

## Оценка функционального состояния организма летчика с помощью компьютерной стабิโลграфии в условиях статокINETических нагрузок

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

**Резюме.** Дана оценка функционального состояния организма человека на фоне статокINETических воздействий. Показано, что у лиц с хорошей статокINETической устойчивостью вестибулярные нагрузки приводят к напряжению механизмов адаптации. У лиц с пониженной статокINETической устойчивостью – к рассогласованию регуляторных механизмов, срыву адаптации и перенапряжению статокINETической функции. Спектральный и математический анализ вариабельности ритма сердца свидетельствует о переходе управления сердечным ритмом на более высокий уровень, повышается роль симпато-адреналовой системы, что говорит о напряжении адаптационных процессов организма. В пробах как с открытыми, так и закрытыми глазами достоверно увеличиваются динамические показатели (средняя скорость перемещения центра давления и качество функции равновесия). При этом, факт конкордантного характера их изменения свидетельствует о напряженности всей статокINETической системы. Установлено, что показатели статокINETической функции имеют хорошую корреляционную связь с показателями вариабельности ритма сердца и позволяют оценивать функциональное состояние и адаптационные реакции организма на действие статокINETических нагрузок. В целом, показатели статокINETической функции организма, полученные с помощью компьютерной стабילוграфии являются высокоинформативными. Следовательно, компьютерная стабילוграфия как и анализ вариабельности сердечного ритма, дает возможность дифференцированно оценивать вероятные формы адаптивных состояний. Это открывает новые возможности в индивидуальной оценке функционального состояния организма человека при воздействии неблагоприятных факторов труда.

**Ключевые слова:** функциональное состояние, адаптация организма, статокINETическая функция, вариабельность ритма сердца, компьютерная стабילוграфия, статокINETическая нагрузка, авиационный специалист, летный состав, безопасность полетов.

**Введение.** Последние десятилетия развития российской авиации характеризуются созданием авиационных комплексов 5-го поколения, особенностью которых является повышенная маневренность и энерговооруженность, большие скорость и высота выполнения полетов. Отличительными чертами летного труда на современной авиационной технике стали: исключительно высокие темп восприятия, анализа и переработки поступающей информации, степень автоматизации процессов управления, действие ускорений на организм летчика. А в условиях постоянного наращивания интенсивности боевой подготовки авиационных частей Военно-воздушных сил, главными задачами службы авиационной медицины являются обеспечение безопасности полетов, сохранение и продление профессионального долголетия летного состава.

Одной из опорных точек решения этих задач является оценка, прогнозирование и коррекция функционального состояния, как летчиков, так и специалистов наземного обеспечения полетов. В настоящее время авиационная медицина располагает достаточно большим арсеналом методик и способов оценки функционального состояния авиационных специалистов. Однако, не все они достаточно информативны, объ-

ективны и оперативны в практической работе авиационного врача. Это определяет необходимость поиска и применения на практике новых методик оценки функционального состояния летного состава.

Одним из возможных и перспективных решений этого вопроса представляется изучение и внедрение в практику авиационного врача методик оценки функционального состояния организма по показателям статокINETической функции. Последняя представляет собой результат сочетанной работы вестибулярного, зрительного, слухового, проприо- и интероцептивного анализаторов.

Наиболее информативной методикой оценки статокINETической функции человека является компьютерная стабילוграфия, которая в сравнении с другими известными методиками оценки функционального состояния человека обладает рядом отличительных особенностей, необходимых для повседневного применения в практике авиационного врача. К ним относят: комфортность, малое время обследования, которое не превышает 1–2 минуты, информативность и высокую чувствительность.

С.С. Слива [1], И.И. Жильцова [2] говорят об успешном применении компьютерной стабילוграфии в клинической, реабилитационной, спортивной

медицине и медицине труда. Однако, вопрос ее эффективности в оценке функционального состояния человека в условиях действия факторов авиационного и военного труда требует проведения дополнительных целенаправленных исследований.

**Цель исследования.** Оценить информативность показателей статокинетической функции в оценке изменений функционального состояния организма человека при статокинетических нагрузках.

**Материалы и методы.** В обследовании приняли участие 84 здоровых мужчины в возрасте 21–22 лет, которые были разделены на 2 группы: опытная (n=65) и контрольная (n=19). В свою очередь, в опытной группе были выделены лица с хорошей (n=34) и пониженной (n=31) статокинетической устойчивостью.

Статокинетические воздействия моделировались путем выполнения вестибулярной пробы – отолитовая реакция-10 (ОР-10) [3]. Методика проведения ОР-10 заключается во вращении испытуемого, расположенного в кресле с закрытыми глазами и с наклоном на 90° вперед. Вращение осуществляется в течение 10 с со скоростью 180° в секунду в одну сторону, затем, после минутной паузы, во время которой испытуемый располагается вертикально с открытыми глазами, вращение осуществляется в противоположную сторону в том же объеме. После выполнения 10 циклов производится оценка вегетативных и защитных реакций организма, на основании чего определяется устойчивость организма к вестибулярным нагрузкам.

Диагностика изменения функционального состояния испытуемых на фоне статокинетических нагрузок осуществлялась путем анализа вариабельности сердечного ритма [4] и оценки статокинетической функции до и после выполнения вестибулярной пробы.

При оценке вариабельности сердечного ритма, для определения адаптационных реакций организма на действие фактора, анализировались состояние вегетативного баланса и состояние регуляции сердечного ритма. Для этого применяли спектральный и математический анализ сердечного ритма на аппарате «ВНС РИТМ» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново) [5].

Оценка статокинетической функции осуществлялась с помощью компьютерной стабильности с использованием стабиланализатора с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» опытного конструкторского бюро «Ритм» (г. Таганрог). При этом исследование состояло из двух проб – с открытыми и закрытыми глазами, в течение 20 с каждая. Для анализа статокинетической функции человека использовались следующие показатели: площадь статокинезиограммы (S), средняя скорость перемещения центра давления (V), средний радиус отклонения тела (R), качество функции равновесия (КФР).

**Результаты и их обсуждение.** После вестибулярной нагрузки в группе с хорошей статокинетической устойчивостью общая мощность спектра (ТР) снизилась на 39,3% (p<0,05). Это обусловлено преимущественно

снижением мощности дыхательных волн (HF) на 39,6% (p<0,05). Коэффициент соотношения медленных (LF) и дыхательных волн (LF/HF) увеличился на 51,8% (p<0,05). На 26,8% (p<0,05) уменьшился коэффициент вариации (CV), на 136,8, 120,3 и 79% соответственно увеличились индексы вегетативного равновесия (ИВР), напряжения регуляторных систем (ИН) и вегетативного показателя ритма (ВПР), таблица 1.

Таблица 1

**Изменение показателей вариабельности ритма сердца после выполнения пробы ОР-10 в группе с хорошей статокинетической устойчивостью, M±m**

Показатель	Фон	После выполнения пробы
ЧСС, уд/мин	68,17±1,80	64,67±1,98*
Общая мощность спектра, мс <sup>2</sup>	6741,33±561,61	4088,33±621,13*
HF, мс <sup>2</sup>	2150,83±183,96	867,00±87,02*
LF/HF, отн. ед.	1,64±0,19	2,49±0,22*
Коэффициент вариации, %	9,24±0,35	6,77±0,60*
ИВР, отн. ед.	35,87±3,29	84,96±13,35*
ИН, отн. ед.	2,02±0,19	4,45±0,71*
ВПР, отн. ед.	1,38±0,08	2,47±0,28*

Примечание: \* – p<0,05.

После статокинетических воздействий в группе с хорошей статокинетической устойчивостью в пробе как с открытыми, так и закрытыми глазами V уменьшилась на 13,7 и 15% (p<0,05) соответственно, КФР в пробе с открытыми глазами увеличился на 11%, в пробе с закрытыми глазами – на 15,5% (p<0,05), таблица 2.

Таблица 2

**Изменение показателей компьютерной стабильности после выполнения пробы ОР-10 в группе с хорошей статокинетической устойчивостью, M±m**

Показатель	Фон		После выполнения пробы	
	Проба с ОГ	Проба с ЗГ	Проба с ОГ	Проба с ЗГ
V, мм/с	14,14±0,92	18,81±1,16	12,20±0,59*	15,98±0,75*
КФР, %	62,46±2,94	47,79±3,29	69,33±2,39*	55,21±2,35*

Примечание: \* – p<0,05.

На фоне статокинетических воздействий в этой же группе показатель КФР в пробе с открытыми глазами имеет прямую корреляционную связь средней силы с показателем ИВР (r=0,69; p<0,05) и LF/HF (r=0,63; p<0,05). В пробе с закрытыми глазами сильная связь выявлена между изменением КФР и ИН (r=0,74; p<0,05), а обратная связь средней силы с изменением ТР (r= -0,67; p<0,05). Показатель V в данной пробе имеет прямую связь с ИВР (r=0,56; p<0,05).

В группе с пониженной статокинетической устойчивостью после выполнения вестибулярной пробы выявлены статистически значимое увеличение ТР на

42,7% ( $p < 0,05$ ), мощности LF на 62,8% ( $p < 0,05$ ). Вклад LF увеличился на 19% ( $p < 0,05$ ). Достоверно ( $p < 0,05$ ) на 18,6% увеличились CV и на 4% мода. При этом ВПР уменьшился на 35,2% ( $p < 0,05$ ), таблица 3.

Таблица 3

**Изменение показателей variability ритма сердца после выполнения пробы ОР-10 в группе с пониженной статокинетической устойчивостью,  $M \pm m$**

Показатель	Фон	После выполнения пробы
Общая мощность спектра, $ms^2$	3997,09 $\pm$ 520,94	5702,55 $\pm$ 641,95*
LF, $ms^2$	1598,64 $\pm$ 228,94	2602,36 $\pm$ 235,26*
LF, %	41,08 $\pm$ 3,71	48,90 $\pm$ 4,43*
HF, %	26,95 $\pm$ 4,74	26,32 $\pm$ 4,68
CV, %	7,98 $\pm$ 0,64	9,46 $\pm$ 0,78*
Мода, с	0,72 $\pm$ 0,03	0,75 $\pm$ 0,02*
ВПР, отн. ед.	3,27 $\pm$ 0,24	2,12 $\pm$ 0,20*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

После статокинетических воздействий в группе с пониженной статокинетической устойчивостью в пробе с открытыми глазами достоверно ( $p < 0,05$ ) увеличились V и R на 17,7 на 32,8% соответственно. Показатель КФР в пробе с открытыми глазами снизился на 11,7% ( $p < 0,05$ ), в пробе с закрытыми глазами на 20,9% ( $p < 0,05$ ), таблица 4.

Таблица 4

**Изменение показателей компьютерной стабิโลграфии после выполнения пробы ОР-10 в группе с пониженной статокинетической устойчивостью,  $M \pm m$**

Показатель	Фон		После выполнения пробы	
	Проба с ОГ	Проба с ЗГ	Проба с ОГ	Проба с ЗГ
V, мм/с	11,68 $\pm$ 0,75	16,95 $\pm$ 1,69	13,75 $\pm$ 0,96*	19,76 $\pm$ 1,09
R, мм	4,91 $\pm$ 0,36	6,48 $\pm$ 0,52	6,52 $\pm$ 0,61*	7,41 $\pm$ 0,53
КФР, %	71,36 $\pm$ 2,81	55,43 $\pm$ 4,19	63,00 $\pm$ 3,88*	43,86 $\pm$ 3,44*

Примечание: \* –  $p < 0,05$ .

Кроме того, у них в пробе с открытыми глазами выявлена обратная связь средней силы между показателем КФР и TP ( $r = -0,64$ ;  $p < 0,05$ ), а также долевого вклада в нее медленных волн ( $r = -0,55$ ;  $p < 0,05$ ). В этой же пробе выявлена обратная связь между изменением V и ВПР ( $r = -0,67$ ;  $p < 0,05$ ). В пробе с закрытыми глазами изменение КФР находится в сильной обратной связи с TP ( $r = -0,76$ ;  $p < 0,05$ ) и средней силы с CV сердечного ритма ( $r = -0,60$ ;  $p < 0,05$ ).

**Заключение.** Показано, что в группе с хорошей статокинетической устойчивостью вестибулярная нагрузка приводит к изменению уровня функционирования сердечно-сосудистой и статокинетической систем. Спектральный и математический анализ variability ритма сердца свидетельствует о пере-

ходе управления сердечным ритмом на более высокий уровень, повышается роль симпато-адреналовой системы, что говорит о напряжении адаптационных процессов организма [6, 7]. В пробах как с открытыми, так и закрытыми глазами достоверно увеличиваются динамические показатели (V и КФР). При этом, факт конкордантного характера их изменения свидетельствует о напряженности всей статокинетической системы.

Выявленные изменения физиологических показателей отражают нормальное функциональное состояние организма, сопровождающееся напряжением его механизмов адаптации и гомеостаза на фоне данной вестибулярной нагрузки.

У лиц с пониженной статокинетической устойчивостью усиливается автономность регуляции сердечного ритма, увеличивается общее вегетативное влияние на синусовый узел как за счет симпатического, так и парасимпатического компонентов. Результаты спектрального анализа отражают усиление симпатического компонента, а расчетные (вариационная пульсометрия) – парасимпатический сдвиг вегетативного баланса. Децентрализация управления сердечным ритмом, дискоординированность показателей математического и спектрального анализа говорят о рассогласовании регуляторных систем вследствие перенапряжения адаптационных механизмов [8]. Статистически значимое ухудшение, а также градиент изменения показателей компьютерной стабילוграфии в пробах с закрытыми и открытыми глазами после выполнения вестибулярной пробы также свидетельствуют о перенапряжении функции статокинетической системы.

Таким образом, изменения показателей спектрального анализа регуляции ритма сердца и статокинетической функции свидетельствуют о перенапряжении адаптационных механизмов организма, его неспособности к адекватной ответной реакции на действие внешнего фактора [9]. Кроме того, между динамическими показателями компьютерной стабילוграфии и variability сердечного ритма имеют место сильные и средней силы корреляционные связи.

В целом, показатели статокинетической функции организма, полученные с помощью компьютерной стабילוграфии являются высокоинформативными. Следовательно, компьютерная стабילוграфия как и анализ variability сердечного ритма, дает возможность дифференцировано оценивать вероятные формы адаптивных состояний. Это открывает новые возможности в индивидуальной оценке функционального состояния организма человека при воздействии неблагоприятных факторов труда.

**Литература**

1. Слива, С.С. Отечественная компьютерная стабילוграфия: технический уровень, функциональные возможности и области применения / С.С. Слива // Журн. медицинская техника. – 2005. – Вып. 1, – С. 32–36.
2. Жильцова, И.И. Ранняя диагностика и прогнозирование функционального состояния лиц, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды / И.И. Жильцова // Сб. тез. докл. междунар. конф. «Научно-практические

- проблемы рационального потребления воздуха». – Алматы. Казахстан, 2000. – С. 10–11.
3. Методики исследований в целях врачебно-лётной экспертизы: пособие для членов ВЛК / под общ. ред. Е.С. Бережнова, П.Л. Слепенкова – М.: Издательский дом академии имени Н.Е. Жуковского, 1995. – 455 с.
  4. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения / В.М. Михайлов. – Иваново, 2000. – 200 с.
  5. Баевский, Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кирилов, С.З. Клицкин. – М.: Наука, 1984. – 221 с.
  6. Баевский, Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
  7. Благинин, А.А. Надёжность профессиональной деятельности операторов сложных эргатических систем: монография / А.А. Благинин. – СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2006. – 144 с.
  8. Баевский, Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. – М.: Медицина, 1979. – 298 с.
  9. Казначеев, В.П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения / В.П. Казначеев, Р.М. Баевский, Н.Д. Берсенева. – Л.: Медицина, 1980. – 207 с.

---

A.A. Blaginin, I.I. Zhiltsova, O.A. Annenkov

### **Assessment of pilot functional state with computer posturography in conditions of statokinetic stress**

***Abstract.** The evaluation of the functional state of the human body on the background of statokinetic influences has been done. It was shown that in individuals with good statokinetic resistance vestibular loads lead to stress adaptation mechanisms. Individuals with reduced statokinetic resistance have mismatch of regulatory mechanisms, adaptation and disruption of statokinetic overvoltage function. Spectral and mathematical analysis of heart rate variability indicates the transition of heart rate to a higher level, the role of the sympathetic-adrenal system, which tells about the stress adaptation processes of the body. In samples with both open and closed eyes dynamic performance significantly increased (average speed of the center of pressure and the quality of balance function). In this case, the fact that the nature of their concordant changes indicates tension throughout statokinetic system. It was found that indicators of statokinetic functions have good correlation with heart rate variability and allow the assessment of functional status and the adaptive response of an organism to action statokinetic loads. In general, indicators statokinetic body functions obtained by computer stabilography are highly informative. Consequently, computer stabilography as the analysis of heart rate variability, enables differentiated assess the likely form of adaptive states. This opens up new possibilities in the individual assessment of the functional state of the human body under the influence of unfavorable factors of labor.*

***Key words:** functional state, organism adaptation, statokinetic function, heart rate variety, computer posturography, statokinetic impact, aviation specialist, aircrew, flight safety.*

Контактный телефон: 8-981-129-77-80; e-mail: bnm.oleg@yandex.ru