

УДК 159.938.3

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОСТЫХ ПСИХОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ЧЕРЕДУЮЩЕЙСЯ РАЗНОМОДАЛЬНОЙ СЕНСОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ (ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Соболев В. И.

*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

Использование метода ЭМГ-анализа позволило провести точное измерение параметра «время обнаружения стимула – stimulus detection time, sDT» в составе простых зрительно- и аудиомоторной реакции. Показано, что у девушек возрастом 18–19 лет sDT для простой зрительно-моторной реакции составило $148 \pm 1,36$ мс, а для аудиомоторной реакции соответственно $115 \pm 1,38$ мс. При выполнении усложненной простой сенсомоторной реакции путем использования приема постоянной равновероятностной смены модальности предъявляемого стимула (свет или звук) значение параметра «времени обнаружения стимула» удлинялось на $22 \pm 2,2$ мс (для зрительно-моторной реакции) и на $23 \pm 2,5$ мс (для аудиомоторной реакции), или на 15 % и 20 %. Феномен снижения скорости выполнения составных элементов усложненной простой сенсомоторной реакции может быть связан, по результатам вычисления степени флуктуаций в цепном ряду динамики, с ухудшением стабильности их выполнения (на 36 % для зрительно-моторной и 46 % для аудиомоторной реакций) за счет возрастания пула так называемых удлиненных реакций при одновременном уменьшении числа «быстрых». С точки зрения психофизиологической организации сенсомоторных актов снижение скорости выполнения усложненных простых реакций может быть обусловлено эффектом перераспределения ресурсов внимания вследствие необходимости его удержания одновременно на двух разномодальных объектах – источниках сенсорных сигналов.

Ключевые слова: разномодальная сенсорная стимуляция, простые сенсомоторные реакции; стабильность реакций.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей функционального состояния центральной нервной системы с помощью методов психометрии остается широко распространенным в исследованиях психофизиологического характера, что связано с их высокой информативностью и базовыми механизмами нейронной организации сенсомоторного ответа [1–4, 6, 8, 9, 11, 16, 20]. В настоящее время ведутся интенсивные исследования в области построения моделей, описывающих основные принципы функционирования нейронных сетей ЦНС при обработке сенсорной информации и формировании решения [5, 10, 15–18], проводятся работы с картированием мозга и определением латентности вызванных потенциалов [1, 2, 7], разрабатываются теории формирования ощущения, восприятия и сенсорного осознания, построенных на так называемом принципе "кольца" А. М. Иваницкого

[7], "динамического ядра" Дж. Эделмена [14], а также на результатах исследований В. Я. Сергина [10] и др. Однако многие теоретические аспекты проблемы организации психомоторного ответа остаются недостаточно исследованными. К числу таких проблем можно отнести вопросы, связанные с проведением сравнительной оценки степени стабильности выполнения разномодальных простых сенсомоторных реакций, например зрительно- и аудиомоторных [8, 9, 13]. В связи с этим первой задачей настоящей работы явилось проведение сравнительной оценки уровня стабильности выполнения простых зрительно- и аудиомоторной реакций путем использования метода анализа так называемых цепных рядов динамики (цепного темпа роста).

Вторая важная проблема организации психомоторных функций связана с переработкой разномодальной сенсорной информации в условиях равнозначной функциональной готовности (режим активного ожидания) двух и более исследуемых анализаторов и влиянием этого состояния на скорость принятия решения при осуществлении сенсомоторных реакций. В наиболее известных публикациях Е. К. Айдаркина [1, 2] изучены основные закономерности интермодального взаимодействия зрительной и слуховой стимуляции в условиях сенсомоторной интеграции. Однако в приведенных работах использовалась модель одновременной стимуляции анализаторов разной комбинацией одно- и бимодальных стимулов.

Вместе с тем, некоторые стороны, отражающие закономерности параллельного функционирования двух разномодальных сенсомоторных нейронных цепей, находящихся в режиме активного ожидания, могут быть исследованы также с помощью других простых моделей, в частности, использованной в настоящей работе. Суть предлагаемой экспериментальной задачи сводится к последовательному измерению времени простых зрительно-моторной и аудиомоторной реакций в ответ на случайным образом чередующиеся световые и звуковые стимулы. Принципиально важной особенностью теста является то обстоятельство, что исследуемые сенсомоторные нейронные комплексы, по условиям эксперимента, «нацелены» исключительно и безальтернативно на запуск и реализацию моторной программы по принципу триггера независимо от модальности стимула, а собственно сенсомоторная реакция выполняется всегда стандартным образом (правой рукой).

В качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение о том, что в режиме перманентной готовности зрительного и слухового анализаторов к обязательному запуску моторной программы-действия ухудшаются функциональные характеристики каждого из них. Определить степень такого рода эффекта, используя метод ЭМГ-анализа, и явилось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика контингента испытуемых. Экспериментальная часть работы выполнена с участием 14 студентов-добровольцев (девушек) возрастом 18–19 лет ($M = 18,1$, $SD = 0,37$), обучающихся в Крымском федеральном университете имени В. И. Вернадского, в осенне-зимний период 2017–2018 гг.

Процедура исследования и оборудование. В ходе исследований были проведены три серии опытов. В первой серии опытов (серия № 1, «СВЕТ») определяли латентный период простой зрительно-моторной реакции исключительно на световой раздражитель (ПЗМР-1, по 30 замеров у каждого испытуемого), а во второй (серия № 2, «ЗВУК») – исключительно на звуковой стимул (простая аудиомоторная реакция, ПАМР-1, по 30 измерений). В третьей серии опытов измеряли латентные периоды так называемых усложненных простых зрительно-моторной (ПЗМР-2) и аудиомоторной (ПАМР-2) реакций при случайным образом сменяющихся (чередующихся) световых (38) и звуковых (38) стимулах. Всего в ходе третьей серии экспериментов испытуемому предъявляли 76 одиночных раздражителей разной модальности. Интервал времени между предъявлением каждого из 76 отдельных стимулов колебался в диапазоне 2–4 с. Все стимулы чередовались случайным образом.

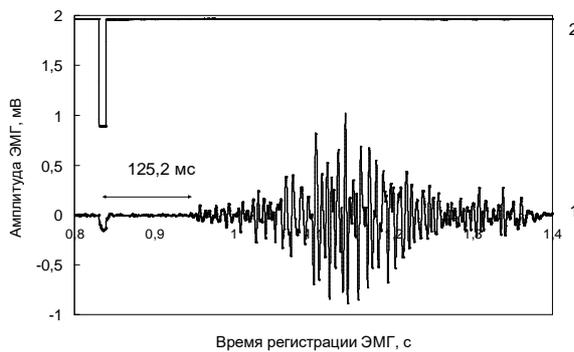


Рис. 1. К вычислению параметра sDT (время обнаружения стимула) методом анализа электромиограммы.

Обозначение: 1 – запись фрагмента электромиограммы; 2 – отметка и продолжительность (20 мс) предъявления сенсорного стимула; измеренное время sDT (на примере простой зрительно-моторной реакции) составило 125,2 мс.

Показателем латентного периода сенсомоторных реакций служил параметр, отражающий так называемое «время обнаружения стимула - stimulus detection time, sDT [20]. Численно значение параметра sDT соответствовало отрезку времени от момента предъявления сенсорного стимула испытуемому до момента появления первых ЭМГ-потенциалов (ЭМГ-ответ) на интерференционной электромиограмме (Рис. 1). Экспериментальная установка включала блок ЭМГ-биоусилителя на базе инструментального усилителя INA118, многоканальный цифровой самописец (S-Recorder-L, Россия) с компьютером и блок предъявления светового и звукового раздражителей. Информация записывалась в виде alf-файлов при выбранной частоте семплирования (дискретизации) по каждому измерительному каналу 20 кГц (50 мкс). Высокая частота семплирования ЭМГ-сигнала позволила программными методами с высокой точностью измерять время реакции. Для регистрации интерференционной электромиограммы использовали пластинчатые ЭМГ-электроды. Электроды имели округлую форму диаметром 10 мм, изготовлялись из стандартных пластин электродов электрокардиографа и крепились на коже (4 см друг от друга) над мышцами внешней поверхности предплечья, участвующих в сгибании кисти и ее пальцев.

В ходе опыта правая рука испытуемого с наложенными ЭМГ-электродами свободно свисала вдоль тела, что обеспечивало низкий уровень исходного ЭМГ-тонуса, а реакция на сенсорный стимул осуществлялась путем быстрого сведения большого и указательного пальцев кисти. Такая модификация эксперимента позволила отказаться от обычно используемой кнопки «СТОП» секундомера, что позволило полностью исключить ошибку измерения, связанную с механической конструкцией кнопки, а также собственно моторным компонентом реакции (временем инициации двигательного акта – MIT, movement initiation time [20]). Последнее в большой мере определяется биомеханикой мышечного сокращения и непредсказуемо колеблется в широком диапазоне значений, что вносит дополнительную ошибку в измерение истинного значения времени сенсорного ответа.

В качестве источника светового раздражителя использовался выносной точечный источник света на основе светодиода VL-L502UBC ярко-голубого свечения (Ultra Blue, 470 nm). Источник света располагался на расстоянии 40 см от кончика носа, а световой стимул предъявлялся в оба глаза. Интенсивность светового сигнала выбиралась постоянной и предварительно аппаратными средствами ($IF = 20 \text{ mA}$) устанавливалась на приемлемом для глаза уровне 5000 mcd; длительность светового стимула составляла 20 мс. Источником звукового сигнала служили парные головные телефоны; интенсивность звука составляла 80 дБ при частоте 1000 Гц и длительности стимуляции 20 мс.

При статистической обработке данных использовали пакеты прикладных программ Excel и Statistica 7.0. Статистическую значимость различий между двумя средними арифметическими величинами определяли с помощью двухвыборочного t-теста Стьюдента для выборок с различными дисперсиями при заданном уровне значимости $p < 0,05$. При оценке различий между двумя множествами использовали однофакторный дисперсионный анализ, двухвыборочный F-тест для дисперсий, а также дополнительно – непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. Для сравнительной характеристики стабильности (устойчивости) выполнения разномодальных сенсомоторных реакций использовали коэффициент вариации C_v , а также статистические параметры рядов динамики. В последнем случае при анализе степени вариабельности психомоторных реакций строили так называемые цепные ряды динамики путем пошагового вычисления отклонения последующей варианты в вариационном ряду от предшествующей (цепной темп прироста). Во всех случаях сравнение анализируемых показателей и статистическая оценка различий проводили на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Время выполнения простых психомоторных реакций (1 и 2-я серии опытов, ПЗМР-1 и ПАМР-1). Сравнительный анализ полученных данных показал, что время простой зрительно-моторной реакции ($148 \pm 1,36 \text{ мс}$) было существенно больше (на $+33 \pm 2,2$ или $+22,3 \%$, $p < 0,01$), чем время простой аудиомоторной реакции ($115 \pm 1,28 \text{ мс}$, табл.). Различия проявлялись и со стороны значения медианы, которая для ПЗМР-1 составляла 144,2 мс, а для ПАМР-1 соответственно

112,6 мс. Важно, что такая закономерность имела место и для каждого в отдельности испытуемого (100 %). Факт различия между временем выполнения двух исследуемых сенсомоторных реакций подтверждается также однофакторным дисперсионным анализом ($p < 0,01$) и непараметрическим критерием Краскела-Уоллиса ($p < 0,01$).

Представляет интерес анализ характера распределения частот распределения значений времени простых психомоторных реакций в исследуемых вариационных рядах. Как видно из рис. 2, за счет увеличения степени правосторонней асимметрии вершина кривой распределения частот для ПЗМР-1 относительно соответствующей кривой для ПАМР-1 смещена по оси значений времени реакции вправо. При этом наибольшая частота встречаемости значений времени ПАМР-1 и ПЗМР-1 располагалась на разных участках шкалы времени. Так, для аудиомоторной реакции эта частота относилась к диапазону (модальному классу) 100 – 120 мс, а для зрительно-моторной реакции соответственно к диапазону 140 – 150 мс. Значение 1-го квартиля для ПАМР-1 и ПЗМР-1 составляло 96,6 и 130,1 мс, а для 3-го квартиля – 129,1 и 163,8 мс.

Таблица

Сравнительная характеристика латентных периодов (время обнаружения стимула, sDT) зрительно-и аудиомоторной реакций при разных алгоритмах сенсорной стимуляции (простые и усложненные сенсомоторные реакции)

Показатель	Зрительно-моторная реакция			Аудиомоторная реакция		
	Простая зрительно-моторная реакция, ПЗМР-1	Усложненная простая зрительно-моторная реакция, ПЗМР-2	Разница: ПЗМР-2 – ПЗМР-1	Простая аудиомоторная реакция, ПАМР-1	Усложненная простая аудиомоторная реакция, ПАМР-2	Разница: ПАМР-2 – ПАМР-1
Среднее значение и ошибка, мс (исходные данные)	148±1,36 (27,9; 781)	170±1,79 (41,5; 1719)	+22±2,2 +14,9 % P < 0,01	115±1,28 (26,2; 692)	138±2,15 (49,6; 2460)	+23±2,5 +20 % P < 0,01
Среднее значение отклонений и ошибка в цепном ряду динамики, %	14,6±0,60 (12,3; 152)	19,8±0,80 (18,4; 340)	+5,2±1,0 +36 % P < 0,01	15,9±0,61 (12,6; 159)	23,2±0,99 (22,8; 519)	+7,3±1,2 +46 % P < 0,01
Число измерений	420	532	-	420	532	-

Примечание: в круглых скобках: первая цифра – стандартное отклонение (SD), вторая цифра – величина дисперсии (variance).

Вариабельность простых психомоторных реакций. Сравнительный анализ параметров, отражающих вариабельность ПЗМР-1 и ПАМР-1, не выявил между

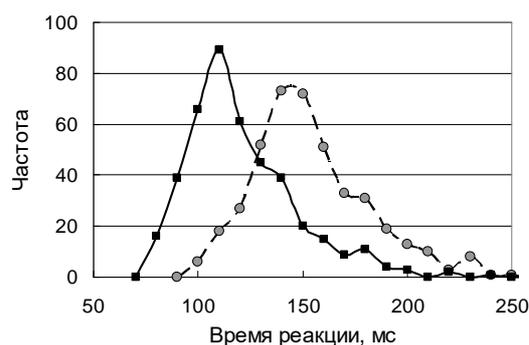


Рис. 2. Характер распределения частот значений параметров времени разномодальных сенсомоторных реакций.

Обозначения: сплошная линия - простая аудиомоторная реакция (ПАМР-1); пунктирная линия - простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР-1); за 100 % принималось число измерений в соответствующем вариационном ряду.

Отметить, что данный метод дисперсионного анализа позволяет путем сравнения $F_{\text{факт.}}$ с $F_{\text{крит.}}$ оценить лишь уровень статистической значимости различий двух дисперсий на основании сравнения альтернативной и «нулевой» гипотез. Между тем, представляется важным выяснение количественных параметров различий в степени вариабельности исследованных двух разнородных рядов.

Количественная оценка степени вариабельности (стабильности) простых зрительно-моторной и аудиомоторной реакций, проведенная нами на основании анализа показателей цепных динамических рядов, свидетельствуют о том, что средняя величина абсолютных отклонений для ПЗМР-1 и ПАМР-1 статистически значимо не различались (соответственно, $14,6 \pm 0,60$ мс и $15,9 \pm 0,61$ мс при разнице $+1,3 \pm 0,86$ мс, $p > 0,05$). Кроме того, не различались и дисперсии выборок (соответственно, 152 и 159) в анализируемых динамических рядах. Как видно, использование метода вычисления параметров динамических рядов позволило провести анализ не только качественных различий между показателями вариабельности при выполнении разнотипных сенсомоторных реакций (по принципу «различаются – не различаются»), но и количественно описать этот параметр (вариабельность) с помощью параметрических методов вариационной статистики.

Таким образом, анализ данных, полученных при исследовании простых зрительно- и аудиомоторной реакций, свидетельствует, во-первых, о большей скорости ПАМР-1 по сравнению с ПЗМР-1 и, во-вторых, об отсутствии различий в показателях стабильности их выполнения.

Характеристика показателей усложненных простых сенсомоторных реакций (ПЗМР-2 и ПАМР-2). Центральной задачей настоящей работы явилось выяснение закономерностей реализации психомоторной реакции в условиях попеременной

ними статистически значимых различий. Так, значения коэффициентов вариации для анализируемых вариационных рядов фактически не различались и были относительно невысокими ($Cv_{\text{факт}} < 33\%$), что, согласно общепринятым критериям, свидетельствует о достаточно высокой степени однородности совокупностей. Статистически значимые различия между величинами дисперсии в вариационных рядах показателей ПЗМР-1 и ПАМР-1 также отсутствовали, о чем свидетельствуют результаты дисперсионного анализа, проведенного с помощью двухвыборочного F-теста для дисперсии ($P = 0,175$). Следует

стимуляции двух анализаторов (зрительного и звукового) при постоянной готовности их к инициации моторного ответа (усложненная простая сенсомоторная реакция). При анализе результатов экспериментов были выявлены следующие особенности.

Во-первых, как видно из таблицы, время выполнения усложненной простой аудиомоторной реакции составило $138 \pm 2,15$ мс, а зрительно-моторной – $170 \pm 1,79$ мс, что было на $32 \pm 2,79$ мс больше (23 %, $p < 0,01$). Приведенные результаты свидетельствуют, что при равновероятностной стимуляции разномодальными раздражителями скорость сенсомоторной реакции на звук была выше, чем на свет. Данный вывод подтверждается также непараметрическим критерием Краскела-Уоллиса ($p < 0,01$). Анализ характера распределения частот для ПЗМР-2 и ПАМР-2 показал, что пики кривых зависимостей смещены относительно друг друга. Наибольшая частота встречаемости значений времени ПАМР-2 и ПЗМР-2 располагалась на разных участках шкалы времени: для первой из них эта частота относилась к диапазону 110 – 120 мс, а для второй – соответственно к диапазону 150 – 160 мс. Значение 1-го квартиля для ПАМР-2 и ПЗМР-2 составляло 105,2 и 138,9 мс, а для 3-го квартиля – 155,4 и 195 мс.

Во-вторых, при чередующихся равновероятных предъявлениях светового и звукового стимулов стабильность выполнения ПЗМР-2, по данным расчета коэффициента вариации и двухвыборочного F-теста для дисперсий, была существенно выше, чем ПАМР-2.

Такой же вывод можно сделать и на основании анализа цепных рядов динамики (табл.). Видно, что «Среднее значение абсолютных величин отклонений в цепном ряду динамики» для ПЗМР-2 составило $19,8 \pm 0,8$, а для ПАМР-2 соответственно $23,2 \pm 0,99$, что было значительно больше (+17,2 %). Сопоставление дисперсий в указанных вариационных рядах также свидетельствует, что выполнение усложненной простой аудиомоторной реакции осуществлялось с меньшей стабильностью, чем зрительно-моторной ($p < 0,01$).

Сравнительная характеристика параметров простых и усложненных психомоторных реакций. При сравнительном анализе показателей времени зрительно-моторного и аудиомоторного компонентов в усложненной сенсомоторной реакции (ПЗМР-2 и ПАМР-2), с одной стороны, и времени ПЗМР-1 и ПАМР-1, с другой, выяснилось, что в первом случае сенсомоторная реакция значительно удлинялась. Так, по данным таблицы видно, что время выполнения зрительно-моторной реакции в составе усложненной сенсомоторной реакции ($170 \pm 1,79$ мс) было на $+22 \pm 2,2$ мс (+14,9 %) больше, чем при простой зрительно моторной реакции (ПЗМР-1, $148 \pm 1,36$ мс).

В отношении реакции на звук такое различие еще более увеличивалось и достигало $+23 \pm 2,5$ мс (+20 %). Обращает на себя внимание факт резкого возрастания величины дисперсии для выборок ПЗМР-2 и ПАМР-2 по сравнению с ПЗМР-1 и ПАМР-1 (табл. исходные данные), что подтверждается результатами двухвыборочного F-теста ($p < 0,01$). Для количественного описания различий в стабильности выполнения психомоторных реакций, как указывалось выше, был применен метод анализа цепного темпа роста в динамических рядах, выраженный в

относительных единицах (%). Как видно из таблицы, при выполнении усложненной простой зрительно-моторной реакции среднее отклонение последующей варианты от предшествующей в относительных величинах составило $19,8 \pm 0,80$ против $14,6 \pm 0,60$, что было на 36 % больше. Еще более выраженные различия (46 %) имели место при сравнении средних арифметических отклонений аудиомоторных реакций (ПАМР-1 и ПАМР-2). О росте степени variability усложненных простых психомоторных реакций свидетельствуют также результаты сравнения дисперсий в цепных рядах динамики (табл.), которые в случае ПЗМР-2 и ПАМР-2 были статистически достоверно выше ($p < 0,01$), чем для ПЗМР-1 и ПАМР-1.

Обсуждая полученные данные, необходимо остановиться на следующих основных моментах. Во-первых, латентный период простой аудиомоторной реакции было короче, чем простой зрительно-моторной реакции (на $33 \pm 1,87$ мс, +28,7 %). Такой результат согласуется с литературными данными других авторов [9, 8, 13, 20] и, с нашей точки зрения, уже относится к разряду «твердо установленных фактов». Однако природа этих различий до конца не ясна. Разница между латентными периодами ПЗМР и ПАМР в определенной степени может быть обусловлена более длительным периодом генерации фоторецепторного ответа в периферической части зрительного анализатора, а также с разной скоростью принятия решения в центральных отделах соответствующих сенсорных анализаторов. В то же время, основываясь на результатах анализа степени variability выполнения ПЗМР и ПАМР (она была равной), можно предположительно говорить об отсутствии различий, по крайней мере, в уровне общей функциональной активности центральных структур зрительного и слухового анализаторов в ходе выполнения простых сенсомоторных реакций. По-видимому, ответ на этот вопрос может быть получен при исследовании как общих закономерностей функционирования функциональных систем организма, так и в прямых нейрофизиологических исследованиях при параллельной регистрации активности отдельных нейронов соответствующих структур анализаторов.

Во-вторых, усложнение сенсорной задачи при выполнении простых аудио- и зрительно-моторной реакций путем использования приема постоянной смены модальности предъявляемого стимула приводило к их удлинению (соответственно, на 14,9 % и 20 %, а в абсолютных величинах на 22 – 23 мс) и резкому снижению стабильности их выполнения. В этой связи необходимо еще раз отметить о принципиальных различиях теста, использованного в нашей работе, и тестом с использованием так называемой реакции выбора. В нашем случае, что принципиально важно, в центральных структурах анализаторов не требовалось активировать процесс торможения очередной моторной реакции при предъявлении альтернативного сенсорного стимула, а, наоборот – всегда ее запускать. Характерно, что различия между простой и сложной зрительно-моторной реакцией (реакцией выбора) [9] достигают 100 – 150 мс (50 – 80 %), тогда как в наших исследованиях различия между простой и усложненной сенсомоторными реакциями составили 22 – 23 мс (14,9 – 20 %). Следовательно, время принятия решения – «запустить моторную программу при любом стимуле», в нашем случае, было

существенно меньше, чем время принятия решения – «тормозить запуск моторной реакции» при операции выбора.

Феномен снижения скорости выполнения усложненных простых сенсомоторных реакций, с нашей точки зрения, может быть связан с ухудшением стабильности их выполнения за счет возрастания пула так называемых удлинённых реакций (Рис. 3, на примере простой зрительно-моторной реакции) при одновременном уменьшении числа «быстрых», что и привело к общему увеличению значения средней арифметической.

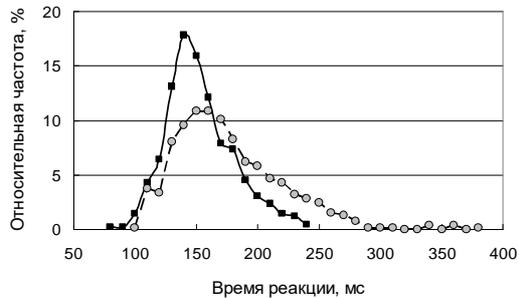


Рис. 3. Характер распределения относительных частот значений времени двух типов зрительно-моторной реакции.

Обозначения: сплошная линия – простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР-1); пунктирная линия – усложненная простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР-2); за 100 % принималось число измерений в соответствующем вариационном ряду.

N. I. Nezlina [19] о роли так называемых командных нейронов. Источником вариабельности в такой нейрональной системе служит процесс ритмического колебания уровня срабатывания нейрона-пейсмекера.

С точки зрения психофизиологической организации сенсомоторных актов снижение скорости выполнения усложненных простых разномодальных реакций может быть обусловлено эффектом перераспределения ресурсов внимания [1, 2] вследствие необходимости удерживать внимание одновременно на двух разномодальных объектах – источниках сенсорных сигналов. Как видно, эффект распределения внимания применим к ситуации одновременного параллельного функционирования двух анализаторов – зрительного и слухового, имеющих общую точку конвергенции в моторной зоне (конечный путь), из которой уже по принципу триггера и активируется стандартная моторная реакция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование метода ЭМГ-анализа позволило провести точное измерение параметра «время обнаружения стимула – stimulus detection time, sDT» в составе простых зрительно- и аудиомоторной реакций; sDT для зрительно-моторной

реакции составило $148 \pm 1,36$ мс, а для аудиомоторной реакции соответственно $115 \pm 1,38$ мс.

2. При выполнении усложненной простой сенсомоторной реакции путем использования приема постоянной равновероятностной смены модальности предъявляемого стимула (свет или звук) значение параметра «stimulus detection time» удлинялось на $22 \pm 2,2$ мс (для зрительно-моторной реакции) и на $23 \pm 2,5$ мс (для аудиомоторной реакции), или на 15 % и 20 %.
3. Феномен удлинения значения параметра «время обнаружения стимула – sDT» может быть связан, по результатам вычисления степени флуктуаций в цепном ряду динамики, с ухудшением стабильности их выполнения (на 36 % для зрительно-моторной и 46 % для аудиомоторной реакций) за счет возрастания пула так называемых удлиненных реакций при одновременном уменьшении числа «быстрых».
4. С точки зрения психофизиологической организации сенсомоторных ответов снижение скорости выполнения усложненных простых разномодальных реакций может быть обусловлено эффектом перераспределения ресурсов внимания вследствие необходимости его удержания одновременно на двух разномодальных объектах – источниках сенсорных сигналов.

Список литературы

1. Айдаркин Е.К. Исследование особенностей взаимодействия зрительной и слуховой систем / Е. К. Айдаркин // Валеология. – 2006. – № 3. – С. 82–93.
2. Айдаркин Е.К. Соотношение времени реакции и длительности удержания кнопки в условиях сенсорной интеграции / Е.К. Айдаркин, Е.С. Кирпач // Валеология. – 2011. – № 4. – С. 87–96.
3. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы / П. К. Анохин // Отв. ред. Ф. В. Константинов, Б. Ф. Ломов, В. Б. Швырков. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
4. Ахмедова О.О. Психофизиологическое состояние студентов первокурсников с разным уровнем двигательной активности / О.О. Ахмедова, Г.О. Овезгельдыева, А. Г. Григорьян // Физиология человека. – 2011. – Т. 37, № 5. – С. 84–90.
5. Батуев А.С. Роль различных кортикальных областей и зрительно-моторной координации / А. С. Батуев, Е.В. Черенкова, Г.А. Куликов // Сенсорные системы. – 1982. – С. 101.
6. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность / Н. А. Бернштейн. – М.: Наука (Серия "Классики науки"), 1990. – 497 с.
7. Иваницкий А.М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза / А. М. Иваницкий // Журнал высшей нервной деятельности. – 1996. – Т. 46, № 2. – С. 241–252.
8. Нехорошкова А.Н. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (Обзор) / А.Н. Нехорошкова, А.В. Грибанов, И.С. Депутат // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 38–48.
9. Романенко В.А. Психофизиологический базис успешности обучения студенток / В.А. Романенко, Д.А. Кочура // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2016. – № 4. – С. 116–122.
10. Сергин В.Я. Авто-отождествление паттернов нейронной активности как физиологический механизм осознания / В. Я. Сергин // Журнал высшей нервной деятельности. – 2016. – Т. 66, № 3. – С. 259–278.
11. Соболев В.И. Особенности психомоторных реакций у детей младшего школьного возраста специальных медицинских групп / В.И. Соболев, М.Н. Попов // Гуманитарные науки. – 2017. – № 2 (38). – С. 42–49.

12. Судаков К.В. Теория функциональных систем. Постулаты и принципы построения организма человека в норме и при патологии / К. В. Судаков // Патолог. физиология и эксперимент. терапия. – 2007. – № 4. – С. 2–11.
13. Шутова С.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С. В. Шутова, И.В. Муравьева // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18, Вып. 5. – С. 2831–2840.
14. Edelman G.M. Universe of Consciousness / G.M. Edelman, G.A. Tononi. – N. Y.: Basic Books, 2000. – 274 p.
15. Heathcote A. Linear deterministic accumulator models of simple choice / A. Heathcote, Jonathon Love // Front. Psychol. – 2012. – 23 August. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00292>
16. Hinder Mark R. Premotor-Motor Interhemispheric Inhibition Is Released during Movement Initiation in Older but Not Young Adults / Mark R. Hinder, Hakuei Fujiyama, Jeffery J. Summers // PLOS ONE. – 2012. – Vol. 7, Issue 12, e52573. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052573>
17. Ratcliff Roger. Estimating parameters of the diffusion model: Approaches to dealing with contaminant reaction times and parameter variability / Roger Ratcliff, Francis Tuerlinckx // Psychol. Bull. Rev. – 2002. – Vol. 9(3). – P. 438–481.
18. Rokni Uri. Motor Learning with Unstable Neural Representations / Uri Rokni, Andrew G. Richardson, Emilio Bizzi // Neuron. 2007. –Vol. 54, May 24. – P. 653–666.
19. Sokolov E.N. Conditioned reflex: detector and command neuron / E.N. Sokolov, N.I. Nezlina // I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity. – 2007. – Vol. 57, No. 1. – P. 5–22.
20. Woods David L. Factors influencing the latency of simple reaction time / David L. Woods, John M. Wyma, E. William Yund [et al.] // Front. Hum. Neurosci. – 2015. – 26 March. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>

FEATURES OF SIMPLE PSYCHO-MOTOR REACTIONS DURING MULTIMODAL STIMULATION (ELECTROMYOGRAPHIC STUDY)

Sobolev V. I.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

The study of the features of the functional state of the central nervous system using psychometric methods remains widespread in studies of a psychophysiological nature, which is due to their high information content and the basic mechanisms of the neural organization of the sensorimotor response. As a working hypothesis, it was suggested that in the regime of permanent readiness of the visual and auditory analyzers for the mandatory launch of the motor action program, the functional characteristics of each of them deteriorate. To determine the nature of the influence of alternating sensory stimulation (sound or light) on the value of the latent period of the sensory-motor reaction using the method of EMG analysis was the purpose of this work.

Methods and materials. *Characteristics of the contingent of subjects.* The experimental part of the work was performed with the participation of 14 volunteer students (girls) aged 18–19 years ($M = 18.1$, $SD = 0.37$) who study at the V. I. Vernadsky Crimean Federal University.

The procedure research. During the study, three series of experiments were conducted. In the first series of experiments, the latent period of a simple visual-motor reaction to a light stimulus was determined, and in the second - to a sound stimulus. In the third series of experiments, latent periods of visual-motor and audio-motor reactions were

measured with alternating light and sound stimuli. The parameter “stimulus detection time” (sDT) was an indicator of the latent period of sensorimotor reactions. The sDT parameter value numerically corresponded to the time interval from the moment of presentation of the sensory stimulus to the subject until the first EMG potentials (EMG-response) appeared on the interference electromyogram.

Results. The EMG analysis method allowed us to accurately measure the value of the parameter «stimulus detection time, sDT» as part of simple visual and audio motor responses. It was shown that for girls aged 18–19 years, the sDT for a simple visual-motor response was 148 ± 1.36 ms, and for an audio-motor reaction, respectively, 115 ± 1.38 ms. The stimulus detection time (sDT) is found to increase by 22 ± 2.2 ms (for a visual-motor response) and by 23 ± 2.5 ms (for an audio-motor response) or by 15% and 20% when performing a simple sensorimotor reaction with constant uniform change in the modality of the presented stimulus (light or sound). The phenomenon of reducing the speed of simple sensorimotor reactions may be associated with a deterioration in the parameters of their stability (by 36% for the visual motor and 46% for the motor-motor response). From the point of view of psychophysiological organization of sensorimotor acts, the reduction in the speed of simple reactions can be due to the effect of redistribution of attention resources.

Keywords: multimodal sensory stimulation, simple sensorimotor reactions, stimulus detection time, stability of reactions.

References

1. Ajdarkin E.K. Issledovanie osobennostej vzaimodejstviya zritel'noj i sluhovoj sistem, *Valeologiya*, **3**, 82 (2006).
2. Ajdarkin E.K., Kirpach E.S. Sootnoshenie vremeni reakcii i dlitel'nosti uderzhaniya knopki v usloviyah sensornoj integracii, *Valeologiya*, **4**, 87 (2011).
3. Anohin P.K. *Filosofskie aspekty teorii funkcional'noj sistemy* (Moscow: Nauka, 1978).
4. Ahmedova O.O., Ovezgel'dyeva G.O., Grigor'yan A.G. Psihofiziologicheskoe sostoyanie studentov pervokursnikov s raznym urovnem dvigatel'noj aktivnosti, *Human Physiology*, **37** (5), 84 (2011).
5. Batuev A.S., Cherenkova E.V., Kulikov G.A. Rol' razlichnyh kortikal'nyh oblastej i zritel'no-motornoj koordinacii, *Sensory systems*, 101 (1982).
6. Bernshtejn N.A. *Fiziologiya dvizhenij i aktivnost'* (Moscow: Nauka, 1978).
7. Ivanickij A.M. Mozgovaya osnova sub"ektivnyh perezhivaniy: gipoteza informacionnogo sinteza, *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, **46** (2), 241 (1966).
8. Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Deputat I.S. Sensomotornye reakcii v psihofiziologicheskikh issledovaniyah (Obzor), *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki*, **1**, 38 (2015).
9. Romanenko V.A., Kochura D.A. Psihofiziologicheskij bazis uspehnosti obucheniya studentok, *Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Ser. A: Estestvennye*, **4**, 116 (2016).
10. Sergin V.YA. Avto-otozhdestvlenie patternov nejronnoj aktivnosti kak fiziologicheskij mekhanizm osoznaniya, *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, **3**, 259 (2016).
11. Sobolev V.I., Popov M.N. Osobennosti psihomotornyh reakcij u detej mladshego shkol'nogo vozrasta special'nyh medicinskih grupp, *Gumanitarnye nauki*, **2** (38), 482 (2017).
12. Sudakov K.V. Teoriya funkcional'nyh sistem. Postulaty i principy postroeniya organizma cheloveka v norme i pri patologii, *Patologicheskaya Fiziologiya i Ekhspperimental'naya Terapiya*, **4**, 2 (2007).
13. Shutova S.V., Murav'eva I.V. Sensomotornye reakcii kak harakteristika funkcional'nogo sostoyaniya CNS, *Vestnik TGU*, **13**(5), 2831 (2013).
14. Edelman G.M., Tononi G.A. *Universe of Consciousness* (N. Y.: Basic Books, 2000).

15. Heathcote A., Love Jonathon. Linear deterministic accumulator models of simple choice, *Front. Psychol.*, 23 August (2012). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00292>
16. Hinder Mark R., Fujiyama Hakuei, Summers Jeffery J. Premotor-Motor Interhemispheric Inhibition Is Released during Movement Initiation in Older but Not Young Adults, *PLOS ONE*, **7 (12)**, e52573 (2012). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052573>
17. Ratcliff Roger, Tuerlinckx F. Estimating parameters of the diffusion model: Approaches to dealing with contaminant reaction times and parameter variability, *Psychon Bull Rev.*, **9 (3)**, 438 (2002).
18. Rokni Uri, Richardson Andrew G. Bizzi E. Motor Learning with Unstable Neural Representations, *Neuron*, **54 (May 24)**, 653 (2007).
19. Sokolov E.N., Nezlina N.I. Conditioned reflex: detector and command neuron, *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, **57 (1)**, 5 (2007).
20. Woods David L., Wyma John M., Yund E. William, Herron Timothy J., Reed B. Factors influencing the latency of simple reaction time, *Front. Hum. Neurosci.*, 26 March (2015). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>