

УДК 331.101.1:629.78.072.8

## **ВЛИЯНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ НА ОПЕРАТОРСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПЕРАТОРОВ**

К.С. Киреев, Д.А. Темарцев, Д.Н. Луцевич, Ю.Д. Яхья,  
Л.М. Королев, В.Г. Сорокин

Канд. мед. наук К.С. Киреев; канд. техн. наук Д.А. Темарцев; Д.Н. Луцевич;  
докт. психол. наук, проф. Л.М. Королев; канд. воен. наук, доц. В.Г. Сорокин  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
Ю.Д. Яхья (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

В статье анализируется степень влияния эргономических раздражителей на операторскую деятельность и функциональное состояние (ФС) испытуемого при работе с тренажером космической техники. Результаты проведенных экспериментальных исследований возможно учитывать для обоснования предложений по созданию стенда эргономической отработки эргатических систем «космонавт – космическая техника – среда», включая технические средства подготовки космонавтов космического комплекса российской орбитальной станции.

**Ключевые слова:** тренажер транспортного пилотируемого корабля, ручное управление, эргономические раздражители, функциональное состояние, испытуемый

### **Effects of Egonomic Stimuli on Operator Activity and Functional State of Operators. K.S. Kireev, D.A. Temartsev, D.N. Lutsevich, Yu.D. Yahya, L.M. Korolev, V.G. Sorokin**

The paper analyzes the degree of impact of ergonomic stimuli on operator activity and functional state of the subject when working with a space technology simulator. The results of the conducted experimental studies can be taken into account to ground proposals for creating the stand for ergonomic development of the “cosmonaut – space technology – environment” ergatic systems, including technical means for training cosmonauts of the space complex of the Russian Orbital Station.

**Keywords:** simulator of a manned transport space vehicle, manual control, ergonomic stimuli, functional state, subject

Опыт советской и российской пилотируемой космической деятельности показал, что для достижения космонавтом способности надежно работать в изменяющихся условиях космического полета необходимо сформировать у него адекватную психологическую структуру функционирования: цель – мотив – способ – эргономические свойства – результат.

В зависимости от соотношения этих компонентов в процессе профессиональной деятельности у космонавта могут развиваться различные ФС.

В идеальном случае, когда космонавт располагает полным набором компонентов, составляющих структуру функционирования, создаются благоприятные ФС, обеспечивающие профессиональную надежность его деятельности. При этом особую роль в комплексе этих компонентов играют эргономические свойства, которые проявляются в эргатической системе «космонавт – космическая техника (КТ) – среда» в результате реализации эргономических требований.

В ситуациях, когда какой-либо компонент не определен, например, нечетко или неправильно реализованы эргономические требования, что, в свою очередь, приводит к ухудшению эргономических свойств, могут возникать изменения ФС, снижающие качество профессиональной деятельности космонавта. Таким образом можно предположить следующую гипотезу: нечеткая или неправильная реализация эргономических требований к КТ может способствовать изменению ФС, снижающему качество профессиональной деятельности космонавта.

Данная гипотеза предлагается для применения только к КТ вследствие наличия следующих аспектов:

- конкретные предположения могут не полностью отражать многогранность выдвинутых явлений, касающихся изменений ФС испытуемых, на другой, менее сложной технике;
- конкретные предположения могут зависеть от качества полученных данных по результатам измерения параметров ФС испытуемых: неточные данные могут привести к неверным выводам, что может являться критичным именно для КТ;
- наличествует возможность пропуска значимых закономерностей или взаимосвязей в данных, которые не улавливаются данной гипотезой при использовании другой техники, функционирующей в менее опасной среде деятельности;
- наличествует возможность не охвата более широкого набора параметров ФС испытуемых с использованием менее сложной техники, что может привести к упрощению результатов экспериментальных исследований (ЭИ).

Исходя из этого, в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» были проведены ЭИ для подтверждения или опровержения гипотезы, предполагающей изменение параметров операторской деятельности и ФС испытуемого при ухудшении эргономических свойств тренажера КТ, используемого в процессе подготовки космонавтов к космическому полету.

Целью ЭИ являлось получение новых научных знаний о возможностях влияния эргономических раздражителей на параметры операторской деятельности и ФС испытуемого при работе с тренажером КТ.

Задачей ЭИ являлась регистрация и оценка изменений показателей операторской деятельности и ФС испытуемого при выполнении экспериментальной операции.

В результате ЭИ была проведена апробация методики и зарегистрированы изменения показателей операторской деятельности и ФС испытуемого при выполнении экспериментальной операции, данные которых можно использовать для разработки и обоснования предложений по созданию стенда эргономической отработки интерьеров и интерфейсов эргатических систем «космонавт – КТ – среда» для его применения в интересах повышения эффективности эксплуатации существующих и перспективных пилотируемых космических комплексов.

## Методика

В ЭИ приняли участие пять практически здоровых испытуемых (четверо мужчин, одна женщина), возраст  $33,40 \pm 3,08$  лет. ЭИ было одобрено Комиссией по биомедицинской этике ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». В соответствии с Хельсинской декларацией все испытуемые подписали информированное согласие на участие в ЭИ.

Для выполнения операторской деятельности использовался мобильный компьютерный тренажер (МКТ) транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС» в режиме ручного управления.

Во время ЭИ с каждым испытуемым выполнялась одна сессия исследования, которая включала в себя выполнение режима ручного управления (РРУ) движением ТПК «Союз МС» с одинаковыми начальными условиями на МКТ ТПК «Союз МС» в виде двух сеансов.

Сеанс 1 выполнялся на штатном оборудованном рабочем месте (РМ) без ввода эргономических раздражителей (ЭР). Считалось, что данное РМ являлось «эталонным» с эргономической точки зрения. Снятые при этом физиологические показатели считались «фоновыми».

Сеанс 2 выполнялся на штатном оборудованном РМ с вводом ЭР. Под ЭР понимались изменения положения органов управления и характеристик средств отображения информации в сторону ухудшения эргономических свойств РМ. Снятые при этом физиологические показатели сравнивались с «фоновыми» показателями.

В качестве выполняемого РРУ была выбрана перестыковка с одного узла Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) на другой. Длительность выполнения одного РРУ планировалась до 0,5 часа.

При выполнении сеанса 2 после начала выполнения РРУ вводились следующие ЭР:

- световое раздражение;
- звуковое;
- изменение положения органов управления.

Световое раздражение представляло собой излучение в видимом диапазоне, направленное в лицо испытуемому. Технически оно исполнялось из светодиодной ленты, наклеенной на двусторонний скотч по периметру экрана ноутбука.

В качестве звукового раздражения использовался «электронный писк». Воспроизведение звукового раздражения выполнялось с помощью портативного устройства (планшета).

Изменение положения органов управления выполнялось в вертикальной плоскости (кресло оператора было опущено вниз по сравнению с его нормальным положением).

Для оценки операторской деятельности регистрировались временные затраты на выполняемые операции и параметры относительно движения при касании.

Для оценки ФС испытуемого до, во время и после проведения ЭИ регистрировались:

- электрокожная активность (ЭКА);
- вариабельность сердечного ритма (ВСР).

Регистрация показателей ЭКА [1] осуществлялась с помощью психофизиологического программно-аппаратного комплекса «Реакор» («Медиком МТД», Россия). Регистрировался показатель кожной проводимости (КПр) при воздействии зондирующего постоянного электрического тока и показатель кожно-гальванической реакции (КГР) – сопротивление кожи при воздействии зондирующего постоянного электрического тока.

Показатели КПр регистрировались в абсолютных значениях – микросименсах (мкСм). Сопротивление кожи регистрировалось как показатель КГР в относительных единицах (процентах). Показатель КГР является знаковым и позволяет изучать величину амплитуды волнообразного изменения электрического сопротивления кожи по отношению к изолинии.

Для анализа ВСР проводилась непрерывная регистрация ЭКГ (II стандартное отведение) с помощью электрокардиографа «Варикард 2.81» (частота дискретизации 1000 Гц).

Анализ сердечного ритма проводился во временной и частотной области согласно международным и российским стандартам [2, 3] по 5-минутным участкам со скользящим окном 15–60 секунд с определением следующих показателей:

- статистических (HR, SDNN, pNN50);
- спектральных (показатели периодических компонент сердечного ритма TP, HF, LF, VLF);
- геометрических (SI, AMo);
- интегральных показателей активности регуляторных систем (ПАРС): ПАРС+ (усиление симпатической регуляции) и ПАРС– (усиление парасимпатической регуляции).

ЭКА и ВСР регистрировались 5 минут до начала операторской деятельности (фоновая запись), непрерывно во время и 5 минут после окончания операторской деятельности.

Забор венозной крови осуществлялся до и после ЭИ в условиях клинико-биохимической лаборатории для общего и биохимического (глюкоза,

холестерин, триглицериды, С-реактивный белок, кальций ионизированный, кальций общий, магний, фосфор, ТТГ, свободный Т4, Т3, инсулин) анализа крови.

### Статистическая обработка полученных данных

Для показателей КПр рассчитывали минимальные, средние и максимальные значения. Для показателей венозной крови рассчитывали среднее значение ( $\bar{X}$ ) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ). Оценку достоверности различий между результатами, полученными до и после выполнения операторской деятельности, осуществляли на основе применения непараметрических методов описательной статистики в программе Statistica 10.

Критерий Уилкоксона применяли при сравнении показателей внутри группы до и после воздействия, критерий Манна – Уитни – при сравнении данных после воздействия между группами. Достоверными считались различия при  $p < 0,05$ .

Математический анализ сердечного ритма проводился во временной и частотной области согласно международным и российским стандартам. Применялись также методы оценки хаотической нелинейной динамики сердечного ритма. Использовались геометрический (построение дифференциальных гистограмм по разностям последовательных кардиоинтервалов) и информационный (энтропия Шеннона) методы нелинейного анализа сердечного ритма.

Выполнение РРУ каждым испытуемым фиксировалось на кино- и фотооборудование (рис. 1, 2).



Рис. 1. Испытуемый № 1

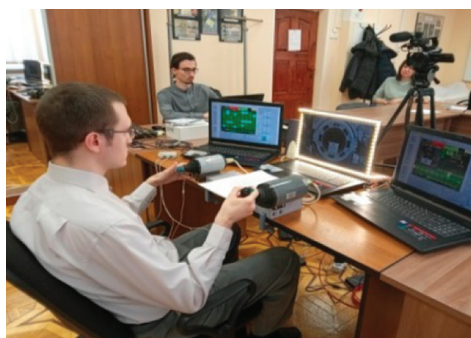


Рис. 2. Испытуемый № 2

Таким образом, по результатам выполнения ЭИ были зарегистрированы параметры операторской деятельности и ФС каждого испытуемого по каждому выполненному им РРУ, что позволило определить влияние ЭР на показатели операторской деятельности и ФС испытуемого.

## Результаты и обсуждение

Всего проведено 10 сессий ЭИ: 5 – без ЭР (сеанс 1); 5 – с ЭР (сеанс 2) с каждым испытуемым. По состоянию здоровья все испытуемые были допущены к исследованиям. Физиологические показатели до ЭИ находились в допустимых пределах. В процессе всех ЭИ испытуемые жалоб на самочувствие не предъявляли, общее состояние было удовлетворительным. Физиологические показатели после ЭИ соответствовали состоянию после перенесенного усиленного психоэмоционального напряжения и условиям проведения эксперимента.

## Анализ влияния ЭР на операторскую деятельность

В обоих сеансах выполнялась перестыковка ТПК «Союз» с модуля МИМ1 на модуль МИМ2 РС МКС с одинаковыми начальными условиями для всех испытуемых. Введение ЭР в сеансе 2 выполнялось через 5 минут после начала выполнения перестыковки. Все испытуемые с задачей перестыковки справились.

Анализ временных затрат не позволяет выявить устойчивую взаимосвязь между работой до ухудшения эргономических характеристик и после. Время, затраченное на выполнение перестыковки, у всех испытуемых составило в пределах 22–26 минут. Исключение составил испытуемый № 3, который затратил 42 минуты в сеансе 1 и 36 минут – в сеансе 2. У испытуемых № 1, 4 и 5 время, затраченное на выполнение перестыковки при ухудшении эргономических свойств, увеличилось на 2, 1 и 4 минуты соответственно, а у испытуемых № 2 и 4 уменьшилось на 1 и 6 минут соответственно. При этом разница времени выполнения в условиях плохой эргономики РМ среди испытуемых составила не более 3-х минут, за исключением испытуемого № 3, который дольше всех выполнял перестыковку в обоих сеансах.

Анализ параметров касания по каждому испытуемому показывает их расхождение в сеансах 1 и 2:

- у испытуемых № 1, 2, 3 наблюдалось занижение продольной скорости касания при ухудшении эргономических характеристик на 0,033, 0,021 и 0,03 м/с соответственно, а у испытуемых № 4 и 5 – незначительное увеличение на 0,002 и 0,004 м/с соответственно;
- боковая скорость у всех испытуемых была без изменений, за исключением испытуемого № 5 (увеличение на 0,01 м/с);
- промах у испытуемых № 1, 2 и 4 в сеансах 1 и 2 не изменился, а у испытуемых № 3 и 5 увеличился на 0,01 и 0,02 м соответственно;
- взаимный угол при ухудшении эргономики РМ у испытуемых № 1, 2, 3 уменьшился, а у испытуемых № 4 и 5 увеличился. Такая же ситуация обстоит и с углом взаимного крена;
- угловая скорость по крену при ухудшении эргономических характеристик РМ у испытуемых № 2 и 5 увеличилась, у остальных уменьшилась;



– боковые составляющие угловой скорости при ухудшении эргономических характеристик у всех испытуемых уменьшились, за исключением испытуемого № 5.

Все параметры касания, за исключением продольной скорости, у испытуемых находились в пределах, по которым выставляется оценка «отлично». Поэтому их оценка при определении качества эргономического проектирования в данном случае нецелесообразна.

Продольная скорость касания является наиболее важным параметром и напрямую зависит от качества выполнения зависания и от правильности выдачи импульса на причаливания. При ухудшении эргономики испытуемым сложнее выполнять точное зависание, поэтому они набирают импульс на причаливание с большей осторожностью, получая при этом на момент касания меньшую скорость в продольном канале. Поэтому в случае эргономической оценки РМ МКТ ТПК «Союз» данному параметру следует уделить большее внимание.

Таким образом, введение ЭР не оказало значительного влияния на параметры операторской деятельности.

### Анализ влияния ЭР на ЭКА

Определение КПр позволяет судить об активации вегетативной нервной системы по тонической и фазической компонентам, выраженности эмоциональной напряженности в процессе проведения ЭИ, исследовать психофизиологические и стресс-адаптивные реакции испытуемых [4, 5].

Уровень тонической КПр используется как показатель ФС центральной нервной системы, выраженности психоэмоциональной напряженности.

Фазическая КПр возникает в ответ на значимые для человека стимулы и тесно связана с ориентировочной и оборонительной реакцией на внешние стимулы.

Результаты измерений КПр тонической и фазической (минимальные, средние и максимальные значения показателей всех испытуемых во время исследований) представлены в табл.

Значения показателей КПр

КПр	Этапы ЭИ, мксМ					
	Фон до		Управление ТПК		Фон после	
	сеанс 1	сеанс 2	сеанс 1	сеанс 2	сеанс 1	сеанс 2
<i>тоническая</i>						
минимальная	28,5	26,0	32,9	26,1	43,3	36,8
средняя	48,3	45,1	53,6	53,0	59,1	60,1
максимальная	102,4	102,4	102,4	102,4	91,5	102,5
<i>фазическая</i>						
минимальная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
средняя	0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8
максимальная	5,2	13,9	41,1	59,9	60,9	37,6

В связи с высокой чувствительностью датчика КГР к движению пальцев левой кисти ее показатели оказались неинформативными и не включались в анализ после проведенных экспериментов.

Анализ показателей КПр тонической показал, что среднее психоэмоциональное напряжение среди всех испытуемых в течение ЭИ росло как во время сеанса 1, так и во время сеанса 2, но степень роста во время сеанса 2 выше.

Так, в сеансе 1 прирост средней КПр тонической на этапе управления ТПК составил 5,3 мкСм, продолжая расти в фоне после выполнения РРУ до разницы с фоном до выполнения РРУ в 10,8 мкСм.

В сеансе 2 прирост средней КПр тонической на этапе выполнения РРУ составил 7,9 мкСм, в фоне после выполнения РРУ достиг разницы с фоном до 15 мкСм.

Прирост средней КПр тонической на этапах выполнения РРУ и фона после выполнения РРУ по отношению к этапу фона до управления представлен на диаграмме (рис. 3).

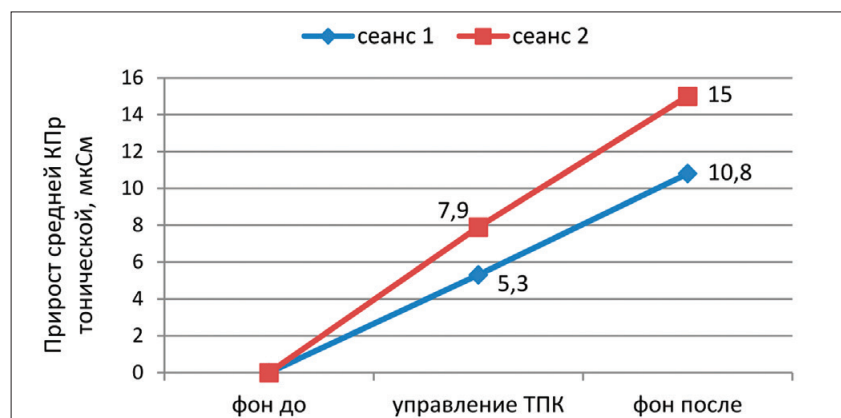


Рис. 3. Диаграмма прироста средней КПр тонической на этапах выполнения РРУ и фона после управления по отношению к этапу фона до управления

Наиболее интересным представляется анализ динамики фазической составляющей КПр, которая как раз отражает воздействие различных раздражителей и степень проявления стресс-адаптивных реакций.

Фазическая реакция отмечалась во всех ЭИ (сеанс 1 и 2), на всех этапах регистрации КПр (до, во время и после выполнения РРУ).

В норме слабая фазическая реакция могла регистрироваться на незначительные для испытуемого внешние стимулы; степень ее изменения зависела от интенсивности, продолжительности, неожиданности и значимости раздражителя для испытуемого.

Средняя выраженность стресс-адаптивных реакций среди всех испытуемых в течение ЭИ росла как во время сеанса 1, так и во время сеанса 2.



Степень роста на этапе выполнения РРУ во время сеанса 2 была выше, но в фоне после выполнения РРУ была одинакова в обоих видах ЭИ.

Так, в сеансе 1 прирост средней КПр фазической на этапе управления ТПК составил 0,2 мкСм, продолжая расти в фоне после управления до разницы с фоном до управления в 0,4 мкСм.

В сеансе 2 прирост средней КПр фазической на этапе управления ТПК составил 0,3 мкСм, в фоне после управления достиг разницы с фоном до управления в 0,4 мкСм.

Прирост средней КПр фазической на этапах выполнения РРУ и фона после управления по отношению к этапу фона до управления представлен на диаграмме (рис. 4).

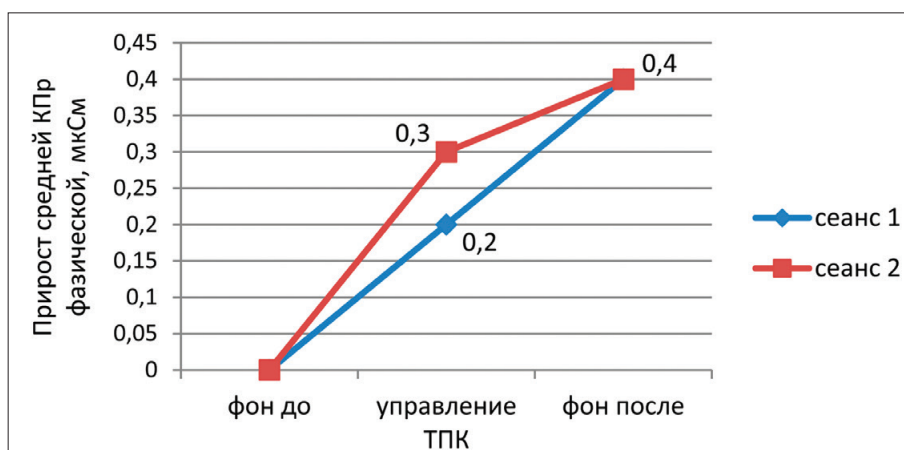


Рис. 4. Диаграмма прироста средней КПр фазической на этапах выполнения РРУ и фона после управления по отношению к этапу фона до управления

На этапе выполнения РРУ в сеансе 2 отмечался выраженный рост КПр фазической в моментах введения звукового ЭР и начала периодов «электронного писка», что соответствовало усилению стресс-адаптивной реакции в данные моменты ЭИ (рис. 5).

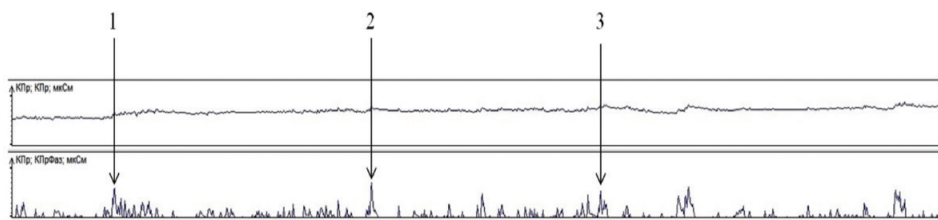


Рис. 5. Влияние ЭР на КПр фазическую испытуемого:

1 — момент введения звукового ЭР; 2, 3 — моменты начала периодов «электронного писка»

Несмотря на отсутствие статистической достоверности различий ( $p > 0,05$ ) при сравнении результатов регистрации КПр в проведенных ЭИ ввиду критически малого размера выборки (5 испытуемых), можно сделать следующие предварительные выводы о воздействии ЭР на испытуемых:

- отмечается более выраженный рост средней КПр тонической в сеансе 2, что свидетельствует о повышенном общем психоэмоциональном напряжении при воздействии эргономического ЭР;
- отмечается более выраженный рост средней КПр фазической на этапе управления ТПК в сеансе 2, что свидетельствует о явном воздействии эргономического раздражителя как активатора стресс-адаптивных реакций;
- отмечается пиковая реакция КПр фазической на этапе управления ТПК в сеансе 2 в моментах введения звукового ЭР и начала периодов «электронного писка», что соответствует усилению стресс-адаптивной реакции в данные моменты ЭИ.

### **Анализ влияния ЭР на ВСР**

В покое до и после ЭИ в сеансе 1 и 2 достоверных отличий в показателях ВСР выявлено не было.

По сравнению с фоном (покой до работы), во время работы в обоих сеансах достоверно возрастали ЧСС и ПАРС более значительно во время работы в сеансе 1. Во время работы в сеансе 1 достоверно снижалась относительная мощность высокочастотной составляющей спектра сердечного ритма (HF %), отражающая относительную парасимпатическую активность, и повышался индекс ПАРС+, отражающий вклад симпатической регуляции в общую активность регуляторных систем. Во время работы в сеансе 2 такие изменения также присутствовали, но были менее выражены. Выполнение сеанса 2 сопровождалось достоверно более высоким уровнем активации нейрорегуляторных механизмов регуляции (VLF %) по сравнению с сеансом 1.

В сеансе 2 во время работы по сравнению с фоном в покое наблюдались большие значения асимметрии и эксцесса распределения. Такие результаты свидетельствуют о значительно меньшем уровне стационарности процессов регуляции в сеансе 2.

После выполнения режимов не было выявлено достоверных отличий по показателям ВСР ни между сеансами 1 и 2, ни при сравнении «Фон-после». После «ухудшенного» эргономического режима наблюдалось некоторое снижение SDNN (суммарный эффект регуляции), ПАРС и показателя Энтропия, а также одновременное повышение АМо (симпатическая активация, мобилизация резервов) и  $rNN50$  (парасимпатическая активность, восстановительные процессы). При этом показатель TP (*англ.* total power, – общая мощность спектра), отражающий активность ритмических модуляций сердечного ритма, несколько увеличивался после работы в сеансе 2.

Изменения активности различных механизмов регуляции ритма сердца при работе в разных эргономических режимах можно увидеть при

рассмотрении динамики показателей ВСР. В обоих сеансах выявлен достоверный рост ЧСС во время работы. В сеансе 1 ЧСС значительно увеличивалась (на 10 уд./мин) уже на первом анализируемом участке (через 1–5 минут работы), а затем уменьшалась вплоть до 10-й минуты с последующим постепенным ростом до конца 18–22-й минуты работы. В сеансе 2 этот первоначальный прирост меньше (6 уд./мин), снижение ЧСС наступало позже (с 10-й мин.), а рост ЧСС также запаздывал.

Динамика показателя LF %, отражающего симпатическую активность ВНС, в разных сеансах существенно различная. Во время работы в сеансе 1 относительная активность симпатического звена регуляции сразу значительно усиливалась и оставалась на высоком уровне с незначительным снижением к 18–22-й минуте. В сеансе 2 после начального роста симпатическая активность резко снижалась.

Наблюдается различная динамика в первые 13 минут работы в разных режимах показателя VLF %, который отражает активность нейрогуморальных и центральных нервных механизмов регуляции сердечного ритма. Рост показателя VLF % в сеансе 2 опережал по времени возникновения и по амплитуде аналогичные изменения в обычном режиме.

Сопоставление динамики суммарной ВСР (SDNN) и ее TP в ходе выполнения операторской деятельности в разных сеансах указывает на более раннее их рассогласование уже на 4–8-й минуте во время работы в сеансе 2. В сеансе 1 это рассогласование также наблюдалось, но значительно позже, на 8–14-й минуте.

Показатель асимметрии во время операторской деятельности в сеансе 1 почти не изменялся по сравнению с фоновыми данными и возвращался к исходным значениям в периоде последствия. В периоде последствия при работе в сеансе 2 этот показатель также возвращался к исходным значениям, но во время выполнения операторской задачи в условиях воздействия ЭР он сильно возрастал, начиная с 4–8-й минуты работы, и оставался на высоком уровне вплоть до конца анализируемого нами участка работы. Этот момент по циклограмме совпадал с началом введения ЭР.

Аналогичную первоначальную динамику можно наблюдать и по показателю эксцесса. Он почти не изменялся во время сеанса 1 по сравнению с фоновыми данными, а во время сеанса 2 резко возрастал, начиная с 4–8-й минуты работы, что также совпадало с началом введения ЭР.

В результате анализа результатов вариабельности сердечного ритма испытуемых установлено, что воздействие ЭР вызывает следующие изменения:

- нестабильность и рассогласованность механизмов вегетативной регуляции во время выполнения операторской деятельности в сеансе 2;
- более высокую физиологическую «стоимость» работы и удержания устойчивого внимания в сеансе 2;
- более раннее рассогласование суммарной ВСР и суммарной мощности анализируемых спектральных компонент сердечного ритма в сеансе 2;

– возрастание показателей нелинейной динамики сердечного ритма асимметрии и эксцесса в сеансе 2.

### **Анализ влияния ЭР на показатели венозной крови**

Результаты исследований влияния ЭР показали, что их воздействие не вызывает существенных изменений содержания большинства зарегистрированных показателей венозной крови, все показатели за пределы физиологической нормы не выходили.

Однако выявлены достоверно значимые изменения трех биохимических показателей – глюкозы, общего кальция и неорганического фосфата.

Уровень глюкозы и общего кальция в крови повышались незначительно после сеанса 1 и значимо после сеанса 2 ( $P = 0,04$ ).

Неорганический фосфат незначительно снижался после исследования в сеансе 1 и значимо снижался после исследования в сеансе 2 ( $P = 0,04$ ).

Таким образом, значимое повышение уровня глюкозы и общего кальция и понижение уровня неорганического фосфата может свидетельствовать о некотором повышении общего уровня стресса в сеансе 2.

На данный момент сделать окончательные выводы о влиянии ЭР на общеклинические и биохимические показатели крови не представляется возможным. В первую очередь необходимо увеличить количество участников для получения статистически более значимой выборки, а также расширить перечень определяемых показателей.

### **Выводы**

Таким образом, анализ результатов ЭИ по определению степени влияния ЭР на операторскую деятельность и ФС испытуемых при естественно-интеллектуализированном человеко-информационном взаимодействии с интерфейсами и элементами интерьера космических тренажеров (КТ) позволил сделать следующие выводы:

1) эргономический дискомфорт при выполнении РРУ с введением ЭР не оказал существенного влияния:

- на качество и сроки выполнения экспериментальной операции;
- изменение самочувствия испытуемых;

2) гипотеза о наличии реакции физиологических систем организма испытуемого на эргономический дискомфорт интерфейсов в системе человек – машина в рамках поставленного эксперимента подтверждена;

3) в ЭИ выявлены следующие маркеры эргономического дискомфорта:

- изменения показателей глюкозы, общего кальция и неорганического фосфата при биохимическом исследовании крови;
- показателей, характеризующих ЭКА;
- параметров variability сердечного ритма;

4) результаты проведенных ЭИ свидетельствуют о возможности создания стенда эргономической отработки эргатических систем «космонавт – КТ – среда», включая технические средства подготовки космонавтов, предназначенного для проведения эргономической экспертизы новых технических решений при создании универсальных рабочих мест различного целевого назначения в интерьере космического комплекса российской орбитальной станции.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гипотеза о природе электродермальных реакций / В.В. Дементенко, В.Б. Дорохов, Л.Г. Коренева [и др.] // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 2. – С. 124–131.
- [2] Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. – 1996. – No 93(5). – P. 1043–1065.
- [3] Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин, П.Я. Довгалецкий [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–87.
- [4] Серова, Е.Н. Кожно-гальваническая реакция: теория и новые методические подходы / Е.Н. Серова, Ю.П. Иванов // Медицинские науки. – 2007. – № 5. – С. 52–56.
- [5] Прогнозирование индивидуальных особенностей поведения человека при монотонии по показателям электродермальной активности / А.С. Кремез, В.Е. Андреев, В.В. Вонч-Бруевич, В.В. Дементенко // Журнал радиоэлектроники: [электронный журнал]. – 2022. – № 8. – 15 с.

#### REFERENCES

- [1] Hypothesis on the Nature of Electrodermal Reactions / V.V. Dementienko, V.B. Dorokhov, L.G. Koreneva [et al.] // *Human Physiology*. – 2000. – Vol. 26, No 2. – P. 124–131.
- [2] Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. – 1996. – No 93(5). – P. 1043–1065.
- [3] Analysis of Heart Rate Variability Using Various Electrocardiographic Systems / R.M. Baevsky, G.G. Ivanov, L.V. Chireikin, P.Ya. Dovgalevsky [et al.] // *Bulletin of Arrhythmology*. – 2001. – No 24. – P. 65–87.
- [4] Serova, E.N. Galvanic Skin Response: Theory and New Methodological Approaches / E.N. Serova, Yu.P. Ivanov // *Medical Sciences*. – 2007. – No 5. – P. 52–56.
- [5] Forecasting of Individual Characteristics of Human Behavior for Monotony Based on Indicators of Electrodermal Activity / A.S. Kremez, V.E. Andreev, V.V. Vonch-Bruevich, V.V. Dementienko // *Journal of Radio Electronics: [electronic journal]*. – 2022. – No 8. – 15 p.