

Мир науки. Педагогика и психология / World of Science. Pedagogy and psychology <https://mir-nauki.com>

2023, Том 11, № 1 / 2023, Vol. 11, Iss. 1 <https://mir-nauki.com/issue-1-2023.html>

URL статьи: <https://mir-nauki.com/PDF/28PSMN123.pdf>

DOI: 10.15862/28PSMN123 (<https://doi.org/10.15862/28PSMN123>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белинский, А. В. Влияние эмоционального напряжения на параметры тремора в процессе письма / А. В. Белинский, В. М. Девишвили, А. М. Черноризов, М. А. Лобин // Мир науки. Педагогика и психология. — 2023. — Т. 11. — № 1. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/28PSMN123.pdf> DOI: 10.15862/28PSMN123

For citation:

Belinsky A.V., Devishvili V.M., Chernorizov A.M., Lobin M.A. Influence of emotional tension on tremor parameters in the writing process. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2023; 11(1): 28PSMN123. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/28PSMN123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/28PSMN123

УДК 159.91; 159.946.4

Белинский Артем Викторович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

Аспирант кафедры «Психофизиологии»

E-mail: V10046321@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-7018>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/НКЕ-3297-2023>

Девишвили Важа Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

Сотрудник

Кандидат биологических наук, доцент

E-mail: vmdev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7554-7463>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=805295

Черноризов Александр Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

Заведующий кафедрой «Психофизиологии»

Доктор психологических наук, профессор

E-mail: amchern53@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5199-5050>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=12427

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/I-4122-2012>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57060395200>

Лобин Михаил Александрович

ООО «ПГК ДИДЖИТАЛ», Москва, Россия

Старший разработчик

E-mail: lobin@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4169-155X>

Влияние эмоционального напряжения на параметры тремора в процессе письма

Аннотация. Актуальность темы. Влияние эмоционального напряжения на письмо активно изучается в аспекте его влияния на кинематические характеристики. Преобладают такие подходы как машинное обучение, исследовательские и почерковедческие. Исследования, в которых учитывалась связь между кинематическими характеристиками письма и

эмоциональным напряжением в настоящее время отсутствуют. Предлагаемое исследование восполняет пробел в этой области и является частью исследования.

Цель работы: изучить способ тензотремографии как показателя наличия эмоционального напряжения в процессе письма.

Методика. В процессе письма заготовленной фразы по кинетическим характеристикам у 50 испытуемых анализировалась спектральная мощность приложенной силы, полученная методом Уэлча, во время предъявления базы эмоциональных изображений COMPASS и звуковых стимулов, превышающих уровень комфорта.

Результат. Заметно значительное различие между мощностями при вызывающих напряжением стимулах и не вызывающих. Разницы между 10-м и 90-м процентилем эмоционально значимых стимулов практически не отличаются между собой и находятся на одном уровне спектральной плотности (около 370 000–400 000 мН²/Гц). Это подтверждает предположение о неспецифичности реакции на стимуляцию эмоционально значимыми стимулами.

Вывод. По результатам проведенного исследования показано, что спектральная мощность на частоте 8–16 Гц при предъявлении стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение, достоверно больше, чем в отсутствии стимулов или при предъявлении нейтрального. Данная методика имеет перспективу для применения в детекции скрываемой информации, определения эмоционального напряжения в образовательной среде и медицине в качестве средства определения двигательных и заболеваний нервной системы.

Ключевые слова: психофизиология письма; тензотрёмометрия; спектральная мощность; физиологический тремор; эмоциональное напряжение

Введение

Несмотря на широкое развитие информационных технологий, письмо как процесс всё ещё активно используется в совершенно разных областях повседневной жизни. Кроме подписи, которая зачастую является стандартным подтверждением личности человека, письмо также применяется при заполнении документов в свободной или полусвободной форме, используется во многих государственных учреждениях и в целом всё ещё занимает полноценное место как способ передачи информации.

В рамках обучения, письмо применяется весьма широко, поскольку в современном образовании большинство записей ведётся от руки. Кроме того, несмотря на значительный сдвиг в сторону дистанционного образования в последние годы, большинство контрольных и экзаменационных работ также пишется от руки, что открывает большое поле для исследования психоэмоционального состояния учащихся непосредственно в моменте через изменение характеристик письма.

Состояние эмоционального напряжения значительно влияет на усвоение материала и скорость обучения студентов [1]. Исследования этого феномена проводились ранее, однако большинство этих исследований концентрировалось либо на использовании опросных методик, либо на исследовании дистанционного обучения, поскольку компьютерные технологии по природе своей дают большую возможность для сбора аналитических данных о поведении пользователя [2; 3]. Изучить эмоциональное напряжение учащихся в процессе офлайн-обучения представляется перспективным направлением.

При этом, способы анализа эмоционального состояния человека через анализ письма как процесса и его результатов, хотя и постоянно развиваются, но пока ещё не позволяют достигать оптимальных результатов, что приводит к тому, что эти методы остаются вспомогательными. К таким методам условно можно отнести: почерковедческие [4; 5]. Изучение письма и его характеристик с помощью машинного обучения [6], прямое сопоставление изучаемых письменных характеристик, полученных с помощью технических средств с эмоциональными состояниями и их компонентами [7].

В то же время, интересным представляется исследование силовых характеристик письма, поскольку данные о них собираются непосредственно в процессе письма, таким образом, исключая посредника в виде результата на бумаге. Ранее подобные исследования, были сфокусированы на конкретных аспектах и ситуациях письма, например, изучение силовых характеристик письма у детей и взрослых [8; 9], изменчивости сил, применяемых во время подписи [10] и исследование заболевания «судорога писателя» [11].

В данной работе основным акцентом является исследование связи между силовыми характеристиками письма и его треморовой составляющей, и эмоциональным состоянием человека в процессе письма. Тремор исследуется методом тензотремометрии, тогда как для оценки эмоционального состояния применяется комплекс аппаратуры для регистрации показателей вегетативной нервной системы (ВНС).

Предлагается использование методов тензотремометрии как дополнительного способа определения наличия эмоционального напряжения в процессе письма. Как было показано в [12; 13], состояние эмоционального напряжения вызывает значимые изменения в характере тремора, что можно определить методами тензотремометрии. Данная работа ставит своей целью предложение методики для именно такого исследования.

Целью исследования является введение тензотремометрии как показателя наличия эмоционального напряжения в процессе письма.

Данная часть работы необходима для проверки **гипотезы** об изменении характера физиологического тремора на частоте 8–16 Гц как фактора изменения силовых характеристик письма в процессе автоматизированного письма в состоянии эмоционального напряжения.

Методы

Выборка

В исследовании принимало участие 50 человек (28 мужчин и 22 женщины, средний возраст = 23 +/-2.4 года).

Описание хода исследования

Процедура.

Испытуемый располагался сидя за столом. На столе находился цифровой планшет Wacom. На левую руку испытуемого надевались датчики регистрации физиологической активности, в правой руке испытуемый держал ручку оснащенную тензодатчиками. Положение рук испытуемого представлено на рисунке 1. Каждому испытуемому предлагалось пройти серию измерений, включающую в себя 25 серий. В каждом измерении участнику предлагалась следующая инструкция: «Вам необходимо будет написать фразу «Шиншилла Шиншилле шуршала» с помощью специализированной ручки на цифровом планшете (рис. 1)». Стимулы

подавались в случайном порядке, а также в случайный момент на интервале от 5 до 20 секунд с момента начала эксперимента».

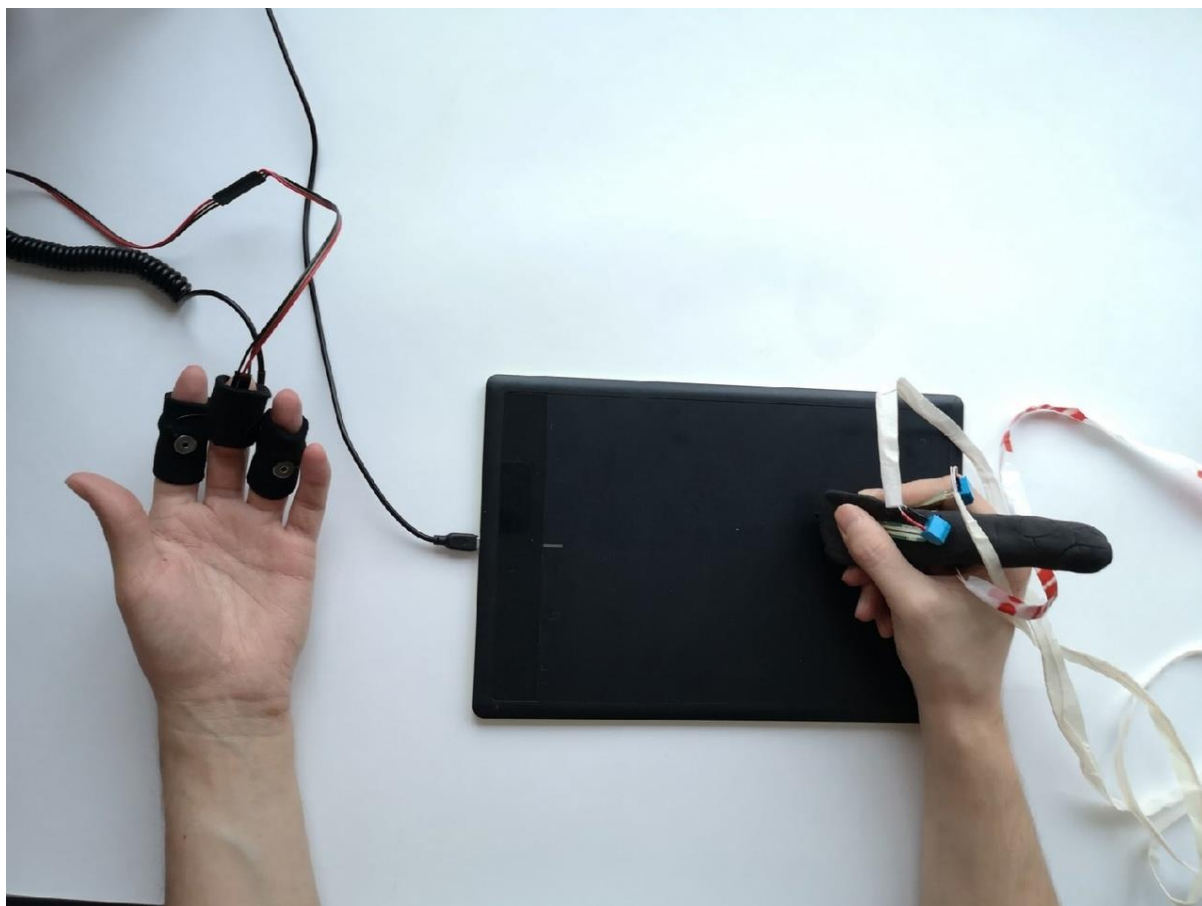


Рисунок 1. Положение рук испытуемого во время эксперимента (составлено автором)

Данная фраза взята, поскольку при написании фразы на русском языке получается циклоида — равномерное, колебательное движение кисти и предплечья в форме петли. Поскольку циклоида обладает равномерностью, такая фраза будет представлять меньше препятствий для анализа частотных диапазонов, которые характерны для физиологического тремора в процессе письма [14].

Стимульный материал.

В качестве стимульного материала из базы COMPASS [15] было отобрано 15 изображений, разделенных по категориям валентности как негативные, позитивные и нейтральные (предъявлялись на протяжении 2 секунд), 5 звуковых стимулов из базы, включающие в себя звуки взрыва, мужских и женских криков продолжительностью 1 с. на громкости 105 Дб, а также 5 звуковых стимулов, содержащих в себе тишину.

Аппаратная часть.

Для исследования использовался планшет Wacom CTL-610 и соответствующее ему перо. Тензорезисторы были подключены в 3-х контактных точках «штативного динамического хвата» [16] корпуса ручки, соответствующие указательному, большому и безымянному пальцу. Корпус сделан из полимерной глины, поэтому вес ручки не был существенно увеличен.

Данные собирались с помощью авторской установки, состоящей из двух частей — модуля сбора данных вегетативной нервной системы (ВНС), а также модуля сбора данных тензотремометрии [17]. Для анализа ВНС использовалось программное обеспечение

NeuroKit2 [18]. В установке используются ранее не применявшиеся в данной отрасли силочувствительные датчики, позволяющие с большой точностью измерить изменения силы тремора на определенном диапазоне сил, теряя точностью измерения в других диапазонах. В рамках работы диапазон сил подстраивается под каждого конкретного испытуемого с целью перехода от абсолютных значений силы к нормальному уровню силы (НУС).

Анализ данных.

При анализе данных тензотрениграфии использовался метод скользящего окна [19]. Метод представляет собой пересекающиеся участки сигнала некоторой постоянной длины, на которые сигнал разбивается для того, чтобы иметь возможность анализа конкретного момента во всей его полноте.

Здесь полученные фрагменты невозможно анализировать на соответствие сигналу до подачи стимула, поскольку в процессе письма человек пишет разные буквы в разном темпе, и следовательно, произвольно выбранный участок небольшой длины может не принадлежать одной с ним выборке именно из-за этого, безотносительно результатов трениграфии. Эта задача нетривиальна даже при анализе непосредственно данных письма из-за эффекта “повторения без повторения”, описанного еще Бернштейном, а для её выполнения необходим сложный математический аппарат и дополнительные ограничения в процессе проведения эксперимента [20].

Для решения этой проблемы каждый из фрагментов не проходил обработку фильтром Баттерворта, а вместо этого анализировался с помощью спектрального анализа (power spectral density) [21; 22]. Спектральная плотность была получена методом Уэлча (основан на классическом методе периодограммы, который разбивает сигнал на участки, применяя на каждом периодограмму и усредняя значения) [23]. В то же время, использование подобного метода в ходе письма сопряжено с определенными трудностями, связанными с необходимостью отделять тремор от осознанных движений, происходящих в процессе письма на трениграмме.

Поскольку у взрослого человека доминирующая частота произвольных движений в письме составляет около 5 Гц [24]¹, полученный спектр плотностей сигнала анализировался на участке 8–16 Гц, где нормализовался относительно частот и затем усреднялся. Таким образом, анализ средних плотностей сигнала на участке письма до подачи стимула и после позволяет определить, является ли физиологический тремор, находящийся на частотах 8–16 Гц, более выраженным в состоянии эмоционального напряжения или нет путём прямого сравнения спектральных плотностей сигналов.

В данной работе анализируются пять различных групп данных, по каждому из видов стимулов, и затем по итоговым агрегированным данным проводится количественное сравнение реакции на каждый из стимулов.

Результаты исследования

На показательном графике (рис. 2) в диапазоне 8–16 Гц имеется пик, характерный для физиологического тремора [25–27]. Этот пик, как и общая трендовая линия, значимо больше для участка записи (при оценке значимости нужно учесть, что вертикальная ось графика построена по логарифмической шкале с основанием 10).

¹ Курганский А.В. Механизмы формирования координационной структуры серийных движений у взрослых и детей: диссертация ... доктора биологических наук: 03.03.01 / Курганский Андрей Васильевич; [Место защиты: Ин-т возраст. физиологии РАО]. — Москва, 2014. — 392 с.

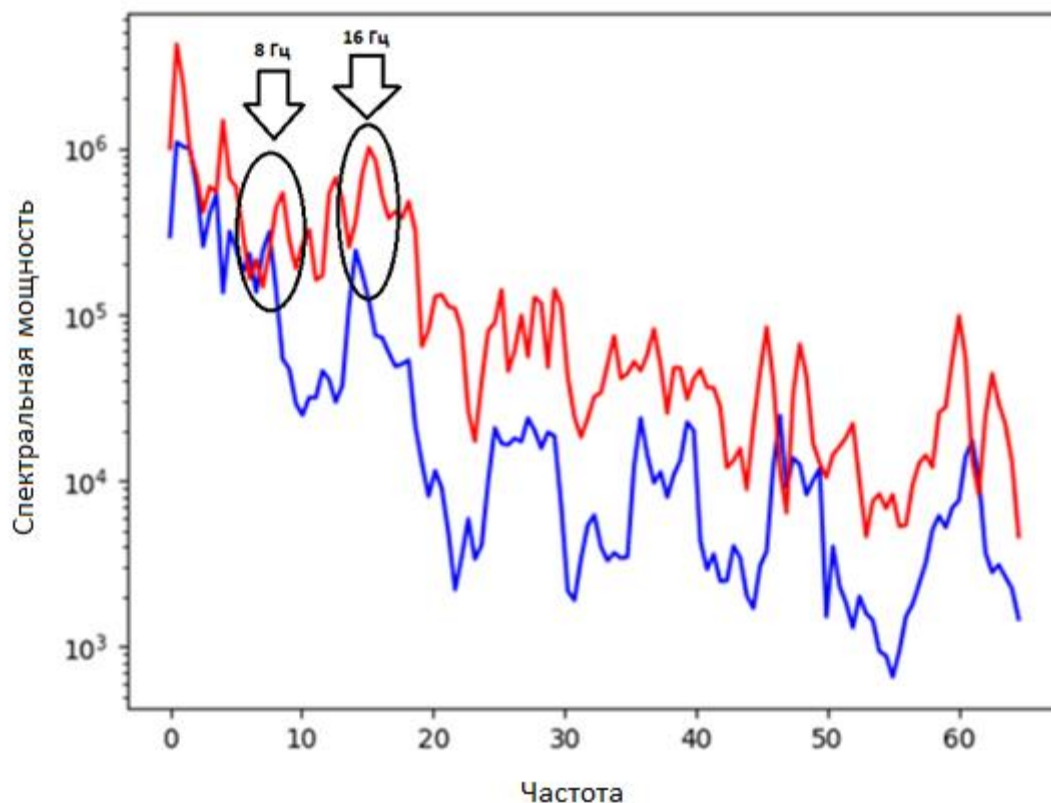


Рисунок 2. Сравнение данных анализа спектральной плотности испытуемого до и после стимула. Красная линия — спектральная мощность после стимула. Синяя линия — спектральная мощность до стимула. По вертикальной оси мощность в мВт/Гц, по горизонтальной — частота, Гц (составлено автором)

Таблица 1

Результаты анализа спектральной плотности участков сигнала с разными стимулами

Тип стимула	Стимульный материал предъявлялся		Стимульный материал не предъявлялся	
	средняя мощность, мВт/Гц	стд. отклонение, мВт/Гц	средняя мощность, мВт/Гц	стд. отклонение, мВт/Гц
Звук	393 731.09	35 232.93	282 517.36	6 801.29
Красивое	387 469.26	29 156.31		
Отвратительное	387 562.58	28 838.91		
Нейтральное	284 229.74	6 419.35		

Составлено автором

На таблице 1 хорошо видно характерное отличие между стимулами «Звук», «Красивое изображение», «Отвратительное изображение», и отсутствием стимула или стимулом «Нейтральное изображение», выражающееся в том, что средняя мощность и стандартное отклонение значительно отличаются между собой. Средняя мощность материала, вызывающего эмоциональное напряжение, превышает на 1/3 показатели средней мощности нейтрального стимула и без него. Между стимулами вызывающие эмоциональное напряжение нет существенных отличий, что говорит о не специфичности реакции.

Эти данные позволяют сделать вывод о том, что эмоциональное напряжение, вызываемое стимулами, имеет влияние на характер тремора в сторону увеличения силы тремора и его спектральной мощности, и, следовательно, на характер автоматизированного письма. В то же время, оценить характер такого влияния по данному анализу крайне трудно, поскольку выбранный метод анализа позволяет судить лишь о наличии или отсутствии такого

влияния, но не позволяет делать даже предположений о том, как меняется во времени тремор в ходе письма.

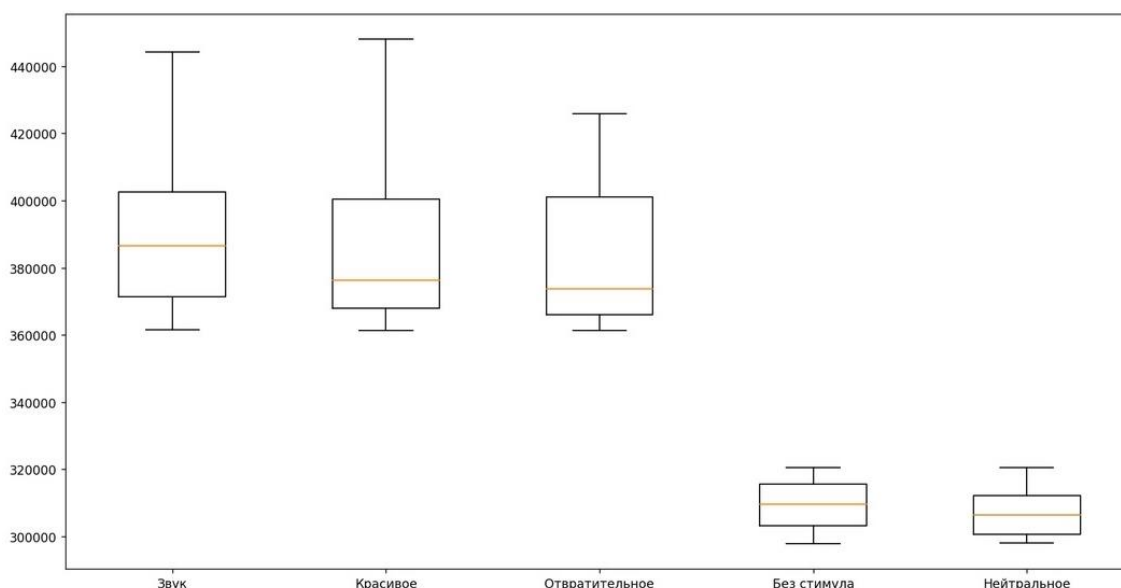


Рисунок 3. Анализ мощности сигналов на частоте 8–16 Гц при подаче различных стимулов. По вертикальной оси — спектральная плотность, в $\text{мН}^2/\text{Гц}$ (составлено автором)

На рисунке 3 можно наблюдать распределение средних спектральных мощностей после различных стимулов. Значения для нейтрального стимула и его отсутствия значения варьировались в диапазоне около 300 000–320 000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$. Заметно значительное различие между мощностями при вызывающих напряжении стимулах и не вызывающих. Разницы между 10-м и 90-м процентилем эмоционально значимых стимулов практически не отличаются между собой и находятся на одном уровне спектральной плотности (около 370 000–400 000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$). Это подтверждает предположение о неспецифичности реакции на стимуляцию эмоционально значимыми стимулами.

Таким образом, на графике можно наблюдать значительные отличия между медианными значениями плотностей, а также средними значениями \pm стандартное отклонение. Это позволяет сделать вывод о том, что состояние эмоционального напряжения связано с изменением мощности тремора при автоматизированном письме.

Обсуждение результатов

Основное внимание в работе уделено анализу данных тензотрёморометрии на частотах, характерных для физиологического тремора 8–16 Гц, исключая частоты, характерные для патологического и других видов тремора, и корреляции этих данных с синхронно собираемыми данными датчиков физиологических реакций испытуемых в процессе письма.

Модуль вегетативной нервной системы необходим был для определения наличия или отсутствия эмоционального напряжения, которое вызывалось различными стимулами. Он включал в себя модули фотоплетизмографии, и измерения уровня электрической активности кожи.

В рамках данного эксперимента проводилось исследование характера тремора как фактора, влияющего на автоматизированное письмо. Прямое сравнение данных до и после подачи стимулов в данном случае невозможно, в связи с тем, что прямое сравнение данных письма даже без стимулов задача крайне затруднительная, в связи с эффектом «повторения без

повторения», описанным ещё Бернштейном и требует значительного математического аппарата большой сложности для построения модели [20].

Было получено, что характер мощности спектральной плотности в ситуации предъявления эмоционально значимых стимулов (Приятных, неприятных и звуковых) достоверно больше, чем в контрольных условиях.

Полученные результаты представляются достоверными и подтверждают поставленные гипотезы. В то же время, характер полученных данных ставит новые вопросы относительно особенностей исследования эмоционального напряжения при тензотрёморометрии.

Также научный интерес представляет дальнейшее исследование данных тензотрёморографии в процессе письма, поскольку данная работа выявила только наличие связи между эмоциональным напряжением и увеличением амплитуды тремора. В то же время, определить конкретный момент и характер увеличения, задержку между таким увеличением и её связь с какими-либо параметрами испытуемых, стимуляции или эксперимента не удалось.

Обнаружены достоверные изменения характера и амплитуды тремора как кинетической характеристики письма при предъявлении вызывающих эмоциональное напряжение стимулов, и выявлена связь таких изменений с хорошо исследованными показателями стресса и напряжения на основе физиологических реакций организма.

На текущий момент методик исследования характера тензотрёморограмм в процессе письма по кинетическим характеристикам в современном научном сообществе не предлагалось. В то же время, широко распространён анализ по кинематическим характеристикам, таким как скорость и ускорение письма, анализ изменения этих характеристик от времени и от положения кончика пера на дигитайзере, и производные от них, такие как количество инверсий пера на определенном интервале письма [6; 28].

Разработано некоторое количество программных средств для подобного анализа, и он проводится достаточно часто [29; 30], что, по-видимому, связано с отсутствием необходимости разработки новых аппаратных решений.

В то же время, для проведения исследований в ходе данной работы был разработан специализированный аппаратно-программный комплекс, а также новая методика анализа, что позволило провести новый вид исследования на его основе.

В эксперименте использовался аппаратный комплекс для сбора данных тензотрёморометрии в процессе письма, что позволило затем проанализировать полученные данные с помощью модифицированного метода PSDA [13; 21; 22; 31], и интерпретировать полученные данные с использованием современного математического аппарата.

К ограничению относится то, что при данном способе исследования мы лишь можем указать что, изменение спектральной мощности произошло вследствие некоторых причин. О конкретных причинах такого изменения необходимы дополнительные исследования.

Заключение

В рамках данной работы был проведён эксперимент, проверяющий гипотезу о возможности получения данных тензотрёморографии в процессе письма, а также о возможности говорить, о наличии значимых отличий между характером такой тензотрёморограммы при подаче стимула, вызывающего эмоциональное напряжение и нейтрального стимула. В рамках работы испытуемые получали набор стимулов, вызывающих разные виды эмоционального напряжения, а также стимулы, не вызывающие этого напряжения.

Для определения наличия эмоционального напряжения использовались широко применяемые в современной науке методы анализа данных ВНС, для получения и анализа данных тензотремографии было разработано устройство и методика анализа этих данных.

Результаты исследования позволяют говорить о том, что тензотремография может использоваться как метод получения данных о наличии эмоционального напряжения в процессе письма, несмотря на возникающие в связи с наличием компонента осознанных движений. Было обнаружено значимое различие в мощности тремора при подаче эмоционально значимых стимулов и подаче нейтральных стимулов.

Разработана методика оценки тремора по спектральной мощности в процессе письма. По результатам проведенного исследования показано, что спектральная мощность на частоте 8–16 Гц при предъявлении стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение, достоверно больше, чем в отсутствии стимулов или при предъявлении нейтрального.

В рамках образовательной системы предлагаемая методика может быть использована для долгосрочных и краткосрочных исследований уровня напряжения учащихся, что позволит в дальнейшем корректировать учебные программы, планы и методики с учетом этого фактора. Данная методика может также использоваться для определения заболевания «судорога писателя» после соответствующей доработки. Так же методика имеет широкий потенциал доработки для практического использования, в частности, в целях инструментальной детекции лжи как маркера эмоционального напряжения при скрытии или же упоминании эмоционально значимой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pascoe M.C., Hetrick S.E., Parker A.G. The impact of stress on students in secondary school and higher education // *International Journal of Adolescence and Youth*. 2020. Vol. 25, № 1 <https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1596823>.
2. Rodrigues M. et al. Keystrokes and Clicks: Measuring Stress on E-learning Students. 2013. P. 119–126. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00569-0_15.
3. Stallman H.M., Hurst C.P. The University Stress Scale: Measuring Domains and Extent of Stress in University Students // *Aust Psychol*. 2016. Vol. 51, № 2. <https://doi.org/10.1111/ap.12127>.
4. Орлова В.Ф. Судебно-почерковедческая диагностика. М.: Юнити-Дана. 2006. — 160 с.
5. Шкоропат Е.А., Волкова С.В. Возможности диагностирования состояния сильного душевного волнения исполнителя рукописи // *Актуальные вопросы судебной психологической экспертизы и комплексной экспертизы с участием психолога. Перспективы научного и прикладного исследования почерка*. 2019. P. 43–47.
6. Likforman-Sulem L. et al. EMOTHAW: A Novel Database for Emotional State Recognition From Handwriting and Drawing // *IEEE Trans Hum Mach Syst*. 2017. Vol. 47, № 2. P. 273–284. <https://doi.org/10.1109/thms.2016.2635441>.
7. Rispler C. et al. Mood Impact on Automaticity of Performance: Handwriting as Exemplar // *Cognit Comput*. 2018. Vol. 10, № 3. P. 398–407. <https://doi.org/10.1007/s12559-017-9540-y>.

8. Hooke A.W., Park J., Shim J.K. The forces behind the words: Development of the Kinetic Pen // *J. Biomech.* 2008. Vol. 41, № 9. P. 2060–2064. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.03.036>.
9. Lin Y.-C. et al. The effect of task complexity on handwriting kinetics // *Canadian Journal of Occupational Therapy.* 2019. Vol. 86, № 2. P. 158–168. <https://doi.org/10.1177/0008417419832327>.
10. Ghali B. et al. Variability of Grip Kinetics during Adult Signature Writing // *PLoS One.* 2013. Vol. 8, № 5. P. e63216. <https://doi.org/10.1115/1.4026641>.
11. Baur B. et al. Effects of Modified Pen Grip and Handwriting Training on Writer's Cramp // *Arch Phys Med Rehabil.* 2009. Vol. 90, № 5. P. 867–875. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.10.015>.
12. Christou E.A. et al. The 1- to 2-Hz oscillations in muscle force are exacerbated by stress, especially in older adults // *J. Appl Physiol.* 2004. Vol. 97, № 1. P. 225–235. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00066.2004>.
13. Blakemore R.L. et al. Stress-evoking emotional stimuli exaggerate deficits in motor function in Parkinson's disease // *Neuropsychologia.* 2018. Vol. 112. P. 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.006>.
14. Бернштейн Н.А. Кое-что о письме и почерке // Фейгенберг ИМ От рефлекса к модели будущего. 2004. С. 220–233
15. Weierich M.R. et al. The Complex Affective Scene Set (COMPASS): Solving the Social Content Problem in Affective Visual Stimulus Sets // *Collabra Psychol.* 2019. Vol. 5, № 1. <https://doi.org/10.1525/collabra.256>
16. Donica D.K., Massengill M., Gooden M.J. A quantitative study on the relationship between grasp and handwriting legibility: does grasp really matter? // *J. Occup Ther Sch Early Interv.* 2018. Vol. 11, № 4. P. 411–425. <https://doi.org/10.1080/19411243.2018.1512068>.
17. Belinsky A. et al. The New Device for Studying the Psychomotor Components of Writing // *International Journal of Psychophysiology.* 2021. Vol. 168. P. S148. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2021.07.419.
18. Makowski D. et al. NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing // *Behav Res Methods.* 2021. Vol. 53, № 4. <https://doi.org/10.31234/osf.io/eyd62>.
19. Fumarola F. et al. A Sliding Window Algorithm for Relational Frequent Patterns Mining from Data Streams. 2009. P. 385–392. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04747-3_30.
20. Еськов, В.М., Зинченко, Ю.П., Веракса, А.Н., Филатова, Д.Ю. Сложные системы в психофизиологии представляют эффект «повторение без повторений» Н.А. Бернштейна // *Российский психологический журнал.* 2016. Vol. 13, № 2.
21. van Galen G.P., van Doorn R.R., Schomaker L.R. Effects of motor programming on the power spectral density function of finger and wrist movements. // *J. Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1990. Vol. 16, № 4. P. 755–765. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.16.4.755>.

22. van Galen G.P., Schomaker L.R.B. Fitts' law as a low-pass filter effect of muscle stiffness // *Hum Mov Sci.* 1992. Vol. 11, № 1–2. P. 11–21.
[https://doi.org/10.1016/0167-9457\(92\)90046-e](https://doi.org/10.1016/0167-9457(92)90046-e).
23. Welch P. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms // *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics.* 1967. Vol. 15, № 2. P. 70–73.
<https://doi.org/10.1109/tau.1967.1161901>.
24. Teulings H.-L., Maarse F.J. Digital recording and processing of handwriting movements // *Hum Mov Sci.* 1984. Vol. 3, № 1–2. P. 193–217.
[https://doi.org/10.1016/0167-9457\(84\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0167-9457(84)90011-3).
25. Novak T., Newell K.M. Physiological tremor (8–12 Hz component) in isometric force control // *Neurosci Lett.* 2017. Vol. 641. P. 87–93.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.034>.
26. van Galen G.P. et al. Neuromotor noise and poor handwriting in children // *Acta Psychol (Amst).* 1993. Vol. 82, № 1–3. P. 161–178. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(93\)90010-o](https://doi.org/10.1016/0001-6918(93)90010-o).
27. Дик О.Е., Ноздрачев А.Д. Механизмы изменения динамической сложности паттернов физиологических сигналов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та., 2019. 200 с.
28. Luria G., Kahana A., Rosenblum S. Detection of Deception Via Handwriting Behaviors Using a Computerized Tool: Toward an Evaluation of Malingering // *Cognit Comput.* 2014. Vol. 6, № 4. doi: 10.1007/s12559-014-9288-6.
29. Alamargot D. et al. Eye and Pen: A new device for studying reading during writing // *Behav Res Methods.* 2006. Vol. 38, № 2. P. 287–299.
<https://doi.org/10.3758/bf03192780>.
30. Guinet E., Kandel S. Ductus: A software package for the study of handwriting production // *Behav Res Methods.* 2010. Vol. 42, № 1. P. 326–332.
<https://doi.org/10.3758/brm.42.1.326>.
31. Lee H.J. et al. Tremor frequency characteristics in Parkinson's disease under resting-state and stress-state conditions // *J. Neurol Sci.* 2016. Vol. 362. P. 272–277.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.01.058>.

Belinsky Artem Viktorovich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: V10046321@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-7018>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/HKE-3297-2023>

Devishvili Vazha Mihajlovich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: vmdev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7554-7463>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=805295

Chernorizov Aleksandr Mihajlovich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: amchern53@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5199-5050>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=12427

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-4122-2012>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57060395200>

Lobin Mihail Aleksandrovich

PGC DIGITAL LTD, Moscow, Russia

E-mail: lobin@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4169-155X>

Influence of emotional tension on tremor parameters in the writing process

Abstract. Background. The influence of emotional tension on writing is actively studied in the aspect of its influence on kinematic characteristics. Such approaches as machine learning, exploratory and handwriting research prevail. There are currently no studies which take into account the relationship between kinetic characteristics of writing and emotional tension. The proposed study fills the gap in this area and is part of the dissertation research. Purpose. To study the method of tensotremorography as an indicator of the presence of emotional tension in the process of writing. Methods. The spectral power of applied force, obtained by Welch's method, was analyzed during the process of writing of the prepared phrase during the presentation of the COMPASS emotional image and sound stimuli, exceeding the level of comfort, according to the kinetic characteristics of 50 subjects. Result. Noticeable significant difference between the powers at stress-inducing stimuli and non-stress-inducing stimuli. The differences between the 10th and 90th percentile of emotionally relevant stimuli is virtually indistinguishable from each other and are at the same level of spectral density (about 370 000–400 000 mN²/Hz). This supports the assumption that the response to stimulation by emotionally significant stimuli is nonspecific. Conclusion. The results of the study show that the spectral power at a frequency of 8–16 Hz is significantly higher when emotional stimuli are presented than in the absence of stimuli, or when a neutral stimulus is presented. This technique has prospects for use in the detection of hidden information, determination of emotional tension in the educational environment and medicine as a means of determining motor and nervous system diseases.

Keywords: psychophysiology of writing; tensotremometry; spectral power; physiological tremor; emotional tension