

КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ 2015

**КОГНИТИВНАЯ НАУКА
В МОСКВЕ: НОВЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ**



2015

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

ISBN 978-5-4465-0705-4



9 785446 507054 >

КОНДЕНСАЦИОННАЯ ЗАДАЧА КАК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОГНИТИВНОГО КОНТРОЛЯ³⁹

Новиков Н.А. *, Брызгалов Д.В., Молчанова Д.В., Чернышев Б.В.

nikknovikov@gmail.com

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Аннотация. Успешное выполнение сложных задач связано с функциями когнитивного контроля, такими как поддержание направленного на задачу внимания, удержание в памяти и активация правил задачи, а также подавление преждевременных реакций. Нарушение любой из этих функций может приводить к ошибкам выполнения. В настоящей работе проведено исследование поведенческих данных (качество выполнения задачи и время реакции), полученных в ходе выполнения испытуемыми конденсационной задачи, требующей высокого уровня когнитивного контроля, но не предполагающей каких-либо автоматических реакций, подлежащих торможению. Полученные результаты свидетельствуют о наличии трех независимых групп поведенческих показателей, отражающих общую скорость выполнения задачи, основную причину совершения ошибок и способность к адаптивному повышению моторного порога в случае неопределенности выбора.

Ключевые слова: конденсационная задача, когнитивный контроль, межиндивидуальные различия, время реакции

Термином «когнитивный контроль» описывается совокупность процессов, обеспечивающих целенаправленное поведение, таких как поддержание устойчивого внимания; удержание в памяти целей и правил их достижения; активация релевантных и торможение нерелевантных моторных программ (Yeung, 2013). Когнитивный контроль, как правило, исследуется в задачах, предполагающих наличие некоторой автоматической реакции, подавление которой необходимо для успешного выполнения; при этом определяется влияние уровня конфликта между корректной и ошибочной моторной программой на результат выполнения задачи (Cohen, 2014). Исследования такого рода показали существование нескольких поведенческих эффектов, таких как ускорение ошибочных реакций; замедление реакций, следующих за ошибками; замедление реакций при высоком уровне конфликта; адаптация к уровню конфликта в серии стимулов (Botvinick et al., 2001). В то

³⁹ Исследование осуществлено в рамках программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2015 г.

же время поведенческие эффекты спонтанного снижения когнитивного контроля и его последующей адаптации в задачах, не предполагающих каких-либо автоматических реакций, изучены в меньшей степени. В данной работе мы использовали конденсационную задачу (Posner, 1964), успешное выполнение которой требует высокого уровня когнитивного контроля, но не основано при этом на торможении нежелательных автоматических реакций.

В ходе эксперимента испытуемым ($N = 79$) предъявляли четыре звуковых тона, каждый из которых имел два признака: по высоте он был «низким» либо «высоким» (синусоидальный сигнал 500 Гц или 2000 Гц), по «зашумленности» — либо «зашумленным», либо «чистым» (то есть с наложенным широкополосным шумом или без). Участники эксперимента должны были нажимать одну кнопку в случае высокого чистого или низкого зашумленного звука и другую кнопку в случае низкого чистого или высокого зашумленного звука; таким образом, задача не могла быть решена при учете любого из признаков в отдельности от другого. После правильных ответов, латентность которых не превышала 1700 мс, испытуемым предъявлялась подкрепляющая зрительная обратная связь.

В работе анализировали правильные и ошибочные ответы с латентностью от 300 до 1700 мс; реакции быстрее 300 мс исключали из анализа; реакции медленнее 1700 мс и отсутствующие реакции рассматривали как пропуски ответа. Для каждого испытуемого определяли среднюю латентность правильных и ошибочных реакций. Также вычисляли три дополнительных показателя: «ускорение перед ошибками», определяемое как отношение латентности правильных ответов, предшествующих правильным ответам, к латентности правильных ответов, предшествующих ошибкам; «замедление ошибочных реакций», определяемое как отношение латентности ошибок к латентности правильных ответов; «замедление после ошибок», определяемое как отношение латентности правильных ответов, следующих за ошибками, к латентности правильных ответов, следующих за правильными ответами.

Латентности реакций разного типа сравнивали при помощи парного t -теста. Взаимосвязи между поведенческими показателями определяли при помощи коэффициента корреляции Пирсона. Достоверность корреляций вычисляли с учетом поправки Бонферрони (24 сравниваемых пары показателей). Для определения характера предполагаемого взаимодействия двух поведенческих показателей (1 и 2) с третьим (3) строили две линейных регрессионных модели: в первой модели показатель 3 предсказывался только показателем 1, а во второй — парой показателей 1 и 2. Наборы остатков, полученные в двух моделях, сравнивали при помощи F -теста. В случае, когда остатки во второй модели оказывались достоверно ниже, делался вывод о наличии

взаимосвязи между показателями 2 и 3, не опосредованной показателем 1.

Правильные ответы составляли в среднем 82.9 % всех реакций, ошибочные ответы — 11 %, пропуски ответа — 5.1 %. Средняя латентность всех правильных ответов составляла 876.6 мс; латентность ошибочных ответов — 985.7 мс; латентность правильных ответов, предшествующих ошибкам — 859.9 мс; латентность правильных ответов, следующих за ошибками — 875.3 мс. Латентность ошибок достоверно превосходила латентность правильных ответов ($p < .001$); правильные ответы перед ошибками совершались достоверно быстрее, чем правильные ответы перед правильными ответами ($p = .009$); достоверного различия латентности правильных ответов после ошибок и после правильных ответов обнаружено не было ($p = .68$). Значения коэффициентов корреляции между поведенческими показателями приведены в таблице.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между поведенческими показателями (* — $p < .05$; ** — $p < .01$; *** — $p < .001$)

		1	2	3	4	5	6	7
1	Доля правильных ответов							
2	Доля ошибок	-.82***						
3	Доля пропусков	-.74***	.21					
4	Латентность правильных ответов	-.53***	.14	.73***				
5	Латентность ошибок	-.16	-.21	.53***	.71***			
6	Ускорение перед ошибками	-.01	.12	-.12	-.27	-.46**		
7	Замедление ошибочных реакций	.27	-.42**	.05	.07	.75***	-.40*	
8	Замедление после ошибок	.16	-.21	-.04	-.17	.02	-.05	.19

Быстрота реакции зависит от двух факторов: силы активации репрезентации соответствующей моторной программы и моторного порога, при достижении которого программа реализуется в поведении. При оптимальном уровне когнитивного контроля в ответ на стимул активируется репрезентация «правила задачи», которая позволяет смещать баланс между конкурирующими моторными программами в

сторону программы, ведущей к правильному ответу на стимул (Botvinick et al., 2001).

Мы предполагаем, что время от времени испытуемые начинают полагаться на приобретенный навык и выполнять задачу более «автоматически», снижая уровень когнитивного контроля; это ведет к повышению вероятности совершения ошибки в силу того, что на самом деле задача лишь в очень незначительной степени поддается автоматизации в пределах длительности эксперимента (Лазарев и др., 2014). Такой «псевдоавтоматизированный» режим выражается в сниженной латентности правильных ответов, предшествующих ошибкам. Снижение контроля приводит к недостаточной активации репрезентации правила задачи, в результате чего уровень активности правильной и ошибочной моторной программы оказывается одинаково низким. Таким образом, время достижения моторного порога и вероятность ошибочного ответа оказываются больше, чем в состоянии оптимального выполнения задачи, что выражается в повышенной латентности ошибочных ответов по сравнению с правильными. Поскольку конденсационная задача не предполагает какой-либо моторной программы, автоматическую активацию которой требуется преодолеть, долговременная адаптация системы когнитивного контроля, по всей видимости, в незначительной степени связана с повышением моторного порога, что выражается в отсутствии достоверного замедления после ошибок.

Латентность правильных ответов положительно коррелировала с долей пропусков и отрицательно — с долей правильных ответов; корреляции этого показателя с долей ошибок обнаружено не было. Это означает, что люди с низкой скоростью работы справлялись с задачей хуже за счет большего числа пропусков ответа. Следует отметить, что к пропускам мы относили как отсутствующие реакции, так и реакции, совершаемые позже отведенного времени (1700 мс после стимула); в обоих случаях испытуемые не получали подкрепляющей обратной связи.

Более выраженное ускорение перед ошибками было связано с менее выраженным замедлением ошибочных реакций. Оба этих показателя коррелировали с латентностью ошибок, но не с латентностью правильных ответов. Дополнительный анализ показал, что каждый из этих показателей не улучшает предсказание другого при добавлении его в качестве второго предиктора к латентности ошибок ($p = .39$). Напротив, добавление ускорения перед ошибками к латентности правильных ответов достоверно улучшает предсказание латентности ошибок ($p = .002$). Таким образом, оба показателя имеют отношение к некоторой индивидуальной характеристике, которая предположительно отражает основную причину совершения ошибок испытуемыми, заключающуюся либо в снижении

моторного порога, либо в снижении активации репрезентации правила задачи.

Также была обнаружена отрицательная корреляция между замедлением ошибочных реакций и долей ошибок. Добавление доли ошибочных ответов к латентности ошибок достоверно улучшает предсказание замедления ошибочных реакций ($p = .002$); аналогичный результат наблюдается при добавлении доли ошибочных ответов к ускорению перед ошибками ($p < .001$). Следовательно, существуют два независимых фактора, влияющих на межиндивидуальные различия в замедлении ошибочных реакций. Первый фактор описан выше и связан, предположительно, со склонностью испытуемого совершать ошибки либо по причине недостаточной активации репрезентации правила задачи, либо по причине избыточного снижения моторного порога. Второй фактор, по всей видимости, связан с поведенческой адаптацией, заключающейся в повышении моторного порога в условиях неопределенности ответа. Чем выше способность испытуемого к повышению порога в такой ситуации, тем больше вероятность того, что репрезентация правила успеет активироваться до совершения ошибочного ответа, и, соответственно, тем меньше доля ошибок.

Анализ поведенческих данных выявил следующие закономерности: (1) перед ошибками правильная реакция совершается с уменьшенной латентностью, (2) ошибочные реакции совершаются с бóльшей латентностью, чем правильные; (3) замедление времени ответа после ошибок отсутствует. Это отличает исследуемую задачу от большинства задач, используемых при изучении когнитивного контроля, в которых наблюдается ускорение ошибочных реакций и замедление после ошибок.

Корреляционный анализ показал наличие трех различных характеристик, влияющих на межиндивидуальные различия поведенческих показателей. Первая связана с общей скоростью выполнения задачи и влияет на количество пропусков ответа. Вторая связана со склонностью либо к ускорению перед ошибками, либо к замедлению во время ошибок и не влияет на успешность выполнения. Третья связана со способностью повышать моторный порог в условиях неопределенности и влияет на долю совершаемых ошибок.

Полученные данные показывают, что конденсационная задача является перспективной моделью для исследования когнитивного контроля, позволяющей исследовать его в новом ракурсе.

Литература

- Лазарев И.Е., Чернышев Б.В., Брызгалов Д.В., Вязовцева А.А., Осокина Е.С. Исследование автоматизации принятия решения в условиях умеренно высокой когнитивной нагрузки // Вестник ЯрГУ. Серия «Гуманитарные науки». 2014. Т. 28. № 2. С. 87–91.
- Botvinick M.M., Braver T.S., Barch D.M., Carter C.S., Cohen J.D. Conflict monitoring and cognitive control // Psychological review. 2001. Vol. 108. No. 3. P. 624–652.
- Cohen M.X. A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signaling // Trends in neurosciences. 2014. Vol. 37. No. 9. P. 480–490.
- Posner M.I. Information reduction in the analysis of sequential tasks // Psychological Review. 1964. Vol. 71. No. 6. P. 491–504.
- Yeung N. Conflict monitoring and cognitive control // Oxford Handbook of Cognitive Neuroscience / Под ред. K.N. Ochsner, S. Kosslyn. N.Y.: Oxford University Press New York, 2013. P. 275–299.

Condensation Task as an Experimental Model for Studying Individual Differences in Cognitive Control Processes

Novikov N.A. *, Bryzgalov D.V., Molchanova D.V., Chernyshev B.V.

nikknovikov@gmail.com

National Research University 'Higher School of Economics', Moscow, Russia

Abstract. Successful performance in complex tasks is dependent on the functions of the cognitive control system such as maintenance of sustained attention, retention and activation of task rules, and inhibition of preliminary responses. Failure of any of these functions can lead to performance errors. In the present study, we investigated the behavioral data (success rate and response time) obtained during a condensation task, which is highly demanding to the level of cognitive control, but does not assume any specific automatic responses that have to be inhibited. Our results suggest that there are three independent groups of behavioral variables. The first group is related to the overall response latency, the second to the main cause of performance errors, and the third to the participant's ability to increase the motor threshold in the case of choice ambiguity.

Keywords: condensation task, cognitive control, inter-individual differences, response time