

УДК 612.2; 612-06

**ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ДЫХАТЕЛЬНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ  
В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА**

**В.М. Баранов<sup>1</sup>, А.В. Миняева<sup>2</sup>, В.И. Миняев<sup>2</sup>, В.И. Колесников<sup>3</sup>,  
Ю.А. Попова<sup>3</sup>, А.В. Суворов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>НИИ Общей патологии и патофизиологии РАМН

<sup>2</sup>Тверской государственной университет

<sup>3</sup>Институт медико-биологических проблем РАН

У двоих космонавтов исследована динамика способности к произвольному управлению дыхательными движениями в условиях длительного космического полета. Пребывание в невесомости сопровождается замедлением произвольных дыхательных движений, некоторым повышением точности, сокращением времени их коррекции и уменьшением площади рассогласования между дыхательной кривой и линией выполняемой программы.

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

**Введение.** В физиологии произвольными считаются такие изменения дыхания, которые человек осуществляет по внешнему приказу (инструкции) или самоприказу и о которых он может дать словесный самоотчет [3]. Система произвольного управления дыхательными движениями принципиально не отличается от системы управления соматическими движениями [4]. Как произвольные, так и произвольные дыхательные движения обусловлены деятельностью дыхательной мускулатуры. Однако дыхательные мышцы являются одновременно и эффекторами автоматической системы регуляции дыхания. В определенных условиях произвольное управление дыхательными мышцами ограничено в отличие от других скелетных мышц. В условиях длительного пребывания в невесомости у космонавтов наблюдается детренированность дыхательной мускулатуры [2]. Снижение работоспособности дыхательных мышц может проявляться не только в нарушении их вентиляторной функции, но и, возможно, в изменении способности к произвольному управлению ими. Цель работы – выявление динамики способности человека произвольно управлять дыхательными движениями в условиях длительного космического полета и в период послеполетной реабилитации.

**Материал и методика.** В исследовании приняли участие два космонавта 15-й экспедиции на МКС. Временные, амплитудные, точностные параметры произвольных дыхательных движений

регистрировались посредством пневмографа бортового комплекса «Дыхание-1». Исследования включали шесть серий: до полета, во время полета на МКС (1, 3 и 4 месяца), а также в период восстановления после полета (1 день и 1 месяц). В наземных условиях 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.

Для характеристики произвольных дыхательных движений использовался метод спирокинографии. Спирокинография представляет собой систему регистрации временных, скоростных и амплитудных параметров произвольных (заданных) движений [4; 5]. Амплитуда и последовательность произвольных дыхательных движений задается специальной программой с сигналом прямоугольной формы, которую обследуемый посредством инспираторных и экспираторных движений воспроизводит в режиме слежения на мониторе пневмографа. В соответствии с предварительной инструкцией обследуемый быстро реагирует на изгиб линии программы – за счет инспираторного (вдох) или экспираторного (выдох) движения по возможности быстро переводит курсор на новый уровень) и как можно точнее удерживает дыхательную кривую на линии программы, добиваясь минимального рассогласования между ними. Амплитудные и временные параметры программы устанавливаются с учетом индивидуального паттерна спонтанных дыхательных движений, которые регистрируются непосредственно перед сеансом спирокинографии.

В исследовании применены три варианта программ: программа с амплитудой, равной усредненной амплитуде спонтанных дыхательных движений, программа с амплитудой равной 1,25 усредненной амплитуды спонтанных дыхательных движений и программа с амплитудой, равной 0,75 усредненной амплитуды спонтанных дыхательных движений. В каждом варианте программы заложено 20 изменений положения линии программы (10 полных дыхательных циклов), периоды времени между изменениями положения линии программы в случайном порядке варьировали от 0,75 до 1,25 от среднего времени спонтанного дыхательного цикла.

Оценивали следующие временные характеристики выполнения движений: 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 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 с преувеличением - положительная

разница между амплитудой выполненного движения и амплитудой заданного движения (доля  $V_T$ ) и ошибка с преуменьшением - отрицательная разница между амплитудой выполненного движения и амплитудой заданного движения (доля  $V_T$ ). Также оценивались скорость движения - изменение амплитуды во времени ( $V_T/c$ ), успешность выполнения задания - доля успешно выполненных заданий от общего их количества (%) и площадь рассогласования между программой и дыхательной кривой ( $V_T*c$ ) (рисунок).

**Результаты и обсуждение.** В наземных условиях у космонавта К-ва на первом сеансе исследования временные характеристики произвольных дыхательных движений с заданной амплитудой, равной спонтанной, были близкими к среднестатистическим [4; 5] (табл. 1). Амплитуда произвольных инспираторных и экспираторных движений существенно не отличалась от заданной программой ( $99\pm 10$  и  $95\pm 5\%$  соответственно). Скорость экспираторных движений была несколько выше скорости инспираторных движений (табл. 1). Омечено большее время коррекции движений на выдохе ( $2,99\pm 0,49$  с), чем на вдохе ( $2,52\pm 0,47$ ). Успешность выполнения заданных инспираторных движений была значительно выше, чем экспираторных (табл. 1, рисунок). При этом площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы на вдохе и выдохе практически не различалась ( $37,55$  и  $37,88 V_T*c$ ).

Уже после месяца пребывания в невесомости было отмечено статистически достоверное ( $P<0,05$ ) снижение скорости произвольного вдоха (до  $1,25\pm 0,11 V_T/c$ ) и достаточно выраженное снижение скорости выдоха (до  $1,37\pm 0,12 V_T/c$ ) (рис. В). При этом время выполнения движений, как на вдохе, так и на выдохе увеличилось. Снижение скорости произвольных дыхательных движений сопровождалось уменьшением времени коррекции (рис. Г). По данным М.А. Алексеева и А.А. Аскназий [1], медленные точностные движения корректируются по ходу их выполнения дополнительным усилием (или ослаблением усилия) агониста на основании афферентной информации о степени несоответствия начального усилия и его результата. В результате эти движения выполняются с меньшей ошибкой и на их коррекцию требуется меньшее время. В результате площадь рассогласования дыхательных кривых с линией программы на вдохе и выдохе значительно снизилась до  $13,31$  и  $12,62 V_T*c$  соответственно. Успешность выполнения произвольных инспираторных движений практически не изменилась, экспираторных - значительно возросла до значений, соответствующих успешности инспираторных движений (табл. 1, рис. А).

После трех месяцев пребывания в невесомости было отмечено дальнейшее уменьшение площади рассогласования дыхательных кривых с линией программы (на вдохе до  $6,99 V_T*c$  и на выдохе до  $7,25$

$V_T \cdot c$ ). При этом успешность выполнения задания на выдохе не изменилась, на вдохе – снизилась. Продолжалось дальнейшее снижение скорости движений, которое в сочетании с уменьшением времени сопровождалось уменьшением амплитуды до 92% на вдохе и до 88% на выдохе от заданных величин и, как следствие, увеличением ошибок с преуменьшением. Вероятно, ошибки с преуменьшением легче поддаются коррекции за счет дополнительного увеличения скорости при сохранении направления движения. В результате время коррекции движений продолжало статистически достоверно уменьшаться ( $P < 0,05$ ).

Через четыре месяца пребывания в невесомости отмечено минимальное значение скорости произвольных движений на вдохе ( $0,78 \pm 0,04 V_T/c$ ) и на выдохе ( $0,70 \pm 0,01 V_T/c$ ). Однако снижение скорости компенсировалось достоверным увеличением времени движения (табл. 1), в результате амплитуда произвольных движений на вдохе и выдохе практически соответствовала заданной величине ( $99 \pm 2\%$  и  $99 \pm 3\%$ ). Величина ошибок при воспроизведении заданных движений уменьшалась (табл. 1) и, как следствие, уменьшалось время коррекции (рисунок Г). На этом сеансе была отмечена минимальная площадь рассогласования дыхательных кривых. Успешность выполнения заданных инспираторных движений возросла до 80%, экспираторных – до 70%.

Уже через сутки после приземления отмечено увеличение скорости заданных дыхательных движений, причем скорость инспираторных движений оказалась статистически достоверно ( $P < 0,05$ ) больше скорости экспираторных. Несмотря на увеличение скорости, уменьшение времени выполнения движений привело к уменьшению амплитуды до  $95 \pm 4\%$  от заданной величины на вдохе и  $95 \pm 2\%$  на выдохе (табл. 1). Рост величины ошибок с преуменьшением и времени корректировочных движений привели к увеличению площади рассогласования дыхательных кривых, как на вдохе, так и на выдохе до  $7,09 V_T \cdot c$  (табл. 1, рис. Б). Успешность выполнения задания при этом практически не изменилась (рис. А).

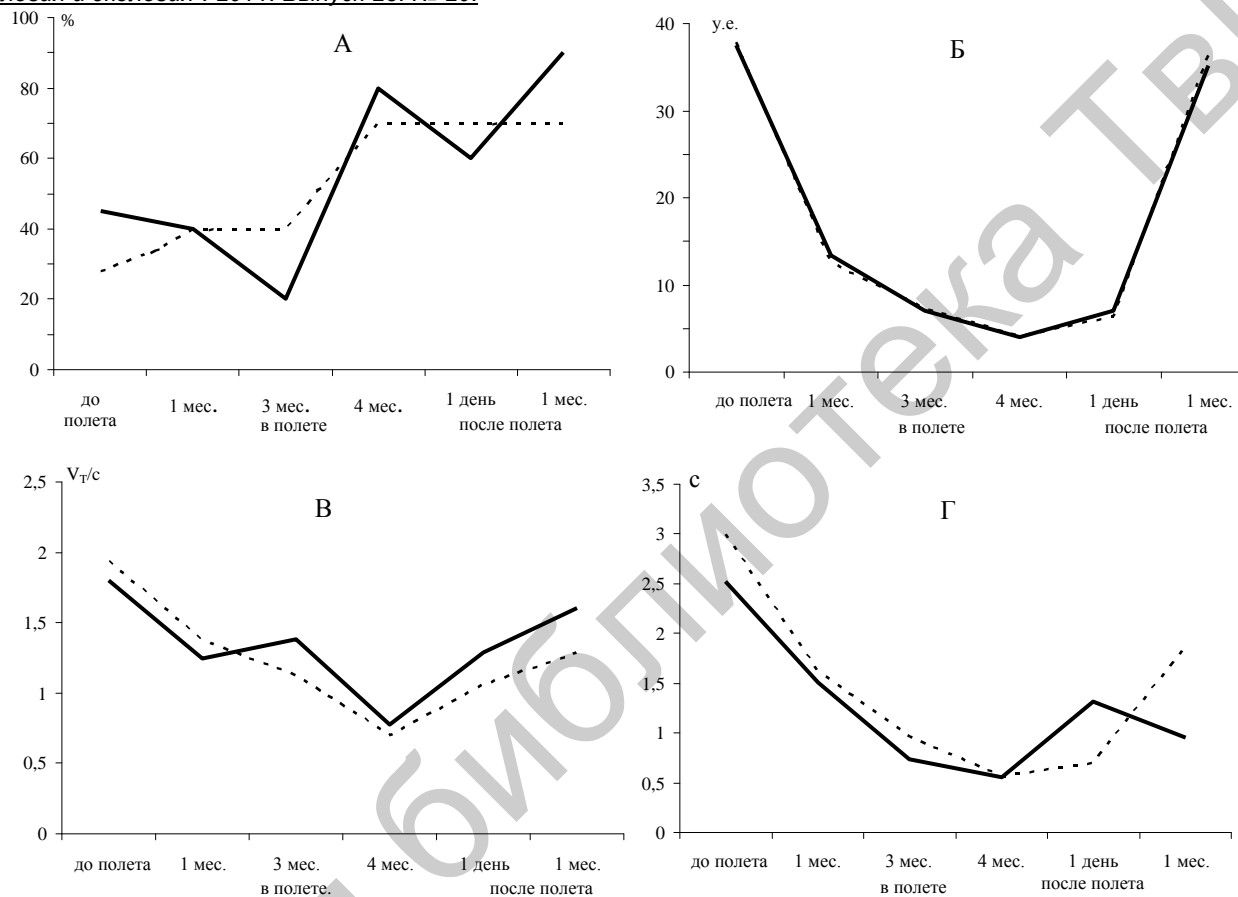
Через месяц после окончания космического полета отмечен дальнейший рост скорости дыхательных движений. Так скорость инспираторных движений увеличилась до  $1,60 \pm 0,07 V_T/c$ , что практически соответствует исходному дополетному значению (табл. 1, рис. В). Скорость экспираторных движений увеличилась до  $1,29 \pm 0,08 V_T/c$ , что достоверно меньше исходного значения и меньше скорости произвольного инспираторного движения (табл. 1, рисунок В). Прирост скорости произвольных движений на вдохе и выдохе сопровождался значительным увеличением площади рассогласования дыхательных кривых до  $35,22 V_T \cdot c$  и  $36,39 V_T \cdot c$  соответственно. Успешность выполнения задания на вдохе увеличилась до 90%, а на выдохе не изменилась (табл. 1, рис. А). Таким образом, у космонавта К-ва от

сеанса к сеансу отмечено повышение доли успешно выполненных дыхательных движений на вдохе от 45 до 90%, на выдохе – от 25 до 70% , что говорит о формировании двигательного навыка [2]. Отличительной особенностью точностных циклических (повторяющихся) движений является повышение точности (коррекция) последующих движений в процессе их многократного повторения, что происходит в основном за счет стабилизации начального усилия агониста [1; 6]. Эта особенность также присуща заданным точностным инспираторным и экспираторным движениям [4]. В условиях невесомости произвольные дыхательные движения характеризуются меньшей скоростью и временем коррекции. Выявлено закономерное снижение площади рассогласования дыхательных кривых на вдохе и выдохе в условиях невесомости и полное восстановление их значений уже через месяц после окончания космического полета.

У космонавта Ю-на, в связи с отсутствием фоновых (до полета) обследований получить полную картину влияния невесомости на выполнение произвольных дыхательных движений не удалось. Однако у него можно отметить общую тенденцию снижения скорости произвольных дыхательных движений, времени корректировочных движений и площади рассогласования дыхательных кривых от сеанса к сеансу в условиях космического полета и их прирост в течение первого месяца послеполетного периода (табл. 1, 2).

Увеличение амплитуды задания (до 1,25 от спонтанной) у космонавта К-ва сопровождалось типичными [5] изменениями параметров произвольных дыхательных движений. Общая успешность выполнения задания, как на вдохе, так и на выдохе была выше, чем при амплитуде движений равной спонтанной, однако на первом сеансе (перед полетом) была отмечена очень низкое значение успешности (табл. 1, 2). Как экспираторные, так и инспираторные движения с амплитудой 1,25 спонтанной характеризуются большей скоростью и большим временем. Скорость движений на вдохе была значительно больше, чем на выдохе. Увеличение амплитуды заданных инспираторных и экспираторных движений сопровождалось значительно более выраженными ошибками с преуменьшением. Также было отмечено снижение площади рассогласования дыхательных кривых, как на вдохе, так и на выдохе (табл. 1, 2).

От сеанса к сеансу отмечен значительный прирост успешности выполнения задания. Так, у космонавта К-ва на вдохе она увеличивается с 30% на первом, до 100% на 5 сеансе, а на выдохе – с 10% на первом до 100% уже на 4 сеансе (табл. 2). В условиях космического полета наблюдалось синхронное снижение скоростей инспираторных и экспираторных движений, в результате скорость движений на вдохе оставалась выше, чем на выдохе (табл. 2).



Р и с у н о к . Динамика параметров заданных инспираторных (сплошная линия) и экспираторных (штриховая линия) движений с амплитудой равной, усредненной амплитуде спонтанных дыхательных движений, в условиях длительного космического полета ( $M \pm m$ ). Испытуемый К-в. А – успешность выполнения задания, Б – площадь рассогласования, В – скорость движения, Г – время коррекции

Динамика параметров заданных дыхательных движений с амплитудой равной усредненной амплитуде спонтанных дыхательных движений в условиях длительного космического полета ( $M \pm m$ )

Условия		Космонавт	Латентный период (с)	Время движения (с)	Амплитуда движения ( $V_T$ )	Скорость движения ( $V_T/c$ )	Время коррекции (с)	Ошибка ( $V_T$ )	Успешность (%)	Площадь рассогласования ( $V_T^*c$ )
ВДОХ										
До полета		К-в Ю-н	0,83±0,07 -	0,62±0,08 -	0,99±0,10 -	1,80±0,19 -	2,52±0,47 -	0,05±0,07 -	45 -	37,55 -
В полете	1 месяц	К-в Ю-н	1,04±0,09 0,80±0,05	0,78±0,04 0,65±0,08	0,96±0,09 0,86±0,17	1,25±0,11* 1,24±0,20	1,51±0,27 1,62±0,34	-0,03±0,07 -0,05±0,07	40 10	13,31 37,47
		3 месяца	К-в Ю-н	0,92±0,06 0,45±0,30	0,68±0,03 0,67±0,30	0,92±0,10 0,64±0,28	1,38±0,17 0,97±0,05	0,74±0,16* 1,05±0,53	-0,07±0,05 -0,13±0,15	20 0
	4 месяца		К-в Ю-н	0,79±0,05 0,74±0,06	1,28±0,04* 0,63±0,12	0,99±0,02 0,98±0,03	0,78±0,04* 2,05±0,42	0,55±0,22* 0,72±0,26	-0,03±0,02 -0,08±0,04	80 50
		После полета	1 сутки	К-в Ю-н	0,90±0,07 0,68±0,12	0,76±0,05 0,99±0,08	0,95±0,04 1,04±0,13	1,29±0,07* 1,05±0,08	1,31±0,38 0,92±0,27	-0,04±0,03 -0,11±0,06
1 месяц	К-в Ю-н			0,97±0,06 0,62±0,10	0,62±0,04 0,68±0,15	0,98±0,04 0,89±0,16	1,60±0,07 1,64±0,29	0,95±0,33* 1,39±0,39	-0,02±0,04 -0,13±0,05	90 30
	ВЫДОХ									
До полета		К-в Ю-н	0,84±0,08 -	0,65±0,10 -	0,95±0,05 -	1,94±0,27 -	2,99±0,49 -	-0,02±0,05 -	25 -	37,81 -
В полете	1 месяц	К-в Ю-н	0,86±0,08 0,63±0,11	0,76±0,07 1,01±0,15	1,03±0,10 0,79±0,16	1,37±0,12 0,75±0,09	1,62±0,32* 1,58±0,27	0,03±0,08 -0,08±0,10	40 10	12,62 37,41
		3 месяца	К-в Ю-н	0,79±0,12 0,54±0,25	0,77±0,03 1,19±0,07	0,88±0,06 0,99±0,12	1,13±0,07* 0,83±0,12	0,97±0,23* 0,88±0,37	-0,10±0,06 0,15±0,06	40 0
	4 месяца		К-в Ю-н	0,86±0,08 0,62±0,04	1,41±0,03* 0,59±0,15	0,99±0,03 0,81±0,11	0,70±0,01* 1,70±0,23	0,57±0,23* 1,37±0,15	0,00±0,02 -0,02±0,08	70 20
		После полета	1 сутки	К-в Ю-н	0,78±0,09 0,55±0,15	0,93±0,06 1,07±0,21	0,95±0,02 0,89±0,17	1,06±0,08* 0,87±0,11	0,70±0,21* 1,05±0,29	-0,02±0,02 0,04±0,09
1 месяц	К-в Ю-н			0,90±0,04 0,65±0,06	0,73±0,05 0,82±0,08	0,92±0,05 0,86±0,07	1,29±0,08* 1,13±0,14	1,86±0,41 1,52±0,17	-0,03±0,06 0,09±0,14	70 50

Примечание. В данной и последующих таблицах \* – достоверность различий с параметрами движений до полета ( $P < 0,05$ ), курсив – достоверность различий параметров движений на вдохе и выдохе ( $P < 0,05$ ), жирный шрифт – достоверность различий с параметрами движений с амплитудой спонтанного дыхательного объема ( $P < 0,05$ ).

Динамика параметров заданных дыхательных движений с амплитудой равной 1,25 усредненной амплитуды спонтанных дыхательных движений в условиях длительного космического полета (M±m)

Условия		Космонавт	Латентный период (с)	Время движения (с)	Амплитуда движения (V <sub>T</sub> )	Скорость движения (V <sub>T</sub> /с)	Время коррекции (с)	Ошибка (V <sub>T</sub> )	Успешность (%)	Площадь рассогласования (V <sub>T</sub> *с)
ВДОХ										
До полета		К-в Ю-н	0,97±0,06 -	0,73±0,08 -	1,24±0,11 -	1,83±0,24 -	2,44±0,54 -	-0,02±0,11 -	30 -	27,66 -
В полете	1 месяц	К-в	0,94±0,06	0,86±0,04	1,13±0,04	1,32±0,05	1,09±0,26*	-0,14±0,05	40	10,54
		Ю-н	0,70±0,04	0,58±0,06	1,16±0,13	2,04±0,22	1,69±0,17	-0,21±0,09	20	28,58
	3 месяц	К-в	0,75±0,09	0,76±0,10	1,02±0,12	1,53±0,20	0,89±0,24*	-0,27±0,18	40	5,99
		Ю-н	0,88±0,12	0,94±0,09	1,10±0,15	1,26±0,26	0,56±0,17	-0,22±0,15	10	6,23
	4 месяц	К-в	0,84±0,06	1,16±0,07*	1,08±0,04	<b>0,94±0,03*</b>	0,72±0,23*	<b>-0,19±0,04</b>	70	3,59
		Ю-н	0,61±0,04	0,44±0,08	1,20±0,12	3,40±0,61	1,28±0,32	-0,05±0,10	40	3,07
После полета	1 сутки	К-в	0,88±0,06	<b>0,95±0,06*</b>	<b>1,24±0,02</b>	1,35±0,08	0,36±0,19*	-0,02±0,02	100	5,29
		Ю-н	0,76±0,11	1,18±0,09	1,24±0,15	1,07±0,12	0,93±0,13	-0,36±0,06	0	12,82
	1 месяц	К-в	0,93±0,06	0,67±0,07	<b>1,14±0,03</b>	1,87±0,20	1,29±0,41	-0,10±0,02	90	30,23
		Ю-н	0,65±0,04	0,44±0,04	1,03±0,07	2,39±0,17	1,64±0,24	-0,20±0,03	10	95,14
ВЫДОХ										
До полета		К-в Ю-н	0,93±0,14 -	0,82±0,18 -	1,02±0,12 -	1,44±0,19 -	4,02±0,65 -	-0,19±0,12 -	10 -	30 -
Невесомость	1 месяц	К-в	0,82±0,07	1,02±0,11	1,13±0,07	1,20±0,12	<b>0,64±0,22*</b>	-0,08±0,02	70	9,74
		Ю-н	0,62±0,07	1,02±0,15	1,24±0,12	1,30±0,13	1,54±0,19	-0,08±0,06	0	28,34
	3 месяц	К-в	0,66±0,03*	0,83±0,06	<b>1,15±0,04</b>	<b>1,42±0,09</b>	<b>0,24±0,04*</b>	-0,08±0,02	70	5,43
		Ю-н	0,79±0,11	0,84±0,16	0,87±0,12	1,20±0,31	0,68±0,15	-0,06±0,07	20	5,80
	4 месяц	К-в	0,74±0,05	1,43±0,05	<b>1,20±0,02*</b>	<b>0,85±0,03*</b>	0,44±0,19*	-0,04±0,02	100	3,28
		Ю-н	0,66±0,06	0,43±0,07	1,13±0,06	3,13±0,60	1,14±0,28	-0,15±0,07	40	2,76
Восстановление	1 сутки	К-в	0,85±0,07	1,02±0,10	1,09±0,08	1,10±0,06	0,72±0,19*	-0,06±0,03	90	4,85
		Ю-н	0,65±0,10	1,25±0,07	1,17±0,08	0,96±0,10	0,85±0,15	0,26±0,04	0	11,91
	1 месяц	К-в	0,98±0,05	0,79±0,07	<b>1,14±0,05</b>	1,49±0,10	0,97±0,34*	-0,07±0,05	60	27,84
		Ю-н	0,73±0,04	0,41±0,05	1,05±0,09	2,86±0,46	1,63±0,23	-0,05±0,08	20	90,93



Динамика параметров заданных дыхательных движений с амплитудой равной 0,75 усредненной амплитуды спонтанных дыхательных движений в условиях длительного космического полета ( $M \pm m$ )

Условия		Космонавт	Латентный период (с)	Время движения (с)	Амплитуда движения ( $V_T$ )	Скорость движения ( $V_T/c$ )	Время коррекции (с)	Ошибка ( $V_T$ )	Успешность (%)	Площадь рассогласования ( $V_T^*c$ )
ВДОХ										
До полета		К-в Ю-н	<b>1,12±0,07</b> -	0,69±0,12 -	<b>0,72±0,05</b> -	1,20±0,14 -	<b>4,06±0,48</b> -	-0,04±0,05 -	15 -	47,92 -
В полете	1 месяц	К-в	1,12±0,08	<b>0,64±0,05</b>	0,81±0,03	1,32±0,10	1,34±0,21*	0,04±0,02	70	16,16
		Ю-н	0,73±0,06	0,56±0,06	0,76±0,09	1,44±0,17	1,21±0,33	0,05±0,05	0	50,86
	3 месяц	К-в	0,93±0,03*	0,64±0,04	0,85±0,07	1,39±0,13	0,51±0,08*	-0,02±0,06	40	8,25
		Ю-н	0,81±0,05	0,58±0,12	0,69±0,04	1,54±0,40	0,96±0,20	-0,11±0,07	20	10,07
	4 месяц	К-в	0,77±0,07*	<b>0,85±0,05</b>	<b>0,74±0,02</b>	0,89±0,05*	<b>1,50±0,24*</b>	-0,04±0,02	50	5,39
		Ю-н	0,45±0,08	0,47±0,08	0,61±0,06	1,53±0,23	1,38±0,21	-0,07±0,07	20	4,29
После полета	1 сутки	К-в	1,04±0,07	0,66±0,04	<b>0,75±0,05</b>	1,16±0,07	1,65±0,33*	-0,01±0,04	60	8,85
		Ю-н	0,94±0,16	1,04±0,07	0,79±0,04	0,77±0,05	0,76±0,19	-0,18±0,04	0	19,62
	1 месяц	К-в	0,97±0,12	<b>0,41±0,06</b>	<b>0,68±0,07</b>	1,80±0,36	<b>2,32±0,36*</b>	-0,06±0,05	30	44,79
		Ю-н	0,55±0,07	0,56±0,15	0,76±0,07	1,94±0,44	1,82±0,23	0,00±0,08	0	150,52
ВЫДОХ										
До полета		К-в Ю-н	1,10±0,10 -	0,69±0,10 -	<b>0,64±0,03</b> -	1,06±0,14 -	3,99±0,39 -	-0,06±0,05 -	30 -	46 -
В полете	1 месяц	К-в	0,78±0,08*	0,67±0,06	<b>0,72±0,03</b>	1,12±0,08	2,10±0,23*	-0,01±0,03	30	17,17
		Ю-н	0,73±0,06	0,57±0,07	0,75±0,08	1,58±0,31	1,05±0,36	-0,04±0,02	20	50,23
	3 месяц	К-в	0,70±0,06*	0,66±0,09	0,77±0,08	1,22±0,10	1,00±0,20*	-0,09±0,07	50	8,94
		Ю-н	0,73±0,12	1,00±0,22	0,97±0,29	1,04±0,16	1,13±0,20	-0,07±0,07	0	10,89
	4 месяц	К-в	<b>0,64±0,06*</b>	<b>1,19±0,05*</b>	<b>0,76±0,02</b>	0,64±0,04*	1,25±0,30*	0,03±0,01	60	5,34
		Ю-н	0,51±0,06	0,49±0,10	0,63±0,06	1,56±0,26	1,18±0,24	-0,09±0,04	20	4,16
После полета	1 сутки	К-в	0,90±0,08*	0,88±0,12	<b>0,70±0,05</b>	0,85±0,08	1,17±0,30*	0,01±0,04	70	8,39
		Ю-н	0,60±0,14	1,04±0,17	0,72±0,05	0,86±0,22	0,79±0,30	0,21±0,04	0	16,92
	1 месяц	К-в	0,86±0,10*	0,58±0,07	<b>0,76±0,06</b>	1,36±0,14	2,27±0,30*	-0,01±0,06	50	44,79
		Ю-н	0,67±0,03	0,49±0,08	0,83±0,09	1,86±0,20	1,89±0,22	-0,01±0,02	0	154,86

Отмечено снижение времени коррекции и площади рассогласования дыхательных кривых. В течение первого месяца послеполетного восстановления все характеристики произвольных дыхательных движений возвращаются к исходным величинам.

Снижение амплитуды задания (до 0,75 от спонтанной) также сопровождалось типичными [3; 5] изменениями характеристик произвольных дыхательных движений. Так, инспираторные и экспираторные произвольные движения характеризовались меньшей скоростью, меньшим временем, более низкой успешностью и большей площадью рассогласования (табл. 1, 3). Скорость движений на вдохе была больше скорости движений на выдохе.

От сеанса к сеансу отмечено увеличение успешности выполнения задания. Однако, по данным лучших в этом исследовании сеансов доля успешно выполненных дыхательных движений не превышает 70%, как на вдохе, так и на выдохе (табл. 3).

В условиях невесомости, на первом и третьем месяцах космического полета отмечено увеличение скорости произвольных инспираторных и экспираторных дыхательных движений (табл. 3). При этом происходит достоверное уменьшение времени коррекции и площади рассогласования дыхательных кривых (табл. 2). Однако на четвертом месяце космического полета отмечено достоверное снижение скорости инспираторных и экспираторных движений сопровождающееся увеличением времени коррекции. При этом площадь рассогласования дыхательных кривых продолжает снижаться.

Уже через сутки после окончания космического полета скорость произвольных дыхательных движений начинает расти и через месяц даже превышает исходные значения, полученные до полета. Также отмечен прирост времени корректировочных движений и площади рассогласования дыхательных кривых.

**Заключение.** Таким образом, независимо от условий повторное выполнение сложнокоординированных дыхательных движений по заданной программе сопровождается повышением успешности (увеличением количества выполненных дыхательных движений)

Пребывание в условиях невесомости приводит к замедлению произвольных дыхательных движений, сокращению времени их коррекции и, как следствие, к уменьшению площади рассогласования между дыхательной кривой и линией выполняемой программы. В процессе послеполетной реабилитации характеристики произвольных дыхательных движений возвращаются к дополетным значениям.

Воспроизведение увеличенных (относительно спонтанных) дыхательных движений сопровождается значительным увеличением скорости, некоторым увеличением времени, повышением успешности движений и уменьшением площади рассогласования между дыхательной кривой и линией выполняемой программы. Уменьшенные

(относительно спонтанных) дыхательные движения воспроизводятся менее успешно, с несколько меньшей скоростью, за статистически достоверно меньшее время.

### **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 кибернетки. Л., 1972. С. 26–37.

### **FEATURES OF VOLUNTARY CONTROL OF RESPIRATORY MOVEMENTS IN THE CONDITIONS OF LONG SPACE FLIGHT**

**V.M. Baranov<sup>1</sup>, A.V. Minyaeva<sup>2</sup>, V.I. Minyaev<sup>2</sup>, V.I. Kolesnikov<sup>3</sup>,  
U.A. Popova<sup>3</sup>, A.V. Suvorov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of General Pathology and Pathophysiology RAMS

<sup>2</sup>Tver State University

<sup>3</sup>Institute of Biomedical Problems RAS

Two of the astronauts were explored on the ability to voluntary control respiratory movements under conditions of long space flight. It is revealed that stay in weightlessness, is accompanied by delay of any respiratory movements, some increase of accuracy, reduction of time of their correction and, as consequence, reduction of the area of a mismatch between a respiratory curve and a line of the carried out program.

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

*Об авторах:*

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

МИНЯЕВА Арина Владимировна—кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, 33, e-mail: [physiol@tversu.ru](mailto:physiol@tversu.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, 33, e-mail: [physiol@tversu.ru](mailto: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, 76А, e-mail: [kolesnikov@imbp.ru](mailto: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, 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, 76А, e-mail: [suvalex50@yandex.ru](mailto:suvalex50@yandex.ru)