За способность ментального отражения физического движения нейроны стали называть зеркальными. Физическое движение – лучший способ избавлять людей от множества двигательных расстройств: травматология, инсульт, болезнь Паркинсона, детский церебральный паралич и др. Главный лечебный фактор при этих болезнях – движение, но оно затруднено или невозможно. Знания о зеркальных нейронах облегчают ситуацию. На них основывается идея и практика использования зеркальности наоборот – применяются когнитивные образы движения для восстановления нарушенных двигательных способностей. Сегодня есть много свидетельств успешности этого направления.*

**Ключевые слова:** зеркальные нейроны; моторные образы; реабилитация; эмпатия.

**Для цитирования:** Пальцын А.А., Свиридкина Н.Б. Зеркальные нейроны. *Патогенез*. 2022; 20(4): 93-98

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2022.04.93-98

**Для корреспонденции:** Пальцын Александр Александрович, e-mail: lrrp@mail.ru

**Финансирование.** Исследование не имеет спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила:** 21.07.2022

## Mirror neurons

Paltsyn A.A.<sup>1,2</sup>, Sviridkina N.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of General Pathology and Pathophysiology,

Baltiyskaya St. 8, Moscow 125315, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuing Vocational Education,

Barrikadnaya St. 2/1, Moscow 123995, Russian Federation

*The idea of mirror neurons was created and developed at the beginning of the 21st century by a group of Italian physicians headed by Giacomo Rizzolatti. This is how they began calling the neurons that were excited not by a physical movement but by observing a physical movement or even thinking about it. For the ability to mentally reflect physical movements, these neurons were named mirror neurons. Physical movement is the best way to relieve people from many motor disorders, such as traumas, stroke, Parkinson's disease, cerebral palsy, etc. The main therapeutic factor in these diseases is movement, but it is difficult or impossible. Knowledge about mirror neurons makes things easier. The idea and practice of using the reverse specularly is based on the mirror neurons; cognitive images of movement are used to restore impaired motor abilities. Today there is a lot of evidence for success of this trend.*

**Key words:** mirror neurons; motor images; rehabilitation; empathy.

**For citation:** Paltsyn A.A., Sviridkina N.B. [Mirror neurons]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2022; 20(4): 93-98 (in Russian)

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2022.04.93-98

**For correspondence:** Paltsyn Alexander Alexandrovich, e-mail: lrrp@mail.ru

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Received:** 21.07.2022

Зеркальные нейроны – класс нейронов, которые не управляют случайным нецеленаправленным сокращением мышц. Они возбуждаются только тогда, когда люди сокращением мышц выполняют рациональный двигательный акт, и тогда, когда без сокращения мышц только *думают* о выполнении двигательного акта, или когда *видят, слышат*, или *догадываются* по любым признакам, как кто-то (не хозяин нейронов) выполняет или *собирается выполнить* двигательный акт [1, 2]. Нейроны, позволяющие проникнуть вне зависимости от сен-

сорной системы, с помощью которой была получена информация, в *мысли, намерения* другого существа! Чудесная, поражающая воображение и вызывающая восхищение способность волшебников из сказки. Ею обладают, как оказалось, все обыкновенные люди и даже некоторые животные. Сегодня многочисленные доказательства демонстрируют существование корковой сети со свойствами зеркальных нейронов (зеркальная система) у человека и других приматов, некоторых птиц и даже насекомых. Предположительный эволюцион-

ный механизм возникновения и развития системы зеркальных нейронов — ускоренное усвоение потомством полезных двигательных навыков родителей: избегание опасности, знание съедобных продуктов. Через систему зеркальных нейронов потомство успешнее входит в мир, получая в дар уже при рождении накопленный поколениями предков жизненный опыт [3].

Догадка о существовании таких нейронов возникла в группе итальянских нейробиологов из университета города Парма, работавших под руководством Джакомо Риззолатти [1]. Исследователи обнаружили сходство энцефалограмм в группах обезьян, *наблюдающих* (1), за обезьянами, *двигающимися* (2) какие-то предметы. Мозг первых (1) *отражал действие*, совершаемое вторыми (2), поэтому энцефалограммы в группах были похожими. За способность *отражать* авторы назвали нейроны первых зеркальными. Эти клетки активируются, когда обезьяна выполняет целенаправленное действие и когда видит или догадывается, что кто-то другой выполняет такое действие. Расположены клетки у макак в задней теменной коре. Зеркальные нейроны у обезьян реагируют не только на движения, но и на звуки, и на мысли (по результатам), возникшие у обладателя этих нейронов. Удалось обнаружить, что, когда одни макаки выполняли ряд несложных действий на глазах у своих собратьев, в коре головного мозга *наблюдающих* обезьян регистрировалась активность нервных импульсов, аналогичная той, которая наблюдалась в коре *действующих обезьян*.

У здоровых взрослых наблюдение за двигательным поведением других людей не вызывает явной активности в нейронной сети наблюдателя. Для активации зеркальной системы эффективны только двигательные акты, присутствующие в двигательном репертуаре наблюдателя [4]. Наблюдение за танцевальными па, характерными для танцоров-мужчин, вызывает более сильную активацию зеркальных нейронов у профессиональных танцоров-мужчин, нежели у танцовщиц-женщин, и наоборот. Лучшее знание — исполнение хореографии, дополнительная тренировка — увеличивают активность зеркальных нейронов у танцоров [3, 4].

Как у обезьян, так и у людей возбуждение системы зеркальных нейронов происходит не только при наблюдении действий, но и при звуке от выполнения действий и любом другом свидетельстве выполнения, т.е. *вне зависимости от сенсорной системы*, с помощью которой была получена информация! В этой, на первый взгляд, простенькой особенности зеркальных нейронов — основа возможности манипулировать информацией, полученной от разных сенсоров, корень величия всего, что есть в человеке великого. Это основа, первое условие, возможности абстрактного мышления!

Степень активации моторной системы соответствует опыту наблюдателя в данной области. Это было показано танцевальными экспериментами — по числу па, исполняемых наблюдателем [5].

У человека зеркальные нейроны связаны с социальными взаимодействиями и обучением [6]. Электроэнцефалографическое исследование показало, что выполнение действия возбуждает систему зеркальных нейронов человека значительно сильнее, чем наблюдение за действием [7]. Зеркальными нейронами являются также клетки головного мозга, обеспечивающие подражание, обучение, понимание намерений и способов мышления другого субъекта, сопереживание, эмпатические эмоциональные реакции. Зеркальные нейроны — материальная основа эмпатии.

Перечень заболеваний приводящих к нарушениям двигательных способностей довольно широк и простирается от травматологии до нейродегенеративных заболеваний, число которых все растет при современном образе жизни. Поэтому постоянно идет поиск эффективных и легкодоступных методов реабилитации последствий данных патологий, способов быстрее поставить человека «на ноги» и вернуть к активной жизни.

Реабилитацию двигательной способности можно рассматривать как процесс обучения, при котором утраченные навыки следует восстановить, а новые — приобрести физической тренировкой. Главнейшая проблема (трудность) реабилитации — возможность выполнения больным программы рекомендуемых движений. Но всегда ли физические упражнения необходимы для достижения этих целей? Многими авторами показано, что воображение и наблюдение моторных действий приводят к активации тех же областей мозга, которые активируются выполнением действий, и, что *воображение* и *наблюдение* могут вызывать такие же пластические изменения в моторной системе, что и *движение* как реальная физическая тренировка.

Подробный обзор по использованию знаний о зеркальных нейронах в терапии недавно опубликовал Armin H. Paravlic из Словении [8]. Он сообщает, что техника зеркальных нейронов была применена для лечения в домашних условиях типичного для спорта и нередкого в повседневном быте разрыва крестообразной связки. Нарушаются кортикальный и кортикоспинальный уровни моторного контроля, динамическая стабильность колена, развиваются слабость разгибателя бедра, хромота, боль. Большинство (65% больных) в спорт уже не возвращаются, снижается качество обычной повседневной жизни. Автор рассматривает результаты *когнитивных* техник реабилитации таких пациентов, основанных на функции зеркальных нейронов. Считается, что развивающаяся патология в основном обусловлена изменениями на центральном (корковом и корково-спинальном) уровнях моторного контроля, а не на периферическом. Для повышения качества жизни, физической работоспособности, избавления от последствий травмы использовались воображаемые движения (Motor Imagery) и практика наблюдения больного за своими действиями (Action Observation). В обзоре Paravlic представлены основные механизмы, результаты когнитивных вмешательств и рекомендации по их

применению в домашних условиях. В качестве оборудования нужен только компьютер или ноутбук. Без лечения слабость четырехглавой мышцы сохраняется годы и даже всю жизнь. Положение больного осложняется быстро развивающейся из-за общей малоподвижности слабостью другой ноги. В этом и множестве других обстоятельств, когда действенные физические нагрузки затруднены или невозможны проявляется медицинская ценность природного механизма зеркальных нейронов. Он позволяет осуществлять реабилитацию моторной недостаточности в значительной степени мысленным, нежели мышечным движением. Актуальность двигательной реабилитации иллюстрируется следующей грустной статистикой последствий инсульта: «В результате инсульта 50% пациентов навсегда остаются в инвалидном кресле, 15% могут передвигаться самостоятельно, 10% могут выходить на улицу и всего 5% – подниматься по лестнице» [9].

Эта статистика отражает отдаленные результаты. Она показывает, что даже продолжительные сроки пребывания в клинике столь малоэффективны для больных и системы здравоохранения. Поэтому актуальны программы реабилитации, предназначенные для выполнения в домашних условиях [8]. Реабилитация в варианте Paravlic возможна вследствие сходства нейрофизиологических механизмов воображаемого и осуществляемого движений и сходства ощущений, испытываемых при этом человеком: соматосенсорная информация, создаваемая движением, мышечное напряжение, увеличение кровотока, смещение суставных поверхностей. Пациенты, которым не удается ярко представить и/или выполнить требуемое движение, могут начать с простого наблюдательного упражнения, просматривая на мониторе видеозапись фактического выполнения задачи. Но это будет графическая, а не кинестетическая иллюстрация. Она менее эффективна, чем последняя в решении задачи посредством зеркальных нейронов «выполнить» движение синхронно с показом, облегчить моторное обучение – почувствовать сделанным не сделанное фактически движение. Конечно, представлять лучше не пустые формальные, холодные понятия: «присел – встал», но «опустил на корточки тяжёлое тело, а потом с этим грузом встал, с трудом разгибая колени». Так увеличивается, становится ярким кинестетическое ощущение события. Зеркальные нейроны успешнее работают в эмоциональном хозяине с развитым кинестетическим чувством. В таком режиме тренировок не движение, а лишь образ движения за 4 недели увеличивает силу тела Paravlic [8].

Эмоция – мощный психологический фактор. В подтверждение помещаем краткий результат использования танца для реабилитации при самом быстро распространяющемся неврологическом заболевании в мире – болезни Паркинсона [9]. Авторы представили результат 6-недельной программы моторной стимуляции путем наблюдения, имитации, воображения движений, креативного отношения к задачам экспрессивности

и, возможно, главного фактора – музыки для 10 участников исследования с болезнью Паркинсона.

Танцы содержат несколько положительных для ума и тела факторов: приятные эмоции, творчество, изящество, ритмичность, инициатива, забвение трудностей, радостное волнение, погружение в ласкающую и бодрящую, оптимистическую, даже будучи грустной, мелодию. Для людей, уставших от трудностей болезни Паркинсона, переход из уныния и напряжения в радость и, хотя бы ограниченную, свободу. Или, по меньшей мере, во что-то приятное. Результат программы – улучшение баланса и походки.

Обсуждаемое исследование демонстрирует осуществимость совместно разработанной разными специалистами танцевальной программы для лечения болезни Паркинсона и показывает, как творческие, жизнеутверждающие элементы танца могут улучшать функциональные результаты даже при такой тяжелой болезни.

Невозможно переоценить значение технологии виртуальной реальности для медицинской разработки проблемы зеркальных нейронов. Прежде всего, конечно, по теме реабилитации при всех видах двигательных расстройств. Jashvini Amirthalingam с сотрудниками опубликовали опыт применения технологии виртуальной реальности в рандомизированных исследованиях результатов реабилитации нарушений моторной функции в трёх группах пациентов: при детском церебральном параличе, болезни Паркинсона и инсульте [10]. Результаты исследования по инсульту были подтверждены Масляковым В.В. с сотрудниками [11]. Для систематического обзора использовали результаты рандомизированных исследований, опубликованных в PubMed за последние 5 лет. После Кокрейновской поправки на риск предвзятости включили в обзор 13 исследований. Большинство клинических исследований позволили обнаружить статистически достоверное улучшение моторной функции. Увеличилась подвижность рук. У пациентов с инсультом и болезнью Паркинсона улучшились походка и баланс. Однако при детском церебральном параличе не было существенных различий между экспериментальной и контрольной группами. Применение виртуальной реальности «поразительно резко» улучшало моторику и, как оказалось, надолго – улучшение сохранялось через несколько месяцев после лечения взрослых пациентов с инсультом и болезнью Паркинсона. Для педиатрических пациентов авторы не считают эффект лечения доказанным и рекомендуют провести «большее количество клинических испытаний, чтобы подтвердить, могут ли вмешательства в виртуальной реальности обеспечить улучшенное восстановление двигательной функции».

Выразительное описание силы воздействий, опосредованных зеркальными нейронами, опубликовал Shoji Tanaka на примере оперного искусства [12]. Опера, отдаленная по средствам выражения от реальности (в повседневной жизни люди разговаривают чаще, чем по-

ют), виртуальная по принципу, оперирующая, в отличие от литературы и, тем более от быта, не столько событиями, действиями, сколько их эмоциональной подоплекой, *выражением* – мелодиями, производит (при хорошей музыке и музыкальности слушателя) более эмоциональное (сильное в контексте зеркальных нейронов), чем литература впечатление на сознание, настроение, убеждения – на внутренний мир человека.

По материалам исследований работы зеркальных нейронов можно сделать выводы о том, как человек выполняет задачи на уровне мышления, не прибегая к реальным действиям с предметами и обстоятельствами. «Найти ключ» к физиологическим процессам, отвечающим за фантазирование, за интеллектуальное и эмоциональное восприятие переживаний других людей, за сочувствие – за эмпатию.

Общеизвестно насколько неравномерно распределена в людях способность фантазировать. Это обстоятельство серьёзно сказывается на всех медицинских техниках, осуществляемых посредством интерфейса мозг-компьютер (ИМК). Успешность воображения движений «реализм» в представлениях больного при действиях в ИМК в высокой степени определяет результат курса реабилитации. Причем связь с психикой и физиологией хозяина настолько чутка, что может различно выражаться для правой и левой руки в единственном сеансе ИМК. В работе Решетниковой с сотрудниками [13] проведен анализ связей между личностными характеристиками и точностью классификации сигналов мозга при воображении движений правой руки (ПР) и левой руки (ЛР) по сравнению с покоем при однократном управлении ИМК наивными испытуемыми. Оказалось, что при воображении движений ПР успешнее оказываются экспрессивные чувствительные экстраверты, а при воображении движений ЛР – практичные, сдержанные, склонные к скепсису и не очень общительные люди. Анализ субъективной сложности воображения движений показывает, что точность классификации состояний мозга при воображении ПР по сравнению с воображением ЛР выше у тех людей, которым субъективно сложнее представлять движения ПР, но не ЛР. Авторы предполагают, что полученные данные связаны с особенностями обработки информации и организации движений, а также уровня дофамина в правом и левом полушариях головного мозга.

Воображаемое движение может быть определено как мысленное *представление* определенного мышечного действия без фактического перемещения каких-то частей тела. Действенность воображаемого движения объясняется сходством механизмов представляемого и совершаемого процессов. Оба механизма резко отличаются от состояния покоя, по изменением, развивающимся в премоторной и первичной моторной коре, но сходны между собой [14]. Иными словами: воображаемое и фактически выполняемое движения различаются по модальности (визуальное и кинестетическое), но сходны по локализации процесса в мозге.

Визуальное моторное представление может выполняться в двух вариантах: от первого лица (внутреннее) и от третьего лица (наружное). В случае мысленного выполнения от третьего лица, исследователь выступает в роли наблюдателя независимо от того, кого он видит – себя самого или другого человека. Воображаемые движения, инициированные от первого лица, имеют большую функциональную эквивалентность с реальными движениями, чем движения, инициированные от третьего лица. Тренировка с использованием воображения движения вызывает изменения в корковых моторных областях, аналогичные тем, которые возникают в результате физической тренировки.

Максимально возможные (по мнению авторов) произвольные *воображаемые* движения 15 мин в день, 5 раз в неделю в течение 4 недель увеличили *действительную* силу мышц, скорость походки, показатели тестов: «встань и иди» и «сесть/встать» [15]. Техника рекомендуется авторами для реабилитации при двигательных расстройствах.

В противоположность воображаемому движению наблюдение действия предусматривает, что субъект исследования наблюдает непосредственно движение объекта исследования или видеозапись такого движения. Конечно, эффект наблюдения действия осуществляется посредством зеркальных нейронов и объясняется сложившемся в современной медицине представлением об этих клетках [16]. Представляем ортопедический [8] и инсультный [16] варианты реабилитационной практики, ориентированной на свойства зеркальных нейронов.

Есть свидетельства о благоприятном эффекте совмещения методов наблюдения глазами и воображения по словесному описанию [17]. Позитивный эффект комбинации представляемого и наблюдаемого движения объясняют усилением кортикоспинальной возбудимости увеличением импульса для мышц-агонистов и, в качестве итога, усилением действия.

Различают воображаемые движения, сформированные на базе зрительной и кинестетической информации. Кинестетические моторные образы активируют систему движений сильнее, чем зрительные. Кинестетическое представление содержит более полную соматосенсорную информацию выполняемого физического движения: чувство мышечного напряжения, увеличение кровотока в работающей мышце, смещение суставных поверхностей. Кинестетическое, в отличие от визуального представления, модулирует кортикомоторную возбудимость. Включает обеспечивающие моторность структуры.

Paravlic рекомендует курс реабилитации в домашних условиях без обычных силовых упражнений только на основе кинестетических моторных образов и наблюдаемых движений с *увеличенной* (так он это называет) нагрузкой: продолжительность – 4 недели, частота – 3 сессии в неделю, каждая сессия – 2–3 сета по 25 повторов на сет с доступным для исполнителя максимумом воображаемого усилия [8]. Такая схема предлагается при

разрыве крестовидной связки. Сообщают об улучшении зеркальной терапией баланса и скорости походки после инсульта [18].

Систематический обзор результатов терапии наблюдениями моторики с целью реабилитации при болезни Паркинсона проведен в публикации Giannakopoulos с сотрудниками [19]. Продолжительность курса терапии: 4–8 недель. Наблюдение моторики увеличивает возбудимость моторной коры. Во время сеанса (видеокалип в ноутбуке, 60 мин, иногда с музыкой, сюжеты: ходьба, остановки и обход препятствий) Пациенты следили за движениями актера, позже пытались их имитировать. Пациентам предлагали ответить на вопрос: здоровый или больной был демонстратор. По критериям достоверности в публикацию включены данные 7 исследований с 227 участниками без деменции с длительностью болезни не меньше 9 лет. Результат свидетельствовал о позитивном эффекте наблюдения моторики на походку – снизилась частота падений и мышечная ригидность, увеличилась плавность походки. Количественно результаты отдельных исследований отличались, но основная тенденция – дозозависимое улучшение походки – была общей характеристикой, подтверждающей опосредованную зеркальными нейронами терапевтическую эффективность наблюдения движений.

Ценной особенностью методов терапии, ориентированных на функцию зеркальных нейронов, является возможность использовать их варианты отдельно и в удобных сочетаниях в домашних условиях. Это обстоятельство открывает простор для обращения к обсуждаемым методам при моторных нарушениях, требующих длительных сроков реабилитации: разрыве крестовидной связки, инсульте, болезни Паркинсона, и других подобных болезнях.

Основанное на существовании системы зеркальных нейронов лечение наблюдением движения (моторными образами) сегодня применяется пока не полным потенциалом, однако уже простирающимся от травматологии до нейродегенеративных болезней. Интернет выдает длинный (необъятный) список статей по терапии моторными образами при инсульте. Сегодня есть много свидетельств успешности этого направления.

### Список литературы

1. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.* 2004; 27: 169–192. DOI: 10.1146/annurev.neuro.27.070203
2. Быков Ю.Н., Тетюшкин Н.А., Чипизубов В.А., Калыгин А.Н., Лаврик С.Ю. Роль ренин-ангиотензиновой системы в патогенезе болезни Паркинсона. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2021; 65(1): 107–115. DOI: 10.25557/0031-2991.2021.01.107-115
3. Cattaneo L., Rizzolatti G. The mirror neuron system. *Arch. Neurol.* 2009; 66(5): 557–560. DOI: 10.1001/archneurol.2009.41
4. Лебедева Н.Н., Зуфман А.И., Мальцев В.Ю. Система зеркальных нейронов мозга: ключ к обучению, формированию личности и пониманию чужого сознания. *Успехи физиологических наук.* 2017; 48(4): 16–28.
5. Calvo-Merino B., Glaser D.E., Grèzes J., Passingham R.E., Haggard P. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with

expert dancers. *Cereb. Cortex.* 2005; 15(8): 1243–1249. DOI: 10.1093/cercor/bhi007

6. Iacoboni M., Dapretto M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat. Rev. Neurosci.* 2006; 7(12): 942–951. DOI: 10.1038/nrn2024
7. Woodruff C.C., Maaske S. Action execution engages human mirror neuron system more than action observation. *Neuroreport.* 2010; 21(6): 432–435. DOI: 10.1097/WNR.0b013e3283385910
8. Paravlic A.H. Motor Imagery and Action Observation as Appropriate Strategies for Home-Based Rehabilitation: A Mini-Review Focusing on Improving Physical Function in Orthopedic Patients. *Front. Psychol.* 2022; 13: 826476. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.826476
9. GBD 2016 Parkinson's Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2018; 17(11): 939–953. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30295-3
10. Amirthalingam J., Paidi G., Alshowaikh K., Iroshani Jayarathna A., Salibindla DBAMR, Karpinska-Leydier K., Ergin H.E. Virtual Reality Intervention to Help Improve Motor Function in Patients Undergoing Rehabilitation for Cerebral Palsy, Parkinson's Disease, or Stroke: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Cureus.* 2021; 13(7): e16763. DOI: 10.7759/cureus.16763
11. Масляков В.В., Павлова О.Н., Фохт Ю.В., Федотова Н.Н. Патогенетические механизмы развития ишемического инсульта и влияние основных факторов на прогноз заболевания. *Патогенез.* 2021; 19(4): 60–66. DOI: 10.25557/2310-0435.2021.04.60-66
12. Tanaka S. Mirror Neuron Activity During Audiovisual Appreciation of Opera Performance. *Front. Psychol.* 2021; 11: 563031. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.563031
13. Решетникова В.В., Боброва Е.В., Вершинина Е.А., Гришин А.А., Фролов А.А., Герасименко Ю.П. Зависимость успешности воображения движений правой и левой руки от личностных характеристик пользователей. *Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова.* 2021; 71(6): 820–829. DOI: 10.31857/S0044467721060083
14. Guillot A., Di Rienzo F., Macintyre T., Moran A., Collet C. Imagining is Not Doing but Involves Specific Motor Commands: A Review of Experimental Data Related to Motor Inhibition. *Front. Hum. Neurosci.* 2012; 6: 247. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00247
15. Paravlic A.H., Maffulli N., Kovač S., Pisot R. Home-based motor imagery intervention improves functional performance following total knee arthroplasty in the short term: a randomized controlled trial. *J. Orthop. Surg. Res.* 2020; 15(1): 451. DOI: 10.1186/s13018-020-01964-4
16. Zhang J.J.Q., Fong K.N.K., Welage N., Liu K.P.Y. The Activation of the Mirror Neuron System during Action Observation and Action Execution with Mirror Visual Feedback in Stroke: A Systematic Review. *Neural Plast.* 2018; 2018: 2321045. DOI: 10.1155/2018/2321045
17. Wright D.J., McCormick S.A., Williams J., Holmes P.S. Viewing Instructions Accompanying Action Observation Modulate Corticospinal Excitability. *Front. Hum. Neurosci.* 2016; 10: 17. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00017
18. Louie D.R., Lim S.B., Eng J.J. The Efficacy of Lower Extremity Mirror Therapy for Improving Balance, Gait, and Motor Function Poststroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019; 28(1): 107–120. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.09.017
19. Giannakopoulos I., Karanika P., Papaxanthis C., Tsaklis P. The Effects of Action Observation Therapy as a Rehabilitation Tool in Parkinson's Disease Patients: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022; 19(6): 3311. DOI: 10.3390/ijerph19063311

### References

1. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.* 2004; 27: 169–192. DOI: 10.1146/annurev.neuro.27.070203
2. Bykov Yu.N., Tetyushkin N.A., Chipizubov V.A., Kalyagin A.N., Lavrik S.Yu. [The role of the renin-angiotensin system in the pathogenesis of Parkinson's disease]. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya [Pathological Physiology and Experimental Therapy].* 2021; 65(1): 107–115. DOI: 10.25557/0031-2991.2021.01.107-115 (in Russian)
3. Cattaneo L., Rizzolatti G. The mirror neuron system. *Arch. Neurol.* 2009; 66(5): 557–560. DOI: 10.1001/archneurol.2009.41

4. Lebedeva N.N., Zufman A.I., Maltsev V.Yu. [The system of mirror neurons of the brain: the key to learning, personality formation and understanding of someone else's consciousness]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk [Advances in Physiological Sciences]*. 2017; 48(4): 16–28. (in Russian)
5. Calvo-Merino B., Glaser D.E., Grèzes J., Passingham R.E., Haggard P. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cereb. Cortex*. 2005; 15(8): 1243–1249. DOI: 10.1093/cercor/bhi007
6. Iacoboni M., Dapretto M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat. Rev. Neurosci.* 2006; 7(12): 942–951. DOI: 10.1038/nrn2024
7. Woodruff C.C., Maaske S. Action execution engages human mirror neuron system more than action observation. *Neuroreport*. 2010; 21(6): 432–435. DOI: 10.1097/WNR.0b013e3283385910
8. Paravlic A.H. Motor Imagery and Action Observation as Appropriate Strategies for Home-Based Rehabilitation: A Mini-Review Focusing on Improving Physical Function in Orthopedic Patients. *Front. Psychol.* 2022; 13: 826476. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.826476
9. GBD 2016 Parkinson's Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2018; 17(11): 939–953. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30295-3
10. Amirthalingam J., Paidi G., Alshowaikh K., Iroshani Jayarathna A., Salibindla DBAMR, Karpinska-Leydier K., Ergin H.E. Virtual Reality Intervention to Help Improve Motor Function in Patients Undergoing Rehabilitation for Cerebral Palsy, Parkinson's Disease, or Stroke: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Cureus*. 2021; 13(7): e16763. DOI: 10.7759/cureus.16763
11. Maslyakov V.V., Pavlova O.N., Fokht Yu.V., Fedotova N.N. [Pathogenetic mechanisms of ischemic stroke development and the influence of the main factors on the prognosis of the disease]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2021; 19(4): 60–66. DOI: 10.25557/2310-0435.2021.04.60-66 (in Russian)
12. Tanaka S. Mirror Neuron Activity During Audiovisual Appreciation of Opera Performance. *Front. Psychol.* 2021; 11: 563031. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.563031
13. Reshetnikova V.V., Bobrova E.V., Vershinina E.A., Grishin A.A., Frolov A.A., Gerasimenko Yu.P. [The dependence of the success of imagining the movements of the right and left hands on the personal characteristics of users]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova [I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]*. 2021; 71(6): 820–829. DOI: 10.31857/S0044467721060083 (in Russian)
14. Guillot A., Di Rienzo F., Macintyre T., Moran A., Collet C. Imagining is Not Doing but Involves Specific Motor Commands: A Review of Experimental Data Related to Motor Inhibition. *Front. Hum. Neurosci.* 2012; 6: 247. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00247
15. Paravlic A.H., Maffulli N., Kovač S., Pisot R. Home-based motor imagery intervention improves functional performance following total knee arthroplasty in the short term: a randomized controlled trial. *J. Orthop. Surg. Res.* 2020; 15(1): 451. DOI: 10.1186/s13018-020-01964-4
16. Zhang J.J.Q., Fong K.N.K., Welage N., Liu K.P.Y. The Activation of the Mirror Neuron System during Action Observation and Action Execution with Mirror Visual Feedback in Stroke: A Systematic Review. *Neural Plast.* 2018; 2018: 2321045. DOI: 10.1155/2018/2321045
17. Wright D.J., McCormick S.A., Williams J., Holmes P.S. Viewing Instructions Accompanying Action Observation Modulate Corticospinal Excitability. *Front. Hum. Neurosci.* 2016; 10: 17. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00017
18. Louie D.R., Lim S.B., Eng J.J. The Efficacy of Lower Extremity Mirror Therapy for Improving Balance, Gait, and Motor Function Poststroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019; 28(1): 107–120. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.09.017
19. Giannakopoulos I., Karanika P., Papaxanthis C., Tsaklis P. The Effects of Action Observation Therapy as a Rehabilitation Tool in Parkinson's Disease Patients: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022; 19(6): 3311. DOI: 10.3390/ijerph19063311

#### Сведения об авторах:

**Пальцын Александр Александрович** — доктор биологических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, главный научный сотрудник лаборатории регуляции репаративных процессов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; профессор кафедры общей патологии и патофизиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская Академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0001-9686-8995>

**Свиридкина Надежда Борисовна** — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории регуляции репаративных процессов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»