

УДК 159.9

Т. В. Терещенко, О. А. Гончаров, Р. В. Соколов

Перцептивно-моторная адаптация к компьютерным искажениям зрительной обратной связи в графомоторных задачах

Аннотация:

Исследование посвящено изучению перцептивно-моторной координации на примере графомоторных движений и их адаптации к измененным условиям функционирования. В эксперименте искажалось привычное для участников соотношение координат зрительного и моторного полей. Достигалось указанное искажение на счет изменения углового соотношения направлений движения компьютерной мыши по столу и ее курсора на экране монитора. Экспериментально изучены изменение скорости и точности выполнения графомоторной задачи при разных углах смещения, моторная адаптация к измененным условиям восприятия траектории движения руки, гендерные различия в скорости и качестве выполнения графомоторной задачи и адаптации при разных угловых искажениях. Эксперимент осуществлялся на компьютере, визуальные искажения затрагивали только отображающуюся на экране траекторию движения руки (курсор компьютерной мыши).

Результаты эксперимента показали, что с увеличением углового смещения плавно снижается скорость и точность выполнения графомоторной задачи. Адаптация по точности наблюдается только в 4-х условиях эксперимента, а по времени – во всех 9-ти. Гендерные различия обнаружены лишь на уровне статистической тенденции – юноши выполняют задачу несколько быстрее и точнее, чем девушки. Особенно интересным оказалось угловое смещение на 135°, при котором наблюдался самый большой разброс значений и максимальное число ошибок у участников эксперимента.

Ключевые слова: перцептивно-моторная координация и адаптация, графомоторный навык, адаптация к искажениям обратной связи, половые различия в двигательно-пространственных способностях.

Об авторах: Терещенко Т.В. – аспирант кафедры психологии государственного университета «Дубна», эл. адрес: tereschenkotv@gmail.com;

Гончаров О.А. – доктор психологических наук, профессор кафедры общей психологии института общественных наук РАНХиГС при Президенте РФ, эл. почта: oleggoncharov@inbox.ru;

Соколов Р.В. – старший преподаватель кафедры психологии государственного университета «Дубна», эл. почта: sokolov-r@yandex.ru.

Исследование посвящено перцептивно-моторной координации графических движений и адаптации к условиям компьютерного искажения соотношения координат

моторного и зрительного полей¹. Зрительно-моторная координация занимает важное место в повседневной и профессиональной жизни человека. Особое внимание ей должно уделяться в отраслях, связанных с операторской деятельностью, управлением движущимися объектами, отсутствием постоянства условий выполнения перцептивно-моторных действий [4]. Оно непосредственно связано с вопросами о *механизмах координации двух модальностей*, ответы на которые способны пролить свет на фундаментальную проблему в психологии – отношения восприятия и действия. Исследования механизмов интермодальной координации включают в себя, помимо прочего, изучение ситуаций конфликта между модальностями. На данный момент существует три основные теории, касающиеся процесса адаптации к конфликту зрительной и тактильно-проприоцептивной модальностей: доминирование зрения над движением, доминирование движения над зрением и равнозначный вклад обеих модальностей [2; 8]. Каждая из теорий имеет факты, как подтверждающие, так и опровергающие ее, что делает данную тематику актуальной для исследования и по сей день. Кроме того, недостаточно изученными остаются вопросы о механизмах, динамике, пространственно-временных характеристиках процесса адаптации [6]. Исследование вопросов, связанных с моторной адаптацией к искажениям обратной зрительной связи, может способствовать раскрытию факторов, влияющих на нормальное функционирование перцептивно-моторной системы и механизмов, свойственных другим адаптивным процессам зрительной системы [10].

Наиболее популярным среди ученых-экспериментаторов способом исследования интермодального конфликта зрения и моторики является *изучение перцептивно-моторной адаптации к зрительным искажениям видимого мира*. Как правило, это предполагает ношение испытуемыми оптических приспособлений, вызывающих контролируемые системные изменения или реструктурирование оптической стимуляции. По истечении определенного периода ношения этих приспособлений оценивается их влияние на выполнение испытуемым определенных перцептивно-моторных действий [10]. Первые и ставшие классическими эксперименты такого типа принадлежат Дж. Стреттону и И. Кёлеру. К сожалению, исходя из результатов их экспериментальных работ, невозможно однозначно сказать о том, за счет какой модальности происходит перцептивно-моторная адаптация к оптическим искажениям [10]. Более того, некоторые авторы считают [9], что в экспериментальных записях Дж. Стреттона и И. Кёлера нет четкой демонстрации того, что адаптация полностью произошла. Последующие попытки более тщательно изучить этот момент не внесли желаемой ясности [7]. Таким образом, исследования интермодального конфликта продолжаются, появляются новые экспериментальные процедуры и новые гипотезы относительно роли перцепции и моторики в общей адаптации к искаженным условиям восприятия.

В большинстве экспериментов, посвященных изучению адаптации к искажениям зрительной обратной связи, она происходила благодаря способности активно взаимодействовать с объектами, находящимися в искаженном видимом пространстве. Важность активного движения для формирования перцептивно-моторной координации в онтогенезе ярко демонстрируется в карусельных экспериментах Р. Хельда и его коллег [11]. В роли испытуемых выступали новорожденные котятки, которые еще не начали активно двигаться (8-12-недельного возраста). Их держали в темноте, чтобы они не получали зрительную стимуляцию. Экспериментальная комната представляла собой хорошо освещенное помещение цилиндрической формы с полосатыми стенами и

¹ Далее для краткости мы будем условно называть их искажениями обратной связи, понимая, что на самом деле имело место расхождение зрительных и моторных координат на экране компьютера.

расположенной посередине каруселью. Котят делили на пары и ежедневно помещали в экспериментальную установку на три часа (рис.1).

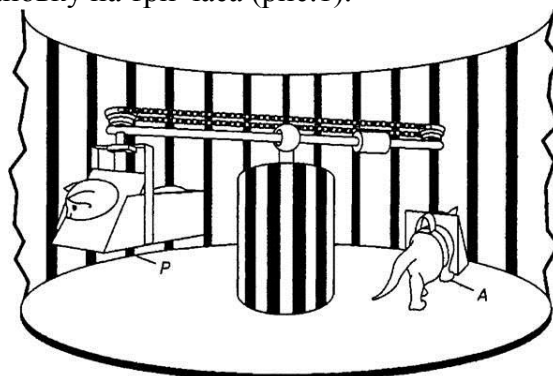


Рис. 1. Экспериментальная установка «Карусель»

Эксперимент был построен так, чтобы оба котенка из каждой пары получали одинаковые зрительные впечатления, но у одного из них они были связаны с собственными активными действиями, а у второго были неконтролируемыми, пассивно воспринимаемыми. На одного из котят, который должен был совершать активные действия (котенок А) надевалась упряжь. Двигаясь, он приводил в движение всю карусель. Второй котенок (Р) помещался в корзину на другой стороне карусели, и его перемещения внутри комнаты осуществлялись за счет движений активного котенка (рис.1). Пассивный котенок Р. не был полностью обездвижен. – он мог двигать лапами и поворачивать голову. Основная разница между котятками в паре заключалась в том, что активный котенок мог контролировать поступающую ему зрительную информацию за счет своих собственных движений, а котенок Р. не мог, так как его впечатления создавались и контролировались за счет активности А., собственные движения Р. не были связаны с изменениями зрительной стимуляции.

По завершении эксперимента, активных и пассивных котят сравнивали по разным параметрам сформированности перцептивно-моторной координации: 1) изменение положения тела в ответ на зрительный стимул (автоматическое вытягивание лапы вперед для предотвращения столкновения), 2) моргание как защитная реакция на приближающийся объект, 3) восприятие глубины на зрительном обрыве. По всем трем параметрам результаты пассивных котят были хуже, чем активных, показатели которых не отличались от реакций котят, выросших в обычных условиях. Авторы провели дополнительный эксперимент, после тестирования поместив пассивных котят на 48 часов в освещенное помещение, где они могли свободно передвигаться. Это сравняло их результаты с результатами активных котят.

Вероятно, активные движения, совершаемые испытуемыми в условиях искаженного восприятия, играют схожую роль, что и в процессе формирования перцептивно-моторной координации в онтогенезе.

Помимо вопросов интермодального конфликта, описываемое исследование может пролить свет на некоторые особенности формирования навыков. В нашем эксперименте совершение действий курсором на экране с помощью движений компьютерной мыши можно считать своего рода двигательным навыком. А сам процесс адаптации, изучаемый в эксперименте, по сути является перестройкой сформированного двигательного (точнее говоря, сенсомоторного) навыка (управление компьютерной мышью) в новых условиях соотношения координат моторного и зрительного полей. Кардинально новые условия могут потребовать настолько существенных перестроек внутри навыка, что

первоначально он частично или полностью разрушается, чтобы «собраться» заново [5]. В эксперименте степень (успешность) адаптации оценивается именно по тому, насколько сильно навык нарушился и как быстро начал правильно функционировать в новых условиях.

Что касается *половых различий в перцептивно-моторной координации*, то исходя из имеющихся данных, сложно однозначно предсказать, будет наблюдаться преимущество мужчин или женщин в решении компьютерной графомоторной задачи в искаженных условиях. Тем не менее, мы предполагаем, что будет наблюдаться преимущество мужчин, поскольку в большинстве исследований наблюдается более успешное решение пространственных задач мужчинами [1]. Так, согласно литературным данным, мужчины имеют преимущество в решении ряда пространственных задач, в том числе в условиях визуально искаженного восприятия [1; 3]. Но в плане перцептивно-моторной координации, превосходство мужчин касается в большинстве случаев крупной моторики и общего положения тела в пространстве. В свою очередь, женщины обладают лучше развитой мелкой моторикой [1]. Но, мы предполагаем, что это преимущество не оказывает существенного влияния на скорость и качество выполнения графомоторной задачи в нашем эксперименте, так как в современном обществе, тем более среди студентов, управление компьютерной мышью является одинаково привычным как для женщин, так и для мужчин (возможно даже, что для мужчин более привычно, если предполагать, что они чаще женщин играют в компьютерные игры, связанные с быстрой перцептивно-моторной координацией и управлением мышью).

Эмпирическая часть. В соответствии с изученными литературными источниками, мы выдвинули следующие гипотезы:

1. Степень расстройств параметров графомоторной деятельности (разрушение навыка) будет возрастать с увеличением угла искажения соотношения между координатами зрительного и моторного полей.

2. Процесс адаптации к компьютерным искажениям соотношения между координатами зрительного и моторного полей будет зависеть от величины угла искажения.

3. У мужчин по сравнению с женщинами будут выше скорость и качество выполнения графомоторной задачи и степень адаптации в целом.

Участниками эксперимента были 25 студентов университета «Дубна», учащихся на разных кафедрах и направлениях в возрасте от 17 до 25 лет (средний возраст – 19,64). Среди них 12 девушек и 13 юношей.

Процедура. Участникам эксперимента на экране компьютера предъявлялось кольцо, открытое в графическом редакторе «Paint» (рис. 2). Задача участников – провести с помощью мыши линию внутри этого кольца, по возможности не выходя за его границы. Экспериментатор перед каждой пробой ставил курсор мыши в верхнюю точку кольца (рис.2).

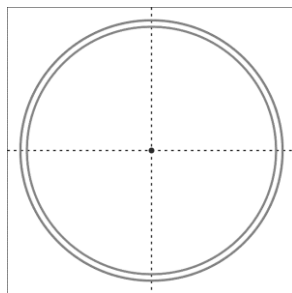


Рис. 2. Предъявляемый стимульный материал

Искажение соотношения координат зрительного и моторного полей осуществлялось с помощью специальной компьютерной программы, позволяющей повернуть движение курсора на любой градус по осям X и Y. В эксперименте углы искажения варьировались от 0° до 180° (всего восемь вариантов искажений и одно контрольное условие).

Параллельно с выполнением задания испытуемым происходила регистрация параметров движения мыши и затраченного времени в программе “Power Graph”. По этим данным мы имели возможность проследить, как разворачивается во времени процесс рисования. Если в «Paint» виден только конечный результат, то в “Power Graph” можно проанализировать, как происходило движение, где были временные задержки, резкие движения и т.д. Кроме того, с помощью “Power Graph” «засекалось» время выполнения каждой пробы.

Для анализа точности выполнения графомоторных действий Р.В. Соколовым была разработана компьютерная программа, анализирующая отклонение линии, проведенной участником эксперимента, от «идеальной» траектории, находящейся ровно посередине кольца. Оценка точности производилась на основании полученных в ходе эксперимента paint-изображений. В качестве «идеальной» окружности рассматривалась окружность, имеющая радиус, представленный как средняя величина радиусов двух видимых окружностей, на которые ориентировался испытуемый. Алгоритм программы начинал поиск с левого верхнего угла, перебирая все точки (пиксели) на изображении. Как только находилась черная точка, то до нее по теореме Пифагора рассчитывалось расстояние от центра окружности, и вычислялась абсолютная величина разницы с радиусом идеальной окружности. Далее эти абсолютные величины разниц суммировались для каждого сектора. Также рассчитывалась усредненная величина отклонения для идеальной окружности.

Для анализа результатов испытуемых были выбраны два основных параметра: время и точность выполнения задачи. Как было сказано выше, время регистрировалось в “Power Graph”, точность – в программе Р.В. Соколова. Для исследования *адаптации* к искажениям на каждое условие эксперимента приходилось три пробы (всего 27 проб эксперимента для каждого испытуемого, 675 проб для всех участвовавших в эксперименте двадцати пяти человек). Степень адаптации анализировалась по различиям параметров (время и точность) первой и третьей проб.

Статистический анализ полученных результатов проводился в специализированной программе анализа данных «Statistica 8» методом многофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями.

Основные результаты эксперимента. Статистический анализ показал, что с увеличением угла смещения между координатами зрительного и моторного полей плавно возрастает *время*, затрачиваемое испытуемым на выполнение графомоторной задачи ($F(8, 192)=11,841, p<0,001$). Больше всего времени на решение требуют задачи с искажением в 135° и 180° (рис.3).

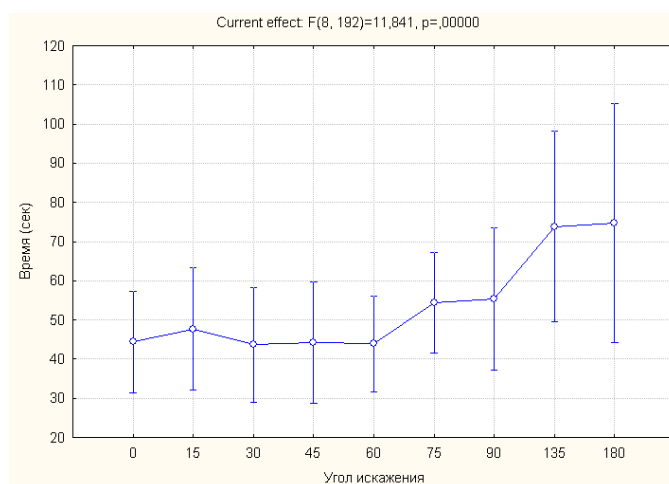


Рис. 3. График зависимости скорости выполнения графомоторной задачи от величины угла искажения

Точность выполнения задания изменяется примерно так же, как и время ($F(8,192)=8,884, p < 0,001$). Но здесь наибольшие трудности у испытуемых вызывает искажение в 135° (рис.4). К тому же при этом угловом смещении наблюдается наибольший разброс значений. Вероятно, именно это сказывается на статистической значимости – на фоне условия с искажением в 135° не видна разница между остальными условиями. Если исключить условие 135° из обработки, появляются статистически значимые различия при других условиях. На основании проведенного анализа, можно разделить все условия на несколько групп: 0° - 60° (включительно); 75° , 90° и 180° ; 135° . В первой группе точность выполнения графомоторной задачи уменьшается незначительно (по сравнению с контрольным условием). Во второй и третьей группах точность заметно ухудшается. Интересно, что искажения в 90° и 180° вызывают меньше затруднений, чем искажение 135° .

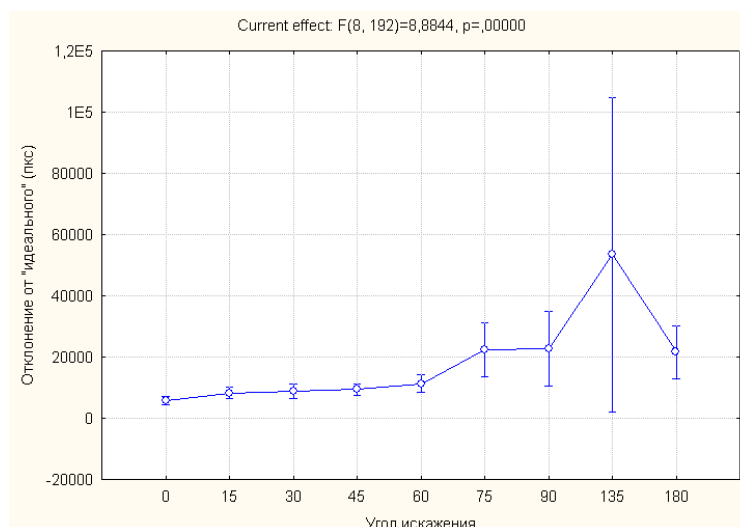


Рис. 4. График зависимости точности выполнения графомоторной задачи от величины угла искажения

Перцептивно-моторная адаптация по времени выполнения задачи наблюдается при всех экспериментальных условиях. В целом, на каждую следующую попытку испытуемые тратят меньше времени, чем на предыдущую ($F(2, 48)=45,785, p < 0,001$). Уменьшение

времени, затрачиваемого на каждую последующую попытку значимо для всех условий эксперимента в отдельности. Цельная картина динамики скорости выполнения задания от первой пробы к третьей в каждом из условий эксперимента отражена на графике двухфакторного взаимодействия (рис.5).

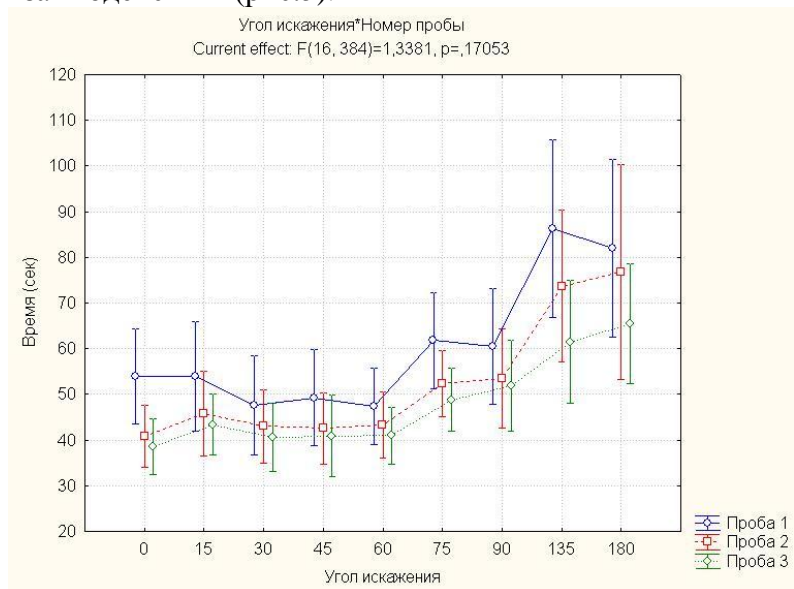


Рис. 5. График двухфакторного взаимодействия угла искажения и номера пробы по времени выполнения задачи

Точность выполнения графомоторной задачи статистически значимо ($F(2, 48)=7,202$, $p = 0,002$) возрастает от первой попытки к третьей. Если посмотреть график двухфакторного взаимодействия (рис.6), становится понятно, что значимость снова достигается за счет большого разброса значений на 135° . К тому же на данном рисунке невозможно рассмотреть различия на углах от 0° до 75° .

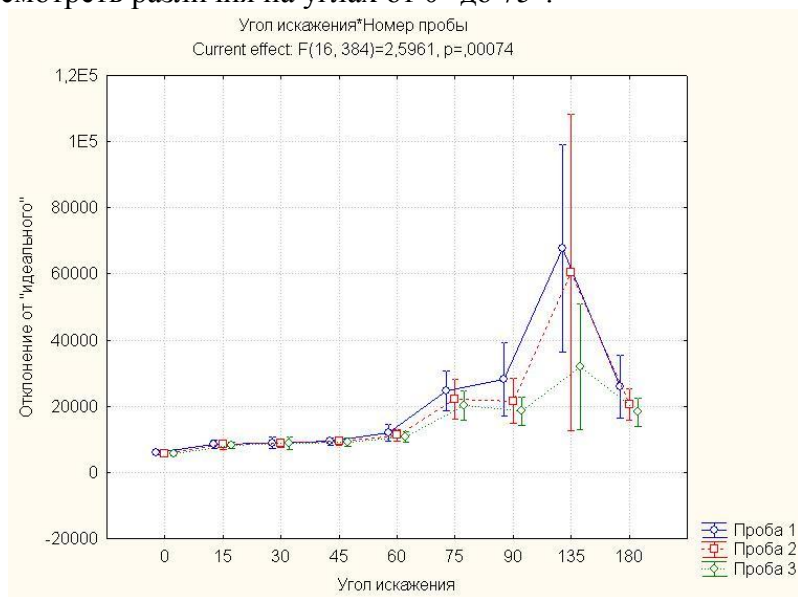


Рис. 6. График двухфакторного взаимодействия угла искажения и номера пробы по точности выполнения задачи

Чтобы получить более точные статистические данные, был проведен анализ отдельно по каждому углу искажения. Были получены следующие данные: на углах искажения от 0° до 60° включительно не обнаружено статистически значимых различий между точностью выполнения первой, второй и третьей проб. Для искажений в 75° и 90° были обнаружены статистически значимые различия – точность плавно возрастает от первой пробы к третьей ($p = 0,044$ и $p = 0,008$ соответственно). Для искажений в 135° и 180° не было обнаружено статистически значимых различий, но видна та же тенденция ($p = 0,056$ и $p = 0,099$) улучшения качества выполнения задачи от первой пробы к третьей. Таким образом, мы снова наблюдаем три условные группы: 0°-60° (включительно); 75° и 90°, 135° и 180°.

Статистически значимых различий между результатами *испытываемых разного пола* обнаружено не было. Возможно, в том числе за счет небольшого количества испытуемых в каждой из групп (12 девушек, 13 юношей). На уровне статистической тенденции ($F(1, 23) = 3,2$, $p = 0,087$) девушки тратили в целом несколько больше времени на решение задачи. Особенно трудной для них оказалась графомоторная задача при искажении в 135°, что менее выражено у испытуемых мужского пола (рис.7). Что касается различий в качестве выполнения задачи, взаимодействие пола испытуемого и угла искажения оказалось статистически значимым ($F(8, 184) = 3,342$, $p = 0,001$), но, как видно по графику, это достигается за счет различий в точности при искажении в 135° (рис.7). Именно эта задача вызывает сильные трудности у испытуемых женского пола (рис.3), что может быть связано с гендерными различиями в пространственном мышлении и перцептивно-моторной координации.

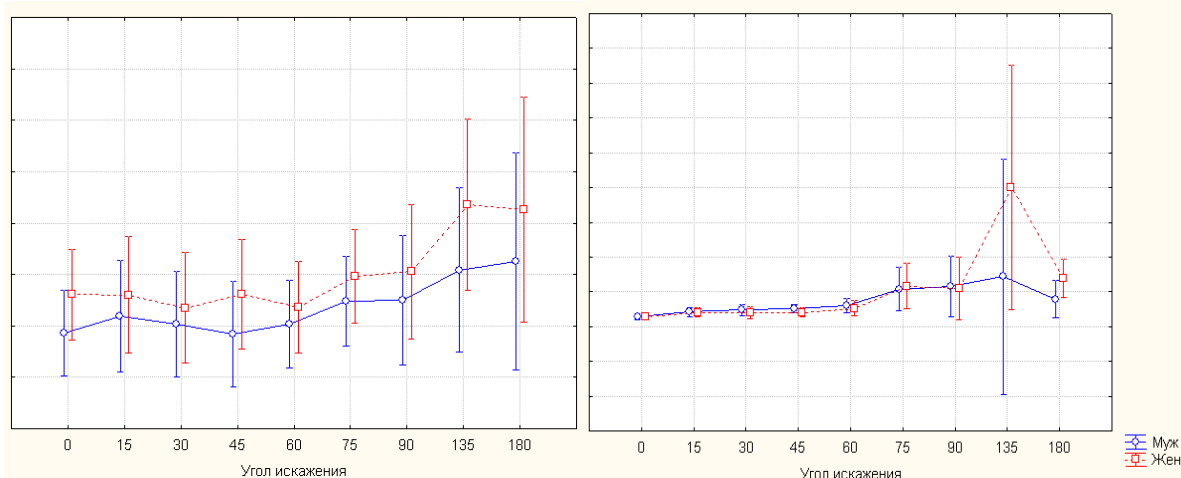
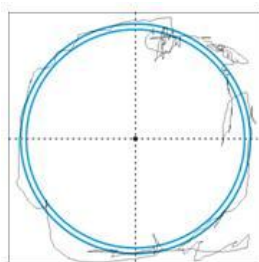
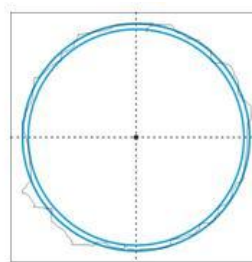


Рис.7. Различия в скорости (слева) и точности (справа) выполнения задачи испытуемыми разного пола

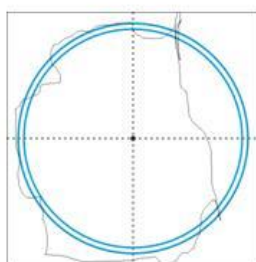
Сравнительные примеры качества выполнения первой пробы условия 135° участниками женского (испытуемые №1, №4) и мужского (испытуемые №20, № 23) пола можно видеть на рис.8.



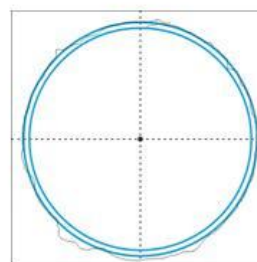
*Результат первой пробы искажения 135°
(испытуемый 1 – жен. пол)*



*Результат первой пробы искажения 135°
(испытуемый 20 – муж. пол)*



*Результат первой пробы искажения 135°
(испытуемый 4 – жен. пол)*



*Результат первой пробы искажения 135°
(испытуемый 23 – муж. пол)*

Рис. 8. Paint-изображения первой пробы условия 135° испытуемых разного пола

В целом, выявилась тенденция ($F(1, 23) = 3,177, p = 0,088$), показывающая, что юноши выполняют задание точнее девушек.

Статистически значимого влияния половых различий испытуемых на адаптацию по времени и точности от первой попытки к третьей не обнаружено: и у мужчин, и у женщин наблюдается одинаковая динамика. По времени – возрастание скорости выполнения задачи от первой попытки к третьей, по точности – улучшение качества выполнения задачи от первой попытки к третьей.

Обсуждение результатов. Статистическая обработка первичных данных позволяет выделить три группы углов искажения по степени влияния на расстройство графомоторных навыков. При углах искажения от 0 до 60° нарушения скорости и точности выполнения заданий выражены незначительно и легко корректируются. Заметно большие трудности вызывают искажения 75, 90 и 180°. Самые выраженные расстройства проявились при угле искажения 135°. Мы предполагаем, что поправки, которые необходимо внести в движение руки при искажениях 90° и 180°, можно логически рассчитать (например, при 180° испытуемый понимает, что нужно вести мышку вправо, чтобы получить движение курсора влево). Это гораздо труднее сделать при искажении в 135°, и приходится полагаться в большей степени на перцептивные коррекции, пробы и ошибки.

Похожее разделение на группы имеет место и в показателях адаптации испытуемых. При небольших углах (0°–60°) от первой к третьей пробе они не стремятся к улучшению результатов, возможно, в связи с незначительными нарушениями. Наиболее выражена динамика адаптации при углах искажения 75° и 90° – результаты третьих проб значимо лучше первых. При углах искажения более 90° (135° и 180°) отмечается тенденция к улучшению результатов, но трех попыток явно недостаточно для значительных изменений. Вероятно, при относительно небольших углах искажения графомоторика нарушается незначительно, поэтому, либо испытуемые не стремятся улучшить ее, либо, даже если и происходит увеличение точности от первой пробы к

третьей, оно незначительно по своим абсолютным значениям. Более значимые искажения (75° и 90°) приводят к достаточно существенным нарушениям графомоторики, испытуемые закономерно стараются улучшить свои результаты, и это у них хорошо получается, в отличие от таких же попыток в условиях искажения на 135° и 180°. Мы предполагаем, что нарушения при таких значительных искажениях настолько существенны, что не всегда могут быть скорректированы за три (дающиеся в эксперименте) попытки. Большинству испытуемых требуется большее число проб для значимого улучшения своих результатов. В дальнейшем возможна проверка этой гипотезы путем введения дополнительных проб для искажений больше 90°.

Обнаруженная тенденция к более быстрому и точному выполнению заданий испытуемыми мужского пола, особенно при больших углах искажения и трудности, возникающие у испытуемых женского пола при решении графомоторной задачи с искажением в 135°, могут говорить о наличии гендерных различий в перцептивно-моторной координации и адаптации к искаженным условиям выполнения перцептивно-моторной задачи.

Библиографический список:

1. Анастаси А. Дифференциальная психология. Индивидуальные и групповые различия в поведении: учеб. пособие. М.: Апрель Пресс, ЭКСМО-Пресс, 2001. 752 с.
2. Бавро Н.И. Интермодальная координация зрительных и проприоцептивных пространственных образов (новые феномены и их механизмы): автореф дисс. на соиск. уч. степ. канд. психол. наук. М., 1993. 24 с.
3. Бендас Т. В. Гендерная психология: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2006. 431 с.
4. Запорожец А.В. Восприятие, движение, действие // Избранные психологические труды. В 2 т. Т. 1. Психическое развитие ребенка / под ред. В.В. Давыдова, В.П. Зинченко. М.: Педагогика, 1986. С. 119-153.
5. Ильин Е.П. Психомоторная организация человека: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2003. 382 с.
6. Логвиненко А.Д., Жедунова Л.Г. Адаптация к инверсии сетчаточных изображений: непрерывное ношение инвертоскопа не является необходимым // Вопросы психологии. 1981. № 6. С.83-92.
7. Логвиненко А.Д., Жедунова Л.Г. Адаптация к инвертированному зрению // Вопросы психологии. 1980. № 6. С. 97-108.
8. Общая психология: в 7 т.: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. Б.С. Братуся. Т.2. Ощущение и восприятие. М.: Академия, 2007. 416 с.
9. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина // Человеческий фактор. В 6 т. / Под ред. Г. Салвенди. М.: Мир, 1991. Т. 1. 599 с.
10. Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие. 5-е изд. СПб.: Питер, 2003. 928 с.
11. Held R., Hein A. Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior // Journal of Comparative and Physiological Psychology. 1963. Vol. 56. P. 872- 876.

*Tereshchenko T. V., Sokolov R. V., Goncharov O. A. **Graphic-motor adaptation to computer distortions of the visual feedback in graphic-motor tasks***

Research is devoted to sensory-motor coordination on the example of graphic-motor movements and there adaptation to the changed conditions of operation. Usual relations between

coordinates of the visual and motor fields were changed in experiment. These distortions were created by changing angle relations between computer mouse's movement on the table and it's cursor on the computer screen. Experimentally studied: changing of speed and accuracy of graphic work at different angular shifts, motor adaptation to the changed perception of hand's trajectory, gender distinctions in the speed and accuracy of graphic work and adaptation at different angular shifts. Experiment is completely carried out on the computer; visually distorted only the hand's trajectory (the cursor of a computer mouse) which is displayed on the screen.

Results of experiment have shown that the speed and accuracy of graphic work decreases with increasing of angular shift. Adaptation on accuracy is observed only in 4 experimental conditions, and on time – in all 9. Gender distinctions are found only at the level of a statistical tendency – boys are quicker and more accurate than girls are. Very interesting is angular shift on 135° at which very wide spacing of values and the maximum number of mistakes is observed.

Keywords: perceptual-motor coordination and adaptation, graphic-motor skill, adaptation to visual feedback distortion, gender differences in motor-spatial abilities.