

Гемодинамические реакции у уроженцев Тянь-Шаня при сменном труде в условиях высокогорья

К.О. Джусупов, Ж.К. Дербишалиева

Международная высшая школа медицины, Бишкек, Кыргызстан

Цель исследования. Изучить адаптационные гемодинамические реакции у шахтёров – уроженцев из разных высокогорных регионов Тянь-Шаня при длительной работе на сверхвысокогорном руднике.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 87 здоровых мужчин-шахтёров в возрасте от 20 до 33 лет. Их разделили на четыре группы от исходного региона проживания (низкогорье - 760 метров или среднегорье - 1800 метров) и стажу работы на золотодобывающем руднике «Кумтор» (3600–4200 метров).

Результаты. Анализ базовых гемодинамических параметров в состоянии покоя выявил статистически значимые различия между группами на частоту сердечных сокращений (ЧСС) и ударный объём (УО) ($F(3,83)=8.94, p<0.001$) и УО ($F(3,83)=4.12, p<0.01$). ЧСС в группе 3 (уроженцы среднегорья с длительным стажем) была достоверно ниже, чем в группах 1 и 4 ($p<0.01$), а УО в группе 3 был достоверно выше, чем в группе 4 ($p<0.05$). Общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) в группе 4 было достоверно выше, чем в группе 3 ($p<0.05$). У уроженцев низкогорья, как впервые прибывших (группа 4), так и с 3-летним стажем (группа 1), преобладала стратегия, характеризующаяся тахикардией (как в покое, так и при нагрузке), значительным увеличением ОПСС и зависимостью минутного объёма крови преимущественно от ЧСС, а не от УО. Напротив, у уроженцев среднегорья, особенно с длительным стажем работы (группа 3), наблюдался более экономичный профиль: более низкая ЧСС, больший УО.

Заключение. Продолжительность пребывания в условиях высокогорья является критически важным фактором, определяющим характер гемодинамической адаптации организма к сверхвысокогорной гипоксии при физической нагрузке.

Ключевые слова:

высокогорье, низкогорье, гипоксия, гемодинамика, адаптация, шахтёры, Тянь-Шань, золото-добывающий рудник «Кумтор»

Для цитирования:

Джусупов К.О., Дербишалиева Ж.К. Гемодинамические реакции у уроженцев Тянь-Шаня при сменном труде в условиях высокогорья. Евразийский научно-медицинский журнал «Сино». 2026; 7(1): 146-154. <https://doi.org/10.54538/2707-5265-2026-7-1-146-154>

DOI: 10.54538/2707-5265-2026-7-1-146-154

Hemodynamic responses in Tian Shan indigenous populations during shift work under high-altitude conditions

K.O. Dzhusupov, Zh.K. Derbishalieva

International Higher School of Medicine, Bishkek, Kyrgyzstan

Objective: To study the adaptive hemodynamic responses of miners from different high-altitude regions of the Tien Shan during long-term work in an ultra-high-altitude mine.

Materials and Methods: The study involved 87 healthy male miners aged 20 to 33. They were divided into four groups based on their initial region of residence (low altitude 760 meters or mid-altitude 1800 meters) and length of service at the Kumtor gold mine (3600–4200 meters).

Results: Analysis of baseline hemodynamic parameters at rest revealed statistically significant differences between the groups in heart rate (HR) and stroke volume (SV) ($F(3,83)=8.94$, $p<0.001$) and SV ($F(3,83)=4.12$, $p<0.01$). HR in group 3 (natives of mid-mountain areas with long-term experience) was significantly lower than in groups 1 and 4 ($p<0.01$), and SV in group 3 was significantly higher than in group 4 ($p<0.05$). Total peripheral vascular resistance (TPVR) in Group 4 was significantly higher than in Group 3 ($p<0.05$). In low-altitude residents, both new arrivals (Group 4) and those with 3 years of experience (Group 1), the predominant strategy was characterized by tachycardia (both at rest and under exertion), a significant increase in TVR, and a cardiac output dependent primarily on heart rate rather than stroke volume. On the contrary, among those native to the midlands, especially those with long work experience (group 3), a more economical profile was observed: lower HR, higher SV.

Conclusion: The duration of stay in high-altitude conditions is a critically important factor determining the nature of the body's hemodynamic adaptation to ultra-high-altitude hypoxia during physical exertion.

Key words:

highlands, lowlands, hypoxia, hemodynamics, adaptation, miners, Tien Shan, Kumtor mine.

For citation:

Dzhusupov K.O., Derbishalieva Zh.K. Hemodynamic responses in Tian Shan indigenous populations during shift work under high-altitude conditions. Eurasian Scientific and Medical Journal "Sino". 2026; 7(1): 146-154. <https://doi.org/10.54538/2707-5265-2026-7-1-146-154>

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная деятельность в условиях высокогорья сопряжена с комплексом экстремальных факторов, среди которых ведущая роль принадлежит гипобарической гипоксии, а длительное воздействие высоты запускает каскад компенсаторно-приспособительных реакций, направленных на обеспечение адекватного кислородного снабжения тканей [1-5]. Особый интерес представляет изучение адаптации у шахтёров, чья работа связана с существенными физическими нагрузками в условиях сверхвысокогорья (более 3500 метров).

Известно, что эффективность адаптации к гипоксии в значительной степени зависит от таких факторов, как акклиматизационный статус, физическая подготовленность, а также этническая и высотная принадлежность [6-9]. У коренных жителей высокогорья, таких как популяции Анд, Тибета и Тянь-Шаня, в процессе длительной эволюции сформировались уникальные физиологические механизмы, позволяющие минимизировать негативные последствия гипоксии [10-12].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить адаптационные гемодинамические реакции у шахтёров – уроженцев из разных высокогорных регионов Тянь-Шаня при длительной работе на сверхвысокогорном руднике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено сравнительное когортное исследование с участием 84 здоровых мужчин-шахтёров в возрасте от 20 до 33 лет. Все участники были заняты на золотодобывающем руднике «Кумтор», расположенном на высоте 3600–4200 метров над уровнем моря.

Участники были разделены на 4 группы в зависимости от исходного региона проживания и профессионального стажа работы на высоте:

- Группа 1 (n=23): уроженцы низкогорья (~760 м), стаж работы на высоте – 3 года.
- Группа 2 (n=21): уроженцы среднегорья (~1800 м), стаж работы на высоте – 3 года.
- Группа 3 (n=21): уроженцы среднегорья (~1800 м), стаж работы на высоте – 4-6 лет.
- Группа 4 (n=20): уроженцы низкогорья (~760 м), впервые прибывшие на высоту (контрольная группа для оценки острой фазы адаптации).

трольная группа для оценки острой фазы адаптации).

Все участники были проинформированы о целях и процедурах исследования, дали добровольное информированное согласие, а само исследование было одобрено локальным этическим комитетом в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Все методы измерения исследований проводились в соответствующих условиях (STPD для газов, BTPS для лёгочной вентиляции) с учётом температуры, давления и влажности, как это указано в стандартных физиологических руководствах [1].

1. Газообмен и энерготраты: Потребление кислорода (VO_2) и экскреция углекислого газа (VCO_2) измерялись с помощью классического метода Дугласа-Холдена с последующим газовым анализом [2]. На основании полученных данных энерготраты (ккал/мин) рассчитывались по стандартной калориметрической формуле с использованием калорического эквивалента кислорода, соответствующего измеренному дыхательному коэффициенту (RQ) [3, 6].

2. Функция внешнего дыхания: Дыхательный объем (V_t), частота дыхания (f_r) и минутный объем дыхания (V_e) измерялись с помощью спирометрии. Процедура и расчеты проводились в соответствии с рекомендациями Американского торакального общества [9, 13, 14].

3. Сердечно-сосудистая система:

- Частота сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление (АД) регистрировались по стандартным аускультативным и пальпаторным методикам [15].

- Ударный объем (УО) рассчитывался с использованием формулы Старра, которая, несмотря на свою давнюю историю, продолжает использоваться в эпидемиологических и полевых исследованиях для неинвазивной оценки УО и демонстрирует приемлемую корреляцию с более точными методами в группах здоровых добровольцев [16, 17].

- Минутный объем крови (МОК) определялся как произведение ударного УО на частоту сердечных сокращений.

- Среднее артериальное давление (СрАД)

Таблица 1. Антропометрические характеристики участников исследования
(данные представлены как $M \pm SD$)

Table 1. Anthropometric characteristics of the study participants (data presented as $M \pm SD$)

Параметры	Группа 1 (n=23)	Группа 2 (n=21)	Группа 3 (n=21)	Группа 4 (n=20)
Возраст (лет)	28.4 $\pm$ 1.6	27.5 $\pm$ 0.8	31.2 $\pm$ 0.7	30.9 $\pm$ 1.6
Вес (кг)	68.4 $\pm$ 3.1	69.8 $\pm$ 1.6	69.3 $\pm$ 2.3	68.8 $\pm$ 1.7
Рост (см)	171.8 $\pm$ 2.1	171.0 $\pm$ 1.5	170.9 $\pm$ 1.5	173.7 $\pm$ 2.3
Масса жира (%)	24.3 $\pm$ 3.2	27.2 $\pm$ 1.2	27.2 $\pm$ 2.3	26.1 $\pm$ 3.1

Примечание: *p*-значение получено с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

Note: *p*-value obtained using one-way analysis of variance (ANOVA).

вычислялось по стандартной формуле: $CrAD = DAD + (CAD - DAD)/3$ [3, 15].

- Общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) рассчитывалось с использованием закона Пуазейля и стандартной формулы: $ОПСС = (CrAD / МОК) * 80$, где 80 - коэффициент для перевода единиц измерения в $дин \cdot с \cdot см^5$ [7, 18].

4. Параметры транспорта кислорода:

- Кислородный пульс (КП) определяемый как $VO_2/ЧСС$, является интегральным показателем эффективности работы сердца по доставке кислорода [6].

- Вентиляционный эквивалент (ВЭ) для кислорода (VE/VO_2) и коэффициент утилизации кислорода рассчитываются согласно установленным физиологическим принципам для оценки эффективности легочной вентиляции и периферической экстракции кислорода [1, 6].

Согласно протоколу исследований, участники выполняли стандартный набор профессиональных операций на всех высотах, при этом регистрировались физиологические параметры в состоянии покоя (исходный уровень), на 5-й минуте работы, а также на 1-й, 5-й и 10-й минутах восстановительного периода. Такой протокол дозированной нагрузки с посленагрузочным мониторингом широко используется для оценки функциональных резервов кардиореспираторной системы [19].

Для статистической обработки данных использовали программу SPSS 26.0 (IBM, США). Проверяли нормальность распределения с помощью критерия теста Шапиро-Уилка. Для сравнения групп по количественным параметрам

применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с пост-хок тестом Тьюки для множественных сравнений. Качественные данные описывали с помощью абсолютных и относительных частот. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. В тексте и таблицах данные представлены как $M \pm SD$ (среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Однофакторный ANOVA не выявил статистически значимых различий между группами по весу, росту и проценту жировой массы ($p > 0,05$), что свидетельствует о сопоставимости групп по основным морфологическим параметрам. Было обнаружено ожидаемое значимое различие в возрасте ($F(3,83) = 5.21, p < 0.01$), что связано с различным профессиональным стажем и учтено при дальнейшем анализе.

Антропометрические характеристики участников исследования представлены в таблице 1.

Анализ базовых гемодинамических параметров в состоянии покоя выявил статистически значимые различия между группами, что подтверждено однофакторным ANOVA: фактор группы значимо влияет на ЧСС ($F(3, 83) = 8,94, p < 0,001$) и УО ($F(3, 83) = 4,12, p < 0,01$) (табл. 2).

Post-hoc анализ с поправкой Тьюки подтвердил, что, ЧСС в группе 3 (уроженцы среднегорья с длительным стажем) была достоверно ниже, чем в группах 1 и 4 ($p < 0.01$), а УО в группе 3 был достоверно выше, чем в группе 4 ($p < 0.05$). ОПСС в группе 4 было достоверно

Таблица 2. Гемодинамические параметры в состоянии покоя (M±SD)
Table 2. Hemodynamic parameters at rest (M±SD)

Параметры	Группа 1 (n=23)	Группа 2 (n=21)	Группа 3 (n=21)	Группа 4 (n=20)	p-значение
ЧСС (уд/мин)	78.1±5.2 ^a	74.3±4.1	68.9±3.8	82.5±6.1 ^a	<0.001
УО (мл)	72.5±6.1	76.8±5.4	81.2±5.9 ^b	69.8±7.2	<0.01
МОК (л/мин)	5.65±0.51	5.70±0.48	5.59±0.55	5.76±0.62	0.85
СрАД (мм рт.ст.)	91.5±4.8	90.2±3.9	89.8±4.1	94.1±5.2	0.06
ПСС (дин·с·см ⁵)	1580±120	1520±110	1480±105 ^c	1650±135 ^c	<0.05

Примечание: p-значение получено с помощью однофакторного ANOVA. Надстрочные индексы (a, b, c) обозначают статистически значимые попарные различия (p<0.05) по тесту Тьюки:

- ^a Группы 1 и 4 значимо отличаются от группы 3 по ЧСС.
- ^b Группа 3 значимо отличается от группы 4 по УО.
- ^c Группы 3 и 4 значимо отличаются друг от друга по ОПСС.

Note: p-values were obtained using one-way ANOVA. Superscripts (a, b, c) indicate statistically significant pairwise differences (p<0.05) according to Tukey's test:

- ^a Groups 1 and 4 differ significantly from group 3 in HR.
- ^b Group 3 differs significantly from group 4 in SV.
- ^c Groups 3 and 4 differ significantly from each other in TPR.

Таблица 3. Параметры транспорта кислорода на пике нагрузки (M±SD)
Table 3. Oxygen transport parameters at peak load (M±SD)

Параметры	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	p-значение
Кислородный пульс (мл/уд.)	12.1±1.1 ^a	13.5±1.0	14.8±1.2 ^b	11.2±1.3 ^a	<0.001
Вент. эквивалент (л/100 мл O ₂)	28.5±2.1	26.8±1.9	25.1±1.8 ^c	30.2±2.4 ^c	<0.01
Гемод. эквивалент (л/100 мл O ₂)	2.8±0.3	2.7±0.2	2.5±0.2 ^d	3.0±0.3 ^d	<0.05

Примечание: p-значение получено с помощью однофакторного ANOVA. Разные надстрочные индексы (a, b, c, d) обозначают статистически значимые попарные различия (p<0.05) по тесту Тьюки

Note: p-values were obtained using one-way ANOVA. Superscripts (a, b, c, d) indicate statistically significant pairwise differences (p<0.05) according to Tukey's test

выше, чем в группе 3 (p<0.05).

В результате, несмотря на различия в ЧСС и УО, минутный объем крови в состоянии покоя достоверно не различался между группами. В то же время, общее периферическое сосудистое сопротивление было наиболее высоким у впервые прибывших рабочих – уроженцев низкогогорья (группа 4).

Анализ параметров, характеризующих эффективность доставки и утилизации кислоро-

да на пике нагрузки, показал четкую градацию между группами, а дисперсионный анализ (ANOVA) выявил значимое влияние фактора группы на все представленные параметры (табл. 3).

Post-hoc анализ показал, что кислородный пульс в группе 3 был достоверно выше по сравнению с группами 1 и 4 (p<0.001). В то же время вентиляционный эквивалент был наименьшим в группе 3 и наибольшим в группе 4, различие

между ними было статистически значимым ($p < 0.01$). Гемодинамический эквивалент был значимо ниже в группе 3 по сравнению с группой 4 ($p < 0.05$), что указывает на более эффективную работу сердечно-сосудистой системы по доставке кислорода у акклиматизированных уроженцев среднегорья.

На рисунке 1 представлена динамика показателей при рабочей нагрузке и восстановительном периоде. Реакция на стандартную профессиональную нагрузку имела выраженные групповые особенности.

Так, в группах 1 и 4 наблюдался более резкий прирост ЧСС к 5-й минуте нагрузки по сравнению с группами 2 и 3. В период восстановления нормализация ЧСС происходила быстрее у уроженцев среднегорья (группы 2 и 3). Группа 3 имеет самый низкий рост ЧСС при нагрузке и быстро восстанавливается, тогда как группа 4 показывает максимальный прирост и медлен-

ное восстановление. У участников группы 3 прирост МОК обеспечивался преимущественно за счёт увеличения УО, в то время как в группе 4 - почти исключительно за счёт роста ЧСС. В группах уроженцев низкогогорья (1 и 4) отмечался значительный рост ПСС в ответ на нагрузку, тогда как в группах уроженцев среднегорья (2 и 3) этот показатель изменялся незначительно или демонстрировал тенденцию к снижению.

Основным выводом нашего исследования является демонстрация существования двух различных гемодинамических профилей адаптации.

У уроженцев низкогогорья, как впервые прибывших (группа 4), так и с 3-летним стажем (группа 1), преобладала стратегия, характеризующаяся тахикардией (как в покое, так и при нагрузке), значительным увеличением общего периферического сосудистого сопротивления

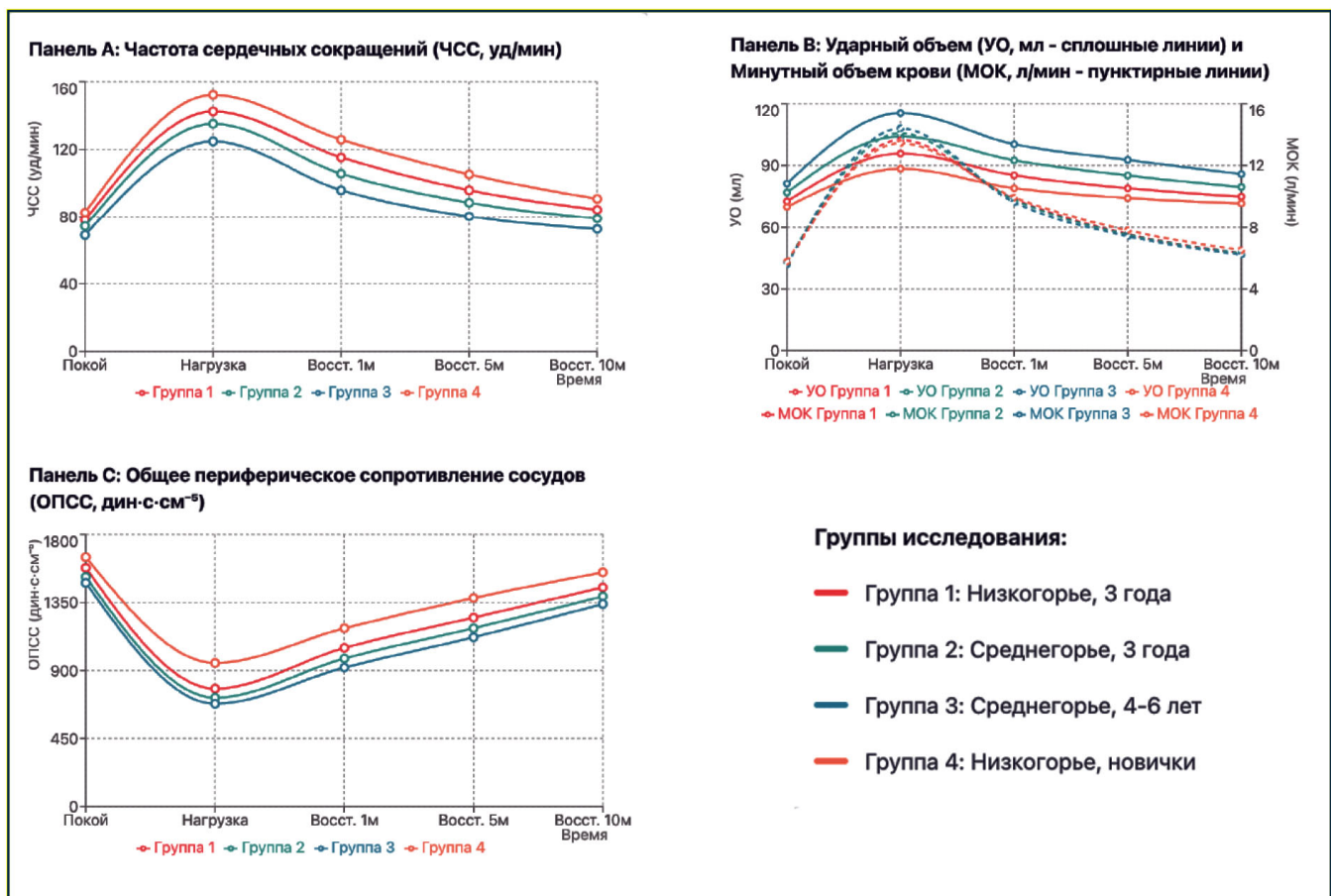


Рис. 1. Динамика гемодинамических параметров при стандартной нагрузке и в восстановительном периоде у шахтёров из разных групп

Fig. 1. Dynamics of hemodynamic parameters under standard load and during the recovery period in miners from different groups

и зависимостью минутного объёма крови преимущественно от частоты сердечных сокращений, а не от ударного объёма. Напротив, у уроженцев среднегорья, особенно с длительным стажем работы (группа 3), наблюдался более экономичный профиль: более низкая ЧСС, больший УО и, как следствие, более высокий кислородный пульс, что свидетельствует о более эффективной доставке и утилизации кислорода на периферии.

Этот "экономный" тип реакции позволяет минимизировать энерготраты миокарда при одновременном поддержании адекватного кислородного снабжения тканей. Расчётный параметр среднего артериального давления, определяемый по стандартной формуле [3, 7, 10], был стабильнее в группах уроженцев среднегорья, что указывает на лучшую стабильность системы кровообращения в целом.

Наши результаты полностью согласуются с современной концепцией о существовании популяционно-специфических моделей адаптации к высокогорью [4, 11, 18]. Так называемый "тибетский" или "тянь-шаньский" фенотип, отличающийся низким уровнем гемоглобина, высокой концентрацией оксида азота (NO) и преобладающей вазодилатацией, противопоставляется «андскому» фенотипу, характеризующемуся выраженной полицитемией и более высоким сосудистым сопротивлением [10, 19].

Обнаруженное нами увеличение УО у акклиматизированных уроженцев среднегорья коррелирует с данными исследований, демонстрирующих лучшее функционирование правого желудочка и более оптимальную вазодилатацию легочных сосудов у коренных высокогорных жителей [19]. Напротив, реакция "симпатической гиперактивации" у новоприбывших из низкогогорья хорошо описана в литературе как маркер острой фазы акклиматизации и является фактором риска развития острой горной болезни [7, 8].

Расчёт ПСС чётко показал, что их высокие значения у низкогогорных групп ассоциированы с менее благоприятным профилем адаптации, создавая повышенную постнагрузку на сердце.

Полученные данные имеют прямую практическую значимость для сферы медицины труда

и спортивной медицины, что проявляется в их применении при профессиональном отборе работников, мониторинге состояния здоровья и при разработке рекомендаций по оптимизации акклиматизации. Так, оценка гемодинамического профиля (ЧСС, УО, ОПСС в покое и при нагрузке) может служить ценным инструментом для прогнозирования успешности долгосрочной адаптации работников, направляемых в высокогорные регионы. Уроженцы среднегорья демонстрируют явные преимущества.

Регулярный контроль параметров, таких как кислородный пульс и ОПСС, может помочь в раннем выявлении признаков хронического горного стресса или малодиагностируемой высокогорной лёгочной гипертензии среди шахтёров.

Для выходцев из низкогогорья могут быть полезны более длительные и ступенчатые схемы акклиматизации, а также рассмотрение фармакологической поддержки, например, с помощью ингибиторов АПФ или блокаторов кальциевых каналов, для модуляции сосудистого сопротивления на начальных этапах.

ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

При интерпретации результатов следует учитывать ограничения поперечного дизайна исследования, при котором фиксируется состояние в один момент времени, что не позволяет напрямую отследить индивидуальную динамику адаптации у каждого участника. Также при оценке ударного объёма сердца использование расчётного метода Старра, хотя и является валидным для групповых сравнений, уступает по точности прямым методам, таким как эхокардиография [17].

Одним из ограничений является отсутствие данных по генетическим маркерам. Включение анализа полиморфизмов генов, ассоциированных с гипоксией (например, EPAS1, EGLN1), позволило бы глубже понять молекулярные механизмы выявленных физиологических различий [10]. Также однородная выборка, в которую включены только мужчины-шахтёры, ограничивает возможность экстраполяции результатов исследования на женщин и лиц других профессий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что гемодинамическая адаптация сердечно-сосудистой системы к сверхвысокогорному труду носит выраженный стаже- и популяционно-зависимый характер. Уроженцы среднегорья Тянь-Шаня демонстрируют более эффективное и экономичное функционирование сердечно-сосудистой системы по сравнению с выходцами из низкогорья. Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки персонализированных подходов к медицинскому сопровождению и профотбору персонала для работы в условиях высокогорья.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Luks A.M., Ainslie P.N., Lawley J.S., Roach R.C., Simonson T.S. Ward, Milledge and West's High-Altitude Medicine and Physiology (6th ed.). CRC Press. 2021. <https://doi.org/10.1201/9780429444333>
2. Раджабзода М.Э., Одинаев Ф.И., Файзуллоев Х.Т., Турсунов Р.А. Основные показатели липидного спектра у пациентов с ишемической болезнью сердца, проживающих на различных горных высотах. Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2019; 18(4): 67-73. Rajabzoda M.E., Odinaev F.I., Fayzullov H.T., Tursunov R.A. Main indicators of the lipid spectrum in patients with coronary heart disease living at different mountain altitudes. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. 2019; 18(4): 67-73.
3. Stembridge M., Ainslie P.N., Boulet L.M., Anholm J., Subedi P., Tymko M. M., Willie C.K., Cooper S.M., Shave R. The independent effects of hypovolaemia and pulmonary vasoconstriction on ventricular function and exercise capacity during acclimatisation to 3800 m. The Journal of physiology. 2019; 597(4):1059–1072. <https://doi.org/10.1113/JP275278>
4. Isomidinov A., Fayzullov H.T., Tursunov R.A. Impact of mid-mountain climate on the health of patients with coronary heart disease. Science and Innovation. 2019; 1: 30–36.
5. Lumb A.B. Nunn's Applied Respiratory Physiology (9th ed.). Elsevier. 2021: 561.
6. Wait S.O., Charkoudian N., Skinner J.W., Smith C.J. Combining hypoxia with thermal stimuli in humans: physiological responses and potential sex differences. American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology. 2023; 324(6): R677–R690. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00244.2021>
7. Storz J.F., Scott G.R. Phenotypic plasticity, genetic assimilation, and genetic compensation in hypoxia adaptation of high-altitude vertebrates. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 2021; 253: 110865. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110865>
8. Waldner N.F., Hartmann S.E., Muralt L., Lichtblau M., Bader P.R., Rawling J.M. et al. Oxygen saturation and acute mountain sickness during repeated altitude exposures simulating high-altitude working schedules. Scientific reports. 2025; 15(1): 12987. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97554-7>
9. Graf L.C., Hartmann S.E., Lichtblau M., Muralt L., Bader P.R. et al. A prospective cohort study about the effect of repeated living high and working higher on cerebral autoregulation in unacclimatized lowlanders. Sci Rep. 2022; 12(1): 2472. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06270-z>.
10. Zhao P., Li S., He Z., Ma X. Physiological and Genetic Basis of High-Altitude Indigenous Animals' Adaptation to Hypoxic Environments. Animals. 2024; 14(20): 3031. <https://doi.org/10.3390/ani14203031>
11. Savioli G., Ceresa I.F., Gori G., Fumoso F., Gri N., Floris V. et al. Pathophysiology and Therapy of High-Altitude Sickness: Practical Approach in Emergency and Critical Care. J Clin Med. 2022; 11(14): 3937. <https://doi.org/10.3390/jcm11143937>
12. Möller F.N., Fan J.L., Futral J.E., Hodgman C.F., Kayser B., Lovering A.T. Cardiopulmonary haemodynamics in Tibetans and Han Chinese during rest and exercise. The Journal of physiology. 2024; 602(16): 3893–3907. <https://doi.org/10.1113/JP286303>
13. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (12th ed.). Wolters Kluwer. 2021: 680.

14. Graham B.L., Steenbruggen I., Miller M.R., Barjaktarevic I.Z., Cooper B.G., Hall G.L. et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. American journal of respiratory and critical care medicine. 2019; 200(8): e70–e88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590ST>
15. Richalet J.P., Hermand E., Lhuissier F.J. Cardiovascular physiology and pathophysiology at high altitude. Nature reviews. Cardiology. 2024; 21(2): 75–88. <https://doi.org/10.1038/s41569-023-00924-9>
16. Accalai E., Vignati C., Salvioni E., Pezzuto B., Contini M., Cadeddu C., Meloni L., Agostoni P. Non-invasive estimation of stroke volume during exercise from oxygen in heart failure patients. European journal of preventive cardiology. 2021; 28(3): 280–286. <https://doi.org/10.1177/2047487320920755>
17. Mamazhakypov A., Sartmyrzaeva M., Kushubakova N., Duishobaev M., Maripov A., Sydykov A., Sarybaev, A. Right Ventricular Response to Acute Hypoxia Exposure: A Systematic Review. Frontiers in physiology. 2022; 12: 786954. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.786954>
18. Lichtblau M., Bader P.R., Carta A.F., Furi-an M., Muralt L., Saxer S. et al. Extravascular lung water and cardiac function assessed by echocardiography in healthy lowlanders during repeated very high-altitude exposure. Int J Cardiol. 2021; 332: 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.03.057>
19. Kaufmann B.A., Lewis G.D. Invasive Hemodynamic Assessment. In Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine (11th ed.). Elsevier. 2019; 1: 2128.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Финансовой поддержки не было.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

***Джусупов Кенеш Осмонбаевич** – кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой общественного здравоохранения, Международная высшая школа медицины, Бишкек, Кыргызстан.
 Researcher ID: N-8490-2019
E-mail: k.dzhusupov@ism.edu.kg
<https://orcid.org/0000-0002-2213-1373>
Scopus ID: 55363030800

Дербিশалиева Жыпар Какиловна – преподаватель кафедры общественного здравоохранения, Международная высшая школа медицины, Бишкек, Кыргызстан.
E-mail: j.derbishalievaa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-3706-2066>

***Автор для корреспонденции**

FINANCING

There was no financial support.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

***Dzhusupov Kenesh Oskonbaevich** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Public Health, International Higher School of Medicine, Bishkek, Kyrgyzstan.
Researcher ID: N-8490-2019
E-mail: k.dzhusupov@ism.edu.kg
<https://orcid.org/0000-0002-2213-1373>
Scopus ID: 55363030800

Derbishalievaa Zhypar Kakilovna – Lecturer Department of Public Health, International Higher School of Medicine, Bishkek, Kyrgyzstan.
E-mail: j.derbishalievaa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-3706-2066>

***Author for correspondence**