

УДК 004.5:612.1]-047.44

Статистический анализ показателей функционального состояния человека в эргатической системе «человек–компьютер»

О. П. Страхова, А. А. Рыжов

Запорожский государственный медицинский университет, Украина

Резюме

Введение. Современный процесс обучения рассчитан на широкое использование компьютеров. Такая эргатическая учебная среда может оказывать влияние на изменение функционального состояния обучающихся.

Цель. Установить, имеет ли место такое влияние, и каковы его количественные показатели.

Результаты. Статистическая обработка результатов исследования выявила достоверные изменения контролируемых параметров функционального состояния человека после занятия, проведенного в эргатической обучающей среде.

Заключение. Установлена значительная корреляция изменений электрокожных характеристик микрозон с изменениями параметров variability сердечного ритма и реовазографии верхних конечностей.

Ключевые слова: электрокожные характеристики микрозон; вариабельность сердечного ритма; реовазография верхних конечностей; статистический анализ; корреляция.

Клин. информат. и Телемед. 2014. Т.10. Вып.11. сс.61–65

Введение

Численность людей, использующих компьютерную технику в работе, досуге и образовании, пользующихся доступом в Интернет, достигла 2 миллиардов и продолжает расти быстрыми темпами. Практически не осталось областей человеческой деятельности, не охваченной применением в ней компьютеров. Развитие всемирной информационной сети говорит о внедрении в нашу социальную и профессиональную жизнь эргатических систем «человек–компьютер». Учебные программы всех вузов используют средства информационных компьютерных технологий в подготовке к занятиям, выполнении учебных заданий и контроле усвоения знаний, поэтому целесообразно сосредоточить внимание на условиях работы человека в компьютерной эргатической учебной среде.

Распространение компьютерных эргатических систем происходит благодаря их интерактивности, дающей возможность либо напрямую общаться с человеком «по другую сторону экрана», либо вести активный диалог с информационной системой, по своей структуре подобный к реальному общению между людьми [1]. В результате пользователи проводят в эргатической системе «человек–компьютер» много часов ежедневно. Люди во всем мире включены в разнообразные эргатические компьютерные системы как неотъемлемая их часть. Поэтому становятся актуальными вопросы сохранения их здоровья в создавшихся условиях, компенсации возможных негативных влияний эргатических систем на людей.

Цель работы

1. Изучить влияние пребывания и работы человека в эргатической среде на изменение его функционального состояния.

2. Методами оценки изменений variability сердечного ритма (BCP), реовазографии верхних конечностей (PBF) и электрокожных характеристик микрозон (ЭКХ МЗ) установить количественные показатели такого влияния.

Материалы и методы

В качестве модели ситуации работы человека в эргатической системе был выбран учебный процесс с использованием компьютеров. Для проведения исследования была случайным образом отобрана группа лиц из 157 человек, студентов ВУЗа, в возрасте 18–19 лет, 71 юноша и 86 девушек. Дозированные когнитивные нагрузки для них представляли собой 4-часовые учебные занятия, проходившие на кафедре медицинской и фармацевтической информатики в компьютерной эргатической системе. Занятия включали ознакомление с теоретическим материалом и выполнение практической работы только на компьютере. Студенты должны были полностью выполнить предложенные им задания и пройти итоговое компьютерное тестирование для оценки качества усвоения учебного материала и полученных практических навыков. Исследование проводилось в одинаковое время суток – от 12.00 до 16.00, для избегания влияния циркадных ритмов на общее состояние исследуемых.

Мы предположили, что спокойная работа в эргатической системе может приводить к функциональному напряжению, имеющему, по всей вероятности, характер специфичной усталости разной степени [2]. Предварительно нами было установлено, что в результате 4-часовой работы в компьютерной эргатической обучающей системе показатели ЭКХ МЗ изменяются по сравнению с контрольной группой [10]. В литературе вопросам проявления функционального напряжения

у людей в эргатических компьютерных системах в условиях спокойной рабочей обстановки внимание не уделялось [3], рассматриваются ситуации стресса или монотонии. Во многих исследованиях отмечается, что показателями, используемыми для этих целей в последние 30 лет, были измерения показателей сердечно-сосудистой активности. Р. М. Баевский сформулировал концепцию, согласно которой анализ физиологических механизмов регуляции сердечного ритма дает возможность получить информацию о функциональном состоянии всего организма [4]. Нарушение вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы служит ранним признаком срыва адаптации организма к нагрузкам и ведет к снижению работоспособности. [5]. Поэтому в программу исследования включены такие инструментальные методы:

- регистрация ВСР с помощью комплекса Кардиолаб (ХАИ Медика, г. Харьков);
- РВГ верхних конечностей комплексом Реоком, ХАИ Медика, г. Харьков;
- измерение ЭКХ МЗ устройством измерения ЭКХ «Рада-5», г. Москва.

Показатели ВСР дают возможность количественного определения влияния на ритм сердца центрального, вегетативного, гуморального, рефлекторного механизмов регуляции и оценки на этой основе текущего ФС человека и его адаптационных резервов [6], [7].

Для анализа мы выбрали способ оценки ВСР на коротких участках (5-минутная запись) и использовали временные (RR, SDNN, rMSSD, pNN50) и частотные (HF, LF, VLF, LF/HF) показатели. Анализ ВСР на коротких участках исключает влияние на деятельность синусового узла различной физической и психологической активности, циркадных изменений.

РВГ относится к числу неинвазивных методов, позволяя изучать динамику пульсового кровенаполнения тканей. РВГ дает возможность распознавать различные виды коллатерального и магистрального кровотока, диагностировать нарушения венозного оттока. Запись РВГ верхних конечностей проводилась по стандартной методике.

Взаимосвязь показателей ЭКХ МЗ с изменением ФС человека описана в известных работах Й. Накатани, А. Нечушкина [8], [9]. Регистрация ЭКХ МЗ проводилась по методике стандартного вегетативного теста ЦИТО в МЗ-«источниках»; регистрировался максимум показания измерительного прибора в каждом измерении [6]. Для установления корреляции между величинами ЭКХ МЗ и традиционными способами определения ФС, измерение ЭКХ МЗ проводилось одновременно с регистрацией ВСР и РВГ.

Измерения показателей ФС состояли из двух этапов. Первые записи показателей ФС человека тремя перечисленными способами проводились до начала работы в эргатической системе и получения когнитивной нагрузки участниками исследования. Вторые — после окончания и итогового тестирования.

Статистическая обработка полученных результатов выполнена с помощью программы STATISTICA 6.0.

Результаты исследования

Установлено, что в результате проведения 4-часового занятия в компьютерной эргатической системе функциональное состояние участников исследования изменилось. Были отмечены:

1. Наиболее сильно изменившиеся после занятия показатели ЭКХ МЗ.
2. Наиболее сильно изменившиеся после занятия показатели ВСР и РВГ.
3. Установлена корреляционная связь между показателями ВСР, РВГ и ЭКХ МЗ и изменениями этих показателей.

Показатели ВСР, измеренные записанные одновременно с ЭКХ МЗ, до и после занятия, также изменились по отношению к исходным.

Общая мощность TP спектра частот от 0,015 до 0,15 Гц, выражающая суммарную активность воздействия вегетативной нервной системы на сердечный ритм, возросла почти на 16%. Рост произошел во всех диапазонах спектра, особенно существенно вырос показатель мощности спектра низких волн LF. Рост в диапазоне VLF составил 14%, он отражает повышение активности самой медленной системы регуляции кровообращения — гуморально-метаболической. Низкочастотная часть спектра, LF, возросла на 17%. Мощность высокочастотных колебаний HF возросла почти на 13%. Несмотря на рост показателей как симпатической, так и парасимпатической регуляции сердечно-сосудистой системы, симпато-вагальный индекс, LF/HF, характеризующий соотношение или баланс симпатических и парасимпатических влияний на ритм сердца, вырос лишь на 6,33%. Это свидетельствует о небольшом смещении вегетативного баланса в сторону доминирования симпатического отдела ВНС, что свойственно стрессовому состоянию организма [6]. В отечественных методических рекомендациях схожим образом предлагается рассматривать LF/HF как индекс вагосимпатического взаимодействия, который отражает относительную активность симпатического нервного центра продолговатого мозга [Баевский Р. М. и др., 2001].

Показатели вариационной пульсометрии снизились. Амплитуда моды, Амо, отражающая стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, показала снижение числа кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в процентах к объему выборки, почти на 7%. Почти на 13% снизился индекс напряженности регуляторных систем. Это очень чувствительный к состоянию ВНС показатель, он характеризует активность симпатического отдела ВНС. На 12,7% вырос показатель ширины скаттерограммы W, что означает увеличение ее рассеяния.

Значительно снизились индекс вегетативного равновесия ИВР и вегетативный показатель ритма ВПР, на 11% и 7% соответственно. Выше верхней границы нормы для данного возраста возросла суммарная активность воздействия вегетативной нервной системы на сердечный ритм, определяемая величиной TP — общей мощности спектра частот от 0,015 до 0,15 Гц. Также превысили допустимые значения уровень активности вазомоторного центра LF и парасимпатического звена регуляции HF, и, соответственно, индекс вегетативного равновесия ИВР.

Существенная разница между исходными и результирующими измерениями есть в нескольких МЗ: IG, TR, GI, R, VB. ЭКХ правой и левой стороны тела изменились подобным образом, с сохранением направления изменений (уменьшение или рост значений и на правой, и на левой стороне тела).

По ВСР существенно коррелировали с ЭКХ МЗ такие показатели:

1. Временные показатели: SDNN; RMSSD; pNN50.
2. Показатели спектрального анализа: TP (общая мощность в диапазоне частот $\leq 0,4$ Гц); HF (мощность в диапазоне высоких (0,15–0,4 Гц) частот); LF (мощность в диапазоне низких (0,04–0,15 Гц) частот); VLF (мощность в диапазоне очень низких ($\leq 0,04$ Гц) частот).
3. Показатель симпато-парасимпатического баланса IC (индекс напряжения регуляторных систем).

Проверка вида распределения данных показала, что параметры имеют как нормальное, так и ненормальное распределение. Поэтому для проведения статистической обработки результатов были выбраны непараметрические методы. Коэффициент конкордации Кендала между показателями ВСР и значениями ЭКХ МЗ и правой, и левой сторон тела равен $0,75 \div 0,87$ при ранговом коэффициенте корреляции $r = 0,74 \div 0,87$; $p < 0,01$.

Найдены несколько наиболее сильно коррелирующих между собой (коэф. корреляции Спирмена до 0,72, $p < 0,01$) показателей ВСП и ЭКХ МЗ. Наиболее выраженной оказалась корреляционная зависимость с показателями ВСП изменений в следующих микрizonaх: МС, С, Р, V, VB (названия микрizona приводятся в широко распространенной французской классификации). Однако, наиболее сильно коррелирующие с показателями ВСП микрizonaы имели не самые выраженные изменения своих значений по окончании занятия. Средние значения измерений правой и левой стороны снизились суммарно на 7% в конце занятия по сравнению с началом. По некоторым МЗ снижение было более 10%: R, IG, VB, P, TR, GI (применена французская классификация МЗ).

По итогам определения изменений показателей РВГ наиболее выраженной оказалась корреляционная зависимость изменений показателей РВГ и изменений ЭКХ в следующих микрizonaх: F, IG, RP, P, VB, R (коэф. корреляции от 0,54 до 0,65, $p < 0,01$) показателей РВГ и ЭКХ МЗ.

Выявились функциональные отклонения в состоянии периферического кровообращения, причем эти отклонения были различны на левом и правом предплечье. Правое предплечье выявило большую устойчивость к приложенной нагрузке. Межамплитудный показатель диастолической волны, характеризующий венозный отток, остался стабильным на правой руке и снизился на левой более чем на 30%. Межамплитудный коэффициент инцизуры, дающий представление о состоянии периферического сосудистого сопротивления, вырос на правом предплечье на 15% и остался стабильным на левом. Время быстрого кровенаполнения, обусловленное величиной ударного объема сердца и упругостью стенок крупных сосудов, снизилось на левом предплечье на 21,4% и осталось неизменным на правом. При этом частота сердечных сокращений изменилась незначительно — менее 3%. На левом предплечье на 14% снизился коэффициент периферического сопротивления, отражающий тонус артериол, но повысилось кровенаполнение сосудов мелкого калибра — на 13% и возрос на 15% тонус средних и мелких артериол, справа и слева. Особенно значительно, на 40%, одинаково справа и слева, выросла асимметрия кровенаполнения мелких сосудов. Понятно, что во время работы за компьютером левая рука работает только с клавиатурой, а правая испытывает постоянную статическую нагрузку на одни и те же мышцы, управляя манипулятором-мышкой. Учащийся «следит» движениями правой руки за происходящим на экране.

ЭКХ МЗ показали существенное изменение показателей. Хотя средние значения измерений снизились суммарно на 7% в конце занятия по сравнению с началом, мы считаем, что оценку изменений показателей ЭКХ в каждой отдельной группе МЗ следует проводить отдельно, так как каждая группа МЗ представляет собой отдельный параметр ФС, который нельзя суммировать с остальными. По некоторым МЗ снижение было значительным: GI — 18 и 26%, TR — 28% справа и слева, R — 14% справа и слева, IG — 7% и 15% соответственно, VB — 15% справа и слева. В микрizonaх VB и C снижение на левой стороне было заметнее, чем на правой: 7% и 3%; 10% и 4% соответственно.

Выявленные изменения ФС имели преходящий характер: при каждом повторном измерении, проводившемся до начала занятия в компьютерной среде, показатели РВГ и ВСП были

в пределах возрастной нормы, к концу занятия изменялись, как показано выше.

Выводы

1. По результатам проведенного исследования показано, что обучение в эргатической среде является функциональной нагрузкой для организма человека.

2. Установлены количественные показатели изменения ФС человека, обучающегося в эргатической системе.

3. Так как исследование выявило значительную корреляционную зависимость между параметрами ВСП, РВГ и ЭКХ МЗ, метод регистрации изменений ЭКХ МЗ можно принять в качестве способа получения достоверных данных об изменении состояния человека под воздействием работы в эргатической системе «человек-компьютер».

Исследования проводились с соблюдением национальных норм биоэтики и положений Хельсинкской декларации (в редакции 2013 г.) с письменного согласия обследуемых, после подробного информирования о целях, продолжительность и процедуре исследования.

Авторы статьи — О. П. Страхова, А. А. Рыжов — подтверждают, что у них нет конфликта интересов.

Литература

1. Злепко С. М., Мінцер О. П. та ін.. Сучасні методи і засоби для визначення і діагностування емоційного стресу. ВНТУ, Вінниця, 2011, 214 с.
2. Машин В. А. Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления. *Вопросы психологии*, 2007, № 6, сс. 86–96.
3. Баевский Р. М., Кудрявцева В. И. Особенности регуляции сердечного ритма при умственной работе. *Физиология человека*, 1975, т. 1, № 2, сс. 296–301.
4. Баевский Р. М., Кирилов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М., Наука, 1984, 221 с.
5. Кальниш В. В., Пышнов Г. Ю. Единство изменений функционального состояния организма работающего при развитии утомления. *Український журнал з проблем медицини праці*, Киев, 2012, № 1, сс. 55–66.
6. Методические рекомендации по анализу variability сердечного ритма. Компьютерная система оценки динамики изменения функционального состояния человека. ХАИ-Медика, Харьков, 2009, 122 с.
7. РеоКом для WINDOWS XP. Компьютерная система реографии. ХАИ-Медика, Харьков, 2009, 140 с.
8. Nakatani Y., Yamashita K. *Ryodoraku Akupuncture. Japan*. Токуо, 1977, 120 р.
9. Нечушкин А. И., Гайдамакина А. М. Метод стандартного вегетативного теста ЦИТО (СВТ-ЦИТО). *Свидетельство о регистрации Минздрава СССР №108/30 от 27.05.77*.
10. Страхова О. П., Рыжов О. А. Оцінка психофізіологічного стану студента методом визначення ЕШХ БАК. *Медицина інформатика та інженерія*, 2010, № 1, сс. 33–39.

Статистичний аналіз показників функціонального стану людини в ергатичній системі «людина–комп'ютер»

О. П. Страхова, О. А. Рижов
Запорізький державний медичний університет, Україна

Резюме

Введення. Сучасний процес навчання розрахований на широке використання комп'ютерів. Така ерготична навчальне середовище може впливати на зміну функціонального стану навчаються.

Мета. Встановити, чи має місце такий вплив, і які його кількісні показники.

Результати. Статистична обробка результатів дослідження виявила достовірні зміни контрольованих параметрів функціонального стану людини після заняття, проведеного в ергатичній навчальному середовищі.

Висновок. Встановлено значну кореляцію між змінами електрошкіряних характеристик мікрозон та змінами параметрів варіабельності серцевого ритму і реовазографії верхніх кінцівок.

Ключові слова: електрошкіряні характеристики мікрозон; варіабельність серцевого ритму; реовазографія верхніх кінцівок; статистичний аналіз; кореляція.

Statistical analysis the index of human functional state in ergatic system «human–computer»

O. P. Strakhova, A. A. Ryzhov
Zaporizhja State Medical University, Ukraine
e-mail: fobosoz@gmail.com

Abstract

Introduction. Modern learning process is designed for the widespread use of computers. Such ergatic learning environment can have the influence at the changes in the students' functional state.

Purpose. To establish such an influence, and what are its quantitative indicators.

Results. Statistical processing of the study results revealed significant changes of monitored parameters at a person's functional state after class held in ergatic learning environment.

Conclusion. Is established a significant correlation between electrocutaneous characteristics microzones changes and the parameters of heart rate variability and upper limbs rheovasography.

Key words: Electrocutaneous characteristics of micro-zones; Heart rate variability; Upper limbs rheovasography; Statistical analysis; Correlation.

©2014 Institute Medical Informatics and Telemedicine Ltd, ©2014 Ukrainian Association of Computer Medicine. Published by Institute of Medical Informatics and Telemedicine Ltd. All rights reserved.

ISSN 1812-7231 *Klin.inform.telemed.* Volume 10, Issue 11, 2014, Pages 61–65

<http://uacm.kharkov.ua/eng/index.shtml?e-klininfo-ujournal.htm>

References (10)

References

1. Zlepko S. M., Mintser O. P. etc. *Suchasni методи i zasobi dlya vyznachennya i diagnostuvannya emotsiynogo stresu* [Modern methods and tools for identifying and diagnosing emotional stress]. Vinnitsa, 2011, 214 p. (In Ukr.).
2. Mashin V. A. Mental load, mental stress and functional status of operators of control systems. *Voprosy Psihologii* [Questions of Psychology], 2007, no. 6, pp. 86–96. (In Russ.).
3. Baevsky R. M., Kudryavtseva V. I. Features heart rate regulation during mental work. *Fiziologia cheloveka* [Human Physiology], 1975, vol. 1, no. 2, pp. 296–301. (In Russ.).

4. Baevsky R. M., Kirilov O. I., Kletskin S. Z. *Matematicheskiy analiz izmeneniy serdechnogo ritma pri stresse* [Mathematical analysis of heart rate changes during stress], M., Nauka Publ., 1984, 221 p. (In Russ.).
5. Kalnish V. V., Pyshnov G. Yu. Unity changes in the functional state of the organism employed in the development of fatigue. *Ukrainskiy zhurnal z problem meditsini pratsi* [Ukrainian Journal of the problems of Occupational Medicine], 2012, no. 1, pp. 5–66. (In Russ.).
6. *Metodicheskie rekomendatsii po analizu variabelnosti serdechnogo ritma. Kompyuternaya sistema otsenki dinamiki izmeneniya funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka* [Guidelines on the analysis of heart rate variability. Computer evaluation system dynamics changes in the functional state of the person]. HAI-Medika, Kharkov, 2009, 122 p. (In Russ.).
7. *ReoKom dlya WINDOWS XP. Kompyuternaya sistema reografii* [ReoCom for WINDOWS XP computer rheography system], HAI-Medika, Kharkov, 2009, 140 p. (In Russ.).
8. Nakatani Y., Yamashyta K. *Ryodoraku Akupuncture. Japan*. Tokyo, 1977, 120 p.
9. Nechushkin A. I., Gaidamakina A. M. Standard method of vegetative test CITO Registration Certificate of the Ministry of Health № 108/30 of 27.05.77.
10. Strakhova O. P., Rizhov O. A. Estimation of psychophysiological state student by definition ESC in points-sources. *Vsb. Medychna informatyka ta inzheneria*. 2010. № 1. P. 33–39. (In Ukr)

Переписка

ассистент **О. П. Страхова**

Запорожский государственный медицинский университет
просп. Маяковского, 26, Запорожье, 69000, Украина

тел.: +38 (097) 297 91 12

эл. почта: fobosoz@gmail.com