DOI: https://doi.org/10.17816/humeco514587

Содержание диоксида углерода в воздушной среде спортивных залов общеобразовательной организации во время учебных занятий

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

Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Ангарск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Содержание диоксида углерода в воздухе помещений для занятий спортом может не только снизить положительное влияние физической активности на детей, но и повысить у них риск возникновения проблем со здоровьем.

Цель. Анализ концентрации и распределения диоксида углерода в воздушной среде спортивных залов общеобразовательной организации в процессе занятий детей физической культурой.

Материал и методы. Произведено 612 замеров концентрации диоксида углерода в спортивных залах общеобразовательной организации: в спортзале 1 для начальных классов (площадь — 77 м^2) и в спортзале 2 для средних и старших классов (площадь — 293 м^2). Измерения проведены по периметру и в центральной части помещений в 12 точках (высота от 0 до 230 см). Для оценки концентрации диоксида углерода в воздухе спортзалов использовано значение фонового уровня, рассчитанного по ГОСТ 30494-2011 (761,5 ppm). Сравнение показателей выполнено с помощью критерия Стьюдента для независимых групп. При оценке распределения диоксида углерода в пространстве использован регрессионный анализ.

Результаты. В спортзале 1 исходные концентрации диоксида углерода составили 845–1267 ppm и незначительно превысили фоновый уровень. В динамике учебного занятия содержание диоксида углерода увеличилось в 1,6–2,3 раза. К концу занятия содержание диоксида углерода на уровне предполагаемого дыхания (1,0–1,9 м) составило 1934–1948 ppm. В спортзале 2 содержание диоксида углерода к концу занятия увеличилось в 1,1–1,2 раза. На высоте 0,0–1,7 м концентрация диоксида углерода составила 1016–1023 ppm.

Заключение. Уже через 20 мин занятия на высоте предполагаемого дыхания концентрация диоксида углерода превышает не только фоновый (761,5 ppm), но и допустимый (1000,0 ppm) уровень. Проведенное исследование свидетельствует о необходимости мониторинга содержания диоксида углерода в воздухе спортзалов общеобразовательных организаций в дни учебных занятий и спортивных мероприятий.

Ключевые слова: диоксид углерода; воздушная среда помещений; спортивные залы общеобразовательной организации.

Как цитировать:
Мыльникова И.В., Кудаев А.Н., Ефимова Н.В. Содержание диоксида углерода в воздушной среде спортивных залов общеобразовательной организации во время учебных занятий // Экология человека. 2023. Т. 30. №10. С. 771–780. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco514587

Рукопись получена: 27.06.2023 **Рукопись одобрена:** 18.02.2024 **Опубликована online:** 16.03.2024

ЭКО•ВЕКТОР

Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco514587

Carbon dioxide concentration in the air of school gyms during classes

Inna V. Mylnikova, Andrei N. Kudayev, Natalia V. Efimova

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Elevated levels of carbon dioxide in gym air can diminish the benefits of physical activity and pose health risks for children..

AIM: to access carbon dioxide concentration in the air of school gyms during physical education classes.

MATERIAL AND METHODS: A total of 612 measurements were taken to estimate the concentration of carbon dioxide in the air. These measurements were conducted in two separate gymnasiums: in Gym 1, designated for primary classes with an area of 77 m2, and Gym 2, used by middle and high school students with an area of 293 m2. Measurements were taken at 12 different points, both around the perimeter and in the central part of each gym. The height when measuremenmts were taken ranged from 0 to 230 cm. To assess the carbon dioxide concentration in the gym air, the background level was calculated based on GOST 30494-2011 standards (761.5 ppm). Student's t-tests for independent samples were used to compare the data. Additionally, a regression analysis was utilized to estimate the spatial distribution of carbon dioxide within the gymnasiums.

RESULTS: In Gym 1, the initial concentrations ranged from 845 to 1267 ppm, slightly exceeding the expected throughput. Throughout the training session, the carbon dioxide content increased by 1.6 to 2.3 times. By the end of the session, the carbon dioxide content reached 1934 to 1948 ppm at an estimated respiration level of 1.0 to 1.9 m. In Gym 2, the carbon dioxide content increased by 1.1 to 1.2 times by the end of the class. At a height of 0.0 to 1.7 m, the concentration of carbon dioxide was measured at 1016 to 1023 ppm.

CONCLUSION: After 20 minutes of training at the expected intensity, carbon dioxide levels in the air exceed not only the background level of 761.5 ppm, but also the permissible level of 1000 ppm. This study highlights the importance of daily monitoring of carbon dioxide levels in school gymnasiums during training sessions and sporting events. Such monitoring is crucial for ensuring the health and safety of students and athletes.

Keywords: carbon dioxide; indoor air; school gyms.

To cite this article:
Mylnikova IV, Kudayev AN, Efimova NV. Carbon dioxide concentration in the air of school gyms during classes. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(10):771–780. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco514587

Received: 27.06.2023 **Accepted:** 18.02.2024 **Published online:** 16.03.2024

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Сохраняется актуальность поиска внутришкольных факторов дестабилизации здоровья детей [1]. К настоящему времени накоплен значительный фактологический материал, характеризующий параметры микроклимата, освещенность, содержание химических веществ в учебных помещениях гуманитарных и точных дисциплин [2–4]. Несомненный интерес представляет гигиеническое состояние спортивных залов. Влияние неадекватной дыхательной вентиляции при физической нагрузке проявляется увеличением дозы вдыхаемых загрязнителей воздуха. Кроме того, при выполнении физических упражнений человек вдыхает воздух через рот, в этом случае отсутствует фильтрация загрязняющих веществ через мукоцилиарную систему. Увеличение скорости инспираторного воздушного потока сопровождается поступлением загрязняющих веществ в наиболее глубокие отделы дыхательной системы, что увеличивает риск для здоровья [5]. Таким образом, наблюдается противоречие между положительным влиянием физических упражнений и потенциальными рисками для здоровья детей при занятиях спортом в нездоровой среде [6, 7].

Активная двигательная деятельность обучающихся на занятиях физической культуры сопровождается выделением в воздушную среду спортивного зала такого антропотоксина, как диоксид углерода. Влияние CO_2 на организм человека проявляется астенией, головной болью, нарушением когнитивных функций [2, 8]. Кратковременное вдыхание CO_2 в концентрации school gyms 1000–5000 ppm сопровождается функциональными нарушениями внешнего дыхания, деятельности сердечно-сосудистой системы, электрической активности головного мозга [9].

Научная библиография исследований по изучению содержания диоксида углерода в воздушной среде помещений и его влияния на здоровье немногочисленна. Анализ отечественных и иностранных работ обозначил зависимость концентрации диоксида углерода в помещении от величины воздухообмена на одного человека, соблюдения санитарно-гигиенического режима содержания учебных помещений, качества вентиляции [10, 11]. Вышеизложенное является обоснованием натурных экспериментальных исследований для получения корректной информации о содержании диоксида углерода в пространстве спортивных залов общеобразовательных организаций в целях контроля его содержания в воздухе спортивных помещений и снижения риска для здоровья детей.

Цель исследования. Анализ концентрации и распределения диоксида углерода в воздушной среде спортивных залов общеобразовательной организации в процессе занятий детей физической культурой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в рамках естественного гигиенического эксперимента в спортивных залах для обучающихся начальных классов (спортзал 1), средних и старших классов (спортзал 2) общеобразовательной организации. Спортзал 1 расположен в основном корпусе здания на первом этаже, окна ориентированы на северо-запад с преобладающей в течение года наветренной стороной. Вентиляция осуществляется за счёт естественного проветривания (аэрации). Площадь помещения — 77 м^2, высота — 3 м, объём — 231 м^3. Параметры микроклимата во время эксперимента: температура – 24,9±0,4 ºС, что в сравнении с требованиями СП 2.4.3648-20 [12], СанПин 1.2.3685-21 [13] превышает верхнюю границу нормы на 4,9 ºС; влажность – 48,2±1,1% (соответствует норме СП 2.4.3648-20). Спортзал 2 входит в состав основного здания, но выделен в самостоятельный блок, окна расположены с подветренной стороны и ориентированы на северо-восток и юго-восток. Воздухообмен обеспечивается естественной приточно-вытяжной вентиляцией через люки в потолочной части спортзала. Площадь помещения — 293 м^2, высота — 6 м, объём — 1758 м^3. Параметры микроклимата в спортзале 2 соответствовали гигиеническим требованиям: температура – 19,5±0,8 ºС; влажность – 42,8±1,9%. Во время эксперимента наполняемость спортивных залов составила в среднем 26 человек в зале 1 и 25 — в зале 2.

Исследования проводили с 17 по 21 октября 2022 г. Программа наблюдений, помимо требований национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 16000-26-2015 [14], учитывала особенности проведения занятий физической культурой. Концентрацию диоксида углерода определяли по периметру спортивных залов (стороны A, B, C, D) на высоте 0,0; 0,7; 1,7 м; в центре на высоте от пола 0,0; 0,15; 0,35; 0,7; 0,85; 1,0; 1,2; 1,5; 1,7; 1,9; 2,1; 2,3 м. Измерения проводили дискретно на 5-й (начало), 20-й (середина) и 35-й (завершение) мин занятия. Выполнили 612 замеров концентрации CO_2 (спортзал 1 — 288 замеров, спортзал 2 — 324). Для определения концентраций CO_2 использовали измеритель EClerk Eco — RHTC-0-0-0 (диапазон измерения от 200 до 10 000 ppm, точность ±30 ppm ±3%, НПК Рэлсиб, Новосибирск), работа которого реализуется на основе новейших сенсоров компаний Sensirion и Bosch Sensortec.

Качество воздушной среды помещений оценивали в соответствии с ГОСТ 30494–2011 [15], ГОСТ Р ЕН 13779–2007 [16]. Согласно ГОСТ 30494-2011 (п. 5.3) допустимое содержание диоксида углерода равно сумме концентрации CO_2 для воздуха 1-го класса качества (400 ppm) и его содержания снаружи. В период эксперимента фоновая концентрация диоксида углерода в атмосферном воздухе города составила в среднем 361,5±8,8 ppm (n=12). Таким образом, фоновый уровень содержания диоксида углерода для воздушной среды помещений общеобразовательной организации приняли за 761,5 ppm.

Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы STATISTICA (StatSoftInc., версия 10.1).

Нормальность распределения концентраций диоксида углерода определяли с применением критерия Шапиро–Уилка. Соответствие нормальному распределению позволило представить данные в виде среднего арифметического и стандартной ошибки показателя (M±m). Динамику содержания диоксида углерода в течение занятия изучали с помощью регрессионного анализа, зависимость концентрации CO_2 и высоты спортивных залов оценивали по величине коэффициента детерминации аппроксимации (R^2). При сравнении использовали критерий Стьюдента для оценки различий статистической значимости независимых данных (критерий Стьюдента для независимых групп). Уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимали <0,05. Множественные сравнения концентраций диоксида углерода по периметру (p <0,008) проводили с учетом поправки Бонферрони.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Временные вариации CO_2 по периметру спортивного зала 1 представлены в табл. 1.

Измерения на протяжении учебного занятия показали, что уровень CO_2 внутри спортивного зала 1 тесно связан с физической активностью детей. Обнаружили, что концентрация CO_2 увеличивалась последовательно с наращиванием интенсивности физической нагрузки. При этом различия выявили между сторонами периметра АВ и СД. Тогда как по высоте концентрация CO_2 в пределах одной стороны (0,7; 1,0; 1,7 м) в конкретные временные промежутки не различалась. Обращает на себя внимание тот факт, что к 35 мин занятия, по сравнению с началом, концентрация CO_2 на сторонах А и В увеличилась в 2,2 раза, С и D – в 1,9 и 1,6 раза соответственно.

Кратность превышения величины фонового уровня составила в первые 5 мин на стороне А – 1,1; 1,1; 1,2 (на уровне 0,0; 0,7; 1,7 м), В – 1,2; 1,3; 1,3, С – 1,4, D – 1,6; 1,6; 1,7. К 20 мин кратность с величиной фонового уровня была равна на стороне А – 1,8; 1,6; 1,8, В – 1,8; С – 1,8; 1,8; 1,9, D – 1,9. В конце занятия (на 35-й мин) кратность по отношению к значению фонового уровня соответствовала на стороне А – 2,5, В – 2,6, С – 2,7; 2,7; 2,6, D – 2,6.

На рис. 1 в формате трёхмерного графика представлено изменение концентрации диоксида углерода в пространственно-временном отношении в центральной части спортзала 1 в течение учебного занятия.

Концентрации CO_2 в первые 5 мин занятия была в диапазоне 794,5–836,5 ppm, на 20-й мин – 1505,5–1778,0 ppm, на 35-й мин – 1934,0–2030,5 ppm. Темп роста во времени

Таблица 1. Средние значения концентраций диоксида углерода в воздухе спортзала 1 в присутствии обучающихся (M±m, ppm)
Table 1. Mean values of carbon dioxide concentrations in the air of gymnasium 1 in the presence of students (M±m, ppm)

Высота, м Height, m	Стороны спортивного зала Sides enclosing the gym's perimeter				Среднее Mean	Статистически значимые различия Statistically significant differences
	A	B	C	D		
На 5-й мин занятия | At the 5th minute of the class						
0,0	846,5±44,0	896,5±45,0	1066,0±64,0	1233,0±68,0	1010,0±63,0	–
0,7	845,0±46,7	98,02±49,5	1081,0±65,7	1253,0±72,0	103,05±50,0	–
1,7	886,5±48,0	987,5±52,0	1086,0±63,5	1267,0±68,0	1053,0±62,0	–
На 20-й мин занятия | At the 20th minute of the class						
0,0	1242,0±21,0	1360,0±44,6	1392,0±51,5	1458,0±58,0	1390,0±47,0	–
0,7	1216,0±64,0	1258,0±42,7	1412,0±63,9	1487,0±56,0	1369,0±49,0	p_{AD}=0,006
1,7	1292,0±47,0	1366,0±52,8	1437,0±65,5	1487,0±54,0	1414,0±52,0	p_{AC}=0,003
На 35-й мин занятия | At the 35th minute of the class						
0,0	1910,0±50,0	1959,0±52,0	2026,0±56,0	2015,0±54,0	1977,0±56,0	p_{AC}=0,007
0,7	1927,0±74,0	1975,0±65,8	2030,0±67,4	1970,0±61,0	1975,0±63,0	–
1,7	1912,0±64,0	1984,0±62,7	2012,5±62,0	1984,0±64,0	1973,0±59,0	–
Статистические значимые различия между показателями по времени | Statistically significant differences over time						
0,0	p_{5-35}=0,002	–	–	–	–	–
0,7	p_{5-35}=0,003 p_{20-35}=0,007	–	–	–	–	–

Примечание: «–» статистически значимые различия не выявлены.
Note: «–» no statistically significant differences were identified.

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco514587

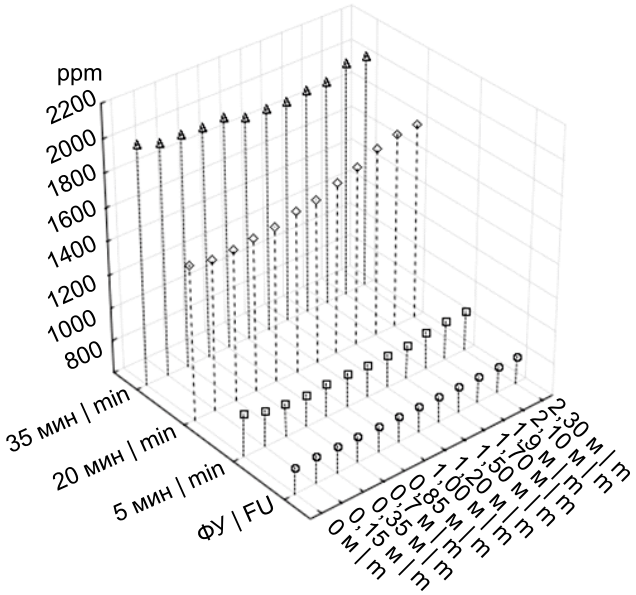

Рис. 1. Трехмерный график распределения диоксида углерода в воздухе центральной части спортивного зала 1: x – высота, м; y – временные точки замеров, мин; *z* – концентрация CO_2, ppm; ФУ – фоновый уровень.

Fig. 1. Three-dimensional graph of the distribution of carbon dioxide in the air of the central part of the sports hall 1: x – height, m; *y* – temporary measurement points, min.; *z* – CO_2 concentration, ppm; FU – background level.

составил к 20-й мин 123,7%, к 35 мин – 155,6% по отношению к исходному уровню. В первые 5 мин занятия интервал значений концентраций CO_2 по высоте составил 794,5–836,5 ppm – 1,0–1,1 фонового уровня. Максимальные значения CO_2 определяются на высоте 1,9–2,3 м. С 20-й мин увеличение концентрации CO_2 в пространстве происходило интенсивно, достигая максимума также на уровне 1,9–2,3 м (1739,0–1778,0 ppm). Вместе с тем на уровне предполагаемого дыхания (1,0–1,7 м) концентрация CO_2 составила 1575,0–1674,0 ppm – 2,1–2,2 фонового уровня. К 35-й мин занятия наблюдали отсутствие значимой динамики. Минимальные значения отметили на уровне предполагаемого дыхания 1,0–1,9 м. В связи с необходимостью уточнения зависимости концентрации CO_2 от высоты точки измерения спортзала 1 провели регрессионный анализ.

Средние значения концентраций диоксида углерода по периметру спортзала 2 статистически значимых различий не имели (табл. 2). Также не выявили статистически значимых различий между величинами CO_2 на изучаемых высотах в течение занятий. В первые 5 мин занятия концентрация диоксида углерода на высоте 0,0 м составила 1,2–1,3 фонового уровня, на высоте 0,7 м – 1,3, на высоте 1,7 м – 1,3. К 20-й мин занятия концентрация CO_2 на уровне пола (0,0 м) находилась в интервале 976,4–1031,3 ppm (1,3 фонового уровня), 0,7 м – 979,6–1052,3 ppm (1,3–1,4 фонового уровня), 1,7 м – 980,2–1034,3 ppm (1,3 фонового уровня). В конце занятия (35 мин) содержание CO_2 на высоте 0,0 м составило – 1050,6–1143,3 ppm (1,4–1,5 фонового уровня), 0,7 м – 1076,6–1168,3 ppm (1,4–1,5 фонового уровня), 1,7 м – 1081,0–1155,0 ppm (1,4–1,5 фонового уровня).

Статистически значимые различия между концентрацией CO_2 по периметру спортзала 2 отсутствуют. Не установили статистически значимых различий в течение занятий между значениями на высоте 0,0 м, 0,7 м и 1,7 м. В первые 5 мин занятия концентрация диоксида углерода на высоте 0,0 м составляла 956,0–964,0 ppm.

Таблица 2. Средние значения концентраций диоксида углерода в воздухе спортзала 2 в присутствии обучающихся (M±m, ppm)
Table 2. Mean values of carbon dioxide concentrations in the air of gymnasium 2 in the presence of students (M±m, ppm)

Высота, м Height, m	Стороны спортивного зала Sides enclosing the sports hall's perimeter				Среднее значение Mean
	A	B	C	D	
На 5-й мин занятия | At the 5th minute of the class					
0,0	964,0±25,0	904,0±69,0	956,0±24,0	962,0±28,0	947,2±19,9
0,7	965,0±25,0	961,0±29,0	963,0±27,0	965,0±28,0	963,6±12,6
1,7	968,0±26,0	960,0±27,0	968,0±28,0	974,0±31,0	967,8±13,1
На 20-й мин занятия | At the 20th minute of the class					
0,0	976,4,0±28,0	985,5±28,0	991,4±23,0	1031,3±43,0	991,1±13,9
0,7	982,0±31,0	979,6±27,0	999,2±24,0	1052,3±44	994,4±14,5
1,7	985,8±31,0	980,0±26,0	1001,8±22,0	1034,3±46,0	996,8±14,5
На 35-й мин занятия | At the 35th minute of the class					
0,0	1050,0±50,0	1083,0±52,0	1101,8±53,0	1143,3±96,0	1089,0±27,8
0,7	1081,0±52,0	1076,6±53,0	1104,8±52,0	1168,3±96,0	1096,0±27,8
1,7	1081,0±66,0	1087,0±71,0	1124,0±71,0	1155,0±90,0	1106,0±28,1

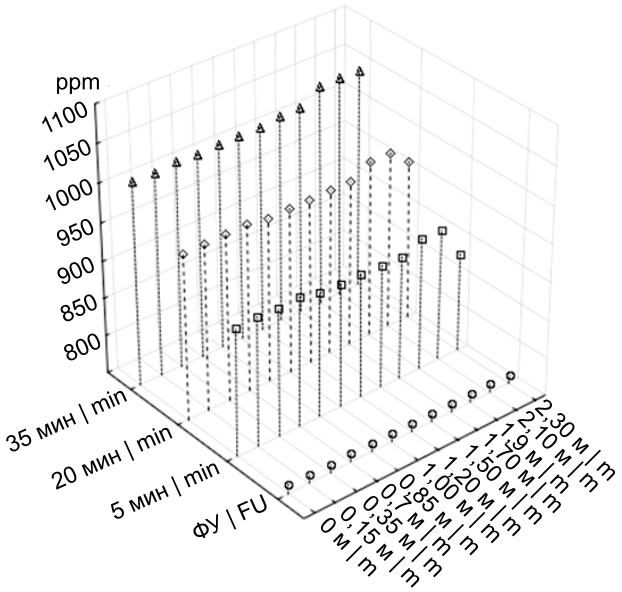

Рис. 2. Трехмерный график распределения диоксида углерода в воздухе центральной части спортивного зала 2: x – высота, м; y – временные точки замеров, мин; z – концентрация CO_2, ppm; ФУ – фоновый уровень.

Fig. 2. Three-dimensional graph of the distribution of carbon dioxide in the air of the central part of the sports hall 2: x – height, m; y – temporary measurement points, min; z – CO_2 concentration, ppm; FU – background level.

Трёхмерный график на рис. 2 наглядно отражает равномерность распределения диоксида углерода в различные периоды занятия в центральной части спортзала 2.

Максимальные значения на протяжении учебного занятия регистрировались на высоте 1,9–2,1 м и составили на 5-й мин – 923,5 ppm; на 20-й – 981,7 ppm; на 35-й – 1040 ppm. Минимальные значения концентрации диоксида углерода выявлены на высоте 0,0–0,7 м и составили на 5-й мин – 917,5–920,0 ppm; на 20-й – 967,7–969,2 ppm; на 35-й – 1016,5–1019,5 ppm. Темп роста во времени составил к 20-й мин 8,5%, к 35-й – 14,2% исходного уровня.

Регрессионные модели зависимости концентрации диоксида углерода от высоты точки измерения в течение занятия описываются полиномиальными уравнениями (табл. 3). Однако следует отметить, что эти уравнения хорошо представляли распределение диоксида углерода по высоте только в помещении меньшего объёма. Для типового зала коэффициент аппроксимации составил 0,87 только при накоплении поллютанта выше допустимого уровня.

Концентрация диоксида углерода в помещении зависит от соответствия необходимого объёма воздуха действующим нормативам. Установлено, что размеры спортзала 1, используемые при расчете единовременной пропускной способности объектов спорта, не соответствуют планово-расчётным показателям количества занимающихся физической культурой и спортом [17]. Во-первых, площадь спортзала 1 по утверждённым нормам не соответствует минимально возможной (12×6 м^2). Площадь помещения на одного человека составляет 7,7 м^2, что меньше рекомендуемых норм (10 м^2 на 1 чел.) [13]. Во-вторых, количество занимающихся детей превышает пропускную способность зала в 2,2 раза. Между тем площадь спортзала 2 соответствует рекомендуемой величине (24×12 м^2): на одного обучающегося приходится 29,3 м^2, что и подтверждается результатами проведённого исследования. Исходя из площади спортивных помещений, рассчитано, что в спортзале 1 могут одновременно заниматься физической культурой 7 детей, в спортзале 2 — 29 детей. При проведении культурно-массовых мероприятий (линейки, спортивные соревнования) в спортзале 2 необходимо учитывать численность участников и продолжительность события.

ОБСУЖДЕНИЕ

В представленной работе впервые изучено распределение диоксида углерода в 12 точках пространства спортзала общеобразовательной организации во время

Таблица 3. Пространственно-временные изменения концентраций диоксида углерода в спортзалах в присутствии обучающихся
Table 3. Changes in carbon dioxide concentrations in gymnasiums during the classes

Время занятия, мин Session time, min	Диапазон концентраций, ppm Concentration range, ppm	Модель полиномиальной регрессии Polynomial regression model	Коэффициент аппроксимации Approximation factor
Спортзал 1 (объём помещения — 231 м^3) | Gym 1 (room volume — 231 m^3)			
5	794,5–836,5	$y=1,7822x^2-23,05+866,7$	$R^2=0,81$
20	1505–1778	$y=2,3905x^2-3,7634+1508,9$	$R^2=0,98$
35	1934–2030,5	$y=2,5278x^2-35,273x+2066,6$	$R^2=0,76$
Спортзал 2 (объём помещения — 1758 м^3) | Gym 2 (room volume — 1758 m^3)			
5	917,5–923,5	$y=-0,3106x^2+2,6475x+912,99$	$R^2=0,26$
20	967,7–981,2	$y=0,0062x^2-0,2914x+968,57$	$R^2=0,32$
35	1018–1040	$y=0,3415x^2-2,2459x+1020,8$	$R^2=0,87$

занятий физической культурой. Исследование характера распределения показало, что интенсивные изменения концентрации диоксида углерода по высоте происходят в середине и ближе к концу занятия (на 20-й и 35-й мин). При этом изменения в разные временные промежутки в воздушной среде спортзала 2 на различном уровне от пола существенно не различались (рост концентрации CO_2 14,2%). Тогда как в спортивном зале 1 рост показателей к концу занятия составил 155,6%. Это может быть связано с переполненностью, несоответствием площади спортивного помещения гигиеническим нормативам на одного обучающегося и несоблюдением санитарно-гигиенического режима содержания учебных помещений.

Результаты экспериментального исследования объективно отражают важность соответствия площади спортивных помещений единовременной пропускной способности объектов спорта. Так, в спортзале 2 площадь помещения соответствует пропускной способности. Определение концентрации CO_2 в спортзале 2 как по сторонам периметра, так и в центральной части помещения позволило выявить её незначительные отклонения от величины допустимой нормы. Заслуживает внимания то обстоятельство, что концентрация диоксида углерода на протяжении всего занятия на уровне предполагаемого дыхания не превышала 1,4 допустимой нормы и являлась достаточно безопасной для здоровья детей. В качестве допустимого уровня в ряде стран приняты величины от 600 до 1500 ppm [18]. Установленный факт свидетельствует о допустимых условиях для занятий физической культурой и спортом в спортзале 2. Полученные данные согласуются с результатами исследований Н.Х. Давлетовой, Е.А. Тафеевой [10], определивших содержание диоксида углерода в спортивных и тренажёрных залах спортивного вуза к концу учебного дня на уровне 1170±72,87 ppm. Результат авторы объяснили недостаточной эффективностью вентиляции и интенсивной физической активностью в помещениях данного типа. Как в полученных нами результатах, зависимость содержания диоксида углерода от качества вентиляции и пропускной способности спортивных объектов установили C.A. Alves и соавт. [19]. Низкий уровень CO_2 (<1000 ppm) и высокую скорость инфильтрации наружного воздуха авторы интерпретировали эффективной вентиляцией в закрытых спортивных сооружениях University of Léon (Spain).

Спортзал 1 размещён в помещении, не соответствующем по площади для занятий физической культурой. Кроме того, при проведении занятий не учитывается пропускная способность используемого помещения. Тиражирование полученных результатов необходимо в качестве наглядной демонстрации неприемлемых условий для занятий физической культурой. К окончанию занятия значения допустимой нормы CO_2 превышены в 2,5–2,7 раза, в том числе на уровне предполагаемого дыхания. С учётом того что некоторые упражнения выполняются лёжа или в упоре на руках, обращает на себя внимание значительное превышение допустимой нормы (в 2,7 раза) на уровне пола (0,0 м). Серьёзным недостатком спортзала 1 является регуляция воздухообмена за счет естественного проветривания, которое до занятия систематически не осуществляется, а во время занятия недопустимо.

Полученные данные подтверждают выводы ведущих специалистов в области гигиены детей и подростков о том, что гигиенические требования к объёмно-пространственным параметрам помещений общеобразовательных организаций (в том числе спортивных залов) должны предупреждать различные риски для здоровья обучающихся [20]. Очевидно, что в создании здоровой школьной среды необходимо усиление роли администрации образовательного учреждения. В частности, администрация может внедрить постоянный автоматизированный мониторинг CO_2 во время занятий, обеспечить необходимой оперативной информацией учителя физкультуры. Кроме того, указанный тип мониторинга позволит администрации осуществлять периодический контроль проветриванием спортивных залов и при его неэффективности ставить вопрос о необходимости проверки работы системы вентиляции. Должностные обязанности учителя физической культуры предлагается дополнить обязательным проведением предварительного проветривания спортивных залов. Для совершенствования системы медицинского обеспечения и санитарно-эпидемиологического благополучия обучающихся [21] следует рекомендовать учителям физической культуры временно прекращать учебные занятия при первых признаках воздействия CO_2 (снижение физической работоспособности, внимания и концентрации). Детей с такими признаками интоксикации, как головная боль, головокружение направлять в медицинский кабинет образовательного учреждения.

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что замеры диоксида углерода в центральной части спортивного помещения обеспечивают полноту информации о его содержании. Полученные результаты доказывают необходимость контроля диоксида углерода на уровне предполагаемого дыхания детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из направлений по сохранению и укреплению здоровья детей считаются занятия физической культурой и спортом, что подтверждается положениями «Концепции развития детско-юношеского спорта в Российской Федерации до 2030 г.» и реализацией федерального проекта «Спорт — норма жизни».

Выявлен значительный рост содержания диоксида углерода в процессе занятий физической культурой. Особенно важно, что уже через 20 мин занятий на высоте предполагаемого дыхания концентрация диоксида углерода превышает не только фоновый (761,5 ppm), но и допустимый (1000,0 ppm) уровень. Результаты исследования подчеркивают необходимость всестороннего планирования культурно-массовых мероприятий

в общеобразовательных организациях, учёта соответствия воздушного объёма помещения, численности участников и продолжительности линеек, соревнований, праздников. Анализ материалов исследования свидетельствует о необходимости надзора за качеством воздушной среды спортзалов общеобразовательной организации. С этой целью важно осуществлять оперативный контроль концентраций диоксида углерода на протяжении каждого учебного дня.

Проведённый анализ содержания диоксида углерода в воздухе спортзалов во время занятий физической культурой начальных, средних и старших классов подтверждает важность и необходимость дополнительных исследований по изучению влияния различных концентраций диоксида углерода на состояние здоровья школьников.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. N.V. Efimova – concept and design of the study, writing the text; I.V. Mylnikova – statistical analysis, text writing; A.N. Kudaev – organization of research, collection of the material, writing the text.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучма В.Р. Медико-профилактические основы здоровьесбережения обучающихся в Десятилетие детства в России (2018–2027 гг.) // Российский педиатрический журнал. 2018. Т. 21, № 1. С. 31–37. EDN: YWJEWK. doi: 10.18821/1560-9561-2018-21-1-31-37
2. Пронина Т.Н., Карпович Н.В., Полянская Ю.Н. Уровень содержания углекислого газа в учебных помещениях и степень комфорта учащихся // Вопросы школьной и университетской медицины. 2015. № 3. С. 32–35.
3. Alegría-Sala A., Clèries Tardío E., Casals L.C., et al. CO_2 Concentrations and Thermal Comfort Analysis at Onsite and Online Educational Environments // Int. J. Environ Res Public Health. 2022. Vol. 19, N 23. P.16039. doi: 10.3390/ijerph192316039
4. Рзянкина М.Ф., Костромина С.А., Васильева Ж.Б. Школьная медицина: итоги и перспективы развития научного направления // Дальневосточный медицинский журнал. 2020. № 3. С. 124–130. doi: 10.35177/1994-5191-2020-3-124-129
5. Шустова С. А., Мирошкина Т.А. Защитные механизмы легких // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2020. Т. 28, № 4. С. 567–577. doi: 10.23888/PAVLOVJ2020284567-577
6. Tainio M., Jovanovic A.Z., Nieuwenhuijsen M.J., et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence // Environ Int. 2021. Vol. 147. P. 105954. doi: 10.1016/j.envint.2020.105954
7. Andrade A., Dominski F.H. Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review // J. Environ Manage. 2018, Vol. 206. P. 577–586. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.11.001
8. Du B., Tandoc M.C., Mack M.L., Siegel J.A. Indoor CO_2 concentrations and cognitive function: A critical review // Indoor Air. 2020. Vol. 30, N 6. P. 1067–1082. doi: 10.1111/ina.12706
9. Елисеева О.В. К обоснованию предельно допустимой концентрации двуокиси углерода в воздухе // Гигиена и санитария. 1964. № 8. С. 16–21.
10. Давлетова Н.Х., Тафеева Е.А. Анализ изменения концентрации диоксида углерода в воздухе учебных помещений спортивного вуза // Здоровье населения и среда обитания. 2021, № 2. С. 22–27. EDN: RWIEWN. doi: 10.35627/2219-5238/2021-335-2-22-27
11. Shendell D.G., Gonzalez L.N., Panchella J.A., Morrell J. Time-Resolved Characterization of Indoor Air Quality due to Human Activity and Likely Outdoor Sources during Early Evening Secondary School Wrestling Matches // J. Environ Public Health. 2021, N 7. P. 5580616. doi: 10.1155/2021/5580616
12. СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». Доступно по: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74993644/ Ссылка активна на 04 апреля 2023.
13. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Доступно по: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf
14. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 16000-26-2015 «Воздух замкнутых помещений. Часть 26. Отбор проб при определении содержания диоксида углерода CO_2». Доступно по: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/486/4293759114.pdf
15. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Доступно по: http://docs.cntd.ru/document/gost-30494-2011. Ссылка активна на 21 ноября 2022.
16. ГОСТ Р ЕН 13779–2007 Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. Доступно по: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-en-13779-2007. Ссылка активна на 21 ноября 2022.
17. Приказ Министерства спорта РФ № 649 от 19.08.2021 г. «О рекомендованных нормативах и нормах обеспеченности населения объектами спортивной инфраструктуры». Доступно по: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minsporta-Rossii-ot-19.08.2021-N-649.

18. Губернский Ю.Д., Калинина Н.В., Гапонова Е.Б., Банин И.М. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93, № 6. С. 37–41. EDN: TFANVV.

19. Alves C.A., Calvo A.I., Castro A., et al. Indoor Air Quality in Two University Sports Facilities // Aerosol Air Qual. Res. 2013. N 13. P. 1723–1730. doi: 10.4209/aaqr.2013.02.0045

20. Кучма В.Р., Степанова М.И. Гигиенические требования к современным архитектурно-планировочным решениям школьных зданий // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 9. С. 998–1003. EDN: QTNEMZ. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-998-1003

21. Кучма В.Р., Рапопорт И.К., Сухарева Л.М., и др. Здоровье детей и подростков в школьном онтогенезе как основа совершенствования системы медицинского обеспечения и санитарно-эпидемиологического благополучия обучающихся // Здравоохранение Российской Федерации. 2021. Т. 65, № 4. С. 325–333. EDN: QSJGDO doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333

REFERENCES

1. Kuchma VR. Medically-preventive foundations of health safety of pupils over the decade of childhood in Russia (2018-2027). *Russian Pediatric Journal*. 2018;21(1):31-37. EDN: YWJEWK doi: 10.18821/1560-9561-2018-21-1-31-37

2. Pronina TN, Karpovich NV, Polyanskaya YuN. The level of carbon dioxide content in classrooms and the degree of comfort of students. *Problems of school and university medicine and health*. 2015;3:32–35. (In Russ.).

3. Alegría-Sala A, Clèries Tardío E, Casals LC. CO_2 Concentrations and Thermal Comfort Analysis at Onsite and Online Educational Environments. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(23):16039. doi: 10.3390/ijerph192316039.

4. Rzyankina MF, Kostromina SA, Vasil'eva ZhB. School medicine: results and prospects for the development of the scientific direction. *Far East Medical Journal*. 2020;3:124–130. doi: 10.35177/1994-5191-2020-3-124-129

5. Shustova SA, Miroshkina TA. Protective mechanisms of the lungs. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2020;28(4):567–577. doi:10.23888/PAVLOVJ2020284567-577

6. Tainio M, Jovanovic AZ, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Air pollution, physical activit. *Environ Int.* 2021;147:105954. doi: 10.1016/j.envint.2020.105954

7. Andrade A, Dominski FH. Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *J Environ Manage*. 2018;206:577–586. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.11.001

8. Du B, Tandoc MC, Mack ML, Siegel JA. Indoor CO_2 concentrations and cognitive function: A critical review. *Indoor Air*. 2020;30(6): 1067–1082. doi: 10.1111/ina.12706

9. Eliseeva OV. To substantiate the maximum allowable concentration of carbon dioxide in the air. *Gigiena i sanitariya*. 1964;8:16–21. (In Russ.).

10. Davletova NKh, Tafeeva EA. Analysis of changes in the concentration of carbon dioxide in indoor air of a sports university. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;2:22–27. EDN: RWIEWN. doi: 10.35627/2219-5238/2021-335-2-22-27

11. Shendell DG, Gonzalez LN, Panchella JA, Morrell J. Time-Resolved Characterization of Indoor Air Quality due to Human Activity and Likely Outdoor Sources during Early Evening Secondary School Wrestling Matches. *J Environ Public Health*. 2021;7:5580616. doi: 10.1155/2021/5580616

12. SP 2/4/3648-20 «Sanitary and epidemiological requirements for organizations of education and training, recreation and health improvement of children and youth». Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74993644/ Link is active on 04 April 2023. (In Russ.).

13. SanPin 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». Available at: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf Link is active on 04 April 2023. (In Russ.).

14. National standard RF GOST R ISO 16000-26-2015 «Air of enclosed spaces. Part 26. Sampling in determining the content of carbon dioxide CO_2» Available at: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/486/4293759114.pdf. (In Russ.).

15. GOST 30494–2011. Buildings residential and public. The parameters of the microclimate in the premises. Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-30494-2011. Link is active on November 21, 2022. (In Russ.).

16. GOST R EN 13779–2007 Ventilation in non-residential buildings. Technical requirements for ventilation and air conditioning systems Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-en-13779-2007. The link is active as of November 21, 2022. (In Russ.).

17. Min. Sports of the Russian Federation No. 649 dated 19.08.2021 «On the recommended standards and norms for the provision of the population with sports infrastructure» Available at: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minsporta-Rossii-ot-19.08.2021-N-649. (In Russ.).

18. Gubernsky YuD, Kalinina NV, Gaponova EB, Banin IM. Justification of the permissible level of carbon dioxide in the air of residential and public buildings. *Gigiena i sanitariya*. 2014;93(6):37–41. (In Russ.). EDN: TFANVV.

19. Alves CA, Calvo AI, Castro A, et al. Indoor Air Quality in Two University Sports Facilities. *Aerosol Air Qual. Res*. 2013;13:1723–1730. doi: 10.4209/aaqr.2013.02.0045

20. Kuchma VR, Stepanova MI. Hygienic requirements for modern architectural and planning solutions for school buildings. *Gigiena i sanitariya*. 2021;100(9):998–1003. EDN: QTNEMZ. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-998-1003

21. Kuchma VR, Rapoport IK, Sukhareva LM, et al. Health of children and adolescents in school ontogenesis as a basis for improving the system of medical support and sanitary and epidemiological well-being of students. *Health* Care *of the Russian Federation*. 2021;65(4):325–333. EDN: QSJGDO. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333

ОБ АВТОРАХ

*** Мыльникова Инна Владимировна,** д-р мед. наук, доцент;
Адрес: Россия, 665827, Иркутская область, Ангарск, 12А микрорайон, д. 3, а/я 1170;
ORCID: 0000-0002-0169-4513;
eLibrary SPIN: 4281-2705;
e-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

Кудаев Андрей Николаевич;
ORCID: 0000-0002-6809-4707;
eLibrary SPIN: 1547-8390;
e-mail: andrej_baikal@mail.ru

Ефимова Наталья Васильевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-7218-2147;
eLibrary SPIN: 4537-9381;
e-mail: medecolab@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

*** Inna V. Mylnikova,** MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
Address: PO box 1170, 12A microdistrict, 3, Angarsk, 665827, Irkutsk region, Russia;
ORCID: 0000-0002-0169-4513;
eLibrary SPIN: 4281-2705;
e-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

Andrey N. Kudaev;
ORCID: 0000-0002-6809-4707;
eLibrary SPIN: 1547-8390;
e-mail: andrej_baikal@mail.ru

Natalya V. Efimova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-7218-2147;
eLibrary SPIN: 4537-9381;
e-mail: medecolab@inbox.ru