

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_x) 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_z).

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, ЧД, 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.