

---

---

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ ДЛЯ БИОЛОГИИ  
И МЕДИЦИНЫ**

---

---

УДК 543.612/621/684, 612.221/ 227/231/233/235

© А. Г. Кузьмин, Ю. А. Титов, Н. Б. Суворов, М. В. Куропатенко, 2020

**МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДИНАМИКИ СОСТАВА ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА  
В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОСТУРАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

В работе изучаются возможности применения газового масс-спектрометра в составе диагностического комплекса, позволяющего оценить эффективность динамических постуральных воздействий с использованием поворотного (механургического) стола. Анализ получаемых при этом данных о динамике компонентов выдыхаемого воздуха пациентов позволяет существенно дополнить их индивидуальную диагностическую карту.

*Кл. сл.:* масс-спектрометрия, анализ выдыхаемого воздуха, постуральные воздействия, механургический стол

**ВВЕДЕНИЕ**

Постуральные воздействия (ПВ) — это поочередная смена ортостатических и антиортостатических положений тела в пространстве, т.е. многократные, в том числе колебательные воздействия. При этом наблюдаются поочередные и противоположно направленные реакции организма, в частности: отрицательная и положительная инотропная реакции сердца, вазоконстрикторные и вазодилатационные сосудистые реакции, положительный и отрицательный хронотропные эффекты и ряд других динамических изменений [1]. Специфичность реакций организма на динамические постуральные воздействия связана с рядом особенностей последних. Во-первых, фиксация тела испытуемого на механургическом столе позволяет достигать таких положений при постуральных воздействиях, которые недостижимы самостоятельно. Во-вторых, интенсивность постуральных нагрузок никак не ограничивается способностью пациента к выполнению тех или иных физических упражнений и определяется целью применения ПВ и исходным состоянием испытуемого (пациента). Поскольку пациент остается пассивным при постуральных воздействиях, то усиление кровотока происходит без его перераспределения в пользу действующих мышц и без увеличения мышечного напряжения.

Для проведения ПВ в исследовании применялся механургический стол СА-03 — автоматизированный массажный стол со специальными средствами дистальной фиксации верхних и нижних конечностей, обеспечивающий заданные режимы динамической ориентации-перемещения человека в трех измерениях с различной скоростью относительно трех

ортогональных осей [2]. Интенсивность постуральных нагрузок строго дозируется задаваемыми оператором параметрами: углами, скоростями, длительностями и порядком чередования смен положения тела в пространстве [3]. Стол имеет следующие режимы перемещения ложа: движение по вертикальной оси вверх – вниз, движение качания относительно горизонтальной оси, движение вращения ложа относительно собственной оси из нормального положения с возможностью управления от компьютера. Последовательность применения основных и сочетанных режимов движений ложа зависит от состояния испытуемого или пациента, от конкретной цели и переносимости процедуры. Такие широкие функциональные возможности СА-03 позволяют проводить физиологические исследования, проведение которых ранее было либо затруднено, либо невозможно [4].

В процессе динамических квазипериодических постуральных нагрузок наблюдаются изменения в первую очередь в сердечно-сосудистой и дыхательной системах. С целью неинвазивного контроля параметров энергетического обмена наиболее рациональным является применение газового масс-спектрометра для определения в реальном времени концентраций кислорода и диоксида углерода в выдыхаемом испытуемым воздухе.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА**

В работе был использован малогабаритный квадрупольный масс-спектрометр МС7-100, который позволяет одновременно и в режиме реального времени фиксировать до 10 компонентов газовых смесей с высоким быстродействием (до 0.1 с)

[5]. Масс-спектрометр имеет прогреваемый до 70 °С прямой капиллярный ввод пробы при атмосферном давлении, источник ионов с электронным ударом, предельный вакуум в приборе — 10<sup>-4</sup> Па. Диапазон детектируемых масс 1–200 а.е.м., разрешающая способность 0.5 а.е.м. Аналитические возможности масс-спектрометра позволяют производить анализ состава газовых смесей, а также летучих метаболитов в выдыхаемом воздухе пациентов в широком диапазоне концентраций от 10<sup>-6</sup> до 100 % [6].

Перед проведением эксперимента производилась калибровка масс-спектрометра с помощью калибровочной смеси газов: азота — 80 %, кислорода — 15 % и диоксида углерода — 5 %, содержащейся в отдельном газовом баллоне. Соотношение 15 % O<sub>2</sub> и 5 % CO<sub>2</sub> приблизительно соответствует соотношению этих газов в воздухе, выдыхаемом среднестатистическим человеком.

Коммуникация, через которую производился отбор пробы выдыхаемого воздуха в режиме реального времени, представляла собой стерилизованную лицевую маску со специальным отверстием для герметичного присоединения капилляра масс-спектрометра. Маска одевалась на лицо пациента, в процессе дыхания производился непрерывный отбор воздуха в масс-спектрометр через это специальное отверстие. Поток воздуха через капилляр масс-спектрометра не превышал 5 мкл/с, поэтому пробоотбор не влиял на процесс дыхания. Поскольку в выдыхаемом воздухе очень высокое содержание влаги, то для предотвращения конденсации воды капилляр прогревался до 40 °С.

### ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЙ

Протокол испытаний состоял из нескольких этапов, на каждом из которых производились измерения различных параметров (рис. 1).

На первом этапе производились следующие действия.

- Калибровка масс-спектрометра по эталонной газовой смеси.
- Синхронизация оборудования.
- Наложение ЭКГ-электродов, манжеты тонометра и лицевой маски.
- Измерение артериального давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и параметров выдыхаемого воздуха (ВВ) в вертикальном положении испытуемого.

На втором этапе, после того как испытуемый размещался на ложе механургического поворотного стола, производились следующие действия.

- С помощью специальных средств дистальной фиксации закреплялись нижние конечности испытуемого, при этом руки свободно располагались вдоль туловища.
- Наложение электродов электроэнцефалографа (ЭЭГ).
- Наложение конечностных электродов реографа (РГ), грудных электродов и пульсового датчика на палец спирокардиоритмографа САКР.
- Фиксация стерильной дыхательной маски.
- В течение 5 мин исходная фоновая запись (до начала постурального воздействия).
- 10-минутная нагрузочная проба с оказанием постуральных воздействий на испытуемого.
- Заключительная фоновая запись в течение 5 мин (после постурального воздействия).
- Испытуемый покидает ложе.

Для контроля состояния испытуемых при постуральных воздействиях в состав диагностического комплекса в настоящее время включаются различные биотехнические устройства: электрокардиограф ЭКГ, электроэнцефалограф ЭЭГ, реограф РГ, спироартериокардиоритмограф САКР, прецизионные термометры ДТО [1] (датчики температурных осцилляций), установленные на разные точки тела.

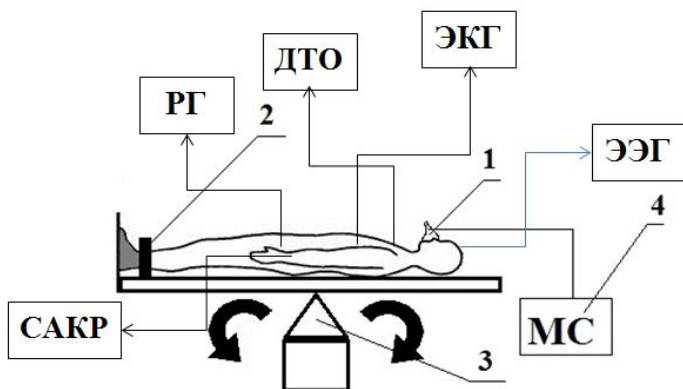


Рис. 1. Схема испытания.

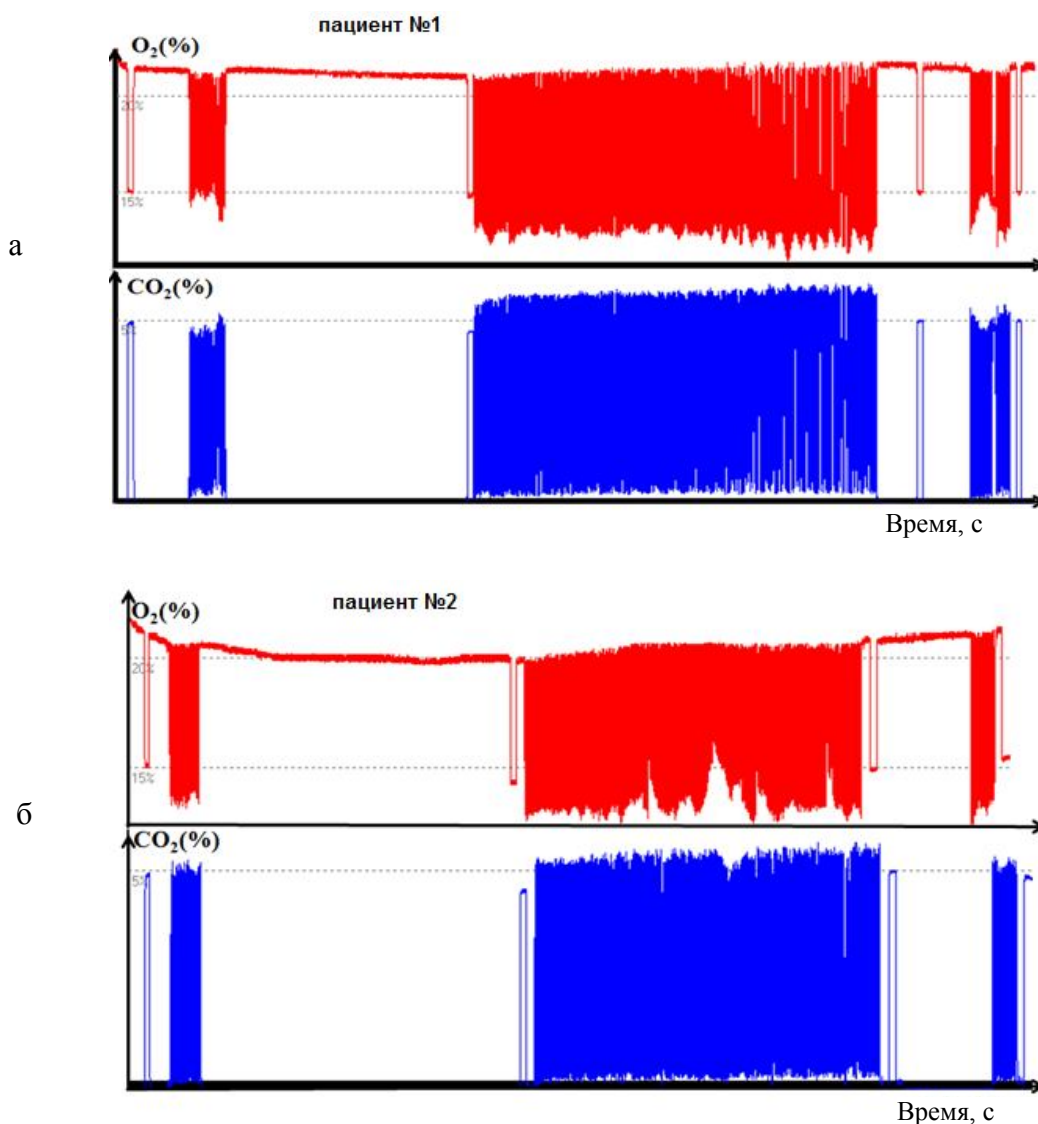
1 — наложение маски для отбора и передачи по капилляру в масс-спектрометр проб выдыхаемого воздуха и подключение всех остальных регистрирующих приборов; 2 — фиксация ног испытуемого; 3 — выполнение динамического постурального воздействия; 4 — масс-спектрометрия выдыхаемого воздуха в режиме реального времени

Описанная процедура измерений была произведена для 35 испытуемых в возрасте от 20 до 30 лет: 18 девушек и 17 юношей, не имеющих хронических соматических и инфекционных заболеваний.

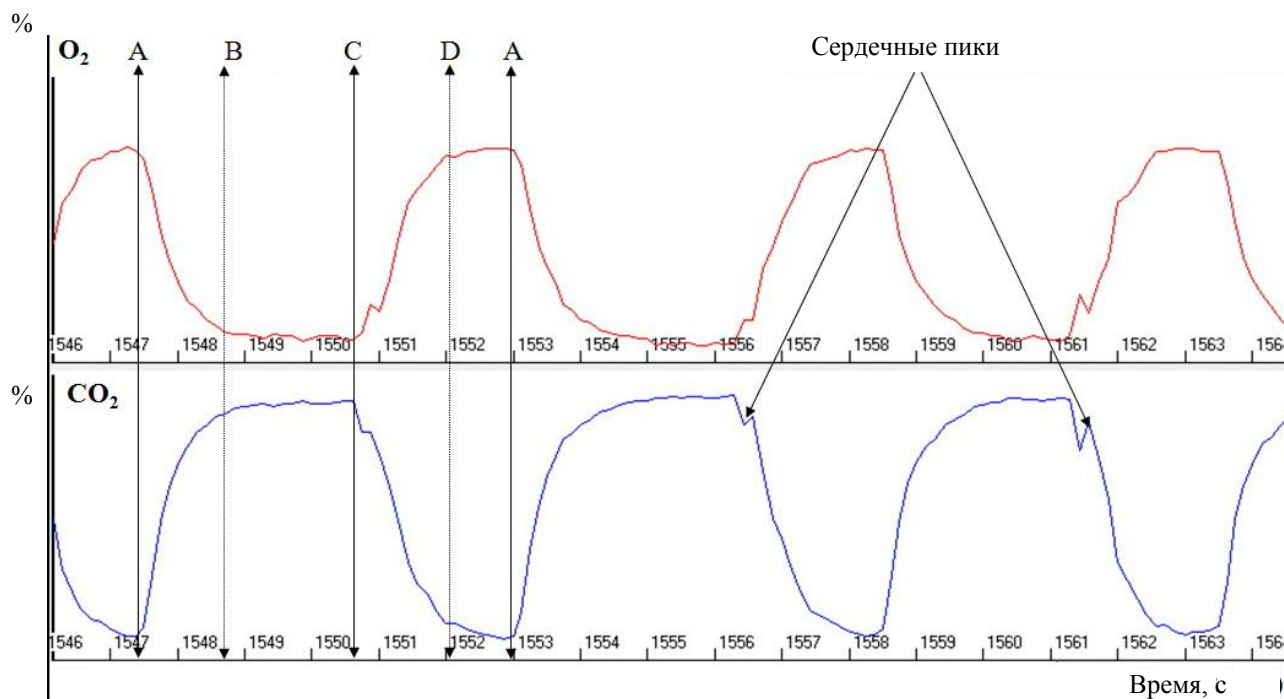
### РЕЗУЛЬТАТЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА ПАЦИЕНТОВ

Образцы полученных характерных динамических масс-спектрограмм для двух разных пациен-

тов представлены на рис. 2. Анализ вида полученных спектрограмм свидетельствует о том, что ответная реакция пациентов индивидуальна и может существенно различаться, несмотря на то, что поструральные воздействия выполнялись по единому протоколу. Информация о концентрации кислорода и диоксида углерода в выдохе пациента, а также анализ формы огибающей измеренных динамических масс-спектрограмм имеет важное значение для диагностики состояния пациентов в дополнение к данным основных датчиков в составе комплекса.



**Рис. 2.** Динамические масс-спектрограммы двух разных пациентов (а, б) в течение испытания

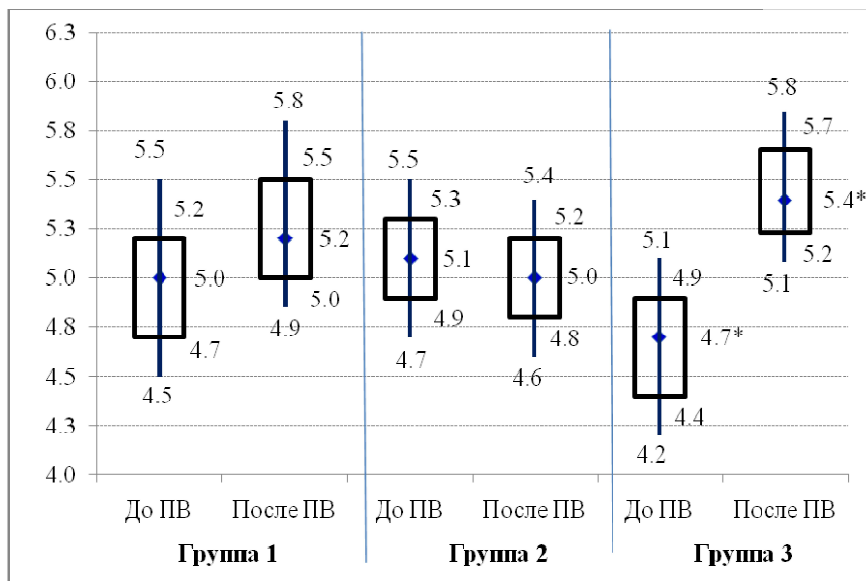


**Рис. 3.** Часть динамической масс-спектрограммы. Отрезок A/B — выдох; B/C — альвеолярное плато; C/D — вдох; D/A — инспираторное плато

На рис. 3 представлена часть динамической масс-спектрограммы в уменьшенном масштабе времени. Как видно, на дыхательных спектрограммах проявляются также сердечные сокращения, которые вносят особенности в форму огибающих.

Проверка показала, что полученные данные всех испытуемых не имели нормального распре-

деления, соответственно результаты в группах были представлены в виде медианы и 1-го, и 3-го квартилей, а для их анализа применялись непараметрические статистические критерии: для сравнения показателей в трех группах использовали Н-критерий Краскелла – Уоллиса. В случае неверности нулевой гипотезы последующее попарное



**Рис. 4.** Максимальная концентрация CO<sub>2</sub> в альвеолярном выдохе до и после постральных воздействий (ПВ) в 3 сравниваемых группах. Сверху вниз показаны: максимум, квартиль 1, медиана, квартиль 3, минимум; \* — различия статистически значимы ( $p < 0.05$ )

сравнение групп проводилось с помощью U-критерия Манна – Уитни, а показатели до и после сравнивались с помощью W-критерия Вилкоксона. Уровень статистической значимости рассчитывался с учетом поправки на множественную проверку гипотез, исходя из стандартного уровня значимости 5 %. Сравнение концентрации CO<sub>2</sub> в альвеолярной части выдоха в вертикальном положении за 5 мин до и через 5 мин после постурального воздействия продемонстрировало, что наблюдаются три характерных типа реакции: 1 гр. — умеренное усиление газообмена CO<sub>2</sub>; 2 гр. — мало-значимое снижение обмена; 3 гр. — статистически значимое увеличение концентрации CO<sub>2</sub> (рис. 4).

Учет исходных масс-спектрометрических показателей выдыхаемого воздуха позволяет отнести пациента к определенной группе и в дальнейшем может быть использован для комплексной диагностики состояния пациента.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информация о концентрации кислорода и углекислоты в выдохе пациента, а также анализ формы огибающей измеренных динамических масс-спектрограмм имеет большое значение для диагностики состояния испытуемых в дополнение к данным остальных датчиков в составе диагностического комплекса. Полученные динамические масс-спектрограммы и соответствующие им численные значения концентрации кислорода и диоксида углерода в выдыхаемом воздухе являются важной дополнительной информацией для комплексной обработки данных от всех биотехнических устройств комплекса, что позволит создать реально работающий алгоритм комплексной диагностики состояния пациента в ходе постуральных нагрузок.

*Работа выполнена в рамках государственного задания 075-00780-19-02 (номер гос. регистрации АААА-А19-119053190069-2) и задания № АААА-А19-119022290064-2, в соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве ФГБНУ ИАП РАН и ФГБНУ «ИЭМ» № 557-2018-Н/001 от 06.03.2018.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куропатенко М.В., Сергеев Т.В., Толкачев П.И., Суворов Н.Б. Оценка эффективности динамических постуральных воздействий, синхронизированных с дыханием // I Всероссийская конференция с международным

участием "Физика и экология электромагнитных излучений". Научные труды конференции. 2017. С. 36.

2. Kuliabin K.G., Belov A.V., Sergeev T.V., Suvorov N.B. Device for recording the physiological parameters of the patient and its position in three-dimensional space under complex dynamic postural loads // 2018 Ural Symposium on Biomed. Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), IEEE Conference of Russian. 2018. P. 116–119.
3. Суворов Н.Б., Сергеев Т.В., Белов А.В. Аппаратно-программный комплекс для коррекции состояния человека и адаптивного управления постуральной нагрузкой // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2018. Книга 2. Владимир – Суздаль. Россия. С. 208–215.
4. Толкачев П.И., Сергеев Т.В., Суворов Н.Б. Компьютеризированная система пассивно-динамической ориентации организма человека // Клиническая информатика и телемедицина. 2014. Т. 10, № 11. С. 182–183.
5. Квадрупольный масс-спектрометр. (Кузьмин А.Г.) Патент РФ № 94763, 15.12.09.
6. Кузьмин А.Г., Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Титов Ю.А., Балабанов А.С. Метод масс-спектрометрической экспресс-диагностики по составу выдыхаемого воздуха // Медицинский академический журнал. 2016, Т. 16, № 4. С. 106–112.

*Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург (Кузьмин А.Г., Титов Ю.А.)*

*Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург (Суворов Н.Б., Куропатенко М.В.)*

Контакты: Кузьмин Алексей Георгиевич, agqz55@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 09.10.2020

## MASS-SPECTROMETRIC STUDIES OF THE DYNAMICS OF EXHALED AIR COMPOSITION DURING DYNAMIC POSTURAL EFFECTS

A. G. Kuzmin<sup>1</sup>, Yu. A. Titov<sup>1</sup>, N. B. Suvorov<sup>2</sup>, M. V. Kuropatenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of experimental medicine", Saint-Petersburg, Russia*

The paper studies the possibility of using a quadrupole gas mass spectrometer as part of a diagnostic complex based on a rotary (mechanorgical) table to assess the effectiveness of the dynamic postural effects on patients. Analysis of the obtained mass spectrograms indicates that the response of patients is individual and can vary significantly. Taking into account the mass spectrometric parameters of exhaled air allows the patient to be assigned to a specific group. Information on the concentration of oxygen and carbon dioxide in the patient's exhalation, as well as the analysis of the envelope shape of the measured dynamic mass spectrograms can be used for comprehensive diagnostics of the patient's condition in addition to the data of the main sensors in the complex.

*Keywords:* mass spectrometry, exhaled air analysis, postural influences, mechanorgic table

### INTRODUCTION

Postural influences (PI) is a change of orthostatic and antiorthostatic body positions in space by turn, i.e. multiple, including vibrational influences. In this case, alternating and oppositely directed reactions of the body are observed, in particular: negative and positive inotropic reactions of the heart, vasoconstrictor and vasodilatory vascular reactions, positive and negative chronotropic effects and a number of other dynamic changes [1]. The specificity of the body's reactions to dynamic postural influences is associated with a number of features of the latter. First, the fixation of the subject's body on the mechanorgical table allows to achieve such positions during postural influences that are unattainable on his own. Secondly, the intensity of postural loads is in no way limited by the patient's ability to perform certain physical exercises, and is determined by the purpose of PI usage and the initial state of the subject (patient). Since the patient remains passive under postural influences, the increase in blood flow occurs without its redistribution in favor of the acting muscles and without an increase in muscle tension.

To conduct PI in the study, a mechanorgical table CA-03 was used — an automated massage table with special means of distal fixation of the upper and lower extremities, providing the specified modes of dynamic orientation-movement of a person in three dimensions at different speeds relative to three orthogonal axes [2]. The intensity of postural loads is strictly dosed by the parameters set by an operator: angles, speeds, du-

rations and the order of alternation of body position changes in space [3]. The table has the following modes of movement of the bed: movement along the vertical axis up and down, swing movement about the horizontal axis, movement of rotation of the bed about its own axis from the normal position with the ability to a computer control. The sequence of application of the main and combined modes of movement of the bed depends on the condition of the subject or patient, on the specific purpose and tolerance of the procedure. Such broad functionality of the CA-03 makes it possible to carry out physiological studies, which were previously either difficult or impossible to carry out [4].

In the process of dynamic quasiperiodic postural loads, changes are observed primarily in the cardiovascular and respiratory systems. For the purpose of non-invasive control of energy metabolism parameters, the most rational is the use of a gas mass spectrometer to determine in real time the concentrations of oxygen and carbon dioxide in the air exhaled by the subject.

### EXPERIMENTAL DEVICE

In this work, we used a small-sized quadrupole mass spectrometer MC7-100, which allows simultaneous and real-time recording of up to 10 components of gas mixtures with a high speed (up to 0.1 s) [5]. The mass spectrometer has a direct capillary inlet of a sample heated to 70 °C at atmospheric pressure, an ion source with electron impact, and the ultimate va-

cuum in the device is  $10^{-4}$  Pa. The range of detected masses is 1–200 a.m.u., the resolution is 0.5 a.m.u. The analytical capabilities of the mass spectrometer make it possible to analyze the composition of gas mixtures and volatile metabolites in the exhaled air of patients in the wide concentration range from  $10^{-6}$  to 100 % [6].

Before the experiment, the mass spectrometer was calibrated with the use of a calibration mixture of gases: nitrogen — 80 %, oxygen — 15 %, and carbon dioxide — 5 %, contained in a separate gas cylinder. The ratio of 15 % O<sub>2</sub> and 5 % CO<sub>2</sub> approximately corresponds to the ratio of these gases in the air exhaled by an average person.

The communication through which a sample of exhaled air was taken in real time was a sterilized face mask with a special opening for hermetically sealed connection of the mass spectrometer capillary. The mask was put on the patient's face; during breathing, air was continuously sampled into the mass spectrometer through this special hole. The air flow through the capillary of the mass spectrometer did not exceed 5  $\mu$ L/s; therefore, sampling did not affect the respiration process. Since the exhaled air has a very high moisture content, the capillary was warmed up to 40 °C to prevent water condensation.

#### MEASUREMENT PROCEDURE

The test protocol consisted of several stages, at each of which various parameters were measured (Fig. 1).

At the first stage, the following actions were performed.

- Calibration of the mass spectrometer against the reference gas mixture.
- Equipment synchronization.

- Applying electrocardiographic electrodes, tonometer cuff and face mask.
- Measurement of blood pressure, heart rate (HR) and parameters of exhaled air (EA) in the vertical position of the subject.

At the second stage, after the subject was placed on the bed of the mechanical turntable, the following actions were performed.

- By special means of distal fixation, the lower extremities of the subject were fixed, while the arms were freely located along the body.
- Applying electrodes of the electroencephalograph (ЭЭГ).
- Applying the limb electrodes of the rheograph (РГ), chest electrodes and the pulse sensor on the finger of the spirocardiorhythmograph (САКР).
- Fixation of the sterile breathing mask.
- Within 5 minutes, the initial background recording (before the start of postural exposure).
- 10-minute exercise test with postural effects on the subject.
- Final background recording during 5 min (after postural exposure).
- The subject leaves the bed.

To monitor the condition of the subjects under postural exposure, the diagnostic complex currently includes various biotechnical devices: an electrocardiograph (ЭКГ), an electroencephalograph (ЭЭГ), a rheograph (РГ), an spiroarteriocardiogram (САКР), precision thermometers [1] (temperature oscillation sensors (ДТО) placed on the different body points.

The described measurement procedure was carried out for 35 subjects aged 20 to 30 years old: 18 girls and 17 boys who do not have chronic somatic and infectious diseases.

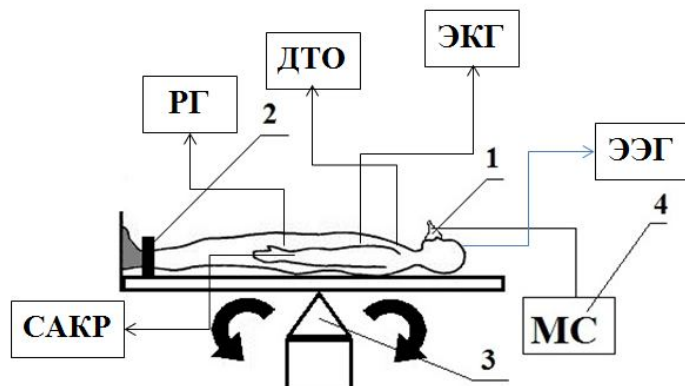


Fig. 1. Test scheme.

1 — application of a mask for filtering and capillary transfer of samples of exhaled air to the mass spectrometer, connection of all other recording devices; 2 — fixation of the subject's legs; 3 — performing a dynamic postural action; 4 — mass spectrometry of exhaled air in real time

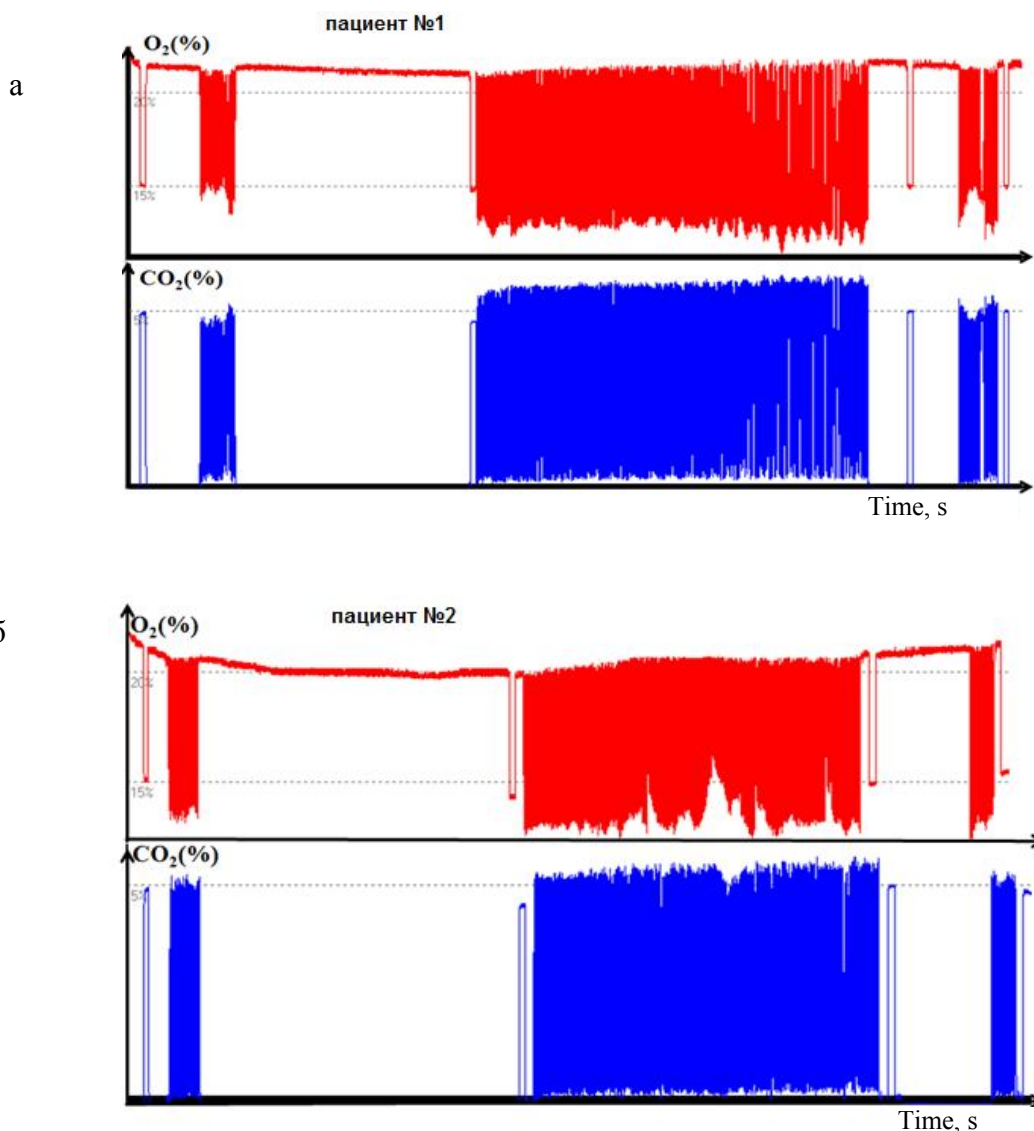


Fig. 2. Dynamic mass spectrograms of two patients (а, б) during the test

**RESULTS OF MASS SPECTROMETRIC ANALYSIS OF EXHALED AIR OF PATIENTS**

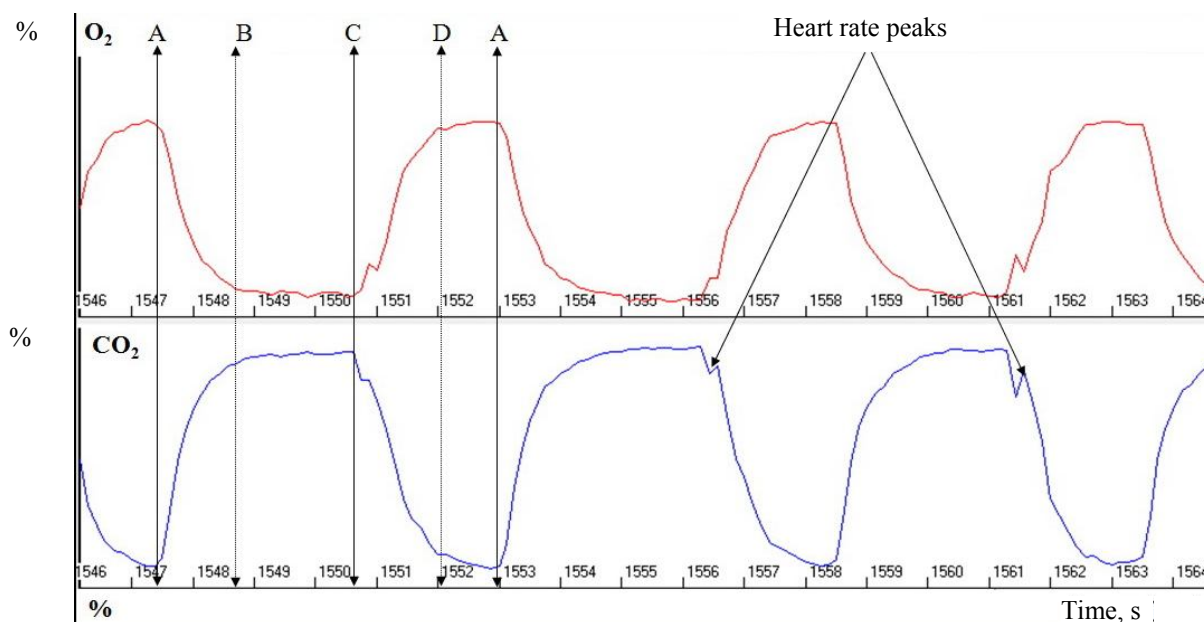
Samples of the obtained characteristic dynamic mass spectrograms for two different patients are presented in Fig. 2. Analysis of the obtained spectrograms indicates that the response of patients is individual and can vary significantly, despite the fact that the postural effects were performed according to a single protocol. Information on the concentration of oxygen and carbon dioxide in the patient's exhalation, as well as the analysis of the shape of the envelope of the measured dynamic mass spectrograms, is important for diagnosing the condition of patients in addition to the data of the main sensors of the complex.

Fig. 3 shows a portion of the dynamic mass spectrogram in a reduced time scale. As you can see, the

respiratory spectrograms also show heartbeats, which bring features in the shape of the envelopes.

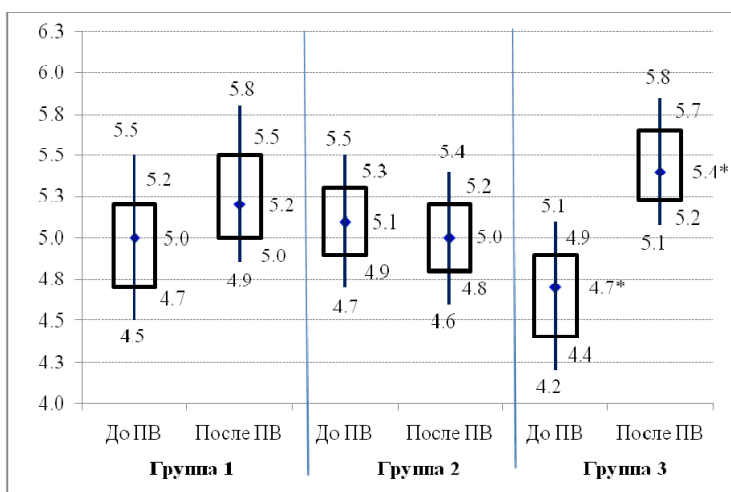
The check showed that the obtained data of all subjects did not have a normal allocation, respectively, the results in the groups were presented in the form of the median of both the 1st and 3rd quartiles, and non-parametric statistical criteria were used for their analysis: to compare the indicators in the three groups, the Kruskal—Wallis H-test was used. If the null hypothesis is incorrect, the subsequent pairwise comparison of groups was carried out using the Mann – Whitney U-test, and the indicators before and after were compared using the Wilcoxon W-test. The level of statistical significance was calculated being adjusted for multiple hypothesis testing, based on the standard sig





**Fig. 3.** Part of the dynamic mass spectrogram.

Segment A/B — exhale; B/C — alveolar plateau; C/D — inhale; D/A — inspiratory plateau



**Fig. 4.** Maximum concentration of CO<sub>2</sub> in alveolar expiration before and after postural effects (PI) in 3 compared groups. Shown from top to bottom: maximum, quartile 1, median, quartile 3, minimum; \* — differences are statistically significant ( $p < 0.05$ )

nificance level of 5 %. Comparison of CO<sub>2</sub> concentration in the alveolar part of expiration in an upright position 5 minutes before and 5 minutes after postural exposure showed that there are three characteristic types of reaction: 1 gr. — moderate increase in CO<sub>2</sub> gas exchange; 2 gr. — insignificant decrease in exchange; 3 gr. — statistically significant increase in CO<sub>2</sub> concentration (Fig. 4).

Taking into account the initial mass spectrometric parameters of exhaled air makes it possible to assign a patient to a certain group and in the future can be used

for a comprehensive diagnosis of the patient's condition.

## CONCLUSION

Information on the concentration of oxygen and carbon dioxide in the patient's exhalation, as well as the analysis of the envelope shape of the measured dynamic mass spectrograms is of great importance for diagnosing the condition of the subjects in addition to the data of other sensors in the diagnostic complex.

The obtained dynamic mass spectrograms and the corresponding numerical values of the concentration of oxygen and carbon dioxide in the exhaled air are important additional information for the integrated processing of data from all biotechnical devices of the complex, which will make it possible to create a really working algorithm for the comprehensive diagnosis of the patient's condition during postural loads.

*The work was carried out within the framework of state assignment 075-00780-19-02 (state registration number AAAA-A19-119053190069-2) and assignment number AAAA-A19-119022290064-2, in accordance with the agreement on scientific and technical cooperation between Federal State Budgetary Scientific Establishments Institute for Analytical Instrumentation of RAS and Institute of experimental medicine, No. 557-2018-N / 001 dated 06.03.2018.*

### REFERENCES

1. Kuropatenko M.V., Sergeev T.V., Tolkachev P.I., Suvorov N.B. [Evaluation of effectiveness of dynamic postural effects synchronized with respiration]. *I Vserossiyskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem "Fizika i ekologiya elektromagnitnyh izluchenij". Nauchnye trudy konferencii* [I All-Russian Conference with International Participation "Physics and Ecology of Electromagnetic Radiation." Scientific proceedings of the conference], 2017, pp. 36. (In Russ.).
2. Kuliabin K.G., Belov A.V., Sergeev T.V., Suvorov N.B. Device for recording the physiological parameters of the patient and its position in three-dimensional space under complex dynamic postural loads. *2018 Ural Symposium on Biomed. Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), IEEE Conference of Russian, 2018*, pp. 116–119.
3. Suvorov N.B., Sergeev T.V., Belov A.V. [Hard- and software complex for correction of human state and for adaptive control of postural load]. *Fizika i radioelektronika v medicine i ekologii – FREME'2018. Kniga 2* [XII international scientific conference "Physics and radioelectronics in medicine and ecology" with Scientific Youth school named after I.N. Spiridonov PhREME'2018. Book 2], 2018, pp. 208–215. URL: [http://freme.vlsu.ru/trudy\\_pdf/freme\\_2018\\_book\\_2.pdf](http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2018_book_2.pdf) (In Russ.).
4. Tolkachev P.I., Sergeev T.V., Suvorov N.B. [Computerized system of passive-dynamic orientation of the human body]. *Klinicheskaya informatika i telemedicina* [Journal Clinical Informatics and Telemedicine], 2014, vol. 10, no. 11, pp. 182–183. (In Russ.).
5. Kuzmin A.G. Kvadropolnyj mass-spektrometr. Patent RF no. 94763. [Quadrupole mass spectrometer]. Prioritet 15.12.09. (In Russ.).
6. Kuzmin A.G., Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Titov Yu.A., Balabanov A.S. [Mass spectrum method of metrical express diagnostics by exhaled air composition]. *Medicinskij akademicheskij zhurnal* [Medical Academic Journal], 2016, vol. 16, no. 4, pp. 106–112. URL: [https://iemsppb.ru/wp-content/uploads/2016/12/MAZH\\_No\\_4-2016\\_full.pdf](https://iemsppb.ru/wp-content/uploads/2016/12/MAZH_No_4-2016_full.pdf) (In Russ.).

Contacts: *Kuzmin Aleksey Georgievich*,  
agqz55@rambler.ru

Article received by the editorial office on 09.10.2020