Дата публикации: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_10
УДК 612.1/.8 (616.74)

Publication date: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_10
UDC 612.1/.8 (616.74)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕНА АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА КОСМОНАВТОВ РАЗНЫХ СОМАТОТИПОВ К УСЛОВИЯМ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ГИДРОСРЕДЕ

Т.Б. Кукоба
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия

Аннотация. Исследование, проведенное на базе Центра подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина, позволило определить физиологическую цену адаптации организма космонавтов разных соматотипов к условиям внекорабельной деятельности в гидросреде. В исследовании приняли участие 24 космонавта, которые были разделены по соматотипам на три группы по методике Чернoруцкого. Космонавты, снаряженные в скафандры «Орлан-ГН», выполняли отработку типовых операций внекорабельной деятельности в условиях гидросреды. На протяжении всей тренировки осуществлялась регистрация физиологических показателей космонавтов. До начала и по окончании тренировок космонавтов по внекорабельной деятельности фиксировались показатели гемодинамики в покое, оценивалась физическая работоспособность и скорость восстановительных процессов, устойчивость к гипоксии и сила мышц. Сравнение полученных данных выявило различную величину функциональных сдвигов изучаемых показателей у космонавтов разных соматотипов.
Ключевые слова: космонавты, соматотип, внекорабельная деятельность, гидросреда, цена адаптации.

PHYSIOLOGICAL COST OF BODY ADAPTATION OF COSMONAUTS OF DIFFERENT SOMATOTYPES TO EXTRAVEHICULAR ACTIVITY UNDERWATER

T.B. Kukoba
Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Zvezdnyj Gorodok, Moscow Region, Russia

Abstract. The study conducted in the Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center made it possible to identify the physiological cost of body adaptation of cosmonauts of different somatotypes to the conditions of extravehicular activity underwater. The study involved 24 cosmonauts, who were divided into three groups according to somatotypes (Chernorutskij method). The cosmonauts equipped with Orlan-GN spacesuits performed the typical operations of extravehicular activity underwater. Throughout the training, the physiological indices of the cosmonauts were recorded. Before and after the extravehicular activity training, hemodynamic indices were recorded at rest, physical performance and speed of recovery processes, resistance to hypoxia and muscle strength were also assessed. Comparison of the obtained data revealed different values of functional shifts of the studied indices in cosmonauts of different somatotypes.
Keywords: cosmonauts, somatotype, extravehicular activity, underwater, adaptation cost.

Введение. Адаптация организма к постоянно изменяющимся условиям среды – непрерывный процесс приспособления систем, направленный на сохранение в нем гомеостатического равновесия. Физиологический смысл адаптации организма заключается именно в поддержании гомеостаза и, соответственно, жизнеспособности организма практически в любых условиях, на которые он способен адекватно реагировать [1]. Даже в очень короткие промежутки времени организм человека подвержен достаточной изменчивости в связи с его динамически меняющимися функциональными состояниями. Способность адаптироваться к новым условиям у разных людей не

одинакова. Законы адаптации человеческого организма протекают с учетом его генотипических и фенотипических, а следовательно, и соматотипических особенностей, которые являются определяющими в формировании тех или иных результатов любой деятельности человека [2].

Термин «цена адаптации», предложенный в 1961 году И.В. Давыдовским, используют и в настоящее время. Цена адаптации представляет собой совокупность адаптационно-приспособительных реакций, сопровождающихся затратами энергии, определяемыми уровнем напряжения рефлекторных регуляторных механизмов и величиной мобилизованных функциональных резервов [3].

Внекорабельная деятельность (ВКД) является одним из опасных видов работ в пилотируемых космических полетах (КП) и составляет неотъемлемую часть работ во время длительных экспедиций на Международную космическую станцию (МКС). В перспективе ВКД будет ведущей профессиональной деятельностью при высадке космонавтов на поверхность Луны, Марса и т.д. [4] Профессиональная подготовка по отработке операций ВКД, выполненная в условиях гидросреды (ГС), дает возможность определить физиологическую «цену» адаптации космонавтов за пятичасовую тренировку. Целью исследования явилось определение у космонавтов разных соматотипов величины функциональных сдвигов физиологических систем организма после выполнения тренировок по типовым операциям ВКД в условиях ГС.

Методы и организация исследования. На базе ЦПК в испытательно-тренировочном комплексе «Гидролаборатория» (ИТК ГЛ) в процессе тренировок в условиях ГС космонавты, снаряженные в скафандр (СК) «Орлан-ГН», выполняли отработку типовых операций ВКД. Внутри СК создавалось рабочее избыточное давление воздуха 0,4 кг/см^2. Время тренировки по ВКД в среднем составляло 5 часов.

В исследовании приняли участие 24 космонавта, которые были разделены по методике Чернорyцкого на три группы по соматотипам: на астеников (А), нормостеников (Н) и гиперстеников (Г). Средний возраст космонавтов группы А (n=7) составил 44±5 лет, группы Н (n=10) – 36±5 лет, группы Г (n=7) – 46±7 лет. Индекс массы тела в группе А составил 23,7±1,7 усл.ед., в группе Н – 25,7±2,0 усл.ед., в группе Г – 29,6±1,2 усл.ед. Основной обмен (ОО, ккал/день) рассчитывали по формуле Харриса-Бенедикта. ОО у космонавтов группы А составил 1692±115 ккал/день, у группы Н – 1834±110 ккал/день, у группы Г – 1895±1902,45 ккал/день.

На протяжении всей тренировки по ВКД регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) и частоту дыхания (ЧД, циклов/мин). Для определения энерготрат (ЭТ, ккал) методом непрямой дыхательной калориметрии производили непрерывные измерения расхода вентиляции и концентраций углекислого газа в атмосфере скафандра, а именно: разности концентрации CO_2 на входе и выходе поглотителя CO_2 системы жизнеобеспечения, снабженной контуром вентиляции и контуром водяного охлаждения [5].

До начала и по окончании тренировки по ВКД регистрировали в покое ЧСС и артериальное давление систолическое (АДс, мм рт.ст.) и диастолическое (АДд, мм рт. ст.), измеряли массу тела космонавтов. Оценку общей физической работоспособности и скорость восстановительных процессов определяли по результатам теста Руфье-Диксона. [6] Адаптацию к гипоксии и гипоксемии оценивали по результатам проб Генчи и Штанге [7].

Для оценки силовых показателей мышц кисти измеряли абсолютную силу кисти (кг) электронным кистевым динамометром МЕГЕОН 34090 и рассчитывали силовой индекс кисти (СИК) по формуле:

$$\text{СИК} = \frac{\text{Сила кисти,кг}}{\text{М,кг}} \times 100\ \%,$$

где: М – масса тела (кг).

Для оценки силовых показателей мышц спины измеряли абсолютную силу мышц спины (кг) становым динамометром

ДС-500, силовой индекс спины (СИС) рассчитывали по формуле:

$$СИС = \frac{\text{Сила спины,кг}}{\text{М,кг}} \times 100\ \%,$$

где: М – масса тела (кг).

Величину физиологических сдвигов Δp после тренировки по ВКД рассчитывали по формуле:

$$\Delta p = \frac{(p_2 - p_1)}{p_1} \cdot 100\%,$$

где p_1 – значение параметра до; p_2 – значение параметра после тренировки по ВКД.

Обработка результатов исследования выполнена с использованием общепринятых методов математической статистики [8]. Для каждого из исследуемых показателей рассчитывали среднее значение и среднеквадратическое отклонение. Оценка достоверности различий между результатами, полученными в группах до начала и по окончании тренировки, осуществлялась на основе непараметрического статистического критерия Вилкоксона (Wilcoxon signed-rank test), между группами – с помощью U-критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test) в программе Statistica 10.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ данных, регистрируемых в режиме реального времени в процессе тренировки, показал, что наибольшие *средние и максимальные* значения ЧСС в процессе тренировки по ВКД выявлены у группы Н, наименьшие – у группы Г ($p<0,05$). Наибольшие *минимальные* значения ЧСС за тренировку наблюдались у группы Г, наименьшие – у группы А ($p=0,03$). ЧД и ЭТ были практически одинаковы во всех группах во время тренировки. Общие ЭТ за тренировку в группах Н и Г очень близкие по величине, в группе А ЭТ значительно меньше, чем в двух других группах ($p<0,05$).

Анализ данных, полученных до и после тренировки по ВКД, показал, что наибольшее снижение массы тела за период выполнения ВКД отмечены у космонавтов группы Г ($p=0,02$), потери составили 1,9±0,3%, средние по величине потери – 1,5±0,5% выявлены у группы Н ($p=0,005$), наименьшие – 1,0±0,8% у группы А.

По завершению ВКД в состоянии покоя достоверно значимые изменения по ЧСС и АДд зафиксированы в группе А. ЧСС повысилась на 14,3±5,4% ($p=0,03$), а АДд снизилось на 13,0±2,2% ($p=0,03$). В двух других группах космонавтов изменения незначительны (рис. 1).

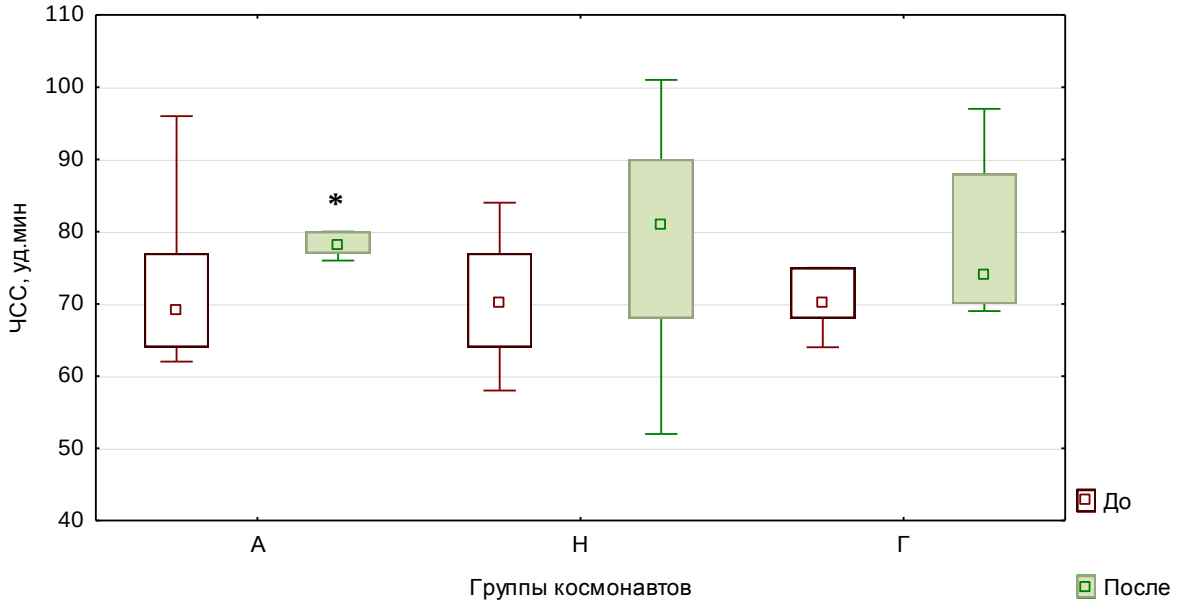


Рис. 1. Показатели ЧСС в покое космонавтов разных соматотипов до и после тренировки по ВКД

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; ВКД – внекорабельная деятельность; * – различия достоверны с исходным уровнем при p=0,03

Общая физическая работоспособность после тренировки снизилась во всех группах космонавтов. Время восстановления после пробы Руфье-Диксона в группах Н и Г не изменилось после ВКД, в группе А у четырех космонавтов увеличилось с трех минут до четырех минут, у одного – с двух до трех минут, у двух – осталось таким же, как до тренировки по ВКД.

Индекс Руфье-Диксона (ИРД), отражающий уровень физической работоспособности и скорость восстановления деятельности сердечно-сосудистой системы, при стандартной физической нагрузке после тренировки по ВКД в большинстве случаев увеличился во всех группах космонавтов. ИРД в группе А увеличился практически в два раза (с 3,6±1,2 до 5,9±0,7 усл.ед.), физическая работоспособность как до, так и после тренировки по ВКД оценивалась как «хорошая» после пробы у двух космонавтов из семи, у трех космонавтов оценка снизилась и с «хорошей» до «средней», у одного – с «отличной» до «хорошей», у одного – с «отличной» до «средней». В группе Н ИРД после тренировки увеличился меньше, чем в двух других группах (с 4,2±0,6 до 5,9±1,8 усл.ед.). Физическая работоспособность у пяти космонавтов не изменилась и соответствовала «хорошей» оценке, у других пяти космонавтов оценка снизилась с «хорошей» до «средней». В группе Г ИРД увеличился с 3,7±0,6 до 5,6±0,6 усл.ед., у двух космонавтов физическая работоспособность снизилась с «хорошей» оценки до «средней», у пяти – не изменилась и оценивалась как «хорошая» как до, так и после тренировки по ВКД. До тренировки по ВКД у космонавтов групп А и Г наблюдалась одинаковая физическая работоспособность, у космонавтов группы Н показатель был ниже, после тренировки ИРД стал примерно одинаков во всех трех группах космонавтов. Наибольшее общее утомление отмечалось у космонавтов группы А, меньше – у группы Г, наименьшее – у космонавтов группы Н.

Анализ данных гипоксических проб показал, что после тренировки по ВКД время задержки дыхания достоверно значимо снижалось у космонавтов всех групп как на вдохе, так и на выдохе. Наибольшее время задержки дыхания на вдохе как до, так и после тренировки по ВКД выявлено у космонавтов группы А (рис. 2). До тренировки космонавты задерживали дыхание в среднем по группе на 138,4±33,4 с (p=0,03), после тренировки время задержки дыхания снизилось на 25% и составляло 103,3±24,2 с (p=0,004). Наименьшее время задержки дыхания на вдохе отмечалось у космонавтов группы Г, до тренировки оно составляло в среднем по группе 97,3±10,5 с (p=0,02), после тренировки время снизилось на 21% и составляло 88,5±7,5 с. У космонавтов группы Н время задержки дыхания на вдохе как до, так и после тренировки по ВКД по продолжительности было средним, до тренировки оно составляло в среднем по группе 111,1±18,0 с, после тренировки снизилось на 9% и составило 90,3±21,1 с (p=0,003).

Анализ данных пробы Генчи показал, что до тренировки по ВКД космонавты всех групп задерживали дыхание на выдохе около 1 минуты (рис. 3). После тренировки у космонавтов группы Г время снизилось в среднем на 10% (p=0,03) и составляло 53,2±8,4 с, у космонавтов группы Н время задержки дыхания снизилось на 17% (p=0,03) и составляло в среднем по группе 46,4±10,0 с, у космонавтов группы А время снизилось на 20% (p=0,007) и составляло 46,6 с. Самое большое снижение времени задержки дыхания как на вдохе, так и на выдохе выявлено у космонавтов группы А, у космонавтов группы Н средняя величина функциональных сдвигов дыхательной системы при гипоксических пробах, у космонавтов группы Г – наименьшее снижение времени задержки дыхания в пробах Штанге и Генчи.

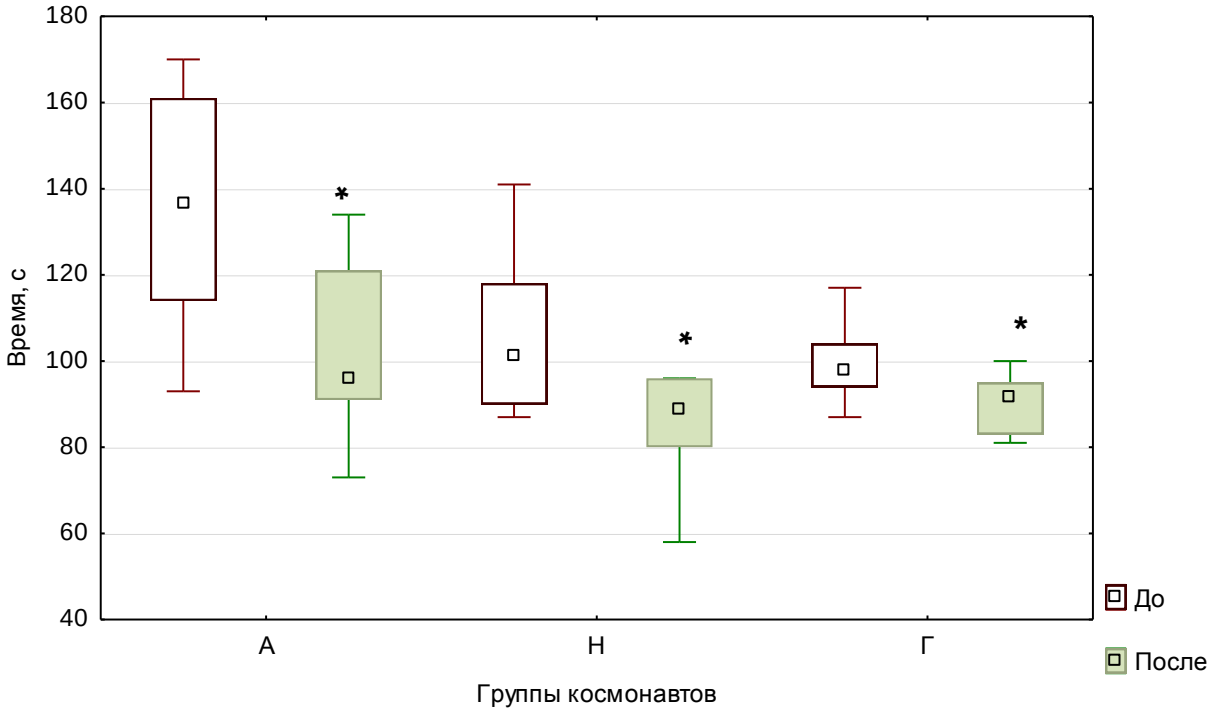


Рис. 2. Время задержки дыхание в пробе Штанге космонавтов разных соматотипов до и после тренировки по ВКД

Примечание: ВКД – внекорабельная деятельность; * – различия достоверны с исходным уровнем при $p \leq 0,02$

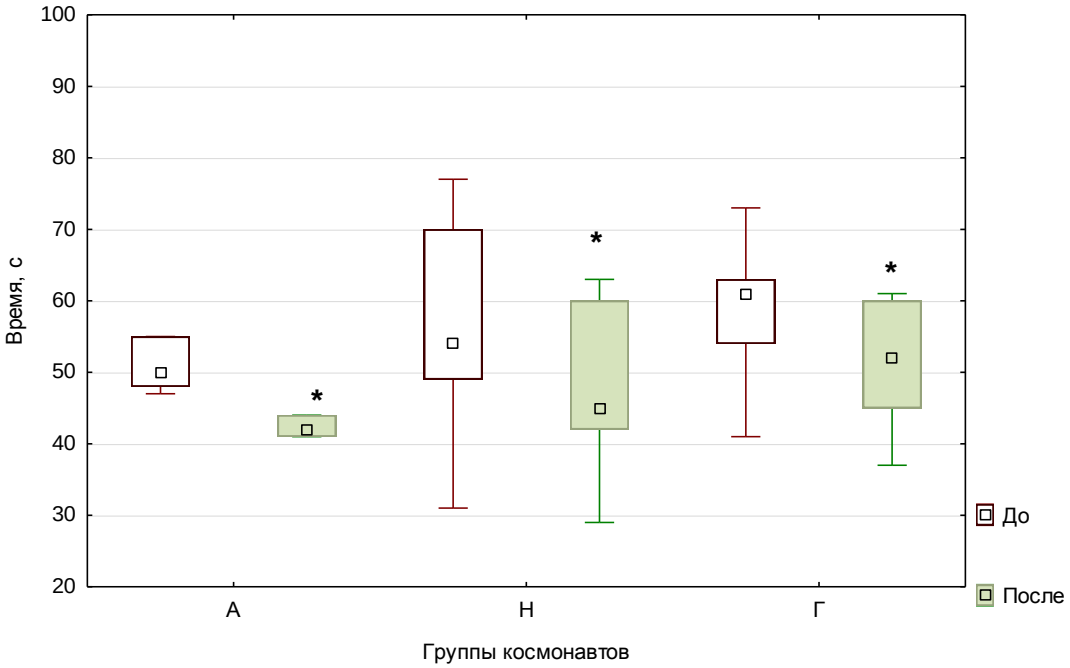


Рис. 3. Время задержки дыхание в пробе Генчи космонавтов разных соматотипов до и после тренировки по ВКД

Примечание: ВКД – внекорабельная деятельность; * – различия достоверны с исходным уровнем при $p \leq 0,03$

Анализ данных кистевой и становой динамометрии, проведенный до и после тренировки по ВКД, показал, что силовые качества значительно снижались во всех группах космонавтов (рис. 4-6).

Как абсолютная, так и относительная сила мышц кисти и спины после тренировки по ВКД достоверно значимо снижалась во всех группах (рис. 4). Как до, так и после тренировки наибольшие значения СИК выявлены у космонавтов группы А, при этом в этой группе наблюдались средние по величине потери, которые составляли 8% (p=0,03). Второй по величине СИК был у космонавтов группы Н, средние потери после тренировки в этой группе составили 12% (p=0,04). Наименьшие показатели СИК отмечались в группе Г, потери после тренировки составили 5% (p=0,04).

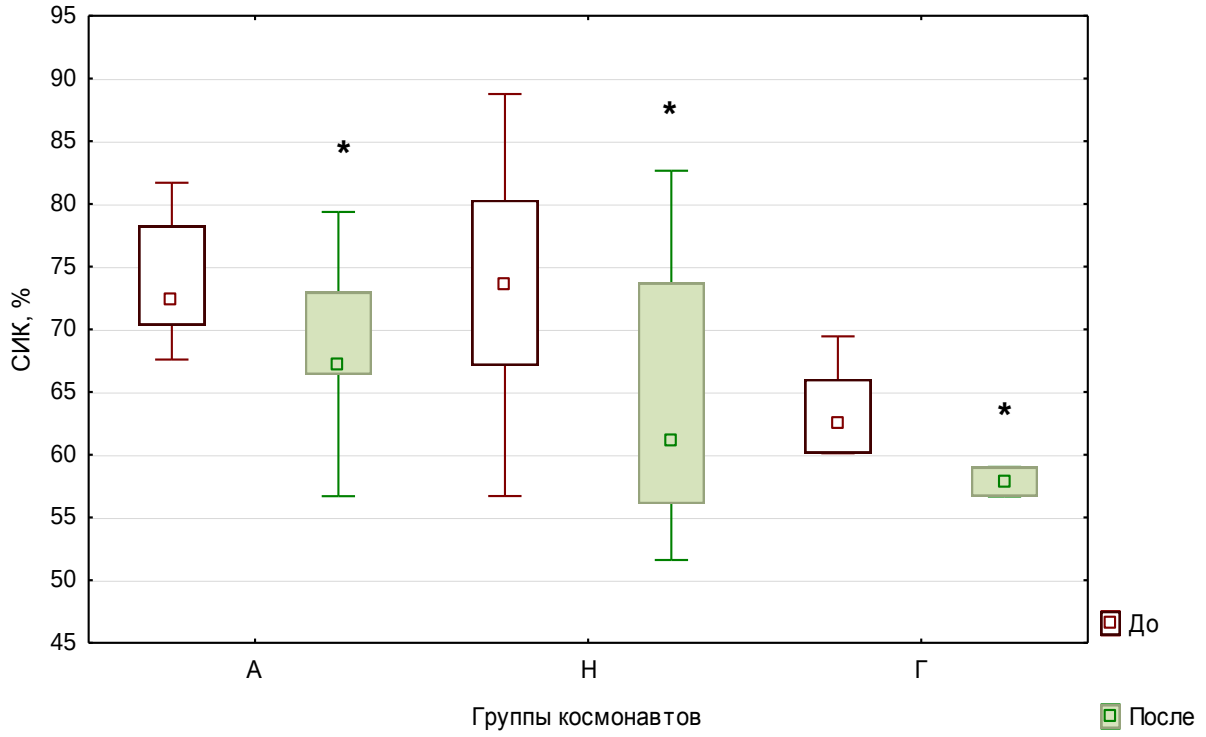


Рис. 4. СИК космонавтов разных соматотипов до и после тренировки по ВКД
Примечание: СИК – силовой индекс кисти; ВКД – внекорабельная деятельность; * – различия достоверны с исходным уровнем при p≤0,03

Самый большой СИС как до, так и после тренировки выявлен у космонавтов группы Н. СИС в группах А и Г до тренировки был практически одинаковый и составлял 175% от массы тела (рис. 5). После тренировки СИС в группе А снизился до 154,8±24,1%, группе Г – до 164,8±27,9%. Величина потерь СИС повторяет тренд СИК. Наибольшее снижение силы выявлены у группы Н, потери достигали 14% (p=0,04), меньше снижение было у группы А, потери составили 11% (p=0,04), наименьшее снижение наблюдалось у группы Г, потери составили 3% (p=0,03).

После реальной ВКД космонавты теряют до 2,5 кг массы тела [5], выявленные нами средние по группам потери массы тела после тренировки по ВКД немного меньше. Так, в группе А средние потери составляли 1,1±0,6 кг, в группе Н – 1,0±0,5 кг, в группе Г – 1,7±0,2 кг.

Ранее было показано, что во время реальной ВКД средние ЭТ находились в диапазоне от 3 до 6 ккал/мин, ЧСС при этом варьировала от 75 до 115 уд/мин [5, 9]. В нашем случае ЭТ в группе А находились в диапазоне 3,4-7,5 ккал/мин при ЧСС 53-146 уд/мин, в группе Н – в диапазоне 4,2-7,0

ккал/мин при ЧСС 57-148 уд/мин, в группе Г – в диапазоне 4,4-7,3 ккал/мин при ЧСС 53-141 уд/мин. Опыт реальной ВКД показал, что для обеспечения безопасности выполнения операций ВКД время работ с ЭТ, превышающих 6,0 ккал/мин, не должно превышать 10 минут, так как длительная работа высокой интенсивности может привести к резкому снижению физических возможностей космонавта и значительно увеличить время восстановления его работоспособности [5, 9].

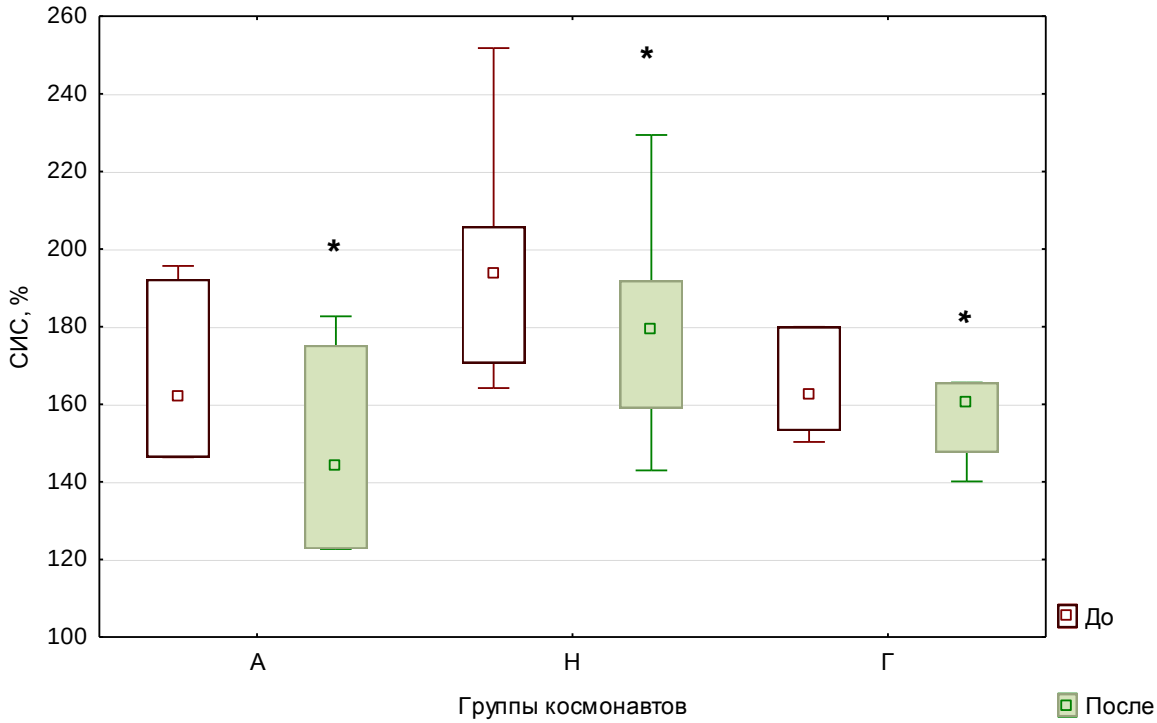


Рис. 5. СИС космонавтов разных соматотипов до и после тренировки по ВКД
Примечание: СИС – силовой индекс спины; ВКД – внекорабельная деятельность; ***** – различия достоверны с исходным уровнем при $p \leq 0{,}03$

Заключение. Таким образом, обнаруженные функциональные сдвиги, обеспечивающие адаптивные перестройки в организме космонавтов при выполнении ВКД в условиях ГС, свидетельствуют о значительной степени утомления. Цена адаптации систем организма при тренировках по ВКД у космонавтов разных соматотипов не одинакова. У группы А при средних значениях ЧСС и наименьших общих за тренировку ЭТ наибольшие изменения выявлены в ответе кардиореспираторной системы. У группы Н при самых высоких значениях ЧСС в процессе тренировки и максимальных общих за тренировку ЭТ наибольшие изменения выявлены в мышечной системе. У группы Г при средних значениях ЧСС и средних ЭТ за тренировку изменения коснулись только массы тела.

Полученные результаты можно учитывать при формировании экипажей для выполнения ВКД. Для сохранения адекватной работоспособности, снижения локального и общего утомления необходимо использовать персонифицированный подход с учетом специфики функциональных сдвигов организма космонавтов разных соматотипов, расширять комплекс организационных мероприятий, касающийся режима труда и отдыха, накануне и в дни проведения тренировок по ВКД в условиях ГС.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин, П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. – Москва, 1975. – С. 477.
2. Шклярук В. Я. Адаптация человека к отрицательным воздействиям окружающей среды / В. Я. Шклярук // Вестник ТГУ. – 2009. – № 7. – С. 159-164.
3. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека / Н. А. Агаджанян, Г. М. Коновалова, Р. Ш. Ожева, Т. Ю. Уракова // Новые технологии. – 2010. – № 2. – С. 142-144.
4. Китаев-Смык, Л. А. Биофизические и физиологические аспекты высадки человека на Луну и Марс: попытки решения в лётных экспериментах / Л. А. Китаев-Смык, С. Н. Филипенков, М. С. Филипенкова // Научные Чтения памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2017. – С. 204-205.
5. Российский опыт медицинского обеспечения внекорабельной деятельности космонавтов, проведенной с борта Международной космической станции в 2001-2015 гг. / Катунцев В. П., Осипов, Ю. Ю., Филипенков С. Н. [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – № 1 (55). – С. 8-18.
6. Хоружев, А. Г. Методы оценки физической работоспособности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы в медицине и физиологии / А. Г. Хоружев. – Челябинск, 1993. – С. 90.
7. Чинкин, А. С. Физиология дыхания / А. С. Чинкин, Ю. П. Денисенко. – Набережные Челны: КамГИФК, 2000. – 80 с.
8. Губа, В. П. Методы математической обработки результатов спортивно-педагогических исследований / В. П. Губа, В. В. Пресняков. – Человек, 2015. – 288 с.
9. Григорьев, А. И. Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности космонавтов / А. И. Григорьев, Ю. Ю. Осипов, Г. И. Самарин // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Т. 85. – № 4. – С. 291-298.

REFERENCES

1. Anohin P.K. Essays on functional system physiology. Moscow, 1975. p. 477. (in Russ.)
2. Shklyaruk V.Ya. Adaptation of a human being to the negative impacts of the environment. *Tambov University Review*, 2009, no. 7, pp. 159-164. (in Russ.)
3. Agadzhanyan N.A., Konovalova G.M., Ozheva R.Sh., Urakova T.S. The impact of external factors on the formation of adaptive reactions of the human body. *New technologies*, 2010, no. 2, pp. 142-144. (in Russ.)
4. Kitaev-Smyk L.A., Filipenkov S.N., Filipenkova M.S. Biophysical and physiological aspects of human landing on the Moon and Mars: attempts to solve them in flight experiments. K.E. Tsiolkovskij Scientific Readings. Kaluga, 2017. pp. 204-205. (in Russ.)
5. Katuntsev V.P., Osipov Yu.Yu., Filipenkov S.N., Tarasenkov G.G., Krasnov A.N. Russian experience in the medical support of extravehicular activity conducted from the International Space Station: 2001-2015. *Extreme medicine*, 2016, no. 1 (55), pp. 8-18. (in Russ.)
6. Khoruzhev A.G. Methods for assessing physical performance and functional state of the cardiovascular system in medicine and physiology. Chelyabinsk, 1993. p. 90. (in Russ.)
7. Chinkin A.S., Denisenko Yu.P. Physiology of breathing. Naberezhnye Chelny, 2000. p. 80. (in Russ.)
8. Guba V.P., Presnyakov V.V. Methods of mathematical processing of sports and pedagogical research results. Chelovek, 2015. 288 p. (in Russ)
9. Grigor'ev A.I. Osipov Yu.Yu., Samarin G.I. Medical support for extravehicular activities of astronauts. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 85, no. 4, pp. 291-298. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Татьяна Борисовна Кукоба – кандидат педагогических наук, доцент, начальник научно-исследовательской испытательной лаборатории медицинского управления, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок Московская обл., e-mail: T.Kukoba@gctc.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Tat'yana B. Kukoba – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Medical Department Research Laboratory, Gagarin State Scientific Research and Testing Cosmonaut Training Center, Zvezdnyj Gorodok, Moscow Region, e-mail: T.Kukoba@gctc.ru

Для цитирования: Кукоба, Т. Б. Физиологическая цена адаптации организма космонавтов разных соматотипов к условиям внекорабельной деятельности в гидросреде / Т. Б. Кукоба // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_10

For citation: Kukoba T.B Physiological cost of body adaptation of cosmonauts of different somatotypes to extravehicular activity underwater. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_10