

Динамика показателей компьютерной стабิโลграфии при статозергометрической пробе

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

Резюме. Экспериментально определялась информационная значимость и целесообразность применения показателей компьютерной стабิโลграфии для оценки функциональных и физических возможностей летчиков при проведении статозергометрической пробы. Проанализирован спектр статокинезиограммы и выявлены статистически значимые корреляционные связи его показателей с данными variability сердечного ритма, характеризующими активность вегетативной нервной системы после интенсивной статической мышечной нагрузки. Показано, что статистически значимые изменения показателей спектра статокинезиограммы были в зонах низкой и очень низкой частоты как по сагиттали, так и по фронтоли. У испытуемых после нагрузки отмечается повышение уровня функционирования как парасимпатического, так и симпатического отделов вегетативной нервной системы, а также однонаправленные изменения скорости перемещения центра давления и уменьшение качества функции равновесия как при открытых, так и закрытых глазах, что указывает на перенапряжение адаптационных механизмов. Использование компьютерной стабิโลграфии существенно упрощает процедуру оценки функционального состояния организма, а также значительно расширяет область её практического использования, в отличие от variability сердечного ритма, недостатком которой являются сложность проводимых исследований, требующих большего времени и подготовленного специалиста. Представляется возможным применение полученных данных для выявления критериев оценки переносимости статозергометрической пробы. 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: компьютерная стабิโลграфия, статозергометрическая проба, функциональное состояние, variability сердечного ритма, спектральный анализ, вариационная пульсометрия, статокинезиограмма, вегетативная нервная система, индекс вегетативного равновесия.

Введение. Повышенные маневренные характеристики самолета ужесточают требования к профессиональной подготовке летчика и его индивидуальной устойчивости к факторам авиационного полета. В маневренном полете деятельность летчика носит сложный, совмещенный характер и протекает в условиях значительного дефицита времени, быстрого изменения высот и скоростей полета. Одними из факторов, которые приводят к снижению профессиональной работоспособности на этих самолетах, являются пилотажные перегрузки [1]. Последние оказывают воздействие на организм летчика и затрудняют решение боевых задач. В связи с этим, лётному составу систематически выполняющему полёты с перегрузками более 7 ед. (не менее 4–5 раз в месяц), на ежеквартальных медосмотрах проводят статозергометрическую пробу (СП) в полном объёме. Она предназначена для оценки функциональных возможностей и физической подготовленности лётчиков к большим пилотажным перегрузкам. Проба имитирует в определённой степени напряжение мышц брюшного пресса и нижних конечностей лётчика, создаваемое с целью повышения устойчивости к пилотажным перегрузкам [10].

Переносимость СП в настоящее время оценивается только по артериальному давлению (АД), частоте сердечных сокращений (ЧСС) и величине удержания максимального статического усилия в течение определённого времени, что не дает возможности учета

системного ответа организма и прогнозирования динамики функционального состояния (ФС) летчика.

Изменения устойчивости организма авиационных специалистов к действию факторов лётного труда обусловлены, главным образом, недостаточными адаптационными возможностями организма, нарушениями регуляции физиологических функций. Поэтому в авиационной медицине нашло широкое применение исследование variability сердечного ритма (ВСР) как индикатора адаптационных реакций целостного организма [9]. В последние годы для оценки ФС организма при воздействии экстремальных факторов окружающей среды также начали применять компьютерную стабิโลграфию. Это связано с тем, что статокинетическая функция представляет собой результат сочетанной работы вестибулярного, зрительного, слухового, проприо- и интероцептивного анализаторов, а также центральной нервной системы, что позволяет расценивать ее как интегральный показатель ФС организма человека [6].

Компьютерная стабิโลграфия имеет ряд преимуществ, необходимых для повседневного применения в практике врача. Это прежде всего комфортность, малое время обследования, информативность и высокая чувствительность, возможность оценки уровня адаптированности к условиям среды [7].

Поэтому исследование возможностей компьютерной стабิโลграфии для оценки переносимости СП у лётчиков представляется перспективным направлением, позволяющим повысить результативность

работы врача в решении основных задач медицинской службы Вооруженных сил.

Цель исследования. Определить информационную значимость и целесообразность применения показателей компьютерной стабильности для оценки функциональных и физических возможностей летчиков при проведении СП.

Материалы и методы. Проведено комплексное экспериментальное исследование 16 испытуемых в возрасте от 19 до 22 лет.

Для оценки функциональных возможностей и физической подготовленности к полетам использовалась СП в полном объеме согласно Руководству по медицинскому обеспечению полетов авиации Вооруженных сил Союза Советских Социалистических Республик [10].

ФС организма до и после СП оценивалась по данным АД, ЧСС, ВСР, компьютерной стабильности. ВСР оценивалась с помощью спектрального анализа и вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому с помощью аппаратно-программного комплекса «ВНС-Спектр» общества с ограниченной ответственностью «Нейрософт» (Иваново).

Компьютерная стабильность проводилась с использованием компьютерного стабильноанализатора с обратной биологической связью «Стабилан – 01-2» закрытого акционерного общества «ОКБ Ритм» (Таганрог). Анализируются следующие показатели: площадь статокинезиограммы (S), средний радиус отклонения (R) центра давления (ЦД), средняя скорость перемещения (V) ЦД, качество функции равновесия (КФР), а также показатели спектрального анализа статокинезиограммы: частота первого (F_1), второго (F_2), третьего (F_3) пика, амплитуда первого (A_1), второго (A_2), третьего (A_3) пика, уровень 60% мощности спектра (60%Pw), мощность первой (Pw_1), второй (Pw_2), третьей (Pw_3) зоны, отдельно для фронтальной и сагиттальной составляющих.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что после выполнения СП уровень функционирования поструральной системы при воздействии кратковременной статической физической нагрузки максимальной интенсивности (статозргометрическая проба) ухудшился. Это подтверждается статистически значимым увеличением V ЦД на 49% ($p < 0,01$) в пробе с открытыми глазами и на 49% ($p < 0,01$) в пробе с закрытыми глазами, а также статистически значимым уменьшением КФР, % на 14% ($p < 0,01$) с ОГ и на 21% ($p < 0,01$) с ЗГ (табл. 1). Однотипные изменения при открытых и закрытых глазах указывают на чрезмерное напряжение механизмов адаптации [4].

Изменения показателей спектра статокинезиограммы в научной литературе недостаточно освещены и в основном касаются данных, полученных при различных заболеваниях и у спортсменов [11, 13], поэтому представляет интерес изучение характера их изменений у здоровых людей при воздействии факторов летного труда. В настоящее время при спектральном анализе статокинезиограммы выделяют 3 частотные

Таблица 1

Показатели статокинезиограммы у испытуемых до и после СП, $\bar{X} \pm \delta$

Показатель		СП	
		исходно	после
S статокинезиограммы, мм ²	ОГ	94,85±75,89	91,19±37,21
	ЗГ	125,15±89,82	139,59±128,22
R отклонения тела, мм	ОГ	3,51±1,32	3,61±0,94
	ЗГ	3,98±1,24	4,07±1,85
V, мм/с	ОГ	7,26±1,89	10,83±3,34**
	ЗГ	10,43±4,70	14,81±7,33**
КФР, %	ОГ	88,57±5,80	76,23±13,57**
	ЗГ	78,48±15,08	62,36±22,73**

Примечание: * – различия по сравнению с исходными показателями СП, $p < 0,01$.

зоны, физиологическая интерпретация изменений которых в отличие от спектра ВСР недостаточна ясна.

При спектральном анализе статокинезиограммы статистически значимые изменения наблюдались при ЗГ (табл. 2). Так, по фронтальной и сагиттальной на 9% и 13% соответственно увеличивается 60%Pw_ф и 60%Pw_с ($p < 0,05$). При этом отмечается уменьшение мощности спектра в зоне очень низкой частоты Pw1_ф на 13% и Pw1_с на 22% ($p < 0,05$), а в зоне низкой частоты, связанной непосредственно с регуляцией позы, наоборот, увеличение уровня мощности – Pw2_ф на 6% и Pw2_с на 11% ($p < 0,05$).

У всех испытуемых после СП показатель процента колебаний очень низкой частоты в общей мощности спектра (%VLF), по данным ВСР, статистически значимо ($p < 0,01$) уменьшился на 58% (табл. 3), что свидетельствует о выраженном постнагрузочном энергодефиците [3]. Мощность спектра кардиоритма в области низких частот (LFnorm) статистически значимо ($p < 0,05$) уменьшилась на 25%. Полученные данные свидетельствуют о снижении активности влияния вазомоторного центра на сосудистый тонус [2].

Процент колебаний высокой частоты в общей мощности спектра (%HF) после проведения СП статистически значимо ($p < 0,01$) увеличился на 86%, что указывает на выраженное смещение вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического отдела.

Показатель соотношения мощностей спектра диапазонов низких и высоких частот (LF/HF) после проведения СП статистически значимо ($p < 0,05$) снизился, что вероятно связано с увеличением мощности LF.

После статозргометрической пробы, по данным вариационной пульсометрии, у всех испытуемых отмечается повышенное напряжение механизмов регуляции вегетативной нервной системы, граничащее со стадией перенапряжения по Р.М. Баевскому [2, 8]. Об этом свидетельствует статистически значимое ($p < 0,01$) снижение моды (Mo) на 12%, увеличение амплитуды моды (AMo) на 35% ($p < 0,05$), индекса вегетативного равновесия (ИВР) на 93,5% ($p < 0,05$) и индекса напряжения регуляторных систем (ИН) в 2,2 раза ($p < 0,05$) (табл. 4).

Таблица 2

Изменение показателей спектра статокенизограммы при СП, $X \pm \delta$

Показатель		По фронтали		По сагиттали	
		до	после	до	после
60%Pw, у.е.	ОГ	0,75±0,29	0,84±0,13	0,76±0,21	0,72±0,15
	ЗГ	0,78±0,22	0,87±0,22*	0,69±0,13	0,78±0,21*
Pw1, %	ОГ	25,87±10,08	23,67±7,58	31,13±8,65	27,40±9,45
	ЗГ	21,13±7,79	18,40±5,91*	27,33±6,42	21,33±9,03*
Pw2, %	ОГ	58,2±10,37	59,73±8,63	52,73±7,75	56,73±9,19
	ЗГ	62,13±7,79	65,60±5,10*	58,13±7,40	64,33±8,64*
Pw3, %	ОГ	16,20±3,59	16,53±3,73	16,13±3,87	16,00±3,55
	ЗГ	15,73±2,89	16,13±2,39	14,47±3,66	14,40±3,40

Примечание: различия по сравнению с исходными показателями СП: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Таблица 3

Изменения показателей спектра ВСР при СП, $X \pm \delta$

Показатель	СП	
	до	после
TP, мс2	5364,14±4306,56	6391,50±10518,01
VLF, мс2	1965,43±1558,03	648,89±728,73*
LF, мс2	1790,50±1662,81	1446,00±1688,73
LFnorm, у.е.	52,12±13,83	37,90±18,40*
HF, мс2	1608,43±1481,15	4304,58±8295,69
HFnorm, у.е.	47,86±13,84	62,10±18,40*
LF/HF	1,24±0,59	0,86±0,98*
%VLF	39,46±11,95	16,69±12,21**
%LF	32,07±10,97	30,34±12,20
%HF	28,48±8,39	52,97±19,65**

Примечание: TP – общая мощность спектра ВСР; HFnorm – нормализованная мощность спектра высокой частоты; различия по сравнению с исходными показателями СП: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Спектральный анализ ритма сердца позволил выявить сдвиг вегетативного баланса в сторону парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС). Изменения показателей вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому свидетельствуют о преобладании симпатических влияний ВНС [3, 8].

Подобный дисбаланс ВНС объясняется тем, что при выполнении статической работы мышцы испытуемого находятся в изометрическом режиме. При этом активные мышечные сокращения непрерывны, что характеризует статическую работу как более утомительную по сравнению с динамической работой. Во время такой работы отмечается значительное снижение кровоснабжения мышц при одновременном повышении АД и ЧСС. Изменение вегетативных функций демонстрирует феномен статических усилий (феномен Линдгарта – Верещагина): в момент выполнения работы они уменьшаются, а после работы наблюдается резкое повышение этих показателей [12]. Таким образом, в постнагрузочном периоде статической работы, возможно, происходит активация

Таблица 4

Изменения показателей вариационной пульсометрии при СП, $X \pm \delta$

Показатель	Описательные статистики $X \pm \delta$	
	до пробы	после пробы
ЧСС, уд/мин	66,00±8,70	76,14±13,29**
M, с	0,93±0,13	0,82±0,16**
СК, с2	0,07±0,03	0,07±0,05
Mo, с	0,93±0,14	0,82±0,16**
Амо, %	34,79±12,09	46,68±16,05*
Me, с	0,92±0,14	0,81±0,16**
BP, с	0,38±0,18	0,44±0,52
ИВР, у.е.	132,29±108,90	255,96±268,39*
ПАПР, у.е.	39,38±18,00	61,11±27,72**
ВПР, у.е.	3,83±2,49	6,24±5,56
ИН, у.е.	78,48±73,60	175,62±196,22*

Примечание: M – среднее арифметическое значение продолжительности интервала R – R; СК – среднеквадратичное отклонение продолжительности интервала R – R; BP – вариационный размах; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции; ВПР – вегетативный показатель ритма; различия по сравнению с исходными показателями СП: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

не только симпатического, но и парасимпатического отделов ВНС, что может свидетельствовать о перенапряжении адаптационных механизмов.

Выявлена умеренная прямая корреляционная связь между показателем Pw1_ф с ЗГ и показателями %HF и HFnorm и умеренная обратная связь с LFnorm, LF/HF, %VLF, ИН, ИВР (табл. 5). Таким образом, возможно Pw1_ф с ЗГ связан с активностью парасимпатического отдела ВНС.

В свою очередь Pw2_ф с ЗГ и уровень 60%Pw имеют прямые сильные корреляционные связи с показателями вариационной пульсометрии LFnorm, LF/HF, %VLF, ИН, ИВР и умеренную обратную связь с %HF и HFnorm. Следовательно, Pw2_ф с ЗГ и уровень 60%Pw, возможно, связаны с активностью симпатического отдела ВНС.

Заключение. Установлено, что у испытуемых после кратковременной статической нагрузки мак-

Таблица 5
Корреляционные связи показателей ВСР после проведения СП с показателями компьютерной стабильности

Показатель ВСР	Показатели стабильности		
	Pw1ф с ЗГ	Pw2ф с ЗГ	60%Pw сс ЗГ
LFnorm, y. e.	-0,613*	0,687**	0,549*
HFnorm, y. e.	0,622*	-0,676*	-0,545*
LF/HF	-0,613*	0,687**	0,549*
%VLF	-0,692**	0,753**	–
%HF	0,675*	-0,77**	-0,552*
IBP, y. e.	–	0,555*	–
ИН, y. e.	–	0,577*	–

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

симальной интенсивности имеется тенденция к развитию перенапряжения адаптационных механизмов за счет повышения уровня функционирования как парасимпатического, так и симпатического отделов ВНС. Выявлены корреляционные связи сильной и средней силы между данными вариационной пульсометрии и компьютерной стабильности, что свидетельствует о возможности использования показателей стабильности для оценки переносимости СП.

Использование компьютерной стабильности существенно упрощает процедуру оценки ФС организма, а также значительно расширяет область её практического использования [5, 7, 11] в отличие от вариационности сердечного ритма, недостатком которой являются сложность проводимых исследований, требующих большего времени и подготовленного специалиста. Применение компьютерной стабильности для выявления критериев оценки переносимости СП позволит в дальнейшем значительно повысить результативность работы авиационного врача в решении основных задач службы авиационной медицины Вооруженных сил.

Спектральный анализ стабильности, как методика оценки ФС организма, требует дальней-

шего, более глубокого изучения для определения параметров переносимости СП и объяснения патогенетических изменений механизмов регуляции.

Литература

1. Анненков, О.А. Оценка ФС организма лётчика с помощью компьютерной стабильности в условиях статокINETических нагрузок / О.А. Анненков, А.А. Благинин, И.И. Жильцова // Вестн. Росс. 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 вариационности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р.М. Баевский [и др.]. – М., 2002. – 53 с.
4. Быков, А.Т. Показатель качества функции равновесия – маркер психофизиологической дезадаптации у лиц опасных профессий / А.Т. Быков [и др.] // Мат. Всеросс. научн.-технич. конф. «Медицинские информационные системы – МИС-2006». – Таганрог, 2006. – С. 24–27.
5. Галушкина, Е.А. Использование метода компьютерной стабильности при оценке ФС операторов ВМФ различного профиля деятельности / Е.А. Галушкина [и др.] // Морской мед. журн. – 2008. – № 1, 2. – С. 46–50.
6. Гурфинкель, В.С. Стабилизация положения тела – основная задача позы регуляции / В.С. Гурфинкель [и др.] // Физиология человека. – 1981. – Т. 7. – № 3. – С. 400–410.
7. Жильцова, И.И. Ранняя диагностика и прогнозирование ФС 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.
8. Михайлов, В.М. Вариационность ритма сердца: опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново, 2002. – 290 с.
9. Парин, В.В. Космическая кардиология / В.В. Парин [и др.]. – М.: Медицина, 1967. – 244 с.
10. Руководство по медицинскому обеспечению полётов авиации Вооруженных сил СССР. – М.: Военное издательство, 1991. – С. 153–156.
11. Сковорцов, Д.В. Клинический анализ движений. Стабильность / Д.В. Сковорцов. – М.: НМФ «МБН», 2000. – 188 с.
12. Солодков, А.С. Физиология спорта: учебное пособие / А.С. Солодков, Е.Б. Сологуб. – СПб.: СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 1999. – С. 102.
13. Kejonen, P. Body movements during postural stabilization / P. Kejonen. – Oulu, 2002. – 78 p.

I.I. Zhiltsova, O.V. Kotov, N.V. Alzhev

Dynamics of computer posturography data during statoergometric testing

Abstract. The experimental study has been carried out in order to estimate the informational significance and advisability of using computer posturography data for evaluation of functional and physical abilities of pilots during statoergometric testing. The study allowed to analyze the statokinesigram specter and to discover statistically significant correlative links of its rate with variability of heart rhythm that characterize the activity of autonomic nervous system after intensive static muscular load. The study has revealed statistically significant changes of statokinesigram specter figures in the low frequency and very low frequency zones both sagittally and frontally. After the muscular load, research subjects displayed a rise in functioning of both parasympathetic and sympathetic sections of autonomic nervous system, as well as homogenous changes in speed of pressure center travel and decrease in quality of equilibrium function both with open and closed eyes, which means acceleration of adaptation mechanisms. The use of computer posturography essentially simplifies the evaluation of functional state of organism, and expands the area of its practical application, in contrast with heart rate variability, which requires complicated time-consuming research and qualified personnel. The collected data could be used to discover criteria for evaluating statoergometric testing survivability, which will allow to improve the efficiency of aviation doctors' work, and to develop the examination program of professionals working in extreme environments that lead to changes in functional state of organism.

Key words: computer posturography, statoergometric testing, functional state, variability of heart rhythm, spectral analysis, variation pulsometry, statokinesigram, autonomic nervous system, index vegetative balance.

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