

А.А. Благинин, И.И. Жильцова, Н.В. Альжев, Т.А. Лапшина

## Динамика показателей компьютерной стабиллографии при статокинетической нагрузке

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

**Резюме.** Экспериментально определялась информационная значимость и целесообразность применения показателей компьютерной стабиллографии для оценки функциональных и физических возможностей лётного состава при статокинетической нагрузке. Проанализирован спектр стабиллограммы и выявлены статистически значимые корреляционные связи его показателей с данными variability сердечного ритма, характеризующими активность вегетативной нервной системы после статокинетической нагрузки. Выявлено, что статистически значимые изменения показателей спектра стабиллограммы были в зоне низкой частоты как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости в группе с ухудшением значения интегрального показателя качества функции равновесия. Установлено, что ухудшение постуральной устойчивости сопровождается ростом амплитуды колебаний в диапазоне частот 0,2–2 Гц, а улучшение – снижением аналогичных показателей. В группе с ухудшением постуральной устойчивости после нагрузки отмечается повышение уровня функционирования симпатического отдела вегетативной нервной системы, что подтверждается прямыми корреляционными связями с показателями variability ритма сердца. У испытуемых в группе с улучшением постуральной функции (по показателю качества функции равновесия) наблюдалось снижение активности симпатического отдела вегетативной нервной системы. Представляется возможным применение полученных данных для выявления критериев оценки переносимости статокинетических нагрузок. Это позволит в дальнейшем повысить эффективность работы авиационного врача и усовершенствовать программу обследования лиц, профессиональная деятельность которых связана с влиянием экстремальных факторов среды, приводящих к неблагоприятным изменениям функционального состояния организма.

**Ключевые слова:** статокинетическая нагрузка, статокинетическая устойчивость, спектр стабиллограммы, отолитовая проба, функциональное состояние, variability ритма сердца, компьютерная стабиллография, статокинезиограмма, вариационная пульсометрия, вестибулярный аппарат.

**Введение.** Создание летательных аппаратов пятого поколения и усложнение решаемых задач в условиях высокоманевренного полёта предъявляет возрастающие требования к физическим и психофизиологическим качествам организма авиационного специалиста. В этих условиях всё большее значение приобретают обоснование требований к здоровью лётного состава и других членов экипажа и прогнозирование психофизиологической надёжности мультисенсорных систем поддержки функционального состояния (ФС) организма [7]. В связи с этим возникает необходимость постоянного поиска и применения новых методик и способов оценки функционального состояния организма авиационных специалистов. Как неспецифический индикатор функционального состояния организма в настоящее время находит применение стабиллометрия [9]. Чувствительность стабиллометрической методики и качество получаемой информации позволяют использовать эту методику для определения текущего функционального состояния при статокинетической нагрузке, представляющей все виды воздействия на систему анализаторов, воспринимающих пространство и осуществляющих функцию равновесия тела [1].

Исследования с использованием стабиллометрии проводятся с преимущественной оценкой таких по-

казателей, как площадь статокинезиограммы (S), средний радиус (R) отклонения центра давления (ЦД), средняя скорость (V) перемещения ЦД, качество функции равновесия (КФР). Данные показатели доказали высокую информативность и достоверность в оценке статокинетической устойчивости, отражающей способность системы анализаторов сохранять стабильную деятельность и обеспечивать высокий уровень профессиональной работоспособности [4].

В настоящее время одной из наименее изученных областей метода стабиллометрии остаётся анализ спектра стабиллограммы, представляющей сумму колебаний различных частот и амплитуд при воздействии внешних факторов.

**Цель исследования.** Выявить информативность показателей спектра стабиллограммы для оценки изменений ФС организма при статокинетических нагрузках.

**Материалы и методы.** Проведено комплексное исследование 30 мужчин в возрасте от 19 до 22 лет. Статокинетические воздействия моделировались путём выполнения вестибулярной пробы – отолитовая реакция-10 (ОР-10) [1]. Методика выполнения ОР-10 заключается во вращении испытуемого, расположенного в кресле с закрытыми глазами и с наклоном на

90° вперёд. Осуществлялось 10 вращений в течение 10 с со скоростью 180°/с в одну сторону, затем после минутной паузы, во время которой испытуемый располагается вертикально с открытыми глазами, вращение осуществлялось в противоположную сторону в том же объёме [6].

ФС организма до и после ОР-10 оценивалось по данным артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), варибельности сердечного ритма (ВСР), компьютерной стабิโลграфии. ВСР оценивалась с помощью спектрального анализа и вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому с помощью аппаратно-программного комплекса «ВНС-Спектр» фирмы «Нейрософт» (Иваново) [2, 3].

Компьютерная стабิโลграфия проводилась с использованием компьютерного стабילוанализатора «Стабилан-01-2» фирмы «ОКБ Ритм» (Таганрог). Анализировались амплитуды колебаний диапазона частот спектра стабิโลграммы во фронтальных и сагиттальных плоскостях, S, R, V и КФР.

Полученные количественные данные обрабатывали с использованием методов статистики [8], уровень значимости различий средних величин оценивали на основании рангового критерия Вилкоксона для уровня достоверности 95% ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что после воздействия вестибулярной нагрузки у 18 (60%) испытуемых наблюдалось статистически значимое ( $p < 0,01$ ) снижение КФР на 4% при открытых глазах (ОГ) и на 13% при закрытых глазах (ЗГ), а у 12 (40%) человек увеличение данного показателя на 6% при ЗГ. Таким образом, для последующего анализа были выделены две группы: 1-я группа – с ухудшением функции равновесия и 2-я группа – с ее улучшением.

В 1-й группе ухудшение постуральной устойчивости также подтверждалось статистически значимым ( $p < 0,05$ ) увеличением S на 81% при ЗГ, V на 17% при ОГ и на 31% при ЗГ (табл. 1).

Во 2-й группе улучшение постуральной устойчивости подтверждалось достоверным ( $p < 0,05$ ) уменьшением показателей S на 41%, R на 16%, V на 22% только при ЗГ (табл. 2).

Установлено, что статистически значимые изменения амплитуды колебаний частот как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости после вестибулярной нагрузки при ЗГ происходили в зоне низкой частоты (0,2–2 Гц), которая характеризует колебания центра давления испытуемого, связанные с регуляцией позы [8]. При этом если в 1-й группе наблюдалось увеличение амплитуды колебаний, то во 2-й группе обратные

Таблица 1

Показатели статокинезиограммы у испытуемых до и после ОР-10 в 1-й группе, n=18

Показатель		Описательная статистика Me [Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> ]		p
		до	после	
S, мм <sup>2</sup>	ОГ	63,1 [36,38; 90,7]	86,2 [47,78; 120,08]	0,09
	ЗГ	70,25 [42,05; 128,45]	127,55 [60,4; 239,2]	0,02*
R, мм	ОГ	2,91 [2,35; 3,59]	3,23 [2,6; 3,73]	0,09
	ЗГ	3,62 [2,61; 4,6]	3,98 [2,9; 5,78]	0,11
V, мм/с	ОГ	6,5 [5,05; 8,51]	7,58 [5,93; 10,27]	0,01*
	ЗГ	8,79 [6,41; 11,08]	11,5 [8,14; 16,5]	0,0002*
КФР, %	ОГ	90,41 [84,56; 94,6]	86,94 [77,89; 92,39]	0,01*
	ЗГ	83,52 [75,83; 91,48]	72,51 [56,16; 85,23]	0,0002*

**Примечание:** Me – медиана; – Q<sub>25</sub> нижняя квартиль, – Q<sub>75</sub> верхняя квартиль;  $\alpha=0,05$  – пороговый уровень значимости; \* – расчетное  $p \leq \alpha$  – различия статистически значимы.

Таблица 2

Показатели статокинезиограммы у испытуемых до и после ОР-10 во 2-й группе, n=12

Показатель		Описательная статистика Me [Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> ]		p
		до	после	
S, мм <sup>2</sup>	ОГ	67,4 [52,05; 76,83]	50,1 [39,58; 105,78]	0,88
	ЗГ	99,55 [56,4; 166,55]	58,5 [46,25; 142]	0,041*
R, мм	ОГ	3,06 [2,69; 3,32]	2,52 [2,29; 4,12]	0,88
	ЗГ	3,81 [2,64; 4,99]	3,21 [2,45; 4,26]	0,041*
V, мм/с	ОГ	7,48 [6,18; 8,5]	6,63 [6,06; 7,96]	0,81
	ЗГ	9,34 [7,72; 14,26]	7,27 [6,69; 11,42]	0,002*
КФР, %	ОГ	87,8 [84,57; 91,98]	90,24 [86,51; 92,5]	0,75
	ЗГ	83,12 [63,18; 86,75]	88,17 [73,75; 90,03]	0,002*

**Примечание:** Me – медиана; – Q<sub>25</sub> нижняя квартиль, – Q<sub>75</sub> верхняя квартиль;  $\alpha=0,05$  – пороговый уровень значимости; \* – расчетное  $p \leq \alpha$  – различия статистически значимы.

процессы. Полагаем, что ухудшение постуральной устойчивости сопровождается ростом амплитуды колебаний в диапазоне частот 0,2–2 Гц, а улучшение – их снижением.

Увеличение амплитуды колебаний в 1-й группе наблюдалось при частоте 0,5 Гц ( $p < 0,01$ ) в сагиттальной плоскости на 0,48 мм (83%) и во фронтальной плоскости на 0,29 мм (76,3%). Но показатели амплитуды колебаний данной частоты не образовывали корреляционных связей с показателями ВСР.

В ходе корреляционного анализа частот, которые статистически достоверно изменились после вестибулярной нагрузки, выявлены связи разной направленности с показателями спектра ВСР и вариационной пульсометрии.

Так, в 1-й группе ухудшение постуральной функции сопровождается увеличением активности симпатического отдела ВНС, что подтверждается ростом на 0,95 мм (69,3%) ( $p < 0,01$ ) амплитуды колебаний при частоте 0,25 Гц в сагиттальной плоскости при ЗГ (рис. 1). Данная частота образует умеренные прямые корреляционные связи с ЧСС, показателем адекватности процессов регуляции (ПАПР), индексом напряжения (ИН) и амплитудой моды (АМо). При этом уменьшается влияние парасимпатического отдела ВНС, что

отражается в умеренных обратных корреляционных связях с модой (Мо), показателем преобладания парасимпатического звена ( $pNN50$ ).

Во 2-й группе наблюдалось улучшение постуральной функции при снижении активности симпатического отдела ВНС, что подтверждается уменьшением амплитуды колебаний при частоте 0,75 Гц на 0,41 мм (40,2%) ( $p < 0,005$ ) в сагиттальной плоскости при ЗГ (рис. 2). Данная частота образует прямые корреляционные связи с 60% уровнем мощности спектра, ПАПР, вегетативным показателем ритма (ВПР), АМо, а также обратные связи с Мо.

Гиперадаптивная реакция в 1-й группе, по данным ВСР, после вестибулярной нагрузки сопровождалась ухудшением постуральной функции, об этом можно судить по увеличению на 0,39 мм (81%) ( $p < 0,05$ ) амплитуды колебаний при частоте 0,6 Гц в сагиттальной плоскости при ЗГ. Данная частота образует умеренные прямые корреляционные связи с мощностью зоны очень низкой частоты (VLF), средней мощностью зоны очень низкой частоты (AvVLF) и суммарной мощностью спектра (TP).

В 1-й группе во фронтальной плоскости при ЗГ обратные корреляционные связи образовывались с показателями мощности зоны высокой частоты (HF),

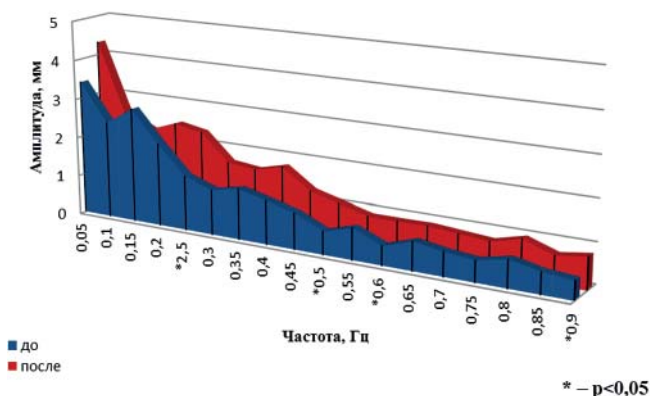


Рис. 1. Спектр стабилограммы в сагиттальной плоскости (ЗГ) в 1-й группе при ОР-10

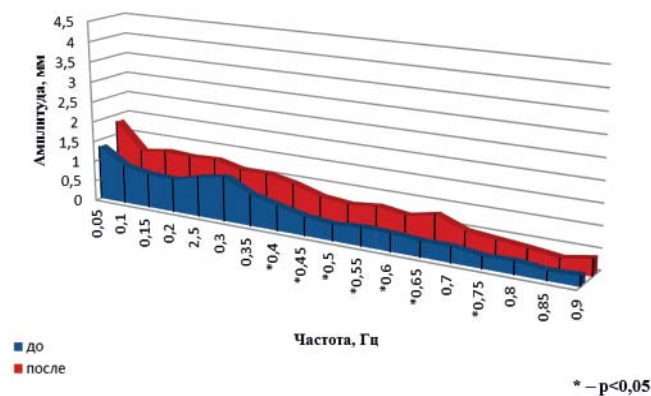


Рис. 3. Спектр стабилограммы во фронтальной плоскости (ЗГ) в 1-й группе при ОР-10

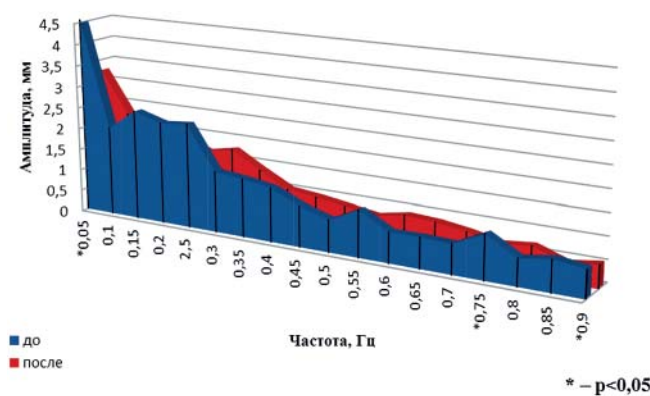


Рис. 2. Спектр стабилограммы в сагиттальной плоскости (ЗГ) во 2-й группе при ОР-10

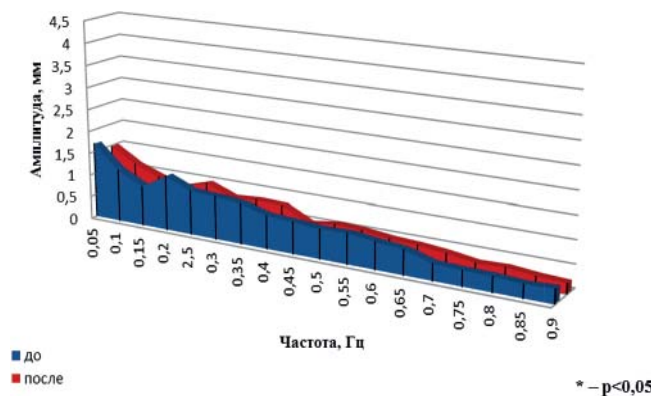


Рис. 4. Спектр стабилограммы во фронтальной плоскости (ЗГ) во 2-й группе при ОР-10

средним показателем зоны высокой частоты (AvHF), активности парасимпатического звена вегетативной регуляции (RMSSD) при частоте 0,75 Гц (рис. 3). Рост амплитуды колебаний на 0,17 мм (63%) данной частоты позволяет говорить об уменьшении влияния парасимпатического отдела ВНС на постуральную устойчивость испытуемого.

Во 2-й группе во фронтальной плоскости при ЗГ статистически значимых изменений амплитуд колебаний частот не наблюдалось (рис. 4).

**Заключение.** Выявленные статистически значимые изменения показателей спектра компьютерной стабิโลграфии при статокINETической нагрузке, как и основные показатели статокINETОГРАММЫ, являются высокоинформативными и чувствительными при оценке функционального состояния организма. Спектральный анализ стабิโลграммы, как и анализ вариабельности сердечного ритма, даёт возможность индивидуальной оценки функционального состояния организма при воздействии статокINETической нагрузки. Полученные результаты исследования показывают перспективность, необходимость дальнейших исследований и расширение возможностей компьютерной стабิโลграфии в разработке объективных способов определения устойчивости лётного состава к неблагоприятным факторам лётного труда.

## Литература

1. Анненков, О.А. Оценка ФС организма лётчика с помощью компьютерной стабิโลграфии в условиях статокINETических нагрузок / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. – 2014. – № 2(46). – С. 134–137.
2. Баевский, Р.М. Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей / Р.М. Баевский [и др.]. – М.: Фирма Слово, 2009. – 100 с.
3. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р.М. Баевский [и др.]. – М., 2002. – 53 с.
4. Гаже, Н.-М. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека / Н.-М. Гаже, Б. Вебер. – СПб.: СПбМАПО, 2008. – 314 с.
5. Жильцова, И.И. Компьютерная стабิโลграфия как метод оценки функционального состояния военнослужащих / И.И. Жильцова // Мор. мед. журн. – 2002. – № 3–4. – С. 26–29.
6. Методики исследований в целях врачебно-лётной экспертизы: пособие для членов ВЛК / под общ. ред. Е.С. Бережнова, П.Л. Слепенкова. – М.: Изд-во академии им. Н.Е. Жуковского, 1995. – 455 с.
7. Пономаренко, В.А. «А тот, который во мне сидит...» Пилоты перспективных самолётов испытывают нагрузки на грани человеческих возможностей / В.А. Пономаренко, С.А. Айвазян // Независимое военное обозрение. – 2016. – № 45 (928). – С. 9.
8. Реброва, О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О.Ю. Реброва. – М.: МедиаСфера, 2002. – 312 с.
9. Сковрцов, Д.В. Стабิโลметрическое исследование / Д.В. Сковрцов. – М.: Мера-ТСП, 2010. – 171 с.

A.A. Blaginin, I.I. Zhiltsova, N.V. Alzhev, T.A. Lapshina

### Dynamics of indicators of computer stabilography at statokinetic load

**Abstract.** Information significance and expediency of computer stabilography indicators for assessing the functional and physical ability of flight crews was determined experimentally at statokinetic load. Stabilogram spectrum was analyzed and it was revealed statistically significant correlation with the data it indexes of heart rate variability, which characterize the activity of the autonomic nervous system after statokinetic load. It was shown that statistically significant changes of stabilogram spectrum indicators were in the low frequency zone both in the sagittal and on the frontal plane in the group with the deterioration of the balance function. It was found that the deterioration of the postural stability is accompanied by an increase of the amplitude of oscillations in the frequency range of 0,2–2 Hz, and improvement – by reduction of similar indicators. After the load it was marked the increasing of level of functioning of sympathetic nervous system in the subjects in the group with the deterioration of the postural stability, which is confirmed by direct correlation with indicators of heart rate variability. Subjects of the group with improvement of postural function (in terms of quality of balance function) has decrease in activity of the sympathetic division of the autonomic nervous system. It is possible to use the obtained data to identify the criteria for assessment of tolerability statokinetic loads. This will provide a further increase of the efficiency of aviation medic and improvement of the individual examination programs, professional activity is connected with the influence of of extremal environmental factors that lead to adverse changes in the functional state of the organism.

**Key words:** statokinetic load, statokinetic stability, stabilogram spectrum, otolithic test, functional status, heart rate variability, computer stabilography, statokinesigram, variation pulsometry, vestibular apparatus.

Контактный телефон: 8-981-961-31-00; e-mail: kokalata22@rambler.ru