

© ЛЕВАНЧУК А.В., КОПЫТЕНКОВА О.И., 2020

Леванчук А.В.¹, Копытенкова О.И.^{1,2}

Гигиеническая характеристика функционального состояния кардиореспираторной системы детей, подвергающихся сочетанному воздействию загрязнений атмосферного воздуха в различных климатических условиях

¹ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения имени Императора Александра I», 190031, Санкт-Петербург;

²ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург

Введение. хозяйственная деятельность без учёта экологической ёмкости территории, возможностей самоочищения природной среды, а также адаптационных возможностей населения привела на ряде территорий к необратимым изменениям, результатом которых стало снижение уровня здоровья населения, тормозящее социально-экономическое развитие регионов.

Материал и методы. Исследования проводились в семи городах, расположенных в четырёх климатических зонах с различной степенью загрязнения воздуха. Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха использовался индекс Пинигина «Р», а для метеорологических факторов – индекс WBGT. Данные медико-биологического и социального характера были получены с помощью анкетного опроса родителей (2380 детей). Показатели заболеваемости изучены по материалам первичных учётных документов форм Ф. 112-у и Ф. 026-у (2400 детей) в возрасте 5–6 лет. У 506 детей были изучены показатели функционального состояния кардиореспираторной системы, функции органов дыхания, а также функциональное состояние детей до и после дозированной физической нагрузки.

Результаты. Изучение позволило выявить более многочисленные группы часто и длительно болеющих детей, детей с более низкими показателями функции внешнего дыхания и неблагоприятной реакцией на дозированную физическую нагрузку. Установлено более неблагоприятное воздействие на изученные показатели здоровья детей сочетанного действия суровых климатических условий и высокого уровня загрязнения атмосферы.

Заключение. Полученные результаты следует учитывать при организации медицинского обслуживания и обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения, проживающего в промышленных городах северных регионов.

К л ю ч е в ы е с л о в а : климатические условия; загрязнение атмосферы; сочетанное действие; функциональное состояние; кардиореспираторная система.

Для цитирования: Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Гигиеническая характеристика функционального состояния кардиореспираторной системы детей, подвергающихся сочетанному воздействию загрязнений атмосферного воздуха в различных климатических условиях. Гигиена и санитария. 2020; 99 (6): 603-609. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-603-609>

Для корреспонденции: Копытенкова Ольга Ивановна, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. отдела анализа риска здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: 5726164@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Копытенкова О.И.; сбор и обработка материала – Копытенкова О.И., Леванчук А.В.; написание текста – Леванчук А.В.; редактирование – Копытенкова О.И.; утверждение окончательного варианта статьи – Копытенкова О.И.

Поступила 12.03.2020

Принята к печати 25.05.2020

Опубликована 29.07.2020

Levanchuk A.V.¹, Kopytenkova O.I.^{1,2}

Hygienic characteristics of the functional state of the cardiorespiratory system of children exposed to combined effects of air pollution in different climatic conditions

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St.-Petersburg, 190031, Russian Federation

Introduction. Economic activity without taking into account the ecological potential of the territory, the possibilities of self-purification of the natural environment, as well as the adaptive capabilities of the population has led to irreversible changes in many territories. This reduces the level of health of the population and hinders the socio-economic development of the regions.

Material and methods. The research was conducted in seven cities located in four climatic zones with varying degrees of air pollution. To assess the level of atmospheric air pollution, the P-Pinigin index was used, and the WBGT index was used for meteorological factors.

Data on a medico-biological and social nature were obtained through a questionnaire survey of parents (2380 children). The incidence rates were studied based on the materials of primary accounting documents of forms F. 112-u and F. 026-u (2400 children). In 506 children, indices of the functional state of the cardiorespiratory system, the function of the respiratory system, as well as the functional state of children before and after dosed physical activity were studied.

Results. The study revealed more numerous groups of frequently and long-term ill children, children with lower indices of respiratory function, and adverse responses to the dosed physical activity. A more adverse effect of the combined effects of harsh climatic conditions and high levels of atmospheric pollution on the studied indices of children's health was found.

Conclusion. *The results obtained should be taken into account when organizing medical services and ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population living in the industrial cities of the Northern regions.*

К е у о р д с : *climatic conditions; atmospheric pollution; combined action; functional state; cardiorespiratory system.*

For citation: Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Hygienic characteristics of the functional state of the cardiorespiratory system of children exposed to combined effects of air pollution in different climatic conditions. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (6): 603-609. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-603-609>. (In Russian)

For correspondence: Olga I. Kopytenkova, MD, PH.D., DSci., Professor, chief researcher of the Department of risk analysis for public health of the North-Western scientific center of hygiene and public health, St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: 5726164@mail.ru

Information about the authors:

Kopytenkova O.I., <https://orcid.org/0000-0001-8412-5457>; Levanchuk A.V., <https://orcid.org/0000-0003-2062-7401>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: Levanchuk A.V. – material collection and processing, text writing. Kopytenkova O.I. – research concept and design, material collection and processing, editing. Approval of the final version of the manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript – all co-authors.

Received: March 03, 2020

Accepted: May 25, 2020

Published: July 29, 2020

Введение

Климатические условия оказывают влияние на условия жизни и хозяйственную деятельность человека. Из-за огромной площади Российской Федерации климатические и рельефные условия в разных частях страны сильно отличаются друг от друга. Территория с благоприятными условиями для проживания людей занимает в стране лишь 1/3 её площади. На территориях, которые по мировым меркам непригодны для проживания, располагается более 2/3 крупнейших промышленных центров России, в том числе все крупнейшие добывающие и ресурсоперерабатывающие предприятия страны [1]. В 10% городов среднегодовая температура имеет отрицательные значения [1].

Хозяйственная деятельность без учёта экологической ёмкости территории, возможностей самоочищения природной среды, а также адаптационных возможностей населения привела на ряде территорий к необратимым изменениям, результатом которых стало снижение уровня здоровья населения, тормозящее социально-экономическое развитие регионов.

В России 75% территории, на которой проживает 40–50 миллионов человек, характеризуется среднемесячной температурой в январе ниже -15°C . Вместе с тем свыше 40% населения проживает на территориях с очень высоким уровнем загрязнения атмосферы. Следовательно, большинство районов с развитой промышленностью характеризуются сложным комплексом гигиенических проблем, связанных с загрязнением природных сред в суровых климатических условиях [1].

Такие условия проживания, где наряду с дискомфортными природно-климатическими условиями отмечается значительный уровень техногенного загрязнения окружающей среды, затрудняет решение демографических проблемы страны, так как сказывается на особенностях адаптационно-компенсаторной деятельности организма человека и прежде всего детей, провоцируя формирование острой и хронической заболеваемости за счёт снижения защитно-приспособительных функций организма [2–4].

При традиционном подходе изучения состояния здоровья преимущественно по показателям заболеваемости доклиническое функциональное состояние, пограничное между нормой и патологией, зачастую не диагностируется. Вместе с тем основным направлением деятельности медико-социальной сети является не столько лечение заболеваний, сколько профилактика и усиление неспецифических защитно-приспособительных возможностей организма ребёнка для успешного противостояния воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Целью настоящего исследования является изучение влияния сочетанного воздействия загрязнителей атмосферного

воздуха и климатических условий на функциональное состояние кардиореспираторной системы детей, проживающих в различных регионах.

Материал и методы

Исследования проведены в семи городах, расположенных в четырёх климатических зонах с различной степенью загрязнения атмосферного воздуха. Четыре города определены как города с высоким уровнем загрязнения атмосферы, три города – как города с допустимым уровнем атмосферного воздуха. В первую группу вошли города Новодвинск (1) и город Коряжма (2) (район с «суровыми» климатическими условиями I), часть промышленного района города Санкт-Петербурга (3) (район с «умеренными» климатическими условиями II) и город Волжский (4) (район с «благоприятными» климатическими условиями III). Вторая группа – города, расположенные в тех же климатических условиях, но с допустимым уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Для г. Коряжмы и г. Новодвинска район сравнения – г. Котлас (5), для г. Санкт-Петербурга – г. Пушкин (6), для г. Волжский – г. Камышин (7).

Информация о климате получена из справочного пособия «Климатическая характеристика условий распространения примесей в атмосфере» [4]. Количественная оценка загрязнения атмосферного воздуха проводилась по данным отчётов Северо-Западного управления Госкомгидромета, данным санитарно-химических лабораторий и ведомственных промышленных санитарно-химических лабораторий предприятий. Для одночисловой оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха использовали показатель Пинигина «Р» [5].

Для одночисловой интегральной оценки суммарного воздействия метеорологических факторов использован индекс влажной шаровой температуры – WBGT-index [5–7]. Этот показатель позволяет оценить состояние окружающей среды с учётом параметров четырёх основных показателей: температуры воздуха, его относительной влажности, скорости движения, радиационной температуры. Индекс использует информацию, ежедневно регистрируемую Росгидрометом.

Данные медико-биологического и социального характера были получены методом анкетного опроса родителей (2380 детей). Использован целенаправленный подбор контингентов для формирования группы детей, подвергающихся воздействию загрязнений атмосферного воздуха различной интенсивности в отличающихся климатическими условиями проживания, в то же время подвергающихся воздействию социально-экономических факторов приблизительно равной интенсивности. Показатели заболеваемости изучены из материалов первичных учётных документов формы Ф. 112-у и Ф. 026-у (2400 детей).

Таблица 1

Сравнительная характеристика изучаемых городов по показателям климатогеографического индекса WBGT и интегрального показателя загрязнения атмосферы Пинигина «Р»

Климатический район	Город	WBGT-index	Пинигина «Р»	Город	WBGT-index	Пинигина «Р»
I	1	0,69	21,6	—	—	—
I	2	1,41	26,4	5	1,41	3,5
II	3	3,93	12,1	6	3,92	0,6
III	4	5,15	25,8	7	4,85	2,1

Показатели функционального состояния кардиореспираторной системы изучены у детей в возрасте 5–6 лет (предварительно получено информированное согласие родителей). Возраст 5–6 лет характеризуется интенсивной гистоморфологической и функциональной перестройкой организма [8]. Незавершённость морфологического и функционального развития всех систем и органов ребёнка указанной возрастной группы, продолжающиеся процессы роста и тканевой дифференцировки обуславливают меньшую устойчивость организма ко многим неблагоприятным влияниям по сравнению с организмом взрослого человека [2–4, 9–15].

Состояние функции дыхательной системы, а также функциональное состояние детей до и после дозированной физической нагрузки изучены у 506 детей.

Оценка функционального состояния дыхательной системы проведена по результатам спирометрии (жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ), определения частоты дыхания (ЧД), пробы Штанге (Ш – времени задержки дыхания на вдохе), пробы Генча (ПГ – времени задержки после максимального выдоха)). Объёмные величины, полученные при исследовании, приведены к нормальным условиям (атмосферное давление 760 мм рт. ст., температура 0 градусов Цельсия). Величины результатов исследования для возможности их сравнения рассчитаны в процентном отношении к должным величинам. Число дыхательных движений в минуту определялось при спокойном дыхании [16, 17].

Функциональное состояние кардиореспираторной системы изучено по динамике восстановления показателя частоты сердечных сокращений (ЧСС) и реакции артериального давления (АД) на дозированную физическую нагрузку, а также по величине расчётного показателя индекса Гарвардского степ-теста (ИГСТ) [18].

Результаты

В отечественной и зарубежной литературе имеются сведения об использовании для донозологической характеристики здоровья населения, проживающего под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды (ОС), показателей функционального состояния и неспецифической резистентности организма [2–4, 9–15]. Значительное распространение антропогенных факторов малой интенсивности, а также воздействие комплекса ксенобиотиков даже на подпольном уровне увеличивают вероятность распространения функциональных отклонений.

Одним из ведущих факторов климатогеографической среды является климат. Климат трактуется как многолетний режим местной погоды, проявляющийся в закономерной последовательности наблюдаемых в данной местности погод [4]. Погода по своим физическим характеристикам очень лабильна, в то же время климат территории – показатель более постоянный.

В северных районах России существенным фактором, определяющим уровень заболеваемости, является своеобразный климат, характеризуемый многими исследователями как дискомфортный, «суровый» [19] и даже как экстремальный [20]. Климат Севера предъявляет повышенные требования к организму человека.

Существует множество отечественных и зарубежных биоклиматических классификаций погоды [20, 21]. Для оценки метеотропных реакций и заболеваний человека используются принципы комплексной климатологии, оценки погоды суток, жёсткость погоды, её изменчивость. Общепризнанной классификации погоды в настоящее время не разработано [21]. Вместе с тем проживание в различных климатогеографических регионах характеризуется разнообразными физиологическими реакциями и адаптацией к географической среде [22]. По мнению [22, 23], «нозологическая панорама северных районов характеризуется не большим числом специфических северных болезней, а своеобразием

клинического течения тех болезней, которые наблюдаются за пределами Севера на всей территории». Клинические особенности неспецифических заболеваний лёгких у жителей северных районов обусловлены существенными изменениями иммунологической реактивности.

По мнению [24], при оценке влияния погоды и климатических условий необходимо учитывать степень чистоты воздушной среды.

Медико-географическая дифференциация территорий с учётом уровня техногенной нагрузки, характеристика процессов, протекающих в каждой пространственной системе, позволяют вскрыть основные закономерности взаимодействия окружающей среды и здоровья населения.

Для расчётов WBGT-index использовали среднемесячные показатели метеорологических элементов. Результаты расчётов дали возможность определить взвешенный по времени (за трёхлетний период) индекс, который позволил одночисловой характеристикой оценить суммарное воздействие метеорологических факторов. Сравнительная характеристика районов по величине используемых индексов приведена в табл. 1.

Анализ результатов свидетельствует, что по мере увеличения суровости климата величина индекса WBGT уменьшается.

Сравнительный анализ климатических условий в анализируемых городах, проведённый по показателям длительности комфортного периода – периода с устойчивыми температурами воздуха выше 15 °С, показал, что в первой климатической зоне длительность комфортного периода составляет 20–30 дней, во второй – 50–60 дней, в третьей – 95–100 дней в году.

При изучении уровня загрязнения атмосферного воздуха установлено, что основную массу (по валу) среди загрязнителей атмосферного воздуха во всех городах составляют крупнотоннажные выбросы: пыль, диоксид серы, оксид углерода и оксиды азота. Эти же загрязнители являются основными в приземных слоях атмосферы. Интегральные показатели загрязнения атмосферного воздуха Пинигина «Р» представлены в табл. 1.

Показатели качества воздушной среды в группе городов с загрязнённой атмосферой оцениваются как загрязнение «сильное» и «очень сильное». В городах группы сравнения загрязнение атмосферы оценивается как «допустимое».

Результаты исследования функционального состояния дыхательной системы представлены в табл. 2, результаты расчёта ИГСТ – в табл. 3, число детей в группе часто болеющих – в табл. 4.

Обсуждение

Изменение функций организма детей отражает, как правило, состояния, пограничные между нормой и патологией. Дыхательная система тесно связана со всеми системами организма, она и оказывает, и испытывает на себе

Характеристика функционального состояния дыхательной системы у детей, проживающих в различных климатических районах и различных условиях загрязнения атмосферного воздуха

Климатический район	Пол	Частота дыхания, ед.	Жизненная ёмкость лёгких, мл	Форсированная жизненная ёмкость лёгких, мл	Проба Штанге, с	Проба Генча, с	
I	Город 2	Девочки	24,0 ± 0,6*	893,5 ± 16*	811 ± 18*	22,1 ± 1,6	13,4 ± 1,0
		Мальчики	24,2 ± 0,55	990,6 ± 24	897 ± 19	24,6 ± 1,3	14,1 ± 0,8
	Город 5	Девочки	21,4 ± 0,52*	1123 ± 17*	1015 ± 9*	21,1 ± 1,2	15,2 ± 1,3
		Мальчики	21,8 ± 0,52	1309 ± 16	1194 ± 19	20,8 ± 1,1	16,8 ± 1,1
II	Город 3	Девочки	24,1 ± 0,54*	931,6 ± 15*	879 ± 16*	26,0 ± 1,4	13,6 ± 1,0
		Мальчики	23,4 ± 0,59	1090 ± 20	917 ± 19	27,6 ± 1,3	13,1 ± 0,8
	Город 6	Девочки	21,6 ± 0,51*	1056 ± 18*	918 ± 18*	24,6 ± 1,5	14,4 ± 1,2
		Мальчики	21,3 ± 0,57	1217 ± 6	1097 ± 18	24,3 ± 1,4	13,1 ± 1,2

Примечание. Здесь и в табл. 3: * – различия достоверны по сравнению с показателями детей района сравнения ($p < 0,05$).

Таблица 3

Результаты исследования физической работоспособности по показателю индекса Гарвардского степ-теста (ИГСТ) у детей, проживающих в различных климатических районах и различных условиях загрязнения атмосферного воздуха

Климатический район	Пол	Индекс Гарвардского степ-теста	
I	Город 2	Девочки	32,51 ± 0,56*
		Мальчики	32,61 ± 0,39*
	Город 5	Девочки	35,16 ± 0,36
		Мальчики	36,21 ± 0,43
II	Город 3	Девочки	33,52 ± 0,41*
		Мальчики	32,71 ± 0,48*
	Город 6	Девочки	36,53 ± 0,44
		Мальчики	36,21 ± 0,57

Таблица 4

Численность групп часто болеющих детей (на 100 детей выбранной совокупности)

Климатический район	Город	Девочки	Мальчики	Город	Девочки	Мальчики
I	1	31,6 ± 1,6	32,4 ± 1,5			
	2	26,1 ± 1,2	29,5 ± 1,1	5	8,1 ± 0,5	18,7 ± 1,0
II	3	22,4 ± 0,9	25,0 ± 1,1	6	5,7 ± 0,5	6,1 ± 0,5
	4	17,8 ± 1,1	19,5 ± 1,2	7	5,6 ± 0,4	6,5 ± 0,5

влияние процессов обмена веществ. Загрязнение воздушного бассейна приводит к изменению газового состава воздуха и предъявляет повышенные требования к респираторной системе.

Исследование показателей ЧД у детей, проживающих в климатических районах различной суровости с различными уровнями загрязнения атмосферы, позволило установить достоверно более высокие показатели ЧД у детей, проживающих в городе первого климатического района (КР) с загрязнённой атмосферой ($p < 0,05$), по сравнению с показателями детей контрольного города этого КР и у детей города второго КР с загрязнённой атмосферой по сравнению с детьми контрольного города второго КР ($p < 0,05$).

У детей, проживающих в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферы, наблюдаются более низкие показатели ЖЕЛ и ФЖЕЛ, чем в контрольных городах соответствующих КР. Среди детей городов с высоким уровнем загрязнения атмосферы наблюдается более многочисленная группа детей с показателями ЖЕЛ ниже должной величины на 15%. Это свидетельствует об угнетении функции внешнего дыхания. Выявленные факты согласуются с данными литературы [9, 17, 18].

Полученные результаты свидетельствуют, что высокий уровень антропогенного загрязнения воздушной среды способствует некоторому истощению адаптационных возможностей дыхательной системы детей дошкольного возраста. Установлено, что воздействие «суровых» климатических условий проживания при «допустимом» загрязнении воздуха также может приводить к напряжению компенсаторных реакций дыхательной системы организма детей. Кроме того, выявлено, что сочетанное воздействие «сильного» уровня антропогенного загрязнения атмосферного воздуха и «суровых» климатических условий оказывает более выраженное негативное влияние на показатели внешнего дыхания у детей дошкольного возраста по сравнению с их изолированным действием.

При изучении центрального звена регуляции дыхания рассмотрена его произвольная регуляция, в частности изучены пробы с произвольной задержкой дыхания. Указанные пробы широко применяются для оценки приспособительных реакций организма человека к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды [25]. Анализ средних величин проб Штанге и Генча не выявил статистически достоверных различий между показателями детей, проживающих в городах сравнения. Несмотря на отсутствие достоверных различий в показателях, задержка дыхания на вдохе у детей, проживающих в городах с загрязнённой атмосферой, более продолжительна, чем у детей в контрольных городах соответствующих КР. Увеличение времени задержки дыхания на вдохе в настоящее время расценивается как признак последнего этапа долгосрочной адаптации в результате снижения чувствительности дыхательного аппарата и хеморецепторов к гипоксии [17]. Установлено, что время задержки дыхания на вдохе у детей в городе с загрязнённой атмосферой, проживающих в «суровых» климатических условиях, достоверно меньше по сравнению с показателями детей, проживающих в условиях загрязнённой атмосферы, но с «умеренными» климатическими характеристиками ($p < 0,05$). Одновременно в контрольном городе с «суровыми» климатическими условиями время задержки дыхания на вдохе достоверно меньше, чем в контрольном городе с «умеренными» климатическими условиями. Мож-

но заключить, что организм детей, проживающих в северных районах, подвергающихся воздействию допустимого уровня антропогенного загрязнения атмосферы, менее адаптирован к условиям гипоксии по сравнению со сверстниками, проживающими в северных районах, подвергающихся воздействию сильного антропогенного загрязнения атмосферы.

Обнаруженные изменения в показателях внешнего дыхания у детей, проживающих в условиях загрязнённой атмосферы, следует рассматривать как предпатологические состояния, выражающиеся в снижении жизненной ёмкости лёгких, форсированной жизненной ёмкости лёгких и увеличении частоты дыхательных движений.

Функциональные пробы в сочетании с дозированной физической нагрузкой позволили получить дополнительную информацию о функциональном состоянии детского организма. Для изучения реакции кардиореспираторной системы на дозированную физическую нагрузку в восстановительном периоде оценивали частоту дыхания, частоту сердечных сокращений, артериальное давление и ряд показателей кардиографии (индекс напряжения, индекс вегетативного равновесия) до и после нагрузки, вычислен индекс Гарвардского степ-теста. При анализе индивидуальных изменений частоты дыхания в восстановительном периоде после выполнения дозированной физической нагрузки, позволяющей оценить уровень общей физической работоспособности и адаптации к физической нагрузке, отмечен широкий диапазон индивидуальных колебаний прироста ЧД – от 0 до 172%.

Динамика восстановления частоты дыхания у детей изучаемых городов была сходной. За максимальным подъёмом на первой минуте её восстановительного периода следовало постепенное снижение прироста частоты дыхания. Однако восстановление частоты дыхания у детей второго и пятого городов с «суровыми» климатическими условиями происходило медленнее ориентировочно на 50–65 с, чем у детей контрольных городов (на 4,5 и 3,5 мин соответственно).

Результаты исследования частоты сердечных сокращений (ЧСС) в восстановительном периоде свидетельствуют о значительной вариабильности этого показателя. Анализ среднестатистических величин ЧСС показал, что наименьший прирост ЧСС, равный в среднем 12,5%, наблюдался в группе детей, проживающих в контрольном городе второго КР, то есть в наиболее благоприятных условиях. У детей города с загрязнённой атмосферой этого КР средний прирост ЧСС был несколько выше – 14,4%. На первой минуте восстановительного периода после проведения Гарвардского степ-теста абсолютная величина ЧСС у детей города с «суровыми» климатическими условиями и загрязнённой атмосферой была больше таковой у детей контрольного города на 9,8%. Восстановление ЧСС, как и частоты дыхания у детей, проживающих в условиях загрязнённой воздушной среды, происходило преимущественно на 4-й, 5-й мин, у детей контрольных городов – на 3-й мин. Необходимо отметить, что во всех исследуемых группах детей встречались дети, у которых ЧСС не вернулось к исходному уровню к концу восстановительного периода (через 5 мин). Однако если в городах с «допустимым» уровнем загрязнения атмосферы таких детей было около 10%, то в городе с сильным загрязнением воздушной среды и «суровыми» климатическими условиями численность таких детей составляла вдвое больше – 20%. При индивидуальном анализе динамики ЧСС в восстановительном периоде у части детей после физической нагрузки вместо увеличения ЧСС наблюдалось её некоторое снижение с последующим возвращением к исходным величинам. Физиологический смысл отрицательной реакции пульса на физическую нагрузку заключается в недостаточной координации деятельности различных отделов нервной системы и повышенном тоне блуждающего нерва, в результате чего изменяется последовательность процессов восстановления ЧСС [9, 15].

Если после физической нагрузки отрицательная фаза пульса продолжается дольше трёх минут, то реакция на нагрузку оценивается как неудовлетворительная. В нашем исследовании количество детей с отрицательной фазой пульса в группе детей, проживающих в «суровых» климатических условиях и при загрязнённом атмосферном воздухе, составляет 19,6%, в контрольном городе этого КР – 12,8%, в городе с «умеренными» климатическими условиями и загрязнённым атмосферным воздухом – 21,5%, в контрольном городе этого КР – 8,6%. Статистически значимыми оказались различия показателей групп детей в городах с сильным уровнем загрязнения воздуха по сравнению с показателями групп детей, проживающих в «умеренных» климатических условиях с допустимым загрязнением атмосферного воздуха ($p < 0,05$). Достоверных различий в показателях групп детей, проживающих в различных климатических условиях, не выявлено ($p > 0,05$).

При оценке артериального давления учитывались изменения систолического, диастолического и пульсового давления. Полученные данные сопоставлялись с величиной увеличения ЧСС. По результатам комплексной оценки изменений ЧСС и артериального давления (АД) судили о качестве реакции на физическую нагрузку. Реакции детского организма подразделялись на благоприятную (нормотонический тип) и неблагоприятную (гипотонический, гипертонический, дистонический и ступенчатый варианты реакции) [8].

В результате исследования установлено, что у большинства детей всех изученных групп регистрировался нормотонический тип реакции (70%). Вместе с тем в структуре типов реакции на физическую нагрузку у детей, проживающих в районах с различной степенью загрязнения воздушной среды, наблюдались различия. Так, количество детей с нормотоническим типом реакции в городах с допустимым уровнем загрязнения атмосферы первого и второго КР составляло 79,3 и 81,5% соответственно. В городах с сильным уровнем загрязнения атмосферы – 69,2 и 73,5% соответственно. Различия этого показателя в группах детей, проживающих в условиях сильного и допустимого загрязнения воздушной среды, оказались достоверными ($p < 0,05$). Различия же указанного показателя в группах детей, проживающих в отличающихся климатических условиях, недостоверны ($p > 0,05$).

Второе место в структуре типов реакций на физическую нагрузку во всех изученных группах детей занимал гипотонический вариант, составляющий в среднем 14,9%. Достоверных отличий в распределении данного показателя между изучаемыми группами не выявлено. С точки зрения физиологии данный вариант реакции отражает некоторую функциональную недостаточность сердечно-сосудистой системы [9].

Гипертонический тип реакции, характеризующий нерациональную, чрезмерно усиливающуюся работу сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку, был зарегистрирован у 3% детей в городах с «допустимым» уровнем загрязнения атмосферы, у 7,4% детей, проживающих в «суровых» климатических условиях и условиях загрязнённой атмосферы, и у 5,5%, проживающих в «умеренных» климатических условиях и в условиях загрязнённой атмосферы. Различия между показателями детей, проживающих в городах с сильным загрязнением воздушной среды, и детей, проживающих в условиях допустимого загрязнения воздуха, носили достоверный характер ($p < 0,05$). Различия показателей в группах детей, проживающих в отличающихся климатических условиях, недостоверны ($p > 0,05$).

Дистонический и ступенчатый типы реакции, отражающие функциональную неполноценность регулирующего кровообращения аппарата, наблюдались в среднем у 4% детей во всех изучаемых городах. Достоверных отличий

в распределении данного показателя между изучаемыми группами не выявлено ($p > 0,05$).

В норме восстановление пульсового давления происходит в течение пяти минут, систолического — на четвёртой-пятой минуте и диастолического — на второй-четвёртой минуте. Анализ продолжительности восстановительного периода АД выявил большую численность групп детей с невосстановившимися величинами АД в районах с высокой степенью антропогенного загрязнения воздушной среды по сравнению с детьми, проживающими в условиях «допустимого» загрязнения воздушной среды.

Интегральный показатель состояния кардиореспираторной системы — Гарвардский степ-тест, показывающий состояние физической работоспособности и адаптации к физической нагрузке, позволил выявить достоверные различия между показателями детей различного пола, проживающих в условиях «сильного» и «допустимого» уровней загрязнения атмосферы (см. табл. 3).

Заболеваемость детей считается индикатором неблагоприятного воздействия факторов ОС. Установлено, что численность групп часто болеющих детей увеличивается с уменьшением показателя WBGT, то есть с увеличением «суровости» климатических условий. Одновременно выявлены различия между численностью групп часто болеющих детей, проживающих в условиях «сильного» и «допустимого» загрязнения атмосферного воздуха. Число детей в группе часто болеющих в первом климатическом районе с загрязнённой атмосферой превышает аналогичный показатель в третьем климатическом районе с «допустимым» загрязнением атмосферного воздуха в 5 раз (см. табл. 4).

Коэффициент корреляции (r) между индексом WBGT и численностью группы часто болеющих детей равен 0,603 ($p = 0,166135$). Связь между исследуемыми признаками обратная, теснота связи по шкале Чеддока — заметная. Коэффициент корреляции (r) между показателем загрязнения атмосферного воздуха Пинигина «Р» (в условиях различной степени «суровости» климатических условий) и численностью часто болеющих детей равен 0,814 ($p = 0,035041$). Связь между исследуемыми признаками прямая, теснота связи по шкале Чеддока — высокая.

Коэффициент детерминации для индекса WBGT r^2 равен 0,364 (факторный признак индекса WBGT определяет 36,4% численности группы часто болеющих детей). Коэффициент детерминации показателя загрязнения воздуха r^2 равен 0,663, то есть он определяет 66,3% дисперсии численности группы часто болеющих детей.

Заключение

Сочетанное воздействие «сильного» уровня антропогенного загрязнения атмосферного воздуха и «суровых» климатических условий оказывает более выраженное негативное влияние на показатели внешнего дыхания (ЧД, ЖЕЛ и ФЖЕЛ) у детей дошкольного возраста по сравнению с их изолированным действием. Высокий уровень антропогенного загрязнения воздушной среды способствует некоторому истощению адаптационных возможностей дыхательной системы детей дошкольного возраста. Воздействие «суровых» климатических условий проживания при «допустимом» загрязнении воздуха также может приводить к напряжению компенсаторных реакций дыхательной системы организма детей.

Реакция организма детей на дозированную физическую нагрузку у детей, проживающих в сочетании «суровых» климатических условий и условий «сильного» загрязнения атмосферного воздуха, носит более неблагоприятный характер (показатели ЧСС, АД, индекс Гарвардского степ-теста, продолжительность периода восстановления) по сравнению с изолированным действием климатических факторов и загрязнения атмосферы.

Изменения в показателях внешнего дыхания, а также проб Генча и Штанге и адаптации к физической нагрузке у детей, проживающих в условиях загрязнённой атмосферы, следует рассматривать как предпатологические состояния.

Корреляционный анализ между индексом WBGT и численностью группы часто болеющих детей выявил обратную, «заметную», но недостоверную ($p = 0,166135$) связь. При этом между показателем загрязнения атмосферного воздуха Пинигина «Р» и численностью часто болеющих детей, проживающих в условиях различной степени «суровости» климатических условий, коэффициент корреляции равен 0,814, связь прямая, «высокая», носит достоверный характер ($p = 0,035041$).

Результаты позволяют заключить, что как «сильное» загрязнение атмосферного воздуха, так и северные климатические условия негативно сказываются на функции внешнего дыхания, функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы, физической работоспособности и адаптации к физической нагрузке и показателях заболеваемости детей дошкольного возраста.

Полученные результаты необходимо учитывать при организации медицинского обслуживания и обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения, проживающего в промышленных городах северных районов.

Литература

1. Росстат. Официальный сайт [Электронный ресурс]. <https://www.gks.ru/folder/11194> (дата обращения 20.01.20).
2. Филатов Н.Н., Глиненко В.М., Ефимов М.В., Муратов В.В., Фокин С.Г. Влияние химического загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения. *Гигиена и санитария*. 2009; 6: 82–4.
3. Маймулов В.Г., Ромашов П.Г., Чернякина Т.С., Якубова И.Ш., Суворова А.В., Блинова Л.Т. и соавт. Выявление цитогенетических нарушений в эпителиоцитах слизистой оболочки полости рта у детей и подростков, проживающих в районах с различной степенью химического загрязнения окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2011; 5: 36–9.
4. Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. *Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере*. Л.: Гидрометиздат; 1983. 328 с.
5. Пинигин М.А. Задачи гигиены атмосферного воздуха и пути их решения на ближайшую перспективу. *Гигиена и санитария*. 2000; 1: 3–8.
6. Копытенкова О.И. *Методические основы организации социально-гигиенического мониторинга региона*. Санкт-Петербург. СПб.: СПбГАСЭ; 1997. 149 с.
7. Тимофеева Е.И., Федорович Г.В. *Экологический мониторинг параметров микроклимата*. М.; 2005. 189 с.
8. Гладких В.Д., Викторов А.А., Лось С.П. Методология медико-экологического исследования, диагностики и оценки рисков экологически обусловленных изменений здоровья детского населения, проживающего в районах расположения потенциально экологически опасных объектов. В кн.: *Экологическая педиатрия*. М.: Триада-Х; 2011: 272–310.
9. Кикун П.Ф., Измайлова О.А., Горбукулова Т.В., Ананьев В.Ю. Влияние эколого-гигиенических факторов среды обитания на распространение болезней органов дыхания у населения Приморского края. *Гигиена и санитария*. 2012; 5: 25–9.
10. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2014; 93 (6): 17–21.
11. Мейбалиев М.Т. Состояние здоровья детей промышленных городов в связи с загрязнением атмосферного воздуха. *Гигиена и санитария*. 2008; 2: 31–4.
12. Рахманин А.Ю. и соавт. Влияние загрязнения атмосферного воздуха химическими соединениями на медико-биологические показатели состояния здоровья жителей Москвы. *Биозащита и биобезопасность*. 2011; 3 (3): 26–35.
13. Суменко В.В., Боев В.М., Лебедькова С.Е., Рощупкин А.Н. Состояние здоровья у детей в зависимости от уровня и характера антропогенного загрязнения. *Гигиена и санитария*. 2012; 1: 67–9.
14. Сузарев А.Г., Михайлова С.А. Состояние здоровья детского населения в напряжённых экологических и социальных условиях. *Гигиена и санитария*. 2004; 1: 47–50.

15. Аксенова О.И., Волкова И.Ф., Корниенко А.П., Ли В.Г. Экологически обусловленные заболевания у населения Москвы, связанные с антропогенной нагрузкой. *Гигиена и санитария*. 2001; 5: 82–4.
16. Аулик И.В. *Определение физической работоспособности в клинике и спорте*. М.: Медицина; 1990. 192 с.
17. Баевский Р.М., Берсенева А.П. *Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний*. М.: Медицина; 1997. 265 с.
18. Михайлов В.М. *Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения*. Иваново; 2002. 288 с.
19. Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н. Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям. *Известия РАН*. 2008; 5: 106–17.
20. Заболотник С.И. Суровость климатических условий на территории России. *География и природные ресурсы*. 2010; 3: 69–74.
21. Астапенко П.Д. *Вопросы о погоде*. Л.: Гидрометеоиздат; 1982. 240 с.
22. Авцын А.П. *Патология человека на Севере*. М.: Медицина; 1985. 165 с.
23. Казначеев В.П., Казначеев С.В. *Адаптация и конституция человека*. Новосибирск; 1986. 259 с.
24. Отчёт Глобального экологического фонда для 9-й Конференции Сторон РКИК FCCC/CP/2003/3.
25. Федосеев Г.Б., Баранов В.С., Лаврова О.В., Петрова Б.А., Трофимов В.И., Углева Е.М. Донозологическая диагностика и первичная профилактика бронхиальной астмы и других аллергических заболеваний, возможности и перспективы. *Донозология*. 2006; 1: 20–6.

References

1. Rosstat. Official website [Electronic resource]. <https://www.gks.ru/folder/11194> (accessed 20.01.20). (in Russian)
2. Filatov N.N., Glinenko V.M., Efimov M.V., Muratov V.V., Fokin S.G. Influence of chemical pollution of atmospheric air on public health. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2009; 6: 82–4. (in Russian)
3. Maimulov V.G., Romashov P.G., Chernyakina T.S., Yakubova I.Sh., Suvorova A.V., Blinova L.T. et al. Detection of cytogenetic disorders in epithelial cells of the oral mucosa in children and adolescents living in areas with different degrees of chemical pollution of the environment. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2011; 5: 36–9. (in Russian)
4. Bezuglaya E.Yu., Berlyand M.E. *Climatic characteristics of the conditions for the propagation of impurities in the atmosphere [Klimaticheskiye kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesey v atmosfere]*. Leningrad: Gidrometizdat; 1983; 328 p. (in Russian)
5. Pinigin M.A. Problems of atmospheric air hygiene and ways to solve them in the near future. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2000; 1: 3–8. (in Russian)
6. Kopytenkova O.I. *Methodological bases of the organization of social-hygienic monitoring in the region [Methodological foundations of the organization of socio-hygienic monitoring of the region. St. Petersburg]*. Saint-Petersburg: SPBGASU; 1997. 149 p. (in Russian)
7. Timofeeva E.I., Fedorovich G.V. *Environmental monitoring of microclimate parameters [Ekologicheskii monitoring parametrov mikroklimate]*. Moscow; 2005; 189 p. (in Russian)
8. Gladkikh V.D., Viktorov A.A., Los' S.P. Methodology of medical and environmental research, diagnostics and risk assessment of environmentally caused changes in the health of children living in areas where potentially environmentally dangerous objects are located. In: *Environmental Pediatrics [Ekologicheskaya pediatriya]*. Moscow: Triada-X; 2011; 272–310. (in Russian)
9. Kiku P.F., Izmailova O.A., Gorborkova T.V., Ananyev V.Yu. Influence of ecological and hygienic factors of the environment on the spread of respiratory diseases in the population of Primorsky Krai. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2012; 5: 25–9.
10. Levanchuk A.V. Pollution of the environment by products of operational wear of the automobile and road complex. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2014; 93 (6): 17–21. (in Russian)
11. Maybaliev M.T. The State of health of children from industrial cities due to air pollution. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2008; 2: 31–4. (in Russian)
12. Rakhmanin A.Yu. et al. Influence of atmospheric air pollution by chemical compounds on medical and biological indicators of the health status of Moscow residents. *Biozashchita i biobezopasnost'*. 2011; 3 (3): 26–35. (in Russian)
13. Sumenko V.V., Boev V.M., Lebedkova S.E., Roshchupkin A.N. Health status of children depending on the level and nature of anthropogenic pollution. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2012; 1: 67–9. (in Russian)
14. Sukharev A.G., Mikhailova S.A. the state of health of the child population in stressful environmental and social conditions. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2004; 1: 47–50.
15. Akseanova O.I., Volkova I.F., Kornienko A.P., Li V.G. Ecologically caused diseases in the population of Moscow associated with anthropogenic load. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2001; 5: 82–4.
16. Aulik I.V. *Determination of physical performance in the clinic and sports [Opredeleniye fizicheskoy rabotosposobnosti v klinike i sporte]*. Moscow: Meditsina; 1990. 192 p.
17. Baevsky R.M., Berseneva A.P. *Assessment of the body's adaptive capabilities and the risk of developing diseases [Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i riska razvitiya zabolevaniy]*. Moscow: Meditsina; 1997; 265 p.
18. Mikhailov V.M. *Heart rate variability: practical application experience [Variabel'nost' ritma serdtsa: opyt prakticheskogo primeneniya]*. Ivanovo; 2002. 288 p.
19. Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N., Krenke A.N. Zoning of the territory Russian Federation on natural and climatic conditions. *Izvestiya RAN*. 2008; 5: 106–17.
20. Zabolotnik S.I. Severity of climatic conditions on the territory of Russia. *Geografiya i prirodnyye resursy [Geography and natural resources]*. 2010; 3: 69–74.
21. Astapenko P.D. *Questions about the weather [Voprosy o pogode]*. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1982. 240 p.
22. Avtsyn A.P. *Human pathology in the North [Patologiya cheloveka na Severe]*. Moscow; 1985. 165 p. (in Russian)
23. Kaznacheev V.P., Kaznacheev S.V. *Adaptation and human constitution [Adaptatsiya i konstitutsiya cheloveka]*. Novosibirsk; 1986. 259 p. (in Russian)
24. Report of the Global environment facility for the 9th conference of the parties to the UNFCCC FCCC/CP/2003/3.
25. Fedoseev G.B., Baranov V.S., Lavrova O.V., Petrova B.A., Trofimov V.I., Ugleva E.M. Prenatal diagnosis and primary prevention of bronchial asthma and other allergic diseases, opportunities and prospects. *Donozologiya [Donosologic]*. 2006; 1: 20–6. (in Russian)