

Хоменко Ю.Г.<sup>1</sup>, Катаева Г.В.<sup>2</sup>, Мещеряков А.А.<sup>3</sup>, Крестовоздвиженский С.В.<sup>4</sup>, Старченко М.Г.<sup>1</sup>, Бойцова Ю.А.<sup>1,5</sup> Распознавание изменений психофизиологического состояния по характеристикам печати на клавиатуре

*Khomenko Y.G.<sup>1</sup>, Kataeva G.V.<sup>2</sup>, Mescheryakov A.A.<sup>3</sup>, Krestovozdvisnenskiy S.V.<sup>4</sup>, Starchenko M.G.<sup>1</sup>, Boytsova Y.A.<sup>1,5</sup> Recognition of changes in the psychophysiological state using the characteristics of the keyboard typing*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ИП «Мещеряков», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

Поиск способа мониторинга психофизиологического состояния, который сам по себе не вызывает изменения состояния, не отвлекает специалиста от его основной работы и не требует привлечения дорогостоящего оборудования, сохраняет свою актуальность. Цель работы — оценить возможность определения психологического состояния по изменению характеристик печати на клавиатуре, для чего использовались 2 парадигмы, описанные в литературе: «фиксированный текст» и «свободный текст» [Vizer et al., 2009]. Проводилось психологическое тестирование, включавшее в себя методики для оценки эмоционального состояния, параллельно производилась регистрация кардиоритмограммы и кожно-гальванической реакции. Характеристики печати на клавиатуре оценивались в фоновом состоянии и после индуцирования психоэмоционального стресса. В стрессовом состоянии наблюдалась бóльшая продолжительность выполнения задания и время пауз между нажатиями на клавиши, увеличивалось число исправлений в тексте. Выявлена связь между средней продолжительностью интервалов, количеством пауз и скоростью набора текста с уровнем исходной тревоги. Предположительно, для эффективного распознавания стресса потребуется построение индивидуальных моделей, учитывающих исходное состояние и психологические особенности оператора. В перспективе регистрация характеристик печати на клавиатуре может быть использована для долгосрочного мониторинга психофизиологического состояния людей, работа которых предполагает ежедневное использование ПК, например, во время длительных изоляционных экспериментов и научных экспедиций.

**Ключевые слова:** печать на клавиатуре, клавиатурный почерк, психофизиологическое состояние, мониторинг, стресс, цифровое фенотипирование

## Введение

Актуальность разработки способов мониторинга психофизиологического состояния человека не вызывает сомнений, причем желательно, чтобы этот мониторинг сам по себе не вызывал изменения состояния, не отвлекал специалиста от его основной работы, не требовал привлечения сложного и дорогостоящего оборудования и постоянного присутствия специально обученных специалистов. Длительный мониторинг эмоционального и когнитивного статуса имеет большое значение для оценки состояния оператора, а также для выявления ранних признаков психоневрологической и когнитивной патологии. Традиционно используемые для этого методы, как правило, или проводятся в лабораторной обстановке, что само по себе может приводить к изменению психоэмоционального состояния, или требуют дополнительных усилий от испытуемого (например, ведения дневника самооценки) или наличия стороннего специалиста-наблюдателя. Но вмешательство экспериментатора так или иначе нарушает процесс взаимодействия человека со средой, поэтому для наблюдения как формы научного исследования особое значение имеет сохранение «внешней» валидности, то есть соответствия реального исследования изучаемой объективной реальности.

## *Современные представления о «цифровом фенотипировании»*

В последнее время, в связи с повсеместным распространением персональных компьютеров (ПК), смартфонов и других цифровых устройств, увеличился интерес к изучению особенностей человеко-машинного взаимодействия (регистрации поведенческих особенностей при взаимодействии человека и ПК) для распознавания эмоционального состояния пользователя и даже выявления начальных признаков изменений когнитивного и неврологического статуса. Возникло новое направление исследований — «цифровое фенотипирование» («digital phenotyping»), в рамках которого изучается возможность применения данных, регистрируемых цифровыми устройствами (смартфоны, ПК и т. п.) в процессе обычной деятельности, для диагностики и прогнозирования обострений психических и неврологических заболеваний [Majumder, Deen, 2019; Twose et al., 2020].

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

Термин «digital phenotype» был использован в статье С. Джейн и Дж. Браунштейн, опубликованной в *Nature Biotechnology* в 2015 г. [Jain, Brownstein, 2015]. «Цифровое фенотипирование» — мультидисциплинарная область науки, определенная Дж.П. Оннела в 2015 году как «количественная оценка в каждый момент времени индивидуального фенотипа человека *in situ* путем использования данных с его персональных цифровых устройств», особенно смартфонов. Данные могут быть разделены на два подтипа: активные (произвольно вносимые пользователем) и пассивные, то есть собираемые с сенсоров устройства, т. н. «паттерны использования устройства» [Onnela, 2015]. Данные с цифровых устройств могут быть использованы для изучения поведения, социального взаимодействия, физической активности, речевой продукции и др.

Развитие направления «цифрового фенотипирования» связано не только с повсеместным распространением цифровых устройств, но и во многом с развитием в последние десятилетия программных и вычислительных средств, способных работать с большими объемами данных, в том числе методов машинного обучения и интеллектуальных систем («искусственного интеллекта»). За последние 5 лет только в англоязычной научной литературе опубликовано не менее 25 систематических обзоров, рассматривающих результаты использования мобильных приложений для мониторинга состояния здоровья пациентов с самыми разными патологиями — от диабета и болезней сердечно-сосудистой системы до нейродегенеративных и психиатрических заболеваний. Например, Трифан и др. (2019) представили подробный обзор использования мобильных приложений для мониторинга состояния здоровья пользователей [Trifan et al., 2019]. Библиографическое исследование позволило им обнаружить 7404 публикации по данной теме, из них в обзор были включены 118 работ, опубликованных на английском языке, начиная с 2014 года. В таких работах изучается состояние физического или психического здоровья, чаще всего используются данные с акселерометров и датчиков, использующих технологию GPS. Несмотря на большое количество работ, авторы выявили недостаточное количество исследований, посвященных сопоставлению данных со смартфонов с клиническими данными.

Валь и др. (2016) провели исследование с участием 126 испытуемых 20-57 лет с установленным диагнозом, использовавших смартфоны со специальным приложением, собирающим информацию с сенсоров в зависимости от контекста и предоставляющим рекомендации пациентам согласно теории когнитивной поведенческой терапии. На основании использования данных со смартфонов (акселерометр, WiFi, GPS) было выделено 120 признаков, служивших

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... основой для построения моделей с помощью алгоритмов машинного обучения, которые использовались для определения симптомов клинической депрессии. При их выявлении приложение предлагало пациенту соответствующие рекомендации для улучшения состояния, что позволило значимо снизить выраженность симптомов депрессии [Wahle et al., 2016].

Помимо использования сенсорных датчиков мобильных телефонов для оценки физиологических параметров стресса (например, частоты сердечных сокращений, вариабельности сердечного ритма), развиваются методы регистрации особенностей так называемого «клавиатурного почерка», в настоящее время все более широко используемые в системах компьютерной безопасности для идентификации и аутентификации пользователя. Это стало возможным, поскольку показано, что существуют устойчивые индивидуальные паттерны взаимодействия пользователя и ПК, в частности, паттерны печати на клавиатуре: первый патент на метод идентификации личности по стилю печати на клавиатуре компьютера был получен в 1983 году Дж. Гарсия, с тех пор было предложено множество других алгоритмов, выделяющих характерные для человека особенности клавиатурного почерка [Garcia, 1983]. Считается, что хотя индивидуальные паттерны клавиатурного почерка относительно стабильны, они могут изменяться в ситуациях, связанных с повышенной нагрузкой [Vizer et al., 2009].

В настоящее время существует довольно много работ, посвященных созданию приложений и программ для ПК для диагностики начальных проявлений неврологических расстройств и мониторинга течения психоневрологической патологии. Вайзер и Сирз подтвердили возможность определения начальных признаков когнитивного снижения по особенностям печати на клавиатуре и лингвистическим характеристикам произвольно напечатанного текста [Vizer, Sears, 2017]. Джанкардо и др. (2016), Арройо-Галлего и др. (2018) доказали возможность выявления характерных паттернов печати на клавиатуре при начинающейся болезни Паркинсона и разработали программу NeuroQuerty, которую предполагается использовать как для скрининга с целью ранней диагностики болезни Паркинсона, так и для мониторинга течения уже выявленного заболевания [Giancardo et al., 2016; Arroyo-Gallego et al., 2018]. Существует также несколько вариантов подобной программы для мобильных устройств с сенсорным экраном (см. для обзора [Shichkina et al., 2020]). Колаковска (2018) сообщает об успешной классификации эмоциональных состояний по данным трехмесячного эксперимента, в котором регистрировались особенности печати на клавиатуре и анализировались самоотчеты испытуемых о переживаемых эмоциях, причем лучшие результаты получены для распознавания эмоций страха и гнева (точность классификации 81 и 77% соответственно) [Kolakowska, 2018]. В ряде работ

показана возможность определения эмоционального состояния оператора по характеристикам набора текста на клавиатуре (для обзора см. [Хоменко и соавт., 2018]).

В обзоре работ по распознаванию состояния эмоционального стресса в повседневной жизни с помощью мобильных устройств, проведенном Тораринсдоттир и др. в 2017 году, приводятся результаты 35 публикаций, в сумме представляющих данные о 1464 испытуемых. В приведенных в обзоре работах использовались мультимодальные данные со смартфонов, такие как текстовые сообщения, данные с датчиков, использующих технологию GPS акселерометра, гироскопа, информация о частоте использования приложений, коммуникативной активности, «вербальная информация» и др. [Þórarinsdóttir et al., 2017]. Однако следует еще раз подчеркнуть, что несмотря на большое количество работ, в которых состояние стресса оценивается по данным со смартфонов, доказательств валидности такой оценки недостаточно, требуются дальнейшие исследования. В приведенных исследованиях почти нет информации о сопоставлении выраженности реакции на стресс, оцениваемой с помощью данных с мобильных устройств, с объективными физиологическими показателями.

### ***Цель исследования***

Целью работы было оценить возможность регистрации состояния психоэмоционального стресса по изменению особенностей печати на клавиатуре. Для этого психоэмоциональный стресс моделировался в лабораторных условиях, параллельно проводилась оценка психологического и физиологического состояния.

## **Процедура и методика исследования**

### ***Выборка***

В исследовании приняла участие группа из 24 добровольцев без неврологических и двигательных нарушений в возрасте от 26 до 59 лет, средний возраст  $37,3 \pm 8,03$ ; мужчин 15, женщин 9. Все испытуемые с высшим образованием, опытные пользователи ПК.

### ***Оборудование и дизайн исследования***

Для регистрации характеристик печати на клавиатуре использовались 2 парадигмы, описанные в литературе: «фиксированный текст» («fixed text») и «свободный текст» («free text») [Vizer et al., 2009]. Набор текста производился в текстовом редакторе Libre Office на ноутбуке Lenovo Ideapad 320S, (процессор intel core i7, ОС OpenSuse 15.0, стандартная клавиатура

QWERTY). Для регистрации событий с клавиатуры использовалась модифицированная программа-«keylogger» на языке Rust на основе [<https://github.com/gsingh93/keylogger>], регистрировавшая время нажатия и отпускания каждой клавиши. Для обработки данных использовались разработанные нами скрипты на языках Perl и Bash. Рассчитывались следующие параметры: продолжительность пробы, средняя продолжительность удержания клавиши и интервалов между нажатиями на клавиши, средняя скорость печати (количество нажатий на клавиши в минуту), количество и средняя продолжительность пауз при печати (паузой считались временные интервалы между нажатиями более 500 мс. согласно [Vizer et al., 2009]), количество нажатий на клавиши Backspace и Del. Данные показатели вычислялись отдельно для каждого выполняемого испытуемым тестового задания на набор текста. Кроме того, скорость печати на клавиатуре вычислялась в интервалах длительностью 30 с., по этим показателям рассчитывались коэффициенты вариации (отношение стандартного отклонения к среднему) для задания каждого типа.

До начала эксперимента все испытуемые проходили психологическое тестирование, включавшее в себя: тест тревоги Тейлор, тест САН (самочувствие, активность, настроение) [Доскин и др., 1973], тест на оценку эмоционального состояния SAM (Self Assessment Manikin) [Bradley, Lang, 1994; Красавцева, 2020]. SAM — тест самооценки эмоционального состояния по стандартным рисункам со схематическим изображением эмоциональных «человечков»; Value — знак эмоции, от 1 — максимально положительные до 9 — максимально отрицательные; Arousal — мера активности (возбуждения), от 1 — очень активен, возбужден до 9 — состояние сна; Domin. («доминантности»), от 1 — «маленький, незначительный» до 9 — «значительный, доминирующий, контролирующий ситуацию».

Параллельно с экспериментом по изучению характеристик печати на клавиатуре производилась регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) в первом стандартном отведении (правая рука-левая рука) для оценки частоты сердечных сокращений и кардиоритмограммы и регистрация кожно-гальванической реакции (КГР) с кожи ладони левой руки с помощью биоканалов электроэнцефалографа «Мицар».

Эксперимент был построен следующим образом.

1 — «фоновая» регистрация ЭКГ и КГР в состоянии покоя в течение 5 минут.

2 — задание «фиксированный текст 1» (ФТ 1) — набор испытуемым заданного «нейтрального» текста длиной 1200 знаков. Согласно литературным данным, для анализа характеристик

печати на клавиатуре достаточно фрагмента текста длиной 700 знаков [Вайзер и др., 2009].

«Фиксированный текст» перепечатывался испытуемыми с напечатанного на бумаге текста.

3 — задание «свободный текст 1» (СТ 1) — набор испытуемым произвольного «нейтрального» текста на любую (свободную) тему по собственному выбору. Рекомендуемая испытуемому длина текста — не менее 1000 знаков, верхний предел не устанавливался.

4 — задание «стресс» — испытуемому предлагалось вспомнить любое стрессовое событие из своей жизни и эмоции, которые его сопровождали. В тот момент, когда испытуемый считал, что он достиг максимума субъективных переживаний, связанных с воспоминанием о стрессовом событии, он сообщал это экспериментатору, после чего получал инструкцию написать текст о пережитом событии и (или) чувствах, которые оно вызвало, или в случае, если воспоминание было очень личным, написать о чем-то, что у него ассоциируется с этим событием. Рекомендуемая испытуемому длина текста — не менее 1000 знаков, верхний предел не устанавливался.

5 — задание «свободный текст 2» (СТ 2) — повтор задания на набор произвольного «нейтрального» текста на свободную тему. Рекомендуемая испытуемому длина текста — не менее 1000 знаков, верхний предел не устанавливался.

6 — задание «фиксированный текст 2» (ФТ 2) — набор испытуемым заданного «нейтрального» текста длиной 1200 знаков (фрагмент текста из научно-популярной книги). Фрагмент текста на совпадал с тем, что был предложен испытуемым в задании «фиксированный текст 1». Чтобы исключить возможное влияние особенностей фрагмента текста на характеристики печати на клавиатуре, испытуемые были псевдорандомизированы: 12 человек в начале исследования набирали первый фрагмент «фиксированного» текста, а в конце исследования — второй, другие 12 человек — наоборот. Сравнение особенностей печати на клавиатуре в заданиях «фиксированный текст 1» и «фиксированный текст 2» предназначались для оценки влияния утомления.

7 — «фоновая» регистрация ЭКГ и КГР в состоянии покоя в течение 3 минут, оценка субъективного эмоционального состояния (по 10-балльной шкале, тест SAM).

Временных ограничений для выполнения заданий не устанавливалось. Выполнение каждого задания на набор текста (в зависимости от индивидуальных особенностей испытуемого) занимало от 5 до 15 мин.

После выполнения каждого задания на печать текста проводилась регистрация КГР и ЭКГ в течение 2-3 мин и оценка субъективного состояния по тесту SAM. Кроме того, испытуемых

просили оценить по 10-балльной шкале свои субъективные ощущения, которые вызвало у них это задание: эмоциональная реакция (вызвало ли выполнение задания какую-либо эмоциональную реакцию, положительную или отрицательную, интенсивность — от 0 до 10 баллов, где 0 — отсутствие реакции, 10 — максимально возможные по интенсивности эмоциональные переживания), насколько сложным было задание (0 — совсем простое, 10 — очень сложное), насколько это задание вызвало утомление (0 — не вызвало, 10 — очень сильное утомление). Схематично можно представить эксперимент следующим образом (см. табл.1).

**Таблица 1**

Временная последовательность проведения и длительность различных этапов эксперимента

ЭКГ, КГР, ЭС	ФТ 1	ЭКГ, КГР, ЭС	СТ 1	ЭКГ, КГР, ЭС	Стресс - условие	Текст о стресс. событии	ЭКГ, КГР, ЭС	СТ 2	ЭКГ, КГР, ЭС	ФТ 2	ЭКГ, КГР, ЭС
5 мин	5-15 мин.	2-3 мин.	5-15 мин.	2-3 мин.	1-5 мин.	5-15 мин.	2-3 мин.	5-15 мин.	2-3 мин.	5-15 мин.	3 мин.

*Примечания.* ЭС — эмоциональное состояние, ЭКГ — электрокардиограмма, КГР — кожно-гальваническая реакция, ФТ — «фиксированный текст», СТ — «свободный текст», «стресс-условие» — задание вспомнить стрессовое событие.

Применялись методы непараметрической статистики: описательные данные представлены в виде: медиана, первый (Q1) и третий (Q3) квартили, для сравнения показателей печати в разных пробах использовался критерий Вилкоксона, для сопоставления данных психологических тестов и физиологических исследований с особенностями печати на клавиатуре — коэффициент корреляции Спирмена, уровень значимости принимался равным 0,05.

## Результаты

1. Психологические характеристики и показатели печати на клавиатуре по группе в целом.

Время проведения исследования для разных испытуемых составляло от 47 до 87 мин (в зависимости от скорости печати и того, насколько сложно для испытуемого было написать



Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... произвольный текст). В среднем продолжительность эксперимента составляла  $62,8 \pm 10,7$  минут. В это время не включена продолжительность заполнения психологических тестов, которые испытуемый проходил до начала исследования. Показатели психологических тестов в группе испытуемых в исходном состоянии (перед экспериментом) приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Показатели психологических тестов в группе испытуемых до начала эксперимента (медиана/квартили)

Тест тревоги Тейлор				Тест САН			Self Assessment Manikin		
А	Б	В	Сумма	Сам.	Акт.	Настр.	Value	Arousal	Domin.
8	9	6	24	5,15	4,95	5,4	3	5	5
8-9,25	8-11	5-7	22-26,5	4,68-5,55	4,2-5,33	4,58-5,73	3-5	4-6	5-6

*Примечания.* А — соматическая тревога; Б — тревога, связанная с межличностными отношениями, В — социальная тревога (по тесту Тейлор); Сам. — самочувствие, Акт. — активность, Настр. — настроение (по тесту САН); Self Assessment Manikin (SAM) — тест самооценки эмоционального состояния.

Следует отметить, что все испытуемые показали достаточно высокий уровень тревоги по тесту Тейлор (9 чел. — средний с тенденцией к высокому, 15 чел. — высокий уровень тревоги). Показатели теста САН у большинства испытуемых находились в пределах средних значений [Доскин и соавт., 1973]. Показатели теста SAM в исходном состоянии говорят о среднем значении показателей активности и доминантности в эмоциональном состоянии (настроении) между нейтральным и положительным (ближе к положительному).

Задание вспомнить стрессовое событие испытуемые выполняли за время от 1 мин. до 14 мин., при этом у большинства (22 испытуемых) выполнение этого задания занимало от 1 до 6 минут (в среднем  $2,5 \pm 1,5$  мин), и только у двух испытуемых это заняло 10 и 14 минут, что было связано с высоким уровнем субъективной сложности вспомнить стрессовое событие. Характеристики печати на клавиатуре приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

Основные характеристики печати на клавиатуре в разных тестовых заданиях (медиана, квантили Q1/Q3)

Задание	Время выполнения, мин.	Скорость печати, нажатий/мин.	Общее время пауз, мин.	Время удержания клавиши, мс.	Интервал между нажатиями, мс.	Количество нажатий клавиш BS, Del	Коэффициент вариации скорости печати
ФТ 1	8,58	157,4	3,9	101,9	120	36	0,16
	7,04-9,87	131,95-197,25	2,9-4,91	87-115,3	102,8-129,6	22,5-54	0,13-0,20
СТ 1	7,81	170,45	3,54	97,1	111,6	56,5	0,20
	5,54-10,1	139,73-197,53	1,63-5,14 <sup>2</sup>	88,3-108,43	102,45-128,7	38,3-87,5 <sup>2</sup>	0,16-0,24
Стресс	8,09	164,5	3,46	100,7	104,85	74	0,23
	6,29-10,48 <sup>1,3</sup>	120,88-210,08	2,53-5,63	91,95-115	97,68-130,1 <sup>1</sup>	41,25-97,0 <sup>3</sup>	0,19-0,31 <sup>1</sup>
СТ 2	7,12	162,7	3,02	100,9	110,15	72	0,23
	5,84-9,69	143-197,75	2,11-5,0	92,53-115,1	97,88-128,75	33,5-86,25	0,18-0,33
ФТ 2	7,81	168,7	3,09	97,5	113,55	39	0,15
	6,44-8,84	147,8-201,13	2,65-4,3	87,18-110,58	95,48-120,63	22,75-52,5	0,11-0,19

*Примечания.* <sup>1</sup> показатели, отличающиеся по сравнению с заданием на печать «свободного текста» СТ 1,  $p < 0,05$ ; <sup>2</sup> отличается от пробы ФТ 1,  $p < 0,05$ ; <sup>3</sup> отличается от пробы СТ 2,  $p < 0,05$ .

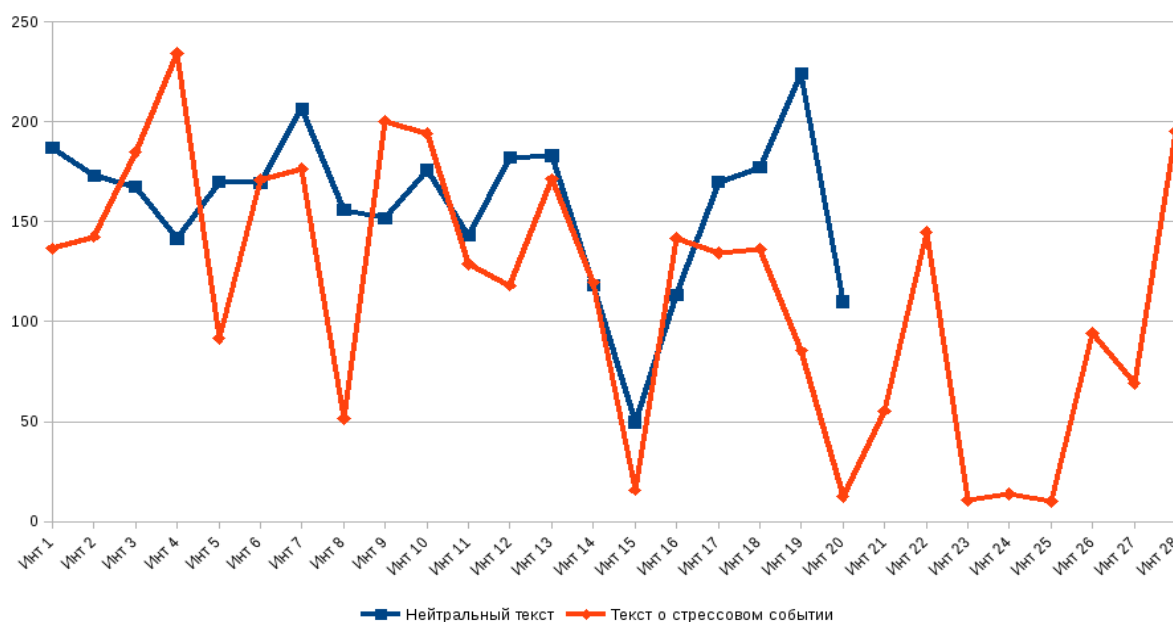
2. Сравнение показателей при печати нейтрального «свободного» и текста о стрессовом событии.

При выполнении задания на печать текста о стрессовом событии по сравнению с заданием на печать первого «свободного текста» были больше длительность выполнения задания ( $Z = 2,06$ ;

$p = 0,0397$ ), среднее время удержания клавиши Backspace ( $Z = 2,11$ ;  $p = 0,0345$ ) и средняя продолжительность интервала между нажатиями ( $Z = 2,17$ ;  $p = 0,0299$ ).

Коэффициент вариации скорости печати (вычисленной в 30-секундных интервалах) был выше при наборе текста о стрессовом событии ( $Z = 2,39$ ;  $p = 0,0174$ ). На рисунке 1 приведен график, иллюстрирующий изменчивость скорости печати при наборе текста о стрессовом событии по сравнению с нейтральным «свободным текстом» (на примере одного из испытуемых). Как видно из рисунка, вариабельность скорости печати была заметно выше при наборе текста о стрессовом событии.

По сравнению с заданием на печать второго «свободного текста» (идущего хронологически после выполнения «стрессовой пробы»), в стрессовом задании была больше длительность пробы ( $Z = 3,37$ ;  $p = 0,0007$ ), количество пауз ( $Z = 2,93$ ;  $p = 0,0034$ ), чаще использовались клавиши Backspace и Del ( $Z = 2,37$ ;  $p = 0,0177$ ). В среднем по группе других значимых различий выявлено не было. Характеристики печати первого и второго «свободного» текстов не различались.



**Рис. 1.** График, показывающий изменчивость скорости набора текста при печати текста о стрессовом событии по сравнению с печатью «нейтрального текста» (на примере одного из испытуемых) (Инт — интервал 30 с.; по оси абсцисс — номер 30-секундного интервала, проба с нейтральным текстом занимала по времени меньше, чем «стрессовая»)

Поскольку известно [Monrose, Rubin, 2000], что характеристики клавиатурного почерка носят выраженный индивидуальный характер, который является устойчивым, можно предположить, что и изменения клавиатурного почерка в результате реакции на стресс также будут индивидуальными, и при усреднении по группе эти различия могут быть не видны. В то же время выявление таких индивидуальных различий позволит различать состояния у каждого конкретного испытуемого.

При рассмотрении индивидуальных изменений характеристик печати на клавиатуре было обнаружено, что у восьми испытуемых скорость печати во время «стрессового задания» увеличивалась (на 5-57%), у семи — снижалась (на 7-22%), у девяти — не менялась (или менялась менее, чем на 5%). Поскольку величина этих подгрупп небольшая, проведение статистического анализа психологических особенностей испытуемых в этих подгруппах представляется нецелесообразной, для такой работы необходимо увеличение группы испытуемых. Для более подробного анализа индивидуальных характеристик печати на клавиатуре и их воспроизводимости (устойчивости) необходимо проведение длительных исследований с повторными записями у одних и тех же испытуемых.

3. Сравнение показателей печати «фиксированных» текстов в начале и конце исследования (данные приведены в табл. 3).

При планировании исследования предполагалось сравнить характеристики печати на клавиатуре при наборе «фиксированных» текстов в начале и в конце исследования для выявления признаков утомления. Однако анализ результатов показал, что во время печати второго «фиксированного текста» несколько увеличилась скорость печати ( $Z = 2,28$ ;  $p = 0,0225$ ) и уменьшилось время пауз во время печати ( $Z = 2,46$ ;  $p = 0,0138$ ).

4. Сопоставление характеристик печати на клавиатуре при наборе текста о стрессовом событии с исходными показателями психологических тестов, физиологическими показателями и самооценкой психического состояния во время проведения эксперимента.

Длительность пробы в «стрессовом задании» и средняя продолжительность интервалов между нажатиями и количество пауз отрицательно коррелировали с исходной тревогой по тесту Тейлор ( $r = -0,51$ ;  $p = 0,0385$ ,  $r = -0,48$ ;  $p = 0,0471$  и  $r = -0,62$ ;  $p = 0,0080$ ), скорость печати

положительно коррелировала с уровнем тревоги по тесту Тейлор ( $r = 0,56$ ;  $p = 0,0195$ ) и отрицательно — с настроением по тесту САН ( $r = -0,60$ ;  $p = 0,0102$ ).

5. Сопоставление характеристик печати на клавиатуре с субъективной реакцией на «стрессовое задание» (по самоотчетам испытуемых).

Все испытуемые сообщали об эмоционально негативной реакции на воспоминание о стрессовом событии. При этом по оценке субъективной реакции (по шкале от 0 до -10) средняя оценка составила  $5,56 \pm 2,22$  балла и колебалась от -2 до -10.

Субъективная сложность выполнения стрессового задания (по шкале от 0 до 10) — в среднем  $5,73 \pm 2,46$  балла, при этом субъективная сложность выполнения задания на печать произвольного текста —  $3,10 \pm 2,45$ .

#### Таблица 4

Субъективное восприятие заданий на печать текстов (согласно самоотчетам испытуемых по 10-балльной шкале, эмоциональное состояние — с учетом знака) (медиана/ квартили Q1-Q3)

Задание	Субъективное восприятие		
	Эмоциональное отношение	Сложность	Утомление
ФТ 1	2 / 0 — 5,13	2 / 0 — 3	0,25 / 0 — 2
СТ 1	3 / 0,75 — 4	3 / 1 — 4,25	0 / 0 — 2
<b>Стресс</b>	<b>-6 / -7 — -3,88</b>	<b>6 / 4,5 — 7,25</b>	<b>1,5 / 0 — 3,25</b>
СТ 2	3 / 0,75 — 4,5	2,5 / 0,88 — 5	1 / 0 — 3
ФТ 2	0,5 / 0 — 2,13	1 / 0 — 3	1,75 / 0 — 3

Скорость печати произвольных текстов отрицательно коррелировала с субъективной сложностью их выполнения ( $r = -0,49$ ;  $p = 0,02$ ) и субъективным уровнем усталости от выполнения задания ( $r = -0,61$ ;  $p = 0,002$ ). Последний также положительно коррелировал с суммарной продолжительностью и средней длительностью пауз ( $r = 0,50$ ;  $p = 0,02$ ).

Субъективная сложность выполнения задания на печать текста о стрессовом событии также

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... отрицательно коррелировала со скоростью печати ( $r = -0,62$ ;  $p = 0,0178$ ) и положительно — со средней продолжительностью интервалов между нажатиями клавиш ( $r = 0,57$ ;  $p = 0,0165$ ).

Показатели теста SAM: «доминантность» положительно коррелировала с длительностью набора текста о стрессовом событии ( $r = 0,55$ ;  $p = 0,0211$ ), количеством пауз ( $r = 0,61$ ;  $p = 0,0095$ ) и нажатий клавиш ( $r = 0,56$ ;  $p = 0,0188$ ). Уровень активности по тесту SAM отрицательно коррелировал со средней продолжительностью пауз ( $r = -0,50$ ;  $p = 0,0339$ ).

## Обсуждение результатов

Таким образом, при моделировании стресса у большинства испытуемых регистрировались изменения показателей, характеризующих печать на клавиатуре, которые зависели от исходного состояния и индивидуальных особенностей. Как видно из табл. 3, для стрессового условия можно отметить следующие тенденции: большее количество нажатий на клавиши, большая продолжительность выполнения задания, большее общее время пауз, большее количество нажатий на клавиши Backspace и Del, (т. е. большее число исправлений в тексте). Последний показатель был минимальным в первом задании (ФТ 1), максимальным — в СТ 2, и постепенно нарастал от 1-го задания к 4-му, что можно было бы считать показателем не только стресса, но и утомления. Но при этом количество ошибок (и опечаток) в текстах было заметно больше в стрессовом условии, чем в заданиях ФТ и СТ (для количества ошибок был характерен большой разброс).

Кроме того, выявлены значимые различия между характеристиками печати «фиксированного» и «свободного» текста, не зависящие от уровня самоиндуцированного стресса в результате выполнения тестового задания.

Выявлена корреляционная зависимость между длительностью пробы в «стрессовом задании», средней продолжительностью интервалов между нажатиями и количеством пауз, а также скоростью и уровнем исходной тревоги по тесту Тейлор.

В литературе имеются сведения о том, что особенности печати на клавиатуре изменяются в процессе моделирования когнитивного и физического стресса [Vizer et al., 2009], причем предложено использование их для автоматического распознавания стрессового состояния оператора: сообщается об изменении скорости печати, времени удержания клавиш, времени задержки нажатия определенных клавиш и др. В нашем исследовании скорость печати изменялась у разных испытуемых по-разному, могла увеличиваться, уменьшаться или оставаться

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... неизменной, что, очевидно, связано с индивидуальной реакцией на стресс или исходным состоянием испытуемых. В то же время в целом по группе была выявлена связь коэффициента вариабельности скорости печати со стрессовым состоянием, вероятно, эта характеристика скорости печати является более универсальной, на что следует обратить внимание в дальнейших исследованиях.

Эпп и др. (2011) использовали характеристики печати на клавиатуре для детекции эмоций и смогли успешно классифицировать 6 эмоциональных состояний (доверие, сомнение, нервозность, расслабленность, печаль и усталость) [Эпп и др., 2011], однако в данном исследовании использовалось машинное обучение, и не приводятся характерные особенности печати на клавиатуре, свойственные определенным эмоциональным состояниям. В то же время сам факт возможности распознавания таких состояний в этой работе был показан.

Ли с коллегами обнаружили, что эмоциональные состояния влияют на продолжительность нажатия и время между нажатиями на клавиши, а также коэффициент точности печати (мера количества ошибок при выполнении стандартного задания на печать), хотя межиндивидуальные различия были сильнее, чем различия между разными эмоциональными состояниями у одного испытуемого [Ли и др., 2014]. В нашем исследовании не было выявлено значимого увеличения количества ошибок в стрессовом задании, однако было определено, что в стрессовом состоянии меняются характеристики, связанные с нажатием на клавиши, используемые для правки текста (время удержания и частота использования клавиш Backspace, Delete). Очевидно, что эмоциональное напряжение, связанное с набором текста о стрессовом событии, сопровождается несколько бóльшим количеством исправлений, возможно, это связано с тем, что этот текст имеет эмоциональную значимость, в отличие от нейтральных текстов.

При планировании исследования мы предполагали, что на характеристики печати на клавиатуре может сильно повлиять утомление, тем более, что об этом имеются литературные данные. Так, Де Йонг с коллегами изучали влияние возраста на изменения характеристик печати на клавиатуре и использования мыши, вызываемые утомлением. Исследование было проведено на двух группах испытуемых — молодых (18-30 лет) и среднего возраста (50-67), которые выполняли задание на печать текста и использование «мыши» в течение 120 мин. В начале и в конце задания регистрировался уровень субъективной усталости, параллельно регистрировалась ЭЭГ. В процессе эксперимента уровень субъективной усталости повышался в обеих группах, что выражалось в увеличении интервалов между нажатиями на клавиши и замедлении

печати. Кроме того, в группе молодых испытуемых увеличивалось количество опечаток, а также чаще использовалась клавиша Backspace, в то время как в группе среднего возраста этого не наблюдалось. По данным ЭЭГ, в группе молодых испытуемых потенциал РЗ снижался в течение эксперимента, что соотносилось с увеличением продолжительности печати, количества ошибок, более длительными интервалами между нажатиями клавиш [De Jong et al., 2018]. Однако при анализе данных оказалось, что во время печати второго «фиксированного текста» скорость печати даже увеличилась, а время пауз — уменьшилось, что можно интерпретировать, скорее, как вработывание, чем утомление (вероятно, продолжительность исследования — около 1 часа — была недостаточной, чтобы вызвать заметные явления утомления).

Как можно объяснить изменения характеристик печати на клавиатуре при изменении состояния испытуемого? Очевидно, для ответа на этот вопрос нужно рассмотреть физиологию движений и влияние на нее психического состояния. Известно, что работоспособность зависит от уровня активации ЦНС, причем нелинейно, имеет колоколообразную зависимость: наилучшая работоспособность ассоциирована со средним «оптимальным» уровнем активации, в то время как и недостаточный, и чрезмерный уровень активации снижает продуктивность работоспособности, увеличивается количество ошибок. Вероятно, с этим связано регистрируемое в ряде работ увеличение количества ошибок в стрессовом состоянии и то, что в нашей работе в стрессовом задании изменялись характеристики, связанные с использованием клавиш Backspace и Delete.

Двигательный акт, связанный с набором текста на клавиатуре, при всей его кажущейся простоте включает в себя достаточно сложные процессы в ЦНС. Время нажатия пальцем на клавишу занимает всего порядка 100 мс., тем не менее, при этом активируются корковые и подкорковые сети, что было подтверждено фМРТ и ПЭТ исследованиями. Уитт и др. (2008) сравнили данные 38 исследований (22 фМРТ и 16 ПЭТ), посвященных изучению зон активации в головном мозге при движении пальцами руки. Во всех исследованиях была обнаружена активация первичной сенсомоторной коры, добавочной моторной области, базальных ганглиев и мозжечка. Кроме того, кластеры активации были обнаружены в премоторной и теменной коре [Witt et al., 2008]. Очевидно, протекание нейродинамических процессов в столь сложной системе подвержено влиянию изменений психического состояния. Интересное наблюдение представлено в работе научной группы Нозава: была обнаружена связь между вариабельностью сердечного ритма и изменениями печати на клавиатуре в условиях моделируемого в



Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... лаборатории стресса, что авторы объясняют влиянием парасимпатической нервной системы [Nozawa et al., 2013].

Рабинович и Лавнер (2014) исследовали взаимосвязь между когнитивным статусом и постукиваниями пальцами с произвольным ритмом (spontaneous finger tapping), включая подробный анализ двух фаз движения пальца («фаза касания», когда палец касается поверхности, по которой постукивает, и «фаза отпускания», когда палец не соприкасается с поверхностью). В исследовании приняли участие 170 пожилых пациентов, задание на движение пальцами продолжалось 15 секунд. Обнаружено значимое увеличение длины и вариабельности «фазы касания» у пациентов с когнитивными нарушениями и деменцией по сравнению с пациентами без когнитивных нарушений, что предположительно связано с процессами внимания и кратковременной памяти [Rabinowitz, Lavner, 2014]. Подобные изменения не могут не повлиять на характеристики печати на клавиатуре ПК.

Таким образом, выявленные тенденции связи достаточно простых характеристик печати на клавиатуре и эмоционального состояния, очевидно, отражают сложные изменения в функционировании двигательного анализатора в стрессовом состоянии. Данное исследование является только началом работы в этом направлении, требуются дальнейшие более подробные исследования на больших выборках.

## Ограничения

1. Относительно небольшой размер выборки и отсутствие повторных записей у испытуемых, поэтому непонятно, воспроизводимы ли индивидуальные изменения особенностей печати на клавиатуре при реакции на стресс (для этого необходима проверка методики в условиях, предполагающих длительное участие испытуемых, в которых они периодически выполняют работу, связанную с печатью на ПК, пишут самоотчеты, дневники и пр., например, в длительных изоляционных экспериментах, во время полярных экспедиций и т. п.).

2. Уровень значимости не проходит проверку на множественность сравнений, что оставляет вероятность для ошибки первого рода: ложноположительного результата. Однако в данной работе, которая имеет «разведочный» характер, важнее не допустить ошибку второго рода — получить ложноотрицательный результат. Поэтому мы считаем, что полученные результаты заслуживают рассмотрения и анализа, однако в дальнейшем нужно проверять воспроизводимость результатов.

3. Не у всех испытуемых удалось зарегистрировать физиологические изменения, связанные со стрессом (согласно ЭКГ и КГР), поэтому нужно изучить реакцию на разные типы индуцированного стресса.

## Заключение

На основе выбранной модели самоиндуцированного психоэмоционального стресса показаны определенные тенденции изменения характеристик печати на клавиатуре, а также их зависимость от исходного психологического состояния испытуемых. При этом, несмотря на индивидуальные различия реагирования на стресс, в целом по группе также были выявлены и некоторые тенденции, которые позволяют предположить общие закономерности изменения характеристик печати на клавиатуре при изменении эмоционального состояния. Однако для изучения воспроизводимости индивидуальных и групповых характеристик печати на клавиатуре, связанных со стрессовым состоянием, необходимо проведение повторных исследований.

Исходя из полученных результатов и литературных данных, можно предположить, что для эффективного распознавания эмоциональных состояний по характеристикам печати на клавиатуре потребуется построение индивидуальных моделей, учитывающих исходное состояние испытуемых и их психологические особенности.

Тем не менее, можно предположить, что в перспективе оценка двигательных реакций при взаимодействии человека с ПК и мобильными устройствами может быть полезна для долгосрочного мониторинга психофизиологического состояния людей, работа которых предполагает ежедневное использование таких устройств, например, во время изоляционных экспериментов при моделировании межпланетных полетов и длительных научных экспедиций. Использование специальных компьютерных программ, оценивающих взаимодействие «человек-компьютер», в подобных проектах позволит набрать большой объем данных, на котором может быть проверена эффективность распознавания разных эмоциональных состояний оператора.

## Финансирование

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2021-291 от 15.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... уровня Павловский центр «Интегративная физиология — медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».

## Литература

Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Мирошников М.П., Шарай В.Б. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния. Вопросы психологии, 1973, No. 6, 141–145.

Красавцева Ю.В. Предвосхищаемые и результирующие эмоции в регуляции принятия решений. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки, 2020, No. 2, 18–33. DOI: 10.18384/2310-7235-2020-2-18-33

Хоменко Ю.Г., Катаева Г.В., Бойцова Ю.А., Старченко М.Г. Использование характеристик динамики печати на клавиатуре для мониторинга психофизиологического состояния оператора. Вестник психофизиологии, 2018, No. 4, 28–33.

Arroyo-Gallego T., Ledesma-Carbayo M.J., Butterworth I., Matarazzo M., Montero-Escribano P., Puertas-Martín V., Gray M.L., Giancardo L., Sánchez-Ferro A. Detecting Motor Impairment in Early Parkinson's Disease via Natural Typing Interaction With Keyboards: Validation of the neuroQWERTY Approach in an Uncontrolled At-Home Setting. J Med Internet Res, 2018, No. 20(3). DOI: 10.2196/jmir.9462

Bradley M.M., Lang P.J. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. J. Behav. Ther. & Exp. Psychiat., 1994, No. 25(1), 49–59.

Epp C., Lippold M., Mandryk R.L. Identifying Emotional States Using Keystroke Dynamics. In Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011), Vancouver, BC, Canada. 715–724. DOI: 10.1145/1978942.1979046

De Jong M., Jolij J., Pimenta A., Lorist M.M. Age Modulates the Effects of Mental Fatigue on Typewriting. Front. Psychol, 2018, No. 9, 1113. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01113

Khan I.A., Brinkman W.P., Fine N., Hierons R.M. Measuring Personality from Keyboard and Mouse Use/ ECCE'08, 2008, Madeira, Portugal. ACM 978-1-60558-399-0/08/09. DOI: 10.1145/1473018.1473066

Giancardo L., Sánchez-Ferro A., Butterworth I., Mendoza C.S., Hooker J.M. Psychomotor Impairment Detection via Finger Interactions with a Computer Keyboard During Natural Typing. Scientific

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния... reports, 2015, No. 5, 9678. DOI: 10.1038/srep09678

Jain S.H., Powers B.W., Hawkins J.B., Brownstein J.S. The digital phenotype. *Nature Biotechnology*, 2015, No. 33(5), 462–463. DOI: 10.1038/nbt.3223.

Khanna P., Sasikumar M. Recognising emotions from keyboard stroke pattern. *International Journal of Computer Applications*, 2010, No. 11(9), 1–5.

Kolakowska A. Usefulness of Keystroke Dynamics Features in User Authentication and Emotion Recognition. *Human-Computer Systems Interaction, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, 551. DOI: 10.1007/978-3-319-62120-3\_4

Lee P., Tsui W., Hsiao T. The influence of emotion on keyboard typing: an experimental study using visual stimuli. *BioMedical Engineering OnLine*, 2014, No. 13, 81. <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/13/1/81>

Lydon-Staley D.M., Barnett I., Satterthwaite T.D., Bassett D.S. Digital phenotyping for psychiatry: Accommodating data and theory with network science methodologies. *Curr Opin Biomed Eng.*, 2019, No. 9, 8–13. DOI: 10.1016/j.cobme.2018.12.003.

Majumder S., Deen M.J. Smartphone Sensors for Health Monitoring and Diagnosis. *Sensors*, 2019, No. 19(9), 2164. DOI: 10.3390/s19092164

Monrose F., Rubin A. Keystroke Dynamics as a Biometric for Authentication. *Future Generation Computer Systems*, 2000, No. 16, 351–359. DOI: 10.1016/S0167-739X(99)00059-X

Murnane E.L., Abdullah S., Matthews M., Kay M., Kientz J.A., Choudhury T., Gay G., Cosley D. Mobile Manifestations of Alertness: Connecting Biological Rhythms with Patterns of Smartphone App Use. *Mobile HCI*, 2016, 465–477. DOI: 10.1145/2935334.2935383.

Nozawa A., Uchida M., Mizuno T. Analysis of 1/f Fluctuation of Keystroke Dynamics and Heart Rate Variability/ 22nd International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2013, 978-1-4799-0671-0/13/. DOI: 10.1109/ICNF.2013.6578925

Onnela J.P., Rauch S.L. Harnessing Smartphone-Based Digital Phenotyping to Enhance Behavioral and Mental Health. *Neuropsychopharmacology*, 2016, No. 41(7), 1691–1696. DOI: 10.1038/npp.2016.7

Rabinowitz I., Lavner Y. Association between finger tapping, attention, memory, and cognitive

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

diagnosis in elderly patients. *Percept Mot Skills*, 2014, No. 119(1), 259–278. DOI: 10.2466/10.22.PMS.119c12z3.

Saeb S., Lattie E., Schueller E., Kording E., Mohr D. The relationship between mobile phone location sensor data and depressive symptom severity *PeerJ*, 2016, No. 4, e2537. DOI: 10.7717/peerj.2537

Shichkina Y.A., Kataeva G.V., Irishina Y.A., Stanevich E.S. The use of mobile phones to monitor the status of patients with parkinson's disease *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 2020, No. 11(2), 55–73.

Trifan A., Oliveira M., Oliveira J.L. Passive Sensing of Health Outcomes Through Smartphones: Systematic Review of Current Solutions and Possible Limitations. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, No. 7(8), e12649. DOI: 10.2196/12649.

Pórarinsdóttir H., Kessing L.V, Faurholt-Jepsen M. Smartphone-Based Self-Assessment of Stress in Healthy Adult Individuals: A Systematic Review. *J Med Internet Res.*, 2017, No. 19(2), e41. DOI: 10.2196/jmir.6397.

Torous J., Kiang M.V., Lorme J., Onnela J. New Tools for New Research in Psychiatry: A Scalable and Customizable Platform to Empower Data Driven Smartphone Research. *JMIR Mental Health*, 2016, No. 3(2), e16. DOI: 10.2196/mental.5165.

Torous J., Staples P., Onnela J. Realizing the Potential of Mobile Mental Health: New Methods for New Data in Psychiatry. *Current Psychiatry Reports.*, 2015, No. 17(8), 61. DOI: 10.1007/s11920-015-0602-0.

Twose J., Licitra G., McConchie H., Lam K.H., Killestein J. Early-warning signals for disease activity in patients diagnosed with multiple sclerosis based on keystroke dynamics. *Chaos*, 2020, No. 30(11), 113133. DOI: 10.1063/5.0022031

Tsafilkou K., Protogeros N. Mouse Behavioral Patterns and Keystroke Dynamics in End-User Development: what can they tell us about users' behavioral attributes? *Computers in Human Behavior*, 2018, No. 83. DOI: 10.1016/j.chb.2018.02.012

Ulinskas M., Damaševičius R., Maskeliūnas R., Woźniak M. Recognition of human daytime fatigue using keystroke data. *Procedia Computer Science*, 2018, No. 130, 947–952.

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

Vizer L.M., Sears A. Classifying Text-Based Computer Interactions for Health Monitoring. IEEE Pervasive Computing, 2015, No. 14(4), 64–71.

Vizer L.M., Zhou L., Sears A. Automated Stress Detection Using Keystroke and Linguistic Features: An Exploratory Study. Intl J. Human-Computer Studies, 2009, No. 67(10), 870–886.

Vizer L.M., Zhou L., Sears A. Efficacy of personalized models in discriminating high cognitive demand conditions using text-based interactions. International Journal of Human – Computer Studies, 2017, No. 104, 80–96. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2017.03.001

Wahle F., Kowatsch T., Fleisch E., Rufer M., Weidt S. Mobile Sensing and Support for People With Depression: A Pilot Trial in the Wild. JMIR Mhealth Uhealth, 2016, No. 4(3), e111. DOI: 10.2196/mhealth.5960.

Witt S.T., Laird A.R., Meyerand M.E. Functional neuroimaging correlates of finger-tapping task variations: an ALE meta-analysis. Neuroimage, 2008, 42(1), 343–356. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.04.025

Поступила в редакцию: 11 мая 2024 г. Дата публикации: 24 августа 2024 г.

### Сведения об авторах

*Хоменко Юлия Геннадьевна.* Кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5Ф, 197022 Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: [julkhom@rambler.ru](mailto:julkhom@rambler.ru)

*Бойцова Юлия Александровна.* Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5Ф, 197022 Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: [boytsova.ihb@gmail.com](mailto:boytsova.ihb@gmail.com)

*Старченко Мария Григорьевна.* Доктор биологических наук, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5Ф, 197022 Санкт-Петербург, Россия.

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

E-mail: [magris27@gmail.com](mailto:magris27@gmail.com)

*Катаева Галина Вадимовна.* Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. ул. Ленинградская, д. 70, поселок Песочный, 197758 Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: [kataevagalina@mail.ru](mailto:kataevagalina@mail.ru)

*Крестовоздвиженский Силантий Вячеславович.* Инженер, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, Пулковское шоссе д. 65, кор. 1, 196140 Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: [silanty@gao.su](mailto:silanty@gao.su)

*Мещеряков Александр Александрович.* Программист, ИП «Мещеряков».

E-mail: [freecoder.xx@gmail.com](mailto:freecoder.xx@gmail.com)

#### Ссылка для цитирования

Хоменко Ю.Г., Катаева Г.В., Мещеряков А.А., Крестовоздвиженский С.В., Старченко М.Г., Бойцова Ю.А. Распознавание изменений психофизиологического состояния по характеристикам печати на клавиатуре. Психологические исследования. 2024. Т. 17, № 95. С. 3. URL: <https://psystudy.ru>

Адрес статьи: <https://doi.org/10.54359/ps.v17i95.1594>

***Khomenko Y.G.<sup>1</sup>, Kataeva G.V.<sup>2</sup>, Mescheryakov A.A.<sup>3</sup>, Krestovozdvisnenskiy S.V.<sup>4</sup>, Starchenko M.G.<sup>1</sup>, Boytsova Y.A.<sup>1,5</sup> Recognition of changes in the psychophysiological state using the characteristics of the keyboard typing***

<sup>1</sup> St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> IP Meshcheryakov, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Pulkovo Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The search for methods to monitor the psychophysiological state without altering the condition or requiring expensive equipment remains highly relevant. This study aimed to investigate whether changes in keyboard dynamics can reflect psychological states. Two paradigms described in the literature—"fixed text" and "free text"—were used to register keyboard dynamics [Vizer et al., 2009]. Psychological testing included the assessment of emotional states, while electrocardiogram (ECG) and galvanic skin response (GSR) data were also recorded. Keyboard dynamics were evaluated before and after the induction of emotional stress. The results indicated that under stress, there were longer pauses between keystrokes, as well as an increased number of errors and corrections in the text. A relationship was found between the average duration of intervals, the number of pauses, typing speed, and anxiety levels. These findings suggest that changes in individual keyboard dynamics depend on the initial state of the subjects and their psychological characteristics. Therefore, to effectively recognize stress, it is necessary to construct individual models based on these parameters. Recording keystroke dynamics could be used for the long-term monitoring of the psychophysiological state of individuals whose work involves daily use of a computer, such as during long-term isolation experiments and scientific expeditions.

**Keywords:** keyboard typing dynamics, keyboard handwriting, psychophysiology, stress

## Funding

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of agreement No. 075-15-2021-291 dated 04/15/2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for state support for the creation and development of a world-class scientific center "Pavlovsky Center for Integrative Physiology - medicine, high-tech healthcare and stress resistance technologies".

## References

Arroyo-Gallego T., Ledesma-Carbayo M.J., Butterworth I., Matarazzo M., Montero-Escribano P., Puertas-Martín V., Gray M.L., Giancardo L., Sánchez-Ferro A. Detecting Motor Impairment in Early Parkinson's Disease via Natural Typing Interaction With Keyboards: Validation of the neuroQWERTY Approach in an Uncontrolled At-Home Setting. *J Med Internet Res*, 2018, No. 20(3) DOI: 10.2196/jmir.9462

Bradley M.M., Lang P.J. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *J. Behav. Ther. & Exp. Psychiat.*, 1994, No. 25(1), 49–59.



Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

De Jong M., Jolij J., Pimenta A., Lorist M.M. Age Modulates the Effects of Mental Fatigue on Typewriting. *Front. Psychol*, 2018, No. 9, 1113. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01113

Doskin V.A., Lavrent'eva N.A., Miroshnikov M.P., SHaraj V.B. The test of differential functional state self-estimation. *Voprosy psihologii*, 1973, No. 6, 141–145. (In Russian)

Epp C., Lippold M., Mandryk R.L. Identifying Emotional States Using Keystroke Dynamics. In *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011)*, Vancouver, BC, Canada. 715–724. DOI: 10.1145/1978942.1979046.

Giancardo L., Sánchez-Ferro A., Butterworth I., Mendoza C.S., Hooker J.M. Psychomotor Impairment Detection via Finger Interactions with a Computer Keyboard During Natural Typing. *Scientific reports*, 2015, No. 5, 9678. DOI: 10.1038/srep09678

Jain S.H., Powers. B.W., Hawkins J.B., Brownstein J.S. The digital phenotype. *Nature Biotechnology*, 2015, No. 33(5), 462–463. DOI: 10.1038/nbt.3223. ISSN 1087-0156. PMID 25965751.

Khan I.A., Brinkman W.P., Fine N., Hierons R.M. Measuring Personality from Keyboard and Mouse Use/ ECCE'08, 2008, Madeira, Portugal. ACM 978-1-60558-399-0/08/09. DOI: 10.1145/1473018.1473066

Khanna P., Sasikumar M. Recognising emotions from keyboard stroke pattern. *International Journal of Computer Applications*, 2010, No. 11(9), 1–5.

Khomenko Y.G, Kataeva G.V., Boytsova Y.A., Starchenko M.G. Use of keystroke dynamics characteristics for thr psychophysiological state monitoring. *Vestnik psihofiziologii*, 2018, No. 4, 28–33. (In Russian)

Kolakowska A. Usefulness of Keystroke Dynamics Features in User Authentication and Emotion Recognition. *Human-Computer Systems Interaction, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, 551. DOI: 10.1007/978-3-319-62120-3\_4

Krasavtseva Y.V. Anticipated and resulting emotions in decision-making regulation. In: *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Psychology*, 2020, No. 2, 18–33. DOI: 10.18384/2310-7235-2020-2-18-33 (In Russian)

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

Lee P., Tsui W., Hsiao T. The influence of emotion on keyboard typing: an experimental study using visual stimuli. *BioMedical Engineering OnLine*, 2014, No. 13, 81. <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/13/1/81>

Lydon-Staley D.M., Barnett I., Satterthwaite T.D., Bassett D.S. Digital phenotyping for psychiatry: Accommodating data and theory with network science methodologies. *Curr Opin Biomed Eng.*, 2019, No. 9, 8–13. DOI: 10.1016/j.cobme.2018.12.003.

Majumder S., Deen M.J. Smartphone Sensors for Health Monitoring and Diagnosis. *Sensors*, 2019, No. 19(9), 2164. DOI: 10.3390/s19092164

Monrose F., Rubin A. Keystroke Dynamics as a Biometric for Authentication. *Future Generation Computer Systems*, 2000, No. 16, 351–359. DOI: 10.1016/S0167-739X(99)00059-X

Murnane E.L., Abdullah S., Matthews M., Kay M., Kientz J.A., Choudhury T., Gay G., Cosley D. Mobile Manifestations of Alertness: Connecting Biological Rhythms with Patterns of Smartphone App Use. *Mobile HCI*, 2016, 465–477. DOI: 10.1145/2935334.2935383.

Nozawa A., Uchida M., Mizuno T. Analysis of 1/f Fluctuation of Keystroke Dynamics and Heart Rate Variability/ 22nd International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2013, 978-1-4799-0671-0/13/. DOI: 10.1109/ICNF.2013.6578925

Onnela J.P., Rauch S.L. Harnessing Smartphone-Based Digital Phenotyping to Enhance Behavioral and Mental Health. *Neuropsychopharmacology*, 2016, No. 41(7), 1691–1696. DOI: 10.1038/npp.2016.7

Rabinowitz I., Lavner Y. Association between finger tapping, attention, memory, and cognitive diagnosis in elderly patients. *Percept Mot Skills*, 2014, No. 119(1), 259–278. DOI: 10.2466/10.22.PMS.119c12z3.

Saeb S., Lattie E., Schueller E., Kording E., Mohr D. The relationship between mobile phone location sensor data and depressive symptom severity *PeerJ*, 2016, No. 4, e2537. DOI: 10.7717/peerj.2537

Shichkina Y.A., Kataeva G.V., Irishina Y.A., Stanevich E.S. The use of mobile phones to monitor the status of patients with parkinson's disease *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 2020, No. 11(2), 55–73.

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

Þórarinsdóttir H., Kessing L.V., Faurholt-Jepsen M. Smartphone-Based Self-Assessment of Stress in Healthy Adult Individuals: A Systematic Review. *J Med Internet Res.*, 2017, No. 19(2), e41. DOI: 10.2196/jmir.6397

Torous J., Kiang M.V., Lorme J., Onnela J. New Tools for New Research in Psychiatry: A Scalable and Customizable Platform to Empower Data Driven Smartphone Research. *JMIR Mental Health*, 2016, No. 3(2), e16. DOI: 10.2196/mental.5165.

Torous J., Staples P., Onnela J. Realizing the Potential of Mobile Mental Health: New Methods for New Data in Psychiatry. *Current Psychiatry Reports.*, 2015, No. 17(8), 61. DOI: 10.1007/s11920-015-0602-0.

Trifan A., Oliveira M., Oliveira J.L. Passive Sensing of Health Outcomes Through Smartphones: Systematic Review of Current Solutions and Possible Limitations. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, No. 7(8), e12649. DOI: 10.2196/12649.

Tsafilkou K., Protogeros N. Mouse Behavioral Patterns and Keystroke Dynamics in End-User Development: what can they tell us about users' behavioral attributes? *Computers in Human Behavior*, 2018, 83. DOI: 10.1016/j.chb.2018.02.012

Twose J., Licitra G., McConchie H., Lam K.H., Killestein J. Early-warning signals for disease activity in patients diagnosed with multiple sclerosis based on keystroke dynamics. *Chaos*, 2020, No. 30(11), 113133. DOI: 10.1063/5.0022031

Ulinskas M., Damaševičius R., Maskeliūnas R., Woźniak M. Recognition of human daytime fatigue using keystroke data. *Procedia Computer Science*, 2018, No. 130, 947–952.

Vizer L.M., Sears A. Classifying Text-Based Computer Interactions for Health Monitoring. *IEEE Pervasive Computing*, 2015, No. 14(4), 64–71.

Vizer L.M., Zhou L., Sears A. Automated Stress Detection Using Keystroke and Linguistic Features: An Exploratory Study. *Intl J. Human-Computer Studies*, 2009, No. 67(10), 870–886.

Vizer L.M., Zhou L., Sears A. Efficacy of personalized models in discriminating high cognitive demand conditions using text-based interactions. *International Journal of Human – Computer Studies*, 2017, No. 104, 80–96. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2017.03.001

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

Wahle F., Kowatsch T., Fleisch E., Rufer M., Weidt S. Mobile Sensing and Support for People With Depression: A Pilot Trial in the Wild. JMIR Mhealth Uhealth, 2016, No. 4(3), e111. DOI: 10.2196/mhealth.5960

Witt S.T., Laird A.R., Meyerand M.E. Functional neuroimaging correlates of finger-tapping task variations: an ALE meta-analysis. Neuroimage, 2008, No. 42(1), 343–356. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.04.025

### Information about authors

*Khomenko Yulia Gennadiyevna*, PhD. Senior researcher, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Professora Popova str., 5F, 197022 St. Petersburg, Russia.

E-mail: [julkhom@rambler.ru](mailto:julkhom@rambler.ru)

*Boytsova Yulia Alexandrovna*, PhD. Senior researcher, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Professora Popova str., 5F, 197022 St. Petersburg, Russia.

E-mail: [boytsova.ihb@gmail.com](mailto:boytsova.ihb@gmail.com)

*Starchenko Maria Grigorievna*, PhD. Senior researcher, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Professora Popova str., 5F, 197022 St. Petersburg, Russia.

E-mail: [magris27@gmail.com](mailto:magris27@gmail.com)

*Kataeva Galina Vadimovna*, PhD. Senior researcher, Federal State Budgetary Institution "Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov" of the Ministry of Health of the Russian Federation. Leningradskaya str., 70, Pesochny, 197758 St. Petersburg, Russia.

E-mail: [kataevagalina@mail.ru](mailto:kataevagalina@mail.ru)

*Krestovosdvizhensky Silanty Vyacheslavovich* Engineer, Federal State Budgetary Institution of Science Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Pulkovskoe shosse, 65-1, 196140 St. Petersburg, Russia.

Хоменко Ю.Г. и др. Распознавание изменений психофизиологического состояния...

E-mail: silanty@gao.su

*Mescheryakov Aleksander A.* Programmer, IE "Mescheryakov", St. Petersburg, Russia.

E-mail: freecoder.xx@gmail.com

For citation: Khomenko Y.G., Kataeva G.V., Mescheryakov A.A., Krestovozdvisnenskiy S.V., Starchenko M.G., Boytsova Y.A. Recognition of changes in the psychophysiological state using the characteristics of the keyboard typing. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2024, Vol. 17, No. 95, p. 3.

<https://psystudy.ru>