

УДК 612.88: 159.935

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-196-204

НЕЗАВИСИМОСТЬ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ПРОСТОЙ ТАКТИЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТАКТИЛЬНОГО СТИМУЛА

Соболев В. И.¹, Попов М. Н.¹, Труш В. В.²

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия

*²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет», Донецк, ДНР, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

В исследования, проведенных в группе студенток-гуманитариев, определяли характер зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного контакта. Показано, что индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции в ответ на тактильное касание дистальной фаланги безымянного пальца кисти (площадь стимуляции 1 мм²) с силой сопоставимой с абсолютным порогом раздражения колебались в пределах 167–283 мс. Установлено, что латентный период тактильно-моторной реакции в диапазоне длительности тактильного контакта от 10, 50 и 100 мс не зависел от времени действия стимула и составлял в среднем соответственно 203, 206 и 204 мс.

Ключевые слова: тактильно-моторные реакции, латентный период, длительность тактильного контакта.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема формирования осознанного ощущения представляет в области психофизиологии и психологии как теоретический, так и практический интерес [1–3]. Одним из методологических подходов к изучению данной проблемы является качественная и количественная оценка процесса формирования сенсомоторных реакций [3–6]. В литературе существует огромное число публикаций, посвященных исследованию составных компонентов зрительно-моторных и аудиомоторных реакций [6–8]. Выявлены основные механизмы их реализации и формирования зрительного и слухового ощущения [3, 5, 9, 10]. Однако в стороне от интенсивных исследований остается проблема формирования и реализации тактильного ощущения, в частности такой ее аспект как реактивность тактильно-моторной реакции. В литературе лишь изредка встречаются публикации, связанные с измерением временных параметров ее реализации [11–15]. Считается, что латентный период тактильно-моторной реакции (ЛП ТМР) находится в пределах 90–400 мс [11, 12]. С нашей точки зрения, широкий диапазон значений ЛП ТМР

связан со сложной морфологической и функциональной структурой тактильного анализатора, в эфферентном звене которого выделяют не менее 5 рецепторных тактильных образований [16], реагирующих на разные компоненты тактильного стимула. В частности, восприятие прикосновения (и вибраций) осуществляется с помощью фазных (быстро адаптирующихся) рецепторов, а давления – благодаря возбуждению тонических (медленно адаптирующихся) рецепторов. В качестве рабочей гипотезы было принято предположение о независимости скорости тактильно-моторной реакции от длительности стимуляции быстро адаптирующихся рецепторов, реагирующих на тактильное касание.

Целью работы явилось выяснение характера зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного контакта (тактильного касания).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях на добровольной основе приняли участие 10 практически здоровых студентов (девушек) возрастом от 19 до 20 лет. В ходе экспериментов у всех испытуемых измеряли латентный период тактильно-моторной реакции (ЛП ТМР) на легкое тактильное касание внутренней стороны дистальной фаланги безымянного пальца правой руки.

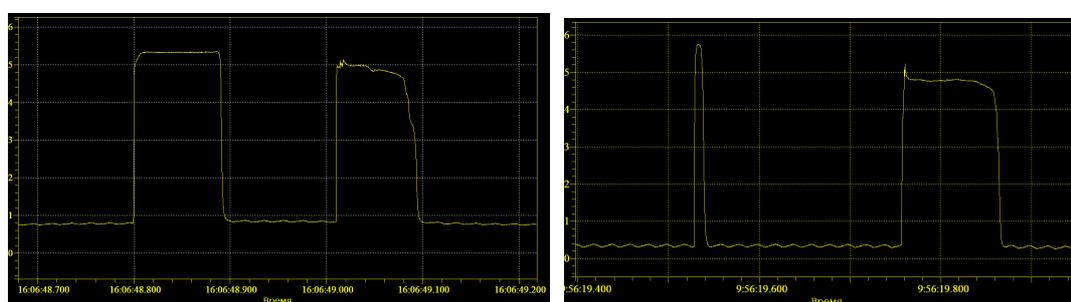
Эксперимент проходил в два этапа. На первом этапе испытуемые на рабочей установке проходили предварительную тренировку в виде выполнения в течение трех циклов с перерывом на отдых трехсот попыток на предъявление тактильного стимула. На втором этапе выполнялся собственно эксперимент.

Для измерения ЛП ТМР использовалась экспериментальная установка, представленная двухканальным DDS-генератором прямоугольных импульсов (FY6900-30M), малогабаритным соленоидом типа КК-0530В (линейный актуатор), включенным в цепь электронного ключа, устройством для сигнализации длительности тактильного контакта и момента начала моторной реакции, а также многоканальным электронным USB-самописцем фирмы ADClab (S-Recorder-L, Россия). К подвижному сердечнику соленоида крепился металлический стержень в виде стального провода площадью сечения 1 мм^2 , а сам соленоид с помощью шагового двигателя (подобно микровинту) перемещался экспериментатором по вертикали до того момента, пока испытуемый при очередном срабатывании соленоида не ощущал легкое, но четко ощущаемое, тактильное касание металлического стержня. Тактильный стимул в этом случае был несколько выше пороговой величины. В таком положении соленоида и проводились последующие измерения ЛП ТМР. В ходе опыта при срабатывании соленоида металлический стержень поднимался вверх и касался поверхности дистальной фаланги безымянного пальца (тут же появлялась отметка на записи), после чего испытуемый максимально быстрым скользящим движением указательного пальца той же руки замыкал электрическую цепь (функция кнопки «Стоп»), что сопровождалось появлением на электронной записи еще одной отметки (начало моторного ответа, Рис. 1). В последующем после соответствующих курсорных измерений на сохраненной цифровой записи измерялась длительность тактильного стимула и

латентный период тактильно-моторной реакции.

Следует отметить, что работа соленоида сопровождается отчетливым звуковым эффектом. В связи с этим испытуемый может реагировать не только на тактильное касание, но и на звук. Латентный период аудиомоторной реакции относительно короткий, поэтому экспериментатор может зарегистрировать не тактильную реакцию, а аудиореакцию. Для исключения этого нежелательного эффекта, во-первых, соленоид максимально хорошо звукоизолировался, во-вторых, испытуемый работал в проводных наушниках Sennheiser HD 206 и, в третьих, наушники были подключены к источнику белого шума. Все это вместе позволило полностью исключить негативное влияние внешнего источника звука на тактильно-моторную реакцию испытуемых.

С учетом поставленных в работе задач, ЛП ТМР измеряли трижды: при коротком тактильном стимуле (10 мс), среднем (50 мс) и длительном (100 мс). Число замеров для каждого стимула составило 10.



А

Б

Рис. 1. Образцы записей-оригиналов тактильно-моторной реакции в ответ на стимуляцию дистальной фаланги безымянного пальца

Обозначения: по оси «Х» шкала времени записи (часы, мин., сек и мс); первый прямоугольник – тактильный стимул (отражает длительность тактильного контакта); начало второй отметки отражает начало моторной реакции. на А – длительность тактильного стимула равна 96 мс; латентный период реакции составил 210 мс; на Б – длительность тактильного стимула равна 11 мс; латентный период реакции составил 220 мс.

Статистическая обработка экспериментальных данных. Оценку статистической достоверности различий между центральными тенденциями сравниваемых групп осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента, для вариационных рядов с разной дисперсией, а также с использованием двухвыборочного F-теста для дисперсий и непараметрического критерия Манна-Уитни. Рассчитывались также коэффициенты вариации. Значения $p < 0,05$ рассматривали как статистически значимые.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эмпирические данные, полученные в ходе экспериментов, представлены в таблице. Обращают на себя внимание следующие основные моменты. Во-первых, при тактильной стимуляции дистальной фаланги безымянного пальца длительностью $10 \pm 0,16$ мс латентный период тактильно-моторной реакции составил $202,9 \pm 1,98$ мс при дисперсии выборки 392 и коэффициенте вариации 9,8 %. Последнее свидетельствует о достаточно хорошей плотности вариант в вариационном ряду и свидетельствует о хорошей стабильности при использованных условиях стимуляции данной сенсомоторной реакции.

Таблица

Латентный период (мс) тактильно-моторной реакции (тактильное касание) у испытуемых при стимуляции тактильными стимулами разной длительности

Статистический параметр	Характеристика тактильного стимула		
	Короткий стимул, $10,5 \pm 0,16$ мс	Средняя длительность стимула, $50,6 \pm 0,15$ мс	Длительный стимул, $100,4 \pm 0,3$ мс
Среднее, мс	202,9 **	206,4 **	204,5 **
Стандартная ошибка	1,98	1,85	1,90
Стандартное отклонение	19,8	18,5	19,2
Дисперсия выборки	392 *	342 *	368 *
Коэффициент вариации, %	9,8	9,1	9,3
Счет	100	100	100

Примечание: * – по результатам использования двухвыборочного F-тест для дисперсий различия между дисперсиями выборок статистически незначимы ($p > 0,05$); ** – различия между средними величинами статистически незначимы ($p > 0,05$).

Во-вторых, удлинение тактильного стимула в среднем до $50,6 \pm 0,15$ мс не отразилось на величине латентного периода реакции. Так, по данным таблицы следует, что значение данного параметра составило $206,4 \pm 1,85$ мс, что было статистически незначимо ($p > 0,05$) в сравнении с результатами измерения ЛП ТМР при стимуляции импульсами длительностью $10,5 \pm 0,16$ мс. Такой же результат получен и при альтернативном методе сравнительного анализа с помощью непараметрического показателя U-критерия Манна-Уитни ($p > 0,05$). Другие статистические параметры вариационного ряда также не различались (см. таблицу).

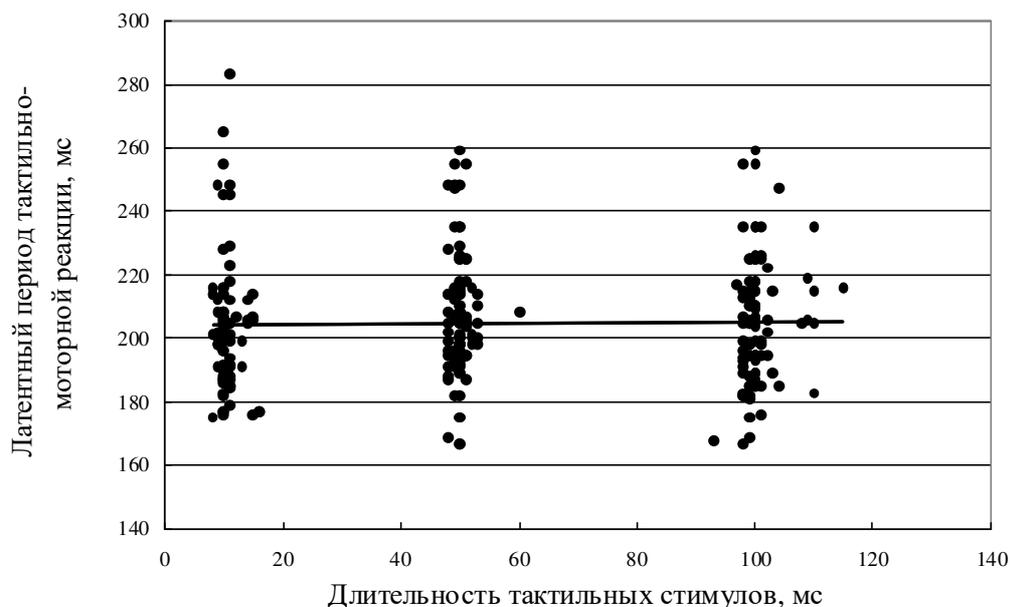


Рис. 2. Характер зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного стимула

Наконец, в-третьих, при еще большем удлинении тактильного стимула, в частности до $100,4 \pm 0,3$ мс, латентный период по-прежнему не изменялся и составил $204,5 \pm 1,9$ мс. Величина дисперсии выборки и коэффициент вариации также были на уровне значений, полученных в экспериментах при других вариантах тактильной стимуляции.

Таким образом, все три статистические параметры, характеризующие исследуемые вариационные ряды, несмотря на различную длительность тактильной стимуляции с точки зрения статистической значимости не различались.

Факт независимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного стимула (в пределах диапазона от 10 до 100 мс) еще раз доказательно подтверждается результатами корреляционного и регрессионного анализа (Рис. 2). Так, коэффициент корреляции Пирсона между длительностью тактильных стимулов (10, 50 и 100 мс) и значением латентного периода ТМР

составил $0,0334 \pm 0,058$ ($p > 0,05$).

Статистически незначимой ($p = 0,56$) была и величина коэффициента регрессии в соответствующем уравнении, имеющим следующий вид:

$$\text{ЛП} = 0,0174x + 204,$$

где ЛП – значение латентного периода тактильно-моторной реакции, мс;

x – длительность тактильного стимула, мс.

Обсуждая результаты экспериментов, необходимо обратить внимание на следующие основные моменты.

Во-первых, по нашим данным, индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции колебались в широком диапазоне (167–283 мс), однако средние величины во всех случаях (от 199 до 205 мс) были выше соответствующих величин для простых зрительно-моторных [5, 9] и аудиомоторных [5] реакций. Вместе с тем, в разных литературных источниках указывается, что латентный период ТМР колеблется в пределах 90–400 мс [11, 12]. Такой разброс значений можно объяснить разнообразием использованных методических приемов измерения данной сенсомоторной реакции, а также другими обстоятельствами. Однако приводимые в литературе значения ЛП ТМР ниже 110 мс, вызывают сомнения, так как с учетом структуры и организации афферентной части тактильного анализатора трудно представить, что указанного времени будет достаточно для формирования осознанного тактильного ощущения и моторного ответа.

Во-вторых, что принципиально важно, по результатам наших исследований можно сделать вывод о том, что латентный период тактильно-моторной реакции (тактильное касание) не зависел от длительности действия стимула (тактильного контакта). Такое утверждение справедливо, по крайней мере, для использованного нами диапазона от 10 до 100 мс и силе стимула лишь немного превышающей пороговую. Приведенная закономерность качественно отличается от той, которая свойственна другим типам анализаторов, например, зрительному и слуховому. Так, установлено, что латентные периоды зрительно- и аудиомоторной реакций прямо зависят от длительности сенсорного стимула [5, 7], так как его длительность в этих случаях эквивалентна интенсивности.

Объяснение факта независимости ЛП ТМР от длительности тактильного стимула в виде касания, по-видимому, можно связать с особенностями строения эффекторной части тактильного анализатора, в частности с существованием различных пулов тактильных рецепторов, в том числе и характеризующихся высокой реактивностью. Мы полагаем, что при нанесении на кожу испытуемого тактильного стимула незначительной интенсивности (тактильное касание) возбуждались преимущественно поверхностные так называемые быстро адаптирующиеся рецепторы, которые в ответ на тактильный стимул реагируют с интенсивностью близкой к максимальной. Это может быть одной из причин, объясняющей факт независимости латентного периода ТМР от длительности тактильного стимула. Что же касается характера зависимости латентного периода тактильной реакции от силы раздражения, то для ответа на этот вопрос с учетом разнообразия типов тактильных рецепторов требуются дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции в группе испытуемых женского пола (студенты) в ответ на тактильное касание дистальной фаланги безымянного пальца кисти (площадь стимуляции 1 мм²) с силой сопоставимой с абсолютным порогом раздражения колебались в пределах 167–283 мс.
2. Латентный период тактильно-моторной реакции в диапазоне длительности тактильного контакта от 10, 50 и 100 мс не зависел от времени действия стимула и составлял в среднем соответственно 203, 206 и 204 мс.

Список литературы

1. Есаков А. И. Нейрофизиологические основы тактильного восприятия. / Есаков А. И. и Дмитриева Т. М. – М., 1971, библиогр.; Ильинский О. Б. Физиология механорецепторов. / Ильинский О. Б. – Л., 1975; Физиология сенсорных систем, под ред. А. С. Батуева. – Л., 1976.
2. Чуприкова Н. И. Время реакций человека: Физиологические механизмы, вербально-смысловая регуляция, связь с интеллектом и свойствами нервной системы / Н. И. Чуприкова. – М.: Издательский Дом ЯСК, 2019. – 432 с.
3. Современная экспериментальная психология: В 2 т. / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011 – Т. 2. – 493 с.
4. Miller Jeff Another Warning about Median Reaction Time / Jeff Miller // Meta-Psychology. – 2023. – Vol. 7. – P. 1–20.
5. Нехорошкова А. Н. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (Обзор) / Нехорошкова А. Н., Грибанов А. В., Депутат И. С. // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 38–48.
6. 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.
7. Woods D. L. Factors influencing the latency of simple reaction time / D. L. Woods, J. M. Wyma, E. W. Yund [et al.] // Front. Hum. Neurosci. – 2015. – V. 9, № 131. – P. 131.
8. Соболев В. И. Независимость простой зрительно-моторной реакции от предсознательной компоненты ощущения при обратной маскировке двухцветными стимулами / Соболев В. И. // Экспериментальная психология. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 4–16. doi: 10.17759/exppsy.2020130201
9. Соболев В. И. Характеристика латентных периодов и параметров вариабельности составных элементов простой зрительно-моторной реакции (электромиографическое исследование) / Соболев В. И. // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 4. – С. 30–43. doi: 10.31857/S0131164620020174
10. Соболев В. И. Феномен независимости времени зрительно-моторной реакции простого выбора (модель «Go / No-go») от числа и модальности дифференцировочных тормозных стимулов / В. И. Соболев, М. Н. Попов, В. В. Труш // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71), № 3. – С. 95–109.
11. Johansson R. S. Detection of tactile stimuli. Thresholds of afferent units related to psychophysical thresholds in the human hand / R. S. Johansson, A. B. Vallbo // J. Physiol. – 1979. – 297. – P. 405–422.
12. Dongwon Kim The effect of haptic cues on motor and perceptual based implicit sequence learning / Dongwon Kim, Brandon J. Johnson, R. Brent Gillespie and Rachael D. Seidler // Front Hum Neurosci. – 2014. – 8. – P. 130. Published online 2014 Mar 28. doi: 10.3389/fnhum.2014.00130
13. Knibestöl M. Intensity of sensation related to activity of slowly adapting mechanoreceptive units in the human hand / M. Knibestöl, A. B. Vallbo // J Physiol. – 1980. – 300. – P. 251–67. doi: 10.1113/jphysiol.1980.sp013160.
14. Werner Gerhard Neural activity in mechanoreceptive cutaneous afferents: stimulus-response relation, and information transmission / Gerhard Werner, Vernon B. Mountcastle // J Neurophysiol. – 1965. – 28. – P. 359–97. doi: 10.1152/jn.1965.28.2.359

15. Choi Jeongbong Quantification of Displacement for Tactile Sensation in a Contact-type Low Intensity Focused Ultrasound Haptic Device / Jeongbong Choi, Soonhyun Yook, In Young Kim, Mok Kun Jeong, Dong Pyo Jang // ACM Transactions on Applied Perception (TAP). – Volume 18, Issue 1, No. 1. – P. 1–8.
16. Лупандин В. И. Основы сенсорной физиологии : учебное пособие / В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина. – Москва : Сфера, 2006. – 283 с.

INDEPENDENCE OF THE LATENCY PERIOD OF A SIMPLE TACTILE-MOTOR REACTION FROM THE DURATION OF THE TACTILE STIMULUS

Sobolev V. V.¹, Popov M. N.¹, Trush V. V.²

¹*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky”, Yalta, Republic of Crimea, Russia*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Donetsk State University”, Donetsk, DPR, Russia
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

The aim of the work was to clarify the nature of the dependence of the latent period of the tactile-motor reaction on the duration of tactile contact.

Method. Ten practically healthy female humanities students aged 19 to 20 years voluntarily took part in the research. During the experiments, the latent period of the tactile-motor reaction to a light tactile touch on the inner side of the distal phalanx of the ring finger of the right hand was measured in all subjects.

The latent period of the tactile-motor reaction was measured three times: with a short tactile stimulus (10.5 ± 0.16 ms), medium (50.6 ± 0.15 ms) and long (100.4 ± 0.3 ms). The number of measurements for each stimulus was 10.

Results. It was shown that individual values of the latent period of the tactile-motor reaction in response to tactile touch of the distal phalanx of the ring finger (stimulation area 1 mm²) with a force comparable to the absolute threshold of irritation fluctuated within the range of 167–283 ms. It was established that the latent period of the tactile-motor reaction in the range of tactile contact duration from 10, 50 and 100 ms did not depend on the duration of the stimulus and averaged 203 ± 1.1 , 206 ± 1.6 and 204 ± 1.8 ms, respectively. The variation parameters, sample variance and variation coefficients, also did not differ statistically significantly.

Conclusion. It is assumed that when a tactile stimulus of low intensity (tactile touch) was applied to the skin of the subject, predominantly the superficial so-called rapidly adapting receptors were excited, which react to the tactile stimulus with maximum intensity. This may be one of the reasons explaining the fact that the latent period of TMR is independent of the duration of the tactile stimulus.

Keywords: tactile-motor reactions, latent period, duration of tactile contact.

References

1. Esakov A. I., Dmitrieva T. M., *Neurophysiological Foundations of Tactile Perception*, (Moscow, 1971).
2. Chuprikova N. I., *Human reaction time: Physiological mechanisms, verbal-semantic regulation, connection with intelligence and properties of the nervous system*, 432 p. (M.: Publishing House YASK, 2019).
3. Modern experimental psychology: In 2 volumes / Ed. by V. A. Barabanshchikov, M.: Publishing house Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, **2**, 493 (2011).
4. Miller Jeff, Another Warning about Median Reaction Time, *Meta-Psychology*, **7**, 1 (2023).
5. Nekhoroshkova A. N., Griбанov A. V., Deputat I. S., Sensomotornye reakcii v psihofiziologicheskikh issledovaniyah, *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Medikobiologicheskie nauki*, **1**, 38 (2015).
6. Shutova S. V., Murav'eva I. V., Sensomotornye reakcii kak harakteristika funkcional'nogo sostoyaniya CNS, *Vestnik TGU*, **13(5)**, 2831 (2013).
7. Woods D. L., Wyma J. M., Yund E. W. [et al.], Factors influencing the latency of simple reaction time, *Front. Hum. Neurosci.*, **9**, 131 (2015).
8. Sobolev V. I., The Independence of a Simple Visual-Motor Reaction from the Preconscious Component of Sensation during Backward Masking by Two-Color Stimuli, *Experimental Psychology*, **13(2)**, 4 (2020).
9. Sobolev V. I., Characteristics of Latent Periods and Variability Parameters of Elements of a Simple Visuomotor Reaction: an Electromyographic Study, *Human Physiology*, **46**, 30 (2020). doi: 10.31857/S0131164620020174
10. Sobolev V. I., Popov M. N., Trush V. V., The independence of the latent period of a complex visual-motor reaction ("GO / NO-GO"-model) from the number and modality of differentiating inhibitory stimulus, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya, Himiya*, **5(71)**, 95 (2019).
11. Johansson R. S., Vallbo A. B., Detection of tactile stimuli. Thresholds of afferent units related to psychophysical thresholds in the human hand, *J. Physiol.*, **297**, 405 (1979).
12. Dongwon Kim, Brandon J. Johnson, R. Brent Gillespie and Rachael D. Seidler, The effect of haptic cues on motor and perceptual based implicit sequence learning, *Front Hum Neurosci.*, **8**, 130 (2014). doi: 10.3389/fnhum.2014.00130
13. Knibestöl M., Vallbo A. B., Intensity of sensation related to activity of slowly adapting mechanoreceptive units in the human hand, *J Physiol.*, **300**, 251 (1980). doi: 10.1113/jphysiol.1980.sp013160.
14. Werner Gerhard, Vernon B., Mountcastle Neural activity in mechanoreceptive cutaneous afferents: stimulus-response relation, and information transmission, *J Neurophysiol.*, **28**, 359 (1965). doi: 10.1152/jn.1965.28.2.359
15. Choi Jeongbong, Soonhyun Yook, In Young Kim, Mok Kun Jeong, Dong Pyo Jang, Quantification of Displacement for Tactile Sensation in a Contact-type Low Intensity Focused Ultrasound Haptic Device, *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, **18**, (2002).
16. Lupandin V. I., *Fundamentals of sensory physiology: a tutorial*, 283 p. (Moscow: Sfera, 2006).