

УДК 796.012

**ТЕСТ PWC_{170} В ПРАКТИКЕ
ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ**

В.Г. Назин, В.А. Бессонова, Т.Б. Кукоба

Канд. техн. наук, проф. АВН В.Г. Назин; канд. пед. наук, доц. Т.Б. Кукоба;
В.А. Бессонова (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены особенности проведения, предназначение и результаты выполнения теста PWC_{170} в процессе физической подготовки космонавтов (ФПК) в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Описаны три существующие модификации теста, обосновано применение двухступенчатого варианта В.Л. Карпмана для оценки общей физической работоспособности космонавтов, расчета максимального потребления кислорода (МПК) и контроля этого теста в качестве нормативного упражнения на выносливость. На основе анализа 114 результатов тестирования 39 действующих космонавтов (2017–2025 гг.) установлено, что абсолютные значения PWC_{170} находятся в диапазоне 1021–2318 кгм/мин, а 93 % результатов соответствуют высокому уровню физической работоспособности. Расчетные значения МПК (36,6–62,0 мл/кг/мин) в 98 % случаев превышают предполетный норматив NASA. Возрастного снижения PWC_{170} и МПК у космонавтов не выявлено. Действующие нормативы ФПК по тесту PWC_{170} признаны достижимыми (77,2 % оценок «отлично»). Предложено использовать тест PWC_{170} для оценки физического состояния российских членов экипажей МКС до полета и в раннем послеполетном периоде с целью коррекции реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: тест PWC_{170} , космонавты, уровень физической работоспособности, максимальное потребление кислорода, физическое состояние, нормативное физическое упражнение

 **PWC_{170} Test in Cosmonaut Physical Training Practice. V.G. Nazin,
V.A. Bessonova, T.B. Kukoba**

The article outlines the specific features, purpose and results of the PWC_{170} test within the framework of cosmonaut physical training (CPT) at Gagarin Cosmonaut Training Center. It describes three existing modifications of the test and justifies the use of Karpman's two-stage version of the test to assess the overall physical work capacity in cosmonauts, to calculate the maximal oxygen consumption (VO_{2max}) and to monitor the test as a normative endurance exercise. An analysis of 114 test results from 39 active cosmonauts (2017–2025) revealed that the absolute PWC_{170} values ranged from 1021 to 2318 kgm/min, with 93 % of the results indicating a high level of physical work capacity. The calculated VO_{2max} values (36,6–62,0 ml/kg/min) exceeded NASA pre-flight standard in 98 % of cases. The PWC_{170} and VO_{2max} values showed no age-related decline. The current normative physical training standards for the PWC_{170} test are deemed fully achievable, with 77,2 % of the scores rated as “excellent”. It is proposed to

use the PWC_{170} test to evaluate pre-flight and early post-flight physical status of Russian ISS crew members to guide their rehabilitation.

Keywords: PWC_{170} test, cosmonauts, level of physical work capacity, maximal oxygen consumption, physical condition, normative physical exercise

T. Sjöstrand (1947), H. Wahlund (1948) и многие другие исследователи [1–5] отметили, что между частотой сердечных сокращений (ЧСС) и мощностью выполняемой мышечной работы человека существует линейная зависимость. Это положение является физиологической основой для определения показателя PWC_{170} . Данная линейная зависимость сохраняется до определенного уровня ЧСС, который составляет приблизительно 170 ударов в минуту (что соответствует 80–90 % от максимальной ЧСС). При превышении этого порога прямолинейная зависимость может нарушаться [1, 2].

На основании этого T. Sjöstrand (1967) предложил определять физическую работоспособность по величине мощности работы, при которой ЧСС достигает 170 ударов в минуту. Теоретической основой теста PWC_{170} (англ. *Physical Working Capacity*) являются две физиологические закономерности:

1. Учащение сердцебиения при мышечной работе прямо пропорционально ее интенсивности (мощности или скорости).

2. Степень учащения сердцебиения при непереносимой физической нагрузке обратно пропорциональна функциональным возможностям сердечно-сосудистой системы, являющимся косвенным критерием общей физической работоспособности.

Тест PWC_{170} рекомендован Всемирной организацией здравоохранения для определения общей физической работоспособности [6], широко применяется как для спортсменов, так и для практически здоровых лиц, а также для детей и подростков [7–9].

В настоящее время существует три варианта проведения теста PWC_{170} :

1. *Общеввропейский вариант* предполагает выполнение трех возрастающих по мощности нагрузок (продолжительность каждой – 3 мин), не разделенных интервалами отдыха. Мощность нагрузки W рассчитывается на единицу массы тела (Вт/кг); первоначальная мощность устанавливается из расчета 0,75–1,25 Вт/кг, а ее увеличение осуществляется с возрастанием ЧСС. Сама ЧСС (f) измеряется в течение последних 15 сек каждой 3-минутной ступени; нагрузка регулируется так, чтобы к концу теста ЧСС увеличивалась до 170 уд./мин. Результат теста определяется по формуле:

$$PWC_{170} = \frac{W_3 - W_2}{f_3 - f_2} \times (170 - f_3) + W_3, \text{ Вт/кг},$$

где PWC_{170} – физическая работоспособность при ЧСС = 170 уд./мин;

W_2 – мощность второй нагрузки, Вт/кг;

W_3 – мощность третьей нагрузки, Вт/кг;

f_2 – ЧСС в конце второй нагрузки, уд./мин;

f_3 – ЧСС в конце третьей нагрузки, уд./мин.

Первая нагрузка (W_1) и значение ЧСС в конце первой нагрузки (f_1) в формуле не участвуют – предназначены для разминки и подбора мощности второй нагрузки.

2. *Модификация советского спортивного физиолога В.Л. Карпмана (1978)* предполагает выполнение двух нагрузок возрастающей мощности (продолжительность каждой – 5 мин) с интервалом отдыха 3 мин. Мощность нагрузки W может измеряться в ваттах или в кгм/мин (1 Вт = 6,1 кгм/мин). Тест выполняется без предварительной разминки. При выборе мощности первой нагрузки учитываются масса тела, ЧСС в покое (f_0) и уровень общей физической работоспособности. Мощность второй нагрузки устанавливается с учетом мощности первой нагрузки и достигнутой ЧСС. В конце первой нагрузки ЧСС должна достигать 110–130 уд./мин, а в конце второй – 150–165 уд./мин (разница должна быть не менее 40 уд./мин). Результат теста рассчитывается по формуле [10]:

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \times \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}, \text{ кгм/мин},$$

где PWC_{170} – физическая работоспособность при ЧСС = 170 уд./мин;

W_1 – мощность первой нагрузки, кгм/мин;

W_2 – мощность второй нагрузки, кгм/мин;

f_1 – ЧСС в конце первой нагрузки, уд./мин;

f_2 – ЧСС в конце второй нагрузки, уд./мин.

Для определения относительного значения PWC_{170} (кгм/мин/кг) полученное абсолютное значение делится на величину массы тела тестируемого.

3. *Модификация Л.И. Абросимовой (1978)* была специально разработана для тестирования детей и подростков, предполагает выполнение одной нагрузки, обуславливающей возрастание ЧСС до 150–160 уд./мин. Результат определяется по формуле:

$$PWC_{170} = \frac{W}{f_1 - f_0} \times (170 - f_0), \text{ Вт},$$

где PWC_{170} – физическая работоспособность при ЧСС = 170 уд./мин;

W – мощность выполненной нагрузки, Вт;

f_1 – ЧСС в конце нагрузки, уд./мин;

f_0 – ЧСС в покое, уд./мин.

Формула Абросимовой дает корректные результаты при условии, что f_1 заметно выше f_0 и нагрузка вызывает учащение пульса не менее чем 120–140 уд./мин.

Известный американский специалист по оздоровительным технологиям К. Купер (1970) был одним из первых, кто обратил внимание на то, что состояние одной функциональной системы организма достаточно хорошо

отражает состояние других систем. Такой системой является система аэробного энергообеспечения, которая определяется запасами доступных для использования источников энергии, поставкой кислорода к тканям организма и его использованием [11]. Она включает в себя:

- аппарат внешнего дыхания, возможности которого зависят от жизненной емкости легких, подвижности грудной клетки, силы дыхательных мышц, проницаемости стенок альвеол, кровоснабжения легочной ткани;
- сердечную производительность, определяемую размерами сердца, в первую очередь левого желудочка, и силой сердечной мышцы;
- сосудистую систему и особенно капиллярную сеть, ее разветвленность, просвет и эластичность периферических капилляров, проницаемость их стенок;
- систему крови, к которой относится общее количество крови, содержание гемоглобина и других компонентов, влияющих на способность крови переносить кислород;
- содержание миоглобина в органах и тканях;
- содержание и активность ферментов аэробного биологического окисления.

Несмотря на такую многофакторность системы аэробного энергообеспечения, оценить уровень ее развития относительно просто. В качестве наиболее информативного показателя этого уровня используется так называемое максимальное потребление кислорода (МПК) – наибольшее количество кислорода, которое человек способен потребить во время мышечной работы максимальной мощности. Это интегральный показатель, дающий оценку состояния системы в целом, а не отдельных ее компонентов. Специальные исследования убедительно показали, что чем выше МПК, тем больше функциональные резервы физиологических систем, тем выше уровень физического состояния (здоровья) человека.

Согласно современным подходам, аэробная мощность, выраженная через показатель МПК, служит объективным мерилем биологической надежности всех систем организма [3, 4]. В практике используются абсолютные (в литрах потребляемого кислорода в минуту) и относительные (в миллилитрах потребляемого кислорода на килограмм массы тела в минуту) значения МПК. Последние более информативны, так как позволяют сравнивать уровень развития системы аэробного энергообеспечения у людей, различающихся по массе тела. Относительные значения МПК колеблются от 20 мл/кг/мин у совершенно нетренированных людей до 85 мл/кг/мин и более у спортсменов высшей квалификации, специализирующихся в видах спорта с длительной непрерывной работой (бегуны и гребцы на длинные дистанции, лыжники-гонщики и т. д.) [5, 7]. После 20–25 лет у обычных (систематически не тренирующихся) людей МПК начинает снижаться [8, 11, 12], однако под воздействием целенаправленных тренировок МПК может некоторое время поддерживаться и даже вырасти до 30 % [5].

Существуют прямые и непрямые (косвенные) методы определения МПК. Прямые методы основаны на непосредственной регистрации размеров легочной вентиляции и анализе химического состава выдыхаемого воздуха при выполнении испытуемым максимальной нагрузки при максимальной ЧСС. На основании полученных данных и определяются значения МПК. Это высокоинформативный метод, однако, он достаточно трудоемкий, требует дорогостоящего оборудования и хорошо подготовленных специалистов. Косвенные методы определения МПК проигрывают прямым методам по точности, однако они более просты и доступны широкому кругу специалистов. В основе большинства этих методов лежит высокая степень связи между уровнем МПК и физической работоспособностью человека в упражнениях с преимущественно аэробным энергообеспечением. В.Л. Карпман (1987) предложил для расчета абсолютного значения МПК (в мл/мин) использовать результат теста PWC_{170} (в кгм/мин) и следующую формулу:

$$\text{МПК} = 1,7 PWC_{170} + 1240, \text{ мл/мин},$$

где МПК – максимальное потребление кислорода;

PWC_{170} – величина физической работоспособности, кгм/мин.

Для определения относительного значения МПК (мл/кг/мин) полученное абсолютное значение делится на величину массы тела тестируемого.

В настоящее время тест PWC_{170} используется в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в процессе ФПК, поэтому рассмотрение специфики его проведения, предназначения и результатов выполнения этого теста космонавтами современного контингента представляет определенный научный и практический интерес.

Цель исследования: рассмотрение особенностей проведения, предназначения и результатов выполнения теста PWC_{170} космонавтами современного контингента в практике их физической подготовки.

Особенности проведения теста PWC_{170} в условиях ФПК

Тест PWC_{170} в процессе ФПК выполняется в модификации В.Л. Карпмана на велоэргометре Cybex C8000. Данный вариант теста PWC_{170} обеспечивает высокую точность оценки физической работоспособности и позволяет учесть индивидуальные особенности тестируемого (массу тела и предполагаемый уровень физической подготовленности). Задаваемые нагрузки далеки от предельных, поэтому их выполнение не вызывает значительного утомления. Сам тест методологически корректен, методически несложен, мало затратен по времени (всего 13 мин) и материально-техническому обеспечению (требуется только секундомер, датчик ЧСС и велоэргометр). Все космонавты по состоянию здоровья должны быть допущены к исследованию, иметь действующее заключение врачебно-экспертной комиссии. Тест

проводится в стандартных условиях. Процедура теста, измерение и расчет PWC_{170} осуществляется стандартно по В.Л. Карпману [10].

Медицинский допуск космонавтов к тестированию осуществляется врачом по результатам медицинского осмотра, который включает в себя:

- опрос о самочувствии, качестве предшествующего отдыха, сна и питания, приеме лекарственных препаратов;
- осмотр кожных покровов и видимых слизистых;
- измерение артериального давления (АД), ЧСС и содержание кислорода в крови.

Противопоказаниями для проведения тестирования являются:

- жалобы на плохое самочувствие;
- острые воспалительные заболевания;
- повышенное или пониженное АД (систолическое – менее 95 и более 150 мм рт. ст., диастолическое – менее 60 и более 90 мм рт. ст.);
- тахикардия в покое (ЧСС более 90 уд./мин);
- тренировки по внекорабельной деятельности в гидросреде за 72 ч до тестирования и т. д.

Показания к досрочному прекращению тестирования:

- ухудшение самочувствия космонавта;
- приступ удушья или выраженная одышка;
- головокружение, тошнота, головная боль или другая неврологическая симптоматика;
- невозможность поддерживать заданную скорость и мощность педалирования.

Выбор нагрузок при проведении теста PWC_{170} осуществляется в соответствии с рекомендациями [10], представленными в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Рекомендации по выбору первой нагрузки в тесте PWC_{170}

Масса тела, кг	< 59	60–64	65–69	70–74	75–79	> 80
Первая нагрузка W_1 , кгм/мин	300	400	500	600	700	800

Таблица 2

Рекомендации по выбору второй нагрузки в тесте PWC_{170}

Первая нагрузка W_1 (кгм/мин)	Вторая нагрузка W_2 (кгм/мин)						
	ЧСС при первой нагрузке (уд./мин)						
	80–89	90–99	100–109	110–119	120–129	130–139	140–149
400	1100	1000	900	800	700	600	500
500	1200	1100	1000	900	800	700	600
600	1300	1200	1100	1000	900	800	700
700	1400	1300	1200	1100	1000	900	800
800	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900

Предназначение теста PWC_{170} в практике ФПК

1. Для оценки уровня физической работоспособности космонавтов тест PWC_{170} проводится ежегодно в плановом порядке. Качественная оценка этого уровня (высокий, выше среднего, средний и т. д.) выставляется исходя из абсолютных результатов теста (в кгм/мин) и принадлежности космонавтов к возрастной группе и полу в соответствии с табл. 3 [10].

Таблица 3

**Оценка уровня физической работоспособности
по результату теста PWC_{170} (в кгм/мин)**

Возраст, лет	Уровень физической работоспособности				
	низкий	ниже среднего	средний	выше среднего	высокий
Женщины					
20–29	< 449	450–549	550–749	750–849	> 850
30–39	< 399	400–499	500–699	700–799	> 800
40–49	< 299	300–399	400–599	600–699	> 700
50–59	< 199	200–299	300–499	500–599	> 600
Мужчины					
20–29	< 699	700–849	850–1149	1150–1299	> 1300
30–39	< 599	600–749	750–1049	1050–1199	> 1200
40–49	< 499	500–649	650–949	950–1099	> 1100
50–59	< 399	400–549	550–849	850–999	> 1000
60–69	< 299	300–449	450–749	750–899	> 900

2. Для расчета МПК и оценки физического состояния космонавтов в настоящее время используются результаты теста PWC_{170} и расчетная формула В.Л. Карпмана. Качественная оценка физического состояния космонавтов (отличное, хорошее, удовлетворительное и т. д.) выставляется исходя из относительных значений МПК (в мл/кг/мин) и принадлежности космонавтов к возрастной группе и полу в соответствии с табл. 4 [10].

Таблица 4

Оценка физического состояния по значению МПК (в мл/кг/мин)

Возраст, лет	Физическое состояние (здоровье)				
	очень плохое	плохое	удовлетворительное	хорошее	отличное
Женщины					
20–29	< 29	29–34	35–43	44–48	> 48
30–39	< 28	28–33	34–41	42–47	> 47
40–49	< 26	26–31	32–40	41–45	> 45
50–59	< 22	22–28	29–36	37–41	> 41
Мужчины					
20–29	< 39	39–43	44–51	52–56	> 56
30–39	< 35	35–39	40–47	48–51	> 51

Окончание табл. 4

Возраст, лет	Физическое состояние (здоровье)				
	очень плохое	плохое	удовлетворительное	хорошее	отличное
40–49	< 31	31–35	36–43	44–47	> 47
50–59	< 26	26–32	33–39	40–43	> 43
60–69	< 21	21–26	27–35	36–39	> 39

Принципиальная разница состоит в том, что проведение теста PWC_{170} обусловлено внутренними потребностями ФПК российских космонавтов, а определение МПК космонавтов и астронавтов разных национальных космических агентств регламентировано документом NASA-STD-3001 Medical Evaluation Data Base (MED) [14] – стандартом Международной рабочей группы по медицинскому обеспечению МКС. Рекомендованный в этом документе предполетный уровень МПК астронавтов – не менее 38,7 мл/кг/мин (при условии снижения показателя в полете на 15 %).

Кроме того, там же регламентирован и метод определения МПК (MEDB 4.1. Cycle Ergometer Test/Aerobic Functional Capacity) – прямое измерение потребления кислорода методом эргоспирометрии в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой вплоть до 400 Вт.

В этой связи следует указать, что в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» такое инструментальное измерение осуществляется исключительно в экспериментальных исследованиях, а не для решения прикладных задач ФПК. Ранее было показано, что значения МПК, полученные косвенным методом по результатам теста PWC_{170} , и прямым методом с помощью газоанализатора выдыхаемого воздуха (тест MEDB 4.1.) значимо не отличаются. Сравнение значений МПК, полученных в тестах PWC_{170} и MEDB 4.1., показало, что в PWC_{170} среднее значение МПК составило $47,8 \pm 5,2$ мл/кг/мин, а по результатам MEDB 4.1. – $45,0 \pm 6,8$ мл/кг/мин ($p > 0,05$) [13].

Внедрение в практику ФПК прямого метода определения МПК пока представляется избыточным (стоимость современного оборудования для его реализации составляет не менее 3–4 млн руб.).

3. В качестве нормативного физического упражнения для оценки выносливости космонавтов. Качественная оценка результатов (отлично, хорошо, удовлетворительно) осуществляется в соответствии с действующими нормативами ФПК [15], представленными в табл. 5.

Таблица 5

**Нормативы выполнения
физического упражнения космонавтов «Тест PWC_{170} »**

Результат теста PWC_{170} , кгм/мин	до 35 лет			35–45 лет			старше 45 лет		
	отл.	хор.	удовл.	отл.	хор.	удовл.	отл.	хор.	удовл.
	1300	1200	1100	1250	1150	1050	1200	1100	1000

Однако на практике для оценки выносливости космонавтов используется количественная оценка N результатов теста PWC_{170} , рассчитываемая по 10-балльной шкале с учетом возраста T космонавта (лет и месяцев в десятичном исчислении) по формуле [15]:

$$N = 3 + 0,02 \times (PWC_{170} - 1100) + 0,1 \times (T - 30),$$

при этом: если $N < 0$, то $N = 0$; если $N > 10$, то $N = 10$.

Вклад результата теста PWC_{170} в балльную оценку выносливости каждого космонавта определяется как произведение балльной оценки N этого результата на коэффициент его относительной важности [15] среди других нормативных физических упражнений на выносливость (рис. 1).

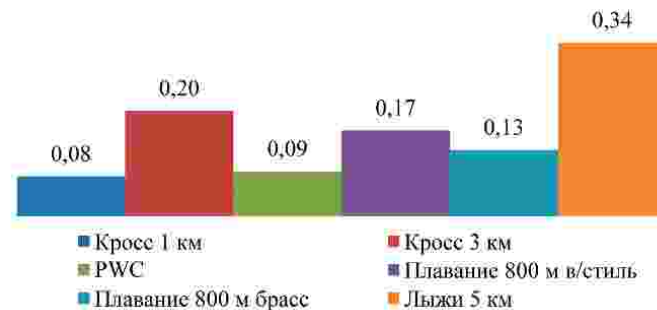


Рис. 1. Диаграмма коэффициентов относительной важности нормативных физических упражнений космонавтов на выносливость

На рисунке видно, что для теста PWC_{170} этот нормированный коэффициент составляет 0,09 – чуть больше, чем у кросса на 1 км, но гораздо меньше, чем у лыжной гонки на 5 км (0,34). В предельном случае, теоретически, если на выносливость выполнялось только одно нормативное упражнение – тест PWC_{170} , то балльная оценка его результата становится балльной оценкой выносливости космонавта.

Результаты выполнения теста PWC_{170} космонавтами современного контингента

Всего для анализа использовали 114 индивидуальных результатов теста PWC_{170} , который выполнили 39 действующих космонавтов (37 мужчин и 2 женщины) в возрасте от 27 до 60 полных лет в период с 25.01.2017 по 03.03.2025. Средний возраст космонавтов составил $40,3 \pm 7,8$ года, средний рост – $177,7 \pm 5,2$ см, средняя масса тела на момент тестирования – $81,5 \pm 8,8$ кг. Ограничением исследования являлось то, что повторные измерения у одних и тех же космонавтов анализировались без применения моделей смешанных эффектов (англ. *Mixed-Effects Models*).

Для обработки выборки применялись методы аппроксимации с графическим представлением (в частности, прикладные функции Excel). Вначале в компьютер вводились индивидуальные результаты теста PWC_{170} и осуществлялось их графическое отображение в координатах «возраст – результат», далее проводилась линейная аппроксимация (методом наименьших квадратов) множества результатов, отображалась линейная зависимость среднего результата теста PWC_{170} от возраста T космонавтов, определялось уравнение этой зависимости (рис. 2).

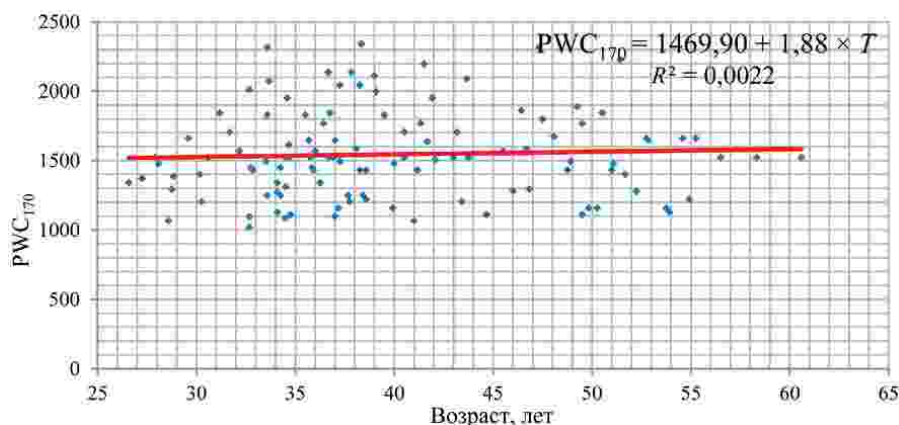


Рис. 2. Индивидуальные результаты теста PWC_{170} , линейная зависимость среднего результата PWC_{170} от возраста T космонавтов и ее уравнение (при $p = 0,623$)

На рисунке видно, что при существенном разбросе (в пределах от 1021 до 2318 кгм/мин) индивидуальных результатов теста PWC_{170} средний результат по мере увеличения возраста космонавтов не снижается, а даже ничтожно возрастает с градиентом 1,88 кгм/мин в год. Но статистическая значимость линейной зависимости среднего результата PWC_{170} от возраста – ничтожна, и указывает лишь на то, что в пределах данной выборки космонавтов не выявлено выраженного возрастного снижения результата PWC_{170} , характерного для лиц, систематически не тренирующихся. Исходя из данных табл. 3 условно можно заключить, что у среднестатистических мужчин средний результат теста PWC_{170} по мере увеличения возраста снижается с градиентом 10 кгм/мин в год. Такая возрастная стабильность среднего уровня физической работоспособности космонавтов с возрастом может быть обусловлена не только их систематическими физическими тренировками, но и эффектом пролонгированного отбора космонавтов по состоянию здоровья и уровню физической подготовленности на протяжении всех этапов их подготовки к космическому полету.

Качественная оценка 114 индивидуальных результатов теста PWC_{170} выявила, что 106 (93 %) из них указывают на высокий уровень физической работоспособности космонавтов, а 8 (7 %) – на уровень выше среднего (рис. 3).



Рис. 3. Процентное распределение качественных оценок уровня физической работоспособности космонавтов

Индивидуальные значения МПК космонавтов, рассчитанные по результатам теста PWC_{170} , линейная зависимость среднего значения МПК от возраста T космонавтов и ее уравнение представлены на рис. 4.

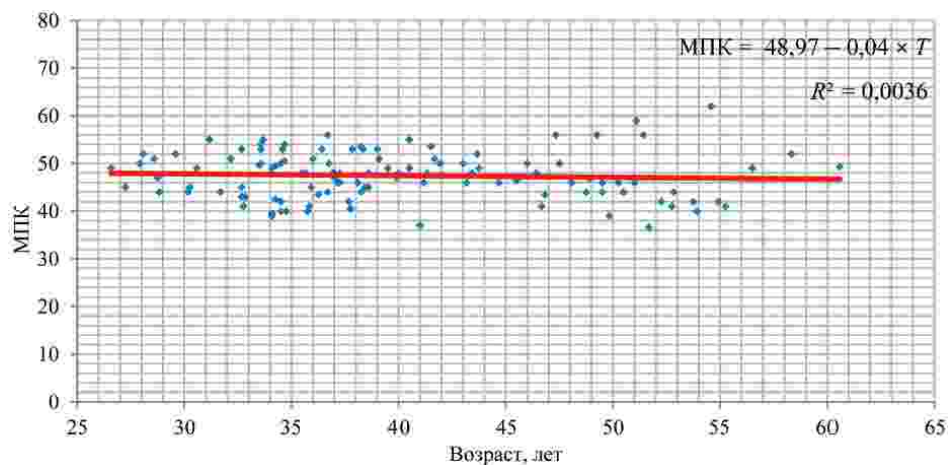


Рис. 4. Индивидуальные значения расчетного МПК, линейная зависимость среднего значения МПК от возраста T космонавтов и ее уравнение (при $p = 0,525$)

Рисунок демонстрирует значительный разброс (в пределах от 36,6 до 62,0 мл/кг/мин) индивидуальных значений МПК космонавтов. При этом среднее значение МПК космонавтов по мере увеличения их возраста снижается с градиентом 0,04 мл/кг/мин в год. При $R^2 = 0,0036$ линейной зависимости среднего значения МПК от возраста космонавтов можно признать, что возраст практически не объясняет вариацию показателей в данной выборке, но тем не менее снижение МПК космонавтов по мере увеличения их возраста выявлено не было.

Судя по данным табл. 4 можно установить, что у среднестатистических мужчин среднее значение МПК по мере увеличения их возраста снижается с градиентом 0,4 мл/кг/мин в год. Следовательно, можно предположить,

что физическое состояние действующих космонавтов с возрастом в среднем ухудшается медленнее, чем у обычных (систематически не тренирующихся) мужчин. Следует учитывать, что такое сравнение выполнено с нормативными границами для мужчин из табл. 4, а не с результатами прямых измерений на выборке нетренированных мужчин и весьма условно.

Качественная оценка 114 индивидуальных значений МПК показала, что 46 (40 %) из них свидетельствуют об отличном физическом состоянии космонавтов, 34 (30 %) – о хорошем, 32 (28 %) – об удовлетворительном, а 2 (2 %) – о плохом (рис. 5).

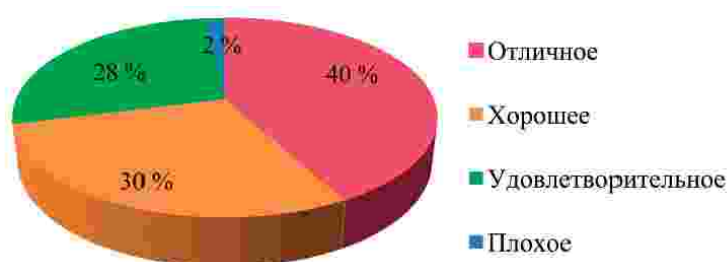


Рис. 5. Процентное распределение качественных оценок физического состояния космонавтов

Качественная оценка 114 индивидуальных результатов теста PWC_{170} как нормативного физического упражнения космонавтов на выносливость выявила, что 88 (77,2 %) из них соответствуют оценке «отлично», 16 (14,0 %) – «хорошо», 6 (5,3 %) – «удовлетворительно», а 4 (3,5 %) – «неудовлетворительно» (рис. 6).

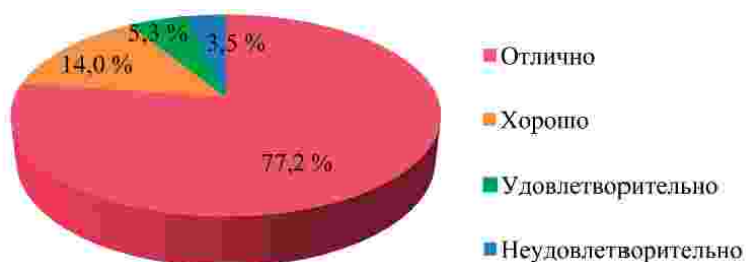


Рис. 6. Процентное распределение качественных оценок за выполнение космонавтами нормативного физического упражнения «Тест PWC_{170} »

Количественная оценка этих же результатов с учетом текущего возраста космонавтов, а не принадлежности к той или иной возрастной группе, показала, что 78 (68,4 %) из них находятся в диапазоне от 10 до 9 баллов, 6 (5,3 %) – в пределах 9–8 баллов, 3 (2,6 %) – 8–7 и т. д. (рис. 7).

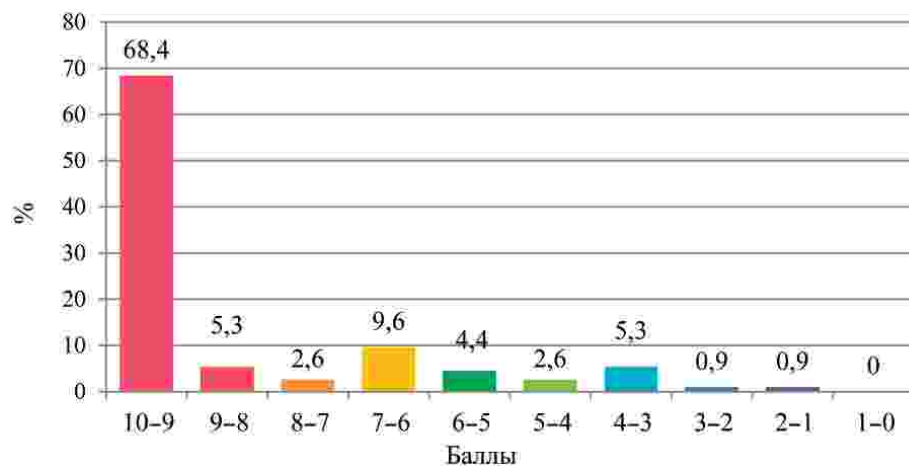


Рис. 7. Процентное распределение количественных оценок за выполнение космонавтами нормативного физического упражнения «Тест PWC₁₇₀»

Полный набор представленных на рис. 6 и 7 качественных и количественных оценок позволяет сделать вывод о том, что действующие нормативные требования по выполнению упражнения «Тест PWC₁₇₀» вполне адекватны физическим возможностям космонавтов современного контингента.

Принимая во внимание полученные результаты, предложено рекомендовать выполнение теста PWC₁₇₀ российскими членами экипажей МКС до космического полета и в ранний период послеполетной реабилитации в целях получения объективных данных для оценки до и послеполетного физического состояния космонавтов. Кроме того, эти данные могут быть использованы для оценки эффективности мероприятий по поддержанию физической работоспособности космонавтов в полете, а также для коррекции программ их послеполетной физической реабилитации.

Выводы

На основе анализа 114 результатов теста PWC₁₇₀, выполненного 39 действующими космонавтами в период 2017–2025 гг., установлено:

1. Абсолютные значения результатов теста PWC₁₇₀ находятся в диапазоне от 1021 до 2318 кгм/мин. Большинство результатов (93 %) указывают на высокий уровень физической работоспособности космонавтов, остальные 7 % – на уровень выше среднего.

2. Относительные значения МПК космонавтов, рассчитанные по формуле В.Л. Карпмана, находятся в диапазоне от 36,6 до 62,0 мл/кг/мин. Из них 40 % указывают на отличное физическое состояние космонавтов, 30 % – на хорошее, 28 % – на удовлетворительное, 2 % – на плохое. Все расчетные значения МПК, за исключением двух, превышают минимальный предполетный норматив NASA (38,7 мл/кг/мин).

3. Уравнение регрессии среднего результата PWC_{170} космонавтов с возрастом при линейной аппроксимации совокупности данных (без учета повторных измерений у одних и тех же лиц) имеет вид: $PWC_{170} = 1469,90 + 1,88 \times T$ (градиент $+1,88$ кгм/мин в год, $R^2 = 0,0022$, при $p = 0,623$). Для МПК космонавтов подобное уравнение имеет вид: $МПК = 48,97 - 0,04 \times T$ (градиент $-0,04$ мл/кг/мин в год, $R^2 = 0,0036$, при $p = 0,525$). Статистическая значимость градиентов в обоих случаях ничтожна, поэтому их интерпретация как тренда требует осторожности и указывает лишь на то, что в пределах данной выборки космонавтов не выявлено выраженного возрастного снижения результатов PWC_{170} .

4. Качественная оценка результатов выполнения теста PWC_{170} как нормативного упражнения ФПК на выносливость показала, что 77,2 % из них соответствуют оценке «отлично», 14,0 % – «хорошо», 5,3 % – «удовлетворительно», 3,5 % – «неудовлетворительно». Количественная оценка этих же результатов по 10-балльной шкале с учетом текущего возраста космонавтов показала, что 68,4 % из них находятся в диапазоне от 9 до 10 баллов. Обе оценки свидетельствуют о высокой подготовленности космонавтов современного контингента в части выполнения нормативного упражнения «Тест PWC_{170} ».

5. Принимая во внимание все полученные результаты, предлагаем включить тест PWC_{170} в действующий регламент послеполетных исследований. Это даст возможность более аргументированно оценивать динамику физического состояния членов экипажей МКС и повысить качество рекомендаций по проведению послеполетной физической реабилитации космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wahlund, H. Determination of Physical Working Capacity // *Acta Medica Scand.* – 1948. – No 215. – P. 1–78.
2. Astrand, P.O. Physical Activity and Fitness // *Journal of Clinical Nutrition.* – 1971. – Vol. 24, Iss. 10. – P. 1231–1238.
3. Ланда, Б.Х. Инновационный образовательный проект «мониторинг здоровья» // Теория и практика физической культуры. – 2023. – № 6. – 97 с.
4. Ландырь, А.П. Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине / А.П. Ландырь, Е.Е. Ачкасов, И.Б. Медведев. – Москва: Спорт, 2019. – 256 с.
5. Андриянова, Е.Ю. Преимущества и недостатки тестов по оценке уровня общей физической работоспособности спортсменов и лиц, занимающихся физической культурой // Наука и спорт: современные тенденции. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 6–13.
6. Всемирная организация здравоохранения. Рекомендации ВОЗ по физической активности, малоподвижному образу жизни. – Женева: ВОЗ, 2020. – 48 с.
7. Влияние физических нагрузок разной направленности на показатели физической работоспособности и уровень максимального потребления кислорода

- у квалифицированных спортсменов в зависимости от периода тренировочного процесса / Н.П. Гарганеева [и др.]. // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – № 9(2). – С. 30–38. – DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.30.
8. Хайруллина, Г.З. Оценка состояния здоровья и физической подготовленности занимающихся оздоровительной физической культурой / Г.З. Хайруллина, И.Т. Хайруллин // СКИФ. Вопросы студенческой науки. – 2025. – № 5. – С. 749–754.
9. Сонькин, В.Д. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева. – Москва: Ленанд, 2023. – 368 с.
10. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – Москва: Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.
11. Купер, К. Новая аэробика / [пер. с англ.]. – Москва: Физкультура и спорт, 1979. – 124 с.
12. Greater Rate of Decline in Maximal Aerobic Capacity with Age in Endurance-Trained than in Sedentary Men / A.E. Pimentel [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 2003. – Vol. 94. – No 6. – P. 2406–2413.
13. Сравнительный анализ уровня физической работоспособности космонавтов в разных тестах / Н.Ю. Лысова, К.С. Киреев, Т.Б. Кукоба // Пилотируемые полеты в космос. – 2025. – № 3(55). – С. 69–77.
14. NASA. NASA Spaceflight Human-System Standard. Vol. 1: Crew Health. – Washington, D.C.: NASA Technical Standards, 2023. – 38 p. – (NASA-STD-3001, Vol. 1, Revision C.).
15. Назин, В.Г. Совершенствование нормативно-методической базы оценки физической подготовленности космонавтов к полетам на Международную космическую станцию // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 4(25). – С. 73.

REFERENCES

1. Wahlund, H. Determination of Physical Working Capacity // Acta Medica Scand. – 1948. – No 215. – P. 1–78.
2. Astrand, P.O. Physical Activity and Fitness // Journal of Clinical Nutrition. – 1971. – Vol. 24, Iss. 10. – P. 1231–1238.
3. Landa, B.H. The Health Monitoring Innovative Educational Project // Theory and Practice of Physical Education. – 2023. – No 6. – 97 p.
4. Landyr, A.P. Tests with Dosed Physical Activity in Sports Medicine / A.P. Landyr, E.E. Achkasov, I.B. Medvedev. – Moscow: Sport, 2019. – 256 p.
5. Andriyanova, E.Yu. Advantages and Disadvantages of Tests for Assessing the Level of General Physical Work Capacity in Athletes and Individuals Engaged in Physical Activity // Science and Sports: Modern Trends. – 2022. – Vol. 10, No 3. – P. 6–13.
6. World Health Organization. WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behavior. – Geneva: WHO, 2020. – 48 p.
7. The Influence of Physical Activity Modalities on Physical Work Capacity and the Maximum Oxygen Consumption Values in Qualified Athletes Depending on the Training Stage / N.P. Garganeeva [et al.] // Sports Medicine: Science and Practice. – 2019. – No 9(2). – P. 30–38. – DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.30.

8. Khairullina, G.Z. Assessment of Health Status and Physical Fitness of Individuals Involved in Recreational Physical Activity / G.Z. Khairullina, I.T. Khairullin // SKIF. Student Science Issues. – 2025. – No 5. – P. 749–754.
9. Sonkin, V.D. The Development of Muscular Energy and Performance Across Ontogenesis / V.D. Sonkin, R.V. Tambovtseva. – Moscow: Lenand, 2023. – 368 p.
10. Karpman, V.L. Testing in Sports Medicine / V.L. Karpman, Z.B. Belotserkovsky, I.A. Gudkov. – Moscow: Physical Education and Sports, 1988. – 208 p.
11. Cooper, K. New Aerobics / [trans. from English]. – Moscow: Physical Education and Sports, 1979. – 124 p.
12. Greater Rate of Decline in Maximal Aerobic Capacity with Age in Endurance-Trained than in Sedentary Men / A.E. Pimentel [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 2003. – Vol. 94. – No 6. – P. 2406–2413..
13. Lysova, N.Yu. Comparative Analysis of Physical Work Capacity in Cosmonauts Across Different Tests / N.Yu. Lysova, K.S. Kireev, T.B. Kukoba // Manned Spaceflight. – 2025. – No 3(55). – P. 69–77.
14. NASA. NASA Spaceflight Human-System Standard Vol. 1: Crew Health. – Washington, D.C.: NASA Technical Standards, 2023. – 38 p. – (NASA-STD-3001, Vol. 1, Revision C.).
15. Nazin, V.G. Enhancing the Regulatory and Methodological Framework for Assessment of Cosmonaut Physical Fitness for ISS Missions // Manned Spaceflight. – 2017. – No 4(25). – P. 73.