

УДК 612.8

О ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПРОСТОЙ СЕНСОМОТОРНОЙ РЕАКЦИИ

© 2023 г. А. А. Кулаков*

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева — КАИ, Казань, Россия

*E-mail: alekulakov@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.07.2022 г.

После доработки 17.09.2022 г.

Принята к публикации 18.11.2022 г.

К настоящему времени изучено большое разнообразие распределений простой сенсомоторной реакции (ПСМР). В данной работе мы также изучили распределения этого явления, с учетом того, что ПСМР имеет постоянную и переменную части. Распределение постоянной компоненты ПСМР носило характер нормального, а распределение переменных компонент имело более сложный вид. Анализ распределения ПСМР у одного испытуемого в течение 36 мин показал, что как постоянная, так и переменная части ПСМР имели многопиковое распределение и длинный “хвост” в диапазоне больших значений. Изучение поведения параметров ПСМР в течение относительно длительного периода времени наряду с возрастанием постоянной части ПСМР выявило периодические и скачкообразные изменения как постоянной компоненты, так и переменных компонент. Предполагается, что подобные различия связаны с изменением в структуре передачи возбуждения от сенсоров до моторной коры во времени.

Ключевые слова: простая сенсомоторная реакция, распределение латентного времени, утомление, постоянная и переменная части латентного времени.

DOI: 10.31857/S0131164622600616, **EDN:** MJYNNB

Простая сенсомоторная реакция (ПСМР) широко применяется для изучения различных психофизиологических явлений [1, 2]. В работе [3] показано, что значения латентного времени в зависимости от возраста очень вариабельны, и для одного возраста превышают временной тренд изменений, что позволяет говорить о преимуществе индивидуальной вариабельности латентного времени перед различными воздействиями. Изучение распределения латентного времени дает сильные отклонения от нормального распределения, которые заключаются в том, что диапазон значений этого параметра от минимального до пикового значения частоты встречаемости гораздо меньше, чем от пикового до максимальных значений.

При этом данные получались для разных ответов: обычная сенсомоторная реакция [4], реакции на движущийся объект [5–7], саккады [8–11], мультимодальные ответы [12], условно рефлекторные ответы у крыс [13], и разных стимулов: световые вспышки [14], постоянный сигнал до ответа, предъявление слова [15], картинки, интервалы между спайками [16].

Рассмотрению различных аспектов этого явления посвящен ряд обзоров [17–26]. Модели для распределений предлагают самые различные — нормальное распределение, экспоненциально-нормальное, логнормальное, обратно-нормальное, Вейбулла, Вальда, и другие [5, 15, 17,

27]. Конечно, такое разнообразие вызывает разногласия и неопределенности. Возможно, это связано с различными методиками измерения, так как предъявление визуального сигнала может быть и в виде пятна на экране монитора, или слова, или иконки, картинки, или импульса света. Часто сигнал различается по интенсивности. Обычная практика измерений заключается в том, что время ожидания от предыдущего указывающего сигнала до сигнала (импульса, либо непрерывно длящегося) на реакцию составляет 1–5 с, причем время ожидания изменяется случайным образом, чтобы испытуемый не смог привыкнуть к режиму возбуждения и подстроиться к нему. При этом для достижения большей точности, проводится большое количество измерений, на это уходит достаточно много времени, за которое испытуемый может ощущать утомление. Однако следует обратить внимание на явление, которое почему-то не получило должного внимания исследователей. Это явление непостоянства латентного времени от периода ожидания [28], когда при малом времени ожидания латентное время больше, чем при длительном. Мы повторили эксперименты *P. Niemi* и *R. Naatanen* [28], максимально упростив ход исследования, т.е. отказавшись от предшествующего периода (*Foreperiod*), так как в предварительных опытах было показа-

но, что использование предшествующего периода значительно искажает зависимость.

Нами было показано, что латентное время состоит из двух величин: постоянной и переменной, при этом, чем короче время ожидания, тем больше латентное время. Процесс снижения латентного времени с увеличением периода ожидания укладывается в модель мультиэкспоненциального спада, который длится как раз 3–5 с [29]. Это означает, что в массиве данных появляются высокие значения латентного времени, связанные с вариацией времени ожидания. Поэтому мы предприняли исследование по определению распределения параметров ПСМР у группы испытуемых с учетом этого момента. Кроме того, исследовали, как изменяются параметры ПСМР в ходе их длительного измерения, чтобы оценить влияние утомления.

МЕТОДИКА

В исследовании участвовало более 370 студентов (средний возраст 15–16 лет) колледжа КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева (г. Казань) в рамках занятий по общей биологии для иллюстрации понятия ПСМР. Измерения проводили на добровольцах в 2015–2016 и 2016–2017 учебных годах в 19 группах. Измерения выполняли однократно после инструктажа. Кроме того, в исследовании принимали участие студенты 3–4 курсов в рамках занятий по физиологии человека. Протокол эксперимента подробно описан в нашей ранее опубликованной работе [29]. На экране монитора компьютера в центре высвечивалось красное квадратное пятно размером 5 мм. Испытуемый должен был сразу нажать на кнопку мыши и тем самым погасить пятно. После этого выдерживался промежуток времени ожидания (1–3000 мс, представленный рандомизированным образом) и вновь на экране появлялось пятно, цикл повторялся 50 раз. Интервалы ожидания располагались по квадратичному закону, так что при коротких периодах ожидания расстояние между соседними точками было меньше. Так старались охватить весь динамический диапазон времени ожидания. Общее время исследования на одного испытуемого составляло 80–90 с. Результаты измерений записывали. Анализ и определение параметров спада латентного времени реакции проводили с некоторыми изменениями. Ранее [29] мы использовали ранжирование значений латентного времени по убыванию, а времени ожидания — по возрастанию согласно работе [30], затем, начиная с перегиба в “хвосте” зависимости, фиксировали последующие на одном уровне (примерно в последней трети четверти зависимости). Подход, который предлагал А.М. Кукинов [30], заключающийся в сдвиге всей кривой относительно центральной точки против часовой стрелки, не использовался ввиду достаточно большого разброса экспериментальных значений. При ранжирова-

нии экспериментальных значений по убыванию, на снижение кривой, обусловленное процессом снижения латентного времени, накладывается вариационный ряд ошибки, тоже снижающийся, но нелинейно. Поэтому выбрав точку перегиба в “хвосте” ранжированной зависимости, фиксировали на этом уровне значения латентного времени и запоминали разницы между ранжированным и фиксированным значениями. После этого вычитали эти разницы из симметричных точек (относительно центра) в начале зависимости. Таким образом, из ранжированных значений вычленили приблизительно вариационную кривую ошибки. Этот подход мы предварительно проверяли на искусственно зашумленных мультиэкспоненциальных зависимостях подобно работе [31] и убедились в достаточно хорошей “реконструкции” экспериментальных кривых. Когда в экспериментальных значениях встречались слишком сильные отклонения (либо реагирование раньше предъявления раздражителя, либо чрезмерное запаздывание), мы отбрасывали эти точки, или устанавливали вместо ошибочного среднее между соседними точками. Ход изменения экспериментальных значений в ходе “реконструкции” приведен на рис. 1. Таких правок, как правило, на зависимость было 1–5. После этого производили определение параметров спада с использованием модели:

$$I_t = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \exp(-t/\tau_i), \quad (1)$$

где A_0 — постоянная величина латентного времени, A_i и τ_i — амплитуда и постоянная релаксации i -той компоненты соответственно, t — момент времени от предыдущей реакции на раздражение, I_t — определяемая величина латентного времени.

Расчеты проводили с помощью подпрограммы “поиск решения” методом обобщенного понижающего градиента программы “Microsoft Excel”. Средняя относительная ошибка составляла 3–5%. Статистические расчеты также проводили с помощью программы “Microsoft Excel”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемая выборка (377 испытуемых) позволяла получить достаточно четкие зависимости. Менее всего вариабельность оказалась у постоянной величины латентного времени t_0 (среднее — 221.2 мс, ошибка — 18.7 мс). Гистограмма распределения латентного времени дает близкую к нормальному распределению зависимость (рис. 2, А). А вот гистограммы времен релаксации быстрой и медленной компонент спада имеют длинный хвост в сторону больших значений (рис. 2, Б, В). Поскольку эти гистограммы построены по “реконструированным” данным, было интересно сравнить их с распределением реальных ошибок, т.е. с разностями между эксперимен-

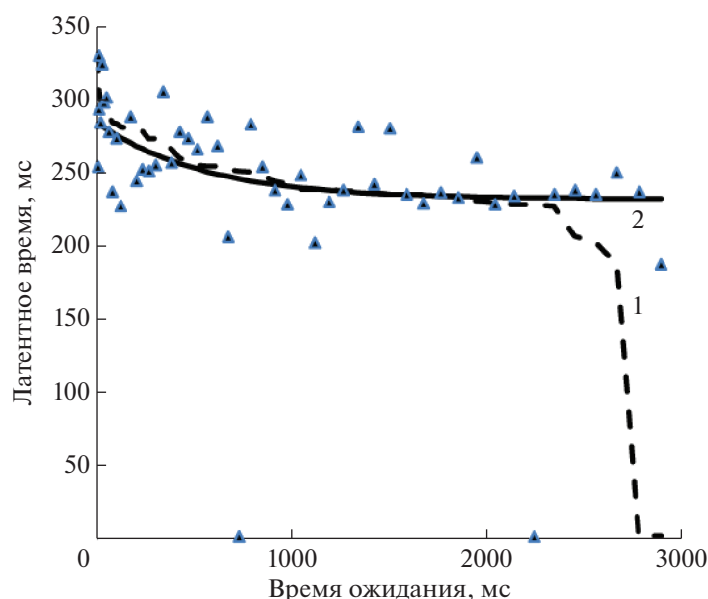


Рис. 1. Зависимость латентного времени от периода ожидания.

Треугольники — экспериментальные точки. 1 — зависимость после ранжирования. 2 — вычисленная по уравнению (1) зависимость.

тальными и теоретическими значениями. При этом, чтобы сравнивать достаточно большие различия между испытуемыми, а также учитывая тот факт, что в зависимости от времени ожидания латентное время снижается, мы использовали значения приведенной ошибки, т.е.:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{эксп}} - t_{\text{теор}}}{t_{\text{теор}}}, \quad (2)$$

где Δt — ошибка при данном времени ожидания, $t_{\text{эксп}}$ — величина экспериментального значения латентного времени при данном периоде ожидания, $t_{\text{теор}}$ — величина рассчитанного значения латентного времени при данном периоде ожидания. Таким образом, для каждого испытуемого получалось до 49 значений ошибки, а всего более 23 тысяч значений, что позволило построить гистограмму с большим количеством квантилей (рис. 2, Г). Поскольку здесь мы использовали все экспериментальные значения без исключений, гистограмма имеет несколько другой вид, нежели на рис. 2, А. При величине приведенного значения ошибки, равной -1 , имеется узкий пик. Это значения ошибки, связанные с неправильным досрочным нажатием на кнопку мыши. Ошибки запаздывания распределены по времени в виде относительно длинного хвоста. Тем не менее, за исключением досрочных реагирований, сравнение полученного распределения с нормальным по методу Смирнова-Колмогорова [32] дало величину значимости $-p = 0.01$, т.е. можно утверждать, что распределение приведенной ошибки очень близко к нормальному.

В отличие от постоянного латентного времени, графики распределения периода релаксации быстрой и медленной компонент показали сильную асимметрию с длинным хвостом в области больших значений, что позволяет говорить о разнотипности постоянной и переменной компонент латентного времени.

Эти данные были получены в результате однократных измерений у достаточно большой выборки испытуемых. Поскольку вариабельность полученных результатов очень высока, мы решили проверить распределение у одного испытуемого. Из группы студентов 3 курса вечернего отделения был выбран испытуемый с высоким коэффициентом силы центральной нервной системы (ЦНС) по Е.П. Ильину [33], определенной по теппинг-тесту.

С тем, чтобы уменьшить влияние продолжительности испытания, 50 интервалов времени ожидания были подобраны в виде блока 5×10 измерений так, чтобы эти интервалы были псевдослучайно разбросаны по блоку так, чтобы по горизонтали и по вертикали среднее время ожидания было бы примерно одинаково. Сформированная последовательность затем была повторена в полученном порядке много раз, так что получился ряд из периодически повторяющихся с периодом 50 интервалов времен ожидания. Испытуемого предупредили, что измерение будет проводиться до 1200 предъявлений стимулирующего пятна на экране монитора с тем, чтобы он был внимателен в течение всего периода. В результате этого эксперимента был получен массив из 2 столбцов значений, первый — времени ожидания, второй — соответственно латентному времени. Определение

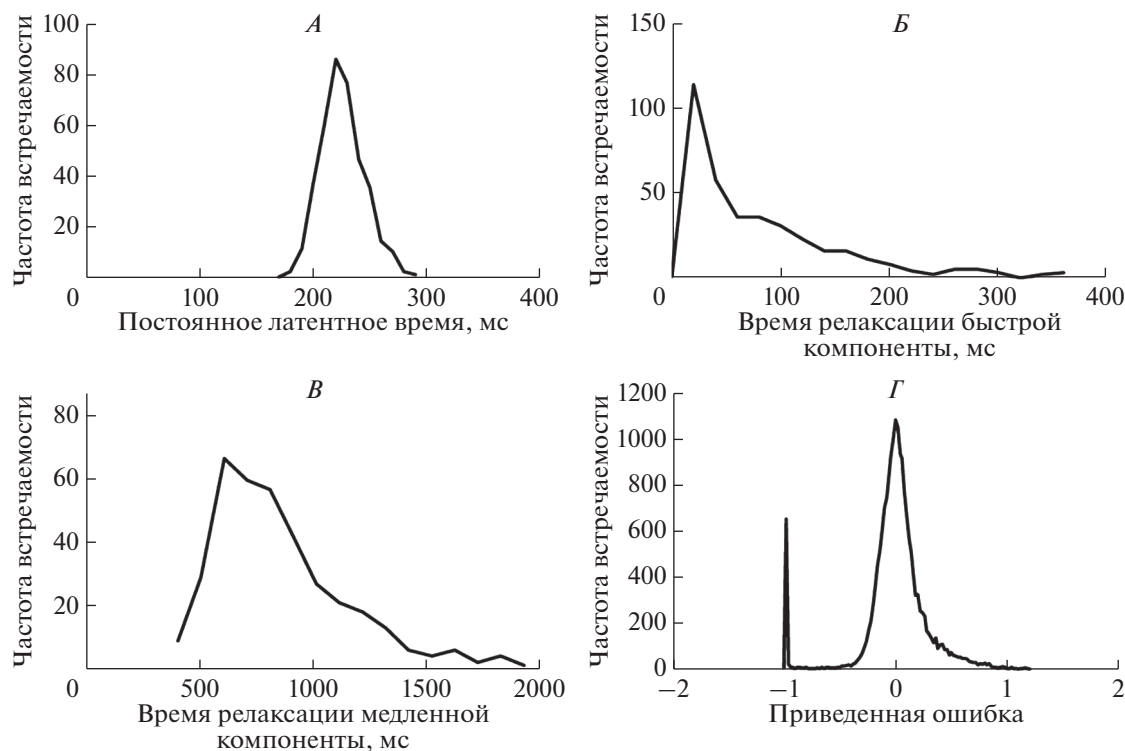


Рис. 2. Распределение параметров простой сенсомоторной реакции (ПСМР) у группы учащихся.

A – постоянное латентное время; *B* – время релаксации быстрой компоненты; *V* – время релаксации медленной компоненты; *G* – приведенная ошибка.

параметров ПСМР проводилось по 50 последовательным парам значений, и это были значения для нулевого времени эксперимента. Затем производили сдвиг на 1 пару массива, и происходил расчет параметров для второго времени эксперимента и т.д., такой подход всегда позволял производить расчет по 50 различным точкам, и при этом всегда расчет производился по всем 50 интервалам ожидания и латентности. При использовании случайного предъявления времен ожидания какие-то точки неизбежно выпадали бы, наряду с появлением других двойных точек. Таким образом, мы получили 1200 значений параметров реакции. На рис. 3 представлены значения параметров простой зрительно-моторной реакции: постоянного времени реакции, времен релаксации быстрой и медленной компонент, а также распределение приведенных ошибок. Как видно из рис. 3, по сравнению с однократными измерениями, наблюдаются значительные отличия. Во-первых, распределение постоянного времени реакции имеет сложный, имеющий несколько пиков вид, диапазон значений составляет примерно 60 мс, что не намного меньше, чем на рис. 2, *A*. Распределения времен релаксаций также имеют несколько пиков, не так сильно выраженных, как для постоянного времени. Распределение ошибок дает одновершинную зависимость, но вершина сдвинута в отрицательную сторону, и также появляется значительный хвост в сторону

больших положительных отклонений ошибки. Нужно отметить, что форма распределения для небольшого количества точек (примерно 15–20% от общего числа) сильно варьировала, появлялись дополнительные пики или плечи то с одной стороны, то с другой.

Поскольку, как мы показали ранее [29], между постоянной компонентой и переменными имеется обратная корреляционная связь, мы также представили и временные зависимости поведения этих параметров, как показано на рис. 4. Временные ходы представленных параметров имеют сложный характер, есть резкие скачки и квазипериодические колебания. При этом изменения постоянного времени (имеющего тренд к увеличению) и медленной компоненты заметным образом идут в противофазе, что совпадает с нашими предыдущими наблюдениями. Наряду с медленными изменениями, присутствуют очень быстрые и скачкообразные сдвиги. На рис. 5 показаны временные зависимости изменения медленной компоненты от постоянной компоненты.

На рис. 5 кружками показаны значения, а пунктирные линии соединяют соседние точки. Точки образуют несколько кластеров, которые явно показывают обратную зависимость константы релаксации медленной компоненты в зависимости от постоянного латентного времени, как мы отмечали в работе [29]. Также можно ви-

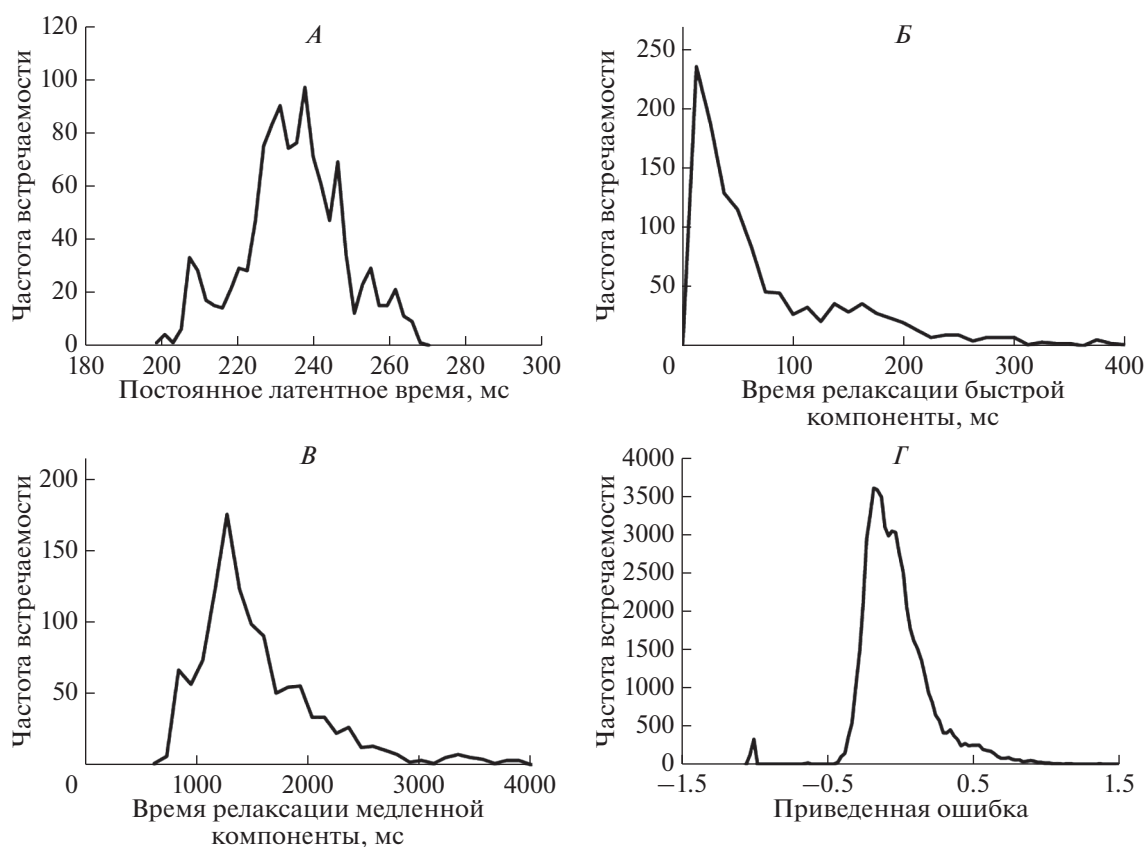


Рис. 3. Распределение параметров простой сенсомоторной реакции (ПСМР) у одного испытуемого в ходе длительного измерения. Обозначения см. рис. 2.

деть, что наблюдаются скачкообразные прыжки между кластерами. В результате образуется весьма сложный путь движения по времени.

Были представлены данные по одному испытуемому, которого выбрали в связи с очень стабильной нервной системой. Достаточно сказать, что из 1200 предъявлений стимула испытуемый только 7 раз нажал кнопку досрочно, тогда как в эксперименте с большим количеством участников бывали случаи, когда такие досрочные нажатия встречались по 3–5 раз из 50 предъявлений стимула. У других представителей этой группы, где проводились долгосрочные испытания, временные зависимости были более сложные.

Временные изменения проверяли другим способом. В силу использования “реконструкции” кривых зависимости латентного периода от времени ожидания, могут быть возражения, заключающиеся в том, что могли получить кажущиеся зависимости. Поэтому использовали измерение корреляции. Поскольку параметры простой сенсомоторной реакции определяли по 50 последовательным парам значений, по этим же точкам находили и коэффициент корреляции, т.е. корреляцию между временем ожидания и величиной латентного периода. Затем, производя сдвиг на

одну точку времени ожидания, как это делалось для кривых на рис. 4, *A–B*, мы повторяли измерения коэффициента корреляции. На рис. 4, *Г* показана временная зависимость коэффициента корреляции. Как видно из рисунка, коэффициент корреляции имеет отрицательный характер и колебательно меняется от -0.7 почти до нуля, т.е. от высокой степени корреляции – спада, до высокой степени разброса.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение модифицированного нами метода ранжирования данных, предложенного А.М. Кукиновым [30], стало возможным, поскольку зависимость латентного времени простой зрительно-моторной реакции от времени ожидания описывается монотонным спадом [29, 31]. Это позволило резко понизить среднюю ошибку измерения, и произвести вычисления параметров простой сенсомоторной реакции.

Поскольку ПСМР (как зрительная, так и аудио) зависит от времени ожидания, то вполне логичным было использование приведенной ошибки. Так как ПСМР уменьшается со временем ожидания до постоянной величины (примерно в районе 3–5 с), то сравнивать распределение

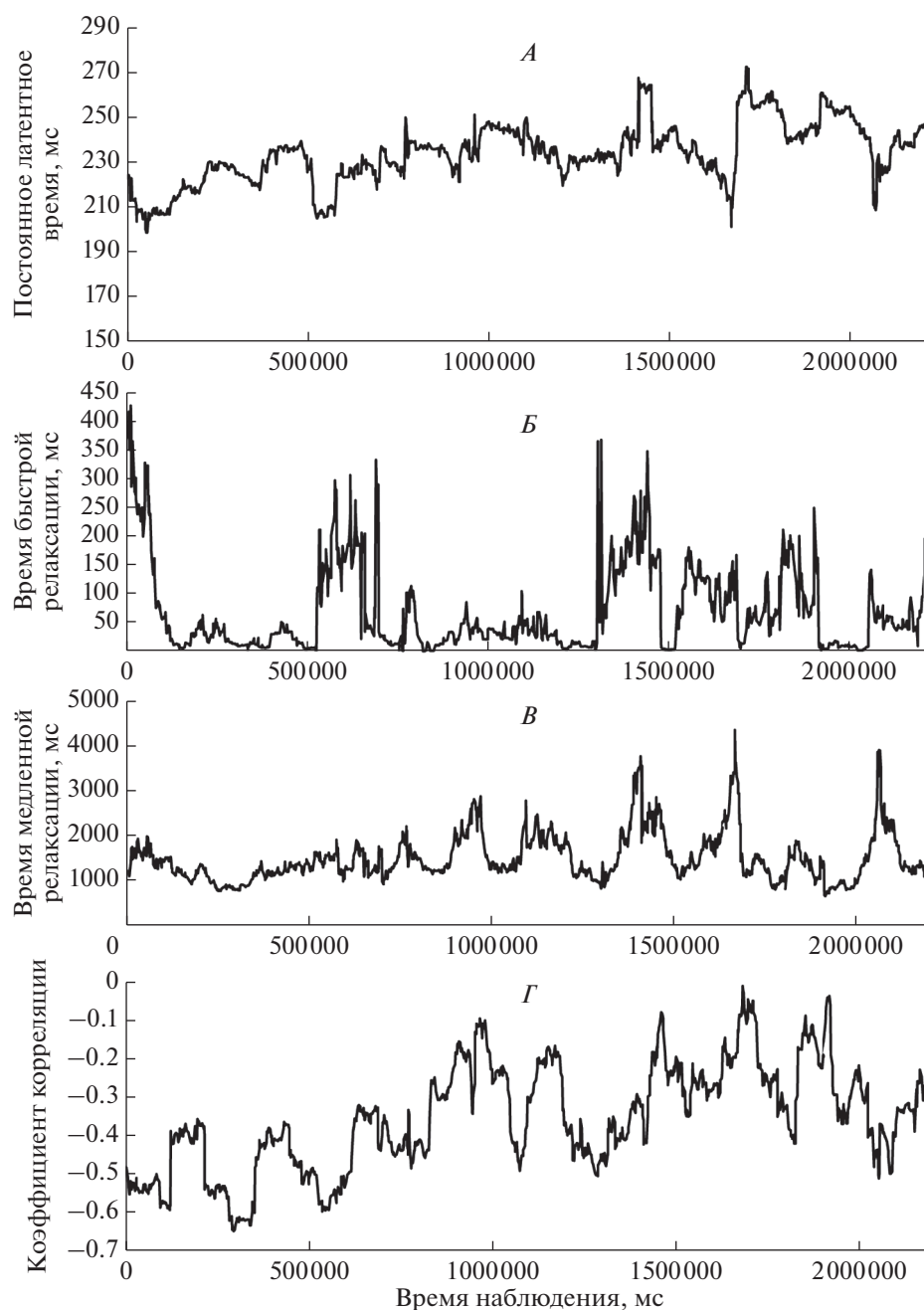


Рис. 4. Временной ход изменений параметров простой сенсомоторной реакции (ПСМР) у одного испытуемого в ходе длительного измерения.

A — постоянное латентное время; *Б* — время релаксации быстрой компоненты; *В* — время релаксации медленной компоненты; *Г* — коэффициент корреляции.

при различных периодах ожидания некорректно без учета такого уменьшения. Использование приведенной ошибки, т.е. отношения разницы между экспериментальным значением латентного времени и расчетным, полученным из модели, деленной на расчетное значение, позволяет сравнить данные при различных периодах ожидания. В результате получается распределение с медианой около нуля, что мы и наблюдали на рис. 3, *Г*. При этом, если расчетные величины получали из

частично реконструированной зависимости (т.е. ошибочные значения приравнивали к соседним в зависимости), то приведенные ошибки рассчитывали из неисправленных экспериментальных значений. В результате распределение получилось практически симметричное, медиана и среднее отличались незначительно. Таким образом, наш подход «реконструирования» оправдал себя и позволил сделать сравнительные заключения. Использование приведенной ошибки позволяет в

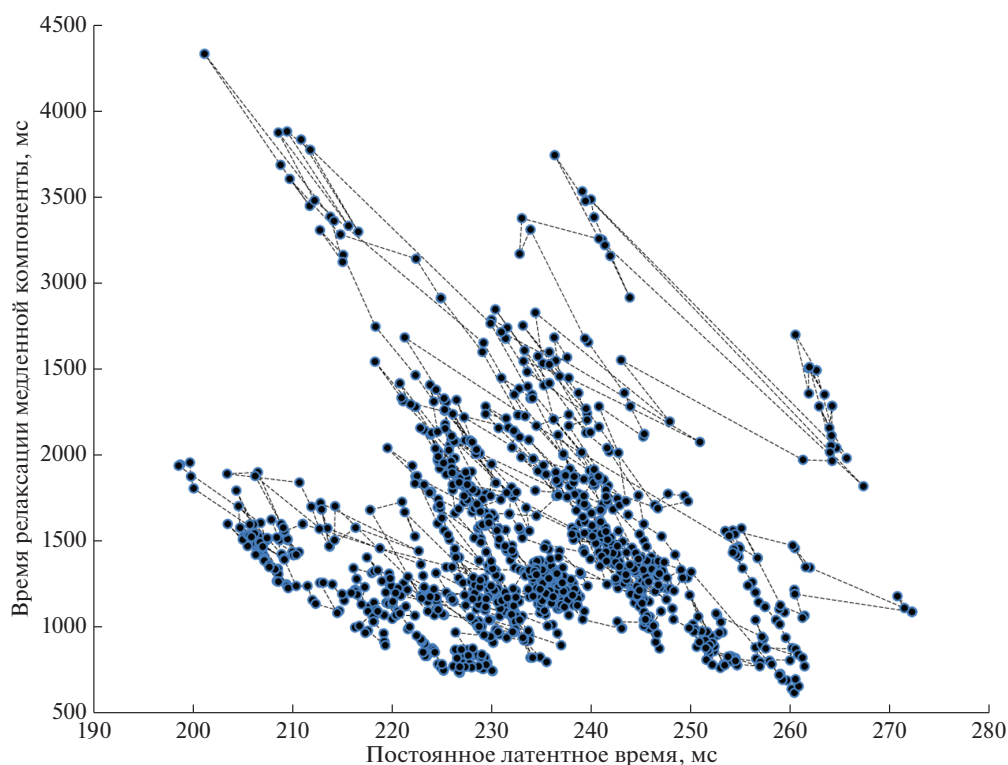


Рис. 5. Зависимость времени релаксации медленной компоненты от постоянного латентного времени. Кружки — значения при i -ом измерении, пунктирная линия — соединение соседних значений.

значительной степени убрать длинный хвост в распределении в сторону больших величин реакции, и сделать вывод о том, что распределение постоянной величины сенсомоторной реакции имеет характер нормальной зависимости. Таким образом, разброс в значениях латентного времени отражает случайные процессы в рефлекторной дуге. Можно считать, что несимметричность в распределении, полученная многими авторами, происходит вследствие непринятия во внимание нестабильности простой сенсомоторной реакции, т.е. ее зависимости от времени ожидания. А время ожидания, как известно, экспериментаторы специально варьируют, чтобы испытуемые не смогли приспособиться к ритму предъявления стимула. В работе [29] мы показали пример такого приспособливания. Предъявление стимула происходило в зависимости от реакции испытуемого: если он реагировал быстрее, то время ожидания уменьшалось на 10%, если медленнее, то увеличивалось на 10%. Испытуемый, почувствовав это, стал приспособливаться, в результате кажущееся латентное время сократилось до величины порядка 130 мс, и ограничивалось только возможностями рефлекторной дуги. Испытуемый предугадывал следующее предъявление сигнала. В то же время наличие хвоста в больших значениях отражает уже изменения внутри рефлекторной дуги и воздействие окружения ЦНС, которые наглядно

проявляются в ходе временной зависимости параметров простой сенсомоторной реакции.

Следующий важный факт мы получили в результате длительного эксперимента, когда испытуемый реагировал на предъявление стимула в течение более 36 мин. Как и предполагалось, распределение имеет сложный многокомпонентный вид. Это связано с тем, что, во-первых, в результате утомления постоянная часть простой реакции увеличивалась и, во-вторых, на это повышение накладывались какие-то колебательные изменения и скачки. В случае с медленной компонентой релаксации довольно явно выявляются колебания с периодом 2–3 мин (в среднем 160 с). При этом построение зависимости “время релаксации медленной компоненты от латентного времени” показывает, что здесь, наряду с колебательными процессами, происходят перескоки из одного соотношения в другое. Эти колебания имеют аналогичные времена с наблюдаемыми 2–3-минутными колебаниями мозговых потенциалов головного мозга [34–36]. На эти колебания накладываются скачкообразные изменения более быстрого порядка. В соответствии с этим кривая распределения ошибок сдвинута в отрицательную сторону и имеет длинный положительный хвост. Рассмотрение временной зависимости коэффициента корреляции дает период колебаний несколько больше — 3 мин, что позволяет нам трактовать изменения как периодические колебания от высо-

кой степени упорядоченности передачи возбуждения от сенсоров до моторных зон к меньшей упорядоченности этого процесса, когда разброс данных повышался.

Можно считать, что это обусловлено подключением-отключением различных групп нейронов или даже нервных узлов в составе рефлекторной дуги. Как известно, существуют многочисленные связи между нейронами [37], которые могут быть функционально активными, либо неактивными. Кроме этого, в последнее время появилось много работ о том, что рефлекторные дуги от сенсоров к моторным областям часто имеют мультимодальный характер, что усложняет реакции на возбуждение [38, 39] и расширяет область распределения времени реакции [12]. По-видимому, можно говорить о нескольких состояниях рассматриваемой рефлекторной дуги, которые переходят одно в другое с соответствующими изменениями функционирования. Отражением этого является наличие двух компонент релаксации передачи возбуждения от заторможенного состояния (сразу после реагирования) до стабильного, относительно скоростного уровня передачи возбуждения [29, 31]. С практической точки зрения, следует воздерживаться от длительных многократных за один раз измерений времени реакции, в силу наблюдаемых нами утомления и колебаний, и перейти к серии в несколько дней краткосрочных измерений, что усложняет работу, но уточнит результаты.

Таким образом, изучение параметров ПСМР показало более сложную организацию этого процесса, и может помочь в объяснении целого ряда пока непонятных явлений.

ВЫВОДЫ

1. Использование метода ранжирования данных позволяет достаточно точно определять параметры изменения ПСМР после реагирования.
2. Распределение постоянной части ПСМР имеет вид нормального распределения.
3. Длительное измерение параметров ПСМР выявило наличие 2–3-минутных колебаний этих параметров.
4. Наряду с минутными колебаниями, имеются также быстрые, скачкообразные сдвиги параметров ПСМР.
5. При измерениях ПСМР следует отдавать предпочтение краткосрочным сериям из нескольких измерений в разные дни, а не длительным многоповторным измерениям, если не изучать временные характеристики специально, а проводить сравнительные исследования.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях и одобрены Локальным этическим комитетом

Казанского государственного медицинского университета (Казань).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Luce R.D. Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization. Oxford University Press. USA, 1986. 577 p.
2. Шумова С.В., Муравьева И.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18. № 5. С. 2831.
3. Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W., Herron T.J. Factors influencing the latency of simple reaction time // Front. Hum. Neurosci. 2015. V. 9. P. 131.
4. Hsu Y.-F. On measuring the minimum detection time: A simple reaction time study in the time estimation paradigm // Br. J. Math. Stat. Psychol. 2005. V. 58. Pt. 2. P. 259.
5. Зайцев А.В., Скорик Ю.А. Математическое описание сенсомоторной реакции. Распределение Времени // Физиология человека. 2002. Т. 28. № 4. С. 123.
6. Zaitsev A.V., Skorik Yu.A. Mathematical Description of Sensorimotor Reaction Time Distribution // Human Physiology. 2002. V. 28. № 4. P. 494.
7. Leunissen I., Zandbelt B.B., Potocanac Z. et al. Reliable estimation of inhibitory efficiency: to anticipate, choose or simply react? // Eur. J. Neurosci. V. 45. № 12. P. 1512.
8. Voskuilen R.C., Teodorescu A. Modeling 2-alternative forced-choice tasks: Accounting for both magnitude and difference effects // Cogn. Psychol. 2018. V. 103. P. 1.
9. Carpenter Scott R.H.S., McDonald A. LATER predicts saccade latency distributions in reading // Exp. Brain Res. 2007. V. 177. № 2. P. 176.
10. Madelain L., Champrenaut L., Chauvin A. Control of Sensorimotor Variability by Consequences // J. Neurophysiol. 2007. V. 98. № 4. P. 2255.
11. Story G.W., Carpenter R.H.S. Dual LATER-unit model predicts saccadic reaction time distributions in gap, step and appearance tasks // Exp. Brain Res. 2009. V. 193. № 2. P. 287.
12. Noorani I., Gao M.J., Pearson B.C., Carpenter R.H.S. Predicting the timing of wrong decisions with LATER // Exp. Brain Res. 2011. V. 209. № 4. P. 587.
13. Gray R., Spence C., Ho C., Tan H.Z. Efficient Multimodal Cuing of Spatial Attention // Proceedings of the IEEE. 2013. V. 101. № 9. P. 2113.
14. Reinagel P. Speed and Accuracy of Visual Motion Discrimination by Rats // PLoS One. 2013. V. 8. № 6. P. e68505.
15. Соболев В.И. Характеристика простых психомоторных реакций при чередующейся разномодальной сенсорной стимуляции (электромиографическое исследование) / Ученые записки Крымского

- федерального университета имени В.И. Вернадского, Биология. Химия. Т. 5(71). 2019. № 1. С. 126.
15. *Baayen R.H., Milin P.* Analyzing Reaction Times // *Int. J. Psychol. Res.* 2010. V. 3. № 2. P. 12.
 16. *Harris C.M., Waddington J.* On the convergence of time interval moments: caveat sciscitator // *J. Neurosci. Methods.* 2012. V. 205. № 2. P. 345.
 17. *Hélie S.* An Introduction to Model Selection: Tools and Algorithms // *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology.* 2006. V. 2. № 1. P. 1.
 18. *Whelan R.* Effective analysis of reaction time data // *Psychol. Rec.* 2008. V. 58. P. 475.
 19. *Medina J.M.* Multiplicative processes and power laws in human reaction times derived from hyperbolic functions // *Physics Letters A.* 2012. V. 376. № 19. P. 1617.
 20. *Noorani I.* LATER models of neural decision behavior in choice tasks // *Front. Integr. Neurosci.* 2014. V. 8. P. 67.
 21. *Noorani I., Carpenter R.H.S.* Full reaction time distributions reveal the complexity of neural decision-making // *Eur. J. Neurosci.* 2011. V. 33. № 11. P. 1948.
 22. *Levakova M., Ditlevsen S., Lansky P.* Estimating latency from inhibitory input // *Biol. Cybern.* 2014. V. 108. № 4. P. 475.
 23. *Bååth R.* Estimating the distribution of sensorimotor synchronization data: A Bayesian hierarchical modeling approach // *Behav. Res. Methods.* 2016. V. 48. № 2. P. 463.
 24. *Matzke D., Love J., Heathcote A.* A Bayesian approach for estimating the probability of trigger failures in the stop-signal paradigm // *Behav. Res. Methods.* 2017. V. 49. № 1. P. 267.
 25. *Donkin C., Brown S.* Response Times and Decision-Making / *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience.* John Wiley & Sons, 2018. 624 p.
 26. *Tejo M., Araya H., Niklitschek-Soto S., Marmolejo-Ramos F.* Theoretical models of reaction times arising from simple-choice tasks // *Cogn. Neurodyn.* 2019. V. 13. № 4. P. 409.
 27. *Schweickert R., Giorgini M.* Response time distributions: Some simple effects of factors selectively influencing mental processes // *Psychon. Bull. Rev.* 1999. V. 6. № 2. P. 269.
 28. *Niemi P., Naatanen R.* Foreperiod and simple reaction time // *Psychol. Bull.* 1981. V. 89. № 1. P. 133.
 29. *Кулаков А.А.* Особенности простой психофизиологической реакции // *Физиология человека.* 2018. Т. 44. № 4. С. 60.
Kulakov A.A. Features of a Simple Psychophysiological Reaction // *Human Physiology.* 2018. V. 44. № 4. P. 412.
 30. *Кукинов А.М.* Применение порядковых статистик и ранговых критериев для обработки наблюдений. Поиск зависимости и оценка погрешности. М.: Наука, 1985. С. 97.
 31. *Кулаков А.А.* Анализ зашумленного экспоненциального спада как моделирование торможения простой психомоторной реакции / Матер. III Межд. научн.-практ. конф. "Современные проблемы развития фундаментальных и прикладных наук". 25 апреля 2016. Praha. Czech Republi. Изд. дом. "Science of European", 2016. Т. 3. С. 67.
 32. *Лемешко Б.Ю.* Непараметрические критерии. Руководство по применению. Изд-во НГУ, 2014. 162 с.
 33. *Ильин Е.П.* Дифференциальная психофизиология, изд. 2. СПб.: Питер, 2001. 464 с.
 34. *Аладжалова Н.А.* Психофизиологические аспекты сверхмедленной ритмической активности головного мозга. М.: "Наука", 1979. 214 с.
 35. *Кребс А.А., Филиппов И.В., Пугачев К. и др.* Влияние нейромодуляторных центров на сверхмедленную биоэлектрическую активность первичных корковых отделов сенсорных систем головного мозга // *Сенсорные системы.* 2015. Т. 29. № 2. С. 163.
 36. *Пугачев К.С., Филиппов И.В., Кребс А.А. и др.* Мультисенсорные процессы переработки информации в корковых представительствах зрительной, слуховой и вкусовой сенсорных систем человека при участии сверхмедленных колебаний потенциалов // *Сенсорные системы.* 2016. Т. 30. № 1. С. 79.
 37. *Reimann M.W., Nolte M., Scolamiero M. et al.* Cliques of neurons bound into cavities provide a missing link between structure and function // *Front. Comput. Neurosci.* 2017. V. 11. P. 48.
 38. *Spence C., Deroy O.* How automatic are crossmodal correspondences? // *Conscious. Cogn.* 2013. V. 22. № 1. P. 245.
 39. *Briscoe R.E.* Multisensory processing and perceptual consciousness: Part II // *Philosophy Compass.* 2017. V. 12. P. e12423.

On the Variability of a Simple Sensorimotor Reaction

A. A. Kulakov*

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

*E-mail: alekulakov@yandex.ru

To date, a wide variety of distributions of the simple sensorimotor reaction (SSR) has been studied. In this work, we also studied the distributions of this phenomenon, taking into account the fact that SSR has a constant and a variable part. The distribution of the constant component of the SSR had a normal character, while the distribution of the variable components had a more complex form. Analysis of the distribution of SSR in one subject for 36 minutes showed that both the constant and variable parts of SSR had a multi-peak distribution and a long "tail" in the range of large values. The study of the behavior of the SSR parameters over a relatively long period of time, along with an increase in the constant part of the SSR, revealed periodic and abrupt changes in both the constant component and the variable components. It is assumed that such differences are associated with a change in the structure of the transmission of excitation from sensors to the motor cortex over time.

Keywords: simple sensorimotor reaction, distribution of latent time, fatigue, constant and variable parts of latent time.