

УДК 612.2; 612-06

**ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ
ПРОИЗВОЛЬНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ
КОСМОНАВТОВ В УСЛОВИЯХ
ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ В НЕВЕСОМОСТИ**

**А.В. Миняева¹, В.И. Колесников², Ю.А. Попова²,
А.В. Суворов², В.И. Миняев¹, В.М. Баранов³**

¹Тверской государственный университет

²Институт медико-биологических проблем РАН

³Институт общей патологии и патофизиологии РАМН

У шести космонавтов исследованы особенности произвольного управления дыхательными движениями в условиях длительного космического полета. После перехода из наземных условий в космические и из космических в наземные выявлена несущественная индивидуальная дестабилизация систем и механизмов произвольного управления дыхательными движениями. В процессе космического полета механизмы управления дыхательными движениями стабилизируются на новом функциональном уровне.

Ключевые слова: *дыхательные движения, произвольное управление, невесомость.*

Введение. Система дыхания человека одновременно является и висцеральной (с автономными механизмами регуляции) и соматической (с механизмами произвольного контроля). Как висцеральная система дыхания в составе кардиореспираторного аппарата, осуществляя вентиляцию легких, участвует в поддержании газового гомеостаза организма. При этом ритмическими сокращениями дыхательных мышц управляют стимулы дыхательного центра, ритмическая активность которого изменяется в зависимости от интенсивности метаболических процессов в организме или химизма внутренней среды.

Кроме вентиляции легких дыхательные мышцы человека участвуют в речевой, локомоторной, познотонической функциях, т.е. в актах, полностью подотчетных произвольному контролю [3]. В данном случае дыхательные мышцы управляются так же, как и вся скелетная мускулатура – стимулами из двигательной зоны коры больших полушарий [4].

Произвольные изменения естественного паттерна дыхания могут осуществляться при обязательном условии одновременного выполнения основной физиологической функции системы дыхания – поддержания газового гомеостаза организма. В противном случае вследствие нарушения гомеостаза механизмы произвольного управления дыхательными движениями могут вступать в противоречие (в

конкурентные отношения) с автономными механизмами регуляции дыхания, направленными на его сохранение. Способность произвольно управлять дыхательными движениями подвержена влиянию многих как специфических для системы дыхания факторов (гипоксия, гиперкапния, мышечная работа), так и неспецифических (изменения положения тела в пространстве, добавочное сопротивление дыханию, утомление дыхательных мышц).

Известно влияние на дыхательную систему человека комплекса факторов космического полета: длительное пребывание в невесомости сопровождается детренированностью дыхательной мускулатуры [2].

Меняется ли и как способность человека произвольно управлять дыхательными движениями в процессе длительного пребывания в космическом полете – попытка ответить на этот вопрос и послужила основанием для проведения данного исследования.

Материал и методика. Произвольные дыхательные движения регистрировались у шести космонавтов (15, 16, 17 и 18 экспедиций на МКС) посредством пневмографа бортового комплекса «Дыхание-1» до полета, трижды в процессе полета на МКС (30-34 сутки, 70-102 сутки и 149-180 сутки полета) и после полета (13–14 сутки). В предполетном исследовании космонавты находились в положении сидя, в невесомости – с зафиксированными нижними конечностями. Исследования проводились в утренний период, не менее чем через два часа после приема пищи. Исследования проведены с соблюдением международных требований по биомедицинской этике.

Использовался метод спирокинографии [4; 5]. Спирокинография представляет собой систему регистрации временных, скоростных и амплитудных параметров произвольных (заданных) дыхательных движений. Амплитуда и последовательность произвольных дыхательных движений задается специальной программой с прямоугольным сигналом, которую космонавт посредством быстрых и по возможности точных инспираторных и экспираторных движений воспроизводит в режиме слежения со зрительным контролем за монитором пневмографа. В соответствии с предварительной инструкцией испытуемый должен как можно точнее удерживать дыхательную кривую на линии программы, добиваясь минимального рассогласования между ними. Каждое движение считается успешно выполненным при точном удержании дыхательной кривой на линии программы до начала следующего движения.

Амплитуда и частота произвольных дыхательных движений задается соответственно индивидуальным объемно-временным параметрам спонтанного паттерна дыхания космонавта, которые регистрируются перед сеансом спирокинографии. В каждом исследовании задавались движения с амплитудой, равной усредненной амплитуде спонтанного дыхательного движения, с амплитудой

составляющей 1,25 и 0,75 усредненной амплитуды спонтанных дыхательных движений. В каждом варианте программы заложено 20 изменений положения линии программы (10 полных дыхательных циклов). Время между изменениями положения линии программы в случайном порядке варьируют от 0,75 до 1,25 времени усредненного спонтанного дыхательного цикла.

Учитывались следующие временные характеристики выполнения движений на вдохе и выдохе: латентный период - время от подачи сигнала к началу движения до начала движения (с), время движения - время от начала до окончания движения (с), время коррекции - время от окончания начального движения до момента стабильного удерживания дыхательной кривой на линии программы (с). В качестве характеристик точности выполнения задания использовались амплитуда движения (доля от спонтанного дыхательного объема, V_T), ошибка движения - разница между амплитудами выполненного и заданного движения (доля V_T). Также оценивались скорость движения - изменение амплитуды во времени (доля $V_T/с$), успешность выполнения задания - доля успешно выполненных движений из десяти заданных (%) и площадь рассогласования между задающей движения программой и пневмограммой (доля $V_T*с$) (рис. 1).

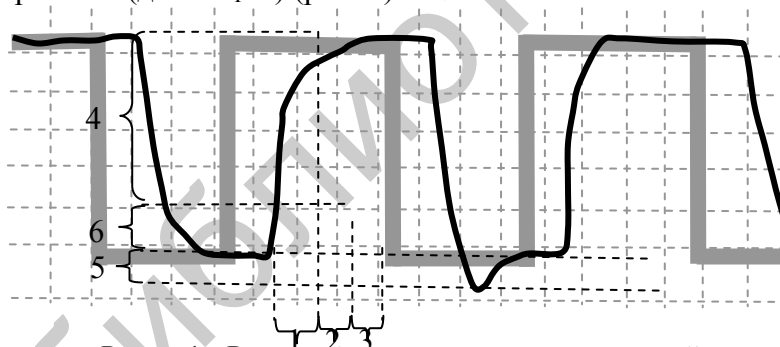


Рис. 1. Регистрация произвольных движений дыхательной мускулатуры (спирокинограмма):
серая линия – программа, черная линия – дыхательная кривая;
1 – латентный период, 2 – время движения, 3 – время коррекции,
4 – амплитуда движения, 5 – ошибка с преувеличением,
6 – ошибка с преуменьшением

Результаты и обсуждение. Исходно, при фоновых наземных обследованиях, как временные, так и амплитудные характеристики произвольных дыхательных движений были близкими среднестатистическим [4; 5], но отличались высокой индивидуальной вариабельностью, что также типично (табл. 1– 6, рис. 2, 3). Космонавты более успешно выполняли произвольные инспираторные движения, чем экспираторные (табл. 1–6, рис. 2, 3). Наибольшее количество успешно выполненных заданных дыхательных циклов было отмечено при выполнении инспираторных движений с амплитудой, равной 1,25

спонтанной амплитуды. Площадь рассогласования дыхательных кривых относительно линии программы, латентный период реакции, время коррекции и скорость при выполнении инспираторных и экспираторных дыхательных движений существенно не различались.

Т а б л и ц а 1

Характеристика произвольных дыхательных движений
с амплитудой равной спонтанной у космонавтов I группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	36,67±11,55	36,67±5,77	17,50±12,58	40,00±29,44	45,00±30,00
	Выдох	29,33±16,80	25,67±16,80	13,75±16,50	44,00±38,11	38,50±26,19
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,19±0,20	0,08±0,09	0,09±0,07	0,12±0,11	0,36±0,29
	Выдох	0,19±0,21	0,07±0,09	0,09±0,07	0,12±0,11	0,36±0,29
Латентный период, с	Вдох	0,88±0,22	0,90±0,16	0,74±0,13	0,85±0,12	0,80±0,12
	Выдох	0,95±0,18	0,75±0,11	0,80±0,09	0,83±0,11	0,71±0,16
Время коррекции, с	Вдох	2,33±1,89	1,38±0,14	1,08±0,60	1,00±0,28	1,07±0,10
	Выдох	2,12±1,61	1,66±0,22	1,01±0,53	0,76±0,22	1,30±0,51
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	2,20±0,90	1,65±0,51	1,49±0,66	1,08±0,15	1,85±0,36
	Выдох	1,52±0,80	2,02±1,56	1,15±0,41	0,87±0,23	1,70±0,75
Ошибка, доля V_T	Вдох	0,07±0,08	0,02±0,11	-0,02±0,17	-0,03±0,06	-0,02±0,11
	Выдох	0,02±0,02	-0,01±0,05	0,06±0,08	-0,05±0,03	-0,07±0,03

Примечание. В данной и последующих таблицах жирный шрифт – статистически достоверные различия с данными, полученными до полета.

Т а б л и ц а 2

Характеристика произвольных дыхательных движений
с амплитудой 1,25 от спонтанной у космонавтов I группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	60,00±0,00	50,00±26,46	22,50±12,58	32,50±45,73	40,00±42,43
	Выдох	25,67±16,80	40,33±33,61	24,75±36,34	44,00±32,38	33,00±23,76
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,14±0,14	0,06±0,07	0,07±0,05	0,11±0,10	0,30±0,24
	Выдох	0,15±0,16	0,06±0,07	0,07±0,05	0,10±0,10	0,28±0,23
Латентный период, с	Вдох	0,81±0,19	0,72±0,19	0,86±0,15	0,93±0,07	0,73±0,14
	Выдох	0,85±0,14	0,70±0,07	0,75±0,09	0,75±0,08	0,78±0,14
Время коррекции, с	Вдох	1,43±0,93	1,15±0,19	1,17±0,65	1,13±0,71	1,24±0,36
	Выдох	2,06±1,74	1,13±0,49	0,79±0,46	0,64±0,29	1,08±0,39
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	2,42±1,05	2,19±1,40	1,72±0,67	1,17±0,24	2,17±0,52
	Выдох	1,67±0,99	2,09±1,66	1,44±0,22	0,94±0,27	2,04±0,77
Ошибка, доля V_T	Вдох	-0,01±0,03	-0,10±0,05	-0,12±0,13	-0,08±0,17	-0,07±0,11
	Выдох	-0,08±0,17	-0,02±0,12	-0,03±0,06	0,03±0,15	-0,07±0,08

Первичный анализ результатов, полученных в условиях космического полета и послеполетного восстановления выявил два типа изменений площади рассогласования и скорости произвольных дыхательных движений. В связи с этим дальнейший анализ динамики точностных, временных и скоростных характеристик произвольных дыхательных движений проведен отдельно по двум группам обследуемых: I группа 4 космонавта (Ю-н МКС-15, К-в МКС-15, М-о МКС-16, В-в МКС-17), II группа – 2 космонавта (К-о МКС-17 и Л-в МКС-18).

Таблица 3

Характеристика произвольных дыхательных движений
с амплитудой 0,75 от спонтанной у космонавтов I группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	50,00±10,00	53,33±15,28	37,50±12,58	40,00±31,62	17,50±15,00
	Выдох	44,00±11,00	14,67±16,80	16,50±21,06	41,25±36,34	22,00±20,08
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,25±0,26	0,10±0,11	0,11±0,08	0,17±0,16	0,47±0,38
	Выдох	0,23±0,23	0,10±0,12	0,12±0,09	0,14±0,13	0,48±0,39
Латентный период, с	Вдох	0,97±0,26	0,88±0,21	0,82±0,09	0,93±0,14	0,79±0,21
	Выдох	0,90±0,17	0,77±0,01	0,78±0,03	0,83±0,07	0,75±0,13
Время коррекции, с	Вдох	2,05±1,74	1,24±0,11	1,01±0,45	1,28±0,46	1,59±0,54
	Выдох	2,18±1,69	1,68±0,44	1,27±0,35	1,03±0,46	1,53±0,70
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	1,76±0,74	1,67±0,67	1,26±0,36	0,99±0,19	1,79±0,29
	Выдох	1,79±1,46	1,54±0,74	1,14±0,39	0,81±0,20	1,45±0,34
Ошибка, доля V_T	Вдох	0,01±0,06	0,02±0,03	-0,01±0,09	-0,05±0,07	0,04±0,12
	Выдох	-0,01±0,03	-0,02±0,02	-0,03±0,05	0,11±0,14	-0,04±0,05

При первом обследовании в полете (30–34 сутки) у космонавтов I группы успешность выполнения всех заданных движений существенно не изменялась относительно исходных (дополетных) значений. Площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы у всех космонавтов уменьшилась. При этом у них было отмечено увеличение скорости экспираторных и снижение скорости инспираторных средне- и высокоамплитудных движений, уменьшение латентного периода реакции инспираторных и экспираторных движений. Время коррекции имело тенденцию к уменьшению. Величины ошибок оставались близкими к исходным с тенденцией разнонаправленных изменений (табл. 1–3, рис. 2).

У представителей II группы первый месяц пребывания в космическом полете вызвал более значительные изменения показателей. Количество успешно выполненных инспираторных средне- и высокоамплитудных движений у них имело тенденцию к уменьшению, экспираторных средне- и низкоамплитудных – к увеличению. У обоих

космонавтов данной группы отмечено более выраженное уменьшение площади рассогласования и латентного периода реакций при выполнении как инспираторных, так и экспираторных движений различной амплитуды. Прослеживалась тенденция к уменьшению времени коррекции движений. При этом скорость выполнения заданных инспираторных и экспираторных движений космонавтов снижалась. Высокоамплитудные инспираторные движения у обоих космонавтов выполнялись с большей скоростью, но с меньшей ошибкой с переводом линии программы, чем до полета (табл. 4–6, рис. 3).

Таблица 4

Характеристика произвольных дыхательных движений
с амплитудой равной спонтанной у космонавтов II группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	30,00±14,14	25,00±21,21	10,00±0,00	20,00±28,28	35,00±7,07
	Выдох	11,00±15,56	22,00±15,56	5,50±7,78	5,50±7,78	38,50±23,33
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,84±0,60	0,06±0,03	0,47±0,16	0,41±0,07	0,15±0,04
	Выдох	0,77±0,56	0,06±0,03	0,46±0,18	0,40±0,06	0,15±0,04
Латентный период, с	Вдох	1,26±0,45	0,88±0,27	1,11±0,65	1,55±0,64	1,00±0,10
	Выдох	1,28±0,47	1,01±0,15	1,13±0,72	1,51±0,40	0,75±0,08
Время коррекции, с	Вдох	4,06±4,23	1,49±0,03	2,71±1,17	3,50±1,24	1,25±0,50
	Выдох	4,09±4,36	1,08±0,16	3,17±1,96	4,57±3,42	1,45±1,13
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	2,45±1,37	1,68±0,93	3,27±0,52	3,47±2,12	1,45±0,55
	Выдох	2,15±1,19	1,45±0,61	3,52±0,10	3,32±0,75	1,38±0,07
Ошибка, доля V_T	Вдох	-0,05±0,03	-0,17±0,04	-0,09±0,24	-0,02±0,17	-0,03±0,05
	Выдох	0,00±0,18	0,00±0,10	-0,06±0,06	-0,01±0,18	-0,06±0,06

При втором обследовании в полете (70–102 сутки) у космонавтов обеих групп имела тенденция к снижению успешности выполнения заданных дыхательных движений различной амплитуды, относительно данных, полученных при первом обследовании в полете.

У представителей I группы площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы, а также все временные и точностные параметры заданных движений существенно не изменялись (с тенденцией к уменьшению) относительно первого обследования в полете. Прослеживалась тенденция к снижению скорости выполнения заданных средне- и высокоамплитудных движений. Скорость выполнения низкоамплитудных инспираторных и экспираторных движений у всех космонавтов данной группы снижалась (табл. 1–3, рис. 2).

У обоих космонавтов II группы в этих условиях отмечена тенденция к уменьшению успешности выполнения инспираторных и экспираторных произвольных движений. Значения скорости выполнения заданных движений, а также площади рассогласования

дыхательных кривых с линией программы у обоих космонавтов увеличивались. Выявлена тенденция к увеличению латентного периода двигательных реакций, латентный период реакции при выполнении низкоамплитудных инспираторных и экспираторных движений увеличивался у обоих космонавтов. Высокоамплитудные движения выполнялись с недоводом, низкоамплитудные – с переводом линии программы. Время коррекции движений при этом у обоих космонавтов увеличивалось (табл. 4–6, рис. 3).

Таблица 5

Характеристика произвольных дыхательных движений с амплитудой 1,25 от спонтанной у космонавтов II группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	35,00±21,21	25,00±21,21	5,00±7,07	20,00±28,28	50,00±14,14
	Выдох	22,00±15,56	16,50±7,78	11,00±15,56	33,00±31,11	33,00±31,11
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,66±0,40	0,06±0,03	0,38±0,14	0,34±0,06	0,12±0,02
	Выдох	0,65±0,45	0,05±0,03	0,40±0,20	0,32±0,06	0,12±0,04
Латентный период, с	Вдох	1,27±0,61	0,76±0,17	1,07±0,62	1,24±0,45	0,93±0,12
	Выдох	1,25±0,63	0,82±0,11	0,98±0,61	1,16±0,55	0,82±0,17
Время коррекции, с	Вдох	4,35±4,69	1,58±0,49	2,69±1,56	3,81±1,22	1,15±0,33
	Выдох	4,70±4,58	1,52±0,49	2,99±2,58	3,54±1,39	1,06±0,25
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	1,99±1,19	2,45±1,46	3,85±0,77	4,13±2,83	1,87±0,67
	Выдох	2,05±1,43	1,54±0,39	2,48±0,26	3,03±0,86	1,62±0,42
Ошибка, доля V_T	Вдох	-0,28±0,11	0,09±0,06	-0,06±0,02	-0,01±0,20	-0,07±0,02
	Выдох	-0,25±0,10	-0,39±0,11	-0,08±0,07	-0,18±0,11	-0,06±0,22

При третьем обследовании в полете (149–180 сутки) у космонавтов обеих групп отмечена тенденция к повышению успешности выполнения дыхательных движений различной амплитуды относительно второго обследования в полете.

У космонавтов I группы площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы практически не изменялась. Сохранилась тенденция к снижению скорости выполнения заданных дыхательных движений. Скорость выполнения инспираторных и экспираторных низкоамплитудных движений у всех космонавтов данной группы снижалась. Значения временных и точностных параметров произвольных дыхательных движений оставались близкими значениям, полученным при втором обследовании в полете. Латентный период реакций при выполнении низкоамплитудных инспираторных движений увеличился у всех космонавтов данной группы. Время коррекции движений в большинстве случаев имело тенденцию к уменьшению (табл. 1, 2, 3, рис. 2).

Таблица 6

Характеристика произвольных дыхательных движений
с амплитудой 0,75 от спонтанной у космонавтов II группы ($M \pm m$)

Параметры		Условия				
		до полета	в полете, сутки			после полета
			30–34	70–97	153–155	
Успешность, %	Вдох	25,00±7,07	25,00±7,07	5,00±7,07	15,00±7,07	20,00±0,00
	Выдох	11,00±0,00	22,00±0,00	0,00±0,00	16,50±23,33	38,50±23,33
Площадь рассогласования, доля $V_T \cdot c$	Вдох	0,96±0,63	0,09±0,05	0,62±0,26	0,57±0,09	0,20±0,06
	Выдох	0,99±0,65	0,08±0,04	0,63±0,27	0,54±0,10	0,19±0,03
Латентный период, с	Вдох	1,31±0,40	0,82±0,25	1,34±0,96	1,57±0,49	1,04±0,15
	Выдох	1,41±0,48	0,81±0,06	1,29±1,01	1,37±0,17	0,85±0,10
Время коррекции, с	Вдох	3,88±4,34	1,76±0,07	2,57±1,11	4,92±2,57	1,45±0,65
	Выдох	3,95±4,12	1,34±0,07	2,61±19,60	4,46±2,65	1,31±0,12
Скорость движения, доля V_T/c	Вдох	2,13±1,45	1,76±0,98	3,79±1,38	3,85±2,71	1,48±0,58
	Выдох	1,84±1,59	1,49±0,87	2,53±0,32	3,05±1,05	1,38±0,45
Ошибка, доля V_T	Вдох	-0,06±0,17	0,04±0,06	0,05±0,39	0,10±1,05	0,01±0,01
	Выдох	-0,05±0,07	-0,01±0,04	0,08±0,10	-0,02±0,14	-0,08±0,03

У представителей II группы площадь рассогласования дыхательной кривой с линией программы практически не изменились относительно данных, полученных при втором обследовании в полете. Скорость при выполнении всех заданных движений различной амплитуды, за исключением среднеамплитудных экспираторных, имела тенденцию к дальнейшему увеличению. Отмечено продолжающееся увеличение латентного периода реакций, времени коррекции заданных движений. Отмечены незначительные разнонаправленные изменения величин ошибок (табл. 4– 6, рис. 3).

При послеполетном обследовании (13–14 сутки) у космонавтов I группы отмечена тенденция к повышению успешности выполнения инспираторных средне- и высокоамплитудных движений относительно третьего обследования в полете. Инспираторные низкоамплитудные и экспираторные движения с различной амплитудой выполнялись с меньшей успешностью, чем при последнем обследовании в полете. У всех космонавтов I группы площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы увеличилась; возросла скорость выполнения заданных инспираторных и экспираторных дыхательных движений различной амплитуды. Латентный период реакции имел тенденцию к уменьшению, время коррекции движений – к увеличению. Время коррекции при выполнении экспираторных движений увеличивалось у всех космонавтов. Значения точностных параметров (ошибок) произвольных дыхательных движений оставались близкими значениям, полученным при предыдущем обследовании в полете (табл. 1– 3, рис. 2).

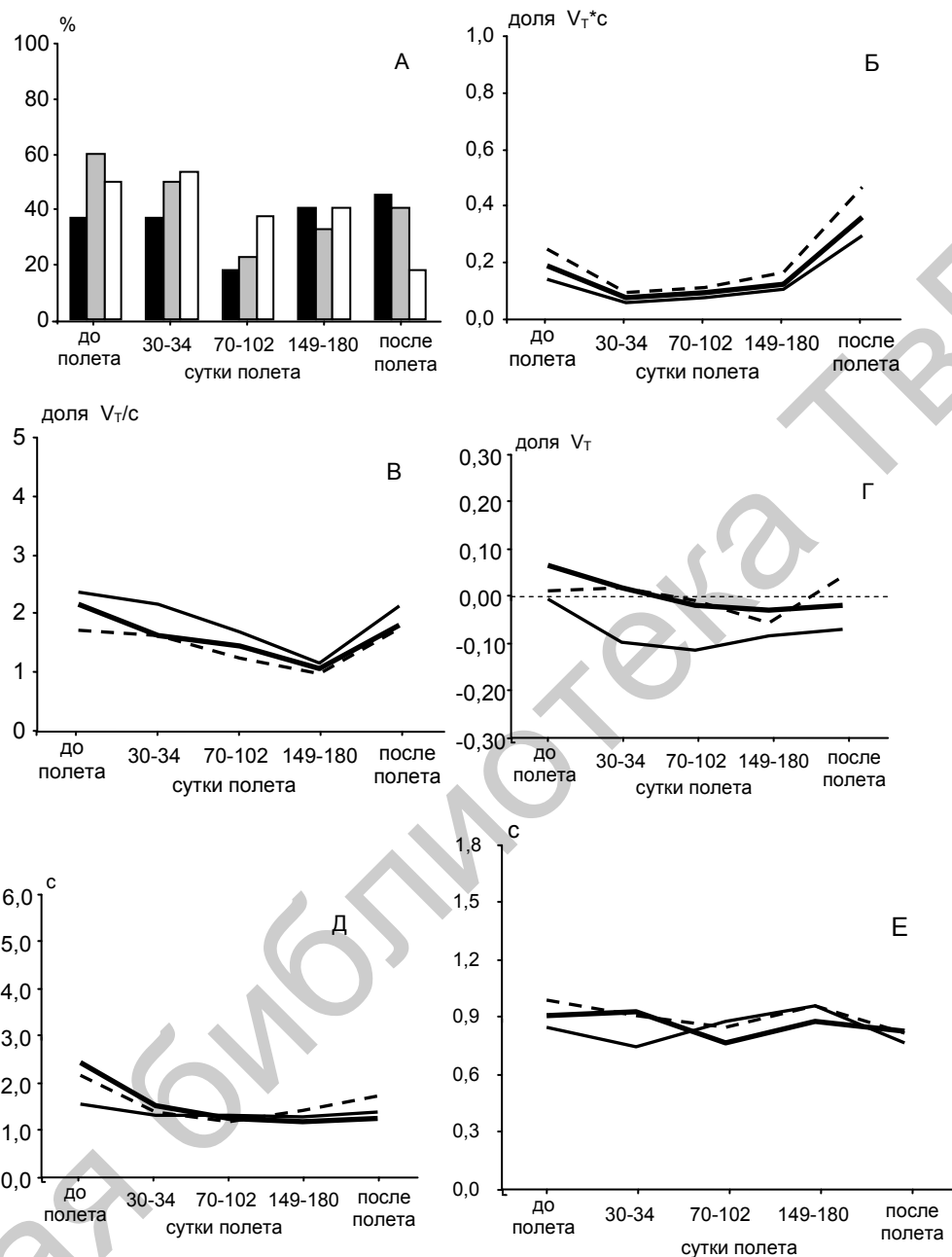
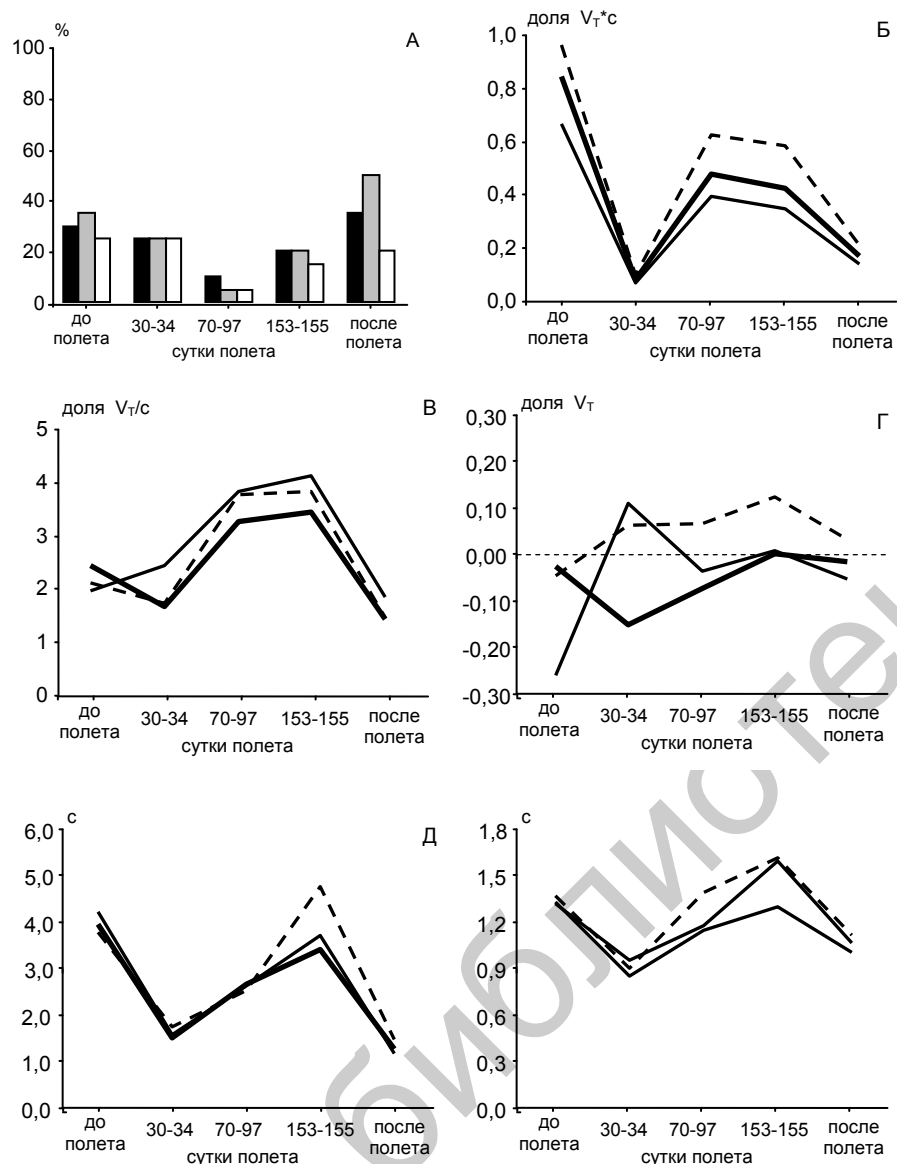


Рис. 2. Динамика параметров произвольных дыхательных движений на входе у космонавтов I группы до полета, во время полета на МКС и после полета:
 движения с амплитудой равной спонтанному (жирная линия, черные столбики);
 движения с амплитудой 1,25 спонтанного (тонкая линия, серые столбики);
 движения с амплитудой 0,75 спонтанного (штриховая линия, белые столбики);
 А – успешность выполнения задания, Б – площадь рассогласования,
 В – скорость движения, Г – ошибки движения,
 Д – время коррекции, Е – латентный период реакции



Р и с . 3. Динамика параметров произвольных дыхательных движений на вдохе у космонавтов I группы до полета, во время полета на МКС и после полета:
 движения с амплитудой равной спонтанному (жирная линия, черные столбики);
 движения с амплитудой 1,25 спонтанного (тонкая линия, серые столбики);
 движения с амплитудой 0,75 спонтанного (штриховая линия, белые столбики);
 А – успешность выполнения задания, Б – площадь рассогласования,
 В – скорость движения, Г – ошибки движения,
 Д – время коррекции, Е – латентный период реакции

У обоих представителей II группы выявлено значительное снижение скорости заданных инспираторных и экспираторных движений различной амплитуды и площади рассогласования

дыхательных кривых с линией программы. Также отмечено уменьшение латентного периода реакций и времени коррекции при выполнении заданных инспираторных и экспираторных движений различной амплитуды. Точность выполнения заданных дыхательных движений относительно третьего обследования в полете существенно не изменялась с разнонаправленной тенденцией (табл. 4–6, рис. 3).

Известно, что произвольные движения в стационарных условиях характеризуются закономерными взаимосвязями между временными, скоростными и амплитудными (точностными) параметрами [1; 4; 6]. Анализ результатов исследований произвольного управления дыхательными движениями по заданным программам у космонавтов в дополетных условиях выявил типичные для произвольных движений взаимоотношения между показателями, что свидетельствует о стабильном состоянии систем и механизмов управления дыхательными движениями.

Так, при фоновых предполетных обследованиях выявлена отрицательная зависимость успешности выполнения произвольных дыхательных движений от площади рассогласования дыхательных кривых с линией программы ($r=-0,54$ при $P<0,05$), положительная зависимость площади рассогласования от скорости выполнения дыхательных движений ($r=0,80$ при $P<0,01$) и отсутствие зависимости скорости дыхательных движений от величины латентного периода, поскольку минимальное время произвольной двигательной реакции есть проявление функционального состояния центра и не зависит от текущего афферентного (проприоцептивного) контроля [4; 6].

Месяц пребывания космонавтов в условиях космического полета сопровождался разнонаправленными изменениями параметров, характеризующих произвольные дыхательные движения. В результате присущие стационарному состоянию взаимосвязи между ними нарушились. Исчезла зависимость успешности выполнения заданных дыхательных движений от площади рассогласования и площади рассогласования от скорости движений. При этом отмечена новая, нетипичная для произвольных движений отрицательная взаимосвязь между латентным периодом реакции и скоростью дыхательных движений ($r=-0,69$ при $P<0,01$). Эти факты могут свидетельствовать о нарушении стабильности систем и механизмов управления произвольными дыхательными движениями при изменении внешних условий (микрогравитация и др.) в начале космического полета. В течение 30–34 суток космического полета стабилизации системы произвольного управления дыхательными движениями не происходит.

После длительного (70–180 суток) пребывания в условиях космического полета наблюдается стабилизация скоростных и точностных спирокинографических показателей на новом функциональном уровне. При этом восстанавливаются закономерные

для произвольных движений зависимости успешности выполнения произвольных дыхательных движений от площади рассогласования ($r=-0,63$ при $P<0,01$) и площади рассогласования от скорости выполнения движений ($r=0,81$, при $P<0,01$), исчезает нетипичная взаимосвязь между латентным периодом и скоростью реакции. На основании этих фактов можно полагать о восстановлении стабильности систем и механизмов, участвующих в произвольном управлении дыхательными движениями и переходе системы на новый стационарный функциональный уровень. Характерно, что часть космонавтов выполняла произвольные дыхательные движения в условиях космического (стационарного) состояния с меньшей, другая часть – с большей скоростью, чем в наземных условиях, что сопровождалось соответствующими изменениями площади рассогласования дыхательных кривых с линией программы.

Возвращение космонавтов в наземные условия (14 суток) вновь сопровождалось разнонаправленными изменениями спирокинографических параметров. Как и при переходе из наземных в космические условия, наблюдались нарушения присущих стационарному состоянию взаимосвязей между параметрами, характеризующими произвольные дыхательные движения. Исчезли зависимости успешности выполнения заданных дыхательных движений от площади рассогласования и площади рассогласования от скорости движений. При этом вновь была отмечена, наблюдавшаяся в первый месяц космического полета, нетипичная для стационарных состояний отрицательная взаимосвязь между латентным периодом реакции и скоростью дыхательных движений ($r=-0,57$, при $P<0,05$). Эти факты могут свидетельствовать о том, что переход из условий космоса в наземные так же, как переход из наземных в космические условия, дестабилизирует механизмы произвольного управления дыхательными движениями.

Список литературы

1. *Алексеев М.А., Аскназий А.А.* Некоторые закономерности управления точностными циклическими движениями человека // Управление движениями. Л., 1970. С. 17.
2. *Баранов В.М.* Газоэнергообмен человека в космическом полете и модельных исследованиях. М., 1993. 126 с.
3. *Бреслав И.С.* Произвольное управление дыханием у человека. Л., 1975. 179 с.
4. *Миняев В.И.* Произвольное управление дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб., 1994. С. 500–523.
5. *Миняева А.В., Петушков М.Н., Морозов Г.И., Визирь Я.Г., Маркова К.Б.* Особенности произвольного управления движениями

торакальной и абдоминальной дыхательной мускулатуры // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2007. С. 150–154.

6. Рокотова Н. А., Шапков Ю.Т. Текущее управление движениями, задаваемыми человеку изменениями внешнего сигнала // Некоторые проблемы биологической кибернетики. Л., 1972. С. 26–37.

DYNAMICS OF PARAMETERS ANY RESPIRATORY MOVEMENTS COSMONAUTS IN CONDITIONS LONG STAY IN WEIGHTLESSNESS

**A.V. Minyaeva¹, V.I. Kolesnikov², U.A. Popova²,
A.V. Suvorov², V.I. Minyaev¹, V.M. Baranov³**

¹Tver State University

²Institute of Biomedical Problems RAS

³Institute of General Pathology and Pathophysiology RAMS

The six cosmonauts were tested on the features of voluntary control respiratory movements in long-term space flight. The unimportant individual destabilization of systems and mechanisms of voluntary control respiratory movements were detected after the transfer of land in terms of space and from space in land. During space flight control mechanisms respiratory movements are stabilized at the new functional level.

Keywords: *respiratory movements, voluntary control, weightless.*

Об авторах:

МИНЯЕВА Арина Владимировна—кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: physiol@tversu.ru

КОЛЕСНИКОВ Владимир Иванович—главный специалист лаборатории физиологии и биомеханики кардиореспираторной системы, УРАН ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А, e-mail: kolesnikov@imbp.ru

ПОПОВА Юлия Александровна—кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биомеханики кардиореспираторной системы, УРАН ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А.

СУВОРОВ Александр Владимирович—доктор медицинских наук, заведующий лабораторией физиологии и биомеханики

кардиореспираторной системы, УРАН ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А, e-mail: suvalex50@yandex.ru

МИНЯЕВ Владимир Иванович—доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии и физиологии человека и животных, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: physiol@tversu.ru

БАРАНОВ Виктор Михайлович—доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией физиологических проблем невесомости, НИИ Общей патологии и патофизиологии РАМН, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8, e-mail: labmicrogravity@rambler.ru