

УДК 61:611.08

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЙ ПЕРЕНОСИМОСТИ КОСМОНАВТАМИ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ПЕРЕГРУЗОК НА ЦЕНТРИФУГАХ С 2000 ПО 2020 ГОД**

К.С. Киреев, А.С. Заверюха, Д.Н. Луцевич, И.В. Коновалова

Канд. мед. наук К.С. Киреев; А.С. Заверюха; Д.Н. Луцевич;  
И.В. Коновалова (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье проведен ретроспективный анализ результатов обследований переносимости продольных и поперечных перегрузок космонавтами на центрифугах ЦФ-7 и ЦФ-18 в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с 2000 по 2020 год. Изложены цели и задачи обследований на центрифугах, описан краткий порядок проведения обследований. Анализ показал, что 98,1 % обследований выявили хорошую и удовлетворительную устойчивость к воздействию перегрузок. Для обследований с пониженной устойчивостью к воздействию перегрузок выполнен анализ их причин.

**Ключевые слова:** устойчивость к перегрузке, центрифуга, факторы космического полета, космонавты

### **Study of Cosmonauts' Ability to Tolerate Longitudinal G and Transverse G on Centrifuges During the Period from 2000 to 2020**

**K.S. Kireev, A.S. Zaveryukha, D.N. Lutsevich, I.V. Konovalova**

The paper presents the retrospective analysis of human longitudinal and lateral acceleration tolerance examination carried out on the TsF-7 and TsF-18 centrifuges at the "Yu.A. Gagarin R&T CTC" FSBO from 2000 through 2020. Also, it gives the goals and objectives of the survey and describes its procedure. The analysis has shown good or satisfactory tolerance to G-loads in 98.1 % of examinations. The causes of decreased G-load tolerance have been analyzed.

**Keywords:** G-tolerance, centrifuge, space flight factors, cosmonauts

Уровень современной космической техники не позволяет исключить влияние перегрузок на организм человека, поэтому при осуществлении космических полетов воздействие перегрузок в направлении грудь – спина (+G<sub>x</sub>) является неизбежным спутником космонавтов при выведении космического корабля (КК), его маневрировании и возвращении на Землю [1]. В то же время полеты на высокоманевренных самолетах в период прохождения специальной летной подготовки связаны с воздействием на организм космонавтов перегрузок в направлении голова – таз (+G<sub>z</sub>).

Величина перегрузок при выполнении космических полетов зависит от типа применяемых ракета-носителей, конструктивных особенностей КК, траектории при вхождении в плотные слои атмосферы [2]. Величина

и длительность перегрузок при прохождении специальной летной подготовки зависят от пилотажного приема, скорости и радиуса разворота самолета [3].

В настоящее время при штатном выведении КК на орбиту и спуске его на Землю с использованием аэродинамических качеств КК величина перегрузок в направлении грудь – спина не превышает 5 g. Плановым спуском с орбиты при различных расчетных нештатных ситуациях является баллистический спуск, позволяющий в относительно короткий промежуток времени осуществить посадку КК. При баллистическом спуске наиболее вероятная максимальная величина перегрузки в направлении грудь – спина колеблется в пределах 7,5–8,5 g, но может достигать и 13 g [4].

При полетах на высокоманевренных самолетах величина перегрузки в направлении голова – таз может кратковременно достигать 5 g [5].

Устойчивость к воздействию перегрузок определяется рядом физических и физиологических факторов. Среди физических факторов существенное значение имеют: величина перегрузки, длительность воздействия, направление результирующего вектора перегрузки по отношению к продольной оси тела человека, градиент нарастания перегрузки, характер режима воздействия («плато» или «пик»), использование защитных систем и креплений, положение тела и конечностей, условия внешней среды [6].

Среди физиологических факторов наибольшее значение следует придавать индивидуальной устойчивости, которая зависит от состояния здоровья, возраста, степени развития мышечной системы, исходного функционального состояния, тренированности к воздействию перегрузок, психологической подготовки и мотивации [7].

Обследования на центрифугах (ЦФ) являются функциональными нагрузочными пробами, которые прогнозируют переносимость радиальных ускорений. Результаты обследований на ЦФ позволяют получить данные не только об устойчивости организма к воздействию перегрузок, но и об особенностях и отклонениях в регуляции основных физиологических функций в условиях стресса, которые трудно, а иногда и невозможно выявить в условиях обычного клинического обследования.

## **Воздействие перегрузок на организм человека**

Воздействие радиальных ускорений вызывает увеличение веса тела, приводя к смещению различных органов и тканей в направлении воздействия перегрузки. В ответ на воздействие радиальных ускорений в организме происходят сложные функциональные перестройки, направленные на компенсацию происходящих изменений – учащается частота дыхания (ЧД) и частота сердечных сокращений (ЧСС), повышается сосудистый тонус и артериальное давление (АД) в плечевой артерии [8]. При воздействии перегрузок в направлении грудь – спина обследуемые испытывают затруднение дыхания, особенно вдоха, что приводит к уменьшению легочной вентиляции, снижению

содержания оксигемоглобина в крови. Таким образом, расстройства в дыхательной и сердечно-сосудистой системах являются ведущими факторами в развитии нарушений, возникающих при воздействии перегрузок [9].

Действие перегрузок может сопровождаться расстройством зрения. Субъективное восприятие зрительных расстройств чрезвычайно разнообразно: «серый туман», «серая пелена», окрашивание предметов в различные тона, потеря четкости изображения, появление в поле зрения «звездочек», «пятнышек», «черной пелены». Все эти нарушения влекут за собой ослабление или полную потерю оператором ориентировки, невозможность следить за приборами и ограничивают работоспособность. Появление зрительных расстройств является критерием предела переносимости перегрузок [10].

Однако степень приспособления к воздействию перегрузок не беспрельдна. При воздействии определенных по величине и продолжительности перегрузок наступает декомпенсация, выражающаяся чаще всего в резком ухудшении кровообращения сетчатой оболочки глаза и головного мозга, что приводит вначале к расстройству периферического, а затем центрального зрения и потере сознания.

Развитие у космонавта зрительных расстройств в полете на самолете, а тем более потеря сознания, могут явиться предпосылками к летным происшествиям. Поэтому обследования устойчивости космонавтов к воздействию перегрузок на ЦФ имеют важное значение для врачебной экспертизы.

## **Цели и задачи обследований на центрифуге**

Обследования устойчивости к воздействию поперечных и продольных перегрузок на ЦФ проводятся с целью решения экспертных задач в интересах медицинского освидетельствования космонавтов, а также для подготовки к воздействию неблагоприятных факторов космического полета.

При вращениях на ЦФ решаются следующие задачи:

- определение устойчивости к воздействию длительных перегрузок, действующих в направлении грудь – спина до +8,0 g продолжительностью 30 с;
- определение устойчивости к воздействию длительных перегрузок, действующих в направлении голова – таз до +5,0 g продолжительностью 30 с;
- выработка адекватной психологической реакции на воздействие перегрузок;
- приобретение и поддержание рациональных навыков поведения (целесообразный тип дыхания и мышечного напряжения) во время воздействия перегрузок, способствующих совершенствованию компенсаторно-приспособительных механизмов сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем;
- получение данных об особенностях и отклонениях в регуляции основных физиологических функций;
- повышение устойчивости к воздействию длительных перегрузок.

Обследование устойчивости к воздействию длительных перегрузок в направлении грудь – спина проводится:

- при первичном медицинском обследовании претендентов в кандидаты в космонавты;
- при ежегодном медицинском обследовании кандидатов в космонавты, космонавтов, инструкторов-космонавтов и участников космического полета, не проходящих летную подготовку;
- при медицинском обследовании космонавтов, инструкторов-космонавтов и участников космического полета перед включением в состав экипажа;
- в период подготовки к космическому полету астронавтов в составе экипажа.

Обследование устойчивости к воздействию длительных перегрузок в направлении голова – таз проводится:

- при первичном медицинском обследовании претендентов в кандидаты в космонавты;
- при ежегодном медицинском обследовании кандидатов в космонавты, космонавтов и инструкторов-космонавтов, проходящих летную подготовку.

Ознакомительно-тренировочные вращения по графикам выведения КК на орбиту и спуска с орбиты проводятся всем членам экипажа в период подготовки к космическому полету в составе экипажа.

## **Порядок проведения обследований**

Обследования устойчивости к поперечным и продольным перегрузкам являются заключительным этапом медицинского освидетельствования космонавтов. Для получения допуска к вращениям на ЦФ космонавты проходят тщательное клиническое обследование.

Обследования проводит испытательно-тренировочная бригада, в состав которой входит ответственный врач и две медицинские сестры, осуществляющие медицинское обеспечение обследований.

Ответственный врач отвечает за проведение и обеспечение безопасности обследований по медицинским критериям. Медицинские сестры отвечают за правильное наложение электродов на тело обследуемого для регистрации физиологических показателей, а также за готовность медицинских средств к оказанию медицинской помощи.

Обследования устойчивости к поперечным и продольным перегрузкам проводятся на ЦФ в первой половине дня, не ранее 1,5 ч и не позднее 4 ч после приема пищи. В один день обследуемому проводится не более двух вращений с перегрузкой в направлении грудь – спина или голова – таз. Вращения в направлении грудь – спина проводятся с перегрузкой +4,0 g продолжительностью 60 с, считая от момента достижения заданной величины, и +8,0 g продолжительностью 30 с. Положение обследуемого в кресле ЦФ

должно соответствовать штатному, когда продольная ось туловища располагается под углом  $78-80^\circ$  к направлению воздействия результирующего вектора перегрузки, при этом колени находятся на уровне глаз.

Вращения с перегрузкой в направлении голова – таз проводятся с перегрузками  $+3,0$  g и  $+5,0$  g продолжительностью по 30 с, считая от момента достижения заданной величины. Продольная ось туловища обследуемого в кресле центрифуги располагается под углом  $15-25^\circ$  к направлению воздействия результирующего вектора перегрузки.

Продолжительность каждого обследования 60 мин.

Перед вращением ответственный врач проводит инструктаж о порядке проведения обследования, об особенностях физиологического действия радиальных ускорений на организм человека, правилах поведения в кабине ЦФ, а также дает рекомендации по целесообразному типу дыхания и мышечного напряжения во время воздействия перегрузок.

После записи фоновых значений регистрируемых физиологических показателей (ЧСС, АД, АД) и убедившись в наличии двусторонней радиосвязи, ответственный врач дает команду на запуск ЦФ.

Как в процессе вращений, так и после их окончания (до нормализации основных физиологических показателей), осуществляется непрерывное врачебное наблюдение за внешним видом (окраской кожных покровов, двигательным и речевым поведением) обследуемого. Так же производится непрерывный мониторинг и регистрация следующих параметров оператора:

- ЭКГ с наложением электродов по Нэбу, частота пульса по ЭКГ;
- АД в сосудах мочки уха и в плечевой артерии;
- частота дыхания;
- электромиограмма с мышц грудной клетки и передней брюшной стенки;
- время простой сенсомоторной реакции на световые сигналы, расположенные в области центрального и периферического полей зрения;
- острота зрения по специальному табло;
- видеозапись лица.

После окончания вращений ответственный врач проводит опрос и осмотр, обследуемый записывает в протокол свои субъективные ощущения и производится комплексная оценка устойчивости к воздействию длительных перегрузок.

### **Анализ результатов обследований на ЦФ**

С 2000 по 2020 год в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» было выполнено 948 обследований: 478 обследований устойчивости к воздействию длительных перегрузок в направлении грудь – спина и 470 обследований устойчивости к воздействию длительных перегрузок в направлении голова – таз на ЦФ-7 и ЦФ-18 (табл. 1, 2, 3). Произведен ретроспективный анализ результатов обследований.

Таблица 1

Распределение операторов при воздействии перегрузок грудь – спина

Группа операторов	Количество	% от общего числа
Кандидаты в космонавты, космонавты, инструкторы-космонавты	278	58,2
Претенденты в кандидаты в космонавты (отбор)	64	13,4
Участники космического полета	40	8,4
Астронавты	96	20

Таблица 2

Распределение операторов при воздействии перегрузок голова – таз

Группа операторов	Количество	% от общего числа
Кандидаты в космонавты, космонавты, инструкторы-космонавты	385	81,9
Претенденты в отряд космонавтов (отбор)	68	14,5
Участники космического полета	17	3,6

Таблица 3

Общее распределение операторов

Группа операторов	Количество	% от общего числа
Кандидаты в космонавты, космонавты, инструкторы-космонавты	663	69,95
Претенденты в кандидаты в космонавты (отбор)	132	13,95
Участники космического полета	57	6
Астронавты	96	10,1

Устойчивость к воздействию продольных перегрузок подразделяется на хорошую, удовлетворительную и пониженную.

Подавляющее большинство обследований (930, 98,1 %) выявили хорошую (894, 94,3 %) и удовлетворительную (36, 3,8 %) устойчивость к воздействию поперечных и продольных перегрузок, что позволяет врачебно-экспертной комиссии (ВЭК) вынести заключение о годности обследуемых к специальным тренировкам и летной работе.

Особого внимания заслуживает анализ 18 случаев (1,9 %) выявленной пониженной переносимости поперечных и продольных перегрузок, так как данное обстоятельство не позволяет ВЭК вынести заключение о годности обследуемых к специальным тренировкам и летной работе.

Причинами пониженной устойчивости операторов к воздействию продольных и поперечных перегрузок являлись:

- ЭКГ-признаки нарушения кровообращения сердца (1 случай);
- нарушения ритма и проводимости сердца (15 случаев, в том числе 2 случая с длительными периодами восстановления после вращения);

- кратковременная потеря сознания (1 случай);
- выраженное расстройство зрения (1 случай).

В случае выявления пониженной устойчивости операторов к воздействию перегрузок проводится повторное обследование, решение о допуске к которому и его сроки определяет ВЭК.

Повторные обследования проводились в 10 случаях, из которых в 9 случаях выявлена более высокая устойчивость операторов (5 раз – хорошая, 4 раза – удовлетворительная), в одном случае устойчивость осталась пониженной.

В четырех случаях повторные обследования в рамках того же освидетельствования не проводились, что привело к вынесению ВЭК заключения о временной негодности к специальным тренировкам и к летной работе.

## Выводы

Определение устойчивости к воздействию поперечных и продольных перегрузок проводится на заключительном этапе медицинского освидетельствования космонавтов на предмет годности к космическому полету, к специальным тренировкам и специальной летной подготовке. Тщательное предварительное клиническое обследование космонавтов перед воздействием перегрузок позволяет допускать к вращениям на ЦФ только практически здоровых людей. В то же время анализ результатов обследований на ЦФ показал, что вращения на ЦФ позволяют выявлять отклонения в регуляции основных физиологических функций в условиях стресса, которые трудно, а иногда и невозможно выявить в условиях обычного клинического обследования.

Все отклонения в состоянии операторов, выявленные в процессе обследований на ЦФ, носили преходящий характер и не повлекли негативных последствий для их здоровья. Оказание медицинской помощи в процессе обследований не потребовалось.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Котовская А.Р., Вартбаронов Р.А. Длительные линейные ускорения // Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание в 5-ти томах. – М.: Наука, 1997.
- [2] Котовская А.Р. Переносимость человеком перегрузок применительно к практике космических полетов / Автореф. докт. дисс. – М. 1970.
- [3] Авиационная медицина: учебник / под ред. Н.М. Рудного, В.И. Копанева – Л.: ВМедА, 1984.
- [4] Котовская А.Р. Переносимость космонавтами перегрузок (+Gx) в полетах на кораблях типа «Союз» в экспедициях МКС-1, 6–9, ЭП-1–7 МКС / А.Р. Котовская, И.Ф. Виль-Вильямс, В.Ю. Лукьянюк, Ю.В. Катаев // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005. – № 5(39).
- [5] Суворов П.М., Сидорова К.А. Длительные перегрузки (+Gz) и прогнозирование их переносимости // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 1995. – № 2(29). – С. 13.

- [6] Степанцов В.И., Еремин А.В. Об основных принципах построения схем тренировочных вращений на центрифуге // *Космическая биология*. – 1969. – Т. 3, № 6. – С. 47–53.
- [7] Котовская А.Р. Переносимость перегрузок +Gz лицами нелетных профессий различного возраста / А.Р. Котовская, И.Ф. Виль-Вильямс, В.Ю. Лукьянюк // *Космическая биология и медицина*. – 1986. – № 4. – С. 25.
- [8] Основы авиационной и космической медицины: учебник / под ред. И.Б. Ушакова. – М.: Слово, 2007.
- [9] Барер А.С. Предел переносимости: очерки об устойчивости человека к неблагоприятным факторам авиационного и космического полетов. – М.: Блок-Информ-Экспресс, 2012.
- [10] Вартбаронов Р.А. Изменения функции зрения при действии перегрузок / Вартбаронов Р.А., Котовская А.Р., Ешанов Н.Х., Суворов П.М. // *Авиакосмическая медицина*. – 1971. – № 3. – С. 71–84.

## REFERENCES

- [1] Kotovskaya A.R., Vartbaronov R.A. Long-term linear accelerations, Space biology and medicine, Joint Russian-American edition in 5 vol. Moscow: “Nauka” Publ., 1997.
- [2] Kotovskaya A.R. Human tolerance for g-force in relation to manned space flights / Doctoral dissertation abstract, Moscow, 1970.
- [3] Rudny N.M., Kopanev V.I. [ed. by]. Aviation medicine: textbook, Leningrad: VMedA, 1984.
- [4] Kotovskaya A.R., Will-Williams I.F., Lukyanuk V.Yu., Kataev Yu.V. GX-tolerance by the cosmonauts of ISS crews 1, 6–9 and visiting crews 1–7 aboard Soyuz vehicles, *Aerospace and Environmental Medicine*, 2005, No 5(39).
- [5] Suvorov P.M., Sidorova K.A. Long +GZ loads and prediction of their tolerance, *Aerospace and Environmental Medicine*, 1995, No 2(29), p. 13.
- [6] Stepantsov V.I., Eremin A.V. Basic principles for constructing procedures of training centrifuge rides, *Space Biology*, 1969, Vol. 3, No 6, pp. 47–53.
- [7] Kotovskaya A.R., Wil-Williams I.F., Lukyanuk V.Yu. Tolerance of + Gz overloads by persons of non-flying professions and of different ages, *Space Biology and Medicine*, 1986, No 4, p. 25.
- [8] Ushakov I.B. [ed. by]. Fundamentals of aviation and space medicine: textbook, Moscow: “Firma Slovo” Publ., 2007.
- [9] Barer A.S. Tolerance limit: essays on human resistance to adverse factors of aviation and space flights, Moscow: “Block-InformExpress” Publ., 2012.
- [10] Vartbaronov R.A., Kotovskaya A.R., Eshanov N.Kh, Suvorov P.M. Changes of vision function under the influence of overloads, *Aerospace Medicine*, 1971, No 3, pp. 71–84.