

Читать
онлайн
Read
online

Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Кудаев А.Н.

Оценка аэрогенного риска у мальчиков-подростков при различных уровнях физической активности

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

Введение. Аэрогенное воздействие химических веществ даже при коротком режиме воздействия может способствовать формированию нарушений основных регуляторных систем организма.

Цель работы – дать оценку аэрогенного риска для здоровья мальчиков-подростков при различных уровнях физической активности в условиях краткосрочного, но регулярного режима воздействия.

Материалы и методы. Концентрации взвешенных веществ, диоксидов серы и азота, формальдегида в воздухе спортивных залов общеобразовательных и спортивных школ оценивали по данным разовых проб, расчёт риска – по средним величинам проб, отобранных в течение 1 ч. Сценарии оценки риска учитывали соматометрические показатели мальчиков 13–17 лет, частоту и уровни интенсивности физической активности.

Результаты. Соматометрические показатели у мальчиков с умеренным и интенсивным уровнем физической активности находились в интервалах возрастной нормы. Концентрации взвешенных веществ, диоксидов серы и азота, формальдегида в воздухе спортивных залов соответствовали гигиеническим нормативам. Аэрогенный риск для мальчиков с умеренным уровнем физической активности составил в покое $HI = 1,5–1,9$, после физической нагрузки $HI = 1,9–2,3$; с интенсивным уровнем – $HI = 2,1–4$ и $HI = 3,9–7$ соответственно. Таким образом, уровень физической активности, время, проводимое в помещениях для занятий спортом, в сочетании с большими показателями спирографии приводят к увеличению аэрогенного риска. Величина HI как в покое, так и после физической нагрузки на 57–58,9% определяется содержанием взвешенных веществ, в том числе $PM_{2,5} = 30–32\%$, $PM_{10} = 25–26,9\%$.

Ограничения исследования обусловлены тем, что при оценке индекса опасности учтены не все химические вещества, которые могут присутствовать в воздухе спортивных помещений.

Заключение. Проведённое исследование свидетельствует о необходимости мониторинга химических веществ, содержащихся в воздушной среде спортивных помещений, и изучения влияния химических веществ на состояние дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем юношей с учётом уровня физической активности.

Ключевые слова: аэрогенный риск для здоровья; краткосрочное воздействие; воздух помещений; спортивные залы; физическая активность; подростки

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено Этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ (заключение ЛЭК № 1 от 27.01.2022 г.).

Для цитирования: Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Кудаев А.Н. Оценка аэрогенного риска у мальчиков-подростков при различных уровнях физической активности. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 962–967. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-962-967> <https://elibrary.ru/mhjhjn>

Для корреспонденции: Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск. E-mail: medecolab@inbox.ru

Участие авторов: Ефимова Н.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста; Мыльникова И.В. – статистическая обработка данных, написание текста; Кудаев А.Н. – организация исследования, сбор материала, статистическая обработка данных. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 01.06.2023 / Принята к печати: 26.09.2023 / Опубликована: 30.10.2023

Natalya V. Efimova, Inna V. Mylnikova, Andrey N. Kudaev

Assessment of the aerogenic risk in adolescent boys at various levels of physical activity

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. Aerogenic exposure to chemicals can contribute to the formation of violations of the main regulatory systems of the body.

The aim is to assess the aerogenic risk to the health in adolescent boys at various levels of physical activity.

Materials and methods. The content of chemicals in the air of sports halls of general education and sports schools was assessed by single samples, the risk was calculated from the average values of samples taken over 1 hour. The risk is calculated for young 13–17 years boys, taking into account somatometric indicators, the intensity of physical activity.

Results. Somatometric indicators of adolescents with moderate and intense levels of activity corresponded to the age norm. The concentrations of suspended solids, sulfur dioxide and nitrogen, formaldehyde in the air of sports halls met the hygienic standards. An aerogenic risk at a moderate level of activity corresponded to hazard index (HI) = 1.5–1.9 at rest, $HI = 1.9–2.3$ after exercise; intensive level – $HI = 2.1–4$ and $HI = 3.9–7$, respectively. The value of HI at rest and after exercise by 57–58.9% is determined by the content of suspended solids, including $PM_{2,5} = 30–32\%$, $PM_{10} = 25–26.9\%$.

Limitations of the study are due to the fact that when assessing the hazard index, not all chemicals that may be present in the air of sports facilities are taken into account.

Conclusion. The study points to the need to control chemicals in the air of sports facilities and study the effect of chemicals on the state of the leading systems of adolescents, taking into account the level of physical activity.

Keywords: aerogenic health risk; short term impact; indoor air; Sport halls; physical activity; adolescent

Compliance with ethical standards. The study was approved by the Ethics Committee of the Federal State Budgetary Scientific Institution VSIMEI (conclusion of the LEC No. 1 of January 27, 2022).

For citation: Efimova N.V., Mylnikova I.V., Kudaev A.N. Assessment of aerogenic risk in adolescent boys at various levels of physical activity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(9): 962-967. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-962-967> <https://elibrary.ru/mhjhin> (In Russ.)

For correspondence: Natalia V. Efimova, MD, PhD, DSci, Professor, a leading researcher of the Laboratory of environmental and health studies East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: medecolab@inbox.ru

Information about the authors:

Efimova N.V., <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> Mylnikova I.V., <https://orcid.org/0000-0002-0169-4513> Kudaev A.N., <https://orcid.org/0000-0002-6809-4707>

Contribution: Efimova N.V. – the concept and design of the study, writing the text; Mylnikova I.V. – statistical data processing, text writing; Kudaev A.N. – organization of research, collection of material, writing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: June 1, 2023 / Accepted: September 26, 2023 / Published: October 30, 2023

Введение

Повышение уровня физической активности детей и подростков является одним из приоритетных направлений Плана ВОЗ и Стратегии развития физической культуры и спорта в РФ на период до 2030 г. [1–3]. Актуальность данной проблемы имеет глобальный характер в связи с ограничением подвижности в процессе обучения и особенностями образа жизни современных детей как в России, так за рубежом (гаджетомания и номофобия) [4–7]. Многочисленные исследования этого вопроса явились обоснованием ежедневной физической нагрузки в течение 60 мин в день [8], трёх занятий физической культурой в учебном расписании, мотивации детей к занятиям спортом примером родителей [3, 5, 9]. При этом большое внимание уделяется вопросам организации физического воспитания детей, соответствия физических качеств ребёнка и рекомендуемого вида спорта, физической активности. В СанПин 2.4.3648–20¹ определён режим уборки и проверки, однако нет научно обоснованных требований к качеству воздушной среды спортивных помещений.

В отдельных исследованиях показано, что спортивные залы общеобразовательных организаций и спортивных школ олимпийского резерва содержат взвешенные вещества, формальдегид, диоксид серы и азота [10, 11]. Ранее нами выявлено, что, несмотря на содержание большинства поллютантов в помещениях на уровне ПДК и единичных незначительных превышениях концентраций формальдегида, взвешенных веществ, индексы опасности для органов дыхания школьников находятся настораживающем уровне [12]. На основании изложенного заслуживают внимания исследования Цинкер М.Ю. о моделировании функциональных нарушений системы дыхания при воздействии факторов внешней среды [13]. Модель позволяет с учётом газовой динамики в крупных бронхах и деформирования альвеолярно-капиллярных мембран прогнозировать поступление химических веществ в кровь. Подход достаточно трудоёмкий и сложный.

Своевременная оценка аэрогенного риска имеет значение для сохранения здоровья подрастающего поколения и предупреждения развития заболеваний в старшем возрасте. Среди химических примесей наибольшую опасность представляют взвешенные частицы, особенно мелкодисперсная их составляющая (PM_{2,5}). В связи с повышением интенсивности инспираторного дыхания при физических нагрузках PM_{2,5} могут проникать в наиболее глубокие отделы дыхательной системы [14]. Известно, что краткосрочное и долгосрочное воздействие взвешенных частиц (PM) обуславливает риск развития инсульта, ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда и другой патологии сердечно-сосудистой системы [15]. При воздействии PM_{total} форми-

руется дисфункция эндотелия, являющаяся начальным этапом прогрессирования заболеваний системы кровообращения [16–18].

Чрезвычайно важный аспект заключается в неблагоприятном воздействии PM_{2,5} на развитие головного мозга у детей [19]. Так, под влиянием PM_{2,5} происходит формирование нарушений когнитивных функций и нейроповеденческих реакций [20]. Между тем малоизученными остаются вопросы оценки ингаляционного риска для здоровья детей в процессе занятий физической культурой, спортом. В этом случае недостаточно одной только оценки качества воздушной среды в спортивном зале или атмосферного воздуха спортивной площадки. Необходимо учитывать возможности системы дыхания у детей различного пола и возраста, в покое и при различном уровне физической активности.

Цель исследования – дать оценку аэрогенного риска для здоровья мальчиков-подростков при различных уровнях физической активности в условиях краткосрочного, но регулярного режима воздействия.

Материалы и методы

В исследовании участвовали мальчики-подростки 13–17 лет с различным уровнем физической активности (ФА). Группа с умеренным уровнем физической активности сформирована из юношей, занимающихся физической культурой в рамках школьной программы (276 человек). Группа юношей с интенсивной ФА объединила воспитанников спортивной школы олимпийского резерва (СШОР) (26 человек), занимающихся спортивной борьбой (дзюдо, греко-римская борьба).

Критерии включения общие: отсутствие острых и хронических заболеваний (в стадии обострения), в том числе заболеваний органов дыхания (бронхиальная астма, хронический бронхит), врождённой патологии; наличие информированного согласия родителей/опекунов; соответствие длины и массы тела средним возрастным параметрам.

Дополнительные критерии включения для группы с умеренным уровнем ФА: умеренный уровень физической активности (занятия спортом в рамках школьных занятий физической культурой).

Дополнительные критерии включения для группы с интенсивным уровнем ФА: занятия в спортивных секциях «спортивная борьба» в сочетании с занятиями физической культурой в общеобразовательной организации.

Для расчёта коэффициентов опасности проведены измерения некоторых параметров физического развития: соматометрического – масса тела; физиометрических – жизненная ёмкость лёгких, частота дыхания, частота сердечных сокращений (ЧСС). Подсчёт числа дыхательных движений осуществлён по числу движений грудной клетки за 1 мин. Частота дыхания измерена: в покое – у всех мальчиков; у мальчиков с умеренным уровнем ФА – во время занятий физической культурой; у мальчиков с интенсивным уровнем ФА – на тренировках. Показатель внешнего дыхания

¹ Санитарные правила СП 2.4.3648–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодёжи» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 сентября 2020 г. № 28).

Таблица 1 / Table 1

Параметры физического развития обследованных мальчиков 13–17 лет, $M \pm \sigma$
Parameters of physical development of the observed 13–17 years boys, $M \pm \sigma$

Возраст, лет Age, years	Масса тела, кг Body weight, kg	Жизненная ёмкость лёгких, л Vital capacity of the lungs, L	Частота дыхания / Respiratory rate		ЧСС, уд. в 1 мин / Heart rate, bpm	
			в покое, в мин at rest, in min	после нагрузки after load, in min	в покое at rest	после нагрузки after load
<i>Мальчики с умеренным уровнем ФА / Boys with a moderate level of PA</i>						
13	48 ± 10.9	2.8 ± 0.8	20 ± 5.4	22.2 ± 6.3	82.6 ± 15.6	96.9 ± 21.3
14	55 ± 10.6	3.3 ± 0.8	20.1 ± 4.2	23.1 ± 5.8	77.5 ± 16.2	98.1 ± 29
15	61 ± 11.6	3.6 ± 0.7	20.4 ± 3.1	22.3 ± 5.7	76.1 ± 15.3	98.8 ± 30.7
16	61.8 ± 11	3.7 ± 0.8	19.8 ± 2.4	22.3 ± 3.6	76.9 ± 13.4	102.2 ± 22.5
17	63.8 ± 9.1	3.5 ± 1	21.3 ± 3.3	23.1 ± 4.5	77.9 ± 13.3	104.2 ± 24.9
<i>Мальчики с интенсивным уровнем ФА / Boys with an intense level of PA</i>						
13	55 ± 7.1	3.6 ± 0.7	16.1 ± 5.6	23.3 ± 5.8	71.2 ± 12.3	86 ± 18.5
14	62.3 ± 12	4.6 ± 0.8	16.3 ± 4	26.3 ± 6.3	72 ± 11	93.3 ± 19.1
15	62.9 ± 7.9	4.4 ± 0.6	16.3 ± 5.5	28.5 ± 4.7	70.8 ± 12.4	96.3 ± 21.2
16	68.3 ± 12	5 ± 0.9	18 ± 3.5	31 ± 5.2	64 ± 9.1	89 ± 21.5
17	82.5 ± 7.6	5 ± 1	16 ± 5.6	37 ± 4.9	68 ± 12.3	95 ± 20.8

измеряли с помощью спирометра «Спиро-Спектр» (ООО «Нейрософт», Россия). Для определения ЧСС использовали автоматический измеритель артериального давления и частоты пульса Omron RS2 (Япония). Исследования проводили в первой половине дня.

Исследование проведено в спортивных залах общеобразовательных организаций (ООО), СШОР – в отделении дзюдо и самбо, греко-римской борьбы. В спортивных залах ООО воздухообмен реализуется с помощью естественной приточно-вытяжной вентиляции, площадь спортивных залов составляет в среднем 293 м², высота 6 м, объём – 1758 м³. Спортивный зал СШОР оснащён механической приточно-вытяжной системой вентиляции, площадь спортивного зала – 450 м², высота в центре помещения – 15 м, по периметру – 10 м. Показатели микроклимата в спортивных залах ООО и СШОР (температура, влажность воздуха) измеряли в начале, середине, конце занятия. Измерение параметров микроклимата осуществляли с помощью измерителя EClerk Eco – RHTC-0-0-0 (диапазон измерения от 200 до 10 000 ppm, точность ± 30 ppm ± 3%, НПК Рэлсиб, г. Новосибирск). В период исследования показатели микроклимата соответствовали требованиям СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

В дни проведения исследований содержание примесей в атмосферном воздухе соответствовало гигиеническим нормативам. Согласно программе исследований, в воздухе спортивных залов ООО и СШОР определяли содержание: взвешенных веществ (PM_{total}), в том числе PM_{2.5} и PM₁₀; диоксида серы (SO₂); диоксида азота (NO₂); формальдегида (HCHO). Для отбора проб использовали: анализатор пыли DUST TRAK 8533 («TSI Incorporated», USA); газоанализатор универсальный ГАНК – 4 (AP) (ООО «НПО «Прибор» ГАНК», Россия). Содержание химических веществ в воздушной среде спортивных залов регистрировали в течение 1 ч с интервалами в 10 мин (6 наблюдений), из указанных величин рассчитывали среднее содержание веществ из 6 замеров для расчёта коэффициентов опасности (HQ) и сравнения с референтными концентрациями, рекомендованными ВОЗ². Кроме того, рассчитаны средние величины «разовой» пробы при 20–30-минутном отборе (3 наблюдения, ото-

бранные подряд на 10–30-й минуте занятий) для сравнения с ПДК максимально разовой (ПДК_{мр})³.

Оценка аэрогенного риска выполнена в соответствии с методологией оценки риска⁴. Сценарий исследования предполагал кратковременное воздействие воздушной среды на здоровье детей со средним и повышенным уровнем ФА в течение двух академических часов. Рассчитаны коэффициенты и индексы опасности – в покое (HQ_п и HI_п соответственно) и после физической нагрузки (HQ_н и HI_н соответственно).

Статистическую обработку материалов исследования провели при помощи пакета прикладных программ Statistica, версия 10.1 (StatSoft Inc., США). Соматометрические показатели представлены в виде средних арифметических значений и стандартных отклонений ($M \pm \sigma$), концентрации химических веществ – в виде средних арифметических значений и ошибок к ним ($M \pm m$). Для изучения возрастной динамики индекса опасности применили регрессионный анализ. Коэффициент аппроксимации оценивали согласно шкале Чеддока [21].

Результаты

Согласно правилам методологии оценки риска (Руководство Р 2.1.10.1920–04), средняя суточная доза рассчитывается с учётом индивидуальных или среднегрупповых соматометрических характеристик (масса тела, частота дыхания). С этой целью рассчитаны среднегрупповые параметры физического развития обследованных мальчиков-подростков (табл. 1). Отмечено, что как индивидуальные, так и среднегрупповые значения массы тела, жизненной ёмкости лёгких, ЧСС в покое у мальчиков с умеренной и интенсивной ФА соответствуют параметрам возрастной нормы. Прирост частоты дыхания после физической нагрузки у мальчиков с умеренной ФА составил 4,6 ± 0,2 у.е., у юношей-спортсменов – 11 ± 1,3 у.е. Прирост ЧСС после нагрузки у детей с умеренной ФА составил 28,5 ± 3,2 уд./мин., с интенсивной ФА – 33,2 ± 6,5 уд./мин и свидетельствует о том, что физическая нагрузка соответствует функциональным возможностям организма.

³ Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2).

⁴ Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

² WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021. PMID: 34662007

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты и индексы опасности при краткосрочном ингаляционном воздействии в условиях покоя и умеренной физической нагрузки у мальчиков-подростков**Hazard coefficients and indices under short-term inhalation exposure under conditions of rest and moderate physical activity in adolescent boys**

Возраст, лет Age, years	HQ в покое HQ at rest				HI _п HI _п	HQ при нагрузке HQ under load				HI _н HI _н
	NO ₂	SO ₂	FA	PMt		NO ₂	SO ₂	FA	PMt	
13	0.1	0.2	0.3	0.9	1.5	0.1	0.3	0.4	1.1	1.9
14	0.1	0.3	0.4	0.9	1.7	0.1	0.3	0.4	1.1	1.9
15	0.1	0.3	0.4	0.9	1.7	0.1	0.3	0.4	1.1	1.9
16	0.1	0.3	0.4	1.1	1.9	0.1	0.3	0.5	1.1	2
17	0.1	0.3	0.4	1.1	1.9	0.1	0.4	0.5	1.3	2.3

Проведена оценка качества воздуха спортивно-оздоровительных залов ООО и СШОР. Установлено, что концентрации химических веществ в период исследования не превышали ПДК_{мр} и находились в интервале значений: PM_{total} – 0,07–0,36 мг/м³; PM_{2,5} – 0,06–0,09 мг/м³; PM₁₀ – 0,13–0,18 мг/м³; SO₂ – 0,01–0,41 мг/м³; NO₂ – 0,006–0,11 мг/м³; HCHO – 0,0005–0,04 мг/м³. Для стандартизации условий выполнения физических упражнений коэффициенты опасности рассчитаны с учётом средних значений концентраций химических веществ в воздушной среде всех обследованных спортивных залов.

Аэрогенный риск для мальчиков-подростков с умеренным уровнем физической активности. Значения коэффициентов и индексов опасности у мальчиков 13–17 лет с умеренным уровнем ФА представлены в табл. 2. Индекс опасности в покое к началу занятия находился в пределах 1,5–1,9. К концу занятия индекс опасности увеличился на 5,3–26,7% и занимал диапазон значений 1,9–2,3. Регрессионная модель изменения индекса опасности в покое у мальчиков с умеренным уровнем ФА в возрастном аспекте описывается уравнением полиномиальной регрессии:

$$y = 0,0176x^2 - 0,1885x + 2,0485$$

Изменения HI_п в покое коэффициента аппроксимации свидетельствует о высоком темпе увеличения показателя с возрастом и нарастающим уровне ингаляционного риска ($R^2 = 0,73$). Возрастная динамика индекса опасности после нагрузки представлена уравнением полиномиальной регрессии:

$$y = 0,0182x^2 - 0,2036x + 2,5582,$$

которое указывает на заметный характер увеличения HI_н ($R^2 = 0,69$).

Аэрогенный риск для мальчиков-подростков с интенсивным уровнем физической активности (табл. 3). Заслуживают внимания значения коэффициентов и индексов опасности у мальчиков с высокой спортивной нагрузкой, так как они превышают аналогичные показатели у мальчиков с умеренным уровнем ФА в покое в 1,2–2,3 раза, после нагрузки – в 1,8–3,7 раза. Для юношей с интенсивной ФА величина HI составила в покое HI_п = 2,1–4, после нагрузки HI_н = 3,9–7. Значения индекса опасности у юных спортсменов свидетельствуют о высоком аэрогенном риске.

Долевой вклад химических веществ в HI у обследованных мальчиков составляет: взвешенных веществ – 57–58,9% как в покое, так и после нагрузки, в том числе PM_{2,5} – 30–32%, PM₁₀ – 25–26,9% соответственно; формальдегида – 20,5–21,3%; диоксида серы – 14,6–18,7%; диоксида азота – 4,8–6%.

Принимая во внимание однонаправленное действие химических веществ, находящихся в воздухе спортивного зала

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты и индексы опасности при краткосрочном аэрогенном воздействии в условиях покоя и физической нагрузки у мальчиков, занимающихся спортивной борьбой**Hazard coefficients and indices under short-term aerogenic exposure at rest and physical activity in boys involved in wrestling**

Возраст, лет Age, years	HQ в покое HQ at rest				HI _п HI _п	HQ при нагрузке HQ under load				HI _н HI _н
	NO ₂	SO ₂	FA	PMt		NO ₂	SO ₂	FA	PMt	
13	0.1	0.4	0.5	1.3	2.3	0.2	0.6	0.8	2.2	3.9
14	0.2	0.6	0.9	2.2	4	0.4	1.1	1.5	3.8	7
15	0.2	0.5	0.7	2	3.4	0.4	1	1.3	3.6	6.5
16	0.1	0.4	0.5	1.3	2.3	0.2	0.8	0.8	2.2	4
17	0.1	0.3	0.5	1.2	2.1	0.2	0.8	0.8	2.2	4.1

(диоксида азота, диоксида серы, формальдегида, взвешенных веществ), возможно формирование нарушений деятельности органов дыхания у юношей с умеренным и интенсивным уровнем ФА – в покое HI_п = 1,5–1,9 и HI_н = 2,1–4 соответственно, после физической нагрузки – HI_п = 1,9–2,3 и HI_н = 4,1–7. На слизистую оболочку глаз возможно раздражающее воздействие формальдегида у юношей с умеренным и интенсивным уровнем ФА – в покое HI_п = 0,3–0,4 и HI_н = 0,5–0,9 соответственно, после физической нагрузки – HI_п = 0,4–0,5 и HI_н = 0,8–1,5.

Обсуждение

Занятия физической культурой и спортивные тренировки вызывают увеличение лёгочной вентиляции, которое сопровождается повышением диффузионной способности лёгких в 2–4 раза [22]. При этом усиление газотранспортной функции лёгких обуславливает поступление в организм большего объёма аэрополлютантов. Проведённые исследования показали, что при допустимом уровне содержания химических веществ в воздухе спортивного зала аэрогенный риск для юношей с умеренной ФА составляет в покое 1,5–1,9 у.е., после физической нагрузки – 1,9–2,3 у.е. Кроме того, режим дыхания изменяется пропорционально физической нагрузке – чем выше уровень ФА, тем больше частота дыхания. Соответственно организм детей, занимающихся в спортивных секциях, подвергается не только значительной физической, но и химической нагрузке. Расчёт индекса опасности показал, что у юных спортсменов аэрогенный риск для здоровья выше, чем у юношей с умеренным уровнем физической активности: в покое в 1,2–2,3 раза, после нагрузки – в 1,8–3,7 раза. Результаты проведённых исследований совпадают с мнением Bralewska K. и соавт. (2019) [23].

Функционирование дыхательной и сердечно-сосудистой систем тесно взаимосвязано между собой [24]. Рефлекторные нейрогенные влияния на сердце и сосуды как с рецепторов лёгких, так и дыхательных мышц являются существенными в механизмах взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой систем [25, 26]. Учитывая, что взвешенные вещества оказывают неблагоприятное влияние не только на дыхательную, но на сердечно-сосудистую систему, сочетание физической нагрузки с загрязнением воздушной среды твёрдыми частицами представляет опасность для здоровья детей с недиагностированными врождёнными пороками сердца и другими нарушениями деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

Результаты исследования ограничены в применении по отношению к детям с бронхиальной астмой, другими респираторными заболеваниями, патологией сердечно-сосудистой системы. Отсутствие постоянного мониторинга дыхательной функции в течение занятия физической культурой, тренировки не позволяет провести оценку динамики

аэрогенного риска в течение спортивного занятия в школе или спортивной секции. Другое ограничение связано с тем, что при оценке индекса опасности учтены не все химические вещества, которые могли бы быть в воздухе спортивных помещений.

Заключение

Проведённое исследование позволило выявить настоятельно аэрогенный риск после физической нагрузки для здоровья мальчиков, занимающихся физической культурой в рамках школьной программы. Для мальчиков с интенсивным уровнем ФА установлен высокий аэрогенный риск как в состоянии покоя, так и после спортивной тренировки.

Полученные данные свидетельствуют о наличии аэрогенного риска для здоровья мальчиков во время одного занятия физической культурой или спортивной тренировки. Учитывая кратность занятий физической культурой в общеобразовательной организации (трижды в неделю) и спортивных тренировок в спортивных школах олимпийского резерва (от 3 до 5 раз в неделю), значение риска значительно возрастает.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости мониторинга качества воздушной среды спортивных залов и изучения функционального состояния дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем детей, занимающихся физической культурой и спортом в условиях сочетания физической нагрузки и влияния химических веществ.

Литература

(п.п. 1, 6–8, 11, 16–20, 23–26 см. References)

2. Распоряжение Правительства РФ № 3081-р «Стратегия развития физической культуры и спорта в Российской Федерации на период до 2030 года». М.: 2020.
3. Бергерон М.Ф., Моунтджой М., Армстронг Н., Чиа М., Коте Ж., Эмери К.А. и др. Подготовка спортивного резерва: рекомендации Международного олимпийского комитета. *Прикладная спортивная наука*. 2017; (1): 122–40. <https://elibrary.ru/yuiowl>
4. Кучма В.Р., Соколова С.Б. Основные тренды поведенческих рисков, опасных для здоровья. *Анализ риска здоровью*. 2019; (2): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.01> <https://elibrary.ru/zxmyuv>
5. Попова Е.С., Иванова Н.А. Проблема недостаточной физической активности современных школьников. *Проблемы педагогики*. 2020; (6): 110–4. <https://elibrary.ru/wvzujy>
9. Маклакова Е.С. Организация и функции семьи в физическом воспитании детей и подростков. *Обучение и воспитание: методики и практика*. 2016; (30–1): 56–61. <https://elibrary.ru/xeigcl>
10. Бабикова А.С., Насыбуллина Г.М. Гигиеническая оценка условий и организации тренировочного процесса в детско-юношеских спортивных школах. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2018; (12): 41–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-309-12-41-46> <https://elibrary.ru/midlwx>
12. Мыльникова И.В., Ефимова Н.В., Кудяев А.Н. Оценка риска, связанного с химическим загрязнением воздушной среды спортивных сооружений, для здоровья детей. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 1086–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1086-1092> <https://elibrary.ru/srkjuq>
13. Цинкер М.Ю. Трёхмерное моделирование дыхательной системы человека для задач оценки рисков здоровью при ингаляционной экспозиции химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1): 90–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-90-93> <https://elibrary.ru/vosqvj>
14. Шустова С.А., Мирошкина Т.А. Защитные механизмы лёгких. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2020; 28(4): 567–77. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020284567-577> <https://elibrary.ru/kdphnx>
15. Нахратова О.В., Цыганкова Д.П., Баздырев Е.Д. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами на риск сердечно-сосудистых заболеваний (обзор). *Экология человека*. 2022; (8): 531–46. <https://doi.org/10.17816/humeco104609> <https://elibrary.ru/osafti>
21. Медик В.А., Токмачев М.С. *Руководство по статистике здоровья и здравоохранения*. М.: Медицина; 2006.
22. Шницкий Г.С., Устюжанинова Н.В., Гулытьева В.В. Функциональная организация системы внешнего дыхания при физической нагрузке. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2012; 32(6): 69–76. <https://elibrary.ru/pncsnx>

References

1. Global action plan on physical activity 2018–2030: more active people for a healthier world. Geneva: World Health Organization; 2018. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272722/9789241514187-eng.pdf>
2. Decree of the Government of the Russian Federation № 3081-р «Strategy for the development of physical culture and sports in the Russian Federation for the period up to 2030». Moscow; 2020. (in Russian)
3. Bergeron M.F., Mountjoy M., Armstrong N., Chia M., Côté J., Emery C.A., et al. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br. J. Sports Med.* 2015; 49(13): 843–51. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094962>
4. Kuchma V.R., Sokolova S.B. Basic trends in behavioral health risks. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (2): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.01> <https://elibrary.ru/xmcldm>
5. Popova E.S., Ivanova N.A. The problem of insufficient physical activity of modern schoolchildren. *Problemy pedagogiki*. 2020; (6): 110–4. <https://elibrary.ru/wvzujy> (in Russian)
6. Guthold R., Stevens G.A., Riley L.M., Bull F.C. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc. Health*. 2020; 4(1): 23–35. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2)
7. de Jesus G.M., de Oliveira Araujo R.H., Dias L.A., Barros A.K.C., Dos Santos Araujo L.D.M., de Assis M.A.A. Attendance in physical education classes, sedentary behavior, and different forms of physical activity among schoolchildren: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2022; 22(1): 1461. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13864-9>
8. WHO. Health for the World's Adolescents. A Second Chance in the Second Decade. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2012.
9. Maklakova E.S. Organization and functions of the family in the physical education of children and adolescents. *Obuchenie i vospitanie: metodiki i praktika*. 2016; (30–1): 56–61. <https://elibrary.ru/xeigcl> (in Russian)
10. Babikova A.S., Nasybulina G.M. Hygienic assessment of conditions and organization of training process in children and youth sports schools. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2018; (12): 41–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-309-12-41-46> <https://elibrary.ru/midlwx> (in Russian)
11. Andrade A., Dominski F.H. Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *J. Environ. Manage.* 2018; 206: 577–86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.001>
12. Myl'nikova I.V., Efimova N.V., Kudaev A.N. Assessment of the risk associated with chemical pollution of air environment of sports facilities for children's health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 1086–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1086-1092> <https://elibrary.ru/srkjuq> (in Russian)
13. Tsinker M.Yu. Three-dimensional modeling of human respiratory system for tasks of health risk assessment in the exposure to the chemicals inhalation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(1): 90–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-90-93> <https://elibrary.ru/vosqvj> (in Russian)
14. Shustova S.A., Miroshkina T.A. Protective mechanisms of lungs. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2020; 28(4): 567–77. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020284567-577> <https://elibrary.ru/kdphnx> (in Russian)
15. Nakhratova O.V., Tsygankova D.P., Bazdyrev E.D. Impact of air pollution with particulate particles on the risk of cardiovascular diseases (review). *Ekologiya cheloveka*. 2022; (8): 531–46. <https://doi.org/10.17816/humeco104609> <https://elibrary.ru/osafti> (in Russian)
16. Matsuzawa Y., Kwon T.G., Lennon R.J., Lerman L.O., Lerman A. Prognostic value of flow-mediated vasodilation in brachial artery and fingertip artery for cardiovascular events: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Heart Assoc.* 2015; 4(11): e002270. <https://doi.org/10.1161/jaha.115.002270>
17. Wang T., Shimizu Y., Wu X., Kelly G.T., Xu X., Wang L., et al. Particulate matter disrupts human lung endothelial cell barrier integrity via Rho-dependent pathways. *Pulm. Circ.* 2017; 7(3): 617–23. <https://doi.org/10.1086/689906>
18. Karki P., Meliton A., Shah A., Tian Y., Ohmura T., Sarich N., et al. Role of truncated oxidized phospholipids in acute endothelial barrier dysfunction caused by particulate matter. *PLoS One*. 2018; 13(11): e0206251. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206251>
19. Cserbik D., Chen J.C., McConnell R., Berhane K., Sowell E.R., Schwartz J., et al. Fine particulate matter exposure during childhood relates to hemispheric-specific differences in brain structure. *Environ. Int.* 2020; 143: 105933. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105933>

Original article

20. Porta D., Narduzzi S., Badaloni C., Bucci S., Cesaroni G., Colelli V., et al. Air pollution and cognitive development at age 7 in a prospective Italian birth cohort. *Epidemiology*. 2016; 27(2): 228–36. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000405>
21. Medik V.A., Tokmachev M.S. *Guide to Health and Health Statistics [Rukovodstvo po statistike zdorov'ya i zdravookhraneniya]*. Moscow: Meditsina; 2006. (in Russian)
22. Shishkin G.S., Ustyuzhaninova N.V., Gul'tyaeva V.V. Functional organization of respiratory system during physical activity. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2012; 32(6): 69–76. <https://elibrary.ru/pncsnx> (in Russian)
23. Bralewska K., Rogula-Kozłowska W., Bralewski A. Size-segregated particulate matter in a selected sports facility in Poland. *Sustainability*. 2019; 11(24): 6911. <https://doi.org/10.3390/su11246911>
24. Pinsky M.R. Cardiopulmonary interactions: physiologic basis and clinical applications. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2018; 15(Suppl. 1): S45–8. <https://doi.org/10.1513/annalsats.201704-339fr>
25. Jaenisch R.B., Quagliotto E., Chechi C., Calegari L., Dos Santos F., Borghi-Silva A., et al. Respiratory muscle training improves chemoreflex response, heart rate variability, and respiratory mechanics in rats with heart failure. *Can. J. Cardiol.* 2017; 33(4): 508–14. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2016.11.004>
26. Moreno A.M., Toledo-Arruda A.C., Lima J.S., Duarte C.S., Villacorta H., Nóbrega A.C. Inspiratory muscle training improves intercostal and forearm muscle oxygenation in patients with chronic heart failure: evidence of the origin of the respiratory metaboreflex. *J. Card. Fail.* 2017; 23(9): 672–9. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2017.05.003>