

Кришталь В.Н.¹, Гончаров О.А.² Анализ графомоторной активности субдоминантной руки при унимануальном и бимануальном условиях

Crishtal V.N.¹, Goncharov O.A.² Analysis of the graphomotor activity of the subdominant hand under unimanual and bimanual conditions

¹ Государственный университет «Дубна»

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Проводилось сравнение графической деятельности (рисование окружностей) левой руки при бимануальном условии с двигательной активностью этой же руки, но при унимануальном условии. Исследование выполнялось на 20 здоровых студентах-психологах (ср. возраст ~20 лет). Сравнительный анализ унимануальных и бимануальных графомоторных движений левой руки показал различия по таким показателям, как средняя скорость, стандартное отклонение от средней скорости, время движения и размер нарисованной фигуры. Анализ динамики двигательной активности левой руки для бимануального и унимануального условий в серии последовательных проб показал значимые изменения для бимануального условия по основным кинематическим показателям, для унимануального условия такой динамики не выявлено. Предполагается статус бимануальной координации как не сводимой к сумме координаций двух унимануальных движений.

Ключевые слова: бимануальная координация, графомоторная деятельность, межполушарная асимметрия и взаимодействие, перцептивно-моторное взаимодействие

Введение в проблему

Одновременная координация двух рук является тем видом двигательной активности, с которым в жизни мы имеем дело намного чаще, чем с управлением каждым из этих парных органов по отдельности. Несмотря на это, в психологической науке мы найдем куда больше ответов на вопросы, касающиеся организации унимануальных движений. Бимануальная координация как целостное слитное движение или серия синхронных и последовательных движений [Бернштейн, 1966], продиктованных одной задачей, долгое время оставалась в тени общей теории организации движений в противоположность одноручным движениям и действиям в рамках отечественной психологии и психофизиологии. Некоторые сведения, касающиеся данного предмета, можно почерпнуть из нейропсихологической литературы по функциональной асимметрии мозга и межполушарному взаимодействию [Брагина, 1988]. Лучше дела обстоят в зарубежной когнитивной психологии. Работы по координации содружественных движений можно найти с 70-х гг. прошлого века [Kelso, 1979]. С тех пор эта тема была предметом десятков и сотен специальных исследований. Однако всеохватывающей картины управления парными органами и частями тела пока не представлено. Тем не менее в рамках этих исследований зародились основные линии изучения бимануальной координации. Перечислим главные из них: 1) выяснение роли доминирующей руки и ее влияния на субдоминантную при координации бимануальных движений [Franz, 2002; Kourtis, 2014]; 2) определение степени легкости выполнения бимануальных двигательных задач в зависимости от фазовых соотношений обеих рук (например, выполнение реципрокных движений или одновременное круговое движение одной руки по, а другой против часовой стрелки) [Haken 1985; Kunde, 2005]; 3) исследование влияния сложности задания (по логарифмическому закону Фиттса [Fitts, 1954]) на исполнение различных бимануальных движений (время, необходимое для достижения цели, зависит от размера цели и расстояния до неё) [Amazeen, 2005; Bingham, 2007; Shea, 2012; Riek, 2003]; 4) степень (а)синхронизации одновременных движений левой и правой руки в зависимости от условий двигательной задачи [Shea, 2012; Kelso, 1979; Marteniuk, 1984; Riek, 2003] 5) влияние распределения внимания по феноменологическому полю восприятия на координацию отдельных звеньев бимануальных движений [Hiraga, 2005; Wuys, 1996] 6) всевозможные комбинации вышеперечисленных линий исследования. Отметим, что, как правило, речь идет о бимануальных одностипных движениях, т.е. таких движениях, где ведущая и ведомая рука выполняют, по сути, одно и то же движение, но с разной скоростью, направлением, амплитудой, фазой и т.п. в зависимости от обстоятельств самой задачи (напр., дотянуться до клавиш, находящихся на равноудаленном и разноудаленном расстоянии от субъекта: условия для каждой руки разные, суть – одна).

Остановимся поподробнее на одном из типичных примеров двигательной задачи, при помощи которого исследователи пытаются раскрыть структурные и координационные особенности пространственных движений, в частности содружественных движений, примером, которым воспользуемся и мы в своем эксперименте – одновременном рисовании окружностей.

Классическими анализируемыми характеристиками моторики в таких работах являются кинематические и пространственные, а также биомеханические (мышечно-суставные) особенности кинематических цепей, непосредственно участвующих в движении.

Начнем с общих особенностей унимануальных непрерывных круговых движений. Место рабочей поверхности, где производились рисунки (например, левый верхний угол или середина стола), а значит, и включенность различных мышечных групп в осуществление движения не влияли на их размер, но таким влиянием обладала скорость (частота), с которой выполнялось рисуночное задание. Зависимость обратная: чем выше скорость (частота) изображения окружностей, тем меньше их размер, и наоборот [Bosga, 2003]. В отличие от размера, на округлость (соответствие нарисованной фигуры эталону) влиял как выбор места расположения рисунка на плоскости, так в особенности его скорость (частота) рисования. Здесь зависимость уже прямая: при увеличении частоты рисования окружности серьезно искажалась ее кривизна [Bosga, 2003]. Влияние внешнего аудиального стимула, задающего темп (но не сам темп!), несущественно для временных и пространственных характеристик повторяющихся рисованных кругов. Более того, обнаружено, что зрение играет не такую существенную роль в данных движениях, как может показаться с первого взгляда: отсутствие зрительного контроля за движениями не сказывается на форме рисованных фигур, но они становятся меньше в размере. В целом, хоть и увеличивается разброс значений формы, размера и положения фигуры на рабочей поверхности, очевидно, что зрение не является здесь главной афферентацией, на которой держится все движение – оно лишь помогает поддерживать устойчивость движения (но не само движение) [Zelaznik, 1996].

Перейдем непосредственно к бимануальным круговым движениям. При анализе бимануальной координации авторы, как правило, сравнивают двигательные характеристики правой и левой руки, игнорируя изменения субдоминантной руки от унимануального условия к бимануальному. Например, размеры окружностей, нарисованных субдоминантной рукой по сравнению с доминантной, были менее стабильны от пробы к пробе [Franz, 2002; Hiraga, 2005], а их форма менее походила на округлую [Semjen, 1995; Tseng, 2005], хотя в целом сохраняется явление фазовой сцепленности рук [Kelso, 1979]. Симметричное (относительно мышц) движение

рук по кругу сохраняет свою стабильность при различных темпах рисования, однако асимметричное (т.е. когда обе руки двигаются по или против часовой стрелки) отличается большим фазовым отставанием и фазовым разбросом, либо вовсе «скатываются» в симметричные движения. Причем вина за подобные искажения направления и траектории бимануального движения от эталонного возлагается на ведомую руку [Semjen, 1995]. В целом понятна и ожидаема более тонкая, точная координация доминантной руки по сравнению с субдоминантной в силу доминантности одного из полушарий, локализации речевых центров, однако остается неясным, о чем подобная картина нам говорит: об интерферирующем влиянии ведущей руки на ведомую или об улучшающем.

Выше речь шла о продолжающихся наложенных друг на друга рисованных окружностях, но что если предложить испытуемым рисовать окружности разово с определенным интервалом между каждой фигурой? Оказывается, подобное условие значительно улучшает пространственно-временные характеристики изображенных фигур: их размеры станут еще стабильнее, а форма все более будет приближаться к эталонной [Summers, 2008]. По-видимому, в случае продолжающихся окружностей, напоминающих палимпсест, построение данных фигур в большей мере опирается на ритмические проприоцептивные сигналы, тогда как при однократном изображении той же фигуры возрастает удельный вес зрительной афферентации. Точнее сказать, зрительная афферентация становится основной, а проприоцептивная выполняет фоновые коррекции. К тому же во втором случае повышается объективная точность, присущая самой двигательной задаче: линию окружности следует довести до ее начала. Фазовые соотношения правой и левой рук при дискретном циркулярном движении менее зависимы от таких факторов, как частота рисования или направление движения, чем при непрерывном условии [Summers, 2008]. Это означает более слабую выраженность запаздывания субдоминантной руки от ведущей или степень их асинхронизации. Округлость и устойчивость размеров окружностей левой руки выше при дискретном условии рисования, несмотря на дополнительные условия двигательной задачи: направление движения и скорость (частота), хотя в обоих случаях движения правой руки ожидаемо лучше левой. Можно предположить, что навык дискретного рисования более устойчив к дополнительным условиям (или помехам), а навык непрерывного асимметричного (противофазового) рисования с увеличением скорости «скатывается» к образу ближайшего, более совершенного движения – симметричного рисования. Подобная разница в продолжающихся и дискретных движениях объясняется разной локализацией построения обоих движений и присущей им разной временной организацией движения: *emergent timing* и *event timing* [Summers, 2008]. Эти гипотезы весьма созвучны теории постро-

ения движений Н.А. Бернштейна, где каждому контингенту движения соответствует своя морфофизиологическая структура, а также пространственно-временные характеристики. В частности, для сравниваемых нами движений в первом случае речь идет о ритмической организации, реализующейся в координатах тела субъекта (уровень В), а во втором – объективная метрическая организация времени-пространства, как она представляется в классической физике (уровень С) [Бернштейн, 1947].

Скажем пару слов и о влиянии внимания в процессах бимануальной координации. Непосредственный визуальный контроль ведомой руки снижает наблюдавшуюся ранее асимметрию и асинхронию, возникающую между обеими руками. Причем это выравнивание двояко: со стороны улучшения двигательных характеристики левой руки (например, формы окружности), так и со стороны ухудшения исполнительных качеств правой руки. Стоит отметить существенную роль обстоятельств задачи: направление внимания испытуемых на определенные детали задачи (в частности, на пространственные) улучшают ее выполнение, усиливают координацию двух конечностей [Hiraga, 2005].

Ключевая тема данной проблемы заключается в формировании бимануальной координации или, говоря терминами В.П. Зинченко, моторного алфавита движений парных частей тела (в частности рук) [Зинченко, 1997]. Нас интересует, каким образом приводится в исполнение решение двигательной задачи, предусматривающей применение однотипных движений обеих рук. Каким образом управляются обе конечности в данной ситуации?

Ответы на эти вопросы можно свести к двум основным точкам зрения [Gribova, 2001]. Первая заключается в том, что координация парных частей тела в рамках одной двигательной задачи строится точно так же, как если бы каждая из рук решала поставленную задачу по отдельности, т.е. обе конечности здесь выступают как независимые друг от друга органы. Иными словами, движение каждой руки регулируется отдельной программой. При этом дополнительно требуется наличие некой третьей силы (программы), которая должна координировать во времени и пространстве обе руки в процессе решения двигательной задачи. Подтверждением подобного предположения являются результаты исследований, которые показывают, что выполнение действия одной из рук при бимануальном условии требует больших усилий и времени по сравнению с таким же действием той же руки при изолированном унимануальном условии [Garry, 2000; Kelso, 1979; Pan, 2019]. На нейрокогнитивном языке это положение определяется так, что для управления двумя конечностями требуется больше «когнитивного ресурса», нежели для каждой из них по отдельности. Вторая точка зрения предполагает, что содруже-

ственные движения рук координируются одной общей программой, а не содержат в своей основе две независимые двигательные программы, которые через посредника временно действуют сообща и слаженно. В случае правильности второго варианта разницы во времени и точности исполнения двигательного акта бимануально или унимануально не будет, что и подтверждается некоторыми исследованиями [Aglioti, 1993]. С данной точки зрения можно предположить, что в некоторых случаях бимануальные движения будут выполняться более качественно (быстрее, точнее), чем аналогичные унимануальные движения, например, в отношении субдоминантной руки, которая благодаря общей программе по ряду двигательных параметров должна подтягиваться до уровня выполнения доминантной руки. В пользу такой точки зрения говорят и явления неполного переноса бимануальных двигательных навыков на унимануальные при реабилитации пациентов после инсульта, а также возможности восстановления подвижности руки, контрлатеральной очагу поражения, путем ее тренировки самой по себе (без участия руки с сохранной моторикой) [Burgess, 2007; Nozaki, 2006]. Отсюда следует, что движения, в которых участвуют обе руки, координируются не только суммированием (или интерференцией) сигналов от центров, ответственных за движения каждой руки по отдельности, но и центрами, отвечающими именно за одномоментное управление парными частями тела [Pan, 2019], что созвучно принципу Н.А. Бернштейна о взаимосвязи локализации и координации [Бернштейн, 1966]. Впрочем, приводятся данные и о сравнительно полном переносе обучаемости навыка с бимануальных движений на унимануальные в ряде зрительно-моторных задач и задач на динамическую адаптацию [Oldfield, 1971; Wang, 2009, 2010, 2013]. В таком случае считается, что нервные процессы, участвующие в реализации унимануальных и бимануальных движений, существенно покрывают друг друга, т.е. морфологический субстрат является в общем-то одним и тем же в обоих случаях. На данный момент ни одна из двух выдвинутых гипотез не нашла полноценного подтверждения – их объяснительная способность распространяется лишь на некоторые типы моторных задач.

Выше приводились данные в большей мере нейрофизиологической природы бимануального двигательного акта, однако полное описание и объяснение содружественных движений стоит за функциональной (психологической) стороной этого процесса. В этом отношении уместно вспомнить, что парные конечности при решении двигательной задачи, условием которой является применение обеих конечностей, являются одним слитым целым, выражаясь словами А.А. Ухтомского (а впоследствии развитые Н.Д. Гордеевой и В.П. Зинченко), «функциональным органом», т.е. «временным сочетанием сил, способным осуществить определенное достижение» [Бернштейн, 1966; Гордеева, Зинченко 1982; Ухтомский, 1978]. Понятно, что функциональным органом здесь выступают не только непосредственно исполнительные части тела –

руки, их эффекторные пути, но и та часть афферентной системы, из которой складывается сенсорный синтез для осуществления произвольного движения, решения задачи. Иначе говоря, нас интересует центральная часть двигательной программы, которая участвует и руководит всем движением (функциональным органом) [Бернштейн, 1947].

Цель, задачи и гипотезы исследования

В нашем исследовании в общем виде был поставлен следующий вопрос: каким образом формируется координация бимануальных движений? Конечно, окончательное решение данного вопроса видится в отдаленном будущем, однако можно наметить ряд последовательных шагов для дальнейшего продвижения. Для начала мы поставили цель выяснить, улучшаются ли показатели двигательной активности субдоминантной руки при выполнении графического (изобразительного) действия совместно с доминантной рукой (бимануальное условие) по сравнению с изолированным действием (унимануальное условие), и если да, то в какой степени. Другими словами, имеются ли качественные отличия в двигательных параметрах левой руки, выполняющей движение изолированно, по сравнению со случаем совместного с правой (ведущей) рукой движения?

Данная цель конкретизируется в следующих задачах: во-первых, мы собираемся провести сравнительный анализ параметров графомоторной активности левой руки при унимануальном и бимануальном условиях; во-вторых, проследить динамику параметров графодвигательной активности левой руки при бимануальном и унимануальном условиях, т.е. проследить изменение значений этих параметров в серии последовательных проб.

Поскольку мы не располагаем надежными источниками, которые позволили бы заранее определиться с точкой зрения (т.е. наше исследование носит поисковый характер), мы выдвигаем две альтернативные гипотезы.

Первая гипотеза предполагает, что графомоторная активность левой руки при унимануальном и бимануальном условиях не имеет принципиальных (статистически значимых) различий, а, значит, ее регуляция принципиально не зависит от выбранных нами условий. В обоих случаях движения левой руки регулирует одна и та же программа, и в случае бимануальных движений предполагаемая отдельная программа движения доминантной (правой) руки не оказывает на нее существенного влияния.

Обратная гипотеза гласит, что графомоторная активность левой руки при унимануальном и

бимануальном условиях значительно отличается друг от друга, следовательно, координация левой руки унимануально и бимануально происходит разным образом. В таком случае можно предположить наличие как минимум двух программ (способов координации) – первая отвечает за унимануальные движения на каждую руку по отдельности, вторая программа, в свою очередь, регулирует организацию бимануальных движений. Иными словами, бимануальную координацию нельзя свести к простой сумме двух унимануальных регуляций.

В решении второй (динамической) задачи тоже можно наметить альтернативные решения. Если при наличии изначальных различий в организации унимануальных и бимануальных движений в ходе двигательной практики (серии последовательных однотипных проб) будет иметь место параллельное улучшение выполнения при обоих условиях, можно говорить о независимом формировании разных двигательных навыков, но программы регуляции одноручных и двуручных движений остаются принципиально разными. Если же в ходе тренировки будут улучшаться параметры только одного типа движений (например, бимануальных), можно предположить постепенное формирование единой двигательной программы для двух рук.

В данном исследовании мы не ставили специальной задачи детального сравнения двигательных параметров субдоминантной и доминантной руки, а также движений ведущей руки при унимануальном и бимануальном условиях. Дело в том, что при поверхностном анализе проблемы напрашивается предположение, что при наличии единой бимануальной программы правая рука должна вести за собой левую (по крайней мере, у правшей), т.е. при бимануальном условии параметры движения левой руки должны приближаться к правой и, следовательно, улучшаться по сравнению с изолированными движениями. Во-первых, сначала нужно обосновать наличие единой программы. Во-вторых, возникает вопрос относительно выбора критериев оценки качества исполнительных графомоторных движений. Как будет показано далее, ведущая рука далеко не всегда быстрее откликается на команды о начале движения (время реакции), не всегда движется быстрее, плавнее или точнее (скорость движения, стандартное отклонение от средней скорости и т.н. «индекс округлости») и т.д. Все эти вопросы должны стать предметом дальнейших специальных исследований.

Процедура и методика исследования

Апробация исследования (в том числе и разработка методики) бимануальной координации была проведена на примере графомоторной деятельности (т.е. рисунка и письма), в нашем случае рисовании окружностей по представлению, что, согласно теории построения движений

Н.А. Бернштейна, соответствует уровню пространственного поля С2 [Бернштейн, 1947; Бернштейн, 1966].

Испытуемые и процедура

Испытуемыми (N = 20) являлись студенты-психологи (3 юноши и 17 девушек; средний возраст ~ 20,2 года), которым было предложено на графических планшетах рисовать окружности левой рукой и обеими руками по часовой стрелке, начиная с двенадцати часов (с верхней точки окружности), не отрывая карандаша от бумаги. Особых указаний о размере изображаемых фигур и скорости движения мы не давали, и поэтому будем считать, что испытуемые выполняли рисование окружностей с удобной, оптимальной в рамках заданной задачи для себя быстротой. Такая свободная инструкция связана с нацеленностью авторов на получение результатов, приближенных к обыденным движениям испытуемых, а не к искусственным выученным движениям, обладающим ценностью скорее для других экспериментов, но не для практики вообще.

На каждое условие (унимануальное и бимануальное) испытуемым отводилось по четыре попытки, итого получается восемь окружностей, нарисованных левой рукой и четыре – правой (всего двенадцать). Такое количество проб выбрано неслучайно. С одной стороны, мы хотели избежать случайных, ненадежных данных и поэтому не ограничились одной пробой. С другой стороны, небольшое количество проб вызвано стремлением предотвратить влияние научения на предлагаемые движения, т.е. формирование двигательных навыков, что рассматривается нами как отдельная задача для другого исследования.

Испытуемые на момент эксперимента не владели художественными приемами рисунка, имели среднестатистические способности к рисованию, обладали нормальным зрением (или скорректированным до такого) и не имели проблем с тонкой моторикой. Рисунки выполнялись стоя.

Для контроля возможного эффекта последовательностей выполнения заданий (влияния одноручного движения на двуручное, и наоборот) испытуемые были разбиты на две группы: одной группе было предложено рисовать сначала левой рукой, а после обеими; а второй наоборот.

Для исключения влияния межполушарной асимметрии на качество выполнения графомоторной задачи среди возможных испытуемых проводился отбор по пробе ведущей руки, глаза и ноги [Вассерман, 1997; Хомская, 1995]. Для составления латерального профиля испытуемых

применялись моторные и метрические тесты. До эксперимента допускались лишь выраженные правши, то есть те лица, у которых при прохождении всех тестов выявлялся правосторонний латеральный профиль.

Оборудование и программное обеспечение

Методика исследования бимануальных движений заключается в использовании двух графических планшетов (Wacom Intuos 3 A3), подключенных к двум ноутбукам (разрешение экрана 1280 × 768, диагональ 15.6") с установленным на них специальным программным обеспечением «Захват курсора» (автор – Р.В. Соколов), которое регистрирует пространственно-временные координаты при движениях кончика стилуса в 10-миллисекундных интервалах (с частотой 100 Гц). Итоговые данные о движении фиксируются в текстовом файле, который для дальнейших вычислений основных двигательных параметров передается в программы «PowerGraph 3.3» и «Microsoft Excel 2019».

Рабочая поверхность планшетов соответствует формату бумажного листа А3 (297 × 210 мм). Планшеты располагаются друг к другу так, что граница между ними проходит по сагиттальному разрезу, т.е. делит тело на две примерно равные части: правую и левую. Синхронизация регистрации движений с обоих планшетов достигается за счет одновременного включения записи виртуального осциллографа на обоих компьютерах при подаче команды испытуемому. Для зрительной обратной связи в стилусе наконечник заменяется грифелем простого карандаша, а на планшет при помощи канцелярской скрепы крепится лист бумаги, на котором испытуемый видит, что он рисует. Таким образом, моделируется ситуация, в которой испытуемый как бы рисует на обычном листе бумаги простым карандашом.

Статистическая обработка, рисунки и графики выполнялись в «Microsoft Excel 2019», «PowerGraph 3.3» и «Statistica 12.6».

Регистрируемые параметры

Регистрируя траекторию движения рабочей точки (кончика стилуса) по поверхности планшета, мы получаем позиционные координаты точки в двумерной системе координат (X, Y) за момент времени (10 мс). Зная проекции траектории движения точки по оси абсцисс и ординат и соответствующие им временные значения, мы можем вычислить пространственные, времен-

ные и кинематические величины движения точки на плоскости: *среднюю и максимальную скорость* движения рабочей точки; *стандартное отклонение* от средней скорости; *время реакции*, определяющееся как разница между подачей команды экспериментатором и временем первого движения стилуса испытуемого по планшету; *площадь* нарисованной *фигуры*; отношение площади нарисованной фигуры к площади идеальной фигуры, или «*индекс округлости*».

Вычисления проводились следующим образом: по теореме Пифагора находилось расстояние между двумя точками, заданными в прямоугольной системе координат:

$$S = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Далее, зная абсолютную величину перемещения за 10 мс, мы вычисляем моментальную скорость движения рабочей точки:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

Полученные значения величины сглаживаются путем усреднения моментальных скоростей за 100 мс (поскольку параметрический график скорости не может иметь скачков):

$$V_{\text{усред}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{10}}{100}$$

Тогда *средняя скорость* для всего пути равняется среднему арифметическому всех моментальных (усредненных) скоростей на всем пути. Соответственно, *максимальная скорость* и *стандартное отклонение от средней скорости* вычисляются от значений этой величины.

Площадь нарисованной фигуры вычисляется (в PowerGraph 3.3) по формуле площади Гаусса (на графике фигуры удалялись самопересечения линий):

$$S_{\text{нарис}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

Площадь идеальной фигуры вычисляется следующим образом: у нарисованной фигуры находится главная диагональ (как наибольшая разница между минимальным и максимальным значениями абсцисс или ординат), которая принимается за диаметр идеальной окружности. Зная диаметр нашей идеальной окружности, вычисляем площадь круга (по формуле $S = \pi r^2$). *Индекс округлости* тогда равен:

$$Ic = \frac{S_{\text{нарис}}}{S_{\text{идеал}}} \times 100\%$$

Следовательно, чем ближе значение индекса округлости приближается к ста процентам, тем больше нарисованная испытуемым геометрическая фигура похожа на окружность. Понятно, что при таких подсчетах эталонная окружность всегда будет больше нарисованной.

Результаты исследования

Описанные выше показатели двигательной активности левой руки при унимануальном условии сравнивались с показателями этой же руки, но при бимануальном условии. Во-первых, сопоставлялись показатели всех проб среди всех испытуемых (т.е. данные суммировались по 20 испытуемым, а всего наша выборка на одно условие составляет 80 полноценных движений) между обоими условиями (с помощью t-критерия для парных выборок). Во-вторых, анализировалась динамика средних значений проб от первой к четвертой (ANOVA с повторными измерениями) для каждого показателя и сравнивалась их динамика по величинам для обоих условий (Two-way ANOVA с повторными измерениями). Показатели правой руки при бимануальном условии в том числе были подсчитаны и учтены при анализе, оказавшись полезными при уточнении контролирующих условий, но в данном исследовании нас в большей мере интересовала активность субдоминантной (ведомой) руки.

Анализ двигательной активности левой руки при унимануальном и бимануальном условиях

Приведем сравнения кинематических, временных и пространственных величин для зависимых выборок моторной активности левой руки в ситуациях одноручной и двуручной координации одного и того же циркулярного движения. Сравнение проводилось при помощи t-критерия Стьюдента для парных выборок (в тех случаях, где корреляция между двумя выборками не была значимой, использовался t-критерий для независимых выборок). Полный анализ по данному разделу отражен в сводной таблице 1.

Таблица 1

Анализ основных показателей двигательной активности левой руки при унимануальных и бимануальных условиях по t-критерию для парных выборок

Анализируемые показатели	Унимануальное условие		Бимануальное условие		t-критерий	df	p
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение			
Средняя скорость ($V_{\text{ср}}$, пикс/мс)	0,50	0,23	0,43	0,25	5,083	79	0,000***
Максимальная скорость ($V_{\text{макс}}$, пикс/мс)	2,93	2,31	2,56	2,48	1,329	79	0,188
Стд. отклонение от средней скорости (σ_v , пикс/мс)	0,48	0,34	0,42	0,38	1,785	79	0,078 ^M
Время реакции (t_r , мс)	784	654	740	612	0,435 ^T	158	0,665
Площадь нарис. фигуры (S_p , пикс ²)	292086	94673	258391	96176	4,253	79	0,000***
Индекс округлости (I_c , %)	84	5,9	81	6,9	2,835 ^T	158	0,005**

*** - $p < 0,001$; ** - $p < 0,01$; * - $p < 0,05$; ^M – маргинальный уровень значимости ($0,05 < p < 0,1$); ^T – в данных случаях различия анализировались с помощью t-критерия для независимых выборок.

Для наглядности особенностей кинематической составляющей рисования приведем параметрические графики скорости левой руки в случаях одноручного и двуручного изображения окружности на примере одного испытуемого из нашей выборки (рис. 1).

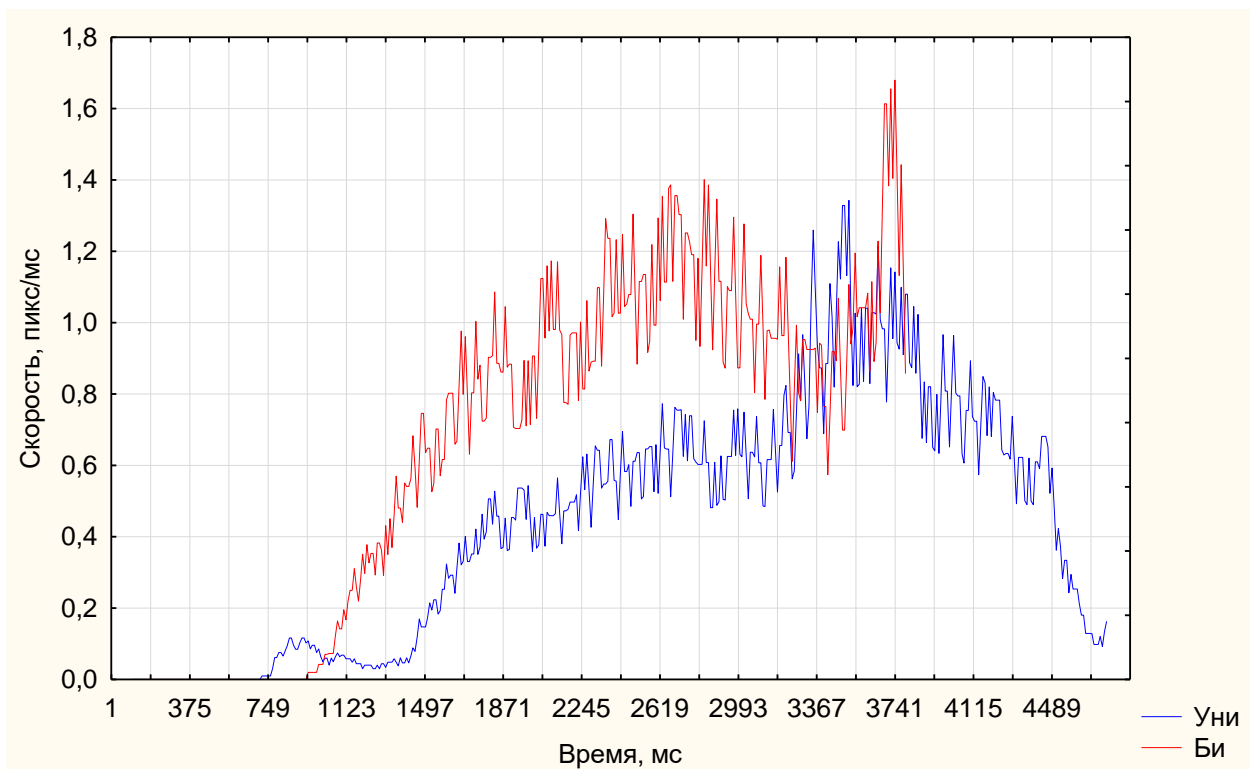


Рис. 1. Сравнение значений скорости левой руки при унимануальном (синяя линия) и бимануальном (красная линия) условиях.

Средняя скорость унимануального движения левой руки по окружности значительно отличается от такого же движения только совместно со второй рукой ($t = 5,083$; $p < 0,001$). При участии

правой руки в этом круговом движении скорость левой снижается, т.е. левая рука при унимануальном условии движется быстрее, чем при бимануальном условии (в среднем на 0,07 пикс/мс).

Анализ различий по средним значениям максимальной скорости для агрегированных среди всех испытуемых данных не выявил значимых отличий по движениям левой руки в зависимости от унимануального или бимануального условия. Тем не менее, при увеличении выборки мы допускаем, что и здесь можно получить значимые различия, поскольку в целом наблюдается та же картина, что мы видели ранее по средней скорости: для унимануального условия среднее значение максимальной скорости выше, чем для бимануального.

Аналогичное направление изменений наблюдается для стандартного отклонения от средней скорости: в ситуации одноручного движения отклонение от средней скорости движения левой руки в среднем на 0,06 пикс/мс больше по сравнению с двуручным выполнением такого же действия, но эти различия проявились только на уровне статистической тенденции ($t = 1,785$; $p = 0,078$). Можно предположить, что при бимануальном условии ведомая рука движется более плавно, без резких рывков по сравнению с унимануальным условием (визуально это можно отметить по амплитуде на рис. 1), но окончательный вывод в этом отношении требует дальнейшей проверки.

Продолжим анализ моторной активности попарными сравнениями временных показателей графомоторной активности левой руки. Сравнение агрегированных данных времени реакции (начала движения) левой руки при унимануальном и бимануальном условиях проводилось с помощью t-критерия для независимых выборок, но значимых различий обнаружено не было.

Последняя группа параметров изобразительных движений, которую мы рассматриваем в качестве пространственных показателей – это размер нарисованных по представлению окружностей и индекс округлости, т.е. степень их соответствия заданной фигуре, у которой все точки находятся на равном удалении от центра. Типичное изображение окружностей левой рукой при обоих условиях представлено на рис. 2. Для демонстрации искажения фигур, они были отражены в квадратной сетке.

Оказалось, что площади нарисованных окружностей значимо различаются при разных условиях ($t = 4,253$; $p < 0,001$). При унимануальном рисовании левой рукой площади окружностей больше (~на 33 695 пикс²), чем при бимануальном рисовании. Что касается соответствия нарисованных окружностей их идеальным образам, то здесь мы также находим значимое различие между рисованием окружности только левой рукой и левой совместно с правой ($t = 2,835$;

$p = 0,005$): левая рука при унимануальном условии рисует окружности несколько лучше (с разницей в 3%), чем левая же рука при бимануальном условии

Таким образом, по всем кинематическим показателям (средняя и максимальная скорость, а также стандартное отклонение от средней скорости) среднее значение этих величин в ситуации одноручного рисования выше, чем в случае двуручного рисования, однако не для всех показателей эта разница достигает статистической значимости. Графические движения левой руки при бимануальном условии протекают заметно медленнее по сравнению с унимануальным условием при незначительной разнице во времени реакции между этими условиями. Наконец, размеры фигур, нарисованных левой рукой без участия правой, значимо больше их аналогов, изображенных левой рукой совместно с правой, а приближенность нарисованных фигур к эталону несколько выше при унимануальном условии.

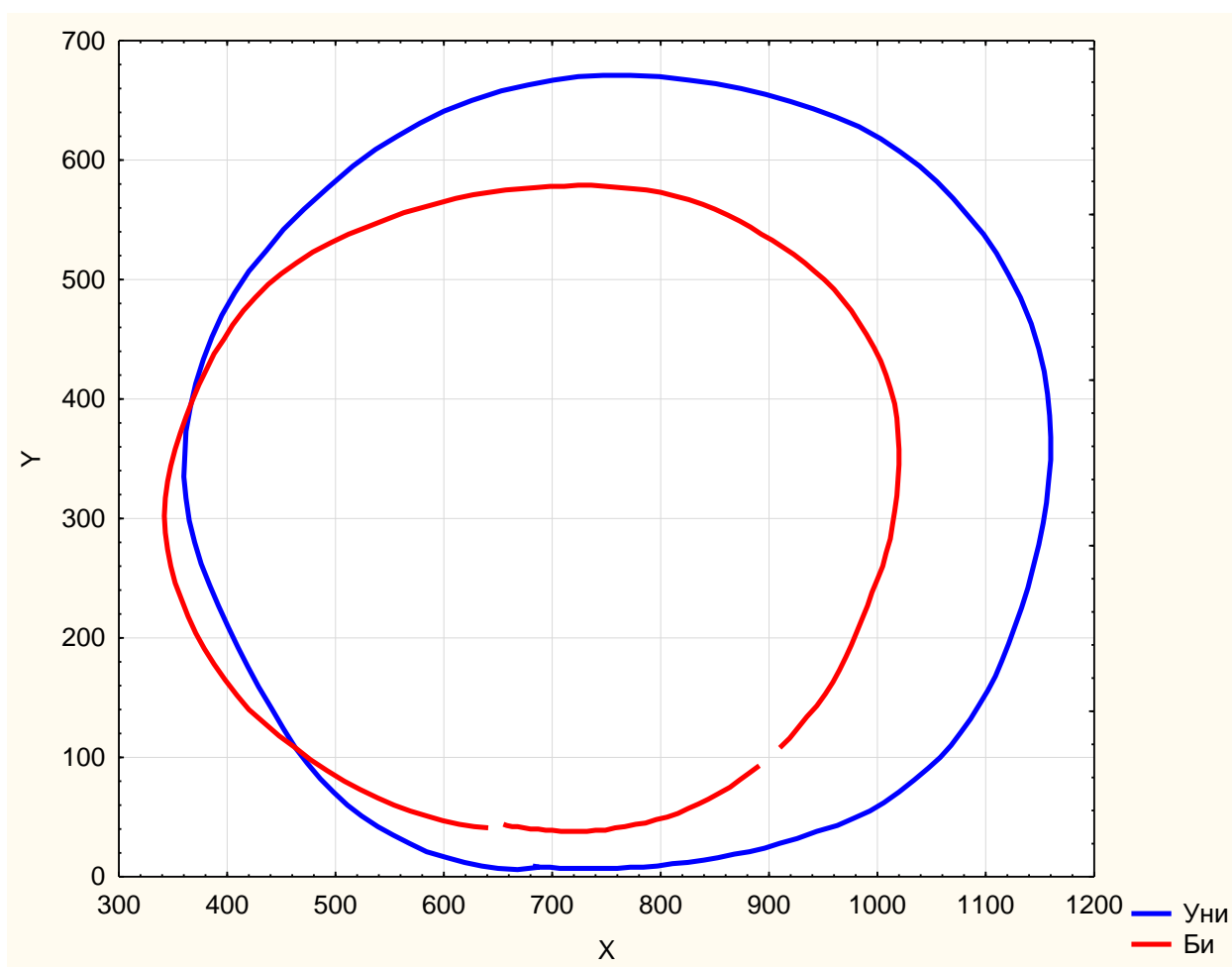


Рис. 2. Наложенные на один график с соблюдением пропорций изображения окружностей, нарисованных одним испытуемым левой рукой при унимануальном (синяя линия) и бимануальном (красная линия) условиях.

Анализ динамики двигательной активности левой руки при бимануальном

и унимануальном условиях

Анализ динамики изменений проб нас будет в первую очередь интересовать не как средство изучения процессов научения бимануальной деятельности (для этого попросту было выполнено недостаточно проб), а как способ посмотреть, меняются ли от пробы к пробе кинематические, временные и пространственные характеристики движения левой руки по какой-либо своей внутренней логике в зависимости от того, есть ли «напарник» у левой руки в виде правой или такой отсутствует. Для такой цели небольшое количество проб скорее будет даже более наглядным, поскольку оно исключит влияние научения, и искомый эффект обнаружит себя практически сразу же (если он имеет место).

Подобную динамику нам может показать однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями. Порядок обсуждения величин будет тот же, что и при анализе попарных сравнений. Для удобства представим данные анализа с повторными измерениями скоростных, временных и пространственных величин в сводной таблице 2. В графе «средние значения» для каждой величины первой строкой идут средние значения по всем пробам для унимануального условия, а строкой ниже – для бимануального.

Таблица 2

Результаты однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями двигательной активности левой руки при бимануальном и унимануальном условиях

Анализируемые показатели	Условия	Средние значения (от 1 к 4 пробе)				F	p	η^2
		уни-ман.	биман.	уни-ман.	биман.			
Средняя скорость ($V_{ср}$, пикс/мс)	уни-ман.	0,483	0,481	0,540	0,507	1,274	0,292	0,063
	биман.	0,392	0,400	0,463	0,457	3,583	0,019*	0,159
Максимальная скорость ($V_{макс}$, пикс/мс)	уни-ман.	3,165	2,537	2,768	3,256	0,781	0,510	0,039
	биман.	1,654	2,636	3,268	2,679	2,802	,048*	0,129
Стд. отклонение от средней скорости (σ_v , пикс/мс)	уни-ман.	0,485	0,418	0,504	0,514	0,738	0,534	0,037
	биман.	0,308	0,414	0,506	0,453	3,745	0,016*	0,165
Время реакции (t_R , мс)	уни-ман.	874	662	762	835	0,894	0,450	0,045
	биман.	577	852	921	610	1,563	0,208	0,076
Площадь нарис. фигуры (S_p , пикс ²)	уни-ман.	289757	288124	301594	288869	0,438	0,727	0,023
	биман.	255432	258481	257752	261899	,062	0,980	0,003
Индекс округлости (I_C , %)	уни-ман.	84	84	83	83	0,191	0,902	0,010
	биман.	81	80	81	81	0,399	0,754	0,021

*** - $p < 0,001$; ** - $p < 0,01$; * - $p < 0,05$; ^M – маргинальный уровень значимости ($0,05 < p < 0,1$)

Помимо общих внутригрупповых различий для каждого условия по всем параметрам в своем изложении обратимся к попарным сравнениям скоростных, временных и пространственных величин (по критерию LSD).

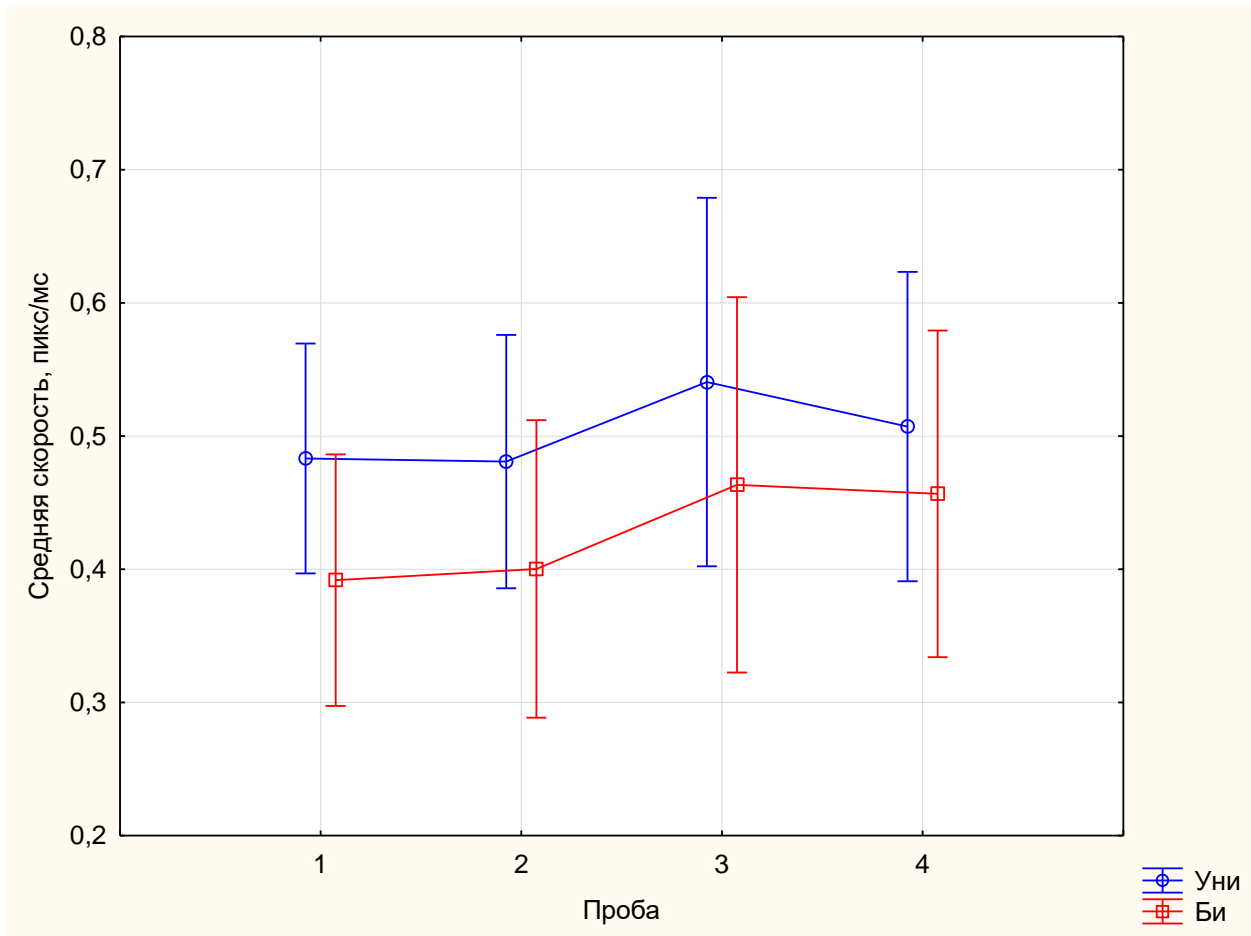


Рис. 3. Динамика средней скорости по всем пробам левой руки при бимануальном и унимануальном условиях. Вертикальные столбики отмечают 95%-ный доверительный интервал.

В целом графики изменения средней скорости (рис. 3) от пробы к пробе левой руки для обоих случаев имеют схожую тенденцию: первые две пробы близки по значениям друг к другу, когда последние две отличаются от них. Но для бимануального условия эта картина рисуется контрастнее и выразительнее, что мы и наблюдаем в дисперсионном анализе значений средней скорости. Динамика показателя средней скорости левой руки, двигающейся совместно с правой, демонстрирует увеличение значений с первых проб и, казалось бы, приближается к значениям величин аналогичных изолированных движений. Тем не менее этих значений левая рука при бимануальных условиях не достигает. Как мы уже говорили, в целом значительно отличается данная динамика только для бимануального условия ($F(3;57) = 3,583$; $p = 0,019$), причем следующим образом: первая проба маргинально значительно отличается от четвертой ($p = 0,07$), а вторая проба значительно отличается от третьей ($p = 0,013$) и четвертой ($p = 0,011$). Чтобы несколько упростить данные, скажем так: первые две пробы составляют одну группу

значений, а последние две – другую. Что касается средней скорости левой руки без содействия правой, то ее динамика скорее остается более ровной и спокойной.

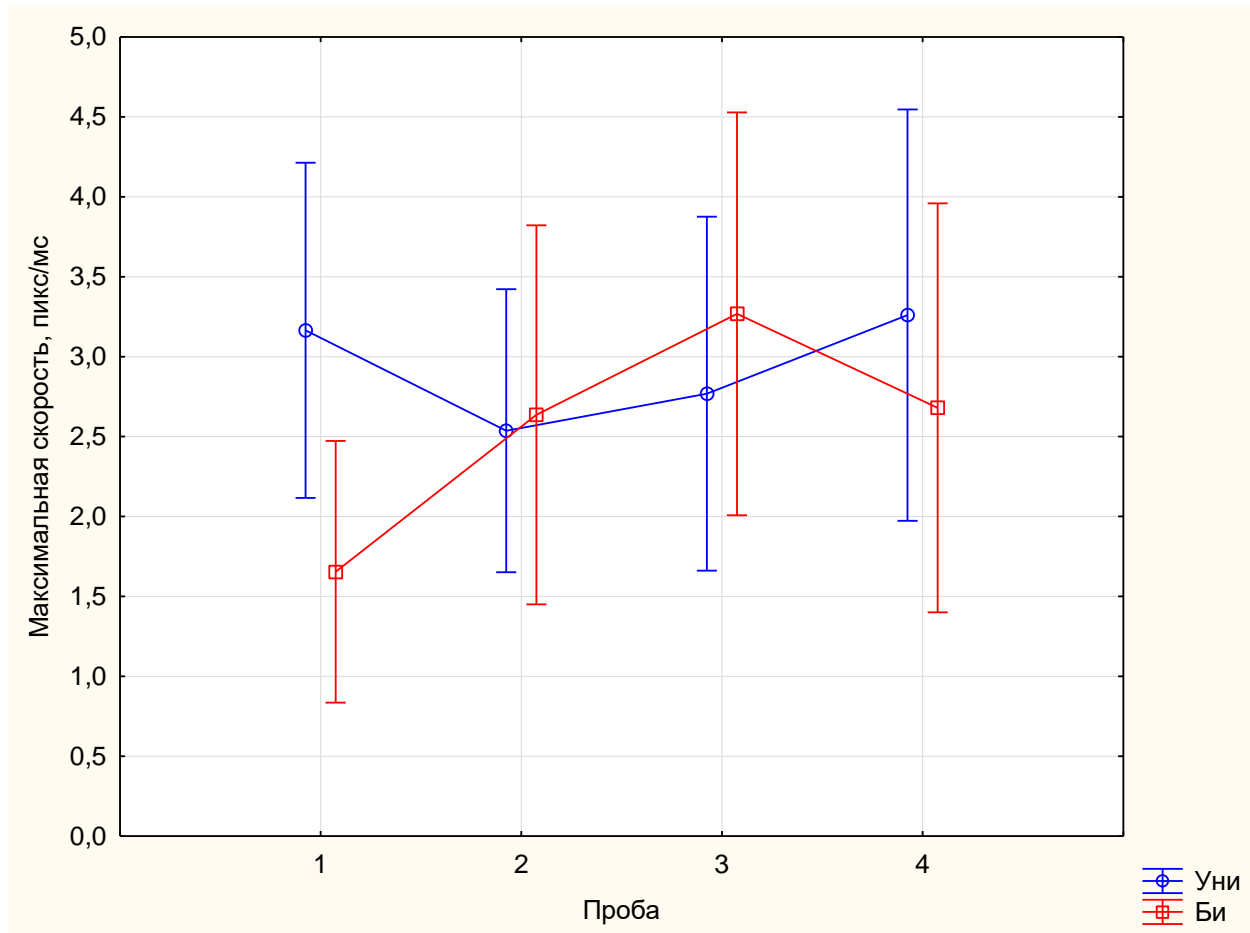


Рис. 4. Динамика максимальной скорости по всем пробам левой руки при бимануальном и унимануальном условиях. Вертикальные столбики отмечают 95%-ный доверительный интервал.

Максимальная скорость левой руки, в свою очередь, начиная уже со второй пробы, имеет ту же тенденцию к увеличению своих значений, если мы говорим о бимануальном рисовании (рис. 4). В целом отличия значений максимальной скорости от пробы к пробе для бимануального условия статистически значимы ($F(3;57) = 2,802$; $p = 0,048$). Подобного или любого другого значимого «рисунка» изменений максимальных скоростей от пробы к пробе мы не находим, если смотрим динамику максимальных скоростей унимануальной координации левой руки. Попарные сравнения значений максимальной скорости левой руки при двуручном рисовании выявили, что первая проба значимо отличается от третьей ($p = 0,005$) и маргинально значимо – от второй ($p = 0,072$) и четвертой ($p = 0,082$).

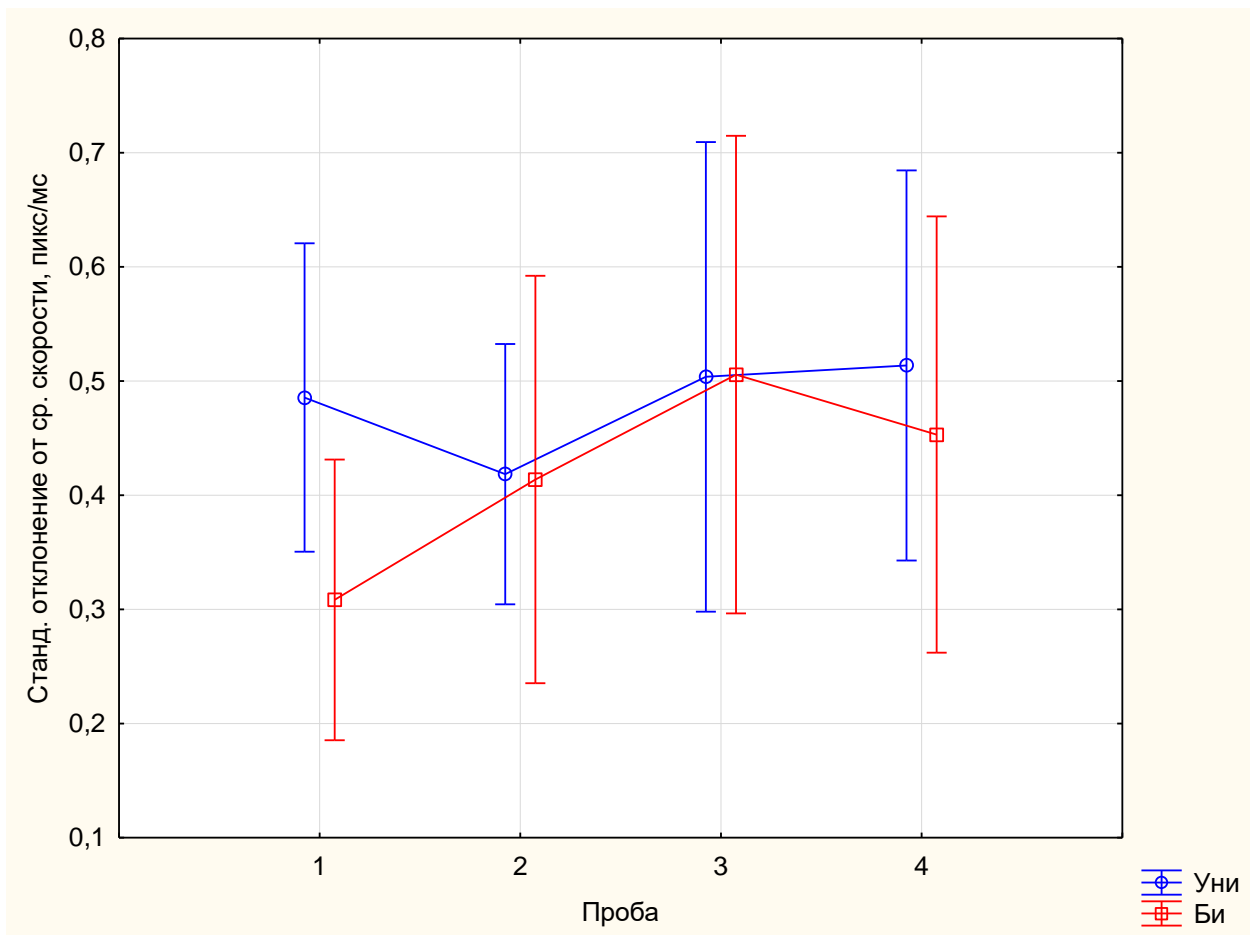


Рис. 5. Динамика стандартного отклонения от средней скорости по всем пробам при бимануальном и унимануальном условиях. Вертикальные столбики отмечают 95%-ный доверительный интервал.

Сходную картину мы наблюдаем и при анализе изменения значений стандартного отклонения от средней скорости (рис. 5). Для бимануального условия рисования левой рукой динамика изменения значений от пробы к пробе получилась значимой $F(3;57) = 3,745$; $p = 0,016$, а при унимануальном условии изменений в динамике не отмечено. Уже со второй пробы идет достаточно резкий подъем разброса средних значений скоростей, когда для унимануальных проб левой рукой по сравнению с бимануальными он уже «поднят» и разброс значений выражен менее ярко. Об этом же говорят и попарные сравнения: первая проба маргинально значимо отличается от второй ($p = 0,089$), и статистически значимо от третьей ($p = 0,007$) и четвертой ($p = 0,035$). Забавно, что значения второй и третьей пробы для разных условий здесь практически совпали, хотя видно, что в дальнейшем графики расходятся и в целом имеют разный «рисунок».

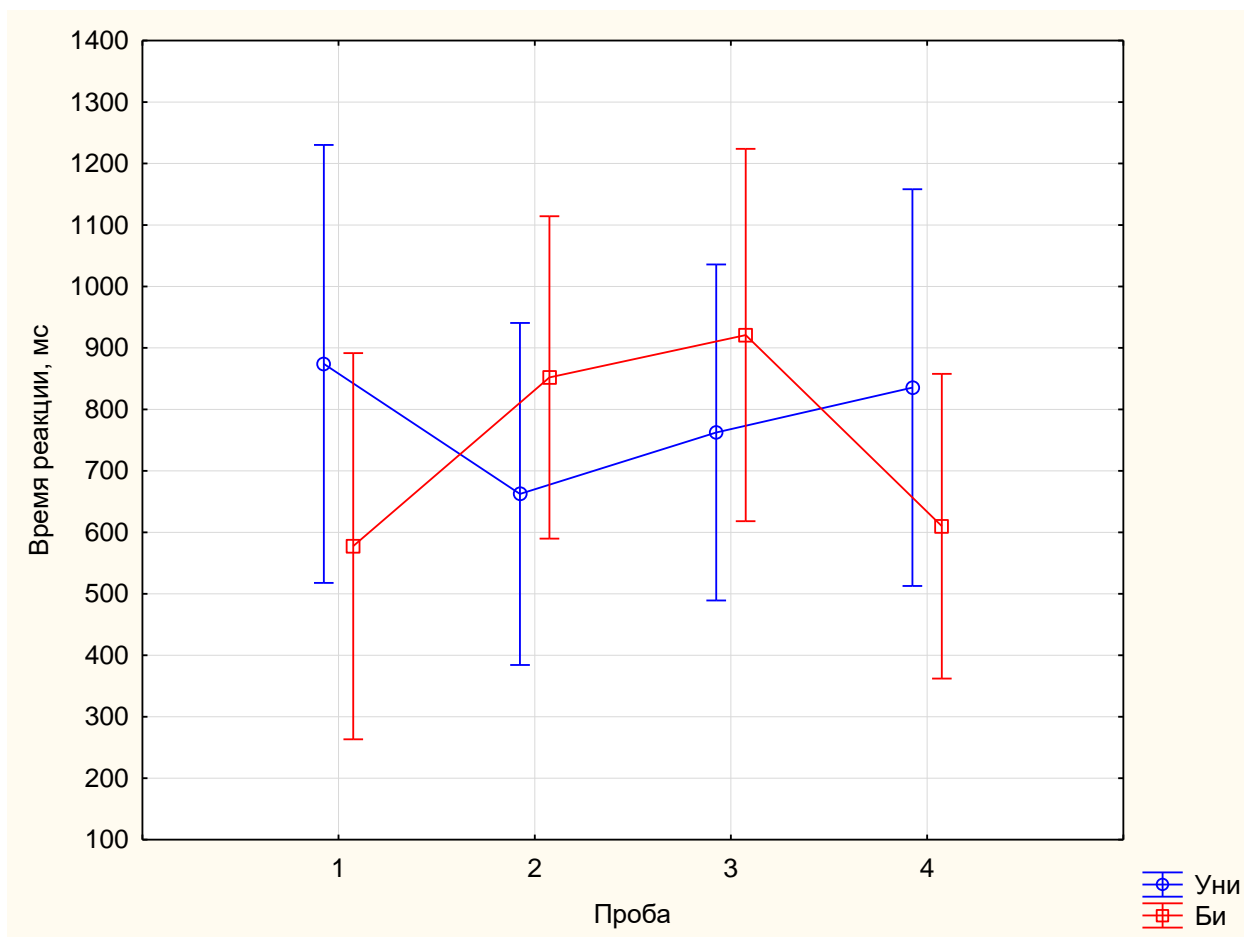


Рис. 6. Динамика времени реакции по всем пробам левой руки по всем пробам при бимануальном и унимануальном условиях. Вертикальные столбики отмечают 95%-ный доверительный интервал.

Переходим к анализу динамики временных показателей изобразительной активности левой руки (рис. 6). Для времени реакции ни для рисования левой рукой самостоятельно, ни в паре с правой рукой дисперсионный анализ не выявил значимых различий. Однако при анализе попарных сравнений все-таки были обнаружены некоторые отличия среди проб для бимануального условия. Четвертая проба значимо отличается от второй ($p = 0,037$) и маргинально значимо от третьей ($p = 0,069$). Для унимануального условия никаких попарных различий найдено не было. Пока что лишь можно констатировать, что динамика времени реакции для обоих условий имеет разную структуру, каждая идет своим ходом.

Анализ последней из групп показателей эффективности выполнения графомоторной задачи, характеризующей пространственные величины рисования, не показал разницы внутри этих условий. Анализ попарных сравнений размеров фигур и индекса их округлости также не выявил ни одного значимого различия для обоих условий. По этой причине мы не будем графич-

чески отображать динамику этих показателей от пробы к пробе. Пожалуй, все, что можно заключить из таблицы 2, уже известно: левая рука при унимануальном условии рисует фигуры существенно больше и несколько лучше, чем при бимануальном условии. По всей видимости, всего четырех проб недостаточно, чтобы такие наглядные выразительные параметры начали резко меняться с первых проб.

Закончим изложение данных описанием двухфакторного дисперсионного анализа двигательных характеристик левой руки при двух условиях, где одним фактором будет номер пробы (от 1 к 4), а вторым – условие двигательной задачи (унимануальное или бимануальное). В первую очередь нас будет интересовать вклад взаимодействия обоих факторов на координацию левой руки, однако вклад каждого фактора в отдельности также будет интересно посмотреть. Кратко результаты анализа приведены в таблице 3 (рисунки см. выше).

Таблица 3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями двигательной активности левой руки

Анализируемые показатели	Фактор	F	p	η^2
Средняя скорость (V_{cp} , пикс/мс)	условие	11,875	0,003**	0,385
	проба	2,816	0,047*	0,129
	условие*проба	0,541	0,656	0,028
Максимальная скорость (V_{max} , пикс/мс)	условие	1,923	0,182	0,092
	проба	1,114	0,351	0,055
	условие*проба	2,589	0,062 ^M	0,120
Стд. отклонение от средней скорости (σ_v , пикс/мс)	условие	2,452	0,134	0,114
	проба	2,267	0,090 ^M	0,107
	условие*проба	1,736	0,170	0,084
Время реакции (t_r , мс)	условие	0,163	0,691	0,009
	проба	0,456	0,714	0,023
	условие*проба	2,126	0,107	0,101
Площадь нарис. фигуры (S_p , пикс ²)	условие	12,222	0,002**	0,391
	проба	0,206	0,892	0,011
	условие*проба	0,249	0,862	0,013
Индекс округлости (I_c , %)	условие	6,236	0,022*	0,247
	проба	0,194	0,900	0,010
	условие*проба	0,511	0,677	0,026

*** - $p < 0,001$; ** - $p < 0,01$; * - $p < 0,05$; ^M – маргинальный уровень значимости ($0,05 < p < 0,1$)

Как мы видим, среди шести регистрируемых показателей только по одному – максимальной скорости – было обнаружена всего лишь тенденция влияния взаимодействия двух факторов ($F(3;57) = 2,589$; $p = 0,062$). Три показателя значимо отличаются по фактору «условие». Это средняя скорость ($F(1;19) = 11,875$; $p = 0,003$), площадь нарисованной фигуры ($F(1;19) = 12,222$; $p = 0,002$) и соответствие нарисованной фигуры эталону ($F(1;19) = 6,236$;
Психологические исследования 2020 Т 13 No. 73 <http://psystudy.ru/> 21

$p = 0,022$). По фактору «проба» значительно отличаются средняя скорость ($F(1;19) = 2,816$; $p = 0,047$) и на уровне тенденции – стандартное отклонение от средней скорости ($F(1;19) = 2,267$; $p = 0,09$). Мы не будем останавливаться на обсуждении этих результатов, поскольку они были описаны ранее. Однако если присмотреться к параметрическим графикам выше, то можно наблюдать то, что самыми заметными отличиями наблюдались между значениями первой и третьей пробы. При проведении двухфакторного анализа только по этим пробам влияние взаимодействия факторов «условие» и «проба» для максимальной скорости из маргинального становится статистически значимым ($F(1;19) = 7,432$; $p = 0,013$), а для стандартного отклонения уже приобретает характер тенденции ($F(1;19) = 4,217$; $p = 0,054$). В целом, двухфакторный анализ скорее подтверждает то, что мы уже обнаруживали выше, а именно: двигательное условие задачи – применение одной или обеих рук для выполнения однотипных движений – влияет на их (движений) кинематические и пространственные характеристики, на их координацию. Прослеживается тенденция взаимодействия влияния условия выполнения двигательной задачи (одноручного или двухручного) и динамики изменений моторных параметров.

Обсуждение

В исследовании мы поставили одну из промежуточных целей на пути к пониманию того, как формируется координация бимануальных движений, улучшаются ли параметры движения левой руки (на примере графомоторной деятельности)? Ответ неоднозначен – и да и нет.

Так, движения левой руки по окружности в случае бимануального управления в целом идут медленнее, мягче и плавнее, нежели когда она двигается по примерно той же траектории без участия правой руки. Еще раз обратим свое внимание на то, что картина изменений всех трех кинематических величин по всем пробам для бимануального рисования вырисовывается достаточно ясно и стройно: первая проба всегда имеет наименьшее значение, третья всегда – наивысшее. Как правило, значение первой пробы значительно или маргинально значительно отличается от остальных. Ничего подобного мы не наблюдаем, глядя на аналогичные графики для унимануальной изобразительной деятельности. Значения проб для этого условия значительно не отличаются друг от друга, характер их изменений от пробы к пробе различен и представляет собой набор «случайных» графиков.

Таким образом, складывается впечатление, будто в координацию левой руки при бимануальном условии что-то вмешивается и начинает ей указывать или подсказывать, как себя вести.

Причем это вторжение начинается практически сразу же, буквально после одного-двух движений. В целом, эта первая бимануальная проба своими скоростными характеристиками напоминает некую настройку, пристрелку, ориентировку не совсем привычных движений, отсюда и такие малые осторожные значения кинематических величин.

При этом разницы во времени реакции по выполнению графомоторной задачи обнаружено не было. Одним из объяснений полученной статистики можно назвать относительную легкость выполнения задания бимануального и унимануального рисования окружностей. Для обеих моторных задач требуется примерно одинаковое время на внешнюю ориентировку в них, отсюда практически одинаковое время реакции (на бимануальное решение задачи затрачивается в среднем на 50 мс меньше времени, чем на идентичное унимануальное). Примечательно, что время реакции правой руки при бимануальном условии в среднем отличается в большую сторону от времени реакции левой, идущей вместе с ней (разница в среднем составляет 71 мс)! По всей видимости, тезис о том, что ведущая рука в прямом смысле «ведет» за собой субдоминантную сомнителен (по крайней мере, он не является универсальными, применимым ко всем условиям. Ведущая рука не обязательно является той, что «идет первой»). Очевидно, что ее ведущая роль заключается в чем-то более существенном и менее поверхностном, чем в непосредственно наблюдаемом свойстве вести за собой в (био-)механическом смысле этого слова. Данная находка может быть полезной при составлении профилей латеральной асимметрии мозга и проверке моторных мануальных проб на соответствие их способности определять право- и леворукость, а следовательно, и эти самые профили.

При рисовании только левой рукой окружности у испытуемых получались, как правило, больше по размеру. Такое положение дел можно объяснить распределением внимания при одноручном и двуручном рисовании фигур. Ясно, что при рисовании фигуры одной рукой субъект будет сосредоточен на движениях именно этой руки, однако если дело заходит об одновременном рисовании одной и той же фигуры двумя руками, то здесь приходится распределять внимание между ними. Как отмечалось, изменение распределения внимания влияет на размер фигуры, но это не совсем отвечает на вопрос, почему площадь фигуры становится меньше, а не наоборот, больше, неважно какой руке при этом уделялось больше внимания. Данная зависимость еще требует более детального уяснения.

Отдельно отметим, что, невзирая на оба условия, подавляющее большинство рисунков было сплюснуто по оси Y. Возможно, это связано с анизотропной перцептивно-пространственной организацией рисования или с некоторыми внешними условиями (возможно, прямоугольная форма графических планшетов как бы подталкивает испытуемых к тому, чтобы вытягивать

округлую фигуру по оси X).

Унимануальные рисунки левой рукой больше соответствовали внутреннему образцу, представлению об округлости, чем аналогичные рисунки ведомой рукой бимануально. Казалось бы, такой результат ожидаем с точки зрения здравого смысла: одно и то же задание делать одной рукой легче, чем двумя. С другой стороны, обнаруженная значимая разница является небольшой: в целом геометрическая фигура при обоих условиях нарисована достаточно хорошо (84% vs 81%). Визуально разница в идеальности фигур едва ли заметна (едва ли угадаешь по рисунку, какая фигура была нарисована при унимануальном, а какая при бимануальном условии), притом, что приложенные выше рисунки округлостей соответствуют статистике в целом. Как уже было сказано, мы склонны полагать, что данная задача является недостаточно сложной для испытуемых (при любом условии, несмотря на субъективную оценку исполнителей), чем и объясняется такая маленькая разница в «индексах округлости». Впрочем, о какой-то явной «помощи» со стороны ведущей руки говорить пока тоже не приходится.

Тем примечательнее, что, несмотря на примерно схожую сложность выполнения задачи, ее кинематические величины существенно разнятся как в «статике», так и в «динамике». Мы склонны полагать, что это аргумент в пользу разных программ координации одних и тех же частей тела при условиях раздельного и совместного выполнения действий. Другими словами, координация некоторых бимануальных движений не равняется совокупности, сумме двух координаций унимануальных движений, а представляет собой качественно иную реализацию движения. Таким образом, уточняя свой изначальный вопрос «как лучше выполняется двигательная задача: бимануально или унимануально?», отвечаем, что не лучше, но иначе, по-другому, хотя примерно и с теми же внешними результатами.

Было бы полезно сравнить полученные нами результаты с данными других исследований бимануальной координации, но, к сожалению, этого сделать не получилось. Как мы уже говорили, в большинстве зарубежных работ по бимануальной координации акцент исследований ставится на сравнении двигательных характеристик правой руки с левой. Выясняется влияние ведущей руки на ведомую, границы устойчивости содружественных движений, в частности в зависимости от фазовых и траекторных соотношений движений обеих рук и факторов, влияющих на эту устойчивость. В своем же исследовании мы сфокусировались на сравнении движений субдоминантной руки при обоих способах координации, считая, что это может не в меньшей степени пролить свет на координацию содружественных движений. По данному вопросу мы не смогли в литературе найти релевантных данных.

Сравнение динамики кинематических и временных показателей от первой пробы к последней

дало веские основания полагать, что координация движений одной и двух рук осуществляется различным способом. При этом значимая динамика отмечена только для бимануальных движений. Можно заключить, что даже в таких коротких сериях начинает формироваться особый навык, т.е. единая двигательная программа бимануальной координации, несводимая к управлению одноручными движениями. Тогда почему же подобные результаты мы не получили на самом ярком наглядном примере – внешнем облике нарисованных окружностей? По всей видимости, всего четырех проб недостаточно, чтобы такие показательные выразительные параметры начали резко меняться с первых же проб. Процесс научения как одноручному, так и двуручному рисованию начинается с кинематических параметров (с изменения быстроты и плавности рисования), а пространственными (соответствия нарисованной фигуры эталону), по всей видимости, заканчивается. Можно предположить, что ожидаемый результат тренировки придет далеко не сразу, однако, что более важно (в случае рисования, по крайней мере), отсутствие видимого результата еще не говорит о том, что развитие двигательного навыка стоит на месте.

В связи с этим встает важный для дальнейших исследований вопрос: справедливо ли данное положение для всех движений и действий, имеющих в арсенале у человека? Так ли это, что одно и то же действие будет по-разному управляться в зависимости от того, исполняется ли оно одной парной частью тела или обеими одновременно? Здесь, нам кажется, уместно обратиться к теории уровневой организации построения движений Н.А. Бернштейна. Согласно данной теории каждому уровню построения движения присуща своя морфофизиологическая структура, ведущая афферентация, характерные особенности (устойчивость, переключаемость и прочее) и т.д. Несмотря на то, что Н.А. Бернштейн дал законченную теорию координации как преодоления избытка кинематических и динамических степеней свободы движущегося органа, представляется интересным рассмотреть бимануальную координацию через призму этой теории. Например, будут ли иметь место различия в организации унимануальных и бимануальных движений в отношении относительно простых фазных и антифазных регулярных движений, копирования и обведения фигур разной сложности, предметного рисования и деятельности письма.

Второй важный аспект в изучении бимануальной координации – это рассмотрение ее возрастного становления. Речь идет об исследованиях онтогенетического развития бимануальной координации, о картине развития бимануальных движений в возрастных срезах от младших дошкольников до старших подростков. Представляется важным проследить динамику от еще относительно простых и доступных детям движений до действительно сложных в исполнении и контроле действий.

Наконец, третий аспект, с которым непременно придется столкнуться при рассмотрении двигательных актов парных конечностей – это межполушарная функциональная организация и наличие (или отсутствие) ведущего исполнительного звена в этой паре. Необходимо проверить, распространяются ли выявленные закономерности на людей с левосторонним латеральным профилем (левшей), и тем самым получить сведения о вкладе каждого полушария мозга в те или иные аспекты бимануальной координации.

Выводы

Основное и главное, что можно вынести из нашего исследования, – это разный способ координации унимануальных и бимануальных движений (на примере рисования окружностей по представлению). Бимануальная координация не сводима к простой интеграции управления отдельными руками, а требует особой программы управления. На примере динамики простых кинематических характеристик можно отметить качественные изменения, что предполагает формирование и совершенствование особой программы бимануальной координации, в то время как управление унимануальными движениями остается относительно стабильным.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Р.В. Соколову за написание программы «Захват курсора» и А.И. Назарову за помощь в вычислении и интерпретации данных.

Литература

Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947.

Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.

Брагина Н.Н. Функциональные асимметрии человека / Н.Н. Брагина, Т.А. Доброхотова. М.: Медицина, 1988.

Гордеева Н.Д., Зинченко В.П. Функциональная структура действия. М.: Изд-во Московского университета, 1982.

Деглин В.Л. Лекции о функциональной асимметрии мозга человека. Амстердам; Киев, 1996.

Зинченко В.П. Образ и деятельность. М.: Институт практической психологии, 1997.

Вассерман Л.И. Методы нейропсихологической диагностики: практическое руководство / Л.И. Вассерман, С.А. Дорофеева, Я.А. Меерсон. СПб.: Стройлеспечать, 1997.

Хомская Е.Д. Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга // Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга / Под ред. Е.Д. Хомской. М.: Наука, 1986. 23-33.

Методы оценки межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия: учеб. пособие / Е.Д. Хомская, Н.Н. Привалова, Е.В. Ефимова и др. М.: МГУ, 1995.

Ухтомский А.А. Избранные труды. Л.: Наука, 1978.

Aglioti S. Hemispheric control of unilateral and bilateral responses to lateralized light stimuli after callosotomy and in callosal agenesis / S. Aglioti, G. Berlicchi, R. Pallini, G.F. Rossi, G. Tassarini // Exp. Brain Res. 1993. No 95, 151-165.

Amazeen E.L. The effects of attention and handedness on coordination dynamics in bimanual Fitts' law task / E.L. Amazeen, S.D. Ringenbach, P.G. Amazeen // Exp. Brain Res. 2005. 484-489.

Bingham G.P. The coordination patterns observed when two hands reach-to-grasp separate objects / G.P. Bingham K. Hughes, M. Mon-Williams // Exp. Brain Res. 2007. 283-293.

Bosga J. Stability of inter-joint coordination during circle drawing: Effects of shoulder-joint articular properties / J. Bosga, R.G.J. Meulenbroek, S.P. Swinnen // Human Movement Science. 2003. Vol. 22, 297-320.

Burgess J. Single limb performance following contralateral bimanual limb training / J.K. Burgess, R. Bareither, J.L. Patton // IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2007. Vol. 15, 347-355.

Fitts P.M. The information complexity of the human motor system in controlling the amplitude of movement / P.M. Fitts // Journal of Experimental Psychology. 1954. 381-391.

Franz E.A. Does Handedness Determine Which Hand Leads in a Bimanual Task? / E.A. Franz, A. Rowse, B. Ballantine // Journal of Motor Behavior. 2002. Vol. 34, No. 4, 402-412.

Garry M.L. Reaction time differences in spatially constrained bilateral and unilateral movements / M.L. Garry, I.M. Franks // Exp. Brain Res. 2000, 131, 236-243.

Gribova A.D. Bimanual coordination: electrophysiological and psychophysical study. 2001. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bimanual-coordination%3A-electrophysiological-and-Gribova/d0699eae802a5b1f3060db0a0d9c566fe9fe06c3>

Haken H. A theoretical model of phase transitions in human hand movements / H. Haken, J.A.S. Kelso, H. Bunz // *Biol. Cybern.* 1985, 51, 347-356.

Hiraga C.Y. Effects of attentional prioritisation on the temporal and spatial components of an inter-limb circle-drawing task / C.Y. Hiraga, J.J. Summers, J.J. Temprado // *Human Movement Science.* 2005. Vol. 24, 815-832.

Shea C.H. Bimanual Fitts tasks: Kelso, Southard, and Goodman 1979 revisited / C.H. Shea, J. Boyle, A.J. Kovacs // *Exp. Brain Res.* 2012, 216, 113-121.

Kelso J.A. On the coordination of two-handed movements / Kelso J.A., D.L. Southard, D. Goodman // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance.* 1979, 5(2), 229-238.

Kourtis D. Handedness consistency influences bimanual coordination: A behavioural and electrophysiological investigation / D. Kourtis, L. De Saedeleer, G. Vingerhoets // *Neuropsychologia*, 2014. 81-87.

Kunde W. Goal congruency in bimanual object manipulation / W. Kunde, M. Weigelt // *Journal of Experimental Psychology.* 2005. Vol. 31, No. 1, 145-156.

Marteniuk R.G. Bimanual movement control: information processing and interaction effects / R.G. Marteniuk, C.L. MacKenzie, D.M. Baba // *Journal of Experimental Psychology.* 1984. Vol. 36, 335-365.

Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory / R.C. Oldfield // *Neuropsychologia.* 1971. Vol. 9, 97-113.

Nozaki D. Limited transfer of learning between unimanual and bimanual skills within the same limb // D. Nozaki, I. Kurtzer, S.H. Scott // *Nature Neurosci. Brief Commun.* 2006. Vol. 9, 1364-1366.

Pan Z. Characteristics of bi-directional unimanual and bimanual drawing movements: The application of the Delta-Lognormal models and Sigma-Lognormal model / Z. Pan, S. Talwar, R. Plamondon, A.W.A. Van Gemmert // *Pattern Recognition Letters.* 2019. Vol. 121, 97-103.

Riek S. Bimanual aiming and overt attention: one law for two hands / S. Riek, J.R. Tresilian, M. Mon-Williams and others // *Exp. Brain Res.* 2003, 153, 59-75.

Semjen A. Hand Coordination in Bimanual Circle Drawing / A. Semjen, J.J. Summers, D. Cattaert // *Journal of Experimental Psychology.* 1995. Vol. 21, No. 5, 1139-1157.

Summers J.J. Coordination dynamics and attentional costs of continuous and discontinuous bimanual circle drawing movements / J.J. Summers, S. Maeder, C.Y. Hiraga, J.R.M. Alexander // Human Movement Science. 2008. Vol. 27, 823-837.

Tseng Y.-W. Unilateral vs. Bilateral coordination of circle-drawing tasks / Y.-W. Tseng, J.P. Scholz // Acta Psychologica. 2005. 172-198.

Wang J. Generalization of visuomotor learning between bilateral and unilateral conditions / J. Wang, R.L. Sainburg // Neurophysiolia. 2009. Vol. 102, 2790-2799.

Wang J. Substantial generalization of sensorimotor learning from bilateral to unilateral movement conditions / J. Wang, J.T. Mordkoff, R.L. Sainburg // Neurophysiol. 2010. Vol. 104, 2913-2921.

Wang J. Substantial learning generalizes between bilateral and unilateral conditions despite varying degrees of bilateral interference / J. Wang, Y. Lei, K. Xiong, K. Marek // Plos One Vol. 2013, 8(3).

Wuys I.J Attention as a mediating variable in the dynamics of bimanual coordination / I.J. Wuys, J.J. Summers, R.G. Carson, W.D. Byblow, A. Semjen // Human Movement Science. 1996. Vol. 15, 877-897.

Zelaznik H.N. The role of vision in repetitive circle drawing / H.N. Zelaznik, D. Lantero // Acta Psychologica. 1996. 105-118.

Поступила в редакцию 31 мая 2020 г. Дата публикации: 04 ноября 2020 г.

Сведения об авторах

Кришталь Валерий Николаевич. Аспирант кафедры психологии, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Университет «Дубна» (государственный университет «Дубна»), ул. Университетская д. 19, 141982 Дубна, Московская область, Россия.

E-mail: syddielion@gmail.com

Гончаров Олег Анатольевич. Доктор психологических наук, профессор кафедры общей психологии института общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, д. 82, стр. 1, 119571 Москва, Россия.

E-mail: gonchar1000@gmail.com

Ссылка для цитирования

Кришталь В.Н., Гончаров О.А. Анализ графомоторной активности субдоминантной руки при унимануальном и бимануальном условиях// Психологические исследования. 2020. Т. 13, No 73. С. 4. URL: <http://psystudy.ru>

Адрес статьи

<http://psystudy.ru/index.php/num/2020v13n73/1798-krishtal73.html>