

## ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОАНАЛИЗА У ЮНОШЕЙ ИЗ ЧИСЛА МИГРАНТОВ-ЕВРОПЕОИДОВ И АДАПТАНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОКОЛЕНИЙ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2019 г. И. В. Аверьянова<sup>1,\*</sup>, С. И. Вдовенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский центр “Арктика” Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИЦ “Арктика” ДВО РАН), Магадан, Россия

\*e-mail: Inessa1382@mail.ru

Поступила в редакцию 24.10.2018 г.

После доработки 04.12.2018 г.

Принята к публикации 22.03.2019 г.

С помощью метода непрямой калориметрии были обследованы 1632 молодых лица в возрасте от 17 лет до 21 года, постоянно проживающих в г. Магадане. В зависимости от длительности адаптации к условиям северо-востока России, все юноши были разделены на 3 группы, происходящие из семей мигрантов в первом, втором или третьем поколениях, а также группу мигрантов-адаптантов с непродолжительным сроком проживания в Магаданской области (нулевое поколение). Установлено, что в ряду от нулевого к третьему поколению происходит оптимизация вентиляторных показателей аппарата внешнего дыхания, направленных на снижение респираторных энергопотерь при адаптации к условиям Севера (снижение вентиляторных показателей — дыхательного объема, частоты дыхания, минутного объема дыхания). Данные перестройки паттерна дыхания у лиц с наиболее продолжительным сроком проживания в экстремальных условиях Севера сопровождались одновременным улучшением кислородтранспортной функции при более эффективном использовании каждого дыхательного цикла.

*Ключевые слова:* газоанализ, адаптация, юноши, северо-восток

DOI: 10.1134/S004445291904003X

### ВВЕДЕНИЕ

Проживание в природно-климатических условиях северо-востока России характеризуется интенсивным воздействием на человека разнообразных абиотических факторов среды: жесткими температурными и ветровыми условиями, иным по сравнению с более низкими широтами режимом естественного освещения, многомесячным преобладанием снежного покрова, магнитными возмущениями. Магаданская область относится к субарктической области и полностью соответствует современным научным представлениям о циркумполярных регионах [1]. Обеспечение гомеостаза организма в экологической среде высоких широт сопровождается своеобразной платой за адаптационный процесс — как изменением в работе отдельных органов и функциональных систем, так и перестройкой обмена веществ. Энергетические процессы, происходящие в организме, отражают сбалансированность в работе различных физиологических систем, в том числе, одной из основных функций вегетативной нервной системы является адекватный защитный ответ на воздействие низких температур [2]. В различных исследованиях было указано на увеличение скорости обменных процес-

сов у аборигенных жителей Аляски, Канады и Сибири, что рассматривалось в качестве адаптивной реакции в условиях холодового стрессорного воздействия, а также влияния сезонного режима естественного освещения [3]. При этом научных работ, затрагивающих особенности энергетического обмена организма лиц, принадлежащих к европеоидным популяциям с различными сроками адаптации к условиям циркумполярных регионов, встречается сравнительно мало. Исходя из вышесказанного, целью данной работы явилось выявление особенностей изменения характеристик дыхания у молодых жителей Магаданской области при различных сроках адаптации к условиям северо-востока России.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Методом случайной выборки были обследованы 1632 молодых лица 17–21 года, постоянно проживающие в Магаданской области, являющиеся студентами Северо-Восточного Государственного университета (г. Магадан). В зависимости от длительности нахождения их семей на территории области все обследуемые были разделены на 4 груп-

пы. В первую группу вошли приезжие мигранты-европеиды из центральных районов страны, характеризующиеся непродолжительным сроком проживания на Севере (в среднем  $7.1 \pm 1.3$  года), эту группу мы обозначили как “нулевое поколение” ( $n = 62$ ). Во вторую группу вошли обследуемые – уроженцы области в 1-м поколении из числа европеидов, у которых родители являлись мигрантами ( $n = 924$ ). В третью группу были включены молодые люди – уроженцы во 2-м поколении ( $n = 580$ ), родители которых уже являлись уроженцами Магаданской области в 1-м поколении. Наконец, четвертая группа представляла собой обследуемых с самым продолжительным сроком проживания семей в условиях северо-востока, представители только начинающейся формироваться популяции (ввиду “относительной молодости” Магаданской области) – это юноши 3-го поколения, у которых родители относятся к представителям 2-го поколения ( $n = 66$ ). Указанные исследования были проведены с 2005 по 2017 годы.

Общепринятым методом, позволяющим достоверно судить об особенностях протекания обменных процессов, является метод непрямой калориметрии, заключающийся в том, что при сгорании продуктов выделяется тепловая энергия, величину которой можно установить по результатам измерения потребления организмом кислорода и выделения углекислого газа. Уровень энергетического обмена, а также ряд показателей внешнего дыхания изучали с помощью метабографа Medgraphics VO2000 (США). Определялись энерготраты в состоянии покоя в минуту (Kcal, ккал/мин), в день (REE, ккал/день), расходование энергии в покое (REE/Pred, %), частота дыхания (ЧД, цикл/мин), дыхательный объем (ДО,  $V_t$  ВТРС, мл), минутный объем дыхания (МОД, VE ВТРС, л), дыхательный коэффициент (RQ, усл. ед.), выделение углекислого газа и потребление кислорода ( $VCO_2$  и  $VO_2$ , мл/мин) и отношение данных показателей к частоте дыхания ( $VCO_2/ЧД$  и  $VO_2/ЧД$ ), показатели вентиляции легочного эквивалента по кислороду и углекислоте ( $VE/VO_2$ ,  $VE/VCO_2$ ) доля углеводов и липидов в рационе питания (CHO/REE, Fat/REE, %) и коэффициент использования кислорода, КИО<sub>2</sub> (Ox. Util. Fact., мл/л).

Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНЦ ДВО РАН (заключение от 04.12.2012 г, протокол № 3). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Обработку полученного материала производили с использованием прикладного пакета “Statistica 7.0”. Вычислялись средние величины показателей ( $M$ ) и ошибки средних ( $\pm m$ ). Статистическую зна-

чимось различий оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента для независимых выборок при условии нормальности распределения, которую определяли с помощью теста Колмогорова-Смирнова. Критический уровень значимости ( $p$ ) принимался  $\leq 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Учитывая информативность показателей энергообмена в оценке уровня адаптированности организма к экстремальным природно-климатическим условиям, нами были проведены исследования параметров газоанализа в изучаемых группах (табл. 1). Система внешнего дыхания осуществляет функцию переноса кислорода из воздуха окружающей среды в кровь легочных капилляров и у здоровых людей снабжает организм кислородом адекватно его потреблению в тканях. Известно, что при повышении уровня энергетических процессов в организме изменяются параметры легочной вентиляции и газообмена [4]. Одним из самых демонстративных показателей системы внешнего дыхания является ДО [5]. Так, из приведенных данных видно, что значения ДО, определяющего глубину дыхания, имели четкую тенденцию к уменьшению по мере увеличения срока адаптации, при этом его наивысшие показатели отмечались у мигрантов (0-е поколение), а наименьшие – у представителей 3-го поколения. При этом необходимо отметить, что в каждой обследуемой группе данный показатель превышал нормативный диапазон, характерный для этой возрастной группы [6]. Более высокие величины ДО у магаданцев по сравнению с жителями средней полосы (в среднем на 130–200 мл) отмечены в работе других авторов [7]. Известно, что величина ДО влияет на объем альвеолярного мертвого пространства [8], увеличение ДО будет свидетельствовать об уменьшении мертвого пространства и способствовать увеличению количества функционирующих альвеол [9].

Снижение ДО с увеличением степени адаптированности к северным условиям согласуется с данными Г.С. Шишкина (2001), где указывается на рефлекторное ограничение глубины вдоха при адаптации к Северу, что необходимо для исключения из вентиляции наиболее охлаждаемых альвеол, преимущественно в проксимальных отделах, но при этом столь высокие показатели, превышающие нормативные показатели данной характеристики внешнего дыхания, направлены на увеличение легочной вентиляции для оптимального газообмена [10].

В общем комплексе методов и проб, используемых при функциональной оценке аппарата внешнего дыхания, большое место занимает показатель легочной вентиляции в покое, который связан с парциальным давлением кислорода в альвеолярном газе. При этом наиболее ярко функциональные особенности аппарата внешнего дыхания от-

**Таблица 1.** Показатели газоанализа у испытуемых с различным уровнем адаптации к условиям северо-востока России ( $M \pm m$ )

Изучаемый показатель	Обследованная группа				Уровень значимости различий между поколениями					
	0 поколение	1 поколение	2 поколение	3 поколение	0–1	1–2	2–3	0–2	0–3	1–3
КCal (ккал/мин)	1.67 ± 0.07	1.70 ± 0.03	1.62 ± 0.04	1.50 ± 0.05	$p = 0.67$	$p = 0.07$	$p < 0.05$	$p = 0.52$	$p < 0.05$	$p < 0.001$
REE (ккал/день)	2384.9 ± 53.2	2445.0 ± 27.4	2320.3.4 ± 26.3	2171.3 ± 56.4	$p = 0.31$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
RQ – ДК	1.02 ± 0.03	0.93 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.86 ± 0.02	$p < 0.001$	$p = 0.71$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.01$
REE/Pred (%)	131.2 ± 2.7	134.2 ± 1.4	125.0 ± 1.2	114.0 ± 2.5	$p = 0.32$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.05$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
RR – ЧД	14.7 ± 0.4	14.8 ± 0.3	14.0 ± 0.2	13.6 ± 0.4	$p = 0.85$	$p < 0.05$	$p = 0.32$	$p = 0.14$	$p < 0.05$	$p < 0.01$
Vt ВTPS (мл) – ДО	725.9 ± 29.3	661.4 ± 13.1	643.1 ± 13.7	659.6 ± 16.8	$p < 0.05$	$p = 0.33$	$p = 0.44$	$p < 0.01$	$p < 0.05$	$p = 0.92$
VE ВTPS – МОД	10.1 ± 0.4	9.3 ± 0.2	9.0 ± 0.2	8.7 ± 0.3	$p < 0.05$	$p = 0.13$	$p = 0.57$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p = 0.11$
VCO <sub>2</sub> /ЧД (мл/цикл/мин)	17.0 ± 0.6	19.0 ± 0.4	19.8 ± 0.4	20.6 ± 0.8	$p < 0.01$	$p = 0.20$	$p = 0.36$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.07$
VCO <sub>2</sub> (мл/мин)	245.8 ± 7.5	235.8 ± 3.8	260.3 ± 4.1	267.4 ± 8.2	$p = 0.23$	$p < 0.001$	$p = 0.43$	$p = 0.08$	$p < 0.05$	$p < 0.001$
VO <sub>2</sub> (мл/мин)	344.07 ± 11.96	333.8 ± 5.8	325.0 ± 6.1	307.3 ± 7.5	$p = 0.44$	$p = 0.29$	$p = 0.07$	$p = 0.15$	$p < 0.01$	$p < 0.001$
VO <sub>2</sub> /ЧД (мл/цикл/мин)	19.9 ± 0.7	22.8 ± 0.5	22.9 ± 0.4	23.6 ± 0.8	$p < 0.001$	$p = 0.87$	$p = 0.41$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.36$
VE/VCO <sub>2</sub>	37.7 ± 0.6	35.6 ± 0.3	34.9 ± 0.3	33.5 ± 0.4	$p < 0.001$	$p = 0.08$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
VE/VO <sub>2</sub>	32.0 ± 0.6	29.6 ± 0.4	29.8 ± 0.4	28.5 ± 0.3	$p < 0.001$	$p = 0.78$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.01$
FET CO <sub>2</sub> (%)	3.7 ± 0.1	3.7 ± 0.0	3.7 ± 0.0	3.8 ± 0.1	$p = 0.89$	$p = 0.77$	$p = 0.08$	$p = 0.69$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
FET O <sub>2</sub> (%)	17.2 ± 0.1	16.9 ± 0.0	16.9 ± 0.0	16.5 ± 0.1	$p < 0.001$	$p = 0.57$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
CHO/REE (%)	50.2 ± 3.5	48.8 ± 1.7	51.4 ± 1.9	54.7 ± 3.0	$p = 0.72$	$p = 0.31$	$p = 0.35$	$p = 0.76$	$p = 0.32$	$p = 0.08$
Fat/REE (%)	50.5 ± 3.4	57.1 ± 1.9	48.8 ± 1.9	45.2 ± 2.0	$p = 0.09$	$p < 0.01$	$p = 0.20$	$p = 0.65$	$p = 0.18$	$p < 0.001$
КИО <sub>2</sub>	33.3 ± 0.9	36.6 ± 0.4	37.8 ± 0.4	37.1 ± 0.8	$p < 0.001$	$p < 0.05$	$p = 0.42$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.60$

ражает показатель легочной вентиляции – величина минутного объема дыхания [11].

Аналогичная динамика (снижение в ряду от 0-го к 3-му поколению) была выявлена и для минутного объема дыхания, определяющего уровень легочной вентиляции (МОД) и частоты дыхания (ЧД). Следует отметить, что у юношей 0-го и 1-го поколения значения легочной вентиляции, а также уровня потребления кислорода превышали нормативные величины, характерные для здорового молодого человека [6]. Известно, что легочная вентиляция влияет на уровень теплоотдачи с дыханием и вносит значительный вклад в снижение респираторных теплопотерь под влиянием экстремальных условий северо-востока России [12]. Возрастание легочной вентиляции повышает энергетическую стоимость дыхательного акта, что свидетельствует о нарушении принципа экономизации функций и может косвенно указывать на снижение резерва и на более напряженную работу аппарата внешнего дыхания [13]. Необходимо отметить, что характерное для жителей северных регионов увеличение

минутного объема дыхания, широко распространенное в литературе под названием “полярная одышка”, в настоящее время, прежде всего, связывают с метаболическим ацидозом за счет активации гликолитических и липолитических процессов, приводящих к накоплению метаболитов, обуславливающих сдвиг рН в кислую сторону, что, по мнению авторов, способствует компенсаторному увеличению легочной вентиляции [14].

Центральной характеристикой как внешнего дыхания, так и энергетически-метаболического профиля организма в целом является величина потребления кислорода (ПО<sub>2</sub>), уровень которого не зависит от его содержания в крови, а определяется внутренней потребностью в нем клеток и тканей [15]. При этом высокие показатели потребления кислорода отражают обменные процессы в организме и свидетельствуют о значительной интенсификации метаболизма [9]. Следует отметить, что у юношей 0-го и 1-го поколения значения уровня потребления кислорода превышали нормативные величины, характерные для здорового молодого

человека [6], затем эти показатели снижались с увеличением степени адаптированности к условиям Севера. Известно, что один и тот же уровень потребления кислорода может достигаться разными путями: либо повышением вентиляции, либо повышением уровня утилизации кислорода [16].

Результаты настоящего исследования свидетельствуют, что в группах 0-го и 1-го поколения высокий уровень потребления кислорода (превышающего на 25% среднеширотную норму) обеспечивается, по большей части, усилением легочной вентиляции за счет углубления дыхания. При этом с увеличением адаптированности к условиям Севера в группах юношей 2-го и 3-го поколения показатели  $\dot{V}O_2$  статистически значимо снижаются, оставаясь, тем не менее, на верхней границе нормативного диапазона. Данный факт обусловлен по большей части оптимизацией процесса утилизации кислорода (увеличение показателя  $KIO_2$ ) на фоне оптимальных вентиляционных показателей паттерна дыхания (ДО, МОД, ЧД). Минутное выделение углекислого газа  $V \text{CO}_2$  (мл/мин) значительно возрастало в ряду от 0-го к 3-му поколению.

Показатели вентиляционного эквивалента по кислороду ( $VE/\dot{V}O_2$ ), отражающие количество воздуха, прошедшего через легкие, из которого организм поглощает 1 мл кислорода [17, 18], значимо снижались в ряду от 0-го к 3-му поколению. Аналогичная тенденция была характерна и для показателя  $VE/V\text{CO}_2$  – вентиляционного эквивалента по углекислому газу [17], самые низкие величины его были отмечены в группе с наиболее продолжительным сроком адаптации в условиях Севера. В некоторых работах показатель  $VE/V\text{CO}_2$  рассматривается как маркер хеморефлекторной чувствительности, более низкие показатели которого свидетельствуют о снижении хемочувствительности к углекислому газу [19]. В работах М.А. Якименко и соавт. [20] также указывается, что проживание в условиях холода ведет к снижению вентиляционной реакции дыхательной системы на  $\text{CO}_2$ , что в полной мере согласуется с нашими данными.

Известно, что  $\text{CO}_2$  является основным регулирующим фактором внешнего дыхания, при этом повышение выделения  $\text{CO}_2$  позволяет поддерживать уровень легочной вентиляции на должном уровне для обеспечения необходимых энергозатрат [21]. Данные настоящего исследования показывают, что высокие показатели легочной вентиляции и дыхательного объема у юношей 0-го, 1-го, 2-го поколения не связаны с повышением уровня выделения углекислоты с выдыхаемым воздухом, тогда как в группе представителей 3-го поколения высокие показатели концентрации углекислоты в выдыхаемом воздухе сопряжены с самыми низкими показателями легочной вентиляции.

Несмотря на то что концентрация  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе была статистически значимо ниже у представителей 0-го, 1-го и 2-го поколения в сравнении с юношами 3-го поколения, она значительно превышала величины, полученные в работах других авторов, которые проводили исследования на жителях Европейского Севера (где содержание углекислоты в выдыхаемом воздухе было ниже 3%) [22]. Вопрос о причине повышенных величин концентрации  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе остается открытым. Так, по мнению С.Г. Кривошекова и соавт. [23], увеличение образования углекислого газа может объясняться высоким функциональным резервом гликолитических процессов. У наших испытуемых 1-й, 2-й и 3-й группы это подтверждается повышенными значениями дыхательного коэффициента, величины которого свидетельствуют о преобладании углеводного обмена веществ и соответственно об отсутствии у них “полярного метаболического типа”, характерного для аборигенов [24]. Между тем, по данным О.И. Ровной и В.Н. Ильина [25], высокое выделение углекислоты может быть следствием редкого и глубокого дыхания, как у наших испытуемых – представителей 3-го поколения, что, в свою очередь, способствует связыванию кислорода кровью и высвобождению  $\text{CO}_2$ .

Кислородный эффект дыхательного цикла. Эффективность дыхательного цикла по показателю  $\dot{V}O_2/\text{ЧД}$  имела значимую динамику в зависимости от срока проживания в условиях Севера, с увеличением в ряду от 0-го к 3-му поколению на фоне повышения эффективности выведения углекислого газа в каждом дыхательном акте, о чем свидетельствовала значимая положительная динамика от 1-й к 4-й группе показателя  $V \text{CO}_2/\text{ЧД}$ .

Важнейшим показателем деятельности дыхательной системы является коэффициент использования кислорода, отражающий количество кислорода (в мл), извлекаемое из каждого литра атмосферного воздуха при дыхании, т.е. характеризующий эффективность деятельности системы транспорта кислорода в целом [22]. Увеличение  $KIO_2$  в ряду от мигрантов к представителям 3-го поколения свидетельствует о повышении диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярную мембрану и улучшении кислородотранспортной функции организма в целом [26].

Показатель REE (ккал/день) – это уровень минимальной необходимой энергии для поддержания жизнедеятельности и стандартная мера, отражающая энергетические расходы организма [27]. Данная величина в настоящее время широко используется в иностранной литературе как показатель метаболической адаптации; она отражает уровень энергетических расходов населения различных регионов, в том числе циркумполярных [3, 28]. В настоящей работе отмечаются высокие показатели REE у всех обследуемых юношей вне зависимо-

сти от сроков адаптации к северным условиям, что может расцениваться как проявление гиперметаболизма при проживании в условиях Севера. При этом отмечается четкое снижение как самого показателя REE, так и соотношенного с должными величинами REE/Pred с увеличением срока адаптации к условиям Севера. Так, в группе юношей с непродолжительным сроком проживания в северных условиях, показатель REE превышал уровень расходования энергии в покое для данного возраста, пола и соматометрических характеристик на 31%. В группе 1-го поколения это превышение составило 34%, у представителей 2-го поколения оно достигло 25%. В группе молодых людей с самым длительным сроком адаптации к условиям Севера (3-е поколение) показатель увеличения энергозатрат организма в состоянии покоя был наименьшим и составил 14%.

Повышенные показатели REE при адаптации к холоду и северным условиям были отмечены в ряде других работ [3, 28], что авторы связывают со снижением свободных уровней гормонов щитовидной железы — Т3 и Т4, описывая это как формирование “приполюсного синдрома Т3”; [29, 30]; активацией несократительного термогенеза [31] за счет бурой жировой ткани [3], а также генетической обусловленностью за счет мутаций в генах митохондриальной ДНК (например, АТР6), приводящей к разобщению окислительного фосфорилирования и увеличению метаболического производства тепла [32].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом анализ показателей газоанализа в зависимости от степени адаптированности к условиям северо-востока России выявил значимое снижение вентиляторных показателей (ДО, МОД, ЧД) в ряду от 0-го к 3-му поколению. В процессе адаптации человека к сочетанному воздействию холода и ветра вырабатывается защитная реакция, проявляющаяся урежением дыхания без его углубления, что сопровождается увеличением коэффициента использования кислорода, при этом физиологический смысл таких перестроек аппарата внешнего дыхания заключается в согревании вдыхаемого воздуха. Полученные нами результаты полностью подтверждают данный факт и указывают на выраженную защитную реакцию бронхолегочной системы от холодного воздействия субарктического климата указанного региона и одновременное улучшение кислородтранспортной функции при более эффективном использовании каждого дыхательного цикла у лиц, более длительно проживающих в условиях Севера.

Несомненно, что оптимизация вентиляторных показателей аппарата внешнего дыхания направлена на снижение респираторных энергопотерь при адаптации к условиям Севера, что, в свою оче-

редь, обусловлено более эффективной диффузией кислорода через альвеолярно-капиллярную мембрану (по показателям КИО<sub>2</sub>) и повышенной скоростью потребления кислорода и выведения углекислоты с каждым дыхательным актом, что находит свое отражение в значимом снижении показателей VE/VO<sub>2</sub>, VE/VCO<sub>2</sub>, увеличении показателей эффективности дыхательного акта (VCO<sub>2</sub>/ЧД и VO<sub>2</sub>/ЧД) на фоне снижения показателей основного метаболизма (REE ккал/мин, REE/Pred (%)) с увеличением сроков адаптации к северным условиям.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ “Арктика” ДВО РАН.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все испытуемые добровольно подписали информированное согласие на участие в экспериментах. Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Snodgrass J.J.* Health of indigenous circumpolar populations. *Annu. Rev. Anthropol.* 42 (1): 69–87. 2013.
2. *Muzik O., Reilly K.T., Diwadkar V.A.* “Brain over body” — A study on the willful regulation of autonomic function during cold exposure. *NeuroImage.* 172: 632–641. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.067>
3. *Leonard W.R., Snodgrass J.J., Sorensen M.V.* Metabolic adaptation in indigenous Siberian populations. *Annu. Rev. Anthropol.* 34: 451–471. 2005.
4. *Farber J.P.* Teaching control of breathing using models applicable to clinical situations. *Adv in Physiol Edu.* 18 (1): S75–S84. 1997.
5. *Давидовская Е.И., Слипченко Э.Г., Хапалюк А.В.* Исследование функции внешнего дыхания в терапевтической практике: новые возможности. *Мед. новости.* 3: 81–84. 2005. [*Davidovskaya E.I., Slipchenko E.G., Hapalyuk A.V.* Issledovanie funkicii vneshnego dyhaniya v terapevticheskoy praktike: novye vozmozhnosti [Research of function of external respiration in therapeutic practice: new opportunities]. *Med. novosti.* 3: 81–84. 2005 (In Russ).]
6. *Попова О.Н.* Характеристика адаптивных реакций внешнего дыхания у молодых лиц трудоспособного возраста, жителей Европейского Севера: Автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. М. 2009. [*Popova O.N.* Harakteristika adaptivnyh reakcij vneshnego dyhaniya u molodyh lic trudospobnogo vozrasta, zhitelej Evropejskogo Severa [Characteristic of adaptive reactions of external respiration in young individuals of working age, inhabi-

- tants of the European North] Avtoref. dis. ... d-ra. med. nauk. M. 2009 (In Russ).]
7. Гришин О.В., Шишкин Г.С., Никольская О.Э. Три типа реакцій респираторной системы на дыхание холодным воздухом у мигрантов в период адаптации к Северу. Особенности заболеваний терапевтического профиля и их профилактика среди жителей Чукотки. с. 12–13. Анадырь. 1990. [Grishin O.V., Shishkin G.S., Nikol'skaya O.E. Tri tipa reakcij respiratornoj sistemy na dyhanie holodnym vozduhom u migrantov v period adaptacii k Severu [Three types of reactions of a respiratory system to breath by cold air at migrants during adaptation to the North] pp. 12–13 in a book Osobennosti zabolevanij terapeuticheskogo profilya i ih profilaktika sredi zhitelej Chukotki [Features of therapeutic diseases and their prevention among inhabitants of Chukotka]. Anadyr. 1990 (In Russ).]
  8. Шейд П. Физиология дыхания. Фундаментальная клиническая физиология. с. 773–838. М. 2004. [Shejd P. Fiziologiya dyhaniya [Respiration physiology] pp. 773–838 in Fundamental'naya klinicheskaya fiziologiya [Fundamental clinical physiology]. M. 2004 (In Russ).]
  9. Гудков А.Б., Попова О.Н. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета. 2012. [Gudkov A.B., Popova O.N. Vneshnee dyhanie cheloveka na Evropejskom Severe [External respiration of the person in the European North]. Arkhangelsk: Publishing house of the Northern state medical university. 2012 (In Russ).]
  10. Шишкин Г.С., Гончаров В.В., Валицкая Р.И. Особенности параметров бронхиального дерева у жителей Севера. Морфология. 119 (1): 55–59. 2001. [Shishkin G.S., Goncharov V.V., Valitskaya R.I. Osobennosti parametrov bronhial'nogo dereva u zhitelej Severa [Features of parameters of a bronchial tree at inhabitants of the North]. Morphology. 119 (1): 55–59. 2001. (In Russ).]
  11. Гришин О.В., Митрофанов И.М., Устюжанинова Н.В. Система внешнего дыхания при переходе от здоровья к хроническим заболеваниям. Бюл. СО РАМН. 2: 118–122. 2004. [Grishin O.V., Mitrofanov I.M., Ustyuzhaninova N.V. The system of external respiration in transition from health to chronic diseases //Bulletin SO RAMN. 2: 118–122. 2004 (In Russ).]
  12. Шишкин Г.С., Петрунев С.А. Особенности вентиляции легких при дыхании низкотемпературным воздухом. Физиол. человека. 21 (2): 61. 1995. [Shishkin G.S., Petrunev S.A. Features of the lungs ventilation in respiration by low-temperature air. Fiziol. chel. 21 (2): 61. 1995 (In Russ).]
  13. Сарычев А.С. Характеристика адаптивных реакций организма вахтовых рабочих в условиях Заполярья: Автореф. докт. мед. наук. Архангельск. 2012. [Sarychev A.S. Karakteristika adaptivnyh reakcij organizma vahtovyh rabochih v usloviyah zapolyar'ya [Characteristic of adaptive reactions of an organism of rotational workers in the conditions of the polar region]. Avtoref. dokt. med. nauk. Arkhangelsk. 2012 (In Russ).]
  14. Агаджанян Н.А., Гневушев В.В., Катков А.Ю. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания. М.: Изд-во УДН. 1987. [Agadzhanyan N.A. Gnevushev V.V., Katkov A.Yu. Adaptaciya k gipoksii i bioekonomika vneshnego dyhaniya [Adaptation to hypoxia and bioeconomy of the external respiration]. M.: Izd-vo UDN. 1987 (In Russ).]
  15. Иржак Л.И., Дмитриева С.П. Способ определения кислородного резерва в организме человека путем измерения потребности в кислороде. Бюл. изобретений. 36: 34. 2006. [Irzhak L.I., Dmitriyeva S.P. Sposob opredeleniya kislorodnogo rezerva v organizme cheloveka putem izmereniya potrebnosti v kislorode [A way of definition of an oxygen reserve in a human body by measurement of need for oxygen]. Bulletin of inventions. 36: 34. 2006 (In Russ).]
  16. Козырева Т.В., Симонова Т.Г. Модулирующее влияние терморепторов на дыхание человека. Вестник РАМН. 10: 14–18. 1998. [Kozyreva T.V., Simonova T.G. Moduliruyushchee vliyanie termoreceptorov na dyhanie cheloveka [The modulating influence of thermoreceptors on the breath of the person]. Vestnik RAMN. 10: 14–18. 1998 (In Russ).]
  17. Solberg G., Robstad B., Skjongsberg O.H. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. J. Sport Sci. Med. 4: 29–36. 2005.
  18. Стручков П.В., Виноцкая Р.С., Люкевич И.А. Введение в функциональную диагностику внешнего дыхания. М.: Медицина. 1996. [Struchkov P.V., Vinitckaya R.S., Lyukevich I.A. Vvedenie v funktsional'nuyu diagnostiku vneshnego dyhaniya [Introduction to functional diagnostics of external respiration] M.: Medicine. 1996 (In Russ).]
  19. Lin C.C., Hsieh W.Y., Chou C.S., Liaw S.F. Cardiopulmonary exercise testing in obstructive sleep apnea syndrome. Respir Physiol Neurobiol. 150 (1): 27–34. 2006.
  20. Якименко М.А., Симонова Т.Г., Пичкуров А.М., Татауров Ю.А. Влияние адаптации к холоду на показатели внешнего дыхания при гиперкапнии. Физиол. человека. 15 (5): 148–155. 1989. [Yakimenko M.A., Simonova T.G., Pichkurov A.M., Tataurov Yu.A. The impact of cold adaptation on indicators of external respiration at a hypercapnia. Fiziol. chel. 15 (5): 148–155. 1989 (In Russ).]
  21. Рошчевский, М.П., Евдокимов В.Г., Варламова Н.Г., Рогачевская О.В. Сезонные и социальные влияния на кардиореспираторную систему жителей Севера. Физиол. человека. 21 (6): 55–69. 1995. [Roshchevsky, L.S., Evdokimov V.G., Varlamova N.G., Rogachevskaya O.V. Seasonal and social influences on the cardiorespiratory system of inhabitants of the North. Fiziol. chel. 21 (6): 55–69. 1995 (In Russ).]
  22. Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН. 2007. [Evdokimov V.G., Rogachevskaya O.V., Varlamova N.G. Moduliruyushchee vliyanie faktorov Severa na kardiorespiratornyuyu sistemu cheloveka v ontogeneze [The modulating influence of factors of the North on the cardiorespiratory system of the person in ontogenesis]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2007 (In Russ).]
  23. Кривошеков С.Г., Диверг Г.Э., Диверг Д.М. Реакция тренированных к задержке дыхания лиц на прерывистую нормобарическую гипоксию. Физиол. человека. 33 (3): 75–80. 2007. [Krivoshchekov S.G., Divert G.M., Divert V.E. Response of subjects trained to hold their

- breath to intermittent normobaric hypoxia. *Fiziol. chel.* 33 (3): 75–80. 2007 (In Russ).]
24. *Бойко Е.Р.* Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН. 2005. [*Bojko E.R.* Fiziologo-biohimicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka na Severe [Physiological and biochemical bases of functioning of the human in the north]. Yekaterinburg: UrO RAN. 2005 (In Russ).]
  25. *Ровная О.И., Ильин В.Н.* Особенности адаптивных реакций системы дыхания высококвалифицированных спортсменов синхронного плавания во время интервальной гипоксической тренировки. Проблемы фізичного виховання і спорту. 9: 71–75. 2010. [*Rovnaya O.A., Ilyin V.N.* Features of adaptive reactions of system of breath highly skilled sportswomen synchronous swimming during interval hypoxical trainings (ИТ). Problemi fizichnogo vihovannya i sportu. 9: 71–75. 2010 (In Russ)].
  26. *Неверова Н.П.* Состояние вегетативных функций у здоровых людей в условиях Крайнего Севера: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск. 1972. [*Neverova N.P.* Sostoyaniye vegetativnyh funktsiy u zdorovyh lyudej v usloviyah Krajnego Severa [Vegetative functions at healthy people in the conditions of High North]: Avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. Novosibirsk. 1972 (In Russ).]
  27. *McLean J.A., Tobin G.* Animal and Human Calorimetry. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1990.
  28. *Katzmarzyk P.T., Leonard W.R., Crawford M.H., Sukernik R.I.* Resting metabolic rate and daily energy expenditure among two indigenous Siberian populations. *Am. J. Hum. Biol.* 6: 719–730. 2014.
  29. *Reed H.L., Brice D., Shakir K.M.M., Burman K.D., D'Alessandro M.M., O'Brian J.T.* Decreased free fraction of thyroid hormones after prolonged Antarctic residence. *J. Appl. Physiol.* 69: 1467–1472. 1990.
  30. *Palinkas L.A., Suedfeld P.* Psychological effects of polar expeditions. *Lancet.* 371: 153–163. 2008.
  31. *Lichtenbelt W. M., Kingma B., Van Der Lans A., Schellen L.* Cold exposure—an approach to increasing energy expenditure in humans. *Trends Endocrinol. Metab.* 25: 165–167. 2014.
  32. *Ruiz-Pesini E., Mishmar D., Brandon M., Procaccio V., Wallace D.C.* Effects of purifying and adaptive selection on regional variation in human mtDNA. *Science.* 303: 223–226. 2004.

## The Dynamics of Gas Analysis Parameters in Young Males of the Magadan Region from Different Generations of Caucasian Migrants and Adaptants

I. V. Averyanova<sup>a,#</sup> and S. I. Vdovenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Arktika Scientific Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: Inessa1382@mail.ru*

Using indirect calorimetry, we examined 1632 young males aged 17 to 21 years, belonging to the Caucasian race and residing permanently in the city of Magadan. Depending on the duration of adaptation to the conditions of the Northeast of Russia, all male subjects were divided into 3 groups of first-, second-, and third-generation descendants and a group of newcoming migrants (adaptants), residing in the Magadan Region for a short period of time (zero generation). It was established that in the lineage from the zero to third generations there occur an optimization of the ventilatory parameters of the external respiration apparatus aimed at cutting respiratory heat losses during adaptation to extreme conditions of the Northeast, i.e. a decrease in the tidal volume, tidal minute volume, and respiratory rate. Relevant rearrangements of the respiratory pattern in subjects with a longer duration of residence under the same extreme conditions are paralleled by an improvement of oxygen transport and a more efficient use of each respiratory cycle.

*Keywords:* gas analysis, adaptation, young males, Northeast