

УДК 612.763+57.024

ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕМОРА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ, СВЯЗАННЫХ С СОКРЫТИЕМ ИНФОРМАЦИИ

© 2019 г. А. Ю. Александров¹, К. О. Уплисова¹, *, В. Ю. Иванова¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: k.uplisova@spbu.ru

Поступила в редакцию 27.02.2018 г.

После доработки 15.06.2018 г.

Принята к публикации 01.10.2018 г.

Работа направлена на исследование возможности объективной оценки вызванных изменений эмоционального состояния по особенностям параметров физиологического тремора, при предъявлении стимулов с различной эмоциональной значимостью. Для моделирования изменений эмоционального состояния использована условная игровая реализация парадигмы “знания виновного” (*Guilty Knowledge Test*). Испытуемым предлагали выбрать из предлагаемого набора карточек символ (число от 0 до 7) и скрывать сделанный выбор в ходе эксперимента, при предъявлении на экране монитора символов из предложенного числового набора. Регистрацию физиологического тремора осуществляли трехкоординатными цифровыми акселерометрами, закрепленными на внешней стороне указательных пальцев. Полученные результаты отражают изменения динамики вызванной психомоторной активности, соответствующей возникновению эмоциональных состояний, обусловленных необходимостью скрывать информацию. Обнаружены достоверные изменения коротколатентной динамики физиологического тремора в интервале 300–750 мс возникавшие при предъявлении зрительных стимулов, связанных со скрываемой информацией.

Ключевые слова: физиологический тремор, эмоциональные состояния, выявление сокрытия информации.

DOI: 10.1134/S0131164619010028

Задачей исследования является выявление особенностей физиологического тремора при предъявлении зрительных стимулов, эмоциональная значимость которых обусловлена сокрытием информации. В более общем изложении предметом исследования можно считать разработку методов объективной оценки изменений эмоционального состояния, основанных на анализе динамики неосознаваемых психомоторных реакций.

Физиологический тремор в данном контексте рассматривается как квазипериодические произвольные движения дистальных отделов конечностей, в частности, рук и пальцев в диапазоне 8–12 и 17–22 Гц [1], наблюдаемые у человека в норме. Амплитуда физиологического тремора не позволяет исследовать его динамику без использования технических средств. Физиологический тремор следует дифференцировать от усиленного физиологического (*enhanced physiological*), психогенного (*psychogenic*) и других видов тремора, рассматриваемых как часть патологической или условно патологической симптоматики [2].

Параметры физиологического тремора определяются двумя независимыми комплексами причин: первые из них связаны с механическими и физиологическими характеристиками конечностей, вторые — с управляющими влияниями центрального происхождения. Параметры физиологического тремора варьируют в широком диапазоне значений в зависимости от положения руки относительно направления действия силы тяжести и наличия нагрузки [3]. Частота компонентов тремора, имеющих центральное происхождение, составляет 8–12 Гц [4, 5] или выше [3].

Среди наиболее распространенных воздействий, приводящих к возникновению изменений параметров физиологического тремора, имеется целый ряд факторов, вызывающих изменения в психоэмоциональной сфере, такие как введение психотропных веществ, алкоголизация, аффективные реакции [6]. Увеличение уровня тревожности является одной из распространенных причин возникновения усиленного физиологического тремора (*enhanced physiological tremor*) [7].

Наличие в физиологическом треморе компонентов центрального происхождения позволяет предположить, что изменения эмоционального состояния могут оказывать на него существенное влияние. В настоящий момент имеются единичные работы по исследованию влияния эмоционального состояния человека на параметры тремора, которые выполнены для патологических форм тремора, в основном на пациентах с эссенциальным тремором и болезнью Паркинсона [2]. Так, в частности, показано, что стресс и когнитивная нагрузка приводят к изменению амплитуды и частоты тремора у больных болезнью Паркинсона [8–10].

Традиционные исследования влияния изменений эмоционального состояния на параметры физиологического тремора рассматривают только продолжительные и достаточно выраженные изменения эмоционального статуса — прежде всего вызванные приемом антидепрессантов и анксиолитиков [11]. Сведений об исследовании кратковременных изменений параметров физиологического тремора обнаружить не удалось.

Исследования возможности объективной регистрации изменений эмоционального состояния, вызванных попытками фальсификации или сокрытия информации, имеют длительную историю. В наиболее общем виде протоколы выявления сокрытия информации можно разделить на три направления. Первое — “техника релевантных—нерелевантных вопросов”, второе — “метод контрольных вопросов” и третий метод — “знания виновного”. Преимуществом первых двух подходов является возможность проводить тестирование без априорных предположений о фактическом содержании скрываемой информации при этом заявленная точность, а порой и корректность протоколов данной группы подвергается наиболее обоснованной критике. Подбор тестового материала (контрольных и нерелевантных вопросов), используемого для сравнения физиологических реакций в этих методиках, проводится весьма произвольным образом и по определению не может быть формализован и автоматизирован [12].

Метод “знания виновного” (*Guilty Knowledge Test*) предполагает наиболее корректный с психофизиологической точки зрения подход к выявлению сокрытия информации по параметрам сопутствующих физиологических реакций. В данном протоколе испытуемому демонстрируют серию стимулов, состоящую из релевантного и группы нерелевантных, но аналогичных по представленному стимулов, которые не отличаются друг от друга в смысловом и психофизическом отношении. Использование группы нерелевантных тестирующих стимулов позволяет осуществлять интраиндивидуальную оценку вызванных реакций испытуемого и, тем самым, исключить влияние инди-

видуальных различий динамики и абсолютных значений регистрируемых параметров. Данный протокол официально используется в юридической практике в Японии и ряде других стран [13].

Базовым методологическим приемом, предлагаемым в данной работе для моделирования изменений эмоционального состояния, является условная игровая реализация парадигмы “знания виновного”, в которой испытуемый непосредственно перед тестированием выбирает из предоставляемого набора скрываемый символ и не раскрывает сделанный выбор до окончания тестирования. Разработанная методология позволяет оценивать эффективность различения вызываемых эмоциональных состояний по результативности определения загаданного испытуемым числа с использованием исследуемых параметров психофизиологических реакций.

МЕТОДИКА

В ходе эксперимента испытуемого располагали в кресле, в положении сидя с симметричным расположением обеих рук. Кисти рук и предплечья должны были находиться в безопорном и, по возможности, комфортном для испытуемого положении. Эксперименты проводили в экранированной звукоизолированной камере. Регистрацию физиологического тремора осуществляли трехкоординатными цифровыми акселерометрами типа *ADXL345* (“*Analog Devices*”, США), закрепленными симметрично на внешней стороне указательных пальцев правой и левой руки испытуемого. Для увеличения стабильности регистрируемых параметров физиологического тремора и фиксации внимания на выполняемой задаче испытуемому предоставляли зрительную обратную связь по положению обеих рук в горизонтальной плоскости. Монитор, на экране которого предъявляли стимулы из тестового набора и индикаторы сигналов обратной связи, был расположен по средней линии перед испытуемым на расстоянии приблизительно 1 м.

В исследовании принимали участие 17 человек — студентов СПбГУ, учащихся 2–3 курсов в возрасте 19–22 лет, среди которых было пятеро мужчин и двенадцать женщин. Все испытуемые предварительно прошли обследование, направленное на определение предпочитаемой руки, по результатам которого пятнадцать человек оказались праворукими и двое леворукими.

Протокол эксперимента выглядел следующим образом. Для выполнения программы эксперимента от испытуемого требовали удерживать ладони на весу горизонтально, руководствуясь сигналами обратной связи (рис. 1, А).

Высота левого прямоугольника отражала положение относительно горизонта акселерометра,

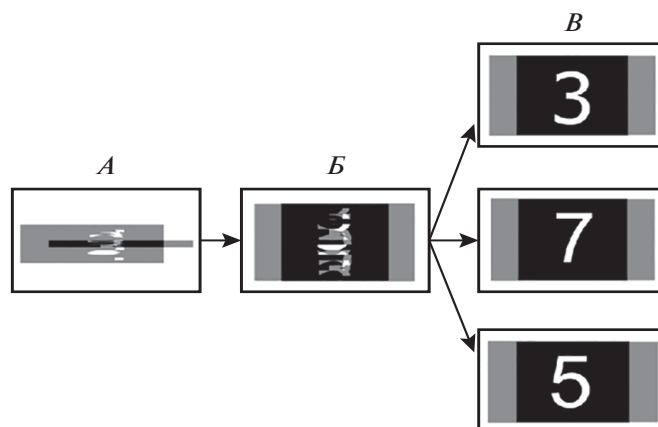


Рис. 1. Внешний вид предъявляемых зрительных стимулов и индикаторов обратной связи. *A, B, B* – последовательность предъявления индикаторов обратной связи.

закрепленного на указательном пальце левой руки, изменение высоты правого прямоугольника зависело от положения акселерометра, закрепленного на указательном пальце правой руки. При увеличении размеров обоих прямоугольников по высоте до максимально возможного из искаженного нечитаемого графического символа (рис. 1, *B*) на экране появлялся, выбранный в случайном порядке, зрительный стимул из тестового набора (цифра от 0 до 7), расположенный на фоне пересекающихся прямоугольников (рис. 1, *B*).

Полученное изображение оставалось на экране в течение 2.5 с вне зависимости от действий испытуемого. После окончания экспозиции тестирующего изображения, аналогичного рис. 1, *B*, осуществляли автоматический переход к изображению на рис. 1, *A*. После этого у испытуемого появлялась возможность своими действиями либо вызвать демонстрацию следующего сигнала, либо предоставить себе небольшой отдых.

Программа эксперимента включала 64 предъявления тестирующих сигналов. Каждую цифру от 0 до 7 предъявляли по восемь раз. Продолжительность эксперимента обычно не превышала 6–8 мин, в зависимости от скорости следования сигналов обратной связи и продолжительности пауз, которые испытуемый делал при выполнении задания.

В ходе предварительного инструктажа испытуемому разъясняли его задачу и проверяли освоение навыков использования обратной связи, необходимых для выполнения программы эксперимента. Затем испытуемый подписывал информированное согласие на проведение эксперимента в соответствии с Хельсинкской декларацией о правах человека.

Перед началом эксперимента испытуемому предлагали загадать любую цифру из предложенного ему набора и поместить карточку с загадан-

ной цифрой в отдельный конверт, а остальные карточки – в другой. Испытуемый должен был скрывать свой выбор от экспериментатора до окончания тестирования и помнить загаданную цифру в течение всего эксперимента. После завершения эксперимента испытуемому предлагали назвать загаданное число и сравнить его с результатом, полученным экспериментатором в ходе предварительной обработки результатов.

Данные регистрации физиологического тремора с двух 3-х координатных акселерометров регистрировали со встроенных 12-и разрядных аналого-цифровых преобразователей с частотой дискретизации 200 Гц и опционально назначаемым диапазоном регистрируемых ускорений $\pm 2g$. Синхронизацию регистрации психомоторных реакций с моментом начала демонстрации тестирующего зрительного стимула осуществляли аппаратно, закрепленным на экране монитора датчиком яркости светового потока.

Для последующей обработки данные психомоторной активности разделяли на восемь групп в соответствии с типом предъявляемого тестирующего стимула. По каждой трехкоординатной реализации, соответствующей единичному предъявлению зрительного стимула, вычисляли евклидову норму:

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_i |x_i|^2}.$$

Для выделения исследуемых частотных диапазонов 8–12 Гц и 17–22 Гц использовали полосовую фильтрацию с рекурсивно применяемым сингулярным спектральным анализом (*SSA, singular spectrum analysis*) [14], основные этапы которой в кратком изложении выглядят следующим образом.

Перекрывающиеся фрагменты временного ряда ($x_i, i = 1, 2, \dots, N$) длительностью 2 с и шагом 0.005 с

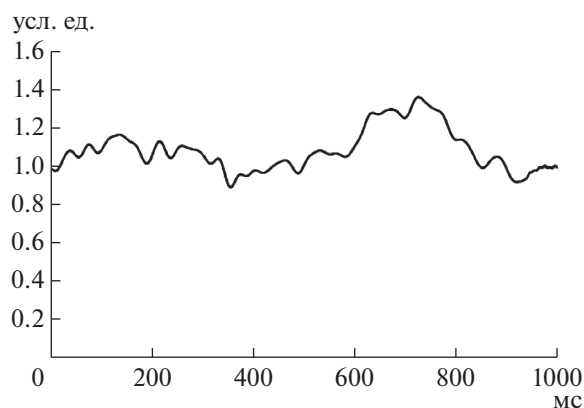


Рис. 2. Пример усредненных вызванных значений амплитуды тремора по одному испытуемому. По оси абсцисс — время, мс, нулевое значение соответствует началу демонстрации зрительного стимула; по оси ординат — нормированные значения амплитуды, усл. ед.

центрировали и разворачивали в квадратную гангелеву матрицу X .

$$X = (x_{ij})_{ij=1}^{kM} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_M \\ x_2 & x_3 & x_4 & \dots & x_{M+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \dots & x_{M+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_k & x_{k+1} & x_{k+2} & \dots & x_N \end{pmatrix}.$$

Далее вычисляли сингулярное преобразование матрицы R :

$$R = 1/k X(X)^T.$$

По полученным парам “собственный вектор—собственное значение” осуществляли реконструкцию элементарных рядов. Элементарные ряды, в спектрах которых отсутствовали частоты исследуемого диапазона, исключали из сигнала. После исключения элементарных рядов, не соответствующих целевой полосе частот, осуществляли реконструкцию выходного ряда. Описанную процедуру повторяли рекурсивно с последовательным сокращением длины окна для исключения влияния “краевых эффектов”.

Динамику амплитуды физиологического тремора в исследуемой полосе частот оценивали по огибающей сигнала, для построения которой вычисляли преобразование Гильберта. Для получения преобразования Гильберта использовали процедуру перехода к Фурье-образу аналитического сигнала посредством вращения фазы в спектральной плоскости с последующим обратным преобразованием во временной домен и вычислением огибающей по амплитуде аналитического сигнала. Для количественной оценки максимальных изменений амплитуды сигнала в исследуемом частот-

ном диапазоне амплитуду огибающей нормировали к среднему значению во временном интервале 300–450 мс от начала предъявления тестирующего сигнала.

Статистическую оценку достоверности полученных результатов проводили в двух вариантах. Первый — с использованием модифицированного критерия Колмогорова—Смирнова против гипотезы о равномерном распределении относительных величин психомоторных реакций в ответ на предъявление стимула связанного с сокрытием информации. Второй — с использованием одновыборочного критерия Вилкоксона против гипотезы о симметрии распределения относительных величин психомоторных реакций в ответ на предъявление стимула связанного с сокрытием информации.

В обоих вариантах в качестве распределения относительных величин психомоторных реакций, вызванных предъявлением стимула связанного со скрываемой информацией, рассматривали распределение положения (ранга) вызванных реакций на релевантный стимул в упорядоченной по величине последовательности (вариационном ряду) максимальных вызванных изменений, полученных в ответ на все стимулы набора.

Достижимые уровни значимости при применении выбранных статистических критериев вычисляли с использованием бутстреп-анализа. Особенности вычислительных алгоритмов для обоих случаев подробно изложены в следующих работах [15, 16].

Степень увеличения вероятности возникновения максимального отклонения амплитуды физиологического тремора, в ответ на демонстрацию загаданного испытуемым числа, можно рассматривать как интегральный показатель эффективности предлагаемого метода выявления формируемых изменений эмоционального состояния, вызванных сокрытием информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вызванные изменения амплитуды физиологического тремора исследовались на временном интервале 0–1000 мс, по-отдельности в двух частотных диапазонах: 8–12 и 17–22 Гц. Динамика физиологического тремора рассматривалась отдельно для ведущей и ведомой руки. В качестве основной характеристики вызванных изменений физиологического тремора рассматривалась амплитуда огибающей. Всего для каждого предъявления тестового сигнала из восьмисимвольного набора было зарегистрировано по восемь реализаций. Предварительный анализ показал, что выраженность исследуемых амплитудных различий возрастает при уменьшении количества используемых реализаций, если накопление реализаций осуществляется от нача-

ла опыта. В соответствии с этим для дальнейшей обработки отбирались первые три реализации, полученные после предъявления каждого тестового стимула.

Обобщенный характер формы усредненных вызванных изменений амплитуды демонстрирует некоторые существенные особенности психомоторных реакций возникающих в ответ на предъявление стимулов вне зависимости от их отношения к скрываемой информации (рис. 2).

Прежде всего, следует обратить внимание на выраженное снижение амплитуды тремора во временном интервале 300–450 мс, обычно сопровождающееся достижением локального минимума амплитуды тремора, при том, что абсолютные значения средней амплитуды тремора могут существенно различаться от реализации к реализации. Указанная особенность вызванных изменений амплитуды физиологического тремора встречается у большинства испытуемых и позволяет использовать интервал 300–450 мс для нормирования значений амплитуды тремора.

Предварительная обработка данных и результаты предыдущих исследований [17] показали, что вызванные изменения физиологического тремора, связанные с эмоциональной значимостью предъявляемого стимула, обычно возникают с латентным периодом 500 мс и более. В соответствии с этим для поиска достоверных различий, вызванных предъявлением эмоционально значимых сигналов, связанных со скрываемой информацией, был выбран временной интервал 450–750 мс от момента начала предъявления сигнала. В качестве оценки изменений амплитуды было выбрано максимальное значение нормированной амплитуды тремора на временном интервале 450–750 мс, полученное в ответ на первые три предъявления каждого тестирующего сигнала.

Основные особенности анализируемого паттерна вызванных изменений амплитуды физиологического тремора можно видеть на примере одной из реализаций, изображенной на рис. 3.

На рис. 3 представлена характерная последовательность изменений, вызванная восприятием и оценкой предъявляемых сигналов – снижение амплитуды в интервале 300–450 мс, и последующее возрастание амплитуды в период с 450 до 600–700 мс.

Статистическое оценивание полученных результатов показало достоверное увеличение вероятности возникновения максимальных положительных отклонений амплитуды физиологического тремора ведущей руки в диапазоне частот 8–12 Гц при предъявлении сигналов, связанных со скрываемой информацией. Достижимый уровень значимости при проверке гипотезы о равномерном распределении относительных величин психомоторных реакций в ответ на

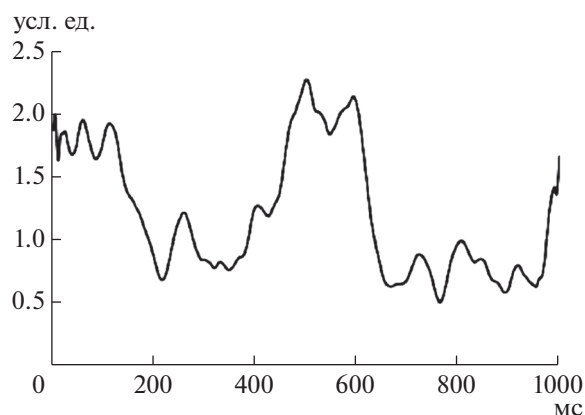


Рис. 3. Вызванные изменения амплитуды тремора при предъявлении зрительного стимула связанного со скрываемой информацией. Пример реализации. Обозначения см. рис. 2.

предъявление стимула, связанного со скрываемой информацией, оказался равным 0.0004 и позволил отклонить нулевую гипотезу. При проверке гипотезы о симметрии распределения относительных амплитуд психомоторных реакций ведущей руки, полученных в ответ на предъявление стимула, связанного с сокрытием информации, достигаемый уровень значимости для отклонения гипотезы составил 0.0033.

Исследование связанных с сокрытием информации вызванных изменений амплитуды физиологического тремора ведущей руки в диапазоне 17–22 Гц показало еще более высокий уровень достоверности обнаруженных изменений. Достижимый уровень значимости при проверке гипотезы о равномерном распределении относительных величин психомоторных реакций в ответ на предъявление стимула, связанного со скрываемой информацией, оказался равным 0.0001. Для гипотезы о симметрии распределения относительных величин психомоторных реакций в ответ на предъявление стимула, связанного со скрываемой информацией, достигаемый уровень значимости, указывающий на отклонение гипотезы, составил 0.0018.

Установленные особенности распределения относительных величин вызванных изменений физиологического тремора позволяют утверждать, что вероятность возникновения максимальных по величине изменений амплитуды физиологического тремора ведущей руки в исследуемых диапазонах частот достоверно возрастает при демонстрации тестирующих стимулов, связанных со скрываемой информацией. Степень асимметрии распределения, при соответствующем ее направлении, можно считать количественной оценкой выраженности вызванных изменений амплитуды тремора.

Исследование физиологического тремора ведомой руки с использованием тех же процедур не выявило достоверных различий вероятности возникновения максимальных положительных отклонений амплитуды физиологического тремора в ответ на предъявление сигналов, связанных со скрываемой информацией. Достижимые уровни значимости различий в этом случае изменялись от 0.41 до 0.26.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данная работа продолжает развивать подход, связанный с анализом психомоторных реакций на фоне демонстрации сигнала зрительной обратной связи, который в предыдущих работах авторов [17] уже зарекомендовал себя как эффективное средство снижения вариабельности и повышения качества регистрации вызванных изменений физиологического тремора. Для компенсации сохранившихся различий в средней амплитуде реализаций было использовано нормирование к среднему значению в интервале 300–450 мс, внутри которого поведение исследуемого параметра продемонстрировало наиболее стабильный характер.

Выбор критического временного интервала 450–750 мс, ограничивающего момент наступления вызванных изменений амплитуды, обусловлен как обобщением результатов данного исследования, так и полученными ранее данными о латентности вызванных изменений мгновенной частоты физиологического тремора в ответ на предъявление зрительных, эмоционально значимых сигналов в сопоставимой модели [17].

Полученное в эксперименте снижение вероятности возникновения экстремальных изменений амплитуды тремора в более поздних реализациях можно считать характерным признаком реакций на эмоционально значимые стимулы. Снижение реактивности испытуемого, связанное с привыканием, можно считать одним из основных ограничивающих факторов при регистрации моделируемых в эксперименте изменений эмоционального состояния, так как увеличение количества накапливаемых реализаций довольно быстро перестает приводить к улучшению статистических характеристик получаемых ответов [18].

Полученные в ходе предварительной обработки результатов данные указывают на существование достаточно устойчивых особенностей усредненных вызванных изменений амплитуды тремора неспецифических к характеру тестовых стимулов и имеющих достаточно короткий латентный период (~300 мс). Данное обстоятельство позволяет высказать предположение о том, что данная реакция, с некоторым запаздыванием, отражает изменение внимания, предшествующее окончанию процесса восприятия и оценки предъявляемых стимулов.

В этом случае весьма логично считать характер зарегистрированных последующих изменений следствием процесса оценивания сигнала и эмоциональной реакцией на его итог.

Полученные результаты, по мнению авторов, указывают на возможность регистрации кратковременных и незначительных эмоциональных реакций, причиной которых, по-видимому, является соревновательная мотивация, неявно вызываемая у испытуемого в ходе предвзятого инструктажа предложением проверить его способность скрыть выбранное число.

Использованная в работе парадигма “знания виновного” позволяет затронуть, в сравнительном плане, направления развития методов регистрации изменений эмоционального состояния, существующие в прикладных областях. Как указывают литературные источники [19], регистрация пальцевого тремора относится к числу мало распространенных и недостаточно разработанных методов прикладного полиграфического тестирования. Тем не менее, в последнее десятилетие, интерес к рассматриваемому методу вырос, в связи с возможностью дистанционной регистрации физиологического тремора посредством лазерной доплеровской виброметрии [20]. Это обстоятельство позволяет отнести регистрацию физиологического тремора к числу перспективных методов оценки эмоциональных состояний, связанных с сокрытием информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании нормированной амплитуды тремора ведущей руки в диапазонах 8–12 и 17–22 Гц обнаружено достоверное ($p \ll 0.01$) увеличение вероятности возникновения максимальных относительных изменений амплитуды тремора в интервале 450–750 мс от начала предъявления эмоционально значимых стимулов, связанных со скрываемой информацией.

Достоверных изменений амплитуды тремора ведомой руки при демонстрации эмоционально значимых стимулов связанных с сокрытием информации обнаружить не удалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Duval C., Jones J.* Assessment of the amplitude of oscillations associated with high-frequency components of physiological tremor: impact of loading and signal differentiation // *Exp. Brain Res.* 2005. V. 163. P. 261.
2. *Apartis E.* Clinical neurophysiology of psychogenic movement disorders: How to diagnose psychogenic tremor and myoclonus // *Clinical Neurophysiology.* 2014. V. 44. P. 417.
3. *Raethjen J., Pawlas F., Lindemann M. et al.* Determinants of physiologic tremor in a large normal population // *Clinical Neurophysiology.* 2000. V. 111. P. 1825.

4. *Elble R.J.* Physiologic Tremor / Mechanisms and Emerging Therapies in Tremor Disorders // Eds. Grimaldi G., Manto M. Springer-Verlag N.Y., 2013. 490 p.
5. *Elble R.J.* Essential tremor in a monosymptomatic disorder // Movement Disorders. 2002. V. 17. P. 633.
6. *Hallett M.* Classification and treatment of tremor // JAMA. 1991. V. 266. P. 115.
7. *Dalvi A., Premkumar A.* Tremor: Etiology, Phenomenology, and Clinical Features // Disease-a-Month. 2011. V. 57. № 3. P. 109.
8. *Marsden C.D., Owen D.A.L.* Mechanisms underlying emotional variation in parkinsonian tremor // Neurology. 1967. V. 17. P. 711.
9. *Raethjen J., Govindan R.B., Binder S. et al.* Cortical representation of rhythmic foot movements // Brain Research. 2008. V. 1236. P. 79.
10. *Lee H.J., Lee W.W., Kim S.K. et al.* Tremor frequency characteristics in Parkinson's disease under resting-state and stress-state conditions // J. Neurological Sciences. 2016. V. 362. P. 272.
11. *Annamalai A.* Medical management of psychotropic side effects. Springer International Publishing, 2017. 304 p.
12. *Iacono W.G., Lykken D.T.* The scientific status of research on polygraph techniques: The case against polygraph tests. Modern scientific evidence: The law and science of expert testimony // Eds. Faigman D.L., Kaye D., Saks M.J., Sanders J. St. Paul. MN. West, 2002. V. 2. P. 483.
13. *Hira S., Furumitsu I.* Polygraphic examinations in Japan: Application of the guilty knowledge test in forensic investigations // International J. Police Science and Management. 2002. V. 4. P. 16.
14. *Golyandina N., Zhigljavsky A.* Singular spectrum analysis for time series. Springer Briefs in Statistics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 120 p.
15. *Kroese D.P., Chan J.C.C.* Statistical Modeling and Computation. Springer-Verlag NY., 2014. 412 p.
16. *Boos D.D., Stefanski L.A.* Essential Statistical Inference. Theory and Methods. Springer-Verlag NY., 2013. 568 p.
17. *Alexandrov A.Yu., Uplisova K.O., Popov O.S. et al.* Osobennosti dinamiki mgnovennoi' chastoty' fiziologicheskogo tremora pri vospriiatii signalov s razlichnoi' e' motcional'noi' znachimost'iu // Rossiiskii' fiziologicheskii' zhurnal im. I.M. Sechenova. 2016. T. 102. № 10. C. 1224.
18. *Codispoti M., Cesarei A., Biondi S., Ferrari V.* The fate of unattended stimuli and emotional habituation: Behavioral interference and cortical changes. // Cogn. Affect. Behav. Neurosci. 2016. V. 16. P. 1063.
19. *Kniazev V., Varlamov G.* Poligraf i ego prakticheskoe primenenie: Uchebnoe posobie. M.: "Print-Centr", 2012. 859 p.
20. *Rohrbaugh J.W., Serevaag E.J., Stern J.A., Ryan A.H.* The physiology of threat: remote assessment using laser Doppler vibrometry // J. Credibility Assessment. 2006. V. 7. № 2. P. 135.

Dynamics of the Physiological Tremor Induced by Deception-Related Emotional Reactions

A. Yu. Aleksandrov^a, K. O. Uplisova^{a,*}, and V. Yu. Ivanova^a

^aSaint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*E-mail: k.uplisova@spbu.ru

The study was performed to estimate the dynamics of the physiological tremor evoked by deception-related emotional reactions. The purpose was to create a method for the formal evaluation of emotional reactions based on evoked tremor dynamics. The Guilty knowledge test (GKT) was used as a model of evoked emotional state modifications. The subject was asked to select a symbol from the standard set of characters (0–7) and to keep it undiscovered until the end of the experiment. During the automated experimental procedure, the characters were randomly displayed to subject from the computer screen. The physiological tremor was recorded by 3-axial digital accelerometers fixed on the external side of index fingers. Obtained data reflect the unconscious psychomotor responses to deception-related fluctuations of the emotional status. We observed statistically significant differences in short term (250–750 ms) physiological tremor dynamics in response to visually presented stimulus related to concealed information.

Keywords: physiological tremor, emotion recognition, deception detection.