

УДК 612.014

DOI: 10.54503/0514-7484-2026-66.3-130

**Оценка физиологических изменений у ликвидаторов
последствий аварии на Чернобыльской АЭС, проживающих
в высокогорных и равнинных условиях**

А.Г. Карапетян¹, В.С. Григорян^{1,2}, Т.Р. Улусян¹

¹ *Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА
0028, Ереван, ул. Бр. Орбели, 22,*

² *Университет традиционной медицины Армении
0022, Ереван, ул. Бабаджаняна, 38*

Ключевые слова: ликвидаторы аварии, гипоксия, заболеваемость, гипертрофия миокарда, функциональное состояние организма

Известно, что организм человека находится под постоянным воздействием окружающей среды, которая при длительном влиянии видоизменяет его физиологические функции, постепенно адаптируя к данным условиям. Климатические факторы – пониженное атмосферное давление, пониженное парциальное давление кислорода, температура, влажность, высокая интенсивность солнечной радиации и др. – воздействуют на человека через кожу, легкие, органы чувств, вызывая разные физиологические сдвиги [8, 9, 15, 18, 19, 23].

Как установлено многими авторами [12, 13], в горных условиях развивается комплекс адаптационных перестроек, прежде всего связанных с кислородной недостаточностью, расширяются функциональные возможности, что приводит к повышению выносливости. Основными приспособительными реакциями гипоксии у жителей высокогорных районов («горцев») со стороны дыхания и газообмена являются: некоторое учащение дыхания и увеличение легочной вентиляции; повышение остаточного объема воздуха за счет увеличения количества функционирующих альвеол и повышенного кровенаполнения капилляров легких; увеличение диффузионной способности легких; перестройки тканевого дыхания [14, 17, 22].

Как отмечено рядом авторов [7, 8, 10, 11, 20], у жителей, проживающих на равнине и коренных «горцев» обнаружено существенное различие в состоянии сердечно-сосудистой системы, функции внешнего дыхания и газообмена, а также системы крови.

Целью исследования являлось выявление различий в течение заболеваемости, изменений в функциональном состоянии различных органов у ликвидаторов, проживающих в равнинных и высокогорных районах Армении.

Материал и методы

В исследования были вовлечены 270 ликвидаторов – жителей Армении, проживающих в условиях высокогорья (более 2500 м), участвовавших в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) 1986–1988 гг. (I группа). Во II группу привлечено 300 ликвидаторов, проживающих в равнинных условиях (750–800 м над ур. м.). Все ликвидаторы были различных возрастных категорий. Возраст ликвидаторов в период аварии был в пределах 20–55 лет (в возрасте 20–30 лет – 12,6%; 31–40 лет – 32,7%; 40–50 лет – 38,5% и старше 50 лет – 16,2%). Была исследована динамика заболеваемости по нервной системе, CCC, ХНЗЛ и ЖКТ. Каждая из 2 групп ликвидаторов в дальнейшем была разделена на 3 подгруппы для проведения дисперсионного факторного анализа: первую составили лица с дозой внешнего облучения до 10 сГр, вторую – 10–20 сГр и третью – более 20 сГр. У этих ликвидаторов были проведены спирометрические и иммунологические анализы, общий анализ крови (с помощью комплекса стандартных унифицированных тестов).

С помощью методов системного анализа были проанализированы следующие показатели легочной функции: индекс Тиффно ($IND_TIF = FEV1/VC$), объем форсированного выдоха за 1 с ($FEV1$), жизненная емкость легких (VC), пиковая объемная скорость выдоха (PEF) [5].

Проанализированы также изменения в сердечно-сосудистой системе: нарушение питания миокарда, аритмия, гипертрофия предсердий, нарушение проводимости, фракция выброса сердца, склеротические изменения клапана, процента ликвидаторов с инфарктом миокарда.

Статистический анализ данных проводился с помощью ряда компьютерных программ, предназначенных для статистической обработки массивов цифровых данных. Использованы электронная таблица Microsoft Excel и специализированные статистические пакеты Statsoft-7, SPSS-10.0, MedCalc и StatGraphics Plus. Проведены корреляционный, регрессионный, мультирегрессионный и дисперсионный факторный анализы [2, 3].

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что только в самом начале (1987 г. – $32,1 \pm 2,1\%$ – «равнинные»; $60,1 \pm 5,3\%$ – ликвидаторы, проживающие в условиях высокогорья) и конце исследований (2022 г. – $33,3 \pm 3,2\%$ – «равнинные»; $44,3 \pm 3,8\%$ – «горцы») наблюдалось достоверное различие между уровнем заболеваемости нервной системы у «равнинных» и «высокогорных» лик-

видаторов. И если повышение уровня нервных заболеваний у «высокогорных» ликвидаторов в раннем поставарийном периоде можно отнести к радиационным и стрессовым факторам, в отдаленном поставарийном периоде возможно влияние других факторов нерадикационной природы, в том числе возраста и адаптационных реакций. Известно, что сложный комплекс изменений состояния нервной системы, возникающих при постоянном проживании в условиях высокогорья, может привести к понижению функциональных возможностей [2, 6, 16]. На рис. 1а и б представлена динамика заболеваемости «равнинных» и «высокогорных» ликвидаторов по сердечно-сосудистой системе и хроническим неспецифическим заболеваниям легких.

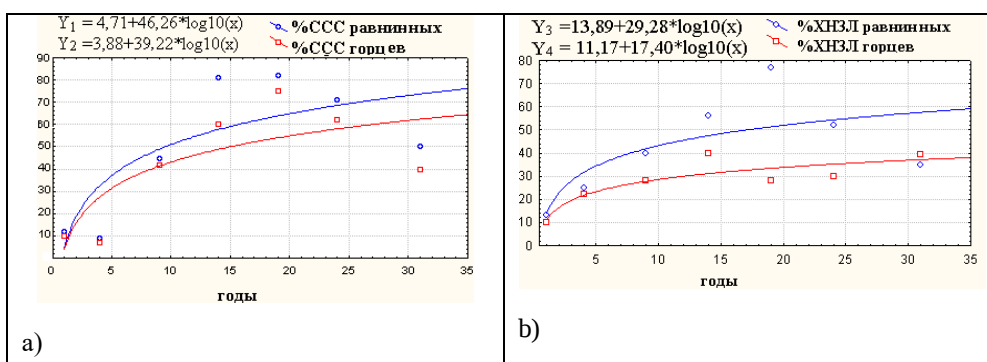


Рис. 1. Динамика заболеваемости «равнинных» и «высокогорных» ликвидаторов по системам ССС (а) и ХНЗЛ (б)

Представлены также полученные нами кривые и уравнения логарифмической регрессии, позволяющие не только описать динамику, но и прогнозировать дальнейшее увеличение процента заболеваемости на протяжении ближайших лет:

$$Y_1 = 4,712 + 46,26 \lg(x); Y_2 = 3,887 + 39,22 \lg(x); Y_3 = 13,898 + 29,29 \lg(x); Y_4 = 11,177 + 17,4 \lg(x),$$

где Y_1 и Y_3 – соответственно процент заболеваемости по ССС и ХНЗЛ у «равнинных»,

а Y_2 и Y_4 – у «высокогорных» ликвидаторов, x – количество лет, пройденных после аварии на ЧАЭС.

В результате проведенных многолетних исследований было обнаружено, что в случае заболеваемости дыхательной системы на всем протяжении исследований уровень заболеваемости ликвидаторов, проживающих в условиях высокогорья, был значительно ниже, что, очевидно, говорит о защитных механизмах людей, долго проживших в условиях гипоксии. Показатели легочной функции в раннем поставарийном периоде также достоверно отличались у выделенных групп (в табл. 1 отмечено звездочкой).

С помощью дисперсионного факторного анализа были выявлены доли влияния радиационного фактора на показатели VC и FEV1 в раннем (50,57; 34,5%) и отдаленном периодах (20,21; 24,13%). Только к концу исследований уровни заболеваемости по ХНЗЛ у ликвидаторов высокогорья и «равнинных» ликвидаторов почти сравнялись, так как такие нерадиационные факторы, как возраст и курение, влияющие на заболеваемость дыхательных путей, стали преобладать. Так, результаты дисперсионного факторного анализа показали, что доли влияния курения на показатели легочной функции (IND_TIF, FEV1 и VC) в отдаленном поставарийном периоде возросли в 1,5–3 раза. Более подробно значения долей влияния курения на показатели функционального состояния легких ликвидаторов представлены в табл. 2, а взаимовлияние показателей (рис.2) VC, FEV1 и IND_TIV у «равнинных» ликвидаторов и ликвидаторов живущих в высокогорных районах может быть рассчитано по полученным формулам: $IND_TIF_1 = -496,89 + 12,14 \cdot x_1 - 6,68 \cdot y_1$; $IND_TIF_2 = 60,56 - 2,47 \cdot x_2 + 2,47 \cdot y_2$, где IND_TIF индекс, Тиффно, FEV1 – объем форсированного выдоха за 1 с, VC – жизненная емкость легких соответственно «равнинных» (1) и «высокогорных» (2) ликвидаторов.

Таблица 1

Функциональные нарушения легких у «равнинных» и «высокогорных» ликвидаторов

Периоды	Ликвидаторы	VC	FEV1	FEV1 /VC	FVC/FEV_PEV
Ранний период	"Горцы"	89.1 ± 2.6	80.9 ± 4.2	89.2 ± 2.5	—
	"Равнинные"	81.8 ± 2.5*	67.3 ± 5.2*	82.5 ± 2.3*	—
Отдаленный период	"Горцы"	87.4 ± 2.8	90.7 ± 3.7	99.0 ± 3.3	12.8 ± 6.2
	"Равнинные"	90.1 ± 2.2	94.6 ± 3.3	103.3 ± 2.8	11.6 ± 1.9

* $p < 0.05$ при сравнении показателей "равнинных" и "высокогорных" ликвидаторов.

Таблица 2

Доли влияния курения на показатели функционального состояния легких у «равнинных» и «высокогорных» ликвидаторов

Периоды	Ликвидаторы	VC	FEV1	IND_TIF
Ранний период	"Горцы"(1)	61.8 ± 5.8	53.5 ± 4.8	4.0 ± 0.4
	"Равнинные"(2)	67.9 ± 6.1	47.4 ± 4.6	10.7 ± 1.1
	$p_{1,2}$	—	—	$p_{1,2} < 0.05$
Отдаленный период	"Горцы"(3)	87.1 ± 5.7	88.0 ± 5.1	62.8 ± 4.8
	"Равнинные"(4)	79.5 ± 6.2	64.4 ± 4.5	37.9 ± 2.1
	$p_{3,4}$	—	$p_{3,4} < 0.05$	$p_{3,4} < 0.05$
Достоверность изменения в группах 1, 3 и 2, 4	$p_{1,3}$	$p_{1,3} < 0.05$	$p_{1,3} < 0.05$	$p_{1,3} < 0.05$
	$p_{2,4}$	—	$p_{2,4} < 0.05$	$p_{2,4} < 0.05$

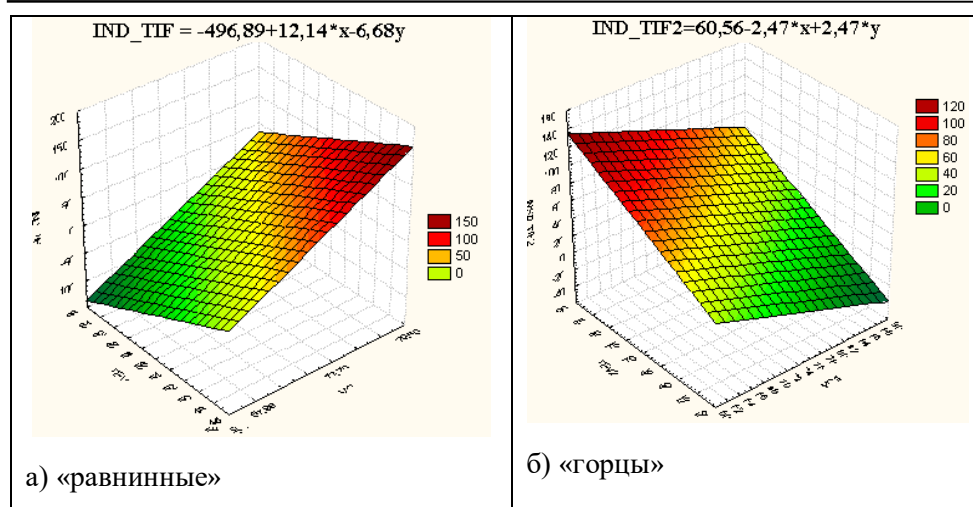


Рис. 2. Доли влияния курения на показатели функционального состояния дыхательной системы «равнинных» (а) и «высокогорных» (б) ликвидаторов

Основными приспособительными изменениями при постоянном проживании в условиях гипоксии считаются легочная гипертензия и признаки гипертрофии правого желудочка сердца. Взаимосвязь нарушений дыхательной и сердечно-сосудистой систем особенно ярко проявляется у жителей высокогорья.

У постоянных жителей гор в основе легочной гипертензии лежат структурные изменения сосудов легких. Механизм формирования гипертрофии правого желудочка обусловлен нарастающей легочной гипертензией [4, 21].

Что касается ССС, в раннем периоде у двух групп различия были незначительны и только с 2000 г. было четко отмечено уменьшение процента заболеваемости у «высокогорных» ликвидаторов относительно «равнинных». Это можно объяснить тем, что среди популяции горцев атеросклеротические поражения магистральных и периферических сосудов развиваются позже и слабо прогрессируют. Так, у 31,6% «горцев» и у 45,6% «равнинных» ликвидаторов были обнаружены склеротические изменения клапанов сердца, что является целесообразным физиологическим приспособлением, возникшим в процессе жизнедеятельности «горцев» в высокогорных условиях. Меньшая потеря эластичности сосудов с увеличением их возраста облегчает работу сердца.

У ликвидаторов, проживающих в высокогорных районах Армении, было обнаружено значительно меньше случаев нарушения питания миокарда (10,5% против «равнинных ликвидаторов» – 29,1%), проводимости (5,3% против 7,6%), аритмии (5,3% против 21,5%). У «горцев» обнаружено также меньшее количество таких нарушений, как инфаркт миокарда (у «горцев» –

5,3%, у «равнинных» – 6,3%), сердечная недостаточность (31,6 и 40,5%), гипертрофия предсердий (0 и 6,3%) и гипертрофия желудочков (36,8 и 39,2%). У постоянных жителей сформированы приспособительные изменения на тканевом уровне. В частности, некоторыми авторами [4, 20] отмечено, что у «горцев» повышенная утилизация кислорода тканями происходит в результате увеличенной их васкуляризации и повышения активности тканевых ферментов, а не вследствие интенсификации кровотока и увеличения сердечного выброса. В нашем случае также не наблюдается достоверного различия между фракциями выброса у «горцев» ($51,6 \pm 0,8$) и «равнинных» ликвидаторов ($50,5 \pm 0,7$). Они также отмечают гипертрофию правого желудочка сердца у «горцев», как решающий вклад в приспособление организма тканевых факторов. Из всех случаев гипертрофии желудочков у 68% «горцев» наблюдалась гипертрофия правого желудочка.

Вопросы воздействия горноклиматических факторов на организм человека в разные возрастные периоды представляют интерес как теоретического, так и практического решения профилактики преждевременного старения. У постоянных жителей высокогорья с возрастом темп сердечных сокращений перестраивается на брадикардию (обнаружено у 25,5% «горцев», у «равнинных» – 17,8%). При этом у «горцев» время систолического отрезка несколько меньше, а диастолического – больше, чем у «равнинных» жителей. Было обнаружено достоверное различие ($p < 0.05$) среднего значения систолического давления у ликвидаторов, проживающих в условиях гипоксии ($127,1 \pm 1,1$ мм рт. ст.), и «равнинных» ликвидаторов ($138,2 \pm 4,1$ мм рт. ст.).

По данным Алипова Д.А. [1], эти явления у «горцев» можно рассматривать как характерную приспособительную реакцию, обеспечивающую лучшее наполнение сердца во время диастолы и более экономное расходование энергии сердечной мышцы.

Относительно заболеваемости ЖКТ можно отметить, что только в отдаленном периоде были зафиксированы значительные различия в заболеваемости по этой системе. Начиная с 2000 г. заболеваемость у ликвидаторов высокогорья была почти в 3 раза ниже «равнинных», что тоже можно объяснить приспособительными механизмами.

Таким образом, нами установлено значительное понижение уровня заболеваемости по системам: ССС, ХНЗЛ, ЖКТ с 1995 до 2010 гг. у «высокогорных» ликвидаторов в сравнении с «равнинными», что говорит о наличии защитных механизмов у «горцев». Лишь по заболеваемости НС на протяжении всего периода исследований заболеваемость у «горцев» несколько превышала заболеваемость «равнинных» ликвидаторов. В раннем поставарийном периоде наблюдалось также достоверное различие между показателями легочной функции у I и II групп ликвидаторов.

С помощью дисперсионного факторного анализа были выявлены доли влияния радиационного фактора и фактора курения на показатели VC, FEV и IND_TIF. Обнаружено, что происходит снижение влияния радиационных и повышение – нерадиационных факторов (возраст, курение).

У ликвидаторов, проживающих в высокогорных районах Армении, было обнаружено значительно меньше случаев нарушения питания миокарда, аритмии, гипертрофии желудочков сердца, нарушения проводимости, больных с сердечной недостаточностью и инфарктом миокарда. У 68% «горцев» наблюдалась гипертрофия правого желудочка, что для них является приспособительным фактором.

Таким образом, ликвидаторы, проживающие в условиях высокогорья, оказались более выносливыми к условиям воздействия ионизирующей радиации, что объясняется физиологическими приспособлениями, возникшими в процессе жизнедеятельности.

Поступила 15.05.26

Բարձր և ցածրլեռնային պայմաններում ապրող Չեռնոբիլի ատոմակայանի վթարի հետևանքների լիկվիդատորների ֆիզիոլոգիական փոփոխությունների գնահատում

Ա.Գ. Կարապետյան, Վ.Ս. Գրիգորյան, Տ.Ռ. Ուլուսյան

Այս աշխատանքում ուսումնասիրվել է հիպոքսիայի, բարձր ֆոնային ճառագայթման և այլ բարձրլեռնային գործոնների ազդեցությունը Չեռնոբիլի ԱԷԿ-ի վթարի լիկվիդատորների վրա, և գնահատվել են շնչառական և սիրտ-անոթային համակարգերի խանգարումները: Պարզվել է, որ 1995-ից 2010 թվականներին լեռնային շրջաններում բնակվող լիկվիդատորների մոտ սիրտ-անոթային, քրոնիկ ոչ սպեցիֆիկ թոքային հիվանդությունների (ԲՌԹՀ) և աղեստամոքսային հիվանդությունների դեպքերի զգալիորեն ցածր ցուցանիշ է գրանցվել, ինչը վկայում է բարձրլեռնային շրջաններում բնակվող անհատների մոտ պաշտպանիչ մեխանիզմների առկայության մասին: Միայն նյարդային համակարգի խանգարումների առումով է, որ ուսումնասիրության ողջ ժամանակահատվածում բարձրլեռնային պայմաններում ապրող լիկվիդատորների մոտ դեպքերի թիվը մի փոքր ավելի բարձր էր, քան ցածրլեռնային շրջաններում բնակվող լիկվիդատորների մոտ:

Վթարից հետո՝ վաղ շրջանում, զգալի տարբերություն է նկատվել նաև ցածր և բարձրլեռնային պայմաններում ապրող լիկվիդատորների թոքային ֆունկցիայի ցուցանիշների միջև: Հայաստանի բարձրլեռնային շրջաններում բնակվող լիկվիդատորների մոտ սրտամկանի ինֆարկտի, առիթմիայի, փո-

րոքային հիպերտրոֆիայի, հաղորդչական խանգարումների և սրտային անբավարարության դեպքերը զգալիորեն ավելի քիչ էին: Բարձրլեռնային պայմաններում ապրող լիկվիդատորների 68%-ի մոտ նկատվել է աջ փորոքի հիպերտրոֆիա, որը նրանց համար հարմարվողական մեխանիզմ է:

Assessment of Physiological Changes, in Chernobyl Nuclear Disaster Liquidators Living in High-Altitude and Lowland Conditions

A. G. Karapetyan, V. S. Grigoryan, T. R. Ulusyan

This work examined the effects of hypoxia, elevated background radiation and other high-altitude factors on the Chernobyl nuclear disaster liquidators, and assessed the effects on the respiratory and cardiovascular systems. It was found that the liquidators, living in highlands from 1995 to 2010, had significantly lower rates of cardiovascular, chronic non-specific pulmonary diseases, and gastrointestinal diseases, which indicates the presence of protective mechanisms in individuals living in highlands. Only the nervous diseases were more prevalent in “highlanders” than in liquidators living in lowlands during the whole studied period. In the early post accident period, a significant difference was also observed between the pulmonary function indicators of the liquidators living in high and low mountain conditions. The liquidators living in the highland regions of Armenia showed significantly fewer cases of myocardial infarction, arrhythmia, ventricular hypertrophy, asequences, and cardiac impairment. The right ventricle hypertrophy was observed in 68% of liquidators living in highlands, which is an adaptive mechanism for them.

Литература

1. *Алипов Д.А.* Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях. 3-я Международная конференция. Ашхабад, 1981, 4, с. 160–161.
2. *Буреева Н.Н.* Многомерный статистический анализ с использованием ППП STATISTICA. Нижний Новгород. ННГУ, 2007.
3. *Вуколов Э.А.* Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. М., Форум, 2008.
4. *Дотдаева А.А., Курданов Х.А., Бойцов С.А.* Заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в зависимости от высоты региона над уровнем моря. Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2016, 13(6), с. 51–55.
5. *Кузнецова В.К., Любимов Г.А., Каменев М.Ю.* Динамика сопротивления потоку воздуха в фазу его нарастания в процессе форсированного выдоха при различных нарушениях механики дыхания. Пульмонология, 1995, 4, с. 36–41.

6. *Меерсон Ф.З.* О цене адаптации. Патофизиология. Экспериментальная терапия, 1986, 2, с. 9–19.
7. *Миррахимов М.М., Юсупова Н.Я., Раимжанов А.Р.* Значение красной крови в адаптации организма человека к условиям высокогорья. Горы и система крови. Фрунзе, 1969, 56, с. 77–78.
8. *Муратов Ж.К.* Влияние высокогорных факторов на организм человека. Новое слово в науке: перспективы развития. Мат. VII Междунар. научно–практической конференции. Чебоксары. Интерактив плюс, 2016, 1(7), с. 129–133.
9. *Муратов Ж.К.* Роль гипоксии в развитии и течении острой горной болезни, высокогорная гипоксия и проблемы адаптации человека. Образование и наука в современных условиях. Интерактив, 2015, 4(5) с. 46–50.
10. *Ткаченко Б.И.* Нормальная физиология человека. М., Медицина, 2005.
11. *Bhattarai P., Paudel B.H., Thakur D., Bhattarai B., Subedi B., Khadka R.* Effect of long term high altitude exposure on cardiovascular autonomic adjustment during rest and post-exercise recovery. *Ann. Occup. Environ. Med.*, 30: 34. 2018.
12. *Bigham A.W., Lee F.S.* Human high-altitude adaptation: forward genetics meets the HIF pathway. *Genes Dev. J.*, 28(20): 2189–2204. 2014.
13. *Cheong H.I., Janocha A.J., Monocelb L.T., Garchar A.C., Gebremedhin A., Erzurum S.C., Beall C.M.* Alternative hematological and vascular adaptive responses to high-altitude hypoxia in East African highlanders. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.*, 312(2): L172–L177. 2017.
14. *Corante N., Anza-Ramirez C., Figueroa-Mujica R., Macarlupu J.L., Vizcardo-Galindo G., Bilo G., Parati G., Gamboa J.L., Leon-Velarde F., Villafuerte F.C.* Excessive Erythrocytosis and Cardiovascular Risk in Andean Highlanders, 2018, 19(3), pp. 221–231.
15. *Dempsey J.A., Morgan B.J.* Humans In Hypoxia: A Conspiracy of adaptation. *Physiology*, 30(4): 304–16. 2015. <https://doi.org/10.1152/physiol.00007>.
16. *Hainsworth R., Drinkhill M.J., Rivera-Chira M.* The autonomic nervous system at high altitude, *Clin. Autonom. Res.*, 2007, 17(1), p. 13–19. <https://doi.org/10.1007/s10286-006-0395-7>
17. *Horscroft J.A., Kotwica A.O., Laner V., West J.A., Hennis P.J., Levett D.Z., Howard D.J., Fernandez B.O., Burgess S.L., Ament Z., Gilbert-Kawai E.T., Vercueil A., Landis B.D., Mitchell K., Mythen M.G., Branco C., Johnson R.S., Feelisch M., Montgomery H.E., Griffin J.L., Grocott M.P., Gnaiger E., Martin D.S., Murray A.J.* Metabolic basis to Sherpa altitude adaptation. *Proc. Natl.*
18. *Lewis N.S., Bailey D.M., Dumanoir G.R., Messunger L., Lucas S.E., Cotter J.D., Donnelly J., Eneny J.M., Yong I.S., Stenbridge M., Burgess K.R., Basnet A.S., Aindlie P.N.* Conduit artery structure and function in lowlanders and native highlanders: relationships with oxidative stress and role of sympathoexcitation. *J. Physiol.*, 2014, 592(5): 1009–1024.
19. *Linde M., Edvinsson L., Manandhar K., Risal A., Steiner T.J.* Migraine associated with altitude: results from a population based study in Nepal. *Eur. J. Neurol.*, 2017, 24(8): 1055–1061.
20. *Matthew E., Pamenter C., Frank L. Powell.* Time Domains of the Hypoxic Ventilatory Response and Their Molecular Basis. *Compar. Physiol.*, 2016, 6(3): 1345–1385.

21. *Penaloza D., Arias-Stella J.* The heart and pulmonary circulation at high altitudes: healthy highlanders and chronic mountain sickness. *J. Circulation*, 2007, 115(9), pp.1132–1146.
22. *Pham L.V., Meinzen Ch., Arias R.S., Schwartz N.G., Rattner A., Miele C.H., Smith P.L., Schneider H., Miranda J.J., Gilman R.H., Polotsky V.Y., Checkley W., Schwartz A.R.* Cross-Sectional Comparison of Sleep-Disordered Breathing in Native Peruvian Highlanders and Lowlanders. *High Alt Med Biol.*, 2017, 18(1), pp.11–19.
23. *Tatum S. Simonson* Altitude Adaptation: A Glimpse Through Various Lenses. *High Alt. Med. Biol. J.*, 2015, 16(2), pp. 125–137. <https://doi.org/10.1089/ham.2015.0033>