



АСИММЕТРИЯ ВЫБОРА МЕНТАЛЬНЫХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕНСОМОТОРНЫХ ЗАДАЧ ПРАВОЙ И ЛЕВОЙ РУКОЙ

ЧЕТВЕРИКОВ А.А. *, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: a.chetverikov@psy.spbu.ru

ЛЯХОВЕЦКИЙ В.А. **, Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: v_la2002@mail.ru

В статье рассматривается роль межполушарной асимметрии при решении простой сенсомоторной задачи – воспроизведения последовательности движений на сенсорном экране левой или правой рукой. Предполагалось, что данная задача может решаться с использованием векторной либо позиционной систем репрезентаций, которые в разной степени активны при работе левого и правого полушария, и, как следствие, левой и правой руки. Была проанализирована точность воспроизведения и направление ошибок в зависимости от инструкции (точное воспроизведение последовательности или упрощенное воспроизведение последовательности) и типа стимульного материала (последовательность прямолинейных движений или последовательность криволинейных движений) при последовательном выполнении данной задачи левой и правой рукой. Воспроизведение последовательности правой рукой оказалось более эффективным только для последовательности прямолинейных движений. Кроме того, обнаружен негативный перенос при последовательном выполнении заданий сначала правой, затем левой рукой, и позитивный перенос при обратном порядке выполнения задач. При решении задачи правой рукой испытуемые более склонны совершать ошибки, связанные с искажением последовательности движений в сторону упрощенной (прямолинейной) репрезентации. Полученные данные обсуждаются с точки зрения межполушарной асимметрии и связанными с ней различиями в используемых системах репрезентаций.

Ключевые слова: межполушарная асимметрия, сенсомоторные задачи, повторение движений, перенос навыка, ошибки, векторное и позиционное кодирование.

Важная задача изучения памяти – выявление имплицитных схем, с помощью которых кодируются и воспроизводятся воспринимаемые человеком стимулы. На ранних этапах как восприятия, так и организации действия схемы кодирования тесно связаны со структурой внешнего пространства (Бернштейн, 1966; Веккер, 1998). Методики выявления схем кодирования отличаются чрезвычайным разнообразием и широко применяются при изучении всех этапов процесса восприятия – от анализа активности внутриклеточных отведений различных областей мозга у обезьян при решении отдельных задач (Orlov et al., 2002)

Для цитаты:

Четвериков А. А., Ляховецкий В. А. Асимметрия выбора ментальных репрезентаций при выполнении сенсомоторных задач правой и левой рукой // Экспериментальная психология. 2014. № 1. С. 18–27.

* Четвериков А.А. Младший научный сотрудник, факультет психологии Санкт-Петербургского государственного университета, e-mail: a.chetverikov@psy.spbu.ru

** Ляховецкий В.А. Кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Институт физиологии им. И.П. Павлова, РАН, e-mail: v_la2002@mail.ru



через анализ времен реакции на различные виды пространственно локализованных стимулов (Kosslyn et al., 1995) и до изучения влияния категоризации на восприятие (Goldstone, 1995; Harnad, 1987).

Настоящее исследование посвящено изучению роли межполушарной асимметрии в кодировании и воспроизведении простых последовательностей движений. Известно, что при запоминании движений правое полушарие в большей степени связано с позиционным кодированием, т.е. с кодированием абсолютного положения в пространстве, а левое – с векторным кодированием, т.е. с кодированием относительных перемещений (Ляховецкий, Боброва, 2009; Sainburg, Duff, 2006). Также предполагается большая вовлеченность правого полушария в формирование точных пространственных репрезентаций для организации целенаправленных движений, а левого полушария в организацию категориальных пространственных репрезентаций и пропозициональных репрезентаций (описание объектов через систему правил) (Kosslyn, 2005). Поскольку воспроизведение последовательности движений правой руки связано преимущественно с активностью левого полушария, а левой руки – с активностью обоих полушарий (Grafton et al., 1998, 2002), сравнение точности выполнения заданий левой и правой рукой позволяет оценить влияние межполушарной асимметрии при воспроизведении последовательности движений.

Другими словами, выполнение сенсомоторных задач правой или левой рукой позволяет исследовать обработку одного и того же стимульного материала при активации различных внутренних репрезентаций. Причем такая методика достаточно проста, не инвазивна и не требует кратковременного предъявления стимульного материала (что может затруднить использование пропозициональных репрезентаций).

Кроме того, нас интересовал вопрос о переносе навыка между левой и правой рукой при последовательном выполнении серии заданий. При решении сенсомоторных задач наиболее часто наблюдается перенос с доминантной на недоминантную руку, однако в зависимости от задачи возможен и обратный перенос, и перенос с обеих рук, и отсутствие переноса (Criscimagna-Hemminger et al., 2003). Причем четкой связи между направлением переноса навыка и типом задачи не установлено. Существуют ли задачи, которые предпочтительно выполнять левой рукой, так как при их выполнении более эффективны репрезентации, преимущественно связанные с активностью правого полушария?

Таким образом, цель настоящего исследования – выявить отличия при воспроизведении последовательности движений левой или правой рукой и характер переноса полученного навыка с одной руки на другую.

Методика

Стимульным материалом являлись многоугольники (от треугольника до шестиугольника). Стороны многоугольников – либо прямые отрезки (рис. 1В, 1D), либо выпуклые или вогнутые кривые Безье (рис. 1А, 1С). Углы многоугольников отличались от углов правильного многоугольника с соответствующим числом сторон на ± 15 градусов. Угловой размер многоугольников на экране монитора составлял 12–15 градусов. Контур многоугольника рисовался на экране сенсорного монитора в течение 2–3 сек, последовательно, начиная с одной точки, задавая тем самым последовательность движений испытуемого.

Когда контур замыкался, на экране предъявлялась буква О («оригинал») либо П («прототип»), обозначающая инструкцию, которую нужно было выполнить испытуемому. После паузы в 1,5 с буква исчезала вместе с контуром. Первая инструкция – повторить



предъявляемый контур (О, «оригинал»), проведя указательным пальцем левой или правой руки на экране сенсорного монитора, начиная с той же точки и в том же направлении, в каком контур рисовался. При этом рисунок испытуемого на экране не отображался. Вторая инструкция, предлагавшаяся только в случае кривых Безье, требовала построить прототип предъявленного контура (П, «прототип»). Под «прототипом» понимался многоугольник с вершинами, соответствующими вершинам предъявляемой фигуры (оригинала Безье), сторонами которого являются не кривые Безье, а отрезки. Таким образом, два вида стимулов и два вида инструкций задавали три типа задач предположительно в различной мере активизирующих различные ментальные репрезентации: оригинал многоугольника (далее – оригинал), оригинал Безье, прототип Безье (далее – прототип). Например, пятиугольник на рис. 1D является прототипом для фигуры, изображенной на рис. 1C. Обозначение задачи (О/П) объяснялось испытуемым до выполнения эксперимента, все три типа задач демонстрировались на ознакомительных стимулах.

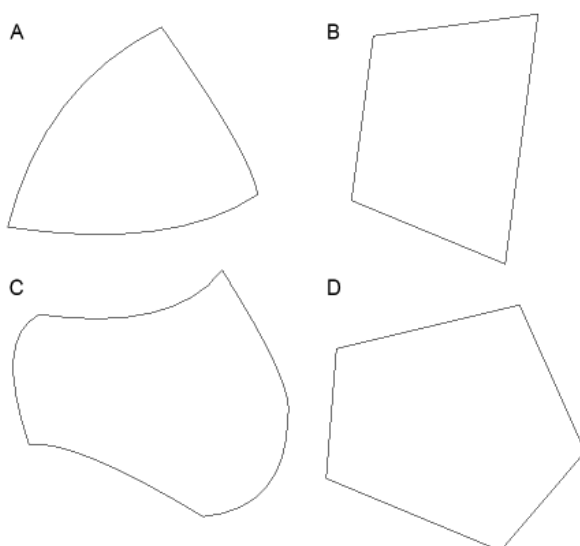


Рис. 1. Пример стимульного материала. Контур D представляет собой «прототип» контура C

В эксперименте участвовали 2 группы испытуемых, все правши, распределение происходило случайным образом, испытуемые участвовали добровольно, без вознаграждения. Эксперимент был разделен на две серии заданий. Одна группа испытуемых ($N = 10$) в первой серии выполняла задания правой рукой, а во второй – левой рукой (группа *R*). Другая группа испытуемых ($N = 12$) в первой серии выполняла задания левой рукой, а во второй – правой (группа *L*). В каждой серии предъявлялись 3 ознакомительных стимула, а затем 48 тестовых: 3 задачи (повторить оригинал; повторить оригинал Безье; построить прототип Безье) \times 4 варианта числа сторон (от 3 до 6 сторон) \times 2 направления обводки (вверх-вправо либо вниз-влево от начальной точки) \times 2 различных стимула (для каждого числа сторон использовались два различных контура: прямолинейные – в задаче повторить оригинал, а их криволинейные версии – в задачах повторить оригинал Безье и построить прототип Безье). Стимулы в первой и второй сериях были одинаковыми и предъявлялись в псевдослучайном порядке. Опыт проводился без обратной связи – испытуемым не сообщалось о качестве воспроизведения.



Исследование проводилось с использованием сенсорного монитора ПУАМА ProLite 22 T2250MTS, окончание рисования контура фиксировалось нажатием клавиши «пробел».

Обработка результатов

Регистрировались координаты точек касания сенсорного монитора указательным пальцем испытуемого. По этим координатам восстанавливался контур, воспроизведенный испытуемым. Для задач «оригинал» и «оригинал Безье» совмещались центры тяжести запоминаемого и воспроизведенного контура. Затем вычислялась площадь, принадлежащая одновременно двум контурам, площадь, принадлежащая только запоминаемому контуру, и площадь, принадлежащая только воспроизведенному контуру (рис. 2А). Мера отличия запоминаемого и воспроизведенного контура определялась как $M=(Nb+Nc)/Na$, где Na – площадь, принадлежащая одновременно запоминаемому и воспроизведенному контуру, Nb – площадь, принадлежащая только воспроизведенному контуру, Nc – площадь, принадлежащая только запоминаемому контуру. Чем выше M , тем значительнее отличаются запомненный и воспроизведенный контур друг от друга. Для задачи «прототип Безье» проводили аналогичные операции с контуром-прототипом (а не с предъявленным криволинейным контуром) и воспроизведенным контуром.

Кроме того, для задачи «оригинал Безье» анализировалось попадание точек контура по каждому из секторов оригинального многоугольника (прототипа) в одну из трех областей: «внутри» прототипа и оригинала Безье, «между» прототипом и оригиналом, «вне» прототипа и оригинала (рис. 2В). Затем с учетом взаимного расположения прототипа и оригинала в данном секторе (кривые Безье могли быть как выпуклыми, так и вогнутыми) рассчитывалось число точек контура, соответствующих движению от прототипа (искажение «от прототипа») и по направлению к нему (искажение «к прототипу»). На основе этих данных анализировалась тенденция к «исправлению» оригинала Безье до прототипа.

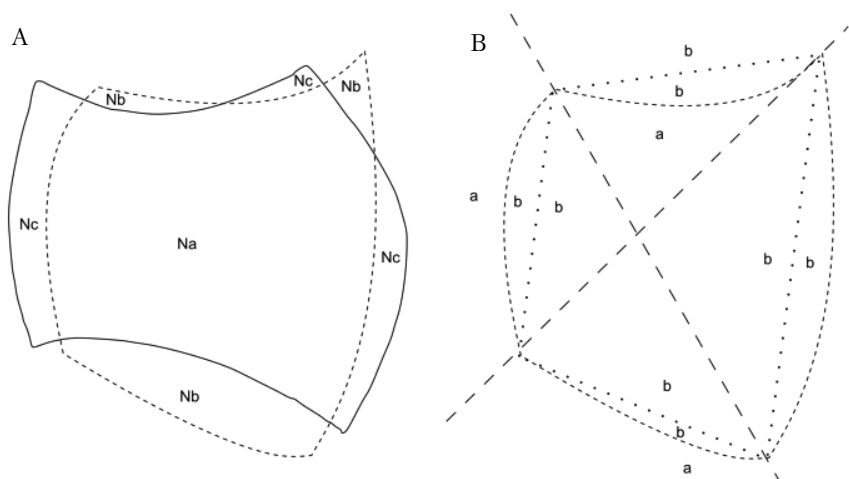


Рис. 2. Обработка результатов: А – анализ точности воспроизведения. Пунктирный контур – предъявленный стимул, сплошная линия – воспроизведенный контур. Точность оценивалась как $M=(Nb+Nc)/Na$; В – анализ направления ошибок. Линия точками – прототип, линия коротким пунктиром – оригинал Безье, линия длинным пунктиром – деление объекта на сектора. Точки, попавшие в области, обозначенные буквой а, считались искажением «от прототипа», буквой б – искажением «к прототипу»



Результаты

Средние величины отличий запоминаемых и воспроизводимых контуров по анализу площадей приведены на рис. 3. Чтобы проанализировать структуру взаимодействия трех факторов, было проведено попарное сравнение точности воспроизведения с использованием теста Уилкоксона для всех комбинаций факторов с поправкой на множественные сравнения Бенджамини-Хохберга. Описываемые далее различия статистически значимы при $\alpha = 0,05$, в квадратных скобках указаны доверительные интервалы для средних. В группе *R* задача «повторить оригинал» оказалась наиболее простой для испытуемых – при выполнении этой задачи как правой, так и левой рукой величина *M* ниже, чем для двух других задач: $M = 0,26$ [0,25; 0,28] против $M = 0,36$ [0,33; 0,38] для задачи «оригинал Безье» и $M = 0,31$ [0,29; 0,33] для задачи «прототип Безье». При этом выполнение задачи «оригинал» левой рукой после работы правой руки затруднено – величина *M* выше для движений левой руки, $M = 0,28$ [0,26; 0,30], чем для движений правой руки, $M = 0,24$ [0,23; 0,26] (и выше, чем для движений левой руки в группе *L*, см. ниже). При этом в задаче «оригинал Безье» и «прототип Безье» достоверных отличий между качеством выполнения задания правой и левой рукой обнаружено не было. Наконец, выполнение правой рукой задания «прототип Безье» в данной группе отличалось большей точностью, чем выполнение задания «оригинал Безье»: $M = 0,31$ [0,29; 0,34] против $M = 0,37$ [0,34; 0,41].

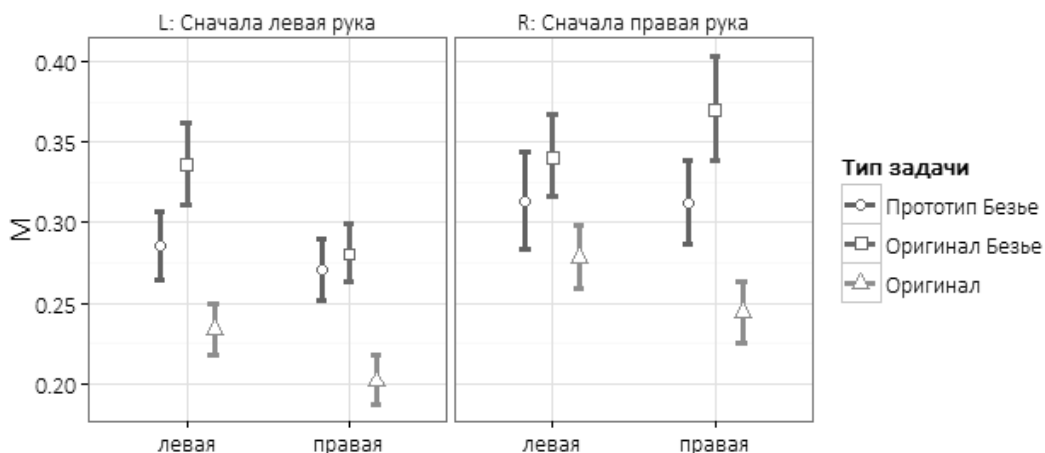


Рис. 3. Точность воспроизведения контура в зависимости от руки, типа задачи и порядка выполнения задач

В группе *L* задача «оригинал» также оказалась наиболее простой для испытуемых – при выполнении этой задачи как левой, так и правой рукой величина *M* ниже, чем для двух других задач: $M = 0,22$ [0,21; 0,23] против $M = 0,31$ [0,29; 0,32] для задачи «оригинал Безье» и $M = 0,28$ [0,27; 0,29] для задачи «прототип Безье». Выполнение правой рукой после работы левой руки задач «оригинал» и «оригинал Безье» облегчается – величина *M* ниже для движений правой руки ($M = 0,20$ [0,19; 0,22] и $M = 0,28$



[0,26; 0,30]), чем для движений левой руки ($M = 0,23$ [0,22; 0,25] и $M = 0,29$ [0,27; 0,30]). В задаче «прототип Безье» достоверных отличий между качеством выполнения задания левой и правой рукой обнаружено не было. Наконец, задание «прототип Безье» левой рукой выполняется точнее, чем задание «оригинал Безье»: $M = 0,29$ [0,27; 0,30] против $M = 0,34$ [0,31; 0,36].

Сравнение результатов выполнения задания двумя группами показывает, что точность повторения контуров в группе *L* выше (а значение *M*, соответственно, ниже), чем в группе *R*, при выполнении всех типов задач для правой руки, а также при выполнении задачи «оригинал» для левой руки. Таким образом, существует позитивный перенос навыка с левой на правую руку (правая рука работает точнее после выполнения задания левой), и негативный (но только для типа задания «оригинал») – в обратном направлении (левая рука работает менее точно после выполнения задания правой).

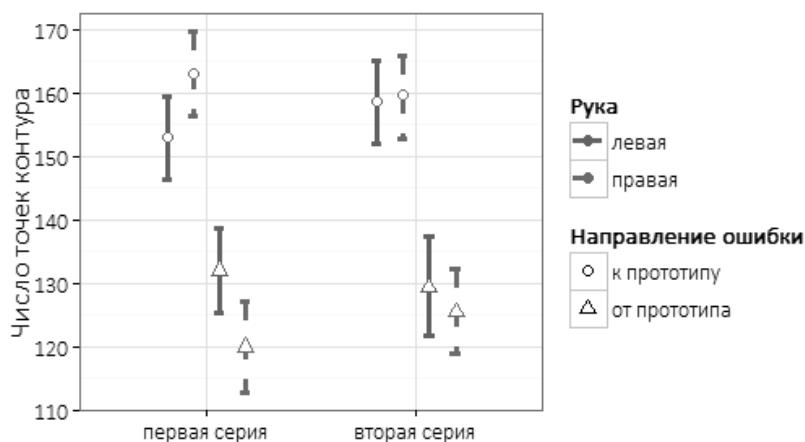


Рис. 4. Число точек контура в зависимости от руки и направления ошибки

Анализ контуров по секторам при инструкции рисовать оригинал проводился с использованием ANOVA (Рука: «левая» или «правая» × Зона: «к прототипу» или «от прототипа»). Как описано выше, под искажениями «к прототипу» и «от прототипа» подразумевалось число точек нарисованного контура, соответствующих движению от прототипа и по направлению к нему. Было обнаружено, что размер искажений «к прототипу» больше, чем размер искажений в сторону от прототипа (Зона: $F(1, 21) = 66,9, p < 0,001$), при этом тенденция исправления оригинала Безье до прототипа более выражена для правой руки, чем для левой (Рука × Зона: $F(1, 21) = 5,86, p = 0,025$). Для правой руки тенденция рисовать контур с искажениями в направлении, противоположном «от прототипа», менее выражена, чем для левой, а тенденция рисовать контур с искажениями в направлении прототипа – наоборот, более выражена в первой серии (см. рис. 4). Причем, как видно из рис. 4, это различие практически пропадает во второй серии. Другими словами, обучение выполнению задания левой рукой в первой серии приводит к тому, что во второй серии размер искажений в направлении прототипа для правой руки становится практически таким же, как и для левой руки.



Обсуждение

Результаты исследования показывают, что наиболее простой из предъявленных испытуемым задач является задача повторения контуров многоугольников, образованных отрезками прямых. В случае предъявления фигур с кривыми Безье точность выполнения задания «оригинал Безье» выше, чем точность выполнения задания «прототип Безье», однако ко второй серии это различие пропадает независимо от того, с какой руки начиналось выполнение задания.

При этом характер переноса навыка выполнения задачи между руками испытуемых двух групп все же различен. Для испытуемых группы *R* наблюдается негативный перенос навыка повторения контуров многоугольников, образованных отрезками прямых (задача «оригинал»), с правой руки на левую руку. Для испытуемых группы *L* наблюдается позитивный перенос навыка выполнения всех типов задач с левой руки на правую руку.

Различия в характере выполнения задач могут быть связаны с различиями центральных механизмов управления движениями правой и левой руки, обусловленных функциональной межполушарной асимметрией мозга. Задача повторения контуров многоугольников, образованных отрезками прямых, допускает внутреннюю репрезентацию запоминаемых контуров как в виде набора векторов, так и в виде целостных пространственных образов. Первый из этих способов предположительно связан с активностью левого полушария и может использоваться при организации движений обеих рук, второй – связан с активностью правого полушария и может использоваться при организации движений левой руки. Отметим, что на существование таких внутренних репрезентаций указывал еще Бернштейн (1966, подуровни С1 и С2 уровня пространственного поля).

Данные исследований о запоминании последовательностей, организованных по различным правилам, дают основания предположить, что способ кодирования информации о последовательности движений, активированный при работе правой рукой, при кратковременном выполнении задачи может мешать последующему выполнению задач левой рукой (Боброва и др., 2011). Напротив, предшествующая работа левой руки снимает «конкуренцию» между различными системами кодирования и облегчает последующую работу правой руки (там же). Аналогичный эффект – улучшение качества выполнения задания обведения стрелок иллюзии Мюллера-Лайера при движениях правой руки после предшествующей работы левой руки – присутствовал в экспериментах Карпинской и Ляховецкого (2012). Предположительно, уменьшение силы иллюзии после работы левой руки было обусловлено внутренней репрезентацией иллюзии как целостного образа без разделения на отдельные объекты, между которыми устанавливаются искаженные пространственные отношения.

При повторении контуров многоугольников, образованных кривыми Безье, внутренняя репрезентация запоминаемых контуров в виде набора векторов, очевидно, затруднена. Поэтому эта задача является наиболее сложной для выполнения правой рукой испытуемых группы *R*. В группе *L*, когда правая рука работает после левой, эта задача выполняется с использованием внутренней репрезентации контуров в виде целостных образов, активированной при предыдущей работе левой руки, и является более простой.

При построении прототипов многоугольников, образованных кривыми Безье, может применяться пропозициональная репрезентация, связанная с активностью левого полушария. Результаты анализа рисования контуров по секторам показывают, что такая репрезентация используется более активно при движениях правой руки испытуемых группы *R*, чем при движениях левой руки испытуемых группы *L*. Можно было бы ожидать, что при ре-



шении этой задачи будет затруднено использование репрезентаций контуров как целостных образов, и качество движений правой руки испытуемых группы *L* будет хуже, чем при повторении контуров многоугольников, образованных кривыми Безье. Однако этот эффект обнаружен не был, что может быть обусловлено фактором «пола». Кроме того, следует отметить, что в данном эксперименте, в отличие от работы Бобровой и др. (2011), не наблюдается более точного выполнения такой задачи правой рукой по сравнению с левой. Предположительно это связано с достаточно недолгим предъявлением стимульного материала: аналогичного превосходства правой руки над левой рукой не удалось продемонстрировать и в другой работе (van der Ham, Borst, 2011).

Заключение

В проведенном исследовании рассматривается зависимость качества выполнения задачи повторения зрительно предъявляемых контуров от руки, выполняющей движения, от предыстории выполнения движений и от типа используемого стимула. Показано, что используемые зрительные стимулы допускают различные внутренние репрезентации. Если испытуемые сначала работают правой рукой, а затем левой, то более активно используются внутренние репрезентации, предположительно локализованные в левом полушарии (векторное кодирование, пропозициональное кодирование). Если испытуемые сначала работают левой рукой, а затем правой, более активно используются внутренние репрезентации, предположительно локализованные в левом полушарии (позиционное кодирование, кодирование целостными образами). От используемых репрезентаций зависит качество выполнения задачи и, следовательно, знак переноса навыка. В данных экспериментах наблюдался негативный перенос навыка выполнения движений правой руки на левую руку и положительный перенос навыка выполнения движений левой руки на правую руку. Другими словами, испытуемые способны использовать информацию, полученную при позиционном кодировании или кодировании целостными образами, для более успешного выполнения задачи с помощью векторного или пропозиционального кодирования, но обратный перенос затруднен.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант №11-06-00287а.

Литература

- Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
- Боброва Е. В., Ляховецкий В. А., Борщевская Е. Р. Роль «предыстории» в воспроизведении последовательности движений правой или левой руки: кодирование положений, движений, структуры элементов последовательности // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Т. 61. № 5. С. 565–572.
- Веккер Л. М. Психика и реальность. Единая теория психических процессов. М.: Смысл, 1998.
- Ляховецкий В. А., Боброва Е. В. Воспроизведение запомненной последовательности движений правой и левой руки: позиционное и векторное кодирование // Журнал высшей нервной деятельности. 2009. Т. 59. № 1. С. 45–54.
- Карпинская В. Ю., Ляховецкий В. А. Роль межполушарной асимметрии при сенсомоторной оценке иллюзий восприятия // Экспериментальная психология. 2012. № 1. С. 35–44.
- Criscimagna-Hemminger S.E., Donchin O., Gazzaniga M.S., Shadmehr R. Learned dynamics of reaching movements generalize from dominant to nondominant arm // J. Neurophysiol. 2003. V. 89. P. 168–176.
- Goldstone R.L. Effects of Categorization on Color Perception // Psychological Science. 1995. V. 6. № 5. P. 298–304.
- Grafton S.T., Hazeltine E., Ivry R.B. Abstract and effector-specific representations of motor sequences identified with PET // J. Neurosci. 1998. V. 18. № 22. P. 9420–9428.



- Grafton S.T., Hazeltine E., Ivry R.B. Motor sequence learning with the nondominant left hand. A PET functional imaging study // *Exp. Brain Res.* 2002. V. 146. P. 369–378.
- Van der Ham J.M., Borst G. Individual differences in spatial relation processing: effects of strategy, ability, and gender // *Brain Cogn.* 2011. V. 76. № 1. P. 184–190.
- Harnad S. Introduction: psychological and cognitive aspects of categorical perception: a critical overview // *Categorical perception: The groundwork of cognition.* NY: Cambridge University Press, 1987. P. 1–28.
- Kosslyn S.M., Behrmann M., Jeannerod M. The cognitive neuroscience of mental imagery // *Neuropsychologia.* 1995. V. 33. P. 1335–1344.
- Kosslyn S.M. Mental images and the brain // *Cognitive Neuropsychology.* 2005. V. 22. P. 333–347.
- Orlov T., Yakovlev V., Amit D., Hochshtein S., Zohary E. Serial memory strategies in macaque monkeys: behavioral and theoretical aspects // *Cerebral Cortex.* 2002. V. 12. P. 306–317.
- Sainburg R.L., Duff S.V. Does motor lateralization have implications for stroke rehabilitation? // *J. Rehabil. Res. Dev.* 2006. V. 43. № 3. P. 311–322.

ASYMMETRY OF SELECTION OF MENTAL REPRESENTATIONS IN PERFORMING SENSORIMOTOR TASKS WITH RIGHT AND LEFT HAND

CHETVERIKOV A.A. *, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: a.chetverikov@psy.spbu.ru
LYAKHOVETSKY V.A. **, I.P. Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, e-mail: v_la2002@mail.ru

The article discusses the role of hemispheric asymmetry in the performing of simple sensorimotor tasks: a sequence of movements on a touch screen with the left or right hand. It was assumed that this task can be solved using vector or positioning system of representations, which in varying degrees are active in the work of the left and right hemispheres, and as a result, of the left and right hands. We analyzed the accuracy and direction of errors depending on the instruction (exact playback of sequence or simplified playback of sequence) and the type of stimulus material (sequence of rectilinear movements or sequence of curvilinear movements) during a sequential execution of the task with the left and the right hand. Playback of sequence with the right hand appeared to be more effective only in the situation of rectilinear movements. In addition, the negative transfer was detected in the sequential performing of tasks first with the right hand, then with the left hand, and positive transfer was discovered in the situation of the reverse order of performing of tasks. At the same time in the situation of performing task with the right hand subjects were more likely to make errors associated with distortion of the sequence of movements towards a simplified (rectilinear) representation. The data obtained are discussed in terms of hemispheric asymmetry and the related differences in the systems of representations.

Keywords: hemispheric asymmetry, sensorimotor tasks, repetition of movements, skills transfer, errors, vector and positional encoding.

Funding

The study is supported by RFBR, project 11-06-00287a.

For citation:

Chetverikov A.A., Lyakhovetsky V.A. Asymmetry of selection of mental representations in performing sensorimotor tasks with right and left hand. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 18–27 (In Russ., abstr. in Engl.).

* Chetverikov A.A. Junior Research Associate, Department of Psychology, Saint Petersburg State University, e-mail: a.chetverikov@psy.spbu.ru

** Lyakhovetsky V.A. Cand. of Sci. in Technology, Junior Research Associate, Laboratory of Physiology of Movement, I.P. Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, e-mail: v_la2002@mail.ru



References

- Bernstein N.A. Oчерки po fiziologii dvizhenii i fiziologii aktivnosti [Essays on the physiology of movement and the physiology of activation]. Moscow, Meditsina, 1966. 349 p.
- Bobrova E.V., Liakhovetskii V.A., Borshchevskaia E. R. Rol' «predystorii» v vosproizvedenii posledovatel'nosti dvizhenii pravoi ili levoi ruki: kodirovanie polozhenii, dvizhenii, struktury elementov posledovatel'nosti [Influence of “Prehistory” of Sequential Movements of the Right and the Left Hand: Coding of Positions, Movements and Sequence Structure]. Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti, vol. 61, no. 5, 2011, pp. 565-572.
- Vekker L.M. Psihika i real'nost'. Edinaja teoriya psikhicheskikh processov. M.: Smysl, 1998.
- Ljahoveckij V.A., Bobrova E.V. Vosproizvedenie zapomnennoj posledovatel'nosti dvizhenij pravoi i levoi ruki: pozicionnoe i vektornoe kodirovanie // Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti. T. 59. № 1. 2009. С. 45–54.
- Karpinskaja V.Ju., Ljahoveckij V.A. Rol' mezhpolutsharnoj asimmetrii pri sensomotornoj ocenke illuzij vosprijatija // Jeksperimental'naja psihologija. 2012. № 1. С. 35–44.
- [Influence of “Prehistory” of Sequential Movements of the Right and the Left Hand: Coding of Positions, Movements and Sequence Structure]. Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti, 2011, vol. 61, no. 5, pp. 565–572.
- Vekker L.M. Psikhika i real'nost'. Edinaja teoriya psikhicheskikh protsessov [Mind and reality. Unified theory of psychic processes]. Moscow, Smysl, 1998.
- Liakhovetskii V.A., Bobrova E.V. Vosproizvedenie zapomnennoi posledovatel'nosti dvizhenii pravoi i levoi ruki: pozitsionnoe i vektornoe kodirovanie [Sequence acquisition by the right and the left hand: positional and vector coding]. Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti, 2009, vol. 59, no. 1, pp. 45–54.
- Karpinskaia V.Iu., Liakhovetskii V.A. Rol' mezhpolutsharnoi asimmetrii pri sensomotornoi otsenke illuzii vospriiatia [The role of interhemispheric asymmetry in sensorimotor measurements of perceptual illusions]. Eksperimental'naja psikhologija, 2012, no. 1, pp. 35–44.
- Crisimagna-Hemminger S.E., Donchin O., Gazzaniga M.S., Shadmehr R. Learned dynamics of reaching movements generalize from dominant to nondominant arm. J. Neurophysiol, 2003, vol. 89, pp. 168–176.
- Goldstone R.L. Effects of Categorization on Color Perception. Psychological Science, 1995, vol. 6, no. 5, pp. 298–304.
- Grafton S.T., Hazeltine E., Ivry R.B. Abstract and effector-specific representations of motor sequences identified with PET. J. Neurosci., 1998, vol. 18, no. 22, pp. 9420–9428.
- Grafton S.T., Hazeltine E., Ivry R.B. Motor sequence learning with the nondominant left hand. A PET functional imaging study. Exp. Brain Res., 2002, vol. 146, pp. 369–378.
- Van der Ham J.M., Borst G. Individual differences in spatial relation processing: effects of strategy, ability, and gender. Brain Cogn., 2011, vol. 76, no. 1, pp. 184–190.
- Harnad S. Introduction: psychological and cognitive aspects of categorical perception: a critical overview. Categorical perception: The groundwork of cognition. New York, Cambridge University Press, 1987, pp. 1–28.
- Kosslyn S.M., Behrmann M., Jeannerod M. The cognitive neuroscience of mental imagery. Neuropsychologia, 1995, vol. 33, pp. 1335–1344.
- Kosslyn S.M. Mental images and the brain. Cognitive Neuropsychology, 1995, vol. 22, pp. 333–347.
- Orlov T., Yakovlev V., Amit D., Hochshtein S., Zohary E. Serial memory strategies in macaque monkeys: behavioral and theoretical aspects. Cerebral Cortex, 2002, vol. 12, pp. 306–317.
- Sainburg R.L., Duff S.V. Does motor lateralization have implications for stroke rehabilitation? J. Rehabil. Res. Dev, 2006, vol. 43, no. 3, pp. 311–322.