

На правах рукописи



**АННЕНКОВ**  
Олег Александрович

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ  
ДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ПОЛЕТА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ  
СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛЕТЧИКОВ**

14.03.08 – авиационная, космическая и морская медицина

19.00.02 - психофизиология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

24 ИЮЛ 2014

Санкт-Петербург

2014



005550684

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном военном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ

**Научные руководители:**

доктор медицинских наук, доктор психологических наук профессор **Благинин Андрей Александрович**  
доктор медицинских наук доцент **Жильцова Ирина Игоревна**

**Официальные оппоненты:**

**Чермянин Сергей Викторович**  
доктор медицинских наук профессор, заведующий кафедрой психофизиологии и клинической психологии Автономного образовательного учреждения Высшего профессионального образования «Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина»;

**Буйнов Леонид Геннадиевич**  
доктор медицинских наук профессор, заведующий кафедрой медико-валеологических дисциплин факультета безопасности жизнедеятельности Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена.

**Ведущая организация:**

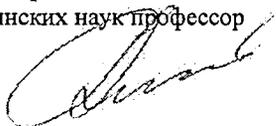
Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, г. Москва.

Защита состоится 23 09 2014 года в 12<sup>00</sup> часов, на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 215.002.03 при ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ (194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова».

Автореферат разослан «7» 07 2014 г.

**Ученый секретарь совета**  
доктор медицинских наук профессор



**Дергунов Анатолий Владимирович**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность исследования и степень разработанности проблемы**

Исторически сложилось так, что на всех этапах развития российской авиации, эволюция авиационной техники шла неразрывно с совершенствованием системы медицинского обеспечения полетов. При этом всегда, практически неизменными оставались основные целеполагающие ориентиры медицинского обеспечения авиации – это сохранение профессионального здоровья и продление летного долголетия, а также, решение вопросов безопасности полетов (Бухтияров И.В., Жданько И.М., 2010).

На сегодняшний день, профессиональная деятельность летного состава характеризуется чрезвычайно высокими физическими, психофизиологическими и психическими нагрузками, обусловленными воздействием комплекса неблагоприятных факторов полета (Ушаков И.Б., 2007; Зинкин В.Н., 2012; Филатов В.Н., 2013). Это значительные ускорения и перегрузки, повышенные объем и скорость подлежащей обработке информации, высокое нервно-эмоциональное напряжение в связи с ответственностью за своевременное принятие решений в условиях дефицита времени (Благинин А.А. с соавт., 2009; Благинин А.А., Цыган В.Н. и др., 2010). В условиях, когда технические возможности авиационной техники значительно превышают физиологические возможности экипажа, важнейшим фактором, приводящим к авиационным происшествиям, является «человеческий фактор» (Хоменко М.Н., 2013). На его долю приходится подавляющее большинство авиационных происшествий в современной авиации (ИКАО, 2006).

В связи с этим, система медицинского обеспечения полетов требует постоянного комплексного и своевременного совершенствования, включающего как организационно-кадровые, так и технические направления (Благинин А.А. с соавт., 2014).

Сегодня, оценка, прогнозирование и коррекция функционального состояния (ФС) организма, как летчиков, так и специалистов наземного

обеспечения полетов – являются главными направлениями авиационной медицины. Основные научные представления о диагностике ФС в авиационной и космической медицине были сформулированы еще во второй половине XX века (Жильцова И.И., 2008). Тем не менее, залогом их успешной практической реализации является постоянное техническое совершенствование методов оценки и коррекции ФС.

Одним из возможных и перспективных решений этого вопроса является изучение и внедрение в практику авиационного врача методов оценки ФС организма по показателям статокINETической функции, представляющей собой интегральный показатель ФС организма человека (Магнис Ю.Р., 1962; Гурфинкель В.С., 1981; Kejonen P., 2002).

Проблема оценки ФС по показателям статокINETической функции организма нашла свое решение в работах Усачева В.И., Жильцовой И.И., Сливы С.В., Галушкиной Е.А., Быкова А.Т.. Большой вклад в решение этого вопроса внесли зарубежные коллеги: Uimonen S., Patat A., Sato O., Hæggsström E., Aalto H., Рууккё I., Avni N., Brix B., Yokoyama K. и др. Однако, в плоскости оценки ФС организма летчиков и авиационных специалистов на фоне действия факторов авиационного труда, данный вопрос остается нерешенным.

Современные технические решения в области оценки статокINETической функции организма, такие как компьютерная стабиллография, имеют ряд отличительных особенностей, необходимых для повседневного применения в практике авиационного врача. К ним относят: комфортность, малое время обследования, информативность и высокую чувствительность (Жильцова И.И., 2000).

Таким образом, перспектива применения новейших средств оценки статокINETической функции и функционального состояния организма, позволит значительно повысить результативность работы авиационного врача в решении основных задач службы авиационной медицины Вооруженных Сил. Все вышеизложенное обусловило выбор цели настоящего исследования.

**Цель исследования:** определить информативность показателей статокINETической функции в оценке изменения функционального состояния летчиков под действием факторов полета.

**Задачи исследования:**

1. Оценить изменение функционального состояния и статокINETической функции летчиков при действии авиационного шума.
2. Оценить изменение функционального состояния и статокINETической функции летчиков при действии гипоксии.
3. Оценить изменение функционального состояния и статокINETической функции летчиков при статокINETических воздействиях.
4. Исследовать взаимосвязь изменения физиологических и психофизиологических показателей с показателями статокINETической функции организма при действии факторов полета.

**Научная новизна**

В работе впервые показано, что изменение показателей статокINETической функции организма человека позволяет определять степень напряжения регуляторных механизмов, состояние адаптации, а также изменение ФС организма на фоне действия неблагоприятных факторов внешней среды и факторов полета в частности.

Характер изменения показателей статокINETической функции организма дает возможность осуществлять дифференциальную диагностику стадий адаптации организма к воздействию факторов полета, таких как стадии удовлетворительной адаптации, напряжения и перенапряжения адаптационных механизмов.

Выявлены наиболее информативные показатели компьютерной стабиллографии для оценки ФС организма в условиях воздействия факторов полета.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Проведенная работа подтверждает и дополняет имеющиеся на сегодняшний день представления о статокинетической функции организма как интегральном показателе ФС организма.

В результате проведенных исследований установлена информативность показателей компьютерной стабилографии, как метода оценки статокинетической функции человека, для дифференциальной диагностики состояний адаптации организма и его ФС на фоне действия факторов полета.

Обоснована целесообразность применения компьютерной стабилографии для экспресс-оценки функционального состояния летного состава в периоды подготовки и выполнения полетов, для своевременного выявления пограничных и патологических ФС организма, в процессе диспансерного динамического наблюдения за состоянием его здоровья, на этапе реабилитационных мероприятий, а также в целях врачебно-летней экспертизы.

### **Методология и методы исследования**

Основными методологическими характеристиками проведенного исследования являются целостность, комплексность, системность, объективности и валидность (Ушаков И.Б. и др., 2004). Методологической основой настоящей работы является сравнение данных полученных методом компьютерной стабилографии с другими общепринятыми методиками оценки функционального состояния организма. При этом анализ данных осуществлялся с учетом взглядов Р.М. Баевского (1979) на уровень адаптированности организма, а также предложенный В.П. Казначеевым с соавт. (1980) подход к оценке состояния неспецифической адаптации организма в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Характер изменения показателей статокинетической функции летчика, при моделировании воздействия факторов полета, отражает степень напряжения регуляторных механизмов и состояние адаптации организма к этим воздействиям.

2. Динамика показателей статокINETической функции при воздействии факторов полета согласуется с изменениями показателей вариабельности ритма сердца - общепринятой методики оценки функционального состояния и неспецифических адаптационных реакций организма.

3. Оценка показателей статокINETической функции позволяет осуществлять дифференциальную диагностику функционального состояния организма человека в условиях воздействия факторов полета.

### **Степень достоверности, апробация и реализация результатов работы**

Степень достоверности определяется объемом экспериментального материала, полученного в результате 2988 исследований 166 человек, достаточным количеством используемых общепринятых методик, применением современных методов математико-статистической обработки экспериментальных данных и согласованностью полученных результатов с имеющимися данными других исследователей.

Основные результаты работы докладывались на 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Психофизиология профессионального здоровья человека» (Санкт-Петербург, 2012), Международной научно-практической конференции по военной медицине (Санкт-Петербург, 2013), на Всероссийской научно-практической конференции «Состояние и актуальные вопросы гигиенического обучения и воспитания населения и военнослужащих» (Санкт-Петербург, 2013), Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы авиационной и космической медицины» (Санкт-Петербург, 2013), и заседании секции авиационной и космической медицины Санкт-Петербургского общества физиологов, биохимиков и фармакологов им. И.М. Сеченова (Санкт-Петербург, 2014).

Настоящее исследование проводилось в ходе выполнения плановых научно-исследовательских работ шифр «Стабило» и «Коренник» Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Материалы исследования используются в учебном процессе по дисциплинам «Авиационная и

космическая медицина с физиологией летного труда» и «Авиационная и космическая медицина» на кафедре авиационной и космической медицины Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. По результатам работы внедрено 2 рационализаторских предложения.

#### **Личный вклад автора**

Во всех исследованиях автор принимал непосредственное участие: в планировании, организации и проведении исследований, обработке, анализе и обобщении результатов.

#### **Публикации**

Материалы исследования опубликованы в 11 печатных работах, из них 3 статьи в журналах по перечню российских рецензируемых научных журналов ВАК Минобразования и науки РФ.

#### **Объем и структура работы**

Диссертация изложена на 138 страницах машинописного текста и состоит из введения, трех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Текст включает 30 таблиц. Список литературы содержит 225 литературных источников, из которых 183 российских и 42 иностранных.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** рассмотрены патофизиологические аспекты влияния на организм человека авиационного шума, гипоксии, статокINETических воздействий, а также характер изменения ФС организма человека в этих условиях. Проанализированы современные теоретические взгляды и практические достижения в области диагностики ФС организма по показателям статокINETической функции, и в частности, методом компьютерной стабИлографии.

**Во второй главе** представлены методики, организация и объем проведенных исследований.

Работа выполнена в лабораторных условиях на базе кафедры авиационной и космической медицины Военно-медицинской академии имени

С.М. Кирова. Для решения задач, поставленных в данной работе, проведено комплексное экспериментальное исследование, включающее изучение изменения ФС организма человека при моделировании действия факторов полета, таких как авиационный шум, гипоксическая гипоксия и статокINETические нагрузки.

Проведено 4 серии исследований, в которых приняли участие 166 человек мужского пола в возрасте 20-23 лет, выполнено 2988 обследований.

Структура и объем выполненных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Структура и объем исследований

№ п/п	Название серии исследования	Количество испытуемых, чел.	Количество обследований, ед.
1.	Оценка изменения функционального состояния организма человека в условиях авиационного шума: - опытная группа; - контрольная группа.	32	576
		12	216
2.	Оценка изменения функционального состояния организма человека при воздействии гипоксической гипоксии: - опытная группа; - контрольная группа.	29	522
		9	162
3.	Оценка изменения функционального состояния организма человека с пониженной статокINETической устойчивостью при вестибулярных нагрузках: - опытная группа; - контрольная группа.	31	558
		9	162
4.	Оценка изменения функционального состояния организма человека с хорошей статокINETической устойчивостью при вестибулярных нагрузках: - опытная группа; - контрольная группа.	34	612
		10	180
7.	Всего	166	2988

Во время проведения исследований осуществлялось комплексное обследование испытуемых до и после воздействия моделируемого фактора полета. Выраженность изменения ФС организма в результате этого оценивалась по статистически значимым изменениям показателей психофизиологических и физиологических методик. После чего проводился анализ корреляционной связи показателей статокинетической функции организма с показателями других физиологических и психофизиологических методик.

Для оценки функционального состояния применялись такие физиологические методики, как измерение АД, спектральный анализ ритма сердца, вариационная пульсометрия, компьютерная стабิโลграфия, а также психофизиологические методики - реакция на движущийся объект (РДО), простая и сложная сенсомоторные реакции (ПСМР, ССМР), «Черно-красные таблицы Шульте-Платонова» (ЧКТ), критическая частота слияния световых мельканий (КЧСМ), таблицы Крепелина.

Оценка значимости статистических различий в выборках проводилась с использованием критериев Стьюдента и Манна-Уитни.

**В третьей главе** приведены результаты собственных исследований.

**В первой серии** исследований решалась задача диагностики функционального состояния организма человека по показателям статокинетической функции на фоне 90 минутного воздействия авиационного шума интенсивностью  $100 \pm 5$  дБ. Оценка результатов исследований говорит о сохранении на фоне шумовой нагрузки нормального ФС организма человека с незначительной активацией адаптационных реакций и статокинетической функции. Это получило достоверное отражение в невыраженных изменениях показателей вариабельности сердечного ритма и компьютерной стабิโลграфии.

Так, изменения показателей вариабельности сердечного ритма (уменьшение моды на 8,3%, коэффициента вариации (CV) на 1,5%, увеличение вегетативного показателя ритма (ВІР) на 52%) соответствуют состоянию удовлетворительной адаптации организма (таблица 2). Анализ результатов

психофизиологических методик (уменьшение времени ПСМР на 6,5%, методики ЧКТ на 7%, уменьшение времени РДО с 2,05 мс до -0,13 мс) выявил умеренное тоническое действие фактора, проявившееся увеличением скорости нервных процессов, улучшением характеристик внимания, преобладанием в ЦНС процессов возбуждения (таблица 3). Динамика показателей компьютерной стабิโลграфии, в частности уменьшение средней скорости перемещения центра давления (V) на 8,2% и среднего радиуса отклонения тела (R) на 7,5%, увеличение качества функции равновесия (КФР) на 4,3% в пробе с открытыми глазами, свидетельствует о незначительном напряжении статокINETической функции (таблица 4). В пробе с закрытыми глазами статистически значимых результатов не получено.

Корреляционный анализ выявил связи средней силы показателей стабילוграфии с показателями вариационной пульсометрии и ПСМР ( $r$  от 0,51 до 0,63).

Таблица 2 – Изменение показателей variability ритма сердца после действия авиационного шума в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=32$ )

Показатели	Фон	После шумовой нагрузки
ЧСС, уд./мин	73,31±2,73	79,13±2,50*
Коэффициент вариации, %	8,25±0,60	8,12±0,62*
Мода, с	0,84±0,03	0,77±0,03*
Вегетативный показатель ритма, отн. ед.	2,01±0,22	3,04±0,44*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 3 – Изменение психофизиологических показателей функционального состояния организма испытуемого после действия авиационного шума в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=32$ )

Показатели	Фон	После шумовой нагрузки
Время ПСМР, мс	223,60±4,17	208,42±3,76*
Время РДО, мс	2,05±1,22	-0,13±0,75*
Время ЧКТ, с	42,7±3,3	39,7±3,2*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 4 – Изменение показателей компьютерной стабиллографии после действия авиационного шума в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=32$ )

Показатели	Фон		После шумовой нагрузки	
	Пробы		Пробы	
	с открытыми глазами	с закрытыми глазами	с открытыми глазами	с закрытыми глазами
V, мм/с	11,24±0,59	19,43±1,34	10,32±0,37*	16,14±0,71
R, мм	4,39±0,29	6,03±0,30	4,06±0,28*	5,34±0,23
КФР, %	73,96±2,13	47,59±3,28	77,11±1,60*	55,19±2,31

Примечание: \*–  $p < 0,05$ .

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что действие авиационного шума оказало исключительно тонический эффект на ЦНС, недостаточный для принципиально значимого изменения функционального состояния организма испытуемых, что нашло отражение в незначительном симпатическом сдвиге вегетативного баланса и значимом, но более чем умеренном изменении показателей статокинетической функции.

**Вторая серия** исследований решала задачу по определению информативности статокинетических показателей для оценки изменения ФС организма человека при действии гипоксической гипоксии (30 минутная ингаляция гипоксической смеси с 10,5% содержанием кислорода). Анализ полученных результатов отражает нормальное ФС организма испытуемых, сопровождающееся напряжением его статокинетической функции и механизмов адаптации на фоне гипоксической нагрузки.

Так, данные анализа вариабельности сердечного ритма (уменьшение TP на 24% и коэффициента вариации на 15%, увеличение LF на 27,8 %, моды на 6,8%, индекса вегетативного равновесия (ИВР) на 40%, индекса напряжения регуляторных систем (ИН) на 30% и ВПР на 16,29%) говорят о централизации управления сердечным ритмом и симпатикотоническом сдвиге вегетативного баланса (таблица 5). Проведенные психофизиологические методики показали некоторое увеличение скорости нервных процессов ЦНС, проявившиеся в увеличении времени ПСМР на 6,3%, ССМР на 6,8% (таблица 6). Динамика показателей компьютерной стабиллографии, а именно - снижение площади

статокинезиограммы (S) и V на 32,2% и 22,1%, соответственно, а также увеличение КФР на 27%, в пробе с закрытыми глазами, свидетельствует о значительном напряжении статокинетической функции, ввиду повышенной на нее нагрузки при деактивации зрительного анализатора (таблица 7).

Корреляционный анализ выявил сильную связь показателей стабилотографии и вариабельности сердечного ритма ( $r$  от 0,57 до 0,71).

Таблица 5 – Изменение показателей вариабельности ритма сердца после воздействия гипоксической гипоксии в опытной группе ( $M \pm m, n=29$ )

Показатели	Фон	После гипоксической нагрузки
Общая мощность спектра, $mc^2$	4522,80±248,08	3438,80±202,24*
Мощность VLF волны, $mc^2$	1909,60±158,05	961,80±73,23*
Мощность LF волны, %	44,69±2,19	57,53±1,60*
Коэффициент вариации, %	8,12±0,23	6,90±0,26*
Мода, с	0,74±0,01	0,79±0,02*
ИВР, отн. ед.	83,94±5,64	117,58±9,78*
ИН, отн. ед.	5,62±0,37	7,30±0,49*
ВПР, отн. ед.	3,21±0,22	3,73±0,20*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 6 – Изменение психофизиологических показателей функционального состояния организма после действия гипоксической гипоксии в опытной группе ( $M \pm m, n=29$ )

Показатели	Фон	После гипоксической нагрузки
Время ПСМР, мс	207,44±3,79	220,52±4,07*
Время ССМР, мс	330,08±7,79	352,29±8,79*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 7 – Изменение показателей компьютерной стабилотографии после действия гипоксической гипоксии в опытной группе ( $M \pm m, n=29$ )

Показатели	Фон		После гипоксической нагрузки	
	Пробы		Пробы	
	с открытыми глазами	с закрытыми глазами	с открытыми глазами	с закрытыми глазами
S, $mm^2$	675,07±96,27	1170,71±160,97	696,93±128,60	794,36±122,87*
V, мм/с	13,00±0,97	18,95±1,73	12,17±0,87	14,77±1,32*
КФР, %	66,14±3,68	47,93±4,51	69,64±3,55	60,86±4,19*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таким образом, действие гипоксической гипоксии привело к значительному напряжению механизмов адаптации, регуляторных систем организма и статокINETической функции организма испытуемых.

Задачей **третьей серии** исследований стало определение эффективности статокINETических показателей для оценки изменения ФС организма лиц с пониженной статокINETической функцией при вестибулярных нагрузках в объеме вестибулярной пробы ОР-10. Анализ результатов проведенных исследований позволил сделать вывод о развитии пограничного ФС организма испытуемых на фоне вестибулярной нагрузки, что сопровождалось выраженным ухудшением показателей компьютерной стабИлографии в пробах, как с открытыми, так и закрытыми глазами.

Данные вариабельности сердечного ритма (увеличение TP на 42,7%, LF на 62,8%, коэффициента вариации на 18,6%, моды на 4%, уменьшение ВПР на 35,2%) показали усиление общего вегетативного влияния на сердечный ритм, как за счет симпатического, так и парасимпатического влияния, а также усиление автономности регуляции сердечного ритма (таблица 8). Дискоординированность показателей математического и спектрального анализа говорят о рассогласовании регуляторных систем вследствие перенапряжения адаптационных механизмов. Анализ результатов психофизиологических методик (увеличение времени ПСМР на 9,5%, ССМР на 7,6%, методики «Черно-красные таблицы» на 9%) выявил значимое уменьшение скорости нервных процессов, ухудшение характеристик внимания (таблица 9). Изменения показателей компьютерной стабИлографии, в частности увеличение V на 17,7% и R на 32,8%, снижение КФР на 11,7% в пробе с открытыми глазами и снижение КФР на 20,9% в пробе с закрытыми глазами, свидетельствуют о перенапряжении статокINETической функции (таблица 10).

При этом корреляционный анализ показал сильные и средней силы связи показателей компьютерной стабИлографии, вариабельности сердечного ритма и психофизиологических методик ( $r$  от 0,53 до 0,76).

Таблица 8 – Изменение показателей variability ритма сердца после выполнения пробы ОР – 10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=31$ )

Показатели	Фон	После выполнения пробы
Общая мощность спектра, $mc^2$	3997,09±520,94	5702,55±641,95*
Мощность LF волны, $mc^2$	1598,64±228,94	2602,36±235,26*
Мощность LF волны, %	41,08±3,71	48,90±4,43*
Коэффициент вариации, %	7,98±0,64	9,46±0,78*
Мода, с	0,72±0,03	0,75±0,02*
ВЛР, отн. ед.	3,27±0,24	2,12±0,20*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 9 – Изменение психофизиологических показателей функционального состояния организма после выполнения пробы ОР–10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=31$ )

Показатели	Фон	После выполнения пробы
Время ПСМР, мс	202,38±3,51	221,13±4,23*
Время ССМР, мс	331,29±7,80	356,33±9,43*
Время РДО, мс	-0,06±1,16	0,54±0,92
КЧСМ, Гц	41,63±0,99	41,03±0,79
ЧКТ, с	39,68±3,54	43,32±3,32*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 10 – Изменение показателей компьютерной стабиллографии после выполнения пробы ОР–10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=31$ )

Показатели	Фон		После выполнения пробы	
	Пробы		Пробы	
	с открытыми глазами	с закрытыми глазами	с открытыми глазами	с закрытыми глазами
V, мм/с	11,68±0,75	16,95±1,69	13,75±0,96*	19,76±1,09
R, мм	4,91±0,36	6,48±0,52	6,52±0,61*	7,41±0,53
КФР, %	71,36±2,81	55,43±4,19	63,00±3,88*	43,86±3,44*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таким образом, вестибулярное воздействие на испытуемых с пониженной статокинетической устойчивостью привело к перенапряжению адаптационных механизмов организма и развитию пограничного функционального состояния организма, что получило отражение и в перенапряжении статокинетической функции.

**Заключительная серия** исследований была направлена на оценку изменения  $\Phi$ С организма у лиц с хорошей статокинетической устойчивостью под действием вестибулярных нагрузок с использованием показателей статокинетической функции. Полученные результаты описывают сохранение нормального  $\Phi$ С организма, однако, достоверно, отражают мобилизацию защитных механизмов организма в ответ на действие вестибулярных нагрузок.

Динамика показателей вариабельности сердечного ритма (ТР на 39,3%, HF на 39,6%, CV на 26,8%, увеличение LF/HF на 51,8%, ИВР на 136,8%, ИН на 120,3% и ВПР на 79%.) показала симпатикотонический сдвиг вегетативного баланса, а также централизацию управления сердечным ритмом, что свидетельствует о напряжении адаптационных механизмов организма (таблица 11). Психофизиологические методики, также выявили изменение уровня функционирования ЦНС, что получило отражение в уменьшении времени ПСМР на 6,4%, методики ЧКТ на 10%, уменьшение времени РДО с 3,08 мс до 0,11 мс, снижение коэффициента умственной работоспособности (КУР) на 6,1% (таблица 12). Результаты компьютерной стабильности, в частности снижение V и увеличение КФР на 13,7% на 11%, соответственно в пробах с открытыми глазами, а также снижение V и увеличение КФР на 15% и увеличение на 15,5%, соответственно в пробе с закрытыми глазами, позволяют сделать вывод о напряжении функции статокинетической системы (таблица 13).

При корреляционном анализе выявлены сильные и средней силы связи стабильностных показателей, данных вариабельности сердечного ритма и психофизиологических методик ( $r$  от 0,56 до 0,74).

Таблица 11 – Изменение показателей вариабельности ритма сердца после выполнения пробы ОР – 10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=34$ )

Показатели	Фон	После выполнения пробы
Общая мощность спектра, $mc^2$	6741,33±561,61	4088,33±621,13*
Мощность HF волны, $mc^2$	2150,83±183,96	867,00±87,02*
LF/HF, отн. ед.	1,64±0,19	2,49±0,22*
Мощность VLF волны, %	24,13±3,30	36,57±2,23*
Коэффициент вариации, %	9,24±0,35	6,77±0,60*

Показатели	Фон	После выполнения пробы
ИВР, отн. ед.	35,87±3,29	84,96±13,35*
ИН, отн. ед.	2,02±0,19	4,45±0,71*
ВПП, отн. ед.	1,38±0,08	2,47±0,28*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 12 – Изменение показателей компьютерной стабиллографии после выполнения пробы ОР–10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=34$ )

Показатели	Фон		После выполнения пробы	
	Пробы		Пробы	
	с открытыми глазами	с закрытыми глазами	с открытыми глазами	с закрытыми глазами
V, мм/с	14,14±0,92	18,81±1,16	12,20±0,59*	15,98±0,75*
R, мм	5,96±0,34	6,98±0,58	6,57±0,51	6,93±0,60
КФР, %	62,46±2,94	47,79±3,29	69,33±2,39*	55,21±2,35*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Таблица 13 – Изменение психофизиологических показателей функционального состояния организма после выполнения пробы ОР–10 в опытной группе ( $M \pm m$ ,  $n=34$ )

Показатели	Фон	После выполнения пробы
Время ПСМР, мс	205,54±3,44	218,62±4,65*
Время РДО, мс	3,08±1,32	-0,11±0,85*
КУР, баллы	0,97±0,03	0,91±0,02*
ЧКТ, с	41,71±3,9	37,73±3,5*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Анализ полученных данных свидетельствует о напряжении статокинетической функции, адаптационных механизмов и регуляторных систем организма испытуемых в ответ на вестибулярную нагрузку в группе с хорошей ее переносимостью. В данном случае, у лиц с хорошей устойчивостью к вестибулярным нагрузкам, действие внешнего раздражителя явилось адекватным биологическим резервам организма, что привело к развитию соответствующих приспособительных реакций, принципиально отличных от наблюдаемых в предыдущей серии исследований, у лиц с пониженной статокинетической устойчивостью.

Во всех проведенных сериях исследований в контрольных группах испытуемых статистически значимых изменений показателей не выявлено.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью проведенного исследования было оценить возможности компьютерной стабیلлографии, как метода экспресс-оценки функционального состояния организма человека в условиях действия различных факторов полета.

Известно, что поддержание вертикальной позы человека представляет собой сложнокоординированный двигательный акт, в формировании которого участвуют вестибулярный и зрительный анализаторы, система проприорецепторов, высших отделов центральной нервной системы и который реализуется в виде непрерывно совершаемых незначительных по величине колебаний тела (Магнис Ю.Р., 1962; Гурфинкель В.С., 1965, 1981). С этих позиций современные физиологи рассматривают статокINETическую функцию человека как интегральный показатель ФС организма, что стало причиной выбора компьютерной стабیلлографии в проведенном исследовании, как одного из методов экспресс-оценки функционального состояния организма.

Для анализа изменений уровня функционирования отдельных систем, регуляторных механизмов и функционального состояния организма при моделировании факторов полета использовались взгляды Р.М. Баевского (1979) и предложенный В.П. Казначеевым с соавт. (1980) подход. По их мнению, организм приспосабливается к действию различных раздражителей изменением уровня функционирования отдельных систем и соответствующим напряжением регуляторных механизмов. При этом выделяются следующие состояния неспецифической адаптации: удовлетворительная адаптация, напряжение, перенапряжение и астенизация. Физиологическим обоснованием предложенной градации состояний адаптации и является степень напряжения функции сердечно-сосудистой системы, оцениваемая по вариабельности ритма сердца.

Иными словами, оценка variability сердечного ритма является удобным инструментом для точного определения стадий адапционных реакций и функционального состояния организма в целом.

Анализ результатов исследования позволил сделать несколько выводов. Во-первых, действующие на организм человека факторы полета, имеющие различные биологические механизмы реализации, представляют собой универсальные внешние стресс-факторы, вызывающие в организме стереотипные ответные адапционные реакции, адекватные силе и продолжительности воздействия, а также реактивности организма.

Во-вторых, характер ответа организма на действие моделируемых факторов полета, соответствует современным представлениям физиологов о процессах неспецифической адаптации организма к действию различных факторов, посредством изменения уровня функционирования отдельных систем и соответствующим напряжением регуляторных механизмов, что было показано при анализе изменений регуляции сердечного ритма, согласно критериям, предложенным Р.М.Баевским с соавт.. Так, состояние организма на фоне авиационного шума характеризовалось как состояние удовлетворительной адаптации, действие гипоксической гипоксии, во второй серии исследований привело к напряжению механизмов адаптации, третья серия исследований, показала развитие перенапряжения приспособительных механизмов и срыву адаптации на фоне вестибулярных нагрузок у лиц с пониженной статокинетической устойчивостью. Обращает внимание последняя серия исследований, в которой у лиц с хорошей вестибулярной устойчивостью, статокинетическая нагрузка привела к менее выраженному ответу, что выражалось развитием стадии напряжения механизмов адаптации. Иными словами, действие различных факторов полета, таких как шум, гипоксическая гипоксия и вестибулярная нагрузка, в условиях данного исследования, обусловили развитие универсальной и стереотипной ответной реакции.

И, в-третьих, на фоне действия факторов полета, использование компьютерной стабелографии позволило выявить синергичный характер

изменения показателей статокинетической функции по отношению к изменению регуляторных механизмов и ФС организма как такового. Так, в первой серии исследований, действие авиационного шума обусловило невыраженные изменения показателей статокинетической функции, свидетельствующие о некотором повышении ее тонуса, в условиях состояния удовлетворительной адаптации всего организма. Действие гипоксической гипоксии привело к значительному напряжению статокинетической функции, что было конкордантно динамике общих регуляторных механизмов организма и соответствовало стадии напряжения адаптации. В исследовании по оценке функционального состояния организма лиц с хорошей переносимостью статокинетических нагрузок, выполнение вестибулярной пробы также привело к напряжению функции постуральной системы, стереотипному вызванному гипоксической нагрузкой, однако, имеющему менее выраженный характер. Серия исследований, в которой моделировалось действие вестибулярных нагрузок на лиц с пониженной статокинетической устойчивостью, характеризовалась выраженным снижением показателей эффективности статокинетической системы и перенапряжением ее функции, на фоне рассогласования регуляторных механизмов и срыва адаптации организма.

Анализ изменений стабильнографических показателей, во всех проведенных исследованиях, позволяет выделить критерии оценки ФС организма человека (Таблица 14). Так, развитие состояния напряжения адаптационных механизмов на фоне нормального функционального состояния организма характеризуется улучшением показателей КФР и V не менее чем на 15% от исходного уровня, а показателя R – не менее чем на 30%. Стадия перенапряжения адаптации и пограничное функциональное состояние организма характеризуются ухудшением указанных показателей не менее чем на 10% и показателя S не менее чем на 30%. Иные результаты предполагают отсутствие каких-либо физиологически значимых изменений уровня функционирования систем и организма в целом и отражают нормальное функциональное состояние организма.

Таблица 14 – Критерии стратификации стадий адаптации организма по состоянию вегетативного баланса и статокINETической функции человека

Состояние статокINETической функции и ВРС	Функциональное состояние		
	Состояние удовлетворительной адаптации	Состояние напряжения	Состояние перенапряжения
Вегетативный баланс и регуляция ритма сердца*	Минимальное напряжение регуляторных механизмов	Централизация регуляции сердечного ритма и симпатикотония	Децентрализация регуляции сердечного ритма, дискоординированные изменения вегетативного баланса
КФР	$\pm < 10\%$	+ > 15% ЗГ или	- > 10% ЗГ или
		+ > 15% ЗГ и ОГ	- > 10% ОГ или
			- > 10% ЗГ и ОГ
V	$\pm < 10\%$	- > 15% ЗГ или	+ > 15% ОГ
		- > 15% ЗГ и ОГ	
S	Незначимые изменения	- > 30% ЗГ	Незначимые изменения
R	Незначимые изменения	Незначимые изменения	+ > 30% ОГ

Примечание: \* - классификация стадий напряжения регуляторных механизмов адаптации дана по Баевскому Р.М. (1979).

Проведенный анализ говорит о высокой информативности таких показателей компьютерной стабИлографии как V и КФР в диагностике изменения ФС организма, так как они статистически значимо изменились при моделировании всех факторов полета, а величина этих изменений составила не менее 15% от исходного значения.

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности применения показателей статокINETической системы в оценке адаптационных реакций организма в ответ на действие неблагоприятного фактора внешней среды, в частности они, позволяют не только диагностировать характер ответа

организма, но и выявить степень мобилизации функциональных резервов в новых условиях и, таким образом, сформировать представление об изменении ФС организма в целом.

## ВЫВОДЫ

1. Воздействие авиационного шума, продолжительностью 90 мин и интенсивностью  $100 \pm 5$  дБ, на организм летчика оказывает умеренный тонический эффект на статокINETическую функцию и приводит к активации адаптационных процессов, что получило отражение в невыраженном изменении показателей компьютерной стабيلогрaфии (уменьшение V на 8,2% и R на 7,5%, увеличение КФР на 4,3%), симпатическом сдвиге вегетативного баланса (увеличение ВПР на 52%), а также увеличении скорости нервных процессов и улучшении характеристик внимания (уменьшение латентного периода ПСМР на 6,5%, ЧКТ на 7%, уменьшении времени РДО с 2,05 мс до - 0,13 мс). Это свидетельствует о сохранении удовлетворительной адаптации организма в условиях шумовой нагрузки.

2. Изменение функционального состояния организма авиационных специалистов в условиях воздействия гипоксической гипоксии (30 минутной ингаляции гипоксической смеси с 10,5% содержанием кислорода) характеризуется напряжением механизмов адаптации, регуляторных систем организма и его статокINETической функции. Это подтверждено выраженными изменениями показателей компьютерной стабилогрaфии (снижение S на 32,2%, V на 22,1%, увеличение КФР на 27% в пробе с закрытыми глазами), симпатическим сдвигом вегетативного баланса, напряжением центров регуляции сердечного ритма (уменьшение TP на 24%, увеличение LF на 27,8 %, ИВР на 40%, ИН на 30% и ВПР на 16,29%) и динамикой психофизиологических показателей (увеличение латентного периода ПСМР на 6,3%, ССМР на 6,8%).

3. Воздействие статокINETических нагрузок, в объеме вестибулярной пробы ОР-10, на организм человека с пониженной статокINETической устойчивостью приводит к развитию пограничного функционального состояния организма, о чем свидетельствует перенапряжение

статокинетической функции и адаптационных механизмов организма. Это отражено в значимом изменении показателей компьютерной стабิโลграфии (увеличение V на 17,7% и R на 32,8%, снижение КФР на 11,7% с открытыми глазами, снижение КФР на 20,9% с закрытыми глазами), дискоординированности процессов регуляции сердечного ритма (увеличение TP на 42,7%, LF на 62,8%, коэффициента вариации на 18,6%, моды на 4%, уменьшение ВПР на 35,2%), снижении скорости нервных процессов и ухудшении характеристик внимания (увеличение латентного периода ПСМР на 9,5%, ССМР на 7,6%, времени выполнения методики ЧКТ на 9%).

4. Характер изменения функционального состояния организма человека с хорошей статокинетической устойчивостью при статокинетической нагрузке, в объеме вестибулярной пробы ОР-10, определяется напряжением его статокинетической функции, адаптационных механизмов и регуляторных систем организма. Это подтверждено выраженными изменениями показателей компьютерной стабילוграфии (снижение V на 13,7%, увеличение КФР и на 11% с открытыми глазами, снижение V на 15%, увеличение КФР и на 15,5% с закрытыми глазами), симпатикотоническим сдвигом вегетативного баланса, централизацией регуляции сердечного ритма (уменьшение TP на 39,3%, HF на 39,6%, увеличение LF/HF на 51,8%, ИВР на 136,8%, ИН на 120,3% и ВПР на 79%) и изменением психофизиологических показателей (уменьшение времени латентного периода ПСМР на 6,4%, времени выполнения методики ЧКТ на 10%, снижение времени РДО с 3,08 мс до -0,11 мс).

5. Изменения показателей компьютерной стабילוграфии, варибельности ритма сердца и психофизиологических методик, на фоне действия факторов полета, находится в сильной корреляционной связи ( $r$  от 0,51 до 0,76). Характер и величина изменения показателей статокинетической функции отражает состояние регуляторных механизмов и степень адаптации организма к действию неблагоприятного фактора внешней среды.

6. Наиболее информативными показателями компьютерной стабילוграфии в оценке изменения функционального состояния организма

летчика на фоне воздействия факторов полета являются скорость перемещения центра давления и качество функции равновесия, которые имели статистически значимые изменения при моделировании всех факторов полета.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Метод компьютерной стабิโลграфии целесообразно использовать в авиационных частях для оценки ФС организма летчика на всех этапах подготовки к проведению полетов.

2. Использование компьютерной стабילוграфии позволяет осуществлять экспресс-оценку изменения ФС организма летчиков, подлежащих межполетным медицинским осмотрам в период проведения полетов, с целью своевременного выявления пограничных и патологических ФС.

3. Метод компьютерной стабילוграфии целесообразно использовать для динамического наблюдения за индивидуальной переносимостью факторов полета курсантами авиационных ВВУЗов в течение всего периода летной подготовки, а также как дополнительный критерий профессиональной пригодности курсантов для прохождения службы в различных видах и родах авиации ВС РФ.

4. Применение метода компьютерной стабילוграфии предоставляет возможность осуществлять динамический контроль за восстановлением функционального состояния и работоспособности летного состава на этапе реабилитационных мероприятий в частях и специализированных учреждениях.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Принимая во внимание современные представления психофизиологов о принципах диагностики ФС организма, перспективным направлением является научное обоснование создания комплекса оценки и прогнозирования ФС организма летчика в процессе профессиональной деятельности, предполагающего оценку изменения физиологических функций и психического состояния на основе вариабельности сердечного ритма, статокинетической функции, показателей внешнего дыхания с комплексным анализом

психических процессов и поведенческих реакций и формированием интегрального показателя ФС и его непрерывной визуализацией.

Это позволит решить несколько задач: повышение уровня безопасности полетов и качества медицинского обеспечения полетов, повышение продолжительности профессиональной деятельности летного состава и боеспособности авиационных частей.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Оценка регуляции ритма сердца у военнослужащих при ортостатической пробе / О.А. Анненков, И.И. Жильцова, А.М. Ярков [и др.] // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. – 2012. – №3 (39). – С. 210–214.
2. Анненков, О.А. Оценка функционального состояния организма летчика 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.
3. Вопросы профессиональной патологии, авиационной и космической медицины в практике военного труда / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова [и др.] / Воен.-мед. журн. – 2014. – № 6. – С 92–95.
4. Анненков, О.А. Возможности оценки функционального состояния летчиков по показателям статокINETической функции / О.А. Анненков, И.И. Жильцова // Мат. международной научно-практической конференции по военной медицине, 2013. – СПб.: «Человек и его здоровье». – С. 280–281.
5. Анненков, О.А. Диагностика функционального состояния организма военнослужащих методом компьютерной стабילוграфии в условиях авиационного шума / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Мат. IV Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию кафедры военной психофизиологии «Психофизиология профессионального здоровья человека». – СПб: ВМедА, 2012. – С. 17–18.
6. Анненков, О.А. Перспективы применения компьютерной стабילוграфии для оценки влияния измененного барометрического давления

на функциональное состояние организма / О.А. Анненков, И.И. Жильцова, А.А. Мясников, Ю.А. Емельянов // Мат. VIII Всеарм. науч.-практ. конф. «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненных больных и пораженных». – СПб., 2012. – С. 81–82.

7. Анненков, О.А. Возможности компьютерной стабิโลграфии при оценке воздействия гипоксической гипоксии на функциональное состояние организма военнослужащего / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. «Состояние и актуальные вопросы гигиенического обучения и воспитания населения и военнослужащих». – СПб: ВМедА, 2013. – С. 23–24.

8. Анненков, О.А. Перспективы применения компьютерной стабילוграфии для оценки изменения функционального состояния организма при статокINETических нагрузках / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. «Состояние и актуальные вопросы гигиенического обучения и воспитания населения и военнослужащих». – СПб: ВМедА, 2013. – С. 24.

9. Анненков, О.А. Перспективы совершенствования системы подготовки специалистов службы авиационной медицины / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.Н. Лизогуб // Мат. Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию кафедры авиационной и космической медицины «Актуальные проблемы авиационной и космической медицины». СПб.:ВМедА, 2013. – С. 18–19.

10. Анненков, О.А. Возможности оценки вариабельности сердечного ритма для дифференциальной диагностики функциональных состояний летчиков под воздействием статокINETических нагрузок / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Мат. Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию кафедры авиационной и космической медицины «Актуальные проблемы авиационной и космической медицины». СПб.:ВМедА, 2013. – С. 21.

11. Анненков, О.А. Декомпрессионная безопасность полетов / О.А. Анненков, Ю.А. Емельянов, С.Н. Синельников // Мат. Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию кафедры авиационной и космической

медицины «Актуальные проблемы авиационной и космической медицины».  
СПб.:ВМедА, 2013. – С. 51–52.

### СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

CV	–	коэффициент вариации
HF	–	дыхательные волны
LF	–	медленные волны
LF/HF	–	коэффициент соотношения медленной и дыхательной волн
Mo	–	мода
R	–	средний радиус отклонения центра давления
S	–	площадь статокинезиограммы
TP	–	общая мощность спектра
V	–	средняя скорость перемещения центра давления
VLF	–	очень медленные волны
АД	–	артериальное давление
ВПР	–	вегетативный показатель ритма
ИВР	–	индекс вегетативного равновесия
ИН	–	индекс напряжения регуляторных процессов
КФР	–	качество функции равновесия
КЧСМ	–	критическая частота световых мельканий
ПСМР	–	простая сенсомоторная реакция
РДО	–	реакция на движущийся объект
ССМР	–	сложная сенсомоторная реакция
ФС	–	функциональное состояние организма
ЦНС	–	центральная нервная система
ЧКТ	–	черно-красные таблицы Шульце-Платонова
ЧСС	–	частота сердечных сокращений

---

Подписано в печать 01.07.14

Объем 1 п.л.

Тираж 100 экз.

Формат 60×84/16

Заказ №515

---

Типография ВМедА,  
194044, СПб., ул. Академика Лебедева, 6.