

УДК 159.938

ОТРАЖЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКА РАЗЛИЧЕНИЯ КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ В ПАРАМЕТРАХ ССП¹

© 2023 г. К. С. Юдаков^{1,*}, В. В. Апанович^{1,2,4,**}, Э. А. Арамян^{2,***},
Д. Л. Гладиллин^{2,3,****}, Ю. И. Александров^{1,2,4,*****}

¹ФГБОУ ВО “Государственный академический университет гуманитарных наук”;
119049, г. Москва, Мароховский пер., д. 26, Россия.

²ФГБУН Институт психологии РАН;

129366, г. Москва, ул. Ярославская, д. 13, корп. 1, Россия.

³ФГБОУ ВО Московский государственный психолого-педагогический университет;
127051, г. Москва, ул. Сретенка, д. 29, Россия.

⁴ФГАОУ ВО Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”;
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20, Россия.

*Магистрант.

E-mail: kost05062000@mail.ru

**Кандидат психологических наук, заместитель декана факультета психологии ГАУГН,
научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. Швыркова ИП РАН, младший научный сотрудник
международной лаборатории социальной нейробиологии ВШЭ.

E-mail: arpanovitschvv@yandex.ru

***Младший научный сотрудник. E-mail: aramyam.eric@gmail.com

****Аспирант ИП РАН, лаборант-исследователь лаборатории нейрокогнитивных исследований
индивидуального опыта МГППУ. E-mail: dima.gladilin.psy@gmail.com

*****Академик РАО, доктор психологических наук, профессор, зав. кафедрой психофизиологии
факультета психологии ГАУГН, зав. лабораторией психофизиологии им. Швыркова ИП РАН, главный
научный сотрудник международной лаборатории социальной нейробиологии ВШЭ.

E-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Поступила 28.07.2023

Аннотация. На основе теории обнаружения сигнала была разработана и апробирована методика, включающая регистрацию электроэнцефалограммы (ЭЭГ), направленная на изучение процессов приобретения и совершенствования навыка. Экспериментальная задача заключалась в различении коротких интервалов времени. Были проанализированы психофизиологические данные 10 участников исследования (группа научившихся) из общей выборки ($N = 28$). Выявлены типичные (встречающиеся у всех участников исследования при решении данной задачи) компоненты связанных с событием потенциалов (ССП) на эпохе предъявления оцениваемого сигнала, описаны их амплитудно-временные характеристики. Полученные компоненты интерпретируются с позиций системно-эволюционного подхода.

Ключевые слова: системно-эволюционный подход, ЭЭГ, психофизика, научение, приобретение навыка, связанные с событием потенциалы, различение коротких интервалов времени.

DOI: 10.31857/S020595920029011-8

В психологии большой пласт исследований относится к проблематике и феноменологии процесса научения, которые можно разделить на относящиеся к двум смежным процессам: приобретение и совершенствование навыка (см., напр., [6]).

Важным аспектом является исследование мозгового обеспечения данных процессов при помощи ЭЭГ (см., напр., [29; 31; 32]). При этом, хоть большая часть теоретических построений подразумевает научение как процесс, большинство ЭЭГ-исследований научения основано на экспериментах, построенных по принципу сравнения “до—после” (см., напр., [31–33]) или на произвольном выделении

¹ Исследование поддержано грантом РНФ № 23-18-00473 (Институт психологии РАН).

эпох анализа [24; 25; 29] и не подразумевающих специального анализа процессуальной составляющей. Ввиду чего мозговое обеспечение научения как процесса является слабо изученным. В основном в фокус анализа попадали такие компоненты, как P300 и CNV, и в различных работах демонстрировалось увеличение амплитуд [31], их уменьшение [30], рост с последующим уменьшением [29] и, напротив, уменьшение с последующим ростом [25]. Исследования научения с позиций системно-эволюционного подхода в основном базируются на дискретном понимании категории системогенеза [1]. Настоящее исследование сформулировано в контексте проблематики континуального характера системогенеза.

Для изучения процессуальной характеристики было необходимо разработать методический аппарат, позволяющий исследовать научение в динамике и выделять типичные (встречающиеся у всех участников исследования) компоненты ССП, характерные для решения задачи, для возможности их использования в дальнейшем в качестве специфических маркеров динамики научения. Нами была использована [4] методика, разработанная В.А. Садовым на основе Теории обнаружения сигнала [23] и методе “Да—Нет” [10] и примененная в работах И.Г. Скотниковой [15; 16]. Данная методика была выбрана, адаптирована и апробирована, потому что она предполагает решение задачи различения коротких интервалов времени, в силу чего она: 1) имеет предполагаемую низкую экологическую валидность [13], что необходимо для исследования научения *de novo* (когда влияние прошлого опыта может быть минимизировано), т.е. для допущения об отсутствии приобретаемого в эксперименте навыка в уже имеющемся опыте; 2) позволяет наблюдать процесс научения растянутым по времени из-за сложности задачи [10]; 3) имеет одинаковые условия (схему, процедуру и предъявляемый материал) и одинаковую систему измерения для процессов приобретения и совершенствования навыка [4]. Также в литературе отмечался [10; 14], но детально не анализировался факт наличия динамики при решении задачи различения коротких интервалов времени. Это позволяет говорить о том, что в данной задаче может наблюдаться процесс научения.

Ранее уже проводились исследования мозгового обеспечения с регистрацией ЭЭГ во время решения задачи оценки временных интервалов. Однако они не подразумевали рассмотрения процессов научения (см., напр., [5; 27; 28]). Большая часть работ, посвященных анализу компонентов ЭЭГ у индивидов при решении ими задачи различения

интервалов времени, базируется на традиционных представлениях о компонентах и предполагает анализ таких компонентов, как, например, P300 и CNV. Эти компоненты связываются с различными когнитивными процессами, и их интерпретация базируется на гносеологическом представлении о мозговом обеспечении поведения (о гносеологическом подходе к психологическим категориям см.: [13]).

Для описания феноменологии и закономерностей мозгового обеспечения процессов приобретения/совершенствования навыка, в том числе при различении коротких интервалов времени, мы опираемся на интерпретационный инструментарий, накопленный в рамках СЭП. С позиций СЭП результатом научения выступают формирование и реорганизация набора функциональных систем, которые актуализируются в ситуации решения задачи, относительно которой происходило научение. Процессы приобретения и совершенствования навыка связываются с системной специализацией нейронов и изменением межсистемных отношений, для изучения которых необходим анализ нейрональной активности в процессе решения задачи, проявляемой в виде изменения частоты электрической активности нейронов [1–3; 17–20]. Ввиду чего динамика амплитудно-временных характеристик определенного набора типичных компонентов ССП позволит исследовать процессуальную характеристику научения. Позитивные и негативные колебания на ЭЭГ позволяют оценить изменение относительного количества актуализируемых систем опыта. Позитивные колебания связываются с увеличением количества актуализированных систем опыта, негативные колебания — с уменьшением количества актуализированных систем опыта [8] и реализацией поведения [12].

Как было описано выше, приобретение и совершенствование навыка понимаются как два разных процесса, поэтому в настоящей работе внимание фокусируется на процессе приобретения навыка. Таким образом, *цель исследования* можно сформулировать как выделение и системно-эволюционное описание типичных компонентов ССП, связанных с поведенческим актом оценки сигнала, при решении задачи различения коротких интервалов времени у группы участников исследования, которые научились выполнению задачи в ходе эксперимента. Анализ динамики амплитудно-временных характеристик выделенных компонентов ССП целью данной работы не являлся.

Предмет исследования — системные процессы при решении задачи различения коротких интервалов времени.

Объект исследования — компоненты ССП и их амплитудно-временные характеристики у участников исследования, которые приобрели навык различения коротких интервалов времени.

МЕТОДИКА

Участники исследования. В исследовании приняло участие 28 человек (20 женщин и 8 мужчин, возраст — от 17 до 45 лет, медиана — 19). Для анализа были отобраны данные участников исследования, которые были включены в группу тех, кто приобрел новый навык: участники исследования ($N = 15$; 11 женщин и 4 мужчины, возраст — от 18 до 44, медиана — 19), которые изначально не решали на достоверно отличающемся от нуля уровне основную экспериментальную задачу (показатель их текущей результативности статистически не отличался от нуля [4]), но в дальнейшем научились [Там же]. В анализ ЭЭГ были включены результаты 10 человек (7 женщин и 3 мужчин, возраст — от 18 до 37, медиана — 19.5), другие участники исследования были исключены в силу большого количества артефактов на записи ЭЭГ. Возраст участников исследования ограничивался интервалом от 18 до 45 лет ввиду того, что данный возрастной период является “относительно стабильным и наиболее адекватным в процессе восприятия временных интервалов” [11, с. 13].

Критерии определения участника исследования как не решавшего задачу и “научившегося”. Если показатели результативности d' (определяемые нами [4] как показатель текущей результативности решения психофизической задачи, построенной на модели теории обнаружения сигнала, который связан с количеством правильных ответов) на стартовом плато [4] были ниже уровня 0.546 (уровень результативности, значения выше которого описываются как неслучайное решение, а значения ниже которого — как случайное [Там же]), то участник исследования определялся как изначально не решающий задачу. Протяженность стартового плато и его среднее значение определялись следующим образом: показатель d' первого окна (с 1-й по 50-ю пробу) статистически сравнивался со всеми последующими по t -критерию Стьюдента (в качестве стандартного отклонения использовалось значение стандартной ошибки показателя d' на данном интервале; $p = 0.05$; $t_{\text{теор}} = 1.984$; степени свободы 49), пока не находилось окно статистически отличающееся от первого. Далее значения d' до первого достоверно отличающегося усреднялись, и это среднее использовалось в качестве показателя стартового плато.

Если участник исследования в течение эксперимента переходил порог результативности в 0.546, то максимальное значение его d' сравнивалось с показателем его стартового плато по t -критерию Стьюдента (в качестве стандартного отклонения использовалось значение стандартной ошибки показателя d' на данном интервале; $p = 0.05$; $t_{\text{теор}} = 1.984$; степени свободы 49), если различие оказывалось статистически достоверным, то участника исследования определяли как “научившегося”. В случае если показатели респондента не соответствовали вышеуказанным критериям, то его показатели не учитывали при анализе физиологических данных в настоящем исследовании.

Схема и процедура исследования. На основе проведенной апробации методики [4] были подобраны параметры экспериментальной задачи и сконструирована процедура исследования. Перед началом эксперимента участники проходили 15-минутную адаптацию к условиям помещения, во время которой проводились инструктаж и предэкспериментальный опрос. Собственно эксперимент состоял из трех задач.

После адаптации зачитывалась инструкция к первой задаче, направленной на проверку скорости и точности ответов участника исследования, по окончании которой участник исследования приступал к выполнению. Задача была следующей: при появлении вертикальных или горизонтальных линий светло-серого цвета на черном фоне необходимо было нажать на левую или правую соответствующую предъявленному сигналу кнопку на клавиатуре (инструкция по нажатию кнопок предполагала контрбалансирование; данная задача выступала в качестве контрольной и сообщала информацию о скорости нажатия указательным и безымянным пальцем для дальнейшего анализа динамики времени ответа).

После прохождения первой задачи экспериментаторы приступали к установке электродов ЭЭГ. После чего участнику исследования зачитывалась инструкция к “сенсibiliзирующей” задаче² (подробнее см. [Там же]), после которой он приступал к ее выполнению. Она представляла собой 1 серию из 150 проб (в среднем серия занимала примерно 10 мин), в каждой из которых участнику исследования было необходимо различать по методу “Да/Нет”

² Феноменологически “сенсibiliзация” — это процесс “врабатывания” в задачу, возникающий вследствие смены поведения. В психофизике характеризуется интеграцией “сенсорных процессов” и изменением показателей “чувствительности” [7]. Таким образом, данная задача необходима для возможности разграничения феноменологии “сенсibiliзации” и феноменологии приобретения/совершенствования навыка [4].

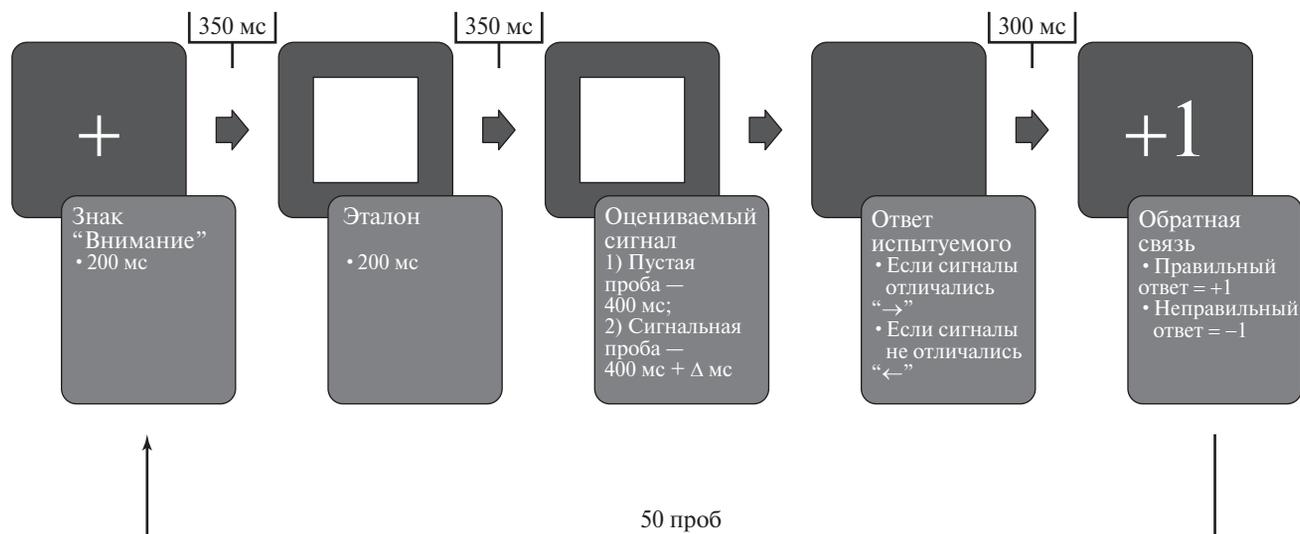


Рис. 1. Описание одной пробы [4]

[10; 23] предъявляемые сигналы по их форме и размеру. Во время этой серии испытуемому последовательно и попарно предъявлялись два прямоугольника, первый из которых был эталоном (3×3 см), а второй либо соответствовал по своим размерам эталону, либо имел размеры 3×3.3 см. Задачей испытуемого было определить, отличался ли второй прямоугольник от эталона. В случае “пустой” пробы необходимо было нажать клавишу “←”, в случае с сигнальной — клавишу “→”. Данная серия была направлена на подготовку испытуемого к прохождению основной экспериментальной серии [4].

Далее испытуемому давался перерыв 1–2 мин, во время которого ему было необходимо сидеть с закрытыми глазами и прослушать инструкцию к третьей (основной) экспериментальной задаче — 10 серий по 50 проб (40–45 мин), между которыми участник сидел с закрытыми глазами. Количество серий участнику исследования не сообщалось. Ему было необходимо различать сигналы по методу “Да/Нет” [10; 23] по параметру длительности их предъявления. После прохождения последней серии участник исследования проходил постэкспериментальный опрос.

Описание одной пробы основной экспериментальной задачи. Предъявление проходило с помощью специально написанной программы Visual Yes–No test³, позволяющей менять все параметры предъявления: размеры, длительности, цвета, оцениваемый параметр, форму и наличие обратной связи, вероятность предъявления и платежные матрицы. Задача представляла собой последовательность нескольких проб.

³ Автор программы — С.А. Карпов

На черном экране (Samsung SyncMaster 2243bw с частотой обновления 60 Гц) на 200 мс предъявлялся белый крест размером 1×1 см (значения по 183 для всех трех составляющих по международной системе RGB), который обозначал начало пробы. Через 350 мс после него на 400 мс предъявлялся эталонный сигнал — белый квадрат (с идентичными значениями по системе RGB) размерами 3×3 см. Далее после паузы в 350 мс предъявлялся оцениваемый сигнал, который либо был равен эталону, либо отличался от него на определенный параметр: в “сенсibiliзирующей” задаче отличался размер сигнала; в основной задаче отличалась длительность предъявления на 66 или 92 мс в зависимости от сложности задачи (обоснование значений см.: [4]). По окончании сигнала участник исследования должен был оценить параметр и дать ответ: если сигналы, по его мнению, отличались, участник исследования нажимал на клавиатуре клавишу “→”; если сигналы были одинаковыми — клавишу “←”. После ответа через 300 мс давалась обратная связь: надпись (с идентичными значениями по системе RGB) “+1” в случае правильного ответа, “-1” — неправильного. Схематичное описание см. на рис. 1.

Метод усреднения показателя d' и компонентов ССП. Показатели d' подсчитывались окнами в 50 проб с шагом в 1 пробу (рис. 2, а). По каждому участнику исследования проводилась проверка отличия распределений ощущений на пустую и сигнальную пробы от нормального для подтверждения правомерности использования показателя d' . Компоненты ССП также усреднялись окнами в 50 проб с шагом в 1 пробу (рис. 2, б) с помощью

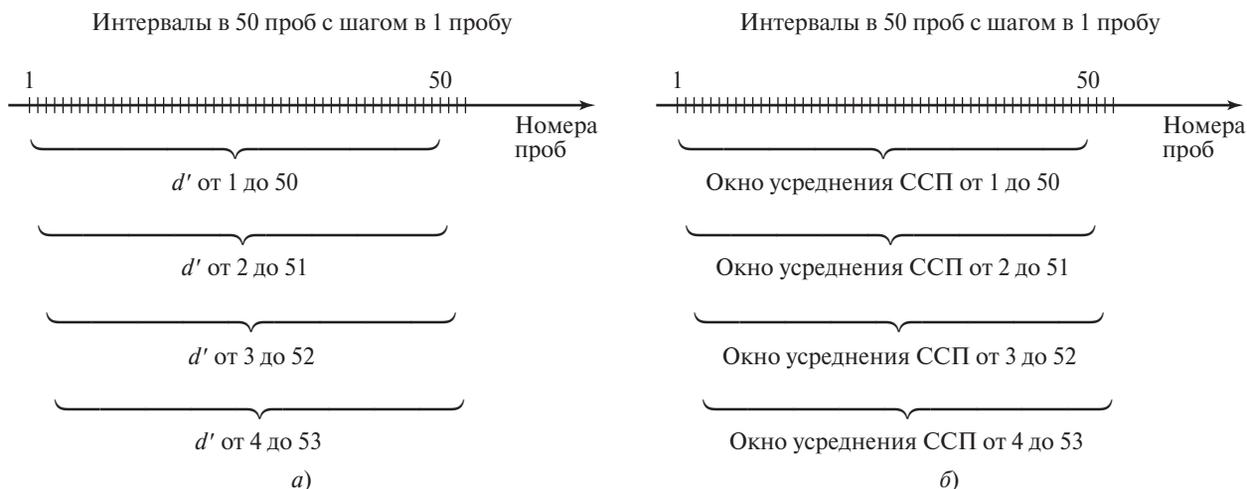


Рис. 2. Иллюстрация интервалов в 50 проб с шагом в 1 пробу

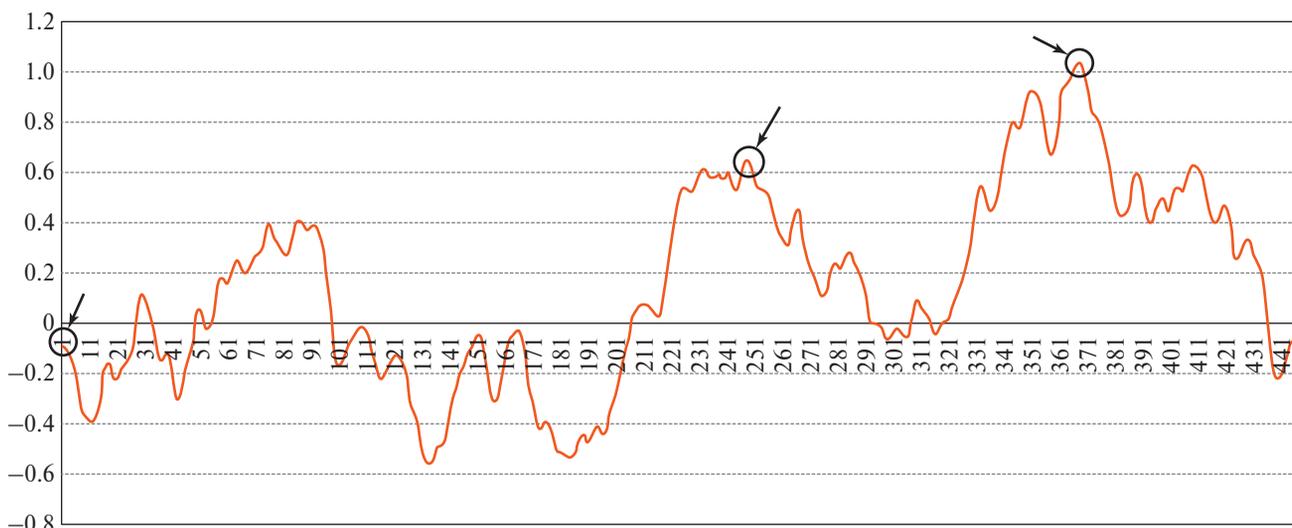


Рис. 3. Эпохи высокой результативности 28-го участника исследования. По вертикали — d' , по горизонтали — окна усреднения специально разработанных программ⁴. Эпоха усреднения была следующая: с момента начала паузы после эталонного сигнала до 400 мс предъявления оцениваемого сигнала (итого 750 мс, см. рис. 1).

Данный метод обработки был выбран для возможности напрямую отталкиваться от поведенческих результатов с высокой степенью дробности анализа и максимальной динамикой рассмотрения [4]. Ввиду специфичности данного способа обработки каждая короткая случайная последовательность одинаковых ответов участника исследования создает незначительные нестационарные колебания в результатах, которые можно назвать случайными. Использовался метод сглаживания Гаусса по 7 точкам. Данный вид анализа был использован

в дальнейшем для получения эпох с наивысшей результативностью.

В данной работе проводился анализ общей феноменологии компонентов ССП в период максимальной результативности решения задачи, которые определялись по следующему принципу: брались окна усреднения ССП, соответствующие пикам результативности (рис. 3), которые были по показателю d' выше значения 0.546. Расстояние между двумя пиками, входящими в анализ, было не менее 50 окон, в случае если они были ближе друг к другу, то бралась эпоха результативности с более высоким показателем d' (см. рис. 3). Также в анализ входило самое первое окно усреднения ССП.

Метод регистрации ЭЭГ. Запись производилась неполяризуемыми хлорсеребряными электродами монополярно в 19 отведениях: Fp1, Fp2, F7, F8, F3, Fz, F4, T3, T4, T5, T6, C3, Cz, C4, P3, Pz,

⁴ Автор программ — С.А. Карпов.

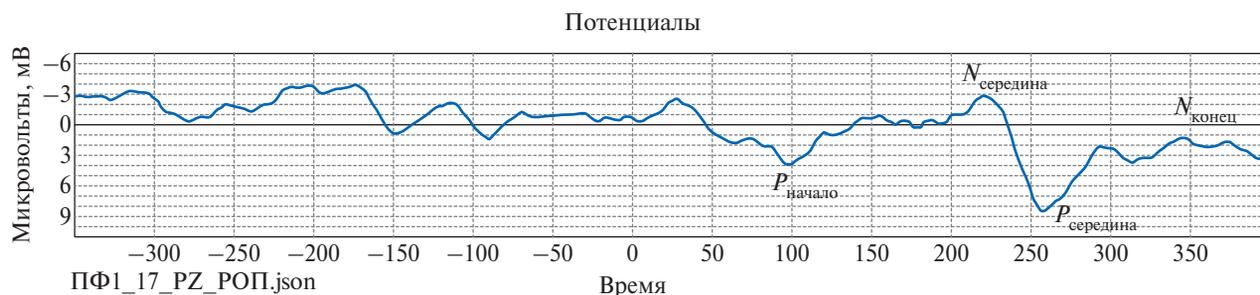


Рис. 4. Компоненты ССП. 1 эпоха анализа. Участник исследования № 17. Отведение Pz

P4, O1, O2. Также устанавливались два индифферентных электрода на сосцевидных отростках за ушами, два электрода для отслеживания артефактов ЭОГ. Контактное сопротивление не превышало 10 кОм для ЭЭГ- и ЭОГ-электродов. Частота дискретизации для ЭЭГ и ЭОГ составляла 250 Гц, ФВЧ — 70 Гц, ФНЧ — 0.1 Гц, режекторный фильтр на частоте — 50 Гц. Модель электроэнцефалограф-регистратора: “Энцефалан-ЭЭГР-19/26”.

После ручного удаления глазодвигательных и мышечных артефактов потенциалы усреднялись относительно точки начала предъявления оцениваемого сигнала.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе обработки были проанализированы поведенческие данные для возможности выделить интересующую нас группу: участников исследования, которые в ходе экспериментальной процедуры приобрели новый навык (не умели решать задачу в начале экспериментальной процедуры, но смогли преодолеть порог неслучайного решения в процессе исследования). Было показано, что из 28 участников исследования только 15 смогли приобрести навык, 2 — усовершенствовать навык. В силу недостаточности выборки усовершенствовавших навык эта группа в данной работе не рассматривалась, поэтому в анализ попали только данные по тем респондентам, которые приобрели новый навык.

В данной группе ($N = 15$) средняя эпоха преодоления точки неслучайности решения ($d' = 0.546$) соответствует 164.7 окна усреднения (пробы с 164 по 213), при этом наблюдается существенная межиндивидуальная вариативность: от 35 эпохи усреднения до 436. Также в конце экспериментальной процедуры у большинства участников исследования наблюдалось утомление, выраженное в резком снижении результативности. В среднем утомление наступало после 8.7 экспериментальной серии из 10 (данные подсчитаны по всей выборке $N = 28$).

Описание компонентов ССП. Было выделено четыре типичных, т.е. встречающихся у всех участников исследования при решении данной задачи, компонента ССП (рис. 4), все из которых приходятся на момент предъявления оцениваемого сигнала⁵ (в период паузы между эталонным и оцениваемым сигналом типичных компонентов обнаружено не было):

- 1) позитивный пик, проявляющийся в начале предъявления оцениваемого сигнала, условное обозначение — $P_{\text{начало}}$ (сопоставим с $P100$);
- 2) негативный пик, проявляющийся в середине предъявления оцениваемого сигнала, — $N_{\text{середина}}$ (сопоставим с $N200$);
- 3) высокоамплитудный позитивный пик, проявляющийся в середине сигнала, — $P_{\text{середина}}$;
- 4) негативный пик, проявляющийся в конце предъявления сигнала, — $N_{\text{конец}}$ (сопоставим с $N300$);

Компоненты $N_{\text{середина}}$ и $P_{\text{середина}}$ выделяются у всех участников исследования в проанализированной группе (т.е. 100%-я воспроизводимость). Компонент $P_{\text{начало}}$ не выделялся лишь у 7-го участника исследования, компонент $N_{\text{конец}}$ — у 14-го. Таким образом, можно говорить о типичности этих компонентов и об их важности для решения данной задачи. Усредненные амплитудные и временные (с поправкой на задержку передачи сигнала между ПК, предъявляющим задачу, и регистрирующим ЭЭГ) характеристики выделенных компонентов представлены в таблице.

Таким образом, наиболее выраженным является паттерн негативного и позитивного пиков (“ N - P -паттерн”), во время развертки которых в среднем в течение 67 мс происходит перепад амплитуд на 6.7 мкВ.

⁵ Мы устанавливаем возможное соответствие с теми компонентами, которые приняты в литературе, однако не соотносим с процессами, традиционно связываемыми с этими компонентами, поскольку рассматриваем системные процессы [17; 18].

Таблица. Усредненные амплитудно-временные характеристики компонентов ССП, выделенных на 1 эпохе анализа

	Латенция пика, мс	Стандартное отклонение латенции пика	Мгновенная амплитуда пика, мкВ	Амплитуда от предыдущего пика (peak to peak), мкВ
$P_{\text{начало}}$	75	12.6	3.100	5.219
$N_{\text{середина}}$	166	32.9	-3.089	-6.190
$P_{\text{середина}}$	233	45.6	3.633	6.723
$N_{\text{конец}}$	309	11.8	-1.833	-5.467

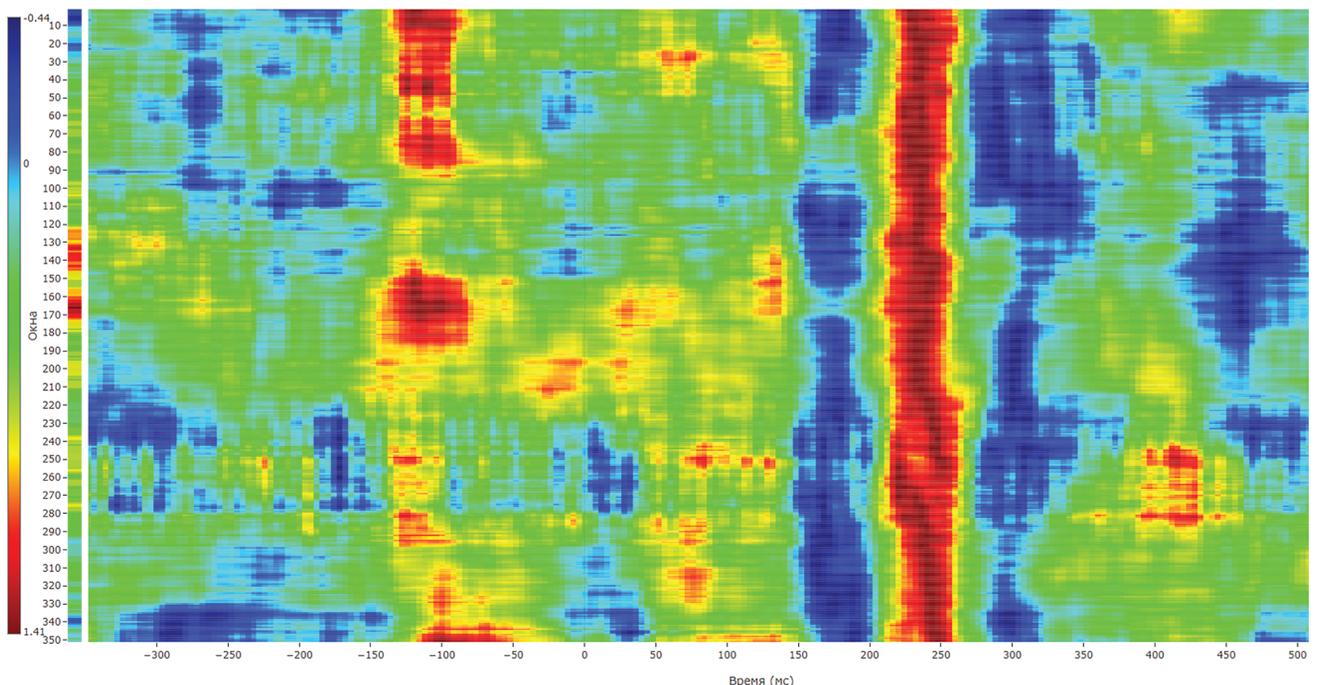
Помимо вышеописанных компонентов с уровнем воспроизводимости, близким к 100%, в ряде случаев были обнаружены два компонента, выделяемые у двух (в каждом случае разных) участников исследования: второй позитивный пик в начале предъявления оцениваемого сигнала (средняя латенция — 148 мс) и дополнительный N - P -паттерн в середине его предъявления (средняя латенция P -компонента — 256 мс). Ввиду нетипичности данных компонентов (т.е. их малой встречаемости) они не вошли в анализ в данной работе

Помимо оценки типичности в контексте воспроизводимости ряда компонентов у всех участников исследования проводилась оценка стабильности данных компонентов по ходу экспериментальной серии. Для этого использовался метод тепловых карт [21]. Было показано, что латенции выделенных компонентов отличаются высокой стабильностью на протяжении всего решения задачи (см.

иллюстрацию динамики компонентов ССП методом тепловых карт на рис. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Процесс оценки длительности предъявляемого сигнала можно охарактеризовать как целостный поведенческий акт, направленный на достижение определенного полезного приспособительного результата. Согласно положениям системно-эволюционного подхода, формируемая на основе параметров ожидаемого результата программа действия (и разворачивающийся на ее основе поведенческий акт) может быть описана как набор определенных этапов, направленных на достижение предварительных (этапных) результатов. Реализация поведенческого акта представляет собой актуализацию набора функциональных систем. Увеличению количества актуализированных систем соответствуют позитивные колебания на ЭЭГ, его снижению

**Рис. 5.** Иллюстрацию динамики компонентов ССП методом тепловых карт. Участник исследования № 10. Отведение F3

Примечание. По оси абсцисс — время в мс, по оси ординат — окна усреднения d' ; красный/бордовый — позитивные пики, синий — негативные.

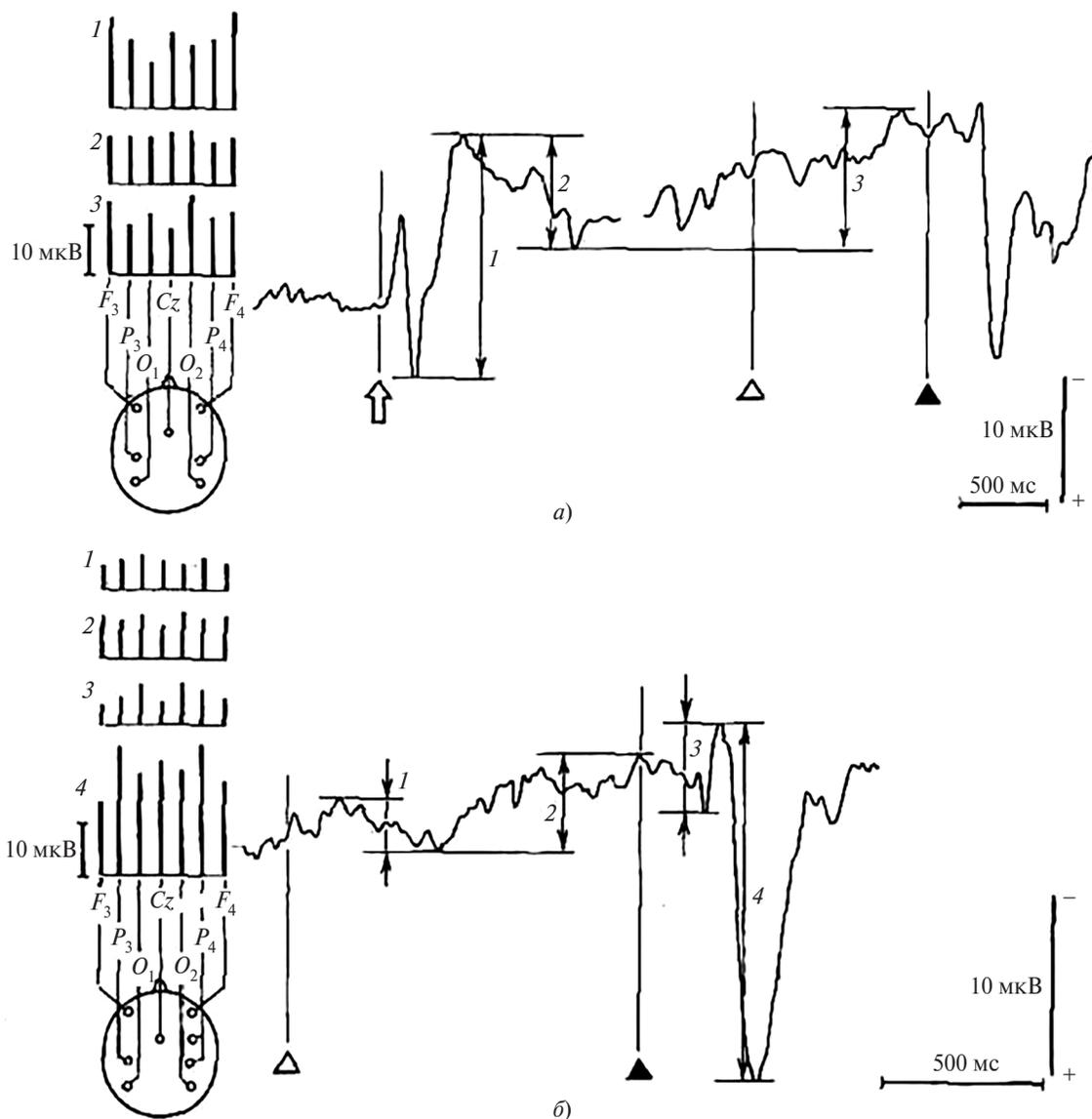


Рис. 6. Потенциал универсальной конфигурации [12]

(и реализации поведения) — негативные [8]. Смена поведенческого акта или этапа поведенческого акта проявляется через негативно-положительный комплекс (иллюстрацию см. рис. 6: потенциал 1 — рис. 6, а, потенциал 4 — рис. 6, б) [8; 12].

В эпоху предъявления оцениваемого сигнала (с 0 до 400 мс) был выделен ряд типичных компонентов ССП: положительный пик ($P_{\text{начало}}$) в начале предъявления сигнала (средняя латенция — 75 мс); в середине интервала предъявления оцениваемого сигнала стабильно выделяются два типичных компонента: высокоамплитудные и следующие подряд с малой латенцией между ними негативное и положительное колебания ($N_{\text{середина}}$, $P_{\text{середина}}$, со средними латенциями 166 и 233 мс соответственно); негативный пик в конце предъявления оцениваемого сигнала $N_{\text{конец}}$ (средняя латенция — 309 мс). Стоит

обратить внимание на то, что такие типичные компоненты встречаются и у испытуемых, которые не решали данную задачу; динамика амплитудно-временных характеристик данных компонентов (в группе научившихся) будет являться логическим продолжением данной работы.

Основываясь на конфигурации данных компонентов, можно условно выделить три эпохи актуализации функциональных систем: позитивация в начале предъявления сигнала, позитивация в составе N - P -паттерна ($N_{\text{середина}}$ - $P_{\text{середина}}$), позитивация в конце предъявления сигнала после $N_{\text{конец}}$, что можно проинтерпретировать следующим образом:

— позитивация к пику $P_{\text{начало}}$ — актуализация функциональных систем, соответствующая началу поведения, направленного на оценивание предъ-

являемого сигнала, что содержательно можно сопоставить с “ранними” компонентами;

— N – P -паттерн соответствует своей архитектурой описанному ранее негативно-позитивному комплексу “потенциала универсальной конфигурации” [12], ввиду чего данную эпоху интерпретируется в качестве смены некоторых этапов поведенческого акта;

— негативацию $P_{\text{середина}} - N_{\text{конец}}$ (схожую с негативной волной ожидания CNV) можно проинтерпретировать как своего рода ожидание окончания сигнала, т.е. ожидание интервала после 400 мс (до 466/492 мс), когда различие (или сходство) оцениваемого сигнала с эталонным будет физически проявляться, а позитивацию после пика $N_{\text{конец}}$ — как актуализацию систем, направленную на различение сигналов в данном интервале.

Самым неоднозначным в контексте интерпретации и сопоставления с литературой является N – P -паттерн. Стоит отметить, что при регистрации ЭЭГ у индивидов во время решения задач похожего рода (при этом данные исследования были направлены на другие цели и задачи) выделялись сходные по конфигурации компоненты. Н.Е. Максимова и И.О. Александров при изучении медленных потенциалов [12] также предъявляли задачу, направленную на обнаружение сигнала, при этом, как можно заметить, полученная ими конфигурация потенциалов (см. рис. 6) очень схожа с полученной нами (см. рис. 4). В.В. Гаврилов при сопоставлении ЭЭГ и регистрации нейрональной активности показал похожую картину [9]. В недавнем исследовании Н. Gibbons [22], направленном на изучение процессов восприятия времени (терминология приведена в соответствии с авторской), использовалась схожая методика предъявления сигналов с близкими параметрами длительности и была получена почти идентичная конфигурация потенциалов. Однако во всех вышеописанных работах данные компоненты либо интерпретировались в другом ключе ввиду иных целей исследований, либо не описывались вовсе. Поэтому на данном этапе исследования сложно однозначно говорить, чем вызвано такое разделение в середине предъявления сигнала.

Выдвигается предположение, что данный феномен может объясняться за счет следующих альтернативных гипотез: 1) происходит дробление оцениваемого сигнала на две части для упрощения задачи сравнения сигналов (предположительно субъективно вместо сравнения 466/492 мс с 400 мс эталона происходит сравнение второй половины сигнала в 266/292 мс с первой половиной, а также с эталонным сигналом); 2) максимальная продолжительность поведенческого акта в целом или

в условиях данной задачи имеет определенные временные ограничения; 3) найденный паттерн является типичным для задач такого рода и отражает смену физической среды (сопоставимо с классической интерпретацией компонента $P200$ [26]). При этом плавную негативацию $P_{\text{начало}} - N_{\text{середина}}$ можно проинтерпретировать как негативную волну ожидания (CNV) смены этапов процесса оценки сигнала.

Объяснение данного феномена требует дальнейшего изучения, а высказанные выше взаимоисключающие допущения можно рассматривать как гипотезы для будущих исследований. Для дальнейшего исследования предполагается проведение контрольных серий с изменением длительности предъявления сигналов с 400 на 600 мс. В случае если дробление поведенческого акта вызвано субъективным делением индивидом оцениваемого сигнала пополам для упрощения решаемой задачи, то данный потенциал будет проявляться также в середине акта (средняя латенция паттерна будет приблизительно равна 300 мс) оценки сигнала в 600 мс. Если же это вызвано временными ограничениями длительности поведенческого акта в условиях данной задачи, то дробление акта оценки сигнала будет проходить качественно другим образом и на эпохе предъявления сигнала в 600 мс будут выделены два следующих друг за другом N – P -паттерна со средними латенциями 200 и 400 мс. Если данный паттерн отражает смену физической среды и концептуально схож с компонентом $P200$, то средняя латенция паттерна останется неизменной (около 200 мс), а следующего за ним второго схожего N – P -паттерна наблюдаться не будет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у группы участников исследования, научившихся в ходе эксперимента выполнению задачи различения коротких интервалов времени, выделяется ряд типичных и стабильных компонентов связанных с событием потенциалов в эпоху предъявления оцениваемого сигнала. Данные компоненты и их соотношение позволяют нам делать предварительные выводы или предположения о характеристиках и составе поведенческого акта, связанного с решением данной задачи.

Выделенные в данном исследовании стабильные типичные компоненты ССП в дальнейшем смогут выступить в качестве маркеров для изучения процессуальной характеристики приобретения и совершенствования навыка.

Ввиду стабильного выделения у всех участников исследования паттерна компонентов ССП, схожего с негативно-позитивным комплексом “потенциала универсальной конфигурации”, который связывается с разделением процесса оценки сигнала на специфические этапы, можно сделать заключение о том, что, несмотря на внешне сходное поведение в каждой из проб, оно характеризуется разным набором сменяющихся поведенческих актов и этапов поведенческих актов, которые не выделяются с “ракурса внешнего наблюдателя”.

По итогам обработки результатов других поведенческих групп и проведении дополнительных контрольных экспериментов станет возможной более точная реконструкция состава поведенческого акта, связанного с данной задачей, и более точная интерпретация выделенных этапов данного поведенческого акта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Ю.И. и др. Консолидация и реконсолидация памяти: психофизиологический анализ // Вопросы психологии. № 3. 2015. С. 133–144.
2. Александров Ю.И. Научение и память: традиционный и системный подходы // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2005. Т. 55. № 6. С. 842–860.
3. Александров Ю.И. Психофизиологическое значение активности центральных и периферических нейронов в поведении. М.: Наука, 1989. 198 с.
4. Апанович В.В. и др. Разработка и апробация психофизической методики исследования приобретения и совершенствования навыка // Экспериментальная психология. 2022. Т. 15. № 3. С. 222–238.
5. Безденежных Б.Н., Мединцев А.А., Александров Ю.И. Системная организация поведения, связанного с произвольной и непроизвольной оценкой интервалов времени разной длительности // Экспериментальная психология. 2009. Т. 2. № 3. С. 5–18.
6. Безденежных Б.Н. Психофизиологические закономерности взаимодействия функциональных систем при реализации деятельности: Дис. ... д-ра психол. наук. М., 2004.
7. Величковский Б.М., Зинченко В.П., Лурия А.Р. Психология восприятия. М.: МГУ, 1973.
8. Гаврилов В.В. Соотношение ЭЭГ и импульсной активности нейронов в поведении у кролика // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях. М.: Наука, 1987. С. 33–44.
9. Гаврилов В.В. Соотношение импульсной активности нейронов с медленными потенциалами мозга в поведении. Дис. ... канд. биол. наук. М., 1992.
10. Гусев А.Н., Измайлов Ч.А., Михалевская М.Б. Измерение в психологии: общий психологический практикум. 2-е изд. М.: Смысл, 1998. 286 с.
11. Лисенкова В.П., Шпагонова Н.Г. Индивидуальные и возрастные особенности восприятия времени взрослыми людьми // Психологический журнал. 2021. Т. 42. № 5. С. 5–16.
12. Максимова Н.Е., Александров И.О. Типология медленных потенциалов мозга, нейрональная активность и динамика системной организации поведения // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях. М.: Наука, 1987. С. 44–72.
13. Пономарев Я.А. Психология творчества. М.: Наука, 1976. 280 с.
14. Садов В.А. Психофизическое исследование сенсорных эталонов памяти // Психологический журнал. 1982. Т. 3. № 1. С. 77–84.
15. Скотникова И.Г. Зрительное различение и рефлексивность-импульсивность // Психологический журнал. 1999. Т. 20. № 4. С. 82–89.
16. Скотникова И.Г. Психофизические характеристики зрительного различения и когнитивный стиль // Психологический журнал. 1990. Т. 11. № 1. С. 84–94.
17. Швырков В.Б. Введение в объективную психологию. М.: Изд-во Институт психологии РАН, 1995.
18. Швырков В.Б. Нейрофизиологическое изучение системных механизмов поведения. М.: Наука, 1978. 240 с.
19. Alexandrov Y.I. et al. Neuronal Bases of Systemic Organization of Behavior // Systems Neuroscience / Eds. A. Cheung-Hoi Yu, L. Li // Advances in Neurobiology. Copenhagen: Springer; Cham, 2018. V. 21. P. 1–33.
20. Alexandrov Yu.I. et al. Formation and realization of individual experience: a psychophysiological approach // Conceptual advances in Russian neuroscience: Complex brain functions // Conceptual advances in brain research. V. 2 / Eds. R. Miller, A.M. Ivanitsky, P.V. Balaban. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 2000. P. 181–200.
21. Delorme A. et al. Grand average ERP-image plotting and statistics: A method for comparing variability in event-related single-trial EEG activities across subjects and conditions // Journal of neuroscience methods. 2015. V. 250. P. 3–6.
22. Gibbons H. Event-related brain potentials of temporal generalization: the P300 span marks the transition between time perception and time estimation // Behavioral Neuroscience. 2022. V. 136. № 5. P. 430–444.
23. Green D.M., Swets J.A. Signal detection theory and psychophysics. N.Y.: Wiley, 1966.
24. Jongsma M.L.A. et al. Tracking pattern learning with single-trial event-related potentials // Clinical Neurophysiology. 2006. V. 117. № 9. P. 1957–1973.

25. *Kececi H., Degirmenci Y., Atakay S.* Habituation and dishabituation of P300 // *Cognitive and behavioral neurology*. 2006. V. 19. № 3. P. 130–134.
26. *Key A.P.F., Dove G.O., Maguire M.J.* Linking brainwaves to the brain: an ERP primer // *Developmental neuropsychology*. 2005. V. 27. № 2. P. 183–215.
27. *Macar F., Vidal F., Casini L.* The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes // *Experimental brain research*. 1999. V. 125. P. 271–280.
28. *Macar F., Vidal F.* Timing processes: an outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models // *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 2009. V. 63. № 3. P. 227–239.
29. *McAdam D.W.* Slow potential changes recorded from human brain during learning of a temporal interval // *Psychonomic Science*. 1966. V. 6. № 9. P. 435–436.
30. *Peters J.F., Billinger T.W., Knott J.R.* Event Related Potentials of Brain (CNV and P300) In A Paired Associate Learning Paradigm // *Psychophysiology*. V. 14. № 6. P. 579–585.
31. *Poon L.W. et al.* Changes of antero-posterior distribution of CNV and late positive component as a function of information processing demands // *Psychophysiology*. 1974. V. 11. № 6. P. 660–673.
32. *Rüsseler J. et al.* Differences in incidental and intentional learning of sensorimotor sequences as revealed by event-related brain potentials // *Cognitive Brain Research*. 2003. V. 15. № 2. P. 116–126.
33. *Verleger R., Gasser T., Möcks J.* Short term changes of event related potentials during concept learning // *Biological Psychology*. 1985. V. 20. № 1. P. 1–16.

ERP PARAMETERS OF THE FORMATION OF THE SKILL OF DISTINGUISHING SHORT TIME INTERVALS⁶

K. S. Yudakov^{1,*}, V. V. Apanovich^{1,2,4,}, E. A. Aramyan^{2,***}, D. L. Gladilin^{2,3,****},
Yu. I. Alexandrov^{1,2,4,*****}**

¹*State Academic University for the Humanities;
119049, Moscow, Maronovsky per., 26, Russia.*

²*Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences;
129366, Moscow, Yaroslavskaya str., 13, bldn. 1, Russia.*

³*Moscow State University of Psychology and Education;
127051, Moscow, Sretenka str., 29, Russia.*

⁴*HSE University;
101000, Moscow, Myasnitskaya str., 20, Russia.*

**Graduate student.*

E-mail: kost05062000@mail.ru

***Deputy Dean of the Faculty of Psychology of the State Academic University for the Humanities,
PhD in Psychology, Researcher at the V.B. Shvyrkov Laboratory of Psychophysiology of the Institute
of Psychology RAS, Junior Researcher at the HSE International Laboratory of Social Neurobiology.*

E-mail: apanovitschvv@yandex.ru

****Junior Researcher.*

E-mail: aramyan.eric@gmail.com

*****Postgraduate Student of the Institute of Psychology RAS, Laboratory Assistant Researcher,
Moscow State University of Psychology and Education.*

E-mail: dima.gladilin.psy@gmail.com

******Academician of Russian Academy of Education (RAE), ScD in Psychology, Professor,
Head of the Department of Psychophysiology of the State Academic University for the Humanities,
Head of the V.B. Shvyrkov Laboratory of Psychophysiology of the Institute of Psychology RAS,
Chief Researcher of the International Laboratory of Social Neurobiology of the HSE.*

E-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Received 28.07.2023

⁶The research is supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-18-00473 (Institute of Psychology of Russian Academy of Sciences).

Abstract. A method including registration of an electroencephalogram (EEG) has been developed and tested to study the processes of acquisition/improvement of a skill. The method is based on the Signal Detection Theory. The experimental task was to distinguish of short time intervals. The psychophysiological data of 10 study participants (learning group) from the total sample ($N = 28$) were analyzed. Typical components of event-related potentials (ERPs) during the presentation of the estimated signal were identified. Time-amplitude characteristics of the components were analyzed. The results obtained are discussed from a system-evolutionary approach.

Keywords: system-evolutionary approach, EEG, psychophysics, learning, improvement of the skill, event-related potentials, detection of short time intervals.

REFERENCES

1. *Aleksandrov Ju.I. i dr.* Konsolidacija i rekonsolidacija pamjati: psihofiziologičeskij analiz. *Voprosy psihologii.* № 3. 2015. P. 133–144. (In Russian)
2. *Aleksandrov Ju.I.* Nauchenie i pamjat': tradicionnyj i sistemnyj podhody. *Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti im. I.P. Pavlova.* 2005. V. 55. № 6. P. 842–860. (In Russian)
3. *Aleksandrov Ju.I.* Psihofiziologičeskoe značenie aktivnosti central'nyh i periferičeskikh nejronov v povedenii. Moscow: Nauka, 1989. 198 p. (In Russian)
4. *Apanovich V.V. i dr.* Razrabotka i aprobacija psihofizičeskoi metodiki issledovanija priobretenija i sovershenstvovanija navyka. *Jeksperimental'naja psihologija.* 2022. V. 15. № 3. P. 222–238. (In Russian)
5. *Bezdenezhnyh B.N., Medynceva A.A., Aleksandrov Ju.I.* Sistemnaja organizacija povedenija, svjazannogo s proizvol'noj i neproizvol'noj ocenкой intervalov vremeni raznoj dritel'nosti. *Jeksperimental'naja psihologija.* 2009. V. 2. № 3. P. 5–18. (In Russian)
6. *Bezdenezhnyh B.N.* Psihofiziologičeskie zakonomernosti vzaimodejstvija funkcional'nyh sistem pri realizacii dejatel'nosti: Dis. ... d-ra psihol. nauk. Moskva, 2004. (In Russian)
7. *Velichkovskij B.M., Zinchenko V.P., Lurija A.R.* Psihologija vosprijatija. Moscow: MGU, 1973. (In Russian)
8. *Gavrilov V.V.* Sootnošenie JeJeG i impul'snoj aktivnosti nejronov v povedenii u krolika. JeJeG i nejronal'naja aktivnost' v psihofiziologičeskikh issledovanijah. Moscow: Nauka, 1987. P. 33–44. (In Russian)
9. *Gavrilov V.V.* Sootnošenie impul'snoj aktivnosti nejronov s medlennymi potencialami mozga v povedenii: Dis. ... kand. biol. nauk. Moskva, 1992. (In Russian)
10. *Gusev A.N., Izmajlov Ch.A., Mihalevskaja M.B.* Izmerenie v psihologii: obshhij psihologičeskij praktikum. 2-e izd. Moscow: Smysl, 1998. 286 p. (In Russian)
11. *Lisenkova V.P., Shpagonova N.G.* Individual'nye i vozrastnye osobennosti vosprijatija vremeni vzroslymi ljud'mi. *Psikhologičeskii zhurnal.* 2021. V. 42. № 5. P. 5–16. (In Russian)
12. *Maksimova N.E., Aleksandrov I.O.* Tipologija medlennyh potencialov mozga, nejronal'naja aktivnost' i dinamika sistemnoj organizacii povedenija. JeJeG i nejronal'naja aktivnost' v psihofiziologičeskikh issledovanijah. Moscow: Nauka, 1987. P. 44–72. (In Russian)
13. *Ponomarjov Ja.A.* Psihologija tvorčestva. Moscow: Nauka, 1976. 280 p. (In Russian)
14. *Sadov V.A.* Psihofizičeskoe issledovanie sensorynyh jetalonov pamjati. *Psikhologičeskii zhurnal.* 1982. V. 3. № 1. P. 77–84. (In Russian)
15. *Skotnikova I.G.* Zritel'noe različenie i reflektivnost'-impul'sivnost'. *Psikhologičeskii zhurnal.* 1999. V. 20. № 4. P. 82–89. (In Russian)
16. *Skotnikova I.G.* Psihofizičeskie harakteristiki zritel'nogo različeniya i kognitivnyj stil'. *Psikhologičeskii zhurnal.* 1990. V. 11. № 1. P. 84–94. (In Russian)
17. *Shvyrvov V.B.* Vvedenie v obektivnuju psihologiju. Moscow: Izd-vo Institut psihologii RAN, 1995. (In Russian)
18. *Shvyrvov V.B.* Nejrofiziologičeskoe izučenie sistemnyh mehanizmov povedenija. Moscow: Nauka, 1978. 240 p. (In Russian)
19. *Alexandrov Y.I. et al.* Neuronal Bases of Systemic Organization of Behavior. *Systems Neuroscience.* Eds. A. Cheung-Hoi Yu, L. Li. *Advances in Neurobiology.* Copenhagen: Springer; Cham, 2018. V. 21. P. 1–33.
20. *Alexandrov Yu.I. et al.* Formation and realization of individual experience: a psychophysiological approach. *Conceptual advances in Russian neuroscience: Complex brain functions. Conceptual advances in brain research.* V. 2. Eds. R. Miller, A.M. Ivanitsky, P.V. Balaban. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 2000. P. 181–200.
21. *Delorme A. et al.* Grand average ERP-image plotting and statistics: A method for comparing variability in event-related single-trial EEG activities across subjects and conditions. *Journal of neuroscience methods.* 2015. V. 250. P. 3–6.
22. *Gibbons H.* Event-related brain potentials of temporal generalization: the P300 span marks the transition between time perception and time estimation. *Behavioral Neuroscience.* 2022. V. 136. № 5. P. 430–444.
23. *Green D.M., Swets J.A.* Signal detection theory and psychophysics. New York: Wiley, 1966.
24. *Jongsma M.L.A. et al.* Tracking pattern learning with single-trial event-related potentials. *Clinical Neurophysiology.* 2006. V. 117. № 9. P. 1957–1973.

25. *Kececi H., Degirmenci Y., Atakay S.* Habituation and dishabituation of P300. *Cognitive and behavioral neurology*. 2006. V. 19. № 3. P. 130–134.
26. *Key A.P.F., Dove G.O., Maguire M.J.* Linking brainwaves to the brain: an ERP primer. *Developmental neuropsychology*. 2005. V. 27. № 2. P. 183–215.
27. *Macar F., Vidal F., Casini L.* The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes. *Experimental brain research*. 1999. V. 125. P. 271–280.
28. *Macar F., Vidal F.* Timing processes: an outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 2009. V. 63. № 3. P. 227–239.
29. *McAdam D.W.* Slow potential changes recorded from human brain during learning of a temporal interval. *Psychonomic Science*. 1966. V. 6. № 9. P. 435–436.
30. *Peters J.F., Billinger T.W., Knott J.R.* Event Related Potentials of Brain (CNV and P300) In A Paired Associate Learning Paradigm. *Psychophysiology*. V. 14. № 6. P. 579–585.
31. *Poon L.W. et al.* Changes of antero-posterior distribution of CNV and late positive component as a function of information processing demands. *Psychophysiology*. 1974. V. 11. № 6. P. 660–673.
32. *Rüsseler J. et al.* Differences in incidental and intentional learning of sensorimotor sequences as revealed by event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*. 2003. V. 15. № 2. P. 116–126.
33. *Verleger R., Gasser T., Möcks J.* Short term changes of event related potentials during concept learning. *Biological Psychology*. 1985. V. 20. № 1. P. 1–16.