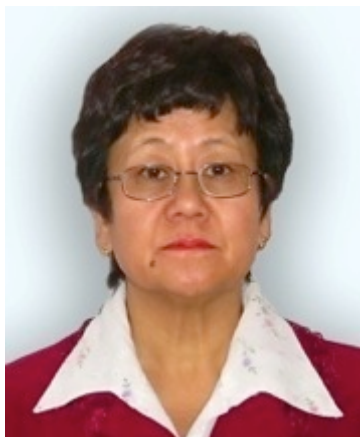


УДК 612.11/127.2:312-053:331.108.42(1-17)

Влияние полярного стажа на кислородотранспортную функцию крови у северян различного возраста

Influence of polar time record on the oxygen transportation function of blood of northerners of various age



© **Ким** Лена Борисовна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель группы биохимии соединительной ткани Федерального государственного бюджетного учреждения «Научный центр клинической и экспериментальной медицины» СО РАМН, главный научный сотрудник. E-mail: lenkim@centercem.ru; тел. +7(383) 334-82-11

© **Kim** Lena Borisovna, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of Group for Connective Tissue Biochemistry, Federal State Budget Organization «Scientific Center of Clinical and Experimental Medicine» SB RAMS, Chief Researcher E-mail: lenkim@centercem.ru; tel. +7(383) 334-82-1

Аннотация. Представлены результаты изучения кислородотранспортной функции крови северян работоспособного возраста, показана динамика изменения гематологических показателей в зависимости от длительности проживания на Севере (северного стажа), что важно для экологии человека

Ключевые слова: Арктика, Север, пришлое население, эритроциты, гемоглобин, северный стаж, возраст

Abstract. The work shows the results of studying the oxygen transportation function of blood of northerners of working age. It shows the dynamics of hematological variables depending on the length of living in the North (northern time record), which is important for human ecology

Keywords: Arctic, North, alien population, erythrocytes, hemoglobin, Nordic experience, age

Введение

Функциональная система дыхания, согласно теории функциональных систем [1; 2], объединяющая внешнее дыхание, сердечно-сосудистую систему и кислородотранспортную функцию крови, — очень лабильная структура. Она быстро перестраивается в ответ на действие внутренних и внешних факторов, обеспечивая адекватный потребностям организма кислородный баланс. Климатические, географические факторы Арктики и Севера признаны сильными раздражителями для кислородотранспортной функции крови, влияют на экологию человека, сбережение людей в суровых природных условиях.

При изучении функциональных систем человека необходимо учитывать, что адаптивные перестройки на Севере происходят на фоне возрастных изменений, и сложно априорно представить, как они соотносятся между собой в каждый отдельный возрастной период. Использованный ранее метод поперечного сечения популяции при изучении функции

внешнего дыхания и кислородотранспортной функции крови [3] позволил одновременно анализировать возраст и продолжительность жизни на Севере (полярный стаж), выделять периоды адаптивных перестроек, становления или переходный, относительной стабилизации и дестабилизации. Недостатком этого метода оказалось то, что он не даёт ответа на следующие вопросы: Будут ли проявляться эти периоды у северян, приехавших на Север в 20 лет, 30 лет и более лет? Если да, то сохранится ли длительность периодов? Правомочно ли судить о преждевременном старении при снижении резервных показателей относительно среднеширотных данных? На некоторые из них ответы были получены при изучении взаимосвязи полярного стажа с функцией внешнего дыхания [4] и газовым составом крови у мужчин различных возрастных групп (20-29, 30-39, 40-49 и 50-59 лет) [5].

Экологические факторы Арктики и Севера оказывают непосредственное влияние на становление системы эритрона. Кислородотранспортная функция крови чувствительна к действию низких температур и других стрессоров, она подвержена значительным изменениям при развитии патологических ситуаций. Являясь частью функциональной системы транспорта O₂, изменение этой функции может отражать ее адаптивные возможности у жителей арктических регионов. Проявлением воздействия экологических факторов признаны напряжение эритропоэза с высокой активностью эритропоэтина [6], сокращение средней продолжительности жизни эритроцитов [7; 8; 9]. При этом отчётливо прослеживается связь с географической широтой: по мере продвижения на Север средняя продолжительность жизни эритроцитов постепенно уменьшалась, а интенсивность суточного эритропоэза и средний объем эритроцитов — увеличивались [8, с. 191; 9, с. 54]. Однако до настоящего времени неизвестно, есть ли связь между полярным стажем и кислородотранспортной функцией крови северян и какие изменения претерпевает она у лиц, приехавших на Север в разном возрасте. Целью исследования было изучить особенности кислородотранспортной функции крови у приезжих жителей различного возраста и полярного стажа.

Методика

Для изучения кислородотранспортной функции крови на добровольной основе обследовали мужчин возрасте от 20 до 59 лет в различных районах Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа¹. По возрастному критерию сформировали 4 группы. Первую группу составили мужчины в возрасте 20-29 лет (n=75), 2-ю — 30-39 лет (n=90), 3-ю — 40-49 лет (n=47) и 4-ю — 50-59 лет (n=43). В зависимости от длительности проживания на

¹ С 1 января 2007 года - Таймырский Долгано-Ненецкий муниципальный район Красноярского края. - Примечание редакции журнала «Арктика и Север»

Севере (74° с. ш.) выделяли группы с различным полярным стажем (до 1 года, от 1 до 2 лет, от 2 до 5 лет, от 5 до 10 лет, 10 лет и более).

Определение количества эритроцитов (Эр) проводили на эритрогемометре М-065. Гематокритный показатель (Ht) измеряли прямым методом на микроцентрифуге (Radiometer, Дания). Содержание гемоглобина (Hb) в крови измеряли унифицированным гемиглобинцианидным методом с использованием ацетонциангидрина. В качестве калибровочного раствора применяли стандартный раствор гемиглобинцианида с концентрацией 59,75 мг% (Reanal, Венгрия), соответствующий Международному эталонному раствору гемиглобинцианида. Насыщенность эритроцитов гемоглобином рассчитывали по средней концентрации этого белка в эритроците.

Измерение диаметра эритроцитов проводили прямым микроскопическим методом с помощью винтового окуляр-микрометра АМ-9-2 с интервалом 0,1 микрон и с иммерсией 90x15. Цену деления шкалы окуляр-микрометра определяли с помощью объект-микрометра. Кровь для измерения диаметра эритроцитов забирали из локтевой вены в пробирку с гепарином (10 ед/мл) в соответствии с рекомендациями Международного комитета по стандартизации в гематологии [10]. Проводили измерение среднего диаметра эритроцитов и пределы колебаний диаметра клеток (минимальный и максимальный). В высушенных мазках крови находили поле, где эритроциты располагались одним слоем, и измеряли диаметр 500 клеток. Используя данные среднего диаметра эритроцитов (ДЭ), проводили расчет среднего объема эритроцита (СрОЭ), индекса сферичности (ИСФ) и толщины клетки (ТЭ). Исследования проводили в экспедиционных условиях в весенне-летнее время.

В качестве группы сравнения использовали результаты обследования 95 практически здоровых мужчин г. Новосибирска (55° с. ш.) в возрасте от 22 до 55 лет.

Математическая обработка результатов проведена с использованием пакета статистических программ CSS. Числовые данные выражали в работе как средняя±ошибка средней ($M \pm m$). За граничное значение достоверности принимали уровень значимости $p < 0.05$.

Результаты исследования

Кислородотранспортная функция крови в первую очередь зависит от состояния переносчиков Hb-эритроцитов. У жителей возрастной группы 20-29 лет, имеющих полярный стаж до 1 года, количество эритроцитов было выше относительно аналогичного показателя в группе сравнения (таблица 1). Последующее увеличение полярного стажа не влияло на количество эритроцитов, и оно колебалось в пределах $4,4-4,6 \times 10^{12}/л$. В возрастной группе 30-39 лет количество эритроцитов было выше во все сроки полярного стажа относительно

соответствующей группы сравнения, что позволило говорить об эритроцитозе. В возрастной группе 40-49 лет полярный стаж не влиял на количество эритроцитов: оно соответствовало возрастной норме жителей средних широт.

В группе 20-29 лет у северян с полярным стажем до 1 года содержание Hb, также как и количество эритроцитов, было выше относительно группы сравнения, что свидетельствует о наличии гипергемоглобинемии (таблица 1). В период от 2 и до 10 лет жизни на Севере отмечено статистически значимое его снижение относительно показателя в соответствующей возрастной группе сравнения. В возрастной группе 30-39 лет концентрация Hb не зависела от полярного стажа и соответствовала данным группы сравнения. В возрастной группе 40-49 лет у северян с полярным стажем от 2 до 5 лет концентрация Hb оказалась сниженной (гипогемоглобинемия), с увеличением полярного стажа установилась тенденция к снижению при существенном разбросе данных.

Таблица 1

**Количество эритроцитов и концентрация гемоглобина у северян
в зависимости от возраста и полярного стажа**

Возраст, лет	Полярный стаж, лет (n)	Эр $\times 10^{12}/л$	Hb, г/л
20-29	До 1 года (19)	$4,68 \pm 0,1^1$	$153,6 \pm 3,1^3$
	от 1 до 2 (33)	$4,58 \pm 0,6$	$152,0 \pm 2,9$
	от 2 до 5 (9)	$4,43 \pm 1,2$	$136,0 \pm 2,4^2$
	от 5 до 10 (8)	$4,61 \pm 0,4$	$125,1 \pm 1,8^3$
	10 и более (6)	$4,55 \pm 0,8$	$155,1 \pm 3,6^1$
	Группа сравнения (n=54)	$4,41 \pm 0,07$	$145,9 \pm 2,2$
30-39	до 1 года (12)	$5,12 \pm 0,3^3$	$151,6 \pm 6,5$
	от 1 до 2 (13)	$4,57 \pm 0,09^3$	$149,3 \pm 4,4$
	от 2 до 5 (20)	$5,16 \pm 0,4^2$	$135,3 \pm 8,6$
	от 5 до 10 (26)	$5,27 \pm 0,3^3$	$135,8 \pm 5,1$
	10 и более (19)	$5,06 \pm 0,4^1$	$136,4 \pm 5,6$
	Группа сравнения (n=24)	$4,09 \pm 0,07$	$146,4 \pm 2,7$
40-49	до 1 года (5)	$4,32 \pm 0,5$	$153,7 \pm 1,8$
	от 2 до 5 (6)	$4,36 \pm 0,7$	$143,1 \pm 1,7^2$
	от 5 до 10 (12)	$4,99 \pm 0,09$	$144,8 \pm 15,6$
	10 и более (24)	$4,92 \pm 0,07$	$143,2 \pm 8,9$
	Группа сравнения (n=10)	$4,39 \pm 1,2$	$152,5 \pm 2,3$
50-59	от 2 до 5 (5)		$144,1 \pm 3,7$
	от 5 до 10 (24)	$5,09 \pm 1,1$	
	10 и более (14)	$4,71 \pm 0,07^3$	
	Группа сравнения (n=7)	$4,22 \pm 0,05$	$150,3 \pm 4,3$

Примечание: ¹ - $p < 0,05$, ² - $< 0,01$, ³ - $< 0,001$ — относительно соответствующей возрастной группы сравнения; в скобках — количество участников в группе; Эр $\times 10^{12}/л$ — количество эритроцитов в л; Hb-гемоглобин

Результаты, полученные с помощью гематологического анализатора, показали, что минимальное содержание Hb (138 г/л) характерно для северян, проживших на Севере 3 года, а максимальное (168 г/л) — 8 лет независимо от принадлежности к возрастной группе [11].

Для измерения Ht-показателя использовали капиллярную кровь из пальца (капиллярный Ht) и венозную из локтевой вены (венозный Ht). В группе 20-29 лет венозный Ht был повышен независимо от полярного стажа по сравнению с данными группы сравнения (таблица 2). Капиллярный Ht также был повышен за исключением северян с полярным стажем от 2 до 5 лет.

Таблица 2

Гематокритный показатель крови у приезжих жителей Севера

Возраст, лет	Полярный стаж, лет (n)	Ht, %	
		капилляр	вена
20-29	До 1 года	52,2 ± 0,8 ³	55,2 ± 0,9 ³ *
	от 1 до 2	52,1 ± 0,4 ³	54,6 ± 0,8 ³ *
	от 2 до 5	50,4 ± 1,7	55,0 ± 2,1 ¹
	от 5 до 10	53,2 ± 1,5 ³	54,8 ± 1,1 ²
	10 и более	52,8 ± 0,7 ³	55,6 ± 0,6 ³ *
30-39	до 1 года	51,5 ± 2,0	48,8 ± 4,1
	от 1 до 2	49,2 ± 1,8	53,0 ± 2,3
	от 2 до 5	52,9 ± 1,2 ²	55,4 ± 1,4 ³
	от 5 до 10	51,2 ± 0,8 ²	55,7 ± 0,9 ³ *
	10 и более	52,5 ± 1,6 ²	55,8 ± 1,2 ³
40-49	до 1 года	49,0 ± 0,3 ²	51,2 ± 1,2 ¹
	от 2 до 5	48,2 ± 2,2	53,2 ± 0,8 ³ *
	от 5 до 10	51,3 ± 1,6 ¹	54,7 ± 1,9
50-59	10 и более	53,8 ± 1,8 ²	55,7 ± 1,9 ²
	от 2 до 5	55,2 ± 1,2 ³	55,6 ± 1,6 ³
	от 5 до 10	52,6 ± 1,1 ³	56,0 ± 1,5 ³
Группа сравнения (n=95)		53,9 ± 1,5 ³	57,0 ± 1,4 ³
		47,2 ± 0,5	48,1 ± 0,8

Примечание: ¹ - p<0,05, ² - <0,01, ³ - <0,001 — относительно группы сравнения; Hb — гемоглобин; Ht — гематокритный показатель; * - p<0,05 между капиллярным и венозным Ht;

В группе 30-39 лет увеличение показателя отмечено у северян с полярным стажем от 2 до 5, от 5 до 10 и 10 лет и более, тогда как до 2 лет — он соответствовал данным группы сравнения. В группе 40-49 лет увеличение капиллярного и венозного Ht показателя наблюдали у северян с полярным стажем до 1 года, 10 и более лет. У лиц же, проживших на Севере от 2 до 5 лет и от 5 до 10 лет, отмечено повышение либо венозного Ht показателя, либо капиллярного. В группе 50-59 лет Ht показатель был повышен независимо от полярного стажа северян.

Как правило, венозный Ht-показатель не отличается от капиллярного [12, с. 275]. На Севере в ряде случаев венозный Ht оказался выше, чем капиллярный (таблица 2). Это отмечено в группе северян 20-29 лет с полярным стажем до 1 до 2 лет и 10 лет и более. В группе 30-39 лет различие было у северян с полярным стажем от 5 до 10 лет, в группе 40-49 лет — с полярным стажем от 2 до 5 лет.

Умеренное увеличение Ht-показателя может свидетельствовать о развитии симптоматических эритроцитозов, которые сопровождают дыхательную недостаточность, отдельные формы гемоглобинопатий, гипоксические состояния. Однако увеличение количества эритроцитов наблюдали только в группе 30-39 лет, в группе 20-29 лет у северян с полярным стажем до 1 года и группе 50-59 лет с полярным стажем 10 и более лет (таблица 1), тогда как увеличение Ht показателя отмечали практически во всех группах. В таком случае изменение Ht показателя может быть связано с морфофункциональными особенностями эритроцитов. Проведенная морфометрическая оценка эритроцитов у приезжих жителей Севера показала, что Ht показатель повышен не столько из-за абсолютного увеличения количества эритроцитов, сколько из-за изменения их формы и размеров (таблицы 3, 4).

Таблица 3

Физиологический анизоцитоз, средний диаметр и колебания диаметра эритроцитов у приезжих жителей Севера в зависимости от возраста и полярного стажа

Возраст, лет	Полярный стаж лет, (n)	ФА	ДЭ, мкм		
			средний	миним.	максим.
20-29	До 1 года	2,82±0,06 ¹	7,47±0,03	6,05±0,14	8,89±0,11
	от 1 до 2	2,77±0,07	7,50±0,01	6,14±0,07	8,93±0,04
	от 2 до 5	2,67±0,16	7,58±0,02	6,27±0,08	8,95±0,14
	от 5 до 10	2,68±0,17	7,53±0,09	6,32±0,11	9,0±0,17
	10 и более	2,92±0,22	7,52±0,02	6,20±0,23	9,12±0,09 ¹
30-39	до 1 года	2,58±0,16	7,47±0,02	6,21±0,14	8,80±0,08
	от 1 до 2	2,57±0,15	7,49±0,02	6,27±0,15	8,85±0,05
	от 2 до 5	2,40±0,12	7,51±0,03	6,34±0,10	8,74±0,07
	от 5 до 10	2,54±0,07	7,49±0,02	6,23±0,08	8,82±0,04
	10 и более	2,78±0,18	7,43±0,03	6,10±0,12	8,89±0,11
40-49	до 1 года	2,76±0,22	7,55±0,02	6,50±0,16	9,22±0,15 ¹
	от 1 до 2	2,25±0,15 ¹	7,55±0,05	6,60±0,15 ¹	8,85±0,15
	от 2 до 5	3,0±0,20	7,45±0,05	6,0±0,22	9,0±0,15
	от 5 до 10	2,63±0,12	7,49±0,02	6,33±0,09	8,96±0,13
	10 и более	2,54±0,09	7,52±0,02	6,32±0,08	8,92±0,07
50-59	от 2 до 5	3,35±0,35	7,49±0,05	5,67±0,17 ²	9,02±0,28
	от 5 до 10	2,25±0,30	7,54±0,05	6,45±0,18	8,7±0,17
	10 и более	2,55±0,09	7,50±0,02	6,40±0,08	9,05±0,13
Группа сравнения (n=95)		2,61±0,07	7,51±0,07	6,20±0,06	8,80±0,06

Примечание: ¹ - p<0,05, ² - <0,01, — относительно группы сравнения. ФА — физиологический анизоцитоз; ДЭ — диаметр эритроцитов

Физиологический анизоцитоз характеризуется наличием эритроцитов разного размера. В группе 20-29 лет у северян с полярным стажем до 1 года и группе 40-49 лет с полярным стажем от 1 года до 2 лет величина анизоцитоза отличалась от аналогичного показателя группы сравнения: она была выше в группе 20-29 лет и ниже в группе 40-49 лет (таблица 3). Средний диаметр эритроцитов у северян соответствует показателю группы сравнения. В группе 20-29 лет у северян с полярным стажем 10 и более лет наблюдали эритроциты с мак-

симальным диаметром, превышающим этот показатель группы сравнения. Эритроциты с максимальным диаметром отмечали и в группе 40-49 лет, но только у северян с полярным стажем до 1 года. Различие по минимальному диаметру найдено в группе 40-49 лет у северян с полярным стажем от 1 года до 2 лет (увеличение) и группе 50-59 лет у северян с полярным стажем от 2 до 5 лет (уменьшение) относительно показателя группы сравнения. Эти данные согласуются с результатами сканирующей электронной микроскопии эритроцитов северян [13]. Если у москвичей основная масса эритроцитов представлена дискоцитами-нормоцитами (68%), то у северян кроме популяции нормоцитов (42%) было увеличено количество микроцитов (от 14% в Москве до 22% в Магадане) и макроцитов (от 18% в Москве до 36% в Магадане).

Большим изменениям подвержены другие характеристики эритроцитов (ТЭ, СрОЭ и ИСф клетки). В возрастной группе 20-29 лет с увеличением полярного стажа наблюдалась тенденция к увеличению СрОЭ (с $111,5 \pm 2,46$ до $116,2 \pm 2,82$ фл) (таблица 4). В группе 30-39 лет СрОЭ был повышен только у северян с полярным стажем до 1 года, от 1 до 2 и от 2 до 5 лет, после 5 лет жизни на Севере — показатель соответствовал среднеширотной норме. В возрастной группе 40-49 и 50-59 лет максимальные значения СрОЭ были у северян с полярным стажем 10 лет и более.

Таблица 4

Средний объём, толщина и индекс сферичности эритроцитов у приезжих жителей Севера в зависимости от возраста и полярного стажа

Возраст, лет	Полярный стаж, лет	СрОЭ, фл	ТЭ, мкм	ИСф
20-29	До 1 года	$111,5 \pm 2,46^3$	$2,56 \pm 0,07^3$	$2,95 \pm 0,08^3$
	от 1 до 2	$113,7 \pm 1,6^3$	$2,56 \pm 0,04^3$	$2,9 \pm 0,05^3$
	от 2 до 5	$113,6 \pm 1,72^3$	$2,52 \pm 0,04^3$	$3,02 \pm 0,03^3$
	от 5 до 10	$115,2 \pm 2,4^3$	$2,50 \pm 0,19$	$3,03 \pm 0,11^2$
	10 и более	$116,2 \pm 2,82^2$	$2,54 \pm 0,07^3$	$3,0 \pm 0,09^3$
30-39	до 1 года	$100,2 \pm 3,34^1$	$2,29 \pm 0,13$	$3,26 \pm 0,23$
	от 1 до 2	$107,5 \pm 3,53^3$	$2,49 \pm 0,39$	$3,05 \pm 0,49$
	от 2 до 5	$102,3 \pm 3,34^2$	$2,28 \pm 0,07$	$3,25 \pm 0,13$
	от 5 до 10	$97,2 \pm 2,96$	$2,35 \pm 0,08^1$	$3,45 \pm 0,13$
	10 и более	$103,7 \pm 8,9$	$2,37 \pm 0,24$	$3,29 \pm 0,35$
40-49	до 1 года	$113,5 \pm 20,5$	$2,52 \pm 0,41$	$3,05 \pm 0,49$
	от 5 до 10	$102,8 \pm 6,0$	$2,28 \pm 0,14$	$3,3 \pm 0,20$
	10 и более	$109,2 \pm 5,0^2$	$2,42 \pm 0,02^2$	$3,1 \pm 0,04^2$
50-59	10 и более	$114,5 \pm 11,1^1$	$2,59 \pm 0,03^3$	$2,89 \pm 0,18^1$
Группа сравнения (n=95)		$90,6 \pm 1,6$	$2,15 \pm 0,02$	$3,4 \pm 0,03$

Примечание: ¹p<0,05, ²<0,01, ³<0,001 — относительно группы сравнения; СрОЭ — средний объём эритроцитов; ТЭ — толщина эритроцитов; ИСф — индекс сферичности

Увеличение среднего объёма при неизменённом среднем диаметре эритроцитов предполагает изменение конфигурации клеток. Это подтверждают такие показатели, как ТЭ

и ИСф. В группе 20-29 лет ТЭ увеличена по сравнению с этим показателем в группе сравнения. Исключение составили северяне с полярным стажем от 5 до 10 лет, у которых она не отличалась ввиду значительного разброса данных от показателя группы сравнения. В группе 30-39 лет у большинства северян ТЭ соответствовала данным группы сравнения. Отличие выявлено в группе северян с полярным стажем от 5 до 10 лет: у них эритроциты имели большую толщину. В группе 20-29 лет ИСф снижен относительно группы сравнения (таблица 4). В группе 30-39 лет ИСф соответствовал аналогичному показателю группы сравнения. В группе 40-49 и 50-59 лет был снижен у северян после 10 лет жизни в Арктике.

Таким образом, результаты исследования показали, что кислородотранспортная функция крови изменяется в зависимости от возраста северян и длительности проживания их в этих условиях. Если в группе 20-29 лет у северян с полярным стажем до 1 года эта функция реализуется увеличением числа эритроцитов и содержания Hb, то после 2 лет — она нарушается, поскольку содержание гемоглобина не соответствует среднеширотному значению — оно ниже. В группе 30-39 лет наблюдается умеренный эритроцитоз относительно группы сравнения, при этом содержание Hb соответствует среднеширотной величине. Для группы 40-49 характерным оказалось снижение содержания Hb у северян с полярным стажем от 2 до 5 лет, для группы 50-59 лет — развитие умеренного эритроцитоза у северян с полярным стажем 10 лет и более.

Необходимо отметить, что полученные результаты по количеству эритроцитов и содержанию гемоглобина у северян не отличаются от нормальных величин здоровых мужчин (вне связи с широтой местности проживания). Исключение составили северяне с полярным стажем от 5 до 10 лет из группы 20-29 лет, у которых содержание Hb составило $125,1 \pm 1,8$ г/л. Эта величина ниже допустимых границ нормальных величин, принятых для здоровых мужчин [12, с. 270]. Характерным изменением эритроцитов у северян оказалось увеличение среднего объема эритроцитов при неизменном среднем диаметре, что привело к увеличению толщины эритроцитов, но уменьшению ИСф. В свою очередь, эти изменения могут служить свидетельством изменения структуры мембраны и цитоскелета эритроцитов.

Известно, что в норме дыхательная поверхность эритроцитов при среднем их объеме у человека близка к 3-4 тыс м^2 [14]. Соответственно, при увеличении CrO_2 можно ожидать прирост дыхательной поверхности эритроцитов, и тем самым — прирост площади диффузии для O_2 , что существенно могло бы ускорить скорость диффузии на единицу времени. По-видимому, у северян возрастной группы 30-39 лет увеличение количества эритроцитов с умеренным повышением CrO_2 , можно рассматривать как механизм адаптации на повыше-

ние потребности в O_2 в условиях Севера. Вероятно, можно допустить наличие этого механизма у здоровых новорожденных детей, у которых СрОЭ превышает 106 фл, далее по мере роста малыша этот показатель уменьшается.

Расчёт такого показателя, как средняя концентрация гемоглобина в эритроците, отражающая степень насыщения эритроцита гемоглобином, свидетельствует о её снижении в каждом отдельно взятом эритроците. Причём с увеличением полярного стажа во всех возрастных группах это снижение становилось более заметным. В группе 20-29 лет от 29,5% у северян с полярным стажем до 1 года до 23,5% у северян с полярным стажем от 5 до 10 лет. В группе 30-39 лет от 30,3% у северян с полярным стажем от 1 до 2 лет до 25,9% у северян с полярным стажем 10 лет и более. В группе 40-49 лет с 31,3% у северян с полярным стажем до 1 года до 26,6% у северян с полярным стажем 10 лет и более. У мужчин в группе сравнения эта величина составила $30,4 \pm 0,72\%$.

Уменьшение средней концентрации гемоглобина в эритроците отмечено также у жителей Магадана ($26 \pm 1\%$) и среднегорья ($30 \pm 1\%$) по сравнению с жителями г. Москвы ($33 \pm 1\%$) [15]. Надо отметить, что результаты морфометрии эритроцитов у северян напоминают экспериментальные данные, полученные на морских свинках в условиях гипоксии ($pO_2 = 48$ мм рт.ст., 9000 м высоты). У животных увеличивалось количество ретикулоцитов, Ht, Hb, но снижалась при этом средняя концентрация гемоглобина в эритроците, толщина эритроцитов увеличивалась уже через 72 часа воздействия гипоксического стимула [16]. Снижение средней концентрации гемоглобина в эритроците свидетельствует о гипохромии и рассматривается как характерный признак железодефицитных состояний. О широком распространении скрытого дефицита железа в организме северян свидетельствуют данные гистохимического исследования костного мозга у случайно погибших жителей Севера [9, с. 56].

Таким образом, выявленные изменения морфометрических характеристик эритроцитов способствуют развитию предпосылок для внутрисосудистых нарушений, тканевой гипоксии. Увеличенные в объёме и толщине клетки более подвержены агрегации и нарушению микрогемореологии. Увеличение Ht величины сказывается на скорости кровотока, приводя к её замедлению, в результате создаются благоприятные условия для агрегации эритроцитов в микрососудах и массовой адгезии лейкоцитов на стенке сосудов, «закупорке» их, что в свою очередь приводит к резкому ухудшению снабжения тканей кислородом [17]. Эти рассуждения подкрепляются данными, полученными при оценке микроциркуляции методом биомикроскопии бульбарной конъюнктивы [18]. У 50,7% обследованных приезжих жителей

выявлялась агрегация эритроцитов в сосудах глазного дна и сетчатки. Более чем у 1/3 населения были зафиксированы изменения скорости кровотока, у 46,6% отмечались аневризмы. Проведённый автором корреляционный анализ установил связь изменений скорости кровотока в сосудах конъюнктивы и агрегации эритроцитов с уровнем липидов плазмы и полярным стажем.

Нарушению внутрисосудистой микроциркуляции способствуют также изменения структуры эритроцитарных мембран. Исследованиями Л.Е. Панина [19] показано увеличение концентрации лизоформ на фоне некоторого снижения общего содержания фосфолипидов, увеличение вязкости мембраны эритроцитов из-за накопления продуктов перекисного окисления липидов. Последнее, по мнению автора, приводит к возможному образованию белково-липидных сшивок, приводящее к снижению деформируемости эритроцитов. Можно предположить, что сниженную деформируемость эритроцитов может в некоторой степени компенсировать уменьшение средней концентрации гемоглобина в эритроците, поскольку эритроциты с высокой или нормальной средней концентрацией гемоглобина в них испытывали бы большее затруднение при циркуляции по микрососудам. В свою очередь, затруднение прохождения их через капилляры наряду с другими факторами создает благоприятные условия для развития тканевой гипоксии.

Наряду с изменениями внутрисосудистой микроциркуляции, связанными с выявленными морфофункциональными характеристиками эритроцитов, определенное напряжение испытывает у северян также сосудистая микроциркуляция. В Арктике, на Севере проницаемость капилляров повышена во всех возрастных группах [20]. Однако есть динамика по этому показателю, связанная с полярным стажем. В группе 20-29 лет у северян с полярным стажем от 5 до 10 лет проницаемость для белка и фильтрационной жидкости была снижена, но после 10 лет жизни вновь возрастает. Выше отмечалось, что у северян этой группы снижено содержание гемоглобина. Наряду с этим для этой группы характерно увеличение легочной вентиляции [4, с. 19], что обеспечило нормальное напряжение O_2 и насыщение капиллярной крови O_2 , необходимый уровень тканевого метаболизма, о чём свидетельствует повышение показателя венозно-капиллярная разница по напряжению CO_2 по мере увеличения полярного стажа [5, с. 80].

У северян в группе 30-39 лет количество эритроцитов было повышено, содержание Hb и ИСф эритроцитов не отличались от нормы. В этой возрастной группе проницаемость капилляров для фильтрационной жидкости и белка у северян с полярным стажем от 2 до 5 лет была снижена, после 5 лет жизни постоянно увеличивалась. Объём легочной вентиляции у них соответствовал среднеширотной норме, после 10 лет жизни на Севере он под-

держивался за счет увеличения частоты дыхания. В этой группе наблюдалась связь с полярным стажем не только с венозно-капиллярной разницей по напряжению CO_2 , но и капилляро-венозной разницей по O_2 , что отражает связь динамики интенсивности тканевого метаболизма с длительностью проживания на Севере. В группе 40-49 лет морфометрические характеристики эритроцитов после 10 лет жизни на Севере отличались от среднеширотных величин. Лёгочная вентиляция поддерживалась за счет увеличения дыхательного объёма, после 10 лет жизни к этому механизму присоединялось учащение дыхания. Тенденция увеличения венозно-капиллярной разницы по напряжению CO_2 , и капилляро-венозной разницы по O_2 в этой возрастной группе сохранялась. Можно полагать, что увеличение венозно-капиллярной разницы по напряжению CO_2 и капилляро-венозной разницы по O_2 обусловлено известным феноменом переключения энергетического обмена с «углеводного» типа на «жировой».

Выявленный сдвиг pH в сторону ацидоза (метаболического или респираторного в зависимости от полярного стажа) [5, с. 79] предполагает изменение сродства Hb к O_2 . Оно может быть увеличено за счет синтеза не свойственного для взрослых людей фетального Hb и повышения 2,3-ДФГ в эритроцитах. Однако увеличение фетального Hb наблюдалось у северян с малым полярным стажем, либо при действии холода у неадаптированных к низким температурам людей [21]. Вопреки ожиданиям содержание 2,3-ДФГ в эритроцитах, измеренное у жителей Магадана, не превышало физиологическую норму [8, с. 212].

Таким образом, полученные результаты говорят об усилении роли кислородотранспортной функции эритроцитов у северян в осуществлении транспорта кислорода в составе функциональной системы дыхания. Напряжение кислородотранспортной функции крови сопровождается перестройкой функции внешнего дыхания, транкапиллярного и газового обмена. В каждой возрастной группе взаимосвязь между отдельными компартментами функциональной системы дыхания определяется полярным стажем северян.

Заключение

Актуальность изучения кислородтранспортной функции крови в Арктике, на Севере связана с выяснением механизмов развития северной тканевой гипоксии. Реализация этой функции обеспечивается эритроцитами, переносчиками гемоглобина. В свою очередь, гемоглобин обеспечивает транспорт O_2 и CO_2 . Результаты анализа морфофункциональных характеристик эритроцитов у северян различных возрастных групп в зависимости от полярного стажа позволяют судить о различном адаптивном потенциале у молодых людей и среднего возраста. В группе 20-29 лет северяне с небольшим полярным стажем увеличивают

кислородную емкость крови за счет умеренного эритроцитоза и гипергемоглобинемии. После двух лет жизни на Севере эритроцитоз отсутствует, содержание гемоглобина снижается, после 5 лет оно уже ниже нижней границы физиологической нормы. Однако после 10 лет жизни на Севере развивается гипергемоглобинемия. В группе 30-39 лет у всех северян независимо от полярного стажа отмечается эритроцитоз, содержание гемоглобина соответствует среднеширотной норме. Однако с увеличением полярного стажа намечается тенденция к его снижению. В группе 40-49 лет у северян после 2 лет жизни на Севере наблюдается гипогемоглобинемия относительно среднеширотной нормы. Выявленные изменения кислородотранспортной функции эритроцитов у северян в зависимости от полярного стажа компенсируются перестройками внешнего дыхания, транскапиллярного и газового обменов. Такое взаимодействие между эритроцитами, органами дыхания и сосудами является свидетельством мобилизации функциональной системы дыхания и её функционирования на новом уровне, необходимом для адекватного обеспечения кислородом клеток и тканей в условиях Арктики. Недостаточное взаимодействие или рассогласованность между отдельными компартментами функциональной системы дыхания создают условия для развития северной тканевой гипоксии, что негативно влияет на экологию человека.

Литература

1. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. Москва, Наука. 1980. 196 с.
2. Юматов Е.А. Функциональная система поддержания оптимальных величин дыхательных показателей рН, рСО₂, рО₂ организма // В кн.: Основы физиологии функциональных систем. Под ред. К.В. Судакова. Москва, Медицина. 1983. С. 57-77.
3. Куликов В.Ю., Ким Л.Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск, Наука, Сиб. отд-е. 1987. 159 с.
4. Ким Л.Б. Состояние внешнего дыхания у жителей Крайнего Севера в зависимости от возраста и полярного стажа // Бюл. СО РАМН. 2010. N 3. С. 18-23.
5. Ким Л.Б. Газовый состав крови и кислотно-основное состояние у жителей Крайнего Севера // Бюл. СО РАМН. 2002. N 1. С. 73-76.
6. Chernaja L.A., Sedov K.R. Erythropoiesis and iron deficiency states in aboriginal of Taimyr // 1X International Congress on Circumpolar Health. Reykjavik, June 20-25. 1993. D1-2.
7. Марачев А.Г. Морфофункциональные основы адаптации и патологии лёгких, сердца и красной крови человека в условиях Крайнего Севера // Автореф. дис....д-ра мед. наук. Москва, 1980. 60 с.

8. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. М., Медицина. 1985. 416 с.
9. Дегтева Г.Н. Состояние эритронов у жителей северных территорий // Экология человека. 2004. N 6. С. 53-57.
10. Recommended methods for measurement of red cell and plasma volume // J. Nucl. Med. 1980. V. 21, N 8. P. 793-800.
11. Фролова О.В., Лепунова О.Н., Кормина О.С., Чекунова О.С. Влияние продолжительности проживания в условиях Крайнего Севера на состояние гематологических параметров у мужчин и женщин разных возрастов // Успехи соврем. естествознания. 2004. № 3. С. 40-41.
12. Медицинские лабораторные технологии и диагностика. Справочник. Под ред. Карпищенко А.И. СПб, Интермедика, 2002, Т.2. С. 265-288.
13. Марачев А.Г., Сороковой В.И., Корнев А.В. и др. Биоэнергетика эритроцитов у жителей Севера // Физиология человека. 1982. Т. 8, N 3. С. 407-415.
14. Иванов К.П. Современные проблемы дыхательной функции крови и газообмена в лёгких // Физиол. журн. СССР им. И.М.Сеченова. 1992. Т. 78, N 11. С. 11-26.
15. Корнев А.В. Морфо-физиологические особенности эритроцитов в условиях Севера и среднегорья: Автореф. дис. ...канд. мед. наук. Москва, 1983. 20 с.
16. Schmidt G., Gross J., Necas E., Neuwirt J. Veränderungen erythrozytar Kriterien des Meerschweinchens bei Hypoxie // Acta biol. med. germ. 1977. V. 36. P. 205-211.
17. Иванов К.П. Пределы физиологической адаптации человека к последствиям современных катастроф // Физиология человека. 1997. Т. 23. N 3. С. 109-121.
18. Лантух В.В. Адаптивные и дезадаптивные реакции зрительного анализатора в условиях Крайнего Севера // Вестн. РАМН. 1994. N 2. С. 24-27.
19. Панин Л.Е. Человек в экстремальных условиях Арктики // Бюл. СО РАМН. 2010. N 3. С. 92-97.
20. Ким Л.Б., Ким Е.Б. Роль гепарина в регуляции трансапиллярного обмена в условиях Крайнего Севера // Бюл. СО РАМН. 2003. N 2. С. 102-105.
21. Kim L.B., Kim E.B., Kulikov V.Yu. Cold resistance estimated on the basis of Fetal Hemoglobin changes during acute general cooling // Arct. Med. Res. 1992. V. 51, N 1. P. 32-34.

Рецензент: Шрага Моисей Хаимович,
доктор медицинских наук, профессор