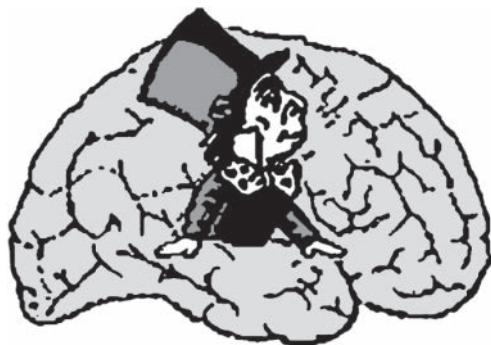


КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ
НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2017**

ПОД РЕД. Е.В. ПЕЧЕНКОВОЙ, М.В. ФАЛИКМАН

УДК 159.9

ББК 81.002

К57

К57 Коллективный

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 15 июня 2017 г.

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППИП. 2017 г. – 596 стр.

Электронная версия

ISBN 978-5-4465-1509-7

УДК 159.9

ББК 81.002

ISBN 978-5-4465-1509-7

© Авторы статей, 2017

МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ОТВЕТОВ ИСПЫТУЕМЫХ ПО ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МЫШИ: МОЖНО ЛИ СШИТЬ СЕМЬ ШАПОК ИЗ ОДНОЙ ШКУРЫ?

В. А. Медведев (1), А. М. Разоренова* (1, 2), Н. Б. Тюленев (1, 2),
Р. С. Халмуратов (1), Б. В. Чернышев (1, 3)

razoral@ya.ru

1 – НИУ ВШЭ, Москва; 2 – МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва;
3 – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. Широко распространены эксперименты, в которых испытуемые выполняют ответы нажатием на кнопки – это позволяет оценить время ответа и его правильность. Однако в ряде случаев требуется более детальный анализ параметров поведенческого ответа испытуемого. В парадигме когнитивного контроля большое значение придается конфликту, предшествующему выбору реакции, детекции ошибки, следующей сразу за моментом совершения реакции, а также оценке внутренней определенности в момент совершения ответа. Цель настоящей работы состояла в том, чтобы исследовать валидность и информативность регистрации траектории движения компьютерной мыши для анализа ответов испытуемых. Производили анализ параметров траектории мыши при выборе правильного и ошибочного ответов в процессе решения слуховой конденсационной задачи. Полученные результаты сопоставляли с результатами сходного эксперимента, в котором применялась более традиционная методика – регистрация ответов испытуемых по факту нажатия на кнопку. Показано, что момент времени начала смещения мыши сопоставим со временем реакции в традиционном понимании. Также были исследованы параметры, которые могут характеризовать внутреннюю определенность испытуемого и его детекцию ошибки: время движения мыши, отклонение траектории от прямолинейной, начальный угол и скорость, угол завершающей части траектории. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой информативности регистрации траектории движения мыши и ее последующего анализа для косвенной оценки определенности/уверенности испытуемого в ответе; подобная информация о состоянии испытуемого особенно интересна для психофизиологических исследований в парадигме когнитивного контроля.

Ключевые слова: время ответа, когнитивный контроль, внимание, детекция ошибок, определенность

Исследование осуществлено в рамках программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2017 году.

В когнитивной науке часто применяются эксперименты, в которых испытуемые, выполняя ту или иную задачу, совершают ответы нажатием на одну или несколько кнопок. Регистрируемыми параметрами при этом являются правильность/ошибочность совершенного ответа, а также время ответа. Хотя этот метод регистрации информативен и технически несложен, в ряде случаев требуется более детальный анализ параметров поведенческого ответа испытуемого. В частности, в парадигме когнитивного контроля большое значение придается конфликту, предшествующему выбору реакции, а также детекции ошибки, следующей за моментом совершения реакции. Также необходимы методы оценки внутренней определенности в момент совершения ответа. Очевидно, что регистрация нажатий на кнопку может быть недостаточной для изучения данного спектра явлений.

Скрытая неоднородность как правильных, так и ошибочных ответов подчеркивалась в ряде экспериментальных исследований (Cohen, van Gaal, 2014; Navarro-Cebrian et al., 2013; van Driel et al., 2012). Так, например, неопределенность при совершении правильного ответа ведет к генерации компонента вызванного потенциала «позитивность, связанная с правильностью», который отсутствует при совершении аналогичного правильного ответа в состоянии определенности (Scheffers, Coles, 2000).

В качестве одного из способов оценки уверенности испытуемого в ответе используется методика субъективного отчета (например, Navarro-Cebrian et al., 2013), однако в силу интроспективного характера данной методики она выявляет лишь факт осознания испытуемыми правильности ответа либо уверенности в ответе. Более объективный подход основан на выявлении факта экстренного «переправления» ответа с неправильного на правильный; используемые для этого методы включают в себя выявление подпороговых нереализованных ответов по электромиографическому сигналу от пальцев рук при нажатии на кнопки (Cohen et al., 2014), а также регистрацию петлеобразных движений курсора компьютерной мыши при выборе целевой зоны на экране (Kieffaber et al., 2016). Была также предпринята попытка косвенной оценки определенности по времени ответа (Novikov et al., 2017). Все указанные методики содержат в себе значительные ограничения.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы исследовать валидность и информативность регистрации ответов испытуемых по траектории движения компьютерной мыши. Стимулы и процедура настоящего эксперимента совпадают с примененными в исследовании Новикова и др. (Novikov et al., 2017), однако вместо регистрации ответов испытуемых по нажатию на кнопки применена регистрация ответов по траектории перемещения компьютерной мыши (без зрительного контроля). Производили сравнение параметров траектории мыши между правильными ответами и ошибками. Поскольку конденсационная задача создает высокую нагрузку на внимание, мы ожидали, что при ошибочных реакциях будут выявлены признаки неопределенности и/или затруднения обработки информации (Cohen, van Gaal, 2014; Navarro-Cebrian et al., 2013; Novikov et al., 2017; van Driel et al., 2012), а также эффекты внутренней детекции ошибки (Cohen et al., 2014; Holroyd et al., 2004). Время ответа использовалось как показатель степени определенности/уверенности аналогично статье Новикова и др. (Novikov et al., 2017).

Методика

Исследование было проведено с участием 15 испытуемых-добровольцев (возраст 21.6 ± 3.7 лет), подписавших информированное согласие перед экспериментом. Испытуемые выполняли слуховую конденсационную задачу (Posner, 1964; Gottwald, Garner, 1975), аналогичную использованной в работе Новикова и др. (Novikov et al., 2017).

Основная особенность конденсационной задачи состоит в том, что правильный ответ можно выбрать лишь на основе сочетания признаков, но не по отдельным признакам. Испытуемым предъявляли 4 стимула, различавшиеся по тембру и высоте звука. В ответ на два стимула испытуемые должны были перемещать компьютерную мышь из стартовой области с фиксированными координатами вверх влево, при предъявлении двух других – вверх вправо. Во время ответа регистрировалась траектория перемещения курсора мыши.

В обучающих блоках испытуемым после совершения правильного или ошибочного ответа на экране монитора предъявляли соответствующую обратную связь; обучающие блоки не включены в анализ. В экспериментальных блоках обратную связь не предъявляли. Курсор мыши на экране монитора был скрыт на протяжении всего эксперимента, за исключением первого обучающего блока. Управление экспериментом и регистрацию траектории перемещения мыши производили в среде E-Prime (Psychology Software Tools Inc., USA).

Описательная статистика построена на данных, предварительно усредненных для каждого испытуемого. Статистические сравнения производили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа на данных отдельных реализаций (6489 реализаций в совокупности).

Результаты

Вначале рассмотрим описательную статистику на групповом уровне в форме, сопоставимой с результатами в исследовании Новикова и др. (Novikov et al., 2017). Ниже приведены средние значения и стандартные отклонения (в качестве меры разброса данных между испытуемыми).

Испытуемые в среднем совершали $88.0 \pm 7.3\%$ правильных ответов и $11.2 \pm 6.5\%$ ошибок. Успешность выполнения задачи при регистрации ответов с помощью компьютерной мыши была незначительно выше по сравнению с ответами, выполнявшимися нажатием на кнопки ($83.4 \pm 12.9\%$ правильных ответов и $15.8 \pm 12.6\%$ ошибок, Novikov et al., 2017).

Время от начала предъявления стимула до начала движения мыши для правильных ответов составило 1052 ± 249 мс, для ошибочных ответов 1231 ± 333 мс. Следует отметить, что из анализа были исключены «ложные ответы» с временем реакции, не превышающим минимально необходимое для генерации двигательного ответа, то есть меньше 200 мс. Время начала движения мыши практически совпадает с временем ответа в аналогичном исследовании, в котором применялись нажатия на кнопки (1084 ± 192 мс для правильных ответов и 1211 ± 267 мс для ошибок, Novikov et al., 2017). Таким образом, время начала движения мыши сопоставимо со временем реакции, определяемым по нажатию на кнопку.

Далее рассмотрим статистику, полученную на совокупности индивидуальных реализаций с помощью дисперсионного анализа. Использовали два фактора: «правильность ответа» (2 уровня) и «номер испытуемого» (15 уровней). Второй фактор был введен для того, чтобы разделить внутрииндивидуальную и межиндивидуальную вариабельность. Поскольку межиндивидуальные различия не являлись предметом настоящего исследования, мы приводим анализ только по первому фактору; ниже указаны средние значения и ошибки среднего (в качестве меры разброса между отдельными реализациями). Результаты статистического анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели для оценки траектории перемещения компьютерной мыши

Показатель	Правильные ответы	Ошибки	<i>p</i> (с поправкой Бонферрони)
Время начала движения мыши, мс	1061±7	1231±21	<i>p</i> <.001
Время движения мыши, мс	202±1	230±4	<i>p</i> <.001
Отклонение траектории от прямолинейной (отрицательные значения – накопление отклонения в сторону, противоположную стороне выбранного ответа), усл. ед.	1.06±0.13	-0.79±0.44	<i>p</i> <.001
Начальная скорость движения мыши, пиксели/мс	1.68±0.01	1.49±0.03	<i>p</i> <.001
Угол отклонения от вертикали в начале траектории мыши, угл. град.	32.6±0.3	31.1±0.8	<i>p</i> >.05
Угол отклонения от вертикали в конце траектории мыши, угл. град.	36.9±0.2	32.3±0.5	<i>p</i> <.001
Максимальное отклонение в сторону, противоположную правильному ответу, % расстояния	0.74±0.02	0.69±0.06	<i>p</i> >.05

Обсуждение и выводы

Условия и процедура настоящего эксперимента практически совпадали с таковыми в работе Новикова и др. (Novikov et al., 2017). Чрезвычайно близкое совпадение времени начала движения мыши со временем ответа в работе Новикова и др. показывает, что методика регистрации ответа с помощью курсора мыши сопоставима с регистрацией нажатия на кнопку. Более того, в обеих работах выявлена одинаковая закономерность – высоко достоверное замедление времени ошибочных ответов в сравнении с правильными.

Для ошибочных ответов выявлены высоко достоверные отличия от правильных ответов по 5 показателям. При ошибочных ответах движение мыши начиналось позже и длилось дольше, причем начальная скорость движения была ниже. Эти результаты соответствуют нашей гипотезе и данным литературы: при выполнении задачи, создающих высокую нагрузку на внимание, ошибочные реакции имеют признаки неопределенности и/или нарушения обработки информации (Cohen, van Gaal, 2014; Navarro-Cebrian et al., 2013; Novikov et al., 2017; van Driel et al., 2012). Для ошибочных движений характерен небольшой,

но высоко достоверный изгиб траектории с отклонением в сторону правильного ответа, а также более вертикальная ориентация завершающей части траектории. Таким образом, анализ траекторий согласуется с тем, что сразу после инициации ошибочного движения развиваются процессы внутренней детекции ошибки (Cohen et al., 2014; Holroyd et al., 2004).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о валидности и высокой информативности регистрации траектории движения мышцы в перспективе анализа поведенческих ответов испытуемых и косвенной оценки уверенности испытуемого в сочетании с психофизиологическими показателями.

Литература

Cohen M.X. A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signaling // Trends in Neurosciences. 2014. Vol. 37. No. 9. P. 480–490. doi:10.1016/j.tins.2014.06.004

Cohen M.X., van Gaal S. Subthreshold muscle twitches dissociate oscillatory neural signatures of conflicts from errors // NeuroImage. 2014. Vol. 86. P. 503–513. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.10.033

van Driel J., Ridderinkhof K.R., Cohen M.X. Not all errors are alike: Theta and alpha EEG dynamics relate to differences in error-processing dynamics // Journal of Neuroscience. 2012. Vol. 32. No. 47. P. 16795–16806. doi:10.1523/jneurosci.0802-12.2012

Gottwald R.L., Garner W.R. Filtering and condensation tasks with integral and separable dimensions // Perception & Psychophysics. 1975. Vol. 18. No. 1. P. 26–28. doi:10.3758/bf03199362

Holroyd C.B., Nieuwenhuis S., Yeung N., Nystrom L., Mars R.B., Coles M.G., Cohen J.D. Dorsal anterior cingulate cortex shows fMRI response to internal and external error signals // Nature Neuroscience. 2004. Vol. 7. No. 5. P. 497–498. doi:10.1038/nn1238

Kieffaber P.D., Hershaw J., Sredl J., West R. Electrophysiological correlates of error initiation and response correction // NeuroImage. 2016. Vol. 128. P. 158–166. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.12.046

Navarro-Cebrian A., Knight R.T., Kayser A.S. Error-monitoring and post-error compensations: dissociation between perceptual failures and motor errors with and without awareness // Journal of Neuroscience. 2013. Vol. 33. No. 30. P. 12375–12383. doi:10.1523/jneurosci.0447-13.2013

Novikov N.A., Nurislamova Y.M., Zhzhikashvili N.A., Kalenkovich E.E., Lapina A.A., Chernyshev B.V. Slow and fast responses: two mechanisms of trial outcome processing revealed by EEG oscillations // Frontiers in Human Neuroscience. 2017. Vol. 11. No. 218. P. 1–16. doi:10.3389/fnhum.2017.00218

Posner M.I. Information reduction in the analysis of sequential tasks // Psychological Review. 1964. Vol. 71. No. 6. P. 491–504. doi:10.1037/h0041120

Scheffers M.K., Coles M.G. Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 2000. Vol. 26. No. 1. P. 141–151. doi:10.1037/0096-1523.26.1.141

Mouse Tracking as a Method of Response Recording, or How to Make Seven Caps out of One Sheepskin

Medvedev V. A. (1), Razorenova A. M.* (1, 2), Tulenev N. B. (1, 2),
Khalмуратов R. S. (1), Chernyshev B. V. (1, 3)

razoral@ya.ru

1 – Laboratory of Cognitive Psychophysiology, National Research University
“Higher School of Economics”, Moscow, Russia;

2 – Department of Biomedical Technologies, Bauman Moscow State University,
Moscow, Russia;

3 – Department of Higher Nervous Activity, Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia

Abstract. Experiments involving participant’s response recording by way of pressing buttons are quite common. This simple method allows estimation of such crucial parameters as response time and response correctness. However, more detailed analysis of behavioral responses is needed in some cases. Crucial aspects within the cognitive control research field include the conflict before decision-making, error detection after response commission and internal uncertainty. The present research was carried out to validate and estimate the informativeness of a new response recording method using mouse tracking. Erroneous responses versus correct responses during performance of the auditory condensation task were analyzed and then compared with the results of a previous similar experiment where buttons were used for response recording. It was found that the time of starting mouse movements corresponds to response times measured by way of participants pressing a button. In addition, several parameters of mouse cursor trajectories were proposed as indirect measures of participant’s certainty, including mouse movement time, track curvature (deviation from a linear one), start angle and start velocity of mouse cursor, and finishing angle of response. The obtained results allow us to conclude that the response recording method using the mouse tracking technique provide highly informative behavioral data which can help to detect internal uncertainty. Thus, the new method of response recording appears to be very useful for cognitive control research.

Keywords: cognitive control, attention, error detection, uncertainty, mouse tracking, response time