

УДК 159.9.07

Бурмистров С.Н., Агафонов А.Ю., Фомичева А.Д., Шилов Ю.Е.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П.Королева, Самара, Россия*

Усвоение и применение имплицитного знания некоррелированных последовательностей¹

Acquisition and Application of Implicit Knowledge of Uncorrelated Sequences

Аннотация

В статье описано исследование имплицитного усвоения двух независимых перцептивных последовательностей. Использовались задачи «double-dimension serial reaction task», в которых два параметра стимульного материала («цвет» и «направление стрелок») определялись разными, не связанными между собой, правилами. В Эксперименте 1 испытуемые реагировали на направление стрелок, игнорируя изменение цвета. Результаты выявили эффект имплицитного усвоения последовательности чередования направления стрелок и отсутствие значимого влияния на результат последовательности цвета стрелок. В Эксперименте 2 сначала требовалось реагировать на направление стрелок, затем – на цвет. Анализ результатов выполнения первого задания продемонстрировал эффект усвоения последовательности чередования направления стрелок, результаты второго задания выявили эффекты усвоения последовательности чередования цвета стрелок. Обнаруженные результаты свидетельствуют о способности когнитивной системы одновременно неосознанно перерабатывать несколько потоков информации. При этом значимое влияние на решение актуальной задачи оказывает только знание релевантной закономерности.

Ключевые слова: имплицитное научение, выучивание последовательностей, некоррелированные последовательности

Abstract

The article describes the research of implicit learning of two independent perceptual sequences. We used the double-dimension serial reaction tasks, in which two parameters of the stimulus material were determined by different, unrelated rules. The stimuli were arrows painted in one of four colors and directed to one of four sides. In Experiment 1, subjects responded to the direction of the arrows, ignoring the color change. The results revealed the effect of implicit acquisition of the sequence of arrows direction. In the same time, we detected the absence of a significant influence on the result of the arrows color sequence. The Experiment 2 consisted of two parts. At first, participants had to respond to the arrows direction. During the second part they were told to react on the stimuli color. The results of the first task demonstrated the effect of learning of the arrows direction sequence. The results of the second task revealed the effect of acquisition of the arrows color sequence. Results obtained indicate the ability of the cognitive system to simultaneously and unconsciously process several streams of information. In this case, only knowledge of the relevant regularity has a significant influence on the actual task solution.

Keywords: implicit learning, sequence learning, uncorrelated sequences

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант №19-013-00103).

Введение

Усвоение последовательностей является одной из основных функций когнитивной системы человека. Способность интегрировать последовательно поступающую информацию обнаруживается в использовании языка при общении, координации движений при ходьбе, движении глаз при чтении и других операциях. В экспериментальных исследованиях об усвоении последовательности свидетельствует изменение эффективности (скорости и/или точности) выполнения задания. Классическим примером является исследование М. Ниссен и П. Буллемера (Nissen, Bullemer, 1987). В нем испытуемых просили реагировать на поочередно предъявляемые на экране компьютера стимулы нажатием специально отведенных клавиш. Одной группе испытуемых стимулы предъявлялись согласно правилу, представляющему собой повторяющуюся структуру из 10 элементов, другой группе испытуемых те же стимулы предъявлялись в случайном порядке. Процедура состояла из 8 блоков по 100 проб в каждом. После выполнения 8-го блока среднее время реакции в группе, где стимулы предъявлялись в случайном порядке, почти не изменилось, тогда как в группе с использованием структурной последовательности среднее время реакции сократилось в два раза, при этом вербальные отчеты испытуемых не содержали знания использованной закономерности. За последние несколько десятилетий проведено большое количество исследований по проблеме имплицитного усвоения последовательностей. В них анализируются вопросы осознанности процесса усвоения последовательностей (Perruchet, Amorim, 1992; Destrebecqz, Cleeremans, 2001, 2003; Wilkinson, Shanks, 2004), роли внимания в этом процессе (Cohen et al., 1990; Curran, Keele, 1993; Stadler, 1995), определения типа (перцептивная или моторная) информации, приобретаемой в процессе усвоения последовательности (Gheysen et al., 2009; Deroost, Coomans, 2018; Бурмистров и др., 2019), нейронных механизмов

имплицитного усвоения последовательности (Curran, 1995; Rauch et al., 1995; Gheysen et al., 2011) и др.

Данное исследование направлено на рассмотрение вопроса имплицитного усвоения двух автономных (независимых друг от друга) последовательностей. Переработка информации, поступающей по разным каналам, встречается повсеместно. Как отмечает С.У. Кил, условия реальной жизни, как правило, включают некоррелированную стимуляцию, например, можно ходить по улице разговаривать с другом, одновременно с этим в фоновом режиме слушать пение птиц, звуки шагов, голоса других людей, а также рассматривать разные достопримечательности (Keele et al., 2003). В общем плане это исследование предполагает проверку теоретической гипотезы о способности когнитивного бессознательного одновременно обрабатывать несколько потоков информации. Обоснование этой гипотезы дает в своих работах А.Ю. Агафонов (см. Агафонов, 2012, 2013). Когнитивное бессознательное в данном подходе выполняет роль функционального блока, обеспечивающего обработку актуально воспринимаемой информации и ее корреспонденцию с памятью. В процессе обработки одновременно строится несколько вариантов интерпретации получаемой информации. Иначе говоря, в одно и то же время выдвигается несколько гипотез об актуальной ситуации. Одну из этих гипотез сознание проверяет на соответствие реальности. Также предположение о том, что когнитивное бессознательное способно одновременно обрабатывать несколько потоков информации, поддерживают сторонники модульной объяснительной модели (см., например, Seger, 1994; Köhler, Moscovitch, 1997; Keele et al., 1995, 2003). Модульная теория объясняет возможность параллельного усвоения нескольких последовательностей существованием множества функциональных элементов (модулей), каждый из которых обрабатывает свой собственный тип информации. Например, с точки зрения С.У. Кила усвоение последовательностей осуществляется двумя системами:

многомерной и одномерной (Keele et al., 2003). *Многомерная* устанавливает связи между явлениями, относящимися к разным измерениям или модальностям. *Одномерная* состоит из множества модулей, каждый из которых обрабатывает информацию только одного определенного измерения. Раздельная переработка информации разной размерности позволяет одновременно изучать последовательности событий в отдельных измерениях даже в отсутствии корреляции между ними.

Экспериментальные исследования выучивания некоррелированных последовательностей

В исследовании У. Майр рассматривался вопрос независимого усвоения объектной (стимульной) и пространственной последовательностей (Maug, 1996). В процедуре использовались задачи реагирования на серии стимулов. Стимулы предъявлялись согласно двум последовательностям: последовательность *А* включала 9 элементов, последовательность *Б* – 8 элементов. Одна последовательность определяла порядок предъявления стимулов, другая устанавливала чередование мест их предъявления. Результаты исследования показали усвоение обеих последовательностей независимо от того, осознавали испытуемые приобретенное знание или нет. В другом исследовании, Ж.С. Шин и Р.Б. Иври изучали усвоение временных и пространственных последовательностей (Shin, Ivry, 2002). Было проведено два эксперимента, в одном использовались последовательности одинакового размера, в другом – разного. Полученные данные показали, что усвоение пространственной последовательности может происходить независимо от условий временной последовательности, в то время как усвоение временной последовательности происходит только при условии корреляции с пространственной последовательностью. При этом авторы отмечают, что корреляция между временной и пространственной информацией повышает эффективность научения.

В свою очередь, следует отметить, что существует ряд исследований, в которых оспаривается возможность параллельного усвоения двух несвязанных последовательностей (Russeler et al., 2002; Cock, Meier, 2007; Weiermann et al., 2010; Meier, Cock, 2010; Weiermann, Meier, 2012). Рассмотрим подробнее некоторые из них. Я. Росселер с коллегами провели процедуру, описанную в исследовании У. Майр (1996) (Russeler et al., 2002). Авторы предположили, что на усвоение пространственной последовательности влияет навык, формирующийся в окулomotorной системе при движении глаз от одного места предъявления стимула к другому. При проведении эксперимента использовались четыре варианта расстояния (3, 6, 12 и 22 см) между местами предъявления стимулов. Обработка результатов показала, что независимо от расстояния, на котором демонстрировались стимулы, выучивание пространственной последовательности происходило только при условии корреляции с последовательностью стимулов. В рамках другого исследования, Ж. Кок и Б. Мейер было проведено четыре эксперимента с использованием трех простых категориальных задач, в которых требовалось выбрать один из двух вариантов ответа: (а) выбрать тип регистра представленной буквы (верхний или нижний); (б) определить цвет нечеткой фигуры (красный или синий) и (в) выбрать вид геометрической фигуры (с углами или без) (Cock, Meier, 2007). Для ответов во всех трех задачах использовались две клавиши: первая клавиша для одного варианта ответа, вторая – для другого. В экспериментах 1-3 последовательность задач и последовательность ответов были одинаковой длины и, как следствие, они были связаны между собой. В эксперименте 4 длина последовательности задач состояла из 6-ти элементов, а последовательность ответов – из 8-ми элементов, таким образом, последовательности не коррелировали друг с другом. Результаты выявили научение только в первых трех экспериментах.

Таким образом, обзор исследований усвоения некоррелированных последовательностей показывает, что существующие данные пока не позволяют делать однозначные выводы о способности когнитивного бессознательного параллельно перерабатывать несколько несвязанных между собой потоков информации. Вместе с тем, есть теоретические и эмпирические основания для продолжения исследований этой фундаментальной проблемы.

Также следует отметить, что проблема одновременного усвоения двух закономерностей затрагивается в исследованиях имплицитного усвоения искусственных грамматик (artificial grammar learning [AGL]). В частности, Б. Эйтам и коллеги разработали парадигму «усвоение двух искусственных грамматик» (2AGL), которая отличается от классической парадигмы AGL тем, что испытуемым одновременно предъявляются две последовательности стимулов (первая состоит из согласных букв, вторая – из прямоугольников разного цвета), которые накладываются друг на друга (Eitam, Schul, Hassin, 2009). Порядок элементов (букв / цветных прямоугольников) в каждой из этих последовательностей определяется отдельным правилом. Б. Эйтам с коллегами провели два эксперимента: в первом эксперименте одна группа испытуемых получила задание запоминать последовательности букв, другая – последовательности цветов; во втором эксперименте требовалось запоминать сразу обе последовательности. Результаты первого эксперимента показали, что имплицитное научение в AGL зависит от релевантности стимулов решаемой задаче. Во втором эксперименте было обнаружено одновременное усвоение двух последовательностей.

Цель проведения данного исследования заключается в изучении процесса имплицитного усвоения двух независимых последовательностей. В частности, в нем рассматриваются два вопроса. Первый – могут ли имплицитно усваиваться релевантная и иррелевантная последовательности?

Второй – какое влияние оказывает усвоение иррелевантной последовательности на решение целевой задачи?

Представленные ниже эксперименты частично были описаны ранее в работе А.Ю. Агафонова и коллег (Агафонов и др., 2019).

Эксперимент 1

Метод

Использовались задачи «Double-dimension serial reaction task», в которых требуется реагировать на один из двух параметров стимульного материала.

Испытуемые

В эксперименте приняли участие 50 человек. Испытуемых распределили случайным образом на две экспериментальные группы (ЭГ1 и ЭГ2), по 25 человек в каждой. Средний возраст испытуемых составил 21,4 года. Из 50 участников 32 были женщины.

Оборудование и стимульный материал

Демонстрация стимулов и регистрация ответных реакций осуществлялась на компьютере с диагональю монитора 13,3 дюйма. Стимулы: стрелки (вверх, вниз, вправо и влево) четырех цветов (синий, зеленый, желтый и красный). Параметры стимула: длина – 5 см, ширина – 3 см. Стимулы демонстрировались поочередно (по одному) в центре экрана. Для введения ответов использовались четыре клавиши: **A** – для стрелки вверх, **Z** – для стрелки вниз, **◀** – для стрелки влево и **▶** – для стрелки вправо (на клавишах были наклейки с изображением стимулов). Средним и указательным пальцами левой руки вводились ответы на стимулы «стрелка вверх» и «стрелка вниз», и указательным и средним пальцами правой руки вводились ответы на стимулы «стрелка влево» и «стрелка вправо». Между нажатием клавиши ответа и предъявлением следующего стимула был интервал – 250 мс.

Процедура

Испытуемые получали задание: максимально быстро и точно реагировать на стимулы, предъявляемые на экране монитора. При выборе ответа требовалось учитывать только направление стрелки. Использование стимулов разных цветов в инструкции объяснялось направленностью исследования на определение зависимости скорости реакции от цвета стимула. Сначала испытуемым давался пробный блок из 20 задач (стимул–ответ), в которых стимулы предъявлялись в случайном порядке. Затем они переходили к основной части процедуры, включавшей 12 блоков по 75 задач в каждом, что в общей сложности составляло 900 задач. Между блоками был перерыв 15 секунд, во время которого на экран выводилась информация о средней скорости реакции и количестве допущенных ошибок в последнем блоке. В первых трех задачах цвет и направление стрелок всегда устанавливались случайным образом. Начиная с четвертой задачи, в 10-ти блоках (кроме 9 и 12) порядок предъявления стимулов определялся двумя правилами: (1) последовательность стрелок включала 9 элементов (1–4–1–3–2–4–3–1–2), где 1) →, 2) ←, 3) ↑, 4) ↓; (2) последовательность цвета состояла из 8 элементов (3–2–1–2–4–3–4–1), где 1) синий, 2) зеленый, 3) желтый и 4) красный. Девятый и двенадцатый блоки были контрольными. В 9-ом блоке в ЭГ1 направление стрелок менялось случайным образом, а цвет – согласно правилу 2; в ЭГ2 направление стрелок менялось в соответствии с правилом 1, а цвет – в случайном порядке. В 12-ом блоке в обеих группах цвет и направление стрелок менялись в случайном порядке. При случайном предъявлении стимулов действовали два условия: ни цвет, ни направление стрелок не повторялись два раза подряд, и количество предъявлений каждого стимула в течение блока было примерно одинаковым.

После выполнения 12-го блока проводилось постэкспериментальное интервью. Испытуемых спрашивали, заметили ли они какую-либо закономерность в последовательности предъявления стимулов. Ответивших

положительно на этот вопрос далее спрашивали: когда это произошло? Опишите обнаруженную закономерность или ее отдельные элементы. Изменялся порядок предъявления стимулов на протяжении процедуры или нет? Как они использовали это знание в процессе выполнения задания? Затем испытуемым сообщалось, что в большинстве блоков стимулы предъявлялись согласно двум правилам, одно из которых определяло направление стрелок, другое – цвет, и предлагалось продолжить серию стимулов, составленных в соответствии с этими правилами. Серия состояла из 11 стимулов: 1 цикл последовательности, состоящий из 9-ти элементов плюс 2 начальных элемента. После предъявления 11-го стимула испытуемых просили предсказать несколько следующих стимулов. После каждого предсказания испытуемым демонстрировался правильный ответ. Половина испытуемых из каждой группы сначала предсказывала направление стрелок (9 попыток), потом их цвет (8 попыток). Другая половина испытуемых, наоборот, сначала предсказывала цвет стрелок (8 попыток), потом их направление (9 попыток).

Результаты

Анализ данных выполнен на языке R (R Core Team, 2019) в среде RStudio (RStudio Team, 2016). Графики построены при помощи пакета ggplot2 (Wickham, 2016).

Усвоение последовательности. На первом этапе анализировался общий эффект научения. Из общего массива результатов были удалены первые 12 реакций в каждом блоке (3 реакции на стимулы, следовавшие в случайном порядке, плюс 9 реакций – цикл последовательности стрелок). Также в анализе не учитывались ошибочные реакции $M = 32,5$ ($SD = 37,2$), доля которых составила 4,29%. Таким образом, дальнейший анализ строился только на сравнении среднего времени реакции (ВР) правильных ответов испытуемых в разных блоках.

Анализировалось изменение среднего ВР в трех парах блоков (1 и 8, 8 и 9, 11 и 12) отдельно в ЭГ1 и ЭГ2. Первое измерение показало, что обе

группы сократили ВР в 8 блоке: в ЭГ1 разница составила 78,6 мс ($t(5829,79) = 18,00$; $p < 0,001$); в ЭГ2 этот показатель равнялся 71,5 мс ($t(5831,02) = 16,19$; $p < 0,001$). При сравнении результатов 8 и 9 блоков было обнаружено увеличение ВР в ЭГ1 на 103,4 мс ($t(5720,70) = 22,41$; $p < 0,001$). В ЭГ2 значимых отличий между 8 и 9 блоками не обнаружено ($t(5720,92) = 0,47$; $p = 0,677$). Сравнение 11 и 12 блоков показало увеличение ВР в обеих группах: в ЭГ1 на 94,4 мс ($t(5772,92) = 21,29$; $p < 0,001$); в ЭГ2 на 142,2 мс ($t(5777,31) = 31,74$; $p < 0,001$).

Эксплицитное знание. В постэкспериментальном интервью 27 испытуемых отметили, что порядок предъявления стимулов не был случайным. Из них 6 указали, что направление и цвет стрелок изменялись согласно правилу, 13 отметили закономерность в изменении направления стрелок и 8 закономерность в изменении цвета стимулов (см. таблицу 1). В большинстве случаев испытуемые говорили, что обратили внимание на существование закономерности в первой половине процедуры. Также многие отмечали, что порядок предъявления стимулов иногда изменялся, но затруднялись назвать, в каких именно блоках это происходило. При этом никто из участников не ответил, что целенаправленно использовал приобретенное знание в процессе выполнения задания.

Выполнение теста на генерацию оценивалось путем подсчета правильно спрогнозированных элементов каждой из двух последовательностей. Если испытуемый правильно предсказывал более трех элементов (33,3% уровень случайного угадывания) последовательности, то считалось, что он может обладать эксплицитным знанием последовательности. Результаты выполнения теста на генерацию представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты постэкспериментального интервью и теста на генерацию

Эксплицитное знание последовательности	Постэкспериментальное интервью (%)	Тест на генерацию (%)
Две	6 (12)	15 (30)
Направление стрелок	13 (26)	6 (12)
Цвет	8 (16)	9 (18)
Нет	23 (46)	20 (40)

Примечание: Первое число обозначает количество испытуемых.

Разница между двумя колонками в таблице 1 показывает, что субъективная оценка усвоенной закономерности, установленная в результате проведения постэкспериментального интервью, ниже объективной меры, выраженной в количестве корректно предсказанных элементов последовательности. С одной стороны, это может быть связано с тем, что опросы не выявляют в полной мере эксплицитное знание. С другой стороны, при решении задачи на генерацию испытуемые часто принимают решение, руководствуясь интуитивным чувством, в основе которого, вероятно, лежит имплицитно усвоенная закономерность. Но, поскольку тест на генерацию считается более достоверным показателем эксплицитного знания (см. Shanks, St. John, 1994), то для анализа имплицитного усвоения последовательности были отобраны только те испытуемые, которые корректно предсказали не более 3 элементов каждой из двух последовательностей.

Имплицитное усвоение последовательности. Мы повторили анализ изменения ВР в трех парах блоков (1 и 8, 8 и 9, 11 и 12) по данным 20 испытуемых (11 из ЭГ1 и 9 из ЭГ2), отобранных по результатам выполнения теста на генерацию. Обработка результатов показала, что с 1 по 8 блок ВР в ЭГ1 сократилось на 34,3 мс ($t(2342,78) = 5,39; p < 0,001$), в ЭГ2 на 52,3 мс ($t(2343,18) = 7,32; p < 0,001$). В 9 блоке ВР увеличилось только в ЭГ1 – 64,9 мс ($t(2342,78) = 9,64; p < 0,001$). В ЭГ2 значимых отличий между 8 и 9 блоками не обнаружено ($t(2343,18) = 0,01; p = 0,99$). Сравнение 11 и 12 блоков показало увеличение ВР в ЭГ1 на 70,6 мс ($t(2320,59) = 10,941; p < 0,001$); в ЭГ2 на 79,9 мс ($t(2321,48) = 11,10; p < 0,001$). На рисунке 1 показано ВР в

блоках, рассчитанное по данным испытуемых, предсказавших в тесте на генерацию от 0 до 3 элементов каждой последовательности.

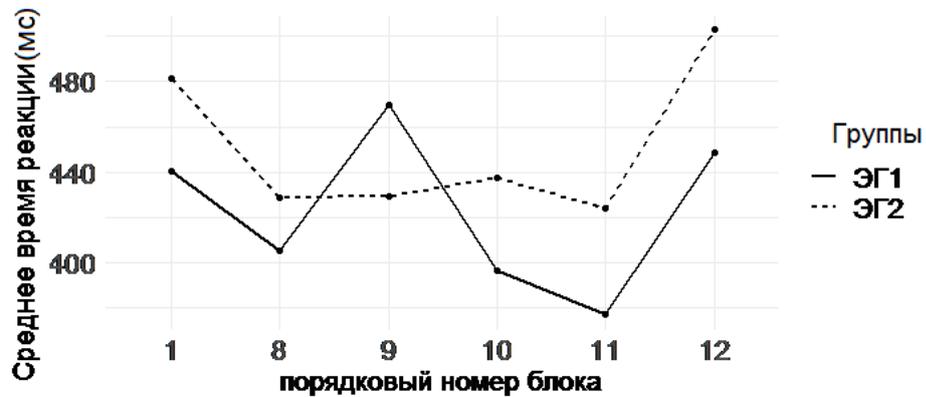


Рисунок 1 – Среднее ВР испытуемых, правильно предсказавших 0-3 элементов в тесте на генерацию

Сокращение ВР с 1 по 8 блоки, а также увеличение ВР в 9 и 12 блоках, показанное испытуемыми, у которых точность прогнозов в тесте на генерацию была на уровне случайного угадывания, оказалось ниже аналогичных показателей, рассчитанных по выборке в целом (см. рисунок 2).

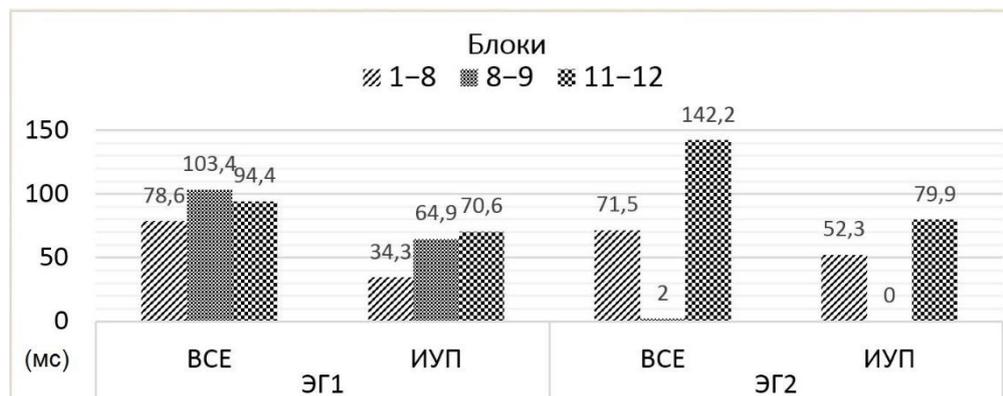


Рисунок 2 – Разница среднего ВР в 1 и 8, 8 и 9, 11 и 12 блоках, рассчитанная по данным всех испытуемых и по данным испытуемых, показавшим имплицитное усвоение последовательности (ИУП)

Это может быть связано с тем, что испытуемые, показавшие высокую точность прогнозов, лучше усвоили использованные закономерности.

Обсуждение результатов

Сокращение ВР в интервале с 1 по 8 блок и увеличение ВР в 12 блоке свидетельствует об усвоении испытуемыми обеих групп по меньшей мере одной последовательности. Увеличение ВР, показанное ЭГ1 в 9 блоке, свидетельствует об усвоении последовательности стрелок. В свою очередь, отсутствие увеличения ВР в 9 блоке в ЭГ2 может указывать либо на то, что испытуемые не усвоили последовательность, определявшую цвет стимулов, либо на то, что иррелевантная последовательность не оказывает заметного влияния на продуктивность решения задачи реагирования на другой (релевантный) параметр стимульного материала. В пользу последнего предположения говорит результат недавнего эксперимента А.Ю. Агафонова и коллег (см. Агафонов и др., 2018). В нем использовались две коррелированные последовательности, которые определяли разные параметры стимульного материала. На обучающем этапе требовалось реагировать на один параметр стимулов (форму геометрических фигур), на тестовом этапе – на другой (цвет фигур). В результате на тестовом этапе значимо быстрее реагировали испытуемые, которым на обучающем этапе цвет демонстрировался согласно последовательности.

Таким образом, предполагается, *во-первых*, что некоррелированные последовательности могут усваиваться параллельно; *во-вторых*, что усвоение иррелевантной последовательности будет влиять на время реакции при условии обмена местами релевантного и иррелевантного параметров стимульного материала. Для проверки этих гипотез был проведен эксперимент 2.

Эксперимент 2

Метод

Применялись те же задачи, что и в эксперименте 1. Основное отличие метода, использованного в эксперименте 2, заключалось в изменении целевого (релевантного) параметра стимулов. В первой части процедуры (1-9

блоки) требовалось реагировать на направление стрелок, во второй части (10-12 блоки) – на цвет стрелок.

Испытуемые

В эксперименте приняли участие 62 человека. Испытуемых случайным образом распределили на две группы (ЭГ1 и ЭГ2), по 31 человеку в каждой. Средний возраст испытуемых составил 23,2 года. Из 62 участников 39 были женщины.

Оборудование и стимульный материал

Использовался тот же компьютер и стимульный материал, что и в эксперименте 1. В первой части процедуры ответы вводились при помощи четырех клавиш: **J** – для стрелки вверх, **M** – для стрелки вниз, **◀** – для стрелки вправо и **▶** – для стрелки влево. Во второй части эксперимента ответы вводились клавишами: **A** – синий, **Z** – желтый, **F** – зеленый, **C** – красный. В первой и во второй частях процедуры ответы вводились средним и указательным пальцами двух рук. Следующий стимул предъявлялся с задержкой 250 мс после нажатия клавиши ответа.

Процедура

Задание второго эксперимента также состояло в том, чтобы максимально быстро и точно реагировать на предъявляемые на экране стимулы. В инструкции сообщалось, что процедура состоит из двух частей: в первой части при выборе ответа нужно учитывать только направление стрелок, во второй – только цвет стрелок. Как и в первом эксперименте, испытуемым сначала давался пробный блок из 20 задач (стимул–ответ), в котором стимулы демонстрировались в случайном порядке. Затем обе группы выполняли 12 блоков по 75 задач, с перерывами по 15 секунд на отдых. Во время перерывов на экране демонстрировалась обратная связь, информирующая о времени реакции в блоке и количестве допущенных ошибок. С 1 по 9 блок испытуемые реагировали на направление стрелок, с 10 по 12 блок – на их цвет. Во всех блоках обе характеристики первых трех

стимулов (цвет и направление стрелок) определялись случайным образом. С четвертой задачи и до конца блока последовательность предъявления стимулов устанавливалась либо теми же правилами, которые использовались в эксперименте 1, либо менялась в случайном порядке. В ЭГ1 действовали следующие условия: с 1 по 8 блоки (направление стрелок – правило 1, цвет – правило 2); 9 блок (направление стрелок – случайная, цвет – правило 2); с 10 по 12 блок (направление стрелок – правило 1, цвет – правило 2). Условия предъявления стимулов в ЭГ2: с 1 по 8 блоки (направление стрелок – правило 1, цвет – случайная); 9 блок (направление стрелок – случайная, цвет – случайная); с 10 по 12 блок (направление стрелок – правило 1, цвет – правило 2).

После выполнения 12-го блока проводилось постэкспериментальное интервью и тест на генерацию, аналогичные описанным в эксперименте 1.

Результаты

Во втором эксперименте сначала обрабатывались данные постэкспериментального интервью и теста на генерацию. Затем анализировались данные тех испытуемых, которые не показали признаков усвоения эксплицитного знания последовательностей.

Эксплицитное знание. В постэкспериментальном интервью 29 испытуемых указали, что порядок предъявления стимулов не был случайным, в том числе, 5 испытуемых сообщили, что заметили использование двух закономерностей, 11 испытуемых сообщили о том, что направление стрелок менялось согласно правилу и 13 отметили использование закономерности в изменении цвета стимулов, один из которых полностью воспроизвел использованную последовательность. Ответы на дополнительные вопросы, в основном, совпадали с тем, что сообщали испытуемые в эксперименте 1.

Результаты теста на генерацию показали, что изменение релевантного параметра стимульного материала не приводит к росту количества правильно

спрогнозированных элементов каждой из использованных последовательностей (см. таблицу 2). Наоборот, большая часть участников эксперимента 2 давала прогнозы следующих элементов последовательностей на уровне случайного угадывания. Кроме того, мы дополнительно сравнили общее количество правильно предсказанных элементов последовательности цвета в ЭГ1 и ЭГ2. Поскольку испытуемые ЭГ2 в первой части эксперимента выполняли задание в условиях случайного чередования цвета стимулов, то можно их результат использовать в качестве контрольного условия для анализа эксплицитного знания последовательности цвета в ЭГ1. Обнаруженные результаты не выявили значимых отличий: ЭГ1 дали 102 правильных прогноза, ЭГ2 – 104 правильных прогноза. Это является дополнительным свидетельством того, что подавляющее большинство испытуемых не владели сознательной информацией о структуре последовательности чередования цвета стимулов.

Таблица 2 – Результаты теста на генерацию

Эксплицитное знание последовательности	Испытуемые (%)
Две	16 (26)
Направление стрелок	4 (6)
Цвет	9 (15)
Нет	33 (53)

Имплицитное усвоение последовательности. Из общего массива результатов были удалены первые 12 реакций в каждом блоке, ошибочные реакции $M = 18,5$ ($SD = 16,3$), доля которых составила 2,44%, и данные испытуемых (16 из ЭГ1 и 13 из ЭГ2), правильно предсказавших более трех элементов одной или двух последовательностей в тесте на генерацию.

Анализ результатов первой части процедуры (1-9 блоки) показал, что обе группы значительно сократили среднее ВР с 1 по 8 блок. В ЭГ1 среднее ВР сократилось на 70,4 мс ($t(3958,46) = 11,44$; $p < 0,001$); в ЭГ2 – 75,8 мс ($t(3958,32) = 13,5$; $p < 0,001$). В 9 блоке в обеих группах среднее ВР значимо

возросло: в ЭГ1 на 83,2 мс ($t(3893,79) = 11,86; p < 0,001$); в ЭГ2 на 67,8 мс ($t(3894,01) = 10,59; p < 0,001$).

Анализ результатов второй части (10-12 блоки) процедуры показал, что динамика сокращения ВР при выполнении задачи реагирования на цвет стимулов в ЭГ1 значимо выше, чем в ЭГ2: в ЭГ1 изменение среднего ВР составило 76,5 мс, в ЭГ2 – 33,5 мс ($F(1;3785,04) = 17,31; p < 0,001$). На рисунке 3 показаны средние значения ВР в первой (задача – реагировать на направление стрелок) и второй (задача – реагировать на цвет) частях экспериментальной процедуры.

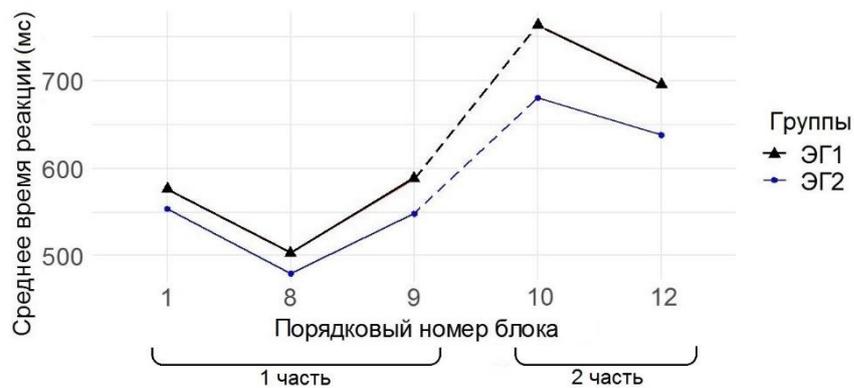


Рисунок 3 – Среднее время реакции в 1 и 2 частях эксперимента

Обсуждение результатов

Сокращение ВР на стимулы, предъявляемые согласно структурной последовательности (в интервале 1-8 блок), а также увеличение ВР при изменении последовательности на случайный порядок (в 9 блоке) свидетельствуют о том, что обе экспериментальные группы усвоили закономерность, определяющую порядок чередования направления стрелок. Соответственно, результаты первой части эксперимента 2 полностью согласуются с данными эксперимента 1.

Не столь однозначно выглядят результаты второй части эксперимента. С одной стороны, в 10 блоке наблюдается более сильное увеличение времени реакции ЭГ1 в сравнении с ЭГ2. С другой стороны, в интервале с 10 по 12

блоки ЭГ1 показала более высокие темпы сокращения ВР. Первый эффект можно рассматривать как свидетельство негативного следствия приобретения знания нерелевантной закономерности испытуемыми ЭГ1, второй, наоборот, – как результат его позитивного влияния. Это разнонаправленное влияние, может быть связано с тем, что имплицитное научение повышает продуктивность в том случае, если ключевые аспекты задачи остаются неизменными, и, наоборот, снижают ее при изменении условий. Множество экспериментов показало, что изменение закономерности (последовательности) приводит к снижению эффективности решения задач (см., например, Heuer, Schmidtke, Kleinsorge, 2001; Gotler, Meiran, Tzelgov, 2003), при этом почти ничего неизвестно о том, как имплицитное знание проявляет себя при изменении других параметров задачи. Тем не менее, оба эффекта, обнаруженные во второй части процедуры, свидетельствуют о том, что испытуемые ЭГ1 и ЭГ2 в первой части эксперимента приобрели различную информацию. Поскольку единственное отличие между ЭГ1 и ЭГ2 в первой части эксперимента заключалось в том, что в ЭГ1 цвет стимулов менялся согласно правилу 2, а в ЭГ2 – в случайном порядке, то можно сказать, что разница между результатами этих групп вызвана усвоением ЭГ1 закономерности, определявшей чередование цвета стимулов.

Обнаруженные во втором эксперименте результаты согласуются с данными исследования Х. Хуанга и коллег (Huang et al., 2014). В нем испытуемые сначала реагировали на стимулы (буквы), затем на фон (цвет). Более высокую производительность во втором задании показали те испытуемые, у которых в первом задании фон менялся согласно правилу. В обоих исследованиях использование второй последовательности отражалось на результате только после изменения целевого (релевантного) параметра стимулов, т.е. после того, как вторая последовательность начинала определять порядок чередования целевого параметра стимулов.

Релевантность используемой закономерности решаемой задаче, вероятно, является необходимым условием для выявления научения. На это в том числе указывают результаты экспериментов с использованием парадигмы «усвоение искусственных грамматик» (см. Eitam, Schul, Hassin, 2009).

Заключение

Результаты проведенных экспериментов воспроизвели эффекты, обнаруженные ранее в эксперименте с использованием двух коррелированных последовательностей (см. Агафонов и др., 2018). В эксперименте 1 было показано имплицитное усвоение релевантной последовательности, а также отсутствие значимого влияния на результат со стороны иррелевантной последовательности. Основной результат эксперимента 2, отражающий разницу в динамике сокращения времени реакции ЭГ1 и ЭГ2 во второй части процедуры, можно рассматривать в качестве свидетельства усвоения иррелевантной последовательности.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют в поддержку гипотезы о способности когнитивного бессознательного обрабатывать несколько потоков информации. Разумеется, любое подтверждение гипотезы не является окончательным. Исследования данной проблемы следует продолжить, обращая особое внимание на то, какое влияние оказывает каждая из используемых закономерностей на выполнение целевой задачи. Другой вывод, который можно сделать вследствие проделанной работы, касается усвоения и применения знания иррелевантной последовательности. Второй эксперимент показал, *во-первых*, что эта последовательность усваивается независимо от релевантной последовательности; *во-вторых*, что для обнаружения эффекта усвоения иррелевантной последовательности требуется изменить условие экспериментальной задачи – сделать этот параметр стимулов целевым.

Список использованных источников

- Агафонов А.Ю. Бессознательные обертоны осознания // По обе стороны сознания. Экспериментальные исследования по когнитивной психологии / Под общ. ред. А.Ю. Агафопова. Самара, Бахрах-М, 2012. С. 6-53.
- Агафонов А.Ю. Эволюционная эпистемология и когнитивная психология сознания, или зачем человеку разум? // Вестник Самарского государственного университета, 2013. № 5(106). С. 165-178.
- Агафонов А.Ю., Бурмистров С.Н., Козлов Д.Д., Крюкова А.П. ИмPLICITное выучивание комбинированных последовательностей // Интеграция образования, 2018. Т. 22. № 2. С. 339-352.
- Агафонов А.Ю., Бурмистров С.Н., Шилов Ю.Е., Фомичева А.Д., Старостин Г.А. ИмPLICITное заучивание последовательностей с различными типами организации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2019. Т. 21, № 66. С. 5-9.
- Бурмистров С.Н., Агафонов А.Ю., Крюкова А.П., Шилов Ю.Е. ИмPLICITное запоминание последовательностей: связь перцептивных и моторных компонентов // Когнитивные штудии: эмерджентность и сложность, когнитивные практики: материалы VIII международной междисциплинарной конференции. Вып. 8 / Под ред. А. П. Лобанова, Н. П. Радчиковой. Минск, БГПУ, 2019. С. 31-38.
- Cohen A., Ivry R.I., Keele S.W. Attention and structure in sequence learning // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 1990. Vol. 16. No. 1. Pp. 17-30.
- Cock J., Meier B. Incidental task sequence learning: perceptual rather than conceptual? // Psychological Research, 2007. Vol. 71. No. 2. Pp. 140-151.
- Curran T. On the neural mechanisms of sequence learning // Psyche, 1995. Vol. 2. No. 2. URL: <http://journalpsyche.org/files/0xaa35.pdf>
- Curran T., Keele S.W. Attentional and nonattentional forms of sequence learning // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 1993. Vol. 19. No. 1. Pp. 189-202.
- Destrebecqz A., Cleeremans A. Can sequence learning be implicit? // New evidence with the process dissociation procedure // Psychonomic bulletin & review, 2001. Vol. 8. No. 2. Pp. 343-350.
- Destrebecqz A., Cleeremans A. Temporal effects in sequence learning // Advances in Consciousness Research, 2003. Vol. 48. Pp. 181-214.
- Deroost N., Coomans D. Is sequence awareness mandatory for perceptual sequence learning: An assessment using a pure perceptual sequence learning design // Acta psychologica, 2018. Vol. 183. Pp. 58-65.
- Eitam B., Schul Y., Hassin R.R. Short Article: Goal relevance and artificial grammar learning // Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2009. Vol. 62. No. 2. Pp. 228-238.
- Gheysen F., Gevers W., De Schutter E., Van Waelvelde H., Fias W. Disentangling perceptual from motor implicit sequence learning with a serial color-matching task // Experimental Brain Research, 2009. Vol. 197. No. 2. Pp. 163-174.

- Gheysen F., Van Opstal F., Roggeman C., Van Waelvelde H., Fias, W. The neural basis of implicit perceptual sequence learning // *Frontiers in human neuroscience*, 2011. Vol. 5 (137). URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00137>
- Gotler A., Meiran N., Tzelgov J. Nonintentional task set activation: Evidence from implicit task sequence learning // *Psychonomic Bulletin & Review*, 2003. Vol. 10. No. 4. Pp. 890-896.
- Heuer H., Schmidtke V., Kleinsorge T. Implicit learning of sequences of tasks // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2001. Vol. 27. No. 4. Pp. 967-983.
- Huang H.X., Zhang, J.X., Liu, D.Z., Li, Y.L., Wang, P. Implicit Sequence Learning of Background and Goal Information Under Double Dimensions // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014. Vol. 116. Pp. 2989-2993.
- Keele S.W., Jennings P., Jones S., Caulton D., Cohen A. On the modularity of sequence representation // *Journal of Motor Behavior*, 1995. Vol. 27. No. 1. Pp. 17-30.
- Keele S.W., Ivry R., Mayr U., Hazeltine E., Heuer H. The cognitive and neural architecture of sequence representation // *Psychological review*, 2003. Vol. 110. No. 2. Pp. 316-339.
- Köhler S., Moscovitch M. Unconscious visual processing in neuropsychological syndromes: A survey of the literature and evaluation of models of consciousness // *Cognitive neuroscience. Studies in cognition*. Cambridge, MA, 1997. Pp. 305-373.
- Mayr U. Spatial attention and implicit sequence learning: Evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1996. Vol. 22. No. 2. Pp. 350-364.
- Meier B., Cock J. Are correlated streams of information necessary for implicit sequence learning? // *Acta Psychologica*, 2010. Vol. 133. No. 1. Pp. 17-27.
- Nissen M.J., Bullemer P. Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures // *Cognitive psychology*, 1987. Vol. 19. No. 1. Pp. 1-32.
- Perruchet P., Amorim M.A. Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: evidence against dissociation // *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 1992. Vol. 18. No. 4. Pp. 785-800.
- Rauch S.L., Savage C.R., Brown H.D., Curran T., Alpert N.M., Kendrick A., ... & Kosslyn S.M. A PET investigation of implicit and explicit sequence learning // *Human Brain Mapping*, 1995. Vol. 3. No. 4. Pp. 271-286.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2019. URL: <https://www.R-project.org/>
- RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio. Inc. Boston, MA, 2016. URL: <http://www.rstudio.com>
- Russeler J., Münte T.F., Rösler F. Influence of stimulus distance in implicit learning of spatial and nonspatial event sequences // *Perceptual and Motor Skills*, 2002. Vol. 95. No. 3. Pp. 973-987.
- Stadler M.A. Statistical structure and implicit serial learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1992. Vol. 18. No. 2. Pp. 318-327.
- Seger C.A. Implicit learning // *Psychological bulletin*, 1994. Vol. 115. No. 2. Pp. 163-196.
- Shanks D.R., St. John M.F. Characteristics of dissociable human learning systems // *Behavioral and brain sciences*, 1994. Vol. 17. No. 3. Pp. 367-395.

- Shin J.C., Ivry R.B. Concurrent learning of temporal and spatial sequences // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2002. Vol. 28. No. 3. Pp. 445-457.
- Weiermann B., Cock J., Meier B. What matters in implicit task sequence learning: Perceptual stimulus features, task sets, or correlated streams of information? // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2010. Vol. 36. No. 6. Pp. 1492-1509.
- Weiermann B., Meier B. Implicit task sequence learning with auditory stimuli // *Journal of Cognitive Psychology*, 2012. Vol. 24. No. 4. Pp. 468-475.
- Wilkinson L., Shanks D.R. Intentional control and implicit sequence learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2004. Vol. 30. No. 2. Pp. 354-369.
- Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, NY, 2016.

References

- Agafonov A.Iu. (2012). Bessoznatel'nye obertony osoznaniia [Unconscious overtones of consciousness] // *Po obe storony soznaniia. Eksperimental'nye issledovaniia po kognitivnoi psikhologii* / A.Iu. Agafonov (Ed.). Samara, Bakhrakh-M Publ. Pp. 6-53. (In Russian)
- Agafonov A.Iu. (2013). Evoliutsionnaia epistemologiya i kognitivnaia psikhologiya soznaniia, ili zachem cheloveku razum? [Evolutionary epistemology and cognitive psychology of consciousness, or why does a man need mind?] // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. No. 5 (106). Pp. 165-178. (In Russian)
- Agafonov A.Iu., Burmistrov S.N., Kozlov D.D., Kriukova A.P. (2018). Implitsitnoe vyuchivanie kombinirovannykh posledovatel'nostei [Implicit Learning of Combined Sequences] // *Integratsiya obrazovaniia*. Vol. 22. No. 2. Pp. 339-352. (In Russian)
- Agafonov A.Iu., Burmistrov S.N., Shilov Iu.E., Fomicheva A.D., Starostin G.A. (2019). Implitsitnoe zauchivanie posledovatel'nostei s razlichnymi tipami organizatsii [Implicit Learning of Sequences with Various Types of Organization] // *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. Vol. 21, No. 66. Pp. 5-9. (In Russian)
- Burmistrov S.N., Agafonov A.Iu., Kriukova A.P., Shilov Iu.E. (2019). Implitsitnoe zapominanie posledovatel'nostei: svyaz' pertseptivnykh i motornykh komponentov [Implicit sequence remembering: the relationship between perceptual and motor components] // *Kognitivnye shtudii: emerzhentnost' i slozhnost', kognitivnye praktiki: materialy VIII mezhdunarodnoi mezhdistsiplinarnoi konferentsii*. Issue 8 / A.P. Lobanov, N.P. Radchikova (Eds.). Minsk, BSPU. Pp. 31-38. (In Russian)
- Cohen A., Ivry R.I., Keele S.W. (1990). Attention and structure in sequence learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 16. No. 1. Pp. 17-30.
- Cock J., Meier B. (2007). Incidental task sequence learning: perceptual rather than conceptual? // *Psychological Research*. Vol. 71. No. 2. Pp. 140-151.
- Curran T. (1995). On the neural mechanisms of sequence learning // *Psyche*. Vol. 2. No. 2. URL: <http://journalpsyche.org/files/0xaa35.pdf>

- Curran T., Keele S.W. (1993). Attentional and nonattentional forms of sequence learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 19. No. 1. Pp. 189-202.
- Destrebecqz A., Cleeremans A. (2001). Can sequence learning be implicit? // *New evidence with the process dissociation procedure // Psychonomic bulletin & review*. Vol. 8. No. 2. Pp. 343-350.
- Destrebecqz A., Cleeremans A. (2003). Temporal effects in sequence learning // *Advances in Consciousness Research*. Vol. 48. Pp. 181-214.
- Deroost N., Coomans D. (2018). Is sequence awareness mandatory for perceptual sequence learning: An assessment using a pure perceptual sequence learning design // *Acta psychologica*. Vol. 183. Pp. 58-65.
- Eitam B., Schul Y., Hassin R.R. (2009). Short Article: Goal relevance and artificial grammar learning // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. Vol. 62. No. 2. Pp. 228-238.
- Gheysen F., Gevers W., De Schutter E., Van Waelvelde H., Fias W. (2009). Disentangling perceptual from motor implicit sequence learning with a serial color-matching task // *Experimental Brain Research*. Vol. 197. No. 2. Pp. 163-174.
- Gheysen F., Van Opstal F., Roggeman C., Van Waelvelde H., Fias, W. (2011). The neural basis of implicit perceptual sequence learning // *Frontiers in human neuroscience*. Vol. 5 (137). URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00137>
- Gotler A., Meiran N., Tzelgov J. (2003). Nonintentional task set activation: Evidence from implicit task sequence learning // *Psychonomic Bulletin & Review*. Vol. 10. No. 4. Pp. 890-896.
- Heuer H., Schmidtke V., Kleinsorge T. (2001). Implicit learning of sequences of tasks // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 27. No. 4. Pp. 967-983.
- Huang H.X., Zhang, J.X., Liu, D.Z., Li, Y.L., Wang, P. (2014). Implicit Sequence Learning of Background and Goal Information Under Double Dimensions // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. Vol. 116. Pp. 2989-2993.
- Keele S.W., Jennings P., Jones S., Caulton D., Cohen A. (1995). On the modularity of sequence representation // *Journal of Motor Behavior*. Vol. 27. No. 1. Pp. 17-30.
- Keele S.W., Ivry R., Mayr U., Hazeltine E., Heuer H. (2003). The cognitive and neural architecture of sequence representation // *Psychological review*. Vol. 110. No. 2. Pp. 316-339.
- Köhler S., Moscovitch M. (1997). Unconscious visual processing in neuropsychological syndromes: A survey of the literature and evaluation of models of consciousness // *Cognitive neuroscience. Studies in cognition*. Cambridge, MA. Pp. 305-373.
- Mayr U. (1996). Spatial attention and implicit sequence learning: Evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 22. No. 2. Pp. 350-364.
- Meier B., Cock J. (2010). Are correlated streams of information necessary for implicit sequence learning? // *Acta Psychologica*. Vol. 133. No. 1. Pp. 17-27.
- Nissen M.J., Bullemer P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures // *Cognitive psychology*. Vol. 19. No. 1. Pp. 1-32.

- Perruchet P., Amorim M.A. (1992). Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: evidence against dissociation // *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*. Vol. 18. No. 4. Pp. 785-800.
- Rauch S.L., Savage C.R., Brown H.D., Curran T., Alpert N.M., Kendrick A., ... & Kosslyn S.M. (1995). A PET investigation of implicit and explicit sequence learning // *Human Brain Mapping*. Vol. 3. No. 4. Pp. 271-286.
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org>
- RStudio Team. (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio. Inc. Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com>
- Russeler J., Münte T.F., Rösler F. (2002). Influence of stimulus distance in implicit learning of spatial and nonspatial event sequences // *Perceptual and Motor Skills*. Vol. 95. No. 3. Pp. 973-987.
- Stadler M.A. (1992). Statistical structure and implicit serial learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 18. No. 2. Pp. 318-327.
- Seger C.A. (1994). Implicit learning // *Psychological bulletin*. Vol. 115. No. 2. Pp. 163-196.
- Shanks D.R., St. John M.F. (1994). Characteristics of dissociable human learning systems // *Behavioral and brain sciences*. Vol. 17. No. 3. Pp. 367-395.
- Shin J.C., Ivry R.B. (2002). Concurrent learning of temporal and spatial sequences // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 28. No. 3. Pp. 445-457.
- Weiermann B., Cock J., Meier B. (2010). What matters in implicit task sequence learning: Perceptual stimulus features, task sets, or correlated streams of information? // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 36. No. 6. Pp. 1492-1509.
- Weiermann B., Meier B. (2012). Implicit task sequence learning with auditory stimuli // *Journal of Cognitive Psychology*. Vol. 24. No. 4. Pp. 468-475.
- Wilkinson L., Shanks D.R. (2004). Intentional control and implicit sequence learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Vol. 30. No. 2. Pp. 354-369.
- Wickham H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, NY.