

**ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТОЛЕРАНТНОСТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ
В ЭКСПЕДИЦИЯХ ГИМАЛАИ 2016-2025 И ПИРЕНЕИ
2017-2019**

Минвалеев Р.С.¹, Мамаева О.П.^{1,2}, Павлова Н.Е.², Щербак С.Г.^{1,2}

**¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург**

²Городская больница №40, Сестрорецк

Аннотация: По результатам проведенных экспедиций в рамках авторского проекта Ирины Архиповой «В поисках утраченных знаний»(с), направленного на поддержку российской науки установлено, что регулярное пребывание в среднегорье на фоне выполнения специальных оздоровительных методик (адаптированные практики индийской и тибетской йоги) значительно повышает толерантность к физической нагрузке и, соответственно, работоспособность, но не у всех это сопровождается адекватным вегетативным обеспечением деятельности, что требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: градуированный стресс-тест, высотная гипоксия, адаптация, вегетативный индекс Кердо.

**SUMMARIZED RESULTS OF STUDIES OF EXERCISE
TOLERANCE IN THE EXPEDITIONS HIMALAYAS 2016-2025
AND PYRENEES 2017-2019**

**Minvaleev R.S.¹, Mamaeva O.P.^{1,2}, Pavlova N.E.²,
Shcherbak S.G.^{1,2}**

¹Sankt-Petersburg State University, Saint Petersburg

²City hospital No. 40, Sestroretsk

Abstract: According to the results of the expeditions conducted within the framework of Irina Arkhipova's author's project "In search of lost Knowledge" (c), aimed at supporting Russian science, it was found that regular stay in the Middle Mountains against the background of special

wellness techniques (adapted practices of Indian and Tibetan yoga) significantly increases exercise tolerance and, accordingly, performance, but not In all cases, this is accompanied by adequate vegetative support of activity, which requires further study.

Keywords: graded stress test, altitude hypoxia, adaptation, vegetative Kerdo index.

Ежегодно более 100 миллионов человек отправляются в горы на разные высоты [3], и многие испытывают улучшение самочувствия и повышение работоспособности после кратковременного пребывания в среднегорье, хотя отмечаются и противоположные последствия [5]. Исследования влияния кратковременного пребывания в условиях среднегорья мы проводим с 2016 года, когда авторский проект Ирины Архиповой «В поисках утраченных знаний»(с), направленный на поддержку российской науки, получил встречную поддержку со стороны мегагранта Российского научного фонда №14-50-00069, в рамках которого были выполнены оценки функционального состояния участников горных экспедиций для выявления маркеров успешной высотной адаптации и сердечно-сосудистых рисков до и после экспедиций на базе СПбГБУЗ «Городская больница №40» в Сестрорецке под руководством к.м.н. Ольги Петровны Мамаевой.

Материалы и методы

Всего с 2016 по 2025 год до и после примерно недельного пребывания в среднегорье было обследовано 56 человек обоего пола в возрасте от 24 до 73 лет. Антропометрические характеристики группы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Антропометрические характеристики участников экспедиций в Гималаи и Пиренеи с 2016 по 2025 годы, у которых проводили нагрузочный стресс-тест до и после 7 дней пребывания в среднегорье. ИМТ – индекс массы тела.

Пол	N	Возраст, лет	Вес, кг	Рост, см	ИМТ
		Среднее значение±Стандартное отклонение			
муж	21	52,7±12,4	83,1±12,9	179,5±6,1	25,75±3,9
жен	35	52,4±6,8	70±12	165,9±5,7	25,4±3,9
Всего	56	52,5±9,2	74,9±13,8	170,1±8,8	25,3±3,9

Исследование было одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Все участники подписали информированное согласие и ответили на все вопросы исследователей.

В течение 7-10 дней все участники находились в среднегорье Гималаев или Пиренеев на высотах от 2000 до 3700 м над уровнем моря. Ежедневно все участники отправлялись из базового лагеря на высоте 2000 м в радиальные трекинги на 1–3 дня с последующим возвратом в базовый лагерь. Ежедневная прибавка высоты не превышала 500 м. За всё время пребывания в горах никакие медикаменты не принимались. Характер питания кардинально не меняли (еду готовили сами).

Стрессэхокардиографическая нагрузочная проба была выполнена на горизонтальном велоэргометре e-Bike EL&BP с помощью ультразвуковой системы экспертного класса Vivid E95 (General Electric, USA) до и после пребывания в среднегорье Гималаев на базе СПбГБУЗ «Городская больница №40» (Сестрорецк, Россия). Первое обследование было проведено за два-три дня до подъёма в горы, второе – на следующий день после возвращения из Индии в Россию.

Ступенчато возрастающая нагрузка на горизонтальном велоэргометре выполнялась каждым испытуемым с градиентом через каждые 2 мин в 25 Вт, начиная с 50 Вт, до достижения субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), составляющей 85% от максимальной ЧСС, которую для каждого испытуемого вычисляли по формуле (3) в соответствии с общепринятыми рекомендациями:

$$\text{ЧСС}_{max} = 220 - \text{возраст (лет)} \quad (3)$$

Во время пробы производилась непрерывная регистрация ЭКГ в 12 стандартных отведениях. Кроме того, на каждом этапе возрастающей нагрузки регистрировались верхнее и нижнее артериальное давление аускультативным методом по Короткову Н.С.

Для оценки изменений вегетативного тонуса был использован вегетативный индекс Кердо (VI), вычисляемый по формуле (4)

$$VI = 1 - \frac{ДАД}{ЧСС}, \quad (4)$$

где $ДАД$ – нижнее давление в мм ртутного столба, и $ЧСС$ – частота сердечных сокращений в ударах в минуту [4].

Поскольку измерения вегетативного контроля деятельности были выполнены в режиме реального времени, то стало возможным подобрать математическую модель (аналитическое выражение), описывающую изменения во времени вегетативного тонуса в ответ на стандартизированную нагрузочную пробу. Аппроксимация подходящим экспоненциальным выражением вида $V(t)=A_1A_2 \cdot e^{-kt}$ с последующей количественной оценкой вегетативного контроля деятельности, произведённой организмом испытуемых в ходе стандартизированных нагрузочных проб до и после пребывания в среднегорье, выполнена применением метода максимального правдоподобия Фишера. Для сравнения вегетативного контроля деятельности до и после пребывания в среднегорье вычисляли отношение площадей (интегралов) под найденными аппроксимирующими экспонентами на равных интервалах времени. Пределы интегрирования задавали по меньшей продолжительности нагрузочной пробы (в секундах), т. е. до пребывания в среднегорье.

Вычислительные операции, статистическая обработка и построения графических интерпретаций выполнены с помощью математических программ OriginPro 2022 (с) и Derive 5.05 (с).

Результаты и их обсуждение

Достижение целевой (85 % от максимальной) частоты сердечных сокращений (далее ЧСС) в ходе нагрузочной пробы (стресс-теста) до и после пребывания в среднегорье практически у всех участников возросло с вероятностью ошибки первого рода близкой к 0, что отражено в таблице 2.

Таблица 2. Продолжительность возрастающей нагрузки (в секундах) до достижения субмаксимальной ЧСС во время выполнения стресс-теста до и после пребывания в среднегорье Гималаев и Пиренеев. Численные данные представлены как М – среднее арифметическое и SD – стандартное отклонение, Р – значимость или вероятность ошибки первого рода.

Группы	N	Время выполнения стресс-теста, с						P	
		До		После		Разница			
		М	SD	М	SD	М	SD		
Мужчины	21	617	171	693	168	-75	108	0,00223<0,05	↗
Женщины	35	350	106	407	103	-57	57	0,00000062≈0	↗
Общая	56	450	186	510	190	-64	80	0,000000075≈0	↗

Увеличение среднего времени достижения запланированной ЧСС в ходе нагрузочных стресс-тестов до и после пребывания в среднегорье свидетельствует о возрастании выносливости после тренировок в условиях умеренной высотной гипоксии. Однако применением экспоненциальной аппроксимации изменений во времени вегетативного тонуса мы нашли еще одну важную характеристику физиологической цены состоявшейся адаптации, которая выражается в симпато-вагусном балансе, где актуальная в ответ на нагрузку величина симпатического тонуса может быть найдена вычислением вегетативного индекса Кердо. Поскольку симпатический тонус отвечает за вегетативное обеспечение эрготропных (энергозатратных) процессов, то его повышение может быть обозначено как энергетическая цена вегетативного контроля физической нагрузки. Однако мы наблюдали снижение симпатического тонуса у большинства участников горных экспедиций в Гималаях и Пиренеях [1,2].

В таблице 3 представлены результаты экспоненциальной аппроксимации изменений вегетативного индекса Кердо у отдельно взятой участницы Г.И., а на рис. 1 отображена ее графическая интерпретация.

Найденное отношение площадей – 1,6 – свидетельствует о том, что вегетативное обеспечение физической деятельности у испытуемой Г.И. после пребывания на высоте сдвинулось в сторону снижения симпатических влияний, а значит физиологическая цена нагрузки (эрготропная составляющая) уменьшилась. На рис. 1 снижение симпатического тонуса иллюстрируется тем, что экспонента, аппроксимирующая точечные оценки вегетативного контроля во время стандартизированных нагрузочных проб до пребывания на высоте, расположена выше, чем экспонента, аппроксимирующая результаты вегетативного контроля той же нагрузочной пробы после пребывания в горах.

Однако примерно у половины участников горных экспедиций (у 25 из 56) по результатам интегральной оценки вегетативного обеспечения мышечной деятельности наблюдалась противоположная реакция на стандартизированную нагрузку, а именно повышение влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы,

Таблица 3. Интегральная оценка вегетативного контроля деятельности при выполнении стандартизированной нагрузочной пробы до и после пребывания в среднегорье у испытуемой Г.И., где ДАД – диастолическое давление, ЧСС – частота сердечных сокращений, A_1, A_2, k коэффициенты аппроксимирующей экспоненты, P – значимость аппроксимации по критерию Фишера-Снедекора, S_1 и S_2 вычисленные интегралы (площади под кривой) на равных промежутках времени до и после пребывания в горах)

1	2	3	4	5	6	7	6
Дата	Время в сек.	ДАД в мм рт.ст.	ЧСС в уд/мин	Индекс Кердо	Коэффициенты аппроксимирующей экспоненты вида $V(t)=A_1 - A_2 e^{-kt}$	Интегральная оценка вегетативного контроля до (S_1) и после (S_2) пребывания в среднегорье	S_1/S_2
	0	60	57	-0,05			
20.04.2017	85	60	94	0,36	A_1	0,46306	$S_1 = \int_0^{384} V(t) dt \approx 146,4$
	187	70	112	0,38	A_2	0,51195	
	271	70	125	0,44	k	0,01624	
	302	70	129	0,46	P	0,00155	
	384	70	146	0,52			
	0	80	55	-0,45			$\approx 1,6$
11.05.2017	87	80	97	0,18	A_1	0,39181	$S_2 = \int_0^{384} V(t) dt \approx 128,5$
	189	80	110	0,27	A_2	0,84068	
	270	80	120	0,33	k	0,01388	
	332	80	134	0,40	P	0,00219	
	404	80	142	0,44			

хотя возрастание выносливости, проявляющееся в увеличении времени выполнения нагрузочного стресс-теста наблюдалась у 49 из 56 испытуемых. Мы оцениваем это как маркер несостоявшейся адаптации к высоте, что требует дальнейшего изучения. Пример несостоявшейся адаптации к высоте представлен в таблице 4, а на рис. 2 ее графическая интерпретация.

Выводы

По результатам нагрузочных стресс-тестов установлено, что

1. пребывание в среднегорье в течение первой недели на фоне выполнения специальных оздоровительных методик (адаптированные практики индийской и тибетской йоги) значительно повышает выносливость и общую работоспособность;
2. вегетативное обеспечение повышенной работоспособности может носить противоположный характер: снижение активности

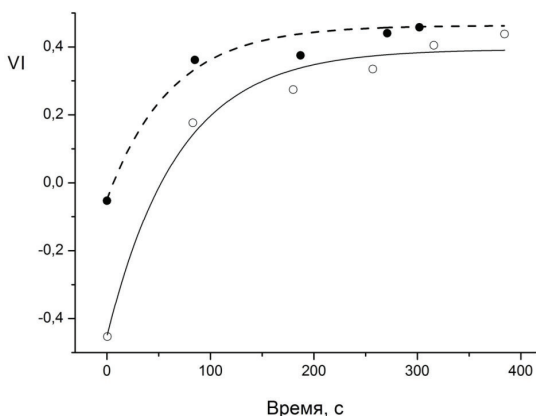


Рис. 1. Графическая интерпретация вегетативного обеспечения деятельности при выполнении испытуемой Г. И. (в возрасте 51 года) нагрузочных проб до и после пребывания в среднегорье.

По оси абсцисс: время t в секундах, по оси ординат: V , вегетативный индекс Кердо;

- — исходные значения вегетативного индекса Кердо, найденные в ходе выполнения нагрузочной пробы, до пребывания в среднегорье;
- — аппроксимирующая экспонента до пребывания в среднегорье;
- — значения индекса Кердо, найденные в ходе выполнения нагрузочной пробы после пребывания в среднегорье;
- — аппроксимирующая экспонента после пребывания в среднегорье

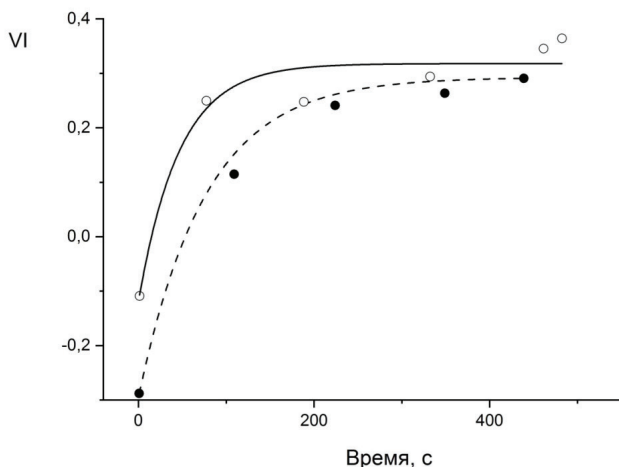


Рис. 2. Графическая интерпретация вегетативного контроля деятельности при выполнении испытуемой Ю.Э. (55 лет) нагрузочных проб до и после пребывания в среднегорье.

По оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – вегетативный индекс Кердо;

- исходные значения вегетативного индекса Кердо, найденные в ходе выполнения нагрузочной пробы, до пребывания в среднегорье;
- - - - аппроксимирующая экспонента вида $V(t) = A_1 - A_2 \cdot e^{kt}$ до пребывания в среднегорье;
- значения индекса Кердо, найденные в ходе выполнения нагрузочной пробы после пребывания среднегорье;
- аппроксимирующая экспонента вида $V(t) = A_1 - A_2 \cdot e^{kt}$ после пребывания в среднегорье

симпатического отдела можно рассматривать как маркер успешной адаптации к высоте, тогда как повышение симпатических влияний по отношению к исходному уровню реагирования означает несостоящуюся адаптацию к высоте.

Благодарность

Авторы выражает глубокую благодарность генеральному директору киностудии исторического фильма «Фараон» Ирине Владимировне Архиповой, организатору и вдохновителю международных научно-исследовательских экспедиций в Гималаи и Пиренеи в рам-

Таблица 4. Интегральная оценка вегетативного обеспечения деятельности при выполнении стандартизированной нагрузочной пробы до и после пребывания в среднегорье у испытуемой Ю.Э. (55 лет), где ДАД – диастолическое давление, ЧСС – частота сердечных сокращений, A_1, A_2, k коэффициенты аппроксимирующей экспоненты, P – значимость аппроксимации по критерию Фишера-Снедекора, S_1 и S_2 вычисленные интегралы (площади под кривой) на равных промежутках времени до и после пребывания в горах

1	2	3		4	5	6	
Дата	Время в сек.	ДАД в мм рт.ст.	ЧСС в ул/мин	индекс Кердо	Коэффициенты аппроксимирующей экспоненты вида $V(t) = A_1 - A_2 \cdot e^{kt}$	Интегральная оценка вегетативного контроля до (S1) и после (S2) пребывания в среднегорье	
25.04.2025	1	85	66	-0,28788	A_1 0,29266	$S_1 = \int_0^{439} V(t) dt \approx 8,7$	S/S_2 $\approx 0,7$
	109	85	96	0,114583	A_2 - 0,58819		
	224	85	112	0,241071	k - 0,01309		
	349	95	129	0,263566	P 0,00996		
	439	100	141	0,29078			
23.05.2025	2	70	63	-0,11111	A_1 0,31563	$S_2 = \int_0^{439} V(t) dt \approx 117,9$	
	78	70	93	0,247312	A_2 - 0,44374		
	189	80	106	0,245283	k - 0,02152		
	333	85	120	0,291667	P 0,01128		
	462	90	137	0,343066			
	483	90	141	0,361702			

ках ее авторского проекта «В поисках утраченных знаний» (с), направленного на поддержку российской науки.

Литература

1. Минвалеев Р.С., Мамаева О.П., Павлова Н.Е., Щербак С.Г. Новый метод оценки горноклиматического влияния на здоровых и больных людей // Современные вопросы биомедицины, 2021, т. 5, № 4(17).

2. Минвалеев Р.С., Сарана А.М., Щербак С.Г., Глотов А.С., Глотов О.С., Мамаева О.П., Павлова Н.Е., Гусева О.А., Иванов А.И., Levitov A.I., Summerfield D.T. Вегетативное обеспечение мышечной деятельности до и после пребывания на высоте 2000–3700 м над уровнем моря // Физиология человека, 2018, т.44, №5 – с. 74–83.

3. Higgins J. P, Tuttle T., Higgins J. A. Altitude and the heart: is going high safe for your cardiac patient? // American Heart Journal, St. Louis, 2010, vol. 159, no.1 – p. 25–32.

4. Kérdö I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // Acta Neurovegetativa, 1966, Bd. 29, No. 2 - S. 250–268.

5. Miele C.H., Schwartz A.R., Gilman R.H. et al. Increased Cardiometabolic Risk and Worsening Hypoxemia at High Altitude // High altitude medicine & biology, 2016, vol.17, no.2 – pp. 93–100.

List of references

1. Minvaleev R.S., Mamaeva O.P., Pavlova N.E., Shcherbak S.G. A new method for assessing the mountain climate impact on healthy and sick people // Modern Issues of Biomedicine, 2021, vol. 5, № 4(17).

2. Minvaleev R.S., Sarana A.M., Shcherbak S.G., Glotov A.S., Glotov O.S., Mamaeva O.P., Pavlova N.E., Guseva O.A., Ivanov A.I., Levitov A.I., Summerfield D.T. Vegetative support of muscular activity before and after staying at an altitude of 2000–3700 m above sea level // Human Physiology, 2018, vol.44, No. 5 – pp. 74–83.

3. Higgins J. P, Tuttle T., Higgins J. A. Altitude and the heart: is going high safe for your cardiac patient? // American Heart Journal, St. Louis, 2010, vol. 159, no.1 – p. 25–32.

4. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // *Acta Neurovegetativa*, 1966, Bd. 29, No. 2 - S. 250–268.

5. Miele C.H., Schwartz A.R., Gilman R.H. et al. Increased Cardiometabolic Risk and Worsening Hypoxemia at High Altitude // *High altitude medicine & biology*, 2016, vol.17, no.2 – pp. 93–100.