



СУБЪЕКТИВНЫЕ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ ПРИ РАБОТЕ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ ЧЕЛОВЕК-КОМПЬЮТЕР

ТУРОВСКИЙ Я.А.*, ФГБОУ ВО ВГУ, Воронеж; ИПУ РАН, Москва, Россия,
e-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

МАМАЕВ А.В.**, ФГБОУ ВО ВГУ, Воронеж, Россия,
e-mail: alex9100@bk.ru

АЛЕКСЕЕВ А.В.***, ФГБОУ ВО ВГУ, Воронеж, Россия,
e-mail: a_v_alekseev@bk.ru

БОРЗУНОВ С.В.****, ФГБОУ ВО ВГУ, Воронеж, Россия,
e-mail: sborzunov@gmail.com

В работе проведен анализ субъективных шкал времени, сформированных при работе испытуемых с перспективными интерфейсами человек—компьютер: нейрокомпьютерным (мозг—компьютер), электромиографическим, окулографическим. Показано, что во всех случаях оператор имеет тенденцию к недооценке максимального времени, затраченного на выполнение одной команды. При этом для электромиографического и окулографического интерфейса данная особенность сохраняется и в случае оценки среднего времени выполнения команд. Результаты анализа демонстрируют единый подход пользователей к формированию шкалы субъективного времени при работе с различными интерфейсами: пользователь оценивает как усредненное, так и лучшее (минимальное) с худшим (максимальным) время выполнения команд по одной шкале. Испытуемые, характеризующиеся менее развитой способностью к переключению с генерации одной команды для интерфейса на другую, субъективно оценивают работу интерфейса как более медленную. Полученные данные варибельности сердечного ритма (ВСР) указывают на наличие связи LF-диапазона с субъективной оценкой времени, затраченного на работу с интерфейсом. Анализ взаимосвязи показателей отношения «(истинное время—субъективное)/истинное время» показал, что субъективные шкалы времени при работе с нейрокомпьютерным и окулографическим интерфейсами характеризуются высоким уровнем корреляции друг с другом в отличие от электромиографических систем.

Для цитаты:

Туровский Я.А., Мамаев А.В., Алексеев А.В., Борзунув С.В. Субъективные шкалы времени при работе с перспективными интерфейсами человек-компьютер // Экспериментальная психология. 2019. Т. 12. № 2. С. 75—86. doi:10.17759/exppsy.2019120206

* *Туровский Ярослав Александрович*, кандидат медицинских наук, доцент (технические науки), заведующий лабораторией медицинской кибернетики, Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО ВГУ), Воронеж, Россия; старший научный сотрудник Института проблем управления имени В.А.Трапезникова РАН, Москва, Россия. E-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

** *Мамаев Александр Васильевич*, практикующий психолог, инженер лаборатории медицинской кибернетики, Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО ВГУ), Воронеж, Россия. E-mail: alex9100@bk.ru

*** *Алексеев Александр Викторович*, инженер лаборатории медицинской кибернетики, Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО ВГУ), Воронеж, Россия. E-mail: a_v_alekseev@bk.ru

**** *Борзунув Сергей Викторович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры цифровых технологий, Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО ВГУ), Воронеж, Россия. E-mail: sborzunov@gmail.com



Ключевые слова: интерфейсы мозг—компьютер (нейрокомпьютерные), электромиографические интерфейсы, окулографические интерфейсы, субъективные шкалы времени.

Введение

Одним из необходимых условий успешной деятельности по освоению функционала различных устройств является формирование субъективной шкалы времени пользователя, связанной с его работой в рамках конкретной эргатической системы. Иными словами, пользователь должен сформировать представление о временных затратах, необходимых и ему самому как оператору, и программно-аппаратной части эргатической системы для выполнения поставленных задач и всех возможных операций. Таким образом, обычно в ходе обучения и/или при непосредственной работе с системой формируется новая «локальная» субъективная шкала времени для работы в данных конкретных условиях и с конкретным устройством. Изучение субъективных шкал времени традиционно представляет значительный интерес для междисциплинарных областей психологии труда и эргономики и включает анализ различных факторов, влияющих на формирование субъективного времени (см. например: Бушов, Несмелова, 1994; Гареев, Осипова, 1980).

В последние десятилетия значительный интерес вызывает разработка интерфейсов управления устройствами с использованием каналов коммуникации, альтернативных классическим: клавиатуре, джойстику, мыши. К таковым устройствам относятся электромиографические интерфейсы, представляющие собой программно-аппаратные решения для генерации управляющих команд электрической активностью мышц (Кисть Michelangelo, 2000), окулографические, использующие движения глаз (Туровский, Кургалин, Алексеев, 2017), нейрокомпьютерные (мозг—компьютер) интерфейсы (Gao, Xu, Cheng, 2003), использующие те или иные паттерны мозговой активности для генерации команд. Данные интерфейсы рассматриваются не только как альтернатива, но и как дополнение каналов управления устройствами. Теоретически, данные интерфейсы способны существенно расширить пропускную способность канала коммуникации человек—компьютер путем существенного увеличения скорости этого взаимодействия. Указанные потенциальные возможности позволяют отнести ряд таких интерфейсов, как нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ, ИМК), электромиографические установки (ЭИ), окулографические системы (ОИ), к перспективным программно-аппаратным эргатическим системам.

Как и в случае эксплуатации любых технических устройств, освоение человеком-пользователем программно-аппаратных средств и комплексов характеризуется не только существенными различиями в отношении индивидуальных показателей эффективности работы (Климов, 2016), но также спецификой интеграционного взаимодействия оператора с данным устройством с точки зрения формирования у субъекта деятельности особых паттернов поведения, включая субъективные шкалы времени, позволяющие оценивать и прогнозировать временные затраты на выполнение тех или иных действий.

Таким образом, целью работы является изучение особенностей формирования субъективного времени пользователя в ходе его работы с рядом перспективных интерфейсов человек—компьютер: электромиографическим, нейрокомпьютерным, окулографическим.

Материалы и методы

В работе использовались следующие виды интерфейсов человек—компьютер: электромиографический, видеоокулографический, нейрокомпьютерный (мозг—компьютер).



Работа с каждым интерфейсом, во избежание утомления испытуемого, проходила только в один день. Порядок экспериментов определялся случайным образом.

В исследовании приняли участие 27 человек мужского пола в возрасте от 18 до 21 года. Все испытуемые ранее не имели опыта управления ни одним из интерфейсов, которые использовались в эксперименте. Задачей испытуемых для всех интерфейсов являлся набор десяти букв, выбранных случайным образом. В ходе эксперимента испытуемый располагался перед 21" LCD монитором на расстоянии от 0,5 до 1,5 м, выбирая наиболее комфортное для себя положение. После набора одной буквы испытуемому предъявлялась следующая. Таким образом, ни перед началом эксперимента, ни в ходе его проведения испытуемый не знал последовательность букв, которые ему надо будет набрать с использованием интерфейсов. Каждый из испытуемых по окончании эксперимента сообщал следующие данные: а) минимальное субъективное время, затраченное им на набор одной команды для интерфейса; б) максимальное субъективное время; в) среднее время, которое испытуемый, по его мнению, тратил на набор команды. В дальнейшем эти три оценки будем называть «субъективное время» (СВ).

Электромиографический интерфейс использовал в качестве аппаратной части электроэнцефалограф «Нейрон-Спектр-4 ВП» производства ООО «Нейрософт». Электроды располагались в проекции плечелучевой мышцы на 7–10 см дистальнее латерального мыщелка плечевой кости. Межэлектродное расстояние составляло 4–5 см. Полиграфические каналы прибора обеспечивали регистрацию ЭМГ с частотой до 40 кГц, которая затем снижалась до 500 Гц. Полученные результаты подвергались дальнейшей обработке с целью получения скользящей суммы мгновенных амплитуд ЭМГ (Туровский, Кургалин, Борзун, 2015). Дизайн графического интерфейса представлял собой круговое поле, разбитое на 6 секторов, каждый из которых активизировался на 2 секунды, о чем пользователь информировался с помощью изменения цвета соответствующего сектора. Для выбора необходимого сектора пользователю требовалось напрячь мышцу в области расположения электродов. Символы, находившиеся в выбранном секторе, автоматически перемещались на другие, предварительно очищенные сектора. Таким образом, для выбора символа необходимо было два раза подряд правильно выбрать тот или иной блок, включающий в себя набор букв (рис. 1 а), т. е. задать команду данному интерфейсу. Суммарное время работы с миографическим интерфейсом составляло от 4,5 до 7 минут.

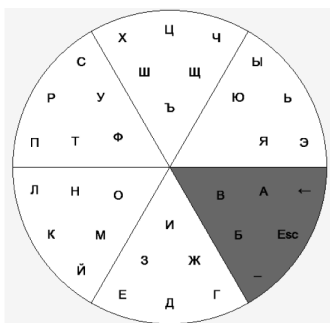


Рис. 1а. Графический интерфейс в эксперименте с ЭИ

Рис. 1б. Графическое представление работы видеоокулографического и нейрокомпьютерного интерфейсов. В верхнем левом углу выделен предварительно выбранный пользователем блок с набором букв



Работа с окулографическим интерфейсом основывалась на анализе видеоизображения зрачка, движение которого преобразовывалось в положение курсора в определенных координатах экрана монитора (рис. 1 б). Использовался ОИ оригинальной разработки (Туровский, Кургалин, Алексеев, 2017). Задача испытуемого состояла в помещении курсора под контролем зрения на один из блоков с набором букв, который содержал требуемую для выбора букву, после чего остальные пять блоков очищались от букв, а шесть букв выбранного блока распределялись между шестью имеющимися блоками таким образом, чтобы в каждом из блоков находилось по одной букве. Размер каждого блока на экране монитора составлял 20×10 см, что с учетом расстояния до монитора составляет от 4 до 22° . Суммарное время работы с интерфейсом составляло от 2,5 до 5,5 минут, из которых при дальнейшем анализе выбирался 5-минутный или более короткий отрезок времени.

Нейрокомпьютерный (мозг—компьютер) интерфейс являлся синхронным и основывался на детекции устойчивых зрительных вызванных потенциалов (SSVEP). Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью аппаратного комплекса «Нейрон-Спектр-4 ВП» производства ООО «Нейрософт» с включенным режекторным фильтром (50 Гц) и выключенными фильтрами высоких и низких частот. Фотостимуляция осуществлялась шестью диодами белого цвета (0,5 Вт), расположенными на специальной рамке по краям монитора; частота составляла 9,009; 10,10; 11,11; 12,19; 13,33; 14,49 Гц. Регистрация ЭЭГ активности осуществлялась электродами в позициях O1, O2, Oz, P3, P4, Pz; референтным электродом служил объединенный ушной электрод. Следует отметить, что в ходе экспериментов со всеми упомянутыми интерфейсами на теле испытуемых устанавливался полный комплект электродов, необходимых для регистрации 21 отведения ЭЭГ, как элемент проекта по созданию систем гибридного интеллекта (Туровский, Кургалин, Борзунов, 2015). Обработка данных, после необходимого препроцессинга, осуществлялась по алгоритму MSI (Tello, Müller, Ferreira, Bastos, 2015; Zhang, Xu, Cheng, Yao, 2014) как наименее ресурсоемкому из применяемых. Логика изменения графического интерфейса соответствовала таковой для окулографических исследований. Суммарное время работы с интерфейсом колебалось от 3 до 8 минут. Предъявляемый стимульный материал и внешний вид графического интерфейса в случае нейрокомпьютерного исследования полностью соответствовал таковому для окулографического исследования.

Таким образом, для успешного набора букв испытуемому требовалось последовательно сгенерировать две правильные команды для любого из использованных интерфейсов. Перед каждым экспериментом испытуемый получал письменную инструкцию и устное сообщение, повторяющее данную инструкцию. Испытуемому сообщались основные условия работы соответствующего интерфейса, принцип его функционирования и параметры генерации успешных команд. Предварительной тренировки не проводилось: испытуемый сразу же приступал к работе с ранее ему не знакомым устройством. Точность работы всех интерфейсов определялась как число правильно выбранных блоков с набором букв, содержащих необходимый символ, заданный испытуемому, и как число правильно сгенерированных команд.

Регистрация ЭКГ с последующим расчетом ВСР, осуществлялась прибором «Поли-Спектр 12» (производство ООО «Нейрософт») при частоте дискретизации 1 кГц и включенном режекторном фильтре (50 Гц) и фильтре дрейфа изолинии. Electrodes фиксировались на конечностях испытуемого согласно стандартной схеме. Испытуемый располагался в кресле, заняв удобную для себя позу перед 21" LCD монитором, на котором демонстрировалась либо активная графическая форма соответствующего интерфейса (эксперимент,



«работа»), либо неактивная графическая форма соответствующего интерфейса (фоновая запись, «фон»). Регистрация проводилась во второй половине дня, начиная с 14.00. Анализировались параметры среднего значения RR-интервала (M), среднеквадратического отклонения (σ), индекса вегетативного равновесия (ИВР), значения спектральной плотности мощности (СПМ), полученные на основе преобразования Фурье в стандартных частотных диапазонах (Баевский, 1985; Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, 1996); результаты вейвлет-преобразования исходного сигнала в стандартных диапазонах, позволяющих выделить тонические и нестационарные элементы на кривой ВСП (Рунион, 1982).

Психологическое тестирование испытуемых проводилось по следующим методикам: шкала тревоги Спилбергера—Ханина, методики диагностики мотивации стремления к успеху/избеганию неудачи Т. Элерса, личностный опросник Айзенка (EPI), корректурная проба Бурдона, методика «Заучивание 10 слов» А.Р. Лурия (Альманах психологических тестов, 1995; Карелин, 2007; Райгородский, 2011).

В статистическом анализе полученных результатов использовались методы дескриптивной статистики, а учитывая, что распределения большинства показателей не являются нормальными, применялись критерии непараметрической статистики: критерии Крускайла—Уоллеса, Манна—Уитни, Фридмана и Вилкоксона для парных случаев, корреляция по Спирмэну (Гланц, 1998; Рунион, 1982), при этом параметр α принимался равным 5%. Учитывался эффект множественных сравнений.

Результаты и обсуждение

Результаты оценки времени, затраченного на выполнение одной команды (ВВК), представлены в табл. 1. С использованием критерия Вилкоксона для парных случаев показано, что в случае нейрокомпьютерного интерфейса испытуемые существенно занижают максимальные значения субъективного времени (СВ) выполнения задачи. При этом оценка пользователем среднего и минимального времени выполнения команды (ВВК) не отличалась от объективного показателя индивидуального времени (ИВ) выполнения задачи. При решении задач в случае электромиографического интерфейса (ЭИ) испытуемые также недооценивали, по отношению к реальному, среднее и максимальное ВВК, но при этом корректно оценивали минимальные значения СВ. Применение окулографического интерфейса сформировало у пользователей схожую оценку: средние и максимальные показатели СВ были существенно ниже ИВ, но при этом минимальное время, затраченное на выполнение команды, оценивалось корректно. Таким образом, при решении задач во всех случаях применения интерфейсов (НКИ, ЭИ и ОИ) отмечается недооценивание максимального времени, затраченного на выполнение одной команды. При этом для ЭИ и ОИ данная особенность сохраняется и для показателей среднего ВВК.

Объективное время, затраченное на выполнение интерфейсом тех или иных команд пользователя не коррелировало (критерий Спирмэна), с учетом поправки на число построенных корреляционных зависимостей, ни с одной из шкал психологических тестов, которые использовались в исследовании. Аналогичные результаты были продемонстрированы и для оцененных субъективно временных отрезков.

Корреляции (критерий Спирмэна) оценки СВ минимальных, максимальных и средних ВВК для НКИ значимы ($r=0,87$ для максимальных и минимальных значений; $r=0,90$ для средних и минимальных; $r=0,93$ для средних и максимальных; для всех случаев



Таблица 1

**Объективные и субъективные показатели времени набора одной команды
для исследуемых человеко-машинных интерфейсов ($M \pm m$)**

Интерфейсы и время оценки их работы		Объективное время выполнения одной команды (с)	Субъективное время выполнения одной команды (с)
НКИ (ИМК)	Среднее	16.91±0.90	13.92±1.76
	Медиана	13.50±0.64	-
	Минимум	6.53±0.35	8.98±1.21
	Максимум	46.18±4.16	23.50±3.27***
ЭМИ	Среднее	7.21±0.40	6.05±0.74*
	Медиана	4.85±0.40	-
	Минимум	1.70±0.18	2.88±0.37
	Максимум	36.11±3.53	10.79±1.37****
ОИ	Среднее	12.01±0.73	7.72±1.61****
	Медиана	7.93±0.50	-
	Минимум	3.94±0.04	3.58±0.62
	Максимум	44.92±2.96	15.33±3.01***

Примечание: «*» – $p < 0.05$; «***» – $p < 0.001$; «****» – $p < < 0.001$; критерий Вилкоксона для парных случаев; критерий Фридмана.

$p < < 0,001$). В случае работы с электромиографическим интерфейсом обнаруживается иная тенденция: корреляция была выявлена только между показателями среднего субъективного времени и максимальным ($r = 0,82$; $p < < 0,001$) и минимальным ($r = 0,65$; $p < 0,001$) СВ, для последней корреляции значимо отличаясь ($p < 0,01$) от аналогичной связи для НКИ. Структура корреляций НКИ была воспроизведена в случае ОИ: ($r = 0,75$ для максимальных и минимальных значений; $r = 0,89$ для средних и минимальных; $r = 0,83$ для средних и максимальных; для всех случаев $p < < 0,001$). Таким образом, данные исследуемой группы демонстрируют единый подход пользователей к формированию СВ при работе с различными интерфейсами: пользователь оценивает как усредненное, так и лучшее (минимальное) с худшим (максимальное) время выполнения команд на основании шкал оценки времени, имеющих близкие значения в отношении различных эталонов времени для разных отрезков физического времени.

На следующем этапе была проверена гипотеза о связи успешности освоения интерфейсов, выраженной в числе правильно поданных пользователем и распознанных программно-аппаратной частью устройства команд (ЧПК), и субъективной оценкой времени. Следует уточнить, что поскольку для набора одной буквы требовалось задать две команды, то пользователь должен был достаточно быстро переключаться с генерации одной команды (осуществляющей выбор символов первого уровня) на генерацию следующей команды, осуществляющей непосредственно выбор конкретного символа (буквы). Разность между этими двумя показателями отражает степень успешности и быстроты переключения испытуемого с выполнения одной подзадачи на выполнение другой. Данный показатель можно определить как *разность в показателях успешности выполнения команд* (РУВК). Для ЭИ связь между СВ и РУВК, равно как и ЧПК, установить не удалось: время (минимальное, среднее, максимальное), которое пользователь оценил как затраченное на набор одной команды, не коррелировало с вышеупомянутыми показателями. Для двух других интерфейсов (НКИ, ОИ) также не удалось выявить связь ЧПК и СВ, однако для РУВК было уста-



новлено, что имеется прямая корреляция между средним и максимальным СВ для НКИ ($r=0,37$; $r=0,48$ соответственно; $p<0,05$). Иными словами, испытуемые, которые хуже переключались с генерации одной команды для интерфейса на другую, субъективно оценивали работу интерфейса как более медленную. Для ОИ связь с РУВК затрагивала как средние, так и минимальные значения СВ ($r=0,48$ и $r=0,45$ соответственно; $p<0,05$). Как и в предыдущем случае, испытуемые, отличающиеся более медленным переключением при генерации новых команд для интерфейсов, завышают время их работы.

Перед оценкой отклонений СВ от истинных значений времени, затраченного на выполнение команд интерфейсами, было проведено нормирование результатов как разность между величинами ИВ и СВ, разделенная на величину ИВ. Полученные результаты представлены на рис. 2. Отношение средних показало, что значения показателей при всех примененных интерфейсах существенно отличались друг от друга ($p<0,005$ – критерий Крускайла–Уоллеса). При этом для ЭИ характерна относительная переоценка СВ, а для ОИ, наоборот, недооценка. Наибольшей точностью отличалась оценка ВВК испытуемыми после работы с НКИ. Анализ значений отношения минимальных СВ и ИВ указывает на обратную динамику, при этом показатели для НКИ и ОИ не отличаются друг от друга, а значения СВ при работе с ЭИ занижены. Максимальные значения временных параметров указывают на значимое ($p<0,01$) увеличение показателя времени выполнения команд интерфейсами от НКИ к ОИ, однако оценка времени работы СВ имеет тенденцию к занижению. Таким образом, при работе с разными типами интерфейсов «человек–компьютер» оператор формирует различные критерии формирования субъективных шкал времени, которые можно объяснить не только эргономикой самих устройств и особенностями работы с ними, но и наличием двух шкал времени (Туровский, Дорохов, 1998; Туровский, Дорохов, Федоров, 1999), применяемых для отрезков менее и более ~ 20–30 сек.

Одним из потенциальных водителей ритма для внутренних «часов» могут являться, показатели ЧСС и вариабельности сердечного ритма. На основании этого предположения, дополненного фактами о связи вариабельности сердечного ритма (ВСР) и стресс-состояния (Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, 1996) оператора, был проведен корреляционный анализ показателей ВСР и СВ. При этом, помимо классических показателей ВСР, использовались результаты обработки ВСР на основе вейвлет-анализа. Корреляционный анализ разности СВ-ИВ с показателями вариабельности сердечного ритма продемонстрировал отсутствие взаимосвязи данных показателей в случае работы с НКИ и ЭИ. Однако, такого рода взаимосвязи были выявлены в случае работы с ОИ со средним RR-интервалом: $r=-0,578022$, и мощностью СПМ в LF диапазоне $r=-0,59$ и VLF диапазоне $r=-0,65$ (для всех случаев $p<0,05$). Таким образом, испытуемые, переоценивающие отрезок времени, в течение которого они генерировали одну команду для интерфейса ((ИВ-СВ)/ИВ \rightarrow min), характеризуются более высокими значениями активности симпатического отдела вегетативной нервной системы (Рябыкина, Соболев, 1998) и церебральных эрготропных систем. Данные, полученные на основе анализа результатов вейвлет-преобразования, позволили детализировать картину для ОИ: (ИВ-СВ)/ИВ обратно пропорционально длительности нестационарных фрагментов ВСР, отражающих время активных регуляторных воздействий на сердечный ритм ($r=-0,56$; $p<0,05$), однако корреляция с мощностью нестационарных фрагментов носит положительный характер ($r=0,59$; $p<0,05$). Таким образом, с увеличением разности ИВ-СВ нарастало время, в течение

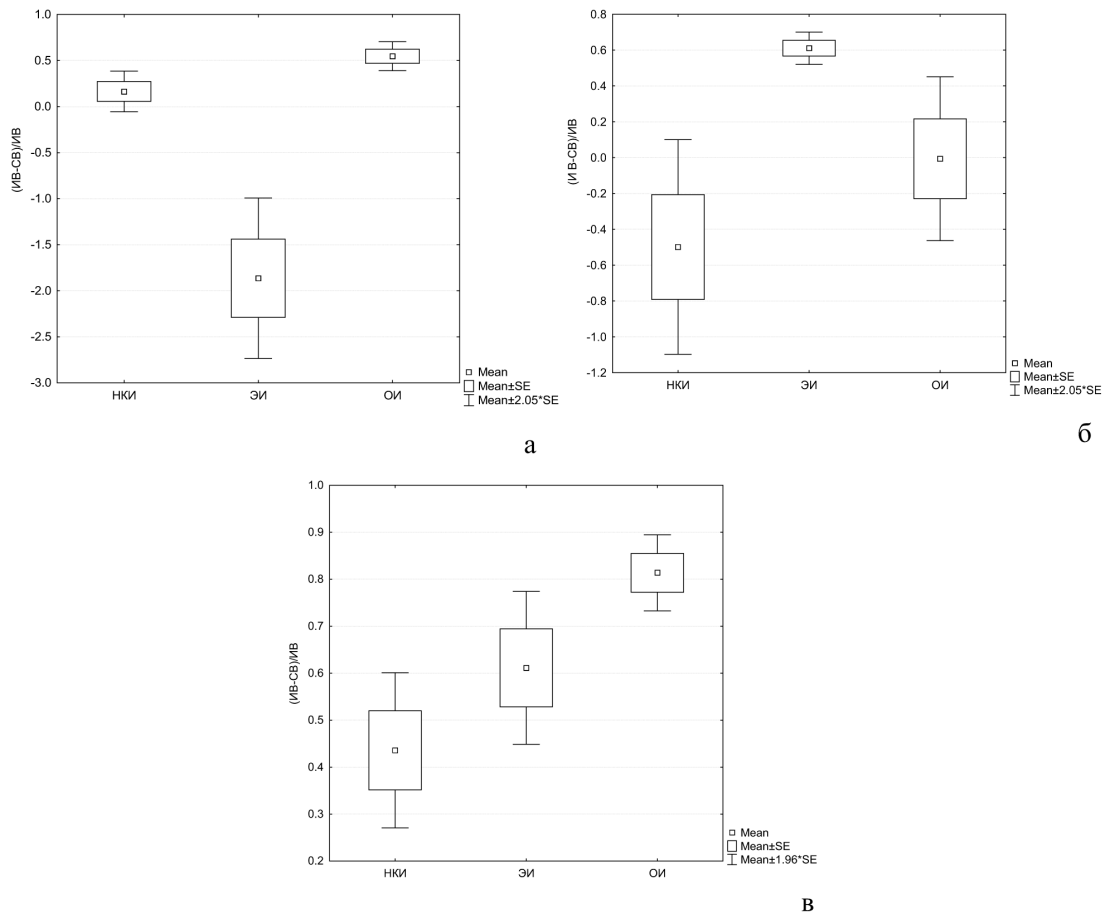


Рис. 2. Значения (ИВ-СВ)/ИВ: а — средние значения ИВ и СВ; б — минимальные значения ИВ и СВ; в — максимальные значения ИВ и СВ

ние которого осуществлялись активные регуляторные влияния на ВСР, но при этом выраженность таких влияний уменьшалась.

Анализ взаимосвязи (ИВ-СВ)/ИВ для НКИ, ЭИ и ОИ показал, что субъективные шкалы времени при работе с НКИ и ОИ отличаются высокими значениями корреляции: все показатели СВ находились в диапазонах от 0,52 до 0,67 при $p < 0,05$, в то время как оценки при работе с ЭИ не обнаруживают взаимосвязи ни с одним из исследуемых показателей, полученных при работе с другими интерфейсами. Это можно объяснить наличием в ЭИ компонента физической работы, который также может потенциально влиять на формирование СВ.

Заключение

В работе проведен анализ субъективных шкал времени, сформированных при работе испытуемых с перспективными интерфейсами человек-компьютер: нейрокомпьютерным, электромиографическим и окулографическим интерфейсами. Показано, что в случае работы с данными интерфейсами оператор имеет тенденцию к недооценке максимального времени, затраченного на выполнение одной команды. При этом в случае работы с элек-



тромиографическим и окулографическим интерфейсами данная особенность сохраняется и для показателей среднего ВВК. Результаты оценки СВ демонстрируют единый подход пользователей к формированию СВ при работе с различными интерфейсами: пользователь оценивает как усредненное, так и лучшее (минимальное) с худшим (максимальным) время выполнения команд по схожей шкале. Испытуемые, которые характеризуются более низкой способностью к переключению с генерации одной команды для интерфейса на другую, субъективно оценивают работу интерфейса как более медленную. Анализ данных ВСП указывает на связь LF-диапазона с субъективной оценкой времени, затраченного на работу с интерфейсом. Анализ взаимосвязи (ИВ-СВ)/ИВ для всех типов интерфейсов показал, что субъективные шкалы времени при работе с НКИ и ОИ отличаются существенно более высокой корреляцией друг с другом, чем аналогичные показатели в случае работы с электромиографическим интерфейсом.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-29-08342-офи_м.

Благодарности

Авторы благодарят А.А. Вахтина за помощь в сборе данных для исследования.

Литература

1. Альманах психологических тестов. М.: КСП, 1995. С. 92–94.
2. *Баевский Р.М., Берсенева А.П., Бареукова Ж.В.* Возрастные особенности сердечного ритма у лиц с разной степенью адаптации к условиям окружающей среды // Физиология человека. 1985. Т. 11. № 2. С. 208–212.
3. *Бушов Ю.В., Несмелова Н.Н.* Индивидуальные особенности восприятия человеком длительности интервалов времени // Физиология человека. 1994. Т. 20. № 3. С. 30–35.
4. *Гареев Е.М., Осипова Л.Г.* Возрастные особенности оценки времени при различных видах деятельности // Журнал высшей нервной деятельности. 1980. Т. 30. Вып. 2. С. 251–255.
5. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с. (Glantz S. Primer of biostatistics. M. Praktika, 1998. 459 p. [in Russian]).
6. *Карелин А.А.* Большая энциклопедия психологических тестов. М.: Эксмо, 2007. 416 с.
7. Кисть Michelangelo [Электронный ресурс] // Ottobock. 2000. URL: <http://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/michelangelo-hand/> (дата обращения: 15.12.2017).
8. *Климов Р.С.* Метод оценивания профессиональной подготовленности операторов робототехнических комплексов // Тренды и управление. 2016. № 4. С. 430–437.
9. *Райгородский Д.Я.* Практическая психодиагностика. М.: Бахрах-М, 2011. 672 с.
10. *Рунион Р.* Справочник по непараметрической статистике. Современный подход. М.: Финансы и статистика, 1982. 198 с. (Runyon R. Nonparametric Statistic. A Contemporary Approach. M. Finansy i statistika, 1982. 198 p. [in Russian]).
11. *Рябыкина Г.В., Соболев А.В.* Вариабельность ритма сердца. М.: СТАРКО, 1998. 200 с.
12. *Туровский Я.А.* Вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы плодов и новорожденных детей, перенесших хроническую внутриутробную гипоксию: автореф. дисс. канд. мед. наук. Воронеж, 2005. 24 с.
13. *Туровский Я.А., Дорохов Е.В.* Особенности восприятия коротких интервалов времени // Клиническая и экспериментальная медицина сегодня. Юбилейный сборник трудов. Воронеж. 1998. С. 64–65.
14. *Туровский Я.А., Дорохов Е.В., Федоров М.В.* Влияние периодического информационного воздействия на восприятие субъективных шкал времени человеком // Фракталы и прикладная синергетика. Москва. Труды первого междисциплинарного семинара. 1999. С. 140–142.



15. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Алексеев А.В. Анализ движения глаз человека при управлении самоходным шасси с использованием системы видеоокулографического интерфейса // Сенсорные системы. 2017. № 1. С. 51–58.
16. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Борзунов С.В. Оценка скорости работы нейрокомпьютерного интерфейса, реализованного с использованием гибридного интеллекта // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. № 3. С. 61–70.
17. Gao X., Xu D., Cheng M., Gao S. A BCI-Based Environmental Controller for the Motion-Disabled // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2003. Vol. 11. № 2. P. 137–140.
18. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // European Heart Journal. 1996. Vol. 17, March. P. 354–381.
19. Tello R., Müller S., Ferreira A., Freire T. Comparison of the influence of stimuli color on Steady-State Visual Evoked Potentials // Res. Biomed. Eng. 2015. Vol. 31 (3). P. 218–231.
20. Zhang Ya., Xu P., Cheng K., Yao D. Multivariate synchronization index for frequency recognition of SSVEP-based brain-computer interface // Journal of Neuroscience Methods. Volume 221. 2014. P. 32–40.

SUBJECTIVE TIME SCALES WHEN WORKING WITH PERSPECTIVE HUMAN-COMPUTER INTERFACES

TUROVSKY Y.A.*, VGU, Voronezh, Russia,
e-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

MAMAEV A.V.**, VGU, Voronezh, Russia,
e-mail: alex9100@bk.ru

ALEKSEEV A.V.***, VGU, Voronezh, Russia,
e-mail: a_v_alekseev@bk.ru

BORZUNOV S.V.****, VGU, Voronezh, Russia,
e-mail: sborzunov@gmail.com

The analysis of subjective time scales of the subjects with perspective human-computer interfaces was carried out: neurocomputer (brain-computer), electromyographic, oculographic. It is shown that for all of them it is typical to underestimate the maximum time spent for the execution of one team. In this case, for the electromyographic and oculographic, this feature is also preserved for the indicators of the average time for executing the commands. The results of the assessment demonstrate a unified approach of users to the

For citation:

Turovsky Y.A., Mamaev A.V., Alekseev A.V., Borzunov S.V. Subjective time scales when working with perspective human-computer interfaces. *Экспериментальная психология = Experimental psychology (Russia)*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 75–86. doi:10.17759/exppsy.20191202106

* *Turovsky Yaroslav Aleksandrovich*, Candidate of Medical Science, Associate Professor (Technical Sciences), Head of the Laboratory of Medical Cybernetics, Voronezh State University (Voronezh, Russia). Senior Researcher of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia). E-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

** *Mamaev Alexander Vasilievich*, practicing psychologist, engineer of the Laboratory of Medical Cybernetics, Voronezh State University (Voronezh, Russia). E-mail: alex9100@bk.ru

*** *Alekseev Alexander Viktorovich*, engineer of the Laboratory of Medical Cybernetics, Voronezh State University (Voronezh, Russia). E-mail: a_v_alekseev@bk.ru

**** *Borzunov Sergei Viktorovich*, Ph.D., Associate Professor of the Department of Digital Technologies, Voronezh State University (Voronezh, Russia). E-mail: sborzunov@gmail.com



formation of subjective time when working with various interfaces: the user estimates both the averaged and the best (minimum) with the worst (maximum) time for executing commands on a single scale. Subjects who switched worse from generating one command for the interface to another subjectively rated the interface as slower. The HRV data showed the LF-band relationship with a subjective estimate of the time spent working with the interface. Analysis of the relationship (true time-subjective) / true time has shown that subjective time scales when working with the neurocomputer and oculographic interfaces demonstrate a high correlation with each other as opposed to electromyographic.

Keywords: brain-computer interfaces (neurocomputer), electromyographic interfaces, oculographic interfaces, subjective time scales.

Funding

This work was supported by the RFBR grant 16-29-08342-офи-м

Acknowledgments

The authors thank A.A. Vakhtin for assistance in collecting data for research.

References

1. Al'manakh psikhologicheskikh testov [Almanac of psychological tests]. Moscow, KSP, 1995. pp. 92–94.
2. Baevskii R.M. Vozrastnye osobennosti serdechnogo ritma u lits s raznoi stepen'yu adaptatsii k usloviyam okruzhayushchei sredy [Age features of heart rhythm in persons with different degrees of adaptation to environmental conditions]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1985. V. 11, no. 2. pp. 208–212.
3. Bushov Yu.V., Nesselova H.H. Individual'nye osobennosti vospriyatiya chelovekom dlitel'nosti intervalov vremeni [Individual features of human perception of the duration of time intervals]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1994. V. 20, no. 3. pp. 30–35.
4. Gareev E.M., Osipova L.G. Vozrastnye osobennosti otsenki vremeni pri razlichnykh vidakh deyatel'nosti [Age features of the estimation of time for various types of activity]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti* [Journal of Higher Nervous Activity]. 1980. V. 30, vyp. 2. pp. 251–255.
5. Glantz S. *Mediko-biologicheskaya statistika*. M.: Praktika, 1998. 459 p. (Glantz S. *Primer of biostatistics*. M. Praktika, 1998. 459 p. [in Russian]).
6. Karelin A.A. *Bol'shaya entsiklopediya psikhologicheskikh testov* [A great encyclopedia of psychological tests]. Moscow.: Eksmo, 2007. 416 p.
7. Kist' Michelangelo [Elektronnyi resurs] [Brush Michelangelo]. Ottobock. 2000. URL: <http://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/michelangelo-hand/> (data obrashcheniya: 15.12.2017).
8. Klimov R.S. Metod otsenivaniya professional'noi podgotovlennosti operatorov robototekhnicheskikh kompleksov [Method for assessing the professional preparedness of operators of robotic complexes]. *Trendy i upravlenie* [Trends and management]. 2016. no.4. pp. 430–437.
9. Raigorodskii D.Ya. *Prakticheskaya psikhodiagnostika* [Practical psychodiagnosis]. Moscow.: Bakhrah-M, 2011.
10. Runion R. *Spravochnik po neparametricheskoi statistike. Sovremennyyi podkhod*. Moscow. Finansy i statistika, 1982. 198 p. (Runyon R. *Nonparametric Statistic. A Contemporary Approach*. Moscow. Finansy i statistika, 1982. 198 p. [in Russian]).
11. Ryabykina G.V., Sobolev A.V. Variabel'nost' ritma serdtsa [Heart rate variability]. Moscow. STARKO. 1998. 200 p.
12. Turovskii Ya.A. Vegetativnaya regulyatsiya serdechno-sosudistoi sistemy plodov i novorozhdennykh detei, perenesshikh khronicheskuyu vnutriutrobnuyu gipoksiyu [Vegetative regulation of the cardiovascular system of fetuses and newborn children who underwent chronic intrauterine hypoxia]: avtoref. dis.. kand. med. Nauk / Ya.A. Turovskii. Voronezh, 2005. 24 p.
13. Turovskii Ya.A., Dorokhov E.V. Osobennosti vospriyatiya korotkikh intervalov vremeni [Peculiarities of Perception of Short Time Intervals]. *Yubileinyi sbornik trudov «Klinicheskaya i eksperimental'naya*



meditsina segodnya» [Jubilee Collection of Works “Clinical and Experimental Medicine Today”]. Voronezh. 1998. pp. 64–65.

14. Turovskii Ya.A., Dorokhov E.V., Fedorov M.V. Vliyanie periodicheskogo informatsionnogo vozdeistviya na vospriyatie – sub”ektivnykh shkal vremeni chelovekom [Influence of periodic information impact on perception – subjective time scales by the person]. Trudy pervogo mezhdistsiplinarnogo seminar «Fraktaly i prikladnaya sinergetika» [Proceedings of the first interdisciplinary seminar “Fractals and applied synergetics”]. Moskva. 1999. pp. 140–142.

15. Turovskii Ya.A., Kurgalin S.D., Alekseev A.V. Analiz dvizheniya glaz cheloveka pri upravlenii samokhodnym shassi s ispol’zovaniem sistemy videookulograficheskogo interfeisa [Analysis of the human eye movement in the control of a self-propelled chassis using the video-oculographic interface system]. Sensornye sistemy [Sensory systems]. 2017. no. 1. pp. 51–58.

16. Turovskii Ya.A., Kurgalin S.D., Borzunov S.V. Otsenka skorosti raboty neirokomp’yuternogo interfeisa, realizovannogo s ispol’zovaniem gibridnogo intellekta [Estimating the speed of the neurocomputer interface implemented using hybrid intelligence]. Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical radioelectronics]. 2015. no. 3. pp. 61–70.

17. Gao X., Xu D., Cheng M. A BCI-Based Environmental Controller for the Motion- Disabled. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2003. V. 11. no. 2. pp. 137–140.

18. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // European Heart Journal. Vol. 17, March 1996. pp. 354–381.

19. Tello R., Müller S., Ferreira A., Freire T. Comparison of the influence of stimuli color on Steady-State Visual Evoked Potentials. Res. Biomed. Eng. 2015. V. 31 (3). pp. 218–231.

20. Zhang Ya., Xu P., Cheng K., Yao D. Multivariate synchronization index for frequency recognition of SSVEP-based brain-computer interface. Journal of Neuroscience Methods. 2014. pp. 32–40.