

УДК 159.9

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНО- АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «ДВИГАТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ»¹

Д.Ю. Баланев¹, Е.В. Смешко¹, Д.А. Кох¹

¹ Томский государственный университет, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36

Резюме

Целью исследования является экспериментальное моделирование индивидуального процесса организации когнитивного пространства испытуемыми в ситуации реального решения задач. Актуальность проблемы изучения влияния двигательной активности на процесс решения познавательных задач определяется тем, что феномен двигательной активности с точки зрения ее психологического содержания остается одной из центральных категорий исследований зарубежной и отечественной психологии. В статье обсуждаются результаты лабораторного эксперимента, полученные при помощи средств анализа, основанных на фиксации трека движения. Выборку экспериментальной группы составили 30 человек в возрасте 18–24 лет (19 юношей и 11 девушек), студенты Томского государственного университета. В качестве метода исследования двигательной активности человека при решении познавательной задачи была выбрана классическая задача «Ханойская башня». Для анализа данных применялся качественный метод с применением компьютерных технологий – использовалась программа R-project с графическим пользовательским интерфейсом RStudio.

Результаты, полученные в данном исследовании с применением трех различных условий предъявления задачи «Ханойская башня», показали, что различные изменения зрительной репрезентации по-разному влияют на двигательную активность испытуемых. Анализ динамики двигательной активности в процессе решения когнитивной задачи позволил выделить основные маркеры двигательной активности и повторяющиеся паттерны, возникшие в результате реконструкции визуальной обратной связи. Было выделено пять типов решения познавательной задачи, отличающихся между собой разной динамикой движения и скоростными характеристиками. Получено представление о двигательных закономерностях решения познавательной задачи в различных предъявляемых условиях.

По итогам исследования представлен вариант разработанного тренажера когнитивных навыков управления визуальной коррекцией двигательной активности испытуемого в процессе решения познавательной задачи. Предложенный вариант когнитивного тренажера открывает новые возможности оценки многообразия действий пользователя, выбирающего определенные когнитивные стратегии.

Ключевые слова: двигательная активность; когнитивная ситуация; «Ханойская башня»; стратегия; динамика действий; скорость; длительность; зрительная репрезентация

¹ Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2020-0040.

Введение

В зарубежной и отечественной психологии идеи влияния двигательной активности на психические процессы являются на сегодняшний день достаточно актуальными и вызывают большой интерес как в экспериментальной науке, так и в других смежных науках (Логинов и др., 2021; Чистопольская, Лазарева, Маркина, Владимиров, 2019; Piek, Dawson, Smith, Gasson, 2008; Schneegans, Schöner, 2008). Отметим, что диагностика и развитие движений с точки зрения их психологического содержания долгое время сдерживались отсутствием инструментов, позволяющих осуществлять их мониторинг в повседневной жизнедеятельности, образовательной и трудовой деятельности. Еще одним фактором, позволяющим по-новому взглянуть на движение как на источник данных для психологического анализа, стало быстрое развитие в последние годы методов анализа сигналов и распознавания образов, машинного обучения и искусственного интеллекта (Полухина, Соловьев, 2016; А.Р. Ведерников, М.Р. Ведерников, Ведерникова, Новоселов, 2019). Исследователями неоднократно поднимался вопрос о связи двигательной активности с решением когнитивных и познавательных задач (Макаров, Кутузова, 2020; Чистопольская, Курицын, 2021; Werner, Raab, 2013; Werner, Raab, Fischer, 2019). Многие психологи, физиологи и другие ученые обращаются к необходимости разработки нового методического и аппаратного инструментария для анализа двигательной активности человека в процессе выполнения когнитивной деятельности (Агафонов, Козлов, 2014; Канжин, Иорданова, 2010). В данной работе решается проблема построения новых средств анализа и формирования поведения человека, основанных на мониторинге его двигательной активности.

В работе А.В. Запорожца (1960) утверждается, что «...движение – это универсальное проявление жизнедеятельности, обеспечивающее возможность активного взаимодействия как составных частей тела, так и целого организма с окружающей средой» (Запорожец, 1960, с. 167). И.М. Сеченов (1952) писал, что познавательные и двигательные процессы едины, психика регулирует действия. В свое время Н.А. Бернштейн (1990) перевернул взгляд науки на моторные акты. Он считал, что моторика не может быть сведена только к исполнительным актам, она имеет сложный механизм, связанный с психическими процессами. Данный взгляд существенно отличался от принятого в то время в науке мнения о том, что движения представляют собой лишь реакцию тела на внешние раздражители.

В своих работах Н.Д. Гордеева (1982) рассматривала проблему строения инструментальных действий с точки зрения когнитивных компонентов, определяющих специфику сенсомоторной деятельности человека. Существует подход *embodiment cognition*, или «воплощенное познание», где подчеркивается важность движения в формировании мыслительного процесса (Schneegans, Schöner, 2008). Подход «воплощенное познание» делает акцент на роли двигательной активности в функционировании ко-

гнитивных процессов (Логинов и др., 2021). В ряде других исследований уделяется внимание роли двигательной активности и ее влиянию на высокоуровневые психические процессы, т.е. на те процессы, которые осуществляют переработку информации на основе опыта и детерминированы характеристиками субъекта (Чистопольская и др., 2019). Показана взаимосвязь двигательной активности с когнитивными способностями (Piek et al., 2008), восприятием (Сушин, 2019), обнаружено, что двигательный компонент влияет на восприятие предметов (Bub, Masson, Lin, 2013), выявлена взаимосвязь с сенсомоторными реакциями и особенностями внимания (Канжин, Грибанов, 2005). Т.В. Терещенко и соавт. указывают на взаимосвязь восприятия и действия (Терещенко, Соколов, Гончаров, 2018).

На сегодняшний день в современной психологии появилось множество актуальных экспериментальных исследований, свидетельствующих о важности двигательной активности в рамках когнитивной деятельности. Примером такой деятельности может быть решение мыслительной задачи. Выполнен ряд исследований, в которых гипотезой выступило утверждение, что характер и динамика двигательной активности может оказывать непосредственное влияние на процесс решения когнитивной задачи, ускоряя или замедляя его (Спиридонов, Лифанова, 2013; Lung, Dominowski, 1985; Thomas, Lleras, 2009). Исследования К. Werner и соавт. (2013; 2019) показали, что двигательная активность влияет на выбор стратегии решения задач. Исследования, проведенные А.В. Чистопольской, А.А. Курицыным (2021), И.Н. Макаровым, А.Б. Кутузовым (2020) выявили, что двигательный компонент участвует в решении задачи и влияет на восприятие перцептивной организации. Другие исследования (Carlini, French, 2014) продемонстрировали, что слежение рукой за предъявляемым движущимся стимулом способствовало улучшению результата, т.е. испытуемые быстрее справились с заданием, чем испытуемые, следившие за стимулом глазами. В исследовании Т.В. Терещенко и соавт. изучена зависимость времени, затраченного на решение задачи, и точности выработанного решения в изменяющихся условиях, а именно при смещениях угла. Результаты показали, что между изучаемыми показателями существует корреляция на статистически значимом уровне. Отдельного внимания требуют выявленные отрицательные корреляции, говорящие о том, что увеличение времени повышает точность решения (Терещенко и др., 2018).

Необходимо отметить задачу «компромисс скорость–точность», которая в современных исследованиях рассматривается как аспект решения когнитивных и мыслительных задач (Баланев, Бредун, 2021; Баланев, Куликов 2021) и является одной из самых популярных моделей когнитивной и познавательной деятельности, с помощью которой можно узнать, как человек решает задачи (Baek, Park, 2021; Berkay, Eser, Sack, Çakmak, Balci, 2018; Ducatez, Audet, Lefebvre, 2019; Liesefeld, Janczyk, 2019; Ratcliff, Kang, 2021). При изучении двигательной активности часто в качестве основных характеристик построения образа выбираются точность, скорость и амплитуда. Также анализируются ошибки действий, имеющие когнитивную природу.

Отметим, что к вопросу изучения психологических механизмов организации двигательных навыков привлечено довольно пристальное внимание. В первую очередь необходимо указать, что в рамках психологического анализа движения включены в систему взаимосвязей субъекта с окружающей действительностью. Было показано, что присутствует значимая корреляция психомоторных показателей графической деятельности с типологическими и индивидуально-психологическими характеристиками личности (Захаревская, 2018). Движение также может выражать отношение человека к окружающему миру, проявляться в качестве средства формирования личности, динамично изменяясь при этом в зависимости от уровня, которое оно занимает в структуре деятельности (Айламазьян, 2017).

Исследователи изучают влияние инверсии на двигательные навыки и решение задачи. Например, Н.Д. Гордеева (1982) анализировала процесс научения индивида, отмечая возникающие в ходе этого процесса изменения в двигательной активности. Автор получила результаты, согласно которым в пределах научения возникает изменение мельчайших структурных компонентов действия, в том числе при предъявлении отличающихся помех, таких как переворачивание изображения в зрительном поле. Другие результаты свидетельствовали о важности изучения инверсий в сложных иерархических системах, также о необходимости изучения инверсии в структуре активности субъекта (Севостьянов, 2020).

Развитие и совершенствование двигательной активности позволяет развивать все психические процессы. Например, И.В. Толмачев и соавт. разработали программу, создающую специальную виртуальную среду, с помощью которой можно фиксировать параметры двигательной активности человека. Программа нашла применение в области диагностики и восстановления двигательной активности у людей, перенесших нарушения мозгового кровообращения с повреждением тканей (Толмачев, Алифирова, Казаков, Королева, 2019).

Добавим, что движение человека в целом, а также его отдельные двигательные акты не только являются средством перемещения в пространстве или манипулирования какими-либо предметами, но также выражают познавательную активность, определяют его потребности и возможности, вскрывают значения и смыслы.

Методы и выборка исследования

В качестве методического инструментария была выбрана классическая задача «Ханойская башня» (Окулов, Лялин, 2008), которая представляет собой познавательную ситуацию, изменяя которую испытуемый реализует алгоритм решения при помощи набора моторных действий в соответствии с заданными правилами. Инструкция не разрешает испытуемому переставлять больше одного диска за один раз, удерживать несколько дисков в руке; диск большего размера нельзя ставить на диск меньшего размера. Цель задачи – перемещение пирамиды из нескольких дисков, надетых на один

вертикальный стержень, на один из двух предложенных свободных стержней. Важной особенностью данной задачи является наличие нескольких альтернативных способов ее решения.

Набор элементов, реализующих ситуацию задачи «Ханойская башня», размещается в специально сконструированном устройстве, позволяющем осуществлять видеозапись действий испытуемого. При этом сам испытуемый не имеет возможности наблюдать за своими действиями непосредственно, получая визуальную обратную связь через экран компьютерной системы, реализующей конвейер обработки визуальных данных вида: «Видеокамера»—«Видеофильтр»—«Видеоэкран». Таким образом, оказывалось возможным вносить поправки в визуальную коррекцию моторных действий пользователя на уровне видеофильтра, используя условия нарушения визуальной коррекции в качестве зависимой переменной.

Экспериментально-теоретическая часть исследования осуществлялась на базе Томского государственного университета, в научно-исследовательской лаборатории экспериментальной психологии. Выборку исследования составили студенты Томского государственного университета в количестве 30 человек (19 (63%) юношей и 11 (37%) девушек) в возрасте от 18 до 24 лет, средний возраст составил 20 лет. Большинство участников исследования обучаются на геолого-географическом факультете (57%), 23% – студенты химического факультета, 13% – факультета психологии, 7% – факультета физической культуры. Все участники не имели каких-либо противопоказаний для участия в эксперименте. Участие в эксперименте было полностью добровольным и осуществлялось на основе письменного соглашения сторон.

В процессе выполнения задачи испытуемым на экране монитора, установленного на устройстве, предъявлялось или инвертированное изображение, или изображение с задержкой во времени на 1,5 секунды. Испытуемые были разделены на три основные группы случайным образом. Испытуемым из первой группы необходимо было собрать «Ханойскую башню» без искажения зрительного пространства при условии нормального изображения. Вторую группу составили испытуемые, которым необходимо было собрать «Ханойскую башню» при использовании рабочей переменной «инвертированное изображение». В третью группу вошли испытуемые, которым необходимо было собрать «Ханойскую башню» с рабочей переменной «задержка изображения во времени».

Условия предъявления имели различную когнитивную нагрузку для трех групп испытуемых. Исходя из этого можно предполагать, что скорость решения задачи и динамика действий испытуемых зависят от характера предъявляемых условий. Также испытуемым необходимо спланировать последовательность операций для достижения поставленной им цели. Планирование последовательности операций является наиболее эффективным, если испытуемый способен оценивать и обдумывать свое решение без каких-либо дополнительных средств, используя лишь собственные моторные и когнитивные навыки для достижений нужного результата. Задача

«Ханойская башня» требует от испытуемых владеть следующими навыками: умение разбивать задачу на подзадачи, выбирать стратегию решения задачи, выстраивать алгоритмы и изменять их по мере усложнения условий решения задачи.

Для анализа данных применялся программный комплекс обработки статистической информации «R» версии 4.2.0 с графическим интерфейсом RStudio.

Результаты исследования

Результаты, полученные в данном исследовании с применением трех различных условий (нормальное изображение, инвертированное изображение, задержка изображения во времени), показали, что присутствует существенная разница в групповых и индивидуальных показателях, которая была получена благодаря изменению независимой переменной, т.е. условий решения задачи. Различные условия (нормальное изображение, инвертированное изображение, задержка изображения во времени) меняли сложность задачи «Ханойская башня», что приводило к изменению скорости решения, а также к разной динамике действий участников. На рис. 1 представлены обобщенные результаты испытуемых, отнесенных к трем группам.

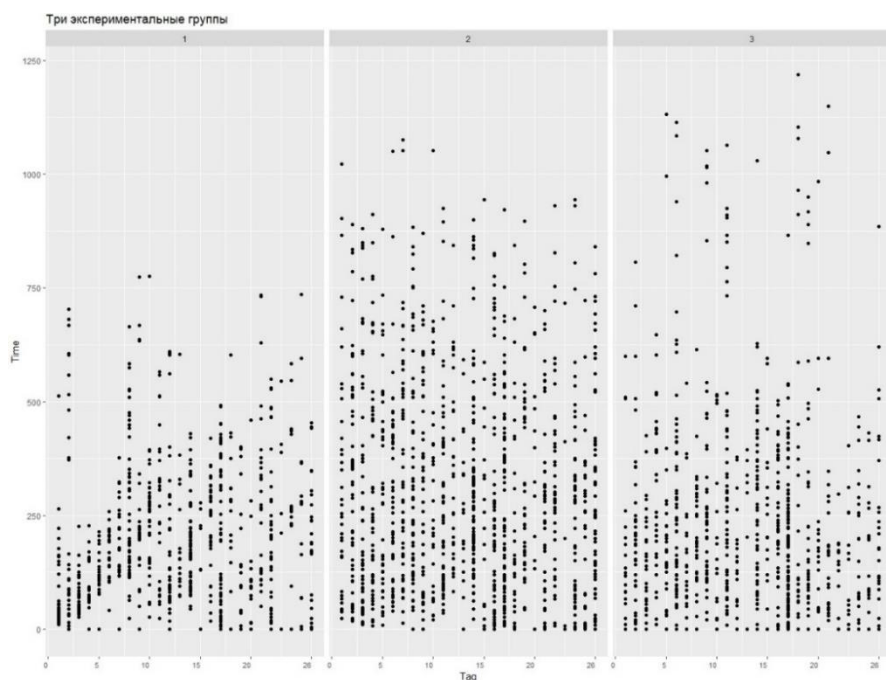


Рис. 1. Матрица рассеивания динамики действий во времени в процессе решения задачи «Ханойская башня» по трем группам: нормальное изображение, инвертированное изображение, задержка изображения во времени

Сопоставляя диаграммы всех трех групп, можно утверждать, что испытуемые из первой группы тратили на решение задачи меньше времени вследствие высокой динамики активности. Испытуемые из группы с нормальным изображением делали меньше ошибок при выполнении задачи, чем испытуемые из групп с инвертированным изображением и задержкой изображения во времени, но при этом испытуемые из второй группы делали больше ошибок, чем участники из третьей группы. Проанализировав представленную диаграмму, мы можем сделать вывод о более низком темпе выполнения задачи испытуемыми из группы с инвертированным изображением по сравнению с испытуемыми с нормальным изображением, что влияет на длительность решения задачи.

Так, точечная диаграмма первой группы отражает динамику действий испытуемых, решающих задачу «Ханойская башня» без искажения зрительного пространства и временной задержки. Горизонтальная ось точечной диаграммы Tag изображает номер tag'a, т.е. особенность двигательной активности, а вертикальная ось Time – время осуществления этого tag'a на отрезке общего времени выполнения. Общие показатели испытуемых из первой группы, решающих задачу при нормальном изображении, характеризуются высокой скоростью решения задачи, выдержанной динамикой активности, малым количеством ошибок без задержки двигательной активности. Большая часть испытуемых (60%) справилась с задачей за 7 минут, остальные (40%) – за 13 минут, при этом все испытуемые из первой группы справились с задачей «Ханойская башня» полностью.

На точечной диаграмме второй группы показана динамика действий испытуемых, решающих задачу «Ханойская башня» с инвертированным изображением, в тех же осях. У испытуемых второй группы увеличиваются динамика и длительность действий, но уменьшается скорость решения задачи. В их действиях отмечаются долгая перестановка дисков, удержание диска в руке, задержка движения в целом, возврат диска в прежнее положение, хаотичная перестановка дисков вследствие сложности ориентации в пространстве устройства, т.е. ошибки в восприятии осей пространства с привычной репрезентацией пространства (право–лево, верх–низ и пр.). 10% испытуемых справились с задачей за 7 минут, 30% – за 9 минут, 40% – от 13 до 15 минут, остальные 20% справились с задачей за 20–22 минуты; 70% испытуемых из второй группы справились с задачей «Ханойская башня» полностью.

Точечная диаграмма третьей группы отражает динамику действий испытуемых, решающих задачу «Ханойская башня» с задержкой изображения во времени. Для этой группы характерны большое количество ошибок, задержка движений и потеря дисков из рук либо долгое удержание. В ходе эксперимента испытуемые отмечали, что им проще и удобнее опираться на свои тактильные ощущения, чем на изображение, потому что задержка не дает им сосредоточиться на решении задачи. Субъективное мнение испытуемых подтверждается выводами, которые можно сделать на основании диаграммы, указывающей на нарушение визуальной обратной связи

с внутренней репрезентацией движений и регуляцией двигательной активности. В третьей группе были обнаружены общие нарушения двигательной активности у испытуемых: торможение двигательной активности, увеличение времени решения задачи, совершение большого количества ошибок, особенно это проявлялось в первой половине решения задачи «Ханойская башня», а также множество повторяющихся действий, медленная адаптация к условию временной задержки. Дополнительно подчеркнем, что у многих испытуемых в данной группе наблюдалось выраженное снижение или даже полная потеря мотивации, т.е. часть испытуемых отказалась проходить задание до конца. В данной группе 20% испытуемых справились с задачей менее чем за 5 минут, 40% – за 6–9 минут, 10% – за 10 минут, 20% – за 11–15 минут, 10% – за 16–20 минут. При этом 80% испытуемых справились с задачей «Ханойская башня» полностью.

Более детальный анализ гистограмм, последовательно представляющих результаты скорости решения задачи, позволил выделить особенности процесса решения когнитивной задачи каждого отдельного испытуемого. Было выдвинуто предположение, что испытуемые устанавливали собственную им активность решения когнитивной задачи и потому демонстрировали разную скорость ее решения. Проанализировав визуальное представление показателей решения когнитивной задачи всеми испытуемыми, было выделено пять групп испытуемых с разными скоростными характеристиками и динамикой движения. Гистограммы, иллюстрирующие наиболее показательные варианты активности решения когнитивной задачи испытуемыми из каждой группы, представлены на рис. 2.

Первая группа характеризуется спокойной и равномерной динамикой двигательной активности с невысокой скоростью решения задачи. В этой группе активные действия происходят в первые минуты решения, когда сложность задачи минимальна. К середине задачи частота действий испытуемых резко снижается, однако двигательная активность сохраняет свою динамику, что, предположительно, указывает на имплицитное понимание дальнейших операций. Каждое действие участника, спланированное для осуществления, было направлено на достижение декомпозированной подцели, ведущей к достижению конечного результата. Учитывая широту временного ряда, переход к следующему этапу решения мог вызывать затруднения, что снижало активность действий на определенном временном отрезке, но в целом активность испытуемых оставалась на определенном уровне. Проанализировав гистограммы, можно предположить, что испытуемые первой группы, определив в начале задачи свою стратегию, не изменяют ее, оставаясь в рамках выбранного шаблона, и не применяют гибкие эвристики для облегчения решения задачи.

Гистограмма, отражающая результаты второй группы испытуемых, показывает хаотичную динамику и среднюю скорость решения задачи. Вторая группа характеризуется разбиением активности на несколько блоков, доминированием средней скорости решения задачи с большим количеством частотных выбросов, когда испытуемые быстро принимают решение о даль-

нейшей перестановке диска. С другой стороны, такие выбросы указывают на остановку действий-операций и большое количество ошибок, что происходит вследствие неуверенности в принятых решениях, сомнениях в дальнейших действиях-операциях.

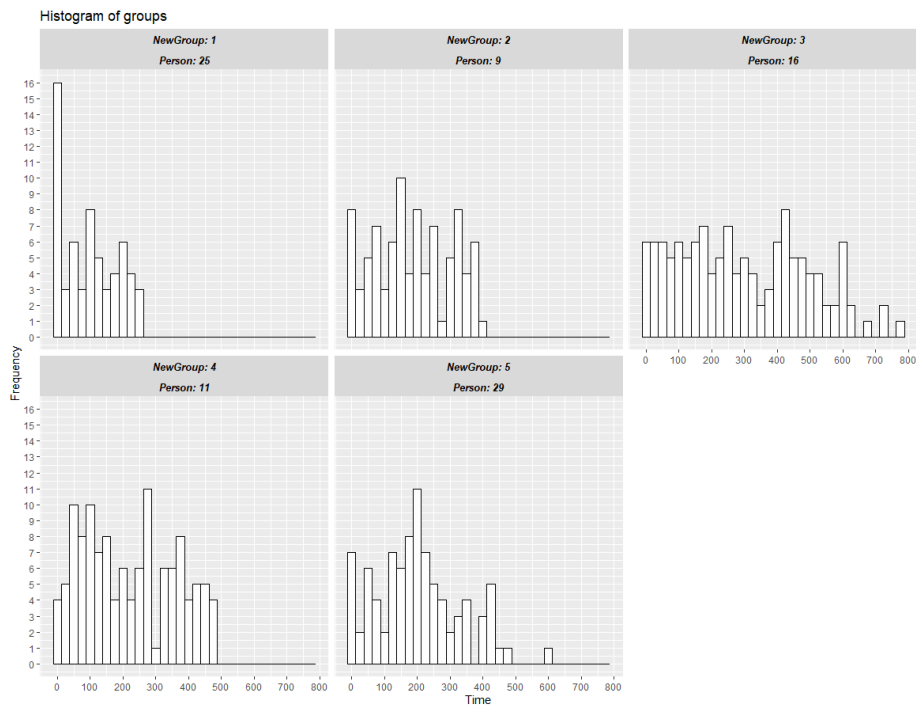


Рис. 2. Варианты активности решения когнитивной задачи испытуемыми каждой из групп

Временная динамика у испытуемых второй группы отличается от равномерной временной динамики первой группы. Достаточно часто испытуемые второй группы останавливали свои действия, когда сталкивались со сложностями перехода к следующему этапу решения. Вероятно, различные стратегические подходы к решению задачи служат причиной такой вариативности в результатах, а частотные выбросы на гистограмме указывают на быстрое принятие решений. Однако быстрое принятие решений сказывалось на уверенности испытуемых в их корректности. Все вышеперечисленное указывает на то, что в начале решения испытуемые справлялись с нагрузкой, однако по мере продвижения решения и усложнения задачи начинали уставать. Истощение происходило, предположительно, из-за динамики принятия решений и дальнейших сомнений в их правильности, однако сама задача «Ханойская башня» не вызывала особых затруднений. Испытуемые данной группы решали ее, скорее опираясь на имплицитное понимание дальнейших операций, нежели на скоординированные операции с четкой стратегией дальнейших действий.

Третья группа испытуемых отличается высокой активностью, выдержанным темпом и большим количеством ошибок, средней скоростью решения задачи, высокой частотой двигательной активности, возрастающей по мере прохождения и усложнения задачи. Двигательная активность снижается на временных отрезках, где испытуемые сталкиваются со сложными переходными этапами. Отличие третьей группы от других в том, что при решении задачи «Ханойская башня» некоторые испытуемые отказались продолжить задание или не справились с заданием полностью. Можно предположить, что доминирование средней скорости выполнения задачи, большое количество ошибок при выполнении связаны с отсутствием стратегического подхода к решению когнитивных задач.

Четвертая группа испытуемых отличается широким диапазоном активности, имеет хаотичную динамику. Быстрота выполнения когнитивной задачи в этой группе выше среднего. В двигательной активности испытуемых отмечены разрозненные колебания, несмотря на имеющееся расхождение в интервалах времени между действиями. Проанализировав результаты данной группы, можно сделать вывод, что в начале решения задачи испытуемые справлялись с когнитивной нагрузкой, однако, дойдя до середины решения задачи, начали чувствовать выраженную усталость. Активная динамика, представленная на гистограмме одного из участников выделенной группы, указывает на необходимость длительного времени на обдумывание задачи. Испытуемые данной группы в ходе решения задачи отличаются хаотичной динамикой действий, отсутствием стабильного ритма, что указывает на попытки гибкого применения эвристик, подбора для себя оптимальных действий для решения задачи, но без фиксации на какой-то конкретной стратегии.

Испытуемые, отнесенные нами к пятой группе, отличаются хаотичной динамикой и невысокой скоростью решения задачи, показывают высокую активную динамику в течение всего процесса решения, однако высокая динамика и большое количество ошибок не приводят желаемому для испытуемых продвижению в решении задачи. Следствием вышеперечисленного был распад активности, когда испытуемые полностью останавливались, однако ни один из них не прервал выполнения задачи, хотя логическая задача «Ханойская башня» оказалась для пятой группы наиболее сложной по сравнению с другими группами участников. Предположительно, испытуемые данной группы не имели опыта решения таких задач.

Обращает на себя внимание и тот факт, что, несмотря на одинаковые условия решения задачи для каждой группы, 20% не смогли справиться с заданием. В ходе проведения качественного анализа видеоизображения у испытуемых, которые не смогли решить задачу или отказались от ее решения, были отмечены торможение двигательной активности, задержки движения и затруднения движения в момент решения задачи. Активность испытуемых постепенно падала во время прохождения экспериментальной процедуры, где критической точкой являлась середина решения задачи, достигнув которой, испытуемые высказывались о сложности определения

дальнейших действий, причем сам факт отказа от дальнейшего решения был на этапе введения дополнительных условий (инвертированное изображение или задержка изображения во времени), что, видимо, и существенно повлияло на динамику движений и снижение или полную потерю мотивации. У таких испытуемых наблюдались следующие особенности: долгая перестановка дисков; долгое удержание диска в руке; задержка движения в целом; возврат диска в прежнее состояние; хаотичная перестановка дисков из-за того, что испытуемые теряли ориентацию в пространстве и не могли с первого раза понять, где право–лево и верх–низ; сложность определения стратегии решения задачи. Некоторые испытуемые комментировали свою неудачу отвлечением от задачи условием предъявления задачи, а именно задержкой предъявляемого изображения, т.е. происходил конфликт между зрительным и тактильным восприятием, что, в свою очередь, не давало им сосредоточиться на решении задачи.

Обсуждение результатов

Анализ результатов первой группы испытуемых, решающих задачу при нормальном изображении, в сравнении с результатами других групп (группой инвертированного изображения и группой с задержкой изображения во времени) свидетельствует, что испытуемые, решающие задачу без каких-либо зрительных помех, тратят на ее решение небольшое количество времени. Это может быть связано с тем, что испытуемый, во-первых, нацелен на быстрое выполнение задания, его ничто не отвлекает, во-вторых, не нарушается стабильная репрезентация визуального мира из-за утраты константности восприятия. Нарушение стабильности зрительной репрезентации может привести к сложности попадания в цель, промахам, ошибкам выбора направления, множественным сериям коррекций и т.п. М.С. Smith (1967) в своих исследованиях показывает, что устранение абсолютно любой зрительной обратной связи приводит к большому числу ошибок, изменению скорости решения задачи, а также к ухудшению исполнительской деятельности.

Характер активности испытуемых второй группы, решающих задачу при условии инвертированного изображения, показывает, что ближе к концу решения задачи испытуемые адаптировались и опирались больше не на изображение, представленное на экране, а на свои тактильные ощущения. Схожее предположение о смене характера стратегии выдвигают М.М. Smyth, A.W. Wing (2013), они указывают, что дополнительная информация при активных движениях способствует более быстрому обнаружению конфликта между видимой информацией и ощущаемым стимулом.

Проанализировав результаты третьей группы испытуемых, решающих задачу при условии задержки изображения во времени, можно сделать вывод об отличии их результатов от первой и второй групп. Отмечено влияние задержки изображения на двигательные навыки разных видов: разрушение движения, тремор, а также на неоднозначность времени выполнения задачи.

Из анализа полученных данных видно, что искажение информации о просматриваемом изображении и видимом процессе осуществления движений может считаться одним из наиболее сложных типов нарушения обратной связи. При таких искажениях испытуемые не могли решить задачу с той же скоростью и точностью, как могли бы сделать это в адекватных неизменяющихся условиях. При этом в нашем исследовании активность испытуемых не была нарушена полностью, невзирая на высокую сложность осуществления решения при искажении зрительной обратной связи на экране. Возможно, испытуемые адаптировались под ситуацию и далее не обращали внимания на временную задержку, опираясь на свои тактильные ощущения.

Участники могли вовсе не использовать искаженную обратную связь, изменяя стратегию решения задачи после осознания искажений. Также очевидно, что испытуемые, отнесенные к первой группе, тратили на решение задачи «Ханойская башня» значительно меньше времени, чем испытуемые из других групп.

В ходе анализа результатов, полученных по пяти выделенным группам, определены условия, которые могли существенно повлиять на показатели успешности и неуспешности выполнения задачи и на индивидуальные особенности проявления двигательной активности:

- выполняемая испытуемым задача;
- личные особенности испытуемого, например характерологические свойства, стиль когнитивной деятельности, психофизиологические особенности, привычные стратегии выполнения задач, а также способность к рефлексии, которая проявляется в процессе решения задач;
- уверенность респондента в своем решении, а также в способности оценивать его эффективность;
- способность структурировать, перерабатывать информацию и принимать решение, обусловленное задачей и особенностью деятельности.

В процессе проведения эксперимента было обнаружено, что для части респондентов требуется больше времени, чтобы определить для себя нужное действие, и они полагаются на внешнее видимое поле, что было характерно для второй и пятой групп участников.

Для участников первой выделенной группы была предпочтительна опора на свой опыт, что помогало им контролировать влияние зрительной репрезентации, а также быстро ориентироваться в решении задачи при инвертированном изображении или задержке предъявляемого изображения, что не являлось столь характерным для участников других выделенных групп, которым требовалось больше времени на принятие решения о дальнейших действиях.

Важной особенностью, которая повлияла на результаты участников, являлась хорошая способностью запоминать последовательность своих действия в ходе решения, что позволяло им находить правильную стратегию решения задачи. Других участники не смогли использовать преимущество способности к запоминанию, возможно, из-за сложности самой задачи или

условий ее выполнения, и это приводило к тому, что участники пропускали важные действия-операции, способствующие лучшему решению.

Было обнаружено, что участники из первой группы быстро принимали решения, быстро реагировали, несмотря на предъявляемые помехи (задержка во времени, инвертированное изображение), тогда как испытуемые из остальных групп, наоборот, долго обдумывали свои действия, и у них отмечены замедленный темп реагирования и в целом долгая адаптация в ситуации предъявляемых помех.

Выводы

Таким образом, полученные результаты показывают, что с помощью описанного устройства у исследователя появляется возможность:

- менять визуальный канал обратной связи, изменять уровни сложности независимых переменных;

- осуществлять различного рода предъявляемые помехи и визуальные коррекции в совершаемых движениях испытуемого, что позволяет получить большой массив данных о двигательных закономерностях и способах решения когнитивных задач в сложных для испытуемого условиях;

- фиксировать способы преодоления испытуемыми трудностей, возникающих при создании помех.

При введении специально спланированных искажений видеоизображения появляется возможность «столкнуть» между собой чувственную ткань и предметное содержание. Такая возможность позволяет увидеть то, как будет разворачиваться движение в ситуациях изменения зрительной обратной связи и восприятия.

Предложенный программно-аппаратный комплекс «Двигательные компоненты процесса решения познавательной задачи» позволяет объективировать процессуальные аспекты в решении познавательных задач, что открывает новые возможности оценки многообразия действий пользователя, делающего выбор определенных стратегий.

Литература

- Агафонов, А. Ю., Козлов, Д. Д. (2014). Познавательные стратегии в работе сознания и бессознательного. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 16(2–4), 864–872.
- Айламазян, А. М. (2017). Движение и становление личности. *Национальный психологический журнал*, 2(26), 73–84. doi: 10.11621/nprj.2017.0208
- Баланев, Д. Ю., Бредун, Е. В. (2021). Компромисс скорость-точность как предмет психологического анализа. *Вестник Кемеровского государственного университета*, 23(1 (85)), 123–132. doi: 10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132
- Баланев, Д. Ю., Куликов, И. А. (2021). Конструирование признаков индивидуальных различий в задаче «Компромисс скорость–точность» методом периодограммы. *Сибирский психологический журнал*, 82, 82–95. doi: 10.17223/17267080/82/5
- Бернштейн, Н. А. (1990). *Физиология движений и активность*. О. Г. Газенко (ред.), Академия наук СССР. Москва: Наука.

- Ведерников, А. Р., Ведерников, М. Р., Ведерникова, А. Е., Новоселов, С. А. (2019). *Игровое устройство для развития зрительно-пространственной памяти и мелкой моторики детей и взрослых*. Патент РФ № 2710139 от 24.12.2019.
- Гордеева, Н. Д., Зинченко, В. П. (1982). *Функциональная структура действия*. М.: Изд-во Моск. ун-та.
- Запорожец, А. В. (1960). *Развитие произвольных движений*. М.: Акад. пед. наук РСФСР.
- Захаревская, Е. А. (2018). Экспериментальное исследование взаимосвязи показателей психомоторной активности с типологическими особенностями личности. *Азимут научных исследований: педагогика и психология*, 7(3 (24)), 291–294.
- Канжин, А. В., Грибанов, А. В. (2005). Особенности зрительно-моторных реакций у детей-северян при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью. *Экология человека*, 5, 14–16.
- Канжин, А. В., Иорданова, Ю. А. (2010). Проявление когнитивных стратегий в сенсомоторной деятельности у детей с СДВГ. *Экология человека*, 11, 35–39.
- Логинов, Н. И., Спиридонов, В. Ф., Курбанов, К. А., Ардисламов, В. В., Аммалайнен, А. В., Вязовкина, В. К. (2021). Устойчивые индивидуальные различия в предпочтениях ментального vs воплощенного режимов решения мыслительных задач. В сб.: Е. В. Печенкова, М. В. Фаликман, А. Я. Койфман (ред.). *Когнитивная наука в Москве: новые исследования: материалы конференции* (с. 255–260). М.: БукиВеди, Ин-т практ. психологии и психоанализа.
- Макаров, И. Н., Кутузова, А. Б. (2020). Влияние моторной тренировки на процесс разделения чанков в инсайтных задачах. В сб.: Е. С. Горбунова (ред.) *PSY-Вышка: сборник материалов Международной научной конференции* (с. 145–147). М.: Рос. новый ун-т.
- Окулов, С. М., Лялин, А. В. (2008). *Ханойские башни*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний.
- Полухина, Н. А., Соловьев, А. Г. (2016). «Чудо-ящик» с обучающими играми. Патент РФ № 163902 от 10.08.2016.
- Севостьянов, Д. А. (2020). Моторные инверсии как ресурс индивидуализации человеческой активности. *Corpus Mundi*, 1(1), 59–80.
- Сеченов, И. М. (1952). *Избранные произведения*. М.: Акад. наук СССР.
- Спиридонов, В. Ф., Лифанова, С. С. (2013). Инсайт и ментальные операторы, или Можно ли пошагово решить инсайтную задачу. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*, 10(3), 54–63.
- Сушин, М. А. (2019). Ситуативное и воплощенное познание как исследовательская программа в когнитивной науке. *Научоведческие исследования*, 2019, 158–178. doi: 10.31249/scis/2019.00.10
- Терещенко, Т. В., Соколов, Р. В., Гончаров, О. А. (2018). Графомоторная адаптация к компьютерным искажениям соотношения между координатами зрительного и моторного полей. *Экспериментальная психология*, 11(1), 92–113. doi: 10.17759/exppsy. 2018110106
- Толмачев, И. В., Алифирова, В. М., Казаков, С. Д., Королева, Е. С. (2019). Разработка программного комплекса для оценки и реабилитации двигательных нарушений у пациентов с ишемическим инсультом головного мозга. *Бюллетень сибирской медицины*, 18(4), 136–142. doi: 10.20538/1682-0363-2019-4-136-142
- Чистопольская, А. В., Курицын, А. А. (2021). Роль моторного компонента в процессе решения инсайтных задач. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*, 18(4), 645–657. doi: 10.17323/1813-8918-2020-4-645-657
- Чистопольская, А. В., Лазарева, Н. Ю., Маркина, П. Н., Владимиров, И. Ю. (2019). Представление о высокоуровневых и низкоуровневых процессах в когнитивной психологии. Теория изменения репрезентации С. Ольссона с позиции уровня подхода. *Вестник ЯрГУ. Сер. Гуманитарные науки*, 3, 94–101.

Ссылки на зарубежные источники см. в разделе *References* после англоязычного блока.

Поступила в редакцию 03.04.2022 г.; принята 11.07.2022 г.

Баланев Дмитрий Юрьевич – заведующий лабораторией экспериментальной психологии, декан факультета психологии Томского государственного университета, кандидат психологических наук.

E-mail: balanevd@gmail.com

Смешко Евгения Валерьевна – лаборант лаборатории экспериментальной психологии Томского государственного университета.

E-mail: eva.smeshko@mail.ru

Кох Дмитрий Александрович – лаборант лаборатории экспериментальной психологии Томского государственного университета.

E-mail: tempus12345@mail.ru

For citation: Balanev, D. Yu., Smeshko, E. V., Koch, D. A. (2022). Diagnostic Capabilities of the Software-Hardware Complex “Motor Components of Cognitive Problem Solving”. *Sibirskiy Psikhologicheskii Zhurnal – Siberian journal of psychology*, 85, 100–117. In Russian. English Summary. doi: 10.17223/17267080/85/5

Diagnostic Capabilities of the Software-Hardware Complex “Motor Components of Cognitive Problem Solving”¹

D.Yu. Balanev¹, E.V. Smeshko¹, D.A. Koch¹

¹ Tomsk State University, 36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

Abstract

The aim of the study is experimental modeling of the individual process of organizing cognitive space by the subjects in a situation of real problem solving. The relevance of the problem of studying the influence of motor activity on the process of solving cognitive problems is determined by the fact that the phenomenon of motor activity in terms of its psychological content remains one of the central categories of research in foreign and domestic psychology. The article discusses the results of a laboratory experiment obtained using analysis tools based on fixing a motion track. The sample of the experimental group consisted of 30 people ages 18–24 years (19 males and 11 females), students of Tomsk State University. The classical task "Tower of Hanoi" was chosen as a method for studying human motor activity in solving a cognitive task. For the data analysis, a qualitative method using computer technology was used - the R-project program with a graphical user interface RStudio.

The results presented in this study used three different conditions for presenting the "Tower of Hanoi" task and showed that various changes in visual representation affect the motor activity of subjects in different ways. An analysis of the dynamics of motor activity in the process of solving a cognitive task made it possible to identify the main markers of motor activity and repetitive patterns that arose as a result of visual feedback reconstruction. Five types of cognitive solving tasks were identified, differing from each other in different dynamics of movement and speed characteristics. Motor patterns of solving a cognitive task in various conditions were noted. We found, from the results of the study, a variant of the developed simulator of cognitive skills for controlling the visual correction of the subject's motor activity in the process of solving a cognitive task. The proposed version of the cognitive simulator opens up new possibilities for evaluating the variety of actions of a user who chooses certain cognitive strategies.

¹ This research was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No FSWM-2020-0040.

Keywords: motor activity; cognitive situation; "Tower of Hanoi"; strategy; dynamics of actions; speed; duration; visual representation

References

- Agafonov, A. Yu., & Kozlov, D. D. (2014). Cognitive strategies in the work of consciousness and the unconscious. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 16(2–4), 864–872. (In Russian).
- Aylamazyan, A. M. (2017). Movement and personality development. *Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal – National Psychological Journal*, 2(26), 73–84. (In Russian). doi: 10.11621/npj.2017.0208
- Baek, J., & Park, H. J. (2021). Bayesian adaptive model estimation to solve the speed accuracy tradeoff problem in psychophysical experiments. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. doi: 10.1038/s41598-021-97772-9
- Balanev, D. Yu., & Bredun, E. V. (2021). The speed-accuracy tradeoff as a subject of psychological analysis. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Kemerovo State University*, 23(1(85)), 123–132. (In Russian). doi: 10.21603/2078-8975-2021-23-1-123-132
- Balanev, D. Yu., & Kulikov, I. A. (2021). Attribute construction of individual differences in the “speed – accuracy compromise” task using the periodograms. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal – Siberian Journal of Psychology*, 82, 82–95. (In Russian). doi: 10.17223/17267080/82/5
- Berkay, D., Eser, H. Y., Sack, A. T., Çakmak, Y. Ö., & Balci, F. (2018). The modulatory role of pre-SMA in speed-accuracy tradeoff: a bi-directional TMS study. *Neuropsychologia*, 109, 255–261. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.12.031
- Bernstein, N. A. (1990). *Fiziologiya dvizheniy i aktivnost'* [Physiology of Movements and Activity]. Moscow: Nauka.
- Bub, D. N., Masson, M. E., & Lin, T. (2013). Features of planned hand actions influence identification of graspable objects. *Psychological Science*, 24(7), 1269–1276. doi: 10.1177/0956797612472909
- Carlini, A., & French, R. (2014). Visual tracking combined with hand-tracking improves time perception of moving stimuli. *Scientific Reports*, 4(1), 1–6. doi: 10.1038/srep05363
- Chistopolskaya, A. V., & Kuritsyn, A. A. (2021). The Explication of Insight Criteria and Overview of Their Measurement Methods. *Psikhologiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki – Psychology. Journal of the Higher School of Economics*, 18(4), 645–657. (In Russian). doi: 10.17323/1813-8918-2020-4-645-657
- Chistopolskaya, A. V., Lazareva, N. Yu., Markina, P. N., & Vladimirov, I. Yu. (2019). The concept of high-level and low-level processes in cognitive psychology. S. Olsson's representational change theory from the position of the level approach. *Vestnik YarGU. Ser. Gumanitarnye nauki*, 3, 94–101. (In Russian). doi: 10.18255/1996-5648-2019-3-94-101
- Ducatez, S., Audet, J. N., & Lefebvre, L. (2019). Speed–accuracy trade-off, detour reaching and response to PHA in Carib grackles. *Animal Cognition*, 22(5), 625–633. doi: 10.1007/s10071-019-01258-1
- Gordeeva, N. D., & Zinchenko, V. P. (1982). *Funktsional'naya struktura deystviya* [The Functional Structure of Action]. Moscow: Moscow State University.
- Kanzhin, A. V., & Gribanov, A. V. (2005). Osobennosti zritel'no-motornykh reaktsiy u detey-severyan pri sindrome defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu [Features of visual-motor reactions in northern children with attention deficit hyperactivity disorder]. *Ekologiya cheloveka – Human Ecology*, 5, 14–16.
- Kanzhin, A. V., & Iordanova, Yu. A. (2010). Proyavlenie kognitivnykh strategiy v senso-motornoy deyatel'nosti u detey s SDVG [Manifestation of cognitive strategies in senso-

- ry-motor activity in children with ADHD]. *Ekologiya cheloveka – Human Ecology*, 11, 35–39.
- Liesefeld, H. R., & Janczyk, M. (2019). Combining speed and accuracy to control for speed-accuracy trade-offs (?). *Behavior Research Methods*, 51(1), 40–60. doi: 10.3758/s13428-018-1076-x
- Luginov, N. I., Spiridonov, V. F., Kurbanov, K. A., Ardislamov, V. V., Ammalaynen, A. V., & Vyazovkina, V. K. (2021). Ustoychivye individual'nye razlichiya v predpochteniyakh mental'nogo vs voploshchennogo rezhimov resheniya myslitel'nykh zadach [Persistent individual differences in the preferences of mental versus embodied modes of solving mental problems]. In E. V. Pechenkova, M. V. Falikman, & A. Ya. Koyfman (Eds.), *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya* [Cognitive Science in Moscow: New Research] (pp. 255–260). Moscow: BukiVedi, Institute of Practical Psychology and Psychoanalysis.
- Lung, C. T., & Dominowski, R. L. (1985). Effects of strategy instructions and practice on nine-dot problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(4), 804. doi: 10.1037/0278-7393.11.1-4.804
- Makarov, I. N., & Kutuzova, A. B. (2020). Vliyanie motornoy trenirovki na protsess razdelenie chankov v insaytnykh zadachakh [The influence of motor training on the process of chunk separation in insight problems]. In: E.S. Gorebunova (Ed.), *PSY-Vyshka* [PSY-HSE] (pp. 145–147). Moscow: Ros. novyy un-t.
- Okulov, S. M., & Lyalin, A. V. (2008). *Khanoyskie bashni* [The Hanoi Towers]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy.
- Piek, J. P., Dawson, L., Smith, L. M., & Gasson, N. (2008). The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Human Movement Science*, 27(5), 668–681. doi: 10.1016/j.humov.2007.11.002
- Polukhina, N. A., & Soloviev, A. G. (2016). “Chudo-yashchik” s obuchayushchimi igrami [A “miracle box” with educational games]. Patent RF № 163902 ot 10.08.2016.
- Ratcliff, R., & Kang, I. (2021). Qualitative speed-accuracy tradeoff effects can be explained by a diffusion/fast-guess mixture model. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. doi: 10.1038/s41598-021-94451-7
- Schneegans, S., & Schöner, G. (2008). Dynamic field theory as a framework for understanding embodied cognition. *Handbook of Cognitive Science*, 241–271. doi: 10.1016/B978-0-08-046616-3.00013-X
- Sechenov, I. M. (1952). *Izbrannye proizvedeniya* [Selected Works]. Moscow: USSR AS.
- Sevostyanov, D. A. (2020). Motor Inversions as a Resource for Individualizing Human Activity. *Corpus Mundi*, 1(1), 59–80. (In Russian). doi: 10.46539/cmj.v1i1.3
- Smith, M. C. (1967). Theories of the psychological refractory period. *Psychological Bulletin*, 67(3), 202.
- Smyth, M. M., & Wing, A. W. (2013). *Psychology of Human Movement*. Elsevier.
- Spiridonov, V. F., & Lifanova, S. S. (2013). Insight and Mental Operators: Are Step-by-Step Solutions of Insight Tasks Possible? *Psihologiya. Zhurnal Vyshey shkoly ekonomiki – Psychology. Journal of the Higher School of Economics*, 10(3), 54–63. (In Russian).
- Sushchin, M. A. (2019). Situativnoe i voploshchennoe poznanie kak issledovatel'skaya programma v kognitivnoy nauke [Situational and embodied cognition as a research program in cognitive science]. *Naukovedcheskie issledovaniya*, 2019, 158–178. doi: 10.31249/scis/2019.00.10
- Tereshchenko, T. V., Sokolov, R. V., & Goncharov, O. A. (2018). Graphic-motor adaptation to computer distortions between coordinates of the visual and motor fields. *Ekspierimental'naya psikhologiya – Experimental Psychology*, 11(1), 92–113. (In Russian). doi: 10.17759/exppsy.2018110106
- Tolmachev, I. V., Alifirova, V. M., Kazakov, S. D., & Koroleva, E. S. (2019). Software complex for assessment and rehabilitation of motor disorders in patients with ischemic stroke.

- Byulleten' sibirskoy meditsiny* – *Bulletin of Siberian Medicine*, 18(4), 136–142. (In Russian). doi: 10.20538/1682-0363-2019-4-136-142
- Thomas, L. E., & Lleras, A. (2009). Swinging into thought: Directed movement guides insight in problem solving. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(4), 719–723. doi: 10.3758/PBR.16.4.719
- Vedernikov, A. R., Vedernikov, M. R., Vedernikova, A. E., & Novoselov, S. A. (2019). *Igrovoe ustroystvo dlya razvitiya zritel'no-prostranstvennoy pamyati i melkoy motoriki detey i vzroslykh* [A game device for the development of visual-spatial memory and fine motor skills of children and adults]. Patent RF № 2710139 ot December 24, 2019.
- Werner, K., & Raab, M. (2013). Effects of Movement Priming on Problem Solving. *Experimental Psychology*, 60(6), 403–409. doi: 10.1027/1618-3169/a000213
- Werner, K., Raab, M., & Fischer, M. H. (2019). Moving arms: the effects of sensorimotor information on the problem-solving process. *Thinking & Reasoning*, 25(2), 171–191. doi: 10.1080/13546783.2018.1494630
- Zaporozhets, A. V. (1960). *Razvitie proizvol'nykh dvizheniy* [Development of Voluntary Movements]. Moscow: RSFSR Academy of Sciences.
- Zakharevskaya, E. A. (2018). Experimental research of interrelation of indicators of psychomotor activity with typological features of personality. *Azimut nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya* – *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*, 3(24), 291–294. (In Russian).

Received 03.04.2022; Accepted 11.07.2022

Dmitry Yu. Balanev – Head of the Laboratory of Experimental Psychology, Dean of the Faculty of Psychology of Tomsk State University. Cand. Sc. (Psychol.).

E-mail: balanevd@gmail.com

Evgeniya V. Smeshko – Laboratory assistant of the Laboratory of Experimental Psychology, Tomsk State University.

E-mail: eva.smeshko@mail.ru

Dmitry A. Koch – Laboratory assistant of the Laboratory of Experimental Psychology, Tomsk State University.

E-mail: tempus12345@mail.ru