Статья поступила в редакцию 18.11.2025 г. **DOI:** 10.24412/2687-0053-2026-1-87-93 **EDN:** OYGZGD

Информация для цитирования:
Новикова И.И., Савченко О.А., Романенко С.П., Чуенко Н.Ф., Рева М.В. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ НАХОЖДЕНИИ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В УСЛОВИЯХ СУБХРОНИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА //Медицина в Кузбассе. 2026. №1. С. 87-93.

information for citation:
Savchenko O.A., Novikova I.I., Romanenko S.P., Chuenko N.F., Reva M.V. ASSESSMENT OF CHANGES IN BEHAVIORAL RESPONSES OF LABORATORY ANIMALS UNDER MODEL CONDITIONS WITH INCREASED CARBON DIOXIDE LEVELS IN A SUBCHRONIC EXPERIMENT. Medicine in Kuzbass. 2026; 1: 87-93.

Новикова И.И., Савченко О.А., Романенко С.П., Чуенко Н.Ф., Рева М.В.
ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ НАХОЖДЕНИИ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В УСЛОВИЯХ СУБХРОНИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование поведенческих реакций крыс Wistar при 56-дневном воздействии концентраций диоксида углерода (CO_2) от <500 ppm до >1500 ppm актуально, в связи с проблемой его накопления в воздухе закрытых помещений, несовершенной нормативной базой и недостаточностью доказательной экспериментальной базы о механизмах развития неврологических нарушений. Модельный эксперимент позволяет установить патогенетические закономерности влияния гиперкапнии на ЦНС и разработать критерии оценки риска для здоровья человека.

Цель исследования – оценка динамики изменений поведенческих реакций лабораторных крыс Wistar в условиях субхронического воздействия повышенных концентраций диоксида углерода.

Материал и методы. Объектом исследования служили 40 половозрелых самцов крыс линии Wistar массой 250-300 г. Животные были рандомизированы на 4 группы по 10 особей в каждой. Группа 1 (опытная, 1-я смена): воздействие ступенчато возрастающими концентрациями CO_2 (<500 ppm – 1-2 нед.; 500-1000 ppm – 3-4 нед.; 1000-1500 ppm – 5-6 нед.; >1500 ppm – 7-8 нед.) в течение 5,5 часов в день (с 8:00 до 13:30). Группа 2 (опытная, 2-я смена): аналогичное воздействие CO_2 в другое время суток (с 14:00 до 19:30). Группы 3 и 4 (контрольные): интактные животные, содержавшиеся в идентичных условиях без дополнительного воздействия CO_2 (<500 ppm – 0-8 нед.), с наблюдением в 1-ю и 2-ю смены соответственно. Воздействие CO_2 проводилось в герметичных камерах объемом 400 л. Оценке подлежали – функциональная активность нервной системы. Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 10.0. Данные представлены как медиана (Me) и перцентильный интервал. Критический уровень значимости для проверки статистических гипотез были приняты различия при $p \leq 0,05$. Опыты на животных проводили согласно правилам Европейской конвенции по защите животных, используемых в научных целях, после одобрения этической комиссии ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора. В исследовании использовались общепринятые и унифицированные методы.

Результаты и их обсуждение. В ходе 56-дневного эксперимента установлены статистически значимые ($p \leq 0,05$) дозозависимые нарушения поведенческих реакций, проявляющиеся прогрессирующим угнетением двигательной, исследовательской и эмоциональной активности. Полученные данные раскрывают патогенетические закономерности влияния хронической гиперкапнии на центральную нервную систему и подтверждают необходимость пересмотра критериев оценки риска для здоровья человека при длительном пребывании в помещениях с повышенным содержанием CO_2.

Заключение. В результате 56-дневного субхронического эксперимента установлено, что воздействие CO_2 в концентрациях ≥1000 ppm вызывает у лабораторных крыс дозозависимое прогрессирующее угнетение двигательной, исследовательской и эмоциональной активности. Выявленный выраженный нейротропный эффект хронической гиперкапнии не зависел от времени суток воздействия. Полученные данные, в особенности обнаруженное сходство с процессами возраст-зависимого снижения функций ЦНС, обосновывают необходимость пересмотра существующих гигиенических нормативов содержания CO_2 в воздухе закрытых помещений.

Ключевые слова: воздействие диоксида углерода; крысы линии Wistar; изменение функционального состояния центральной нервной системы; угнетение поведенческих реакций; субхронический эксперимент

Savchenko O.A., Novikova I.I., Romanenko S.P., Chuenko N.F., Reva M.V.
Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia

ASSESSMENT OF CHANGES IN BEHAVIORAL RESPONSES OF LABORATORY ANIMALS UNDER MODEL CONDITIONS WITH INCREASED CARBON DIOXIDE LEVELS IN A SUBCHRONIC EXPERIMENT

The study of behavioral responses of Wistar rats under a 56-day exposure to carbon dioxide (CO_2) concentrations ranging from <500 ppm to >1500 ppm is relevant due to the issue of its accumulation in indoor air, an imperfect regulatory framework, and the lack of sufficient

experimental evidence on the mechanisms of neurological disorders. A model experiment allows the establishment of pathogenic patterns of hypercapnia's effects on the CNS and the development of criteria for assessing human health risk.

The aim of the study is to assess the dynamics of changes in the behavioral responses of Wistar laboratory rats under conditions of subchronic exposure to elevated concentrations of carbon dioxide.

Materials and methods. The study involved 40 mature male Wistar rats weighing 250-300 g. The animals were randomized into 4 groups of 10 animals each. Group 1 (experimental, 1st shift): exposure to gradually increasing CO_2 concentrations (<500 ppm – 1-2 weeks; 500-1000 ppm – 3-4 weeks; 1000-1500 ppm – 5-6 weeks; >1500 ppm – 7-8 weeks) for 5.5 hours a day (from 8:00 to 13:30). Group 2 (experimental, 2nd shift): similar exposure to CO_2 at a different time of day (from 14:00 to 19:30). Groups 3 and 4 (control): intact animals maintained under identical conditions without additional CO_2 exposure (<500 ppm – 0-8 weeks), with observation during the first and second shifts, respectively. CO_2 exposure was conducted in sealed 400-liter chambers. The following parameters were assessed: functional activity of the nervous system.

Statistical analysis was performed using the Statistica 10.0 software. Data are presented as median (Me) and percentile range. The critical significance level for testing statistical hypotheses was considered to be differences at $p \leq 0.05$. Animal experiments were conducted in accordance with the rules of the European Convention for the Protection of Animals used for Scientific Purposes, after approval by the Ethics Committee of the FSBI «Novosibirsk Research Institute of Hygiene» of Rospotrebnadzor. The study employed generally accepted and standardized methods.

Results and their discussion. During a 56-day experiment, statistically significant ($p \leq 0.05$) dose-dependent impairments in behavioral responses were observed, manifested as progressive suppression of motor, exploratory, and emotional activity. The obtained data reveal the pathogenetic patterns of the effects of chronic hypercapnia on the central nervous system and confirm the need to revise the criteria for assessing health risks for humans during prolonged exposure in rooms with elevated CO_2 levels.

Conclusion. As a result of a 56-day subchronic experiment, it was found that exposure to CO_2 at concentrations ≥1000 ppm causes dose-dependent progressive suppression of motor, exploratory, and emotional activity in laboratory rats. The pronounced neurotropic effect of chronic hypercapnia did not depend on the time of day of exposure. The obtained data, particularly the observed similarity with age-related declines in CNS functions, justify the need to revise existing hygiene standards for CO_2 levels in indoor air.

Key words: carbon dioxide exposure; Wistar rat strain; changes in the functional state of the central nervous system; suppression of behavioral responses; subchronic experiment.

Проблема качества воздуха в закрытых помещениях и его влияния на здоровье человека, в особенности на когнитивные функции и психофизиологическое состояние, приобретает все большую актуальность [1]. Ключевым индикатором качества воздушной среды является концентрация диоксида углерода (CO_2), уровень которого в помещениях может многократно превышать атмосферный (~400 ppm) [2, 3]. Многочисленные эпидемиологические и экспериментальные исследования демонстрируют, что хроническое воздействие умеренно повышенных концентраций CO_2 (1000-2500 ppm), типичных для учебных аудиторий, офисов и жилых зданий, ассоциировано со снижением производительности умственного труда, ухудшением когнитивных функций и принятия решений [4, 5].

Несмотря на накапливающиеся результаты исследований, механизмы нейротоксического действия CO_2 при длительном воздействии, так называемые «субклинические» эффекты гиперкапнии, остаются недостаточно изученными [6]. Существующая нормативная база в различных странах, устанавливающая предельно допустимые концентрации CO_2 в пределах 800-1400 ppm, часто основана на порогах восприятия запахов и комфорта, а не на оценке функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) [7]. В этой связи проведение контролируемых экспериментальных исследований на лабораторных животных является необходимым этапом для установления патогенетических закономерностей и обоснования научно-доказательных гигиенических нормативов [8, 9].

Целью исследования явилась оценка динамики изменений поведенческих реакций лабораторных крыс Wistar в условиях субхронического воздействия повышенных концентраций диоксида углерода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили 40 половозрелых самцов крыс линии Wistar массой 250-300 г. Животные были рандомизированы на 4 группы по 10 особей в каждой. Группа 1 (опытная, 1-я смена): воздействие ступенчато возрастающими концентрациями CO_2 (<500 ppm – 1-2 нед.; 500-1000 ppm – 3-4 нед.; 1000-1500 ppm – 5-6 нед.; >1500 ppm – 7-8 нед.) в течение 5,5 часов в день (с 8:00 до 13:30). Группа 2 (опытная, 2-я смена): аналогичное воздействие CO_2 в другое время суток (с 14:00 до 19:30). Группы 3 и 4 (контрольные): интактные животные, содержавшиеся в идентичных условиях без дополнительного воздействия CO_2 (<500 ppm – 0-8 нед.), с наблюдением в 1-ю и 2-ю смены соответственно. Воздействие CO_2 проводилось в герметичных камерах объемом 400 л. Повышенные концентрации CO_2 в камерах создавались путем ограничения притока наружного воздуха. Животные опытных групп Г1 и Г2 находились в герметизированных камерах в течение ~45 минут, после чего незамедлительно проводился поведенческий тест («открытое поле»). Для регистрации концентрации CO_2 использовался измерительно-регистрационный прибор Eclerk-Eco-M-RHTC-11.

Поведенческие тесты проводились во всех группах на 0, 14, 28, 42 и 56-е сутки эксперимента.

Оценивались следующие параметры: горизонтальная (ГДА) и вертикальная (ВДА) двигательная активность, груминг, эмоциональная активность (ЭА) и количество исследуемых норок. Все экспериментальные процедуры выполнены в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных и Руководством по уходу и содержанию лабораторных животных. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (протокол № 5 от 10.09.2024 г.).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета Statistica 10.0. Для оценки различий применялись непараметрические критерии. Данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильного размаха [25-й; 75-й процентили]. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе 56-дневного эксперимента у животных всех групп отмечалась физиологическая прибавка массы тела и сохранение температурного гомеостаза, что исключает общетоксическое действие применяемых концентраций CO_2 и свидетельствует об избирательном, нейротропном характере воздействия на ориентировочно-исследовательское поведение лабораторных животных (табл.).

Результаты оценки поведенческих реакций выявили статистически значимые ($p \leq 0,05$) и прогрессирующие нарушения у крыс опытных групп (№ 1, № 2) по сравнению с контролем (№ 3, № 4). Как показано в таблице, у животных опытных групп, подвергавшихся воздействию повышенных концентраций CO_2, наблюдалось выраженное дозозависимое угнетение всех исследуемых показателей по мере увеличения концентрации CO_2 и продолжительности эксперимента.

В опытных группах при переходе от фоновых значений (<500 ppm) к концентрации >1500 ppm показатель горизонтальной двигательной активности (ГДА) снизился в группе № 1 на 75,8% (с 33,0 до 8,0 у.е.), а в группе № 2 – на 76,9% (с 32,5 до 7,5 у.е.). Показатель вертикальной двигательной активности (ВДА) продемонстрировал аналогичное снижение: в группе № 1 на 73.3% (с 7.5 до 2.0 у.е.), в группе № 2 – на 73,3% (с 7,5 до 2,0 у.е.). Угнетение груминга наблюдалось в группе № 1 на 76,9% (с 13,0 до 3,0), в группе № 2 – на 76,9% (с 13,0 до 3,0). Наиболее выраженное снижение наблюдалось для исследовательской активности (ЭА): в группе № 1 на 66,7% (с 3,0 до 1,0 у.е.), в группе № 2 – на 100% (с 3,0 до 0,0 у.е.). Статистически значимое снижение количества исследуемых норок также подтверждает угнетение исследовательского поведения.

В контрольных группах, находившихся в обычных условиях при концентрации CO_2 (<500 ppm), также наблюдалось постепенное снижение поведенческих реакций к 56-м суткам, что, вероятно, связано с адаптацией животных к повторяющимся тестам и условиям содержания, а также взрослением животных. Однако степень этого снижения была существенно менее выраженной по сравнению с опытными группами. Например, ГДА в контрольной группе № 1 снизилась лишь на 28,6% (с 31,5 до 22,5 у.е.), а ВДА – на 62,5% (с 8,0 до 3,0 у.е.), что значительно меньше, чем в группах с воздействием высоких концентраций CO_2.

Важно отметить, что достоверных различий между динамикой поведенческих реакций в опытных группах № 1 и № 2 выявлено не было, что указывает на независимость развивающихся нарушений от времени суток воздействия (1 и 2 смены).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования демонстрируют согласованность экспериментальных данных с наблюдениями за людьми, где воздействие CO_2 в диапазоне 1000-2500 ppm вызывало статистически значимое ухудшение когнитивных функций, включая снижение скорости принятия решений и стратегического мышления [4, 5, 10]. Прогрессирующее угнетение двигательной и исследовательской активности, а также снижение эмоциональной реактивности в нашем эксперименте коррелирует с эпидемиологическими данными о связи повышенных концентраций CO_2 в учебных и офисных помещениях со снижением производительности и внимания [11].

С нейрофизиологической точки зрения, наблюдаемые поведенческие нарушения могут быть обусловлены развитием компенсированного респираторного ацидоза. Сдвиг pH в кислую сторону приводит к дисфункции ключевых нейротрансмиттерных систем, включая гиперстимуляцию NMDA-рецепторов с последующей эксайтотоксичностью и нарушением синаптической пластичности в гиппокампе [12]. Дополнительным подтверждением служат данные о нарушении GABA-ергического торможения и модуляции серотонинергической передачи при воздействии CO_2 [13], что соответствует наблюдаемому снижению эмоциональной реактивности.

56-дневное воздействие CO_2 (≥1000 ppm) вызывало дозозависимое угнетение поведенческих показателей, соответствующее фундаментальным токсикологическим принципам [14, 15]. Особую значимость представляет установление нейротропных эффектов при концентрациях 1000-1500 ppm, традиционно считающихся относительно безопасными.

Полученные данные также свидетельствуют о потенциальной роли хронической гиперкапнии, как фактора ускоренного старения ЦНС [16]. Выявленные нарушения когнитивно-моторных функций демонстрируют сходство с возраст-зависимым снижением поведенческой пластичности. Ключевыми механизмами данного процесса являются оксидативный стресс и митохондриальная дисфункция, нарушение протеостаза с активацией нейровоспаления, эпигенетические изменения и укорочение теломер [16].

Таблица

Показатели ориентировочно-исследовательского поведения лабораторных животных опытных и контрольных и групп в динамике субхронического 56-дневного эксперимента, Me [QL; QU]

Table

Indicators of exploratory behavior of laboratory animals in control and experimental groups during the course of a subchronic 56-day experiment, Me [QL; QU]

№ смены	Исследуемые реакции	Концентрации диоксида углерода	Исследуемые показатели в динамике наблюдения				
			0 сутки (фон)	14 сутки (1–2 неделя)	28 сутки (3–4 неделя)	42 сутки (5–6 неделя)	56 сутки (7–8 неделя)
Группа 1 (опытная № 1, 1-я смена)							
1 смена	ГДА (у.е.)	< 500 (1-2 неделя)	33,0 [31,25; 33,75]	30,5 [28,25; 31,75]			
		500-1000 (3-4 неделя)			18,0 [17,25; 19,0]*,*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				10,5 [9,25; 12,75]*,*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					8,0 [7,25; 9,0]*,*,#
	ВДА (у.е.)	< 500 (1-2 неделя)	7,5 [6,25; 8,0]	6,0 [6,0; 7,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			4,0 [3,0; 4,0]*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				3,0 [2,25; 3,75]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					2,0 [1,25; 2,75]*,#
	Груминг	< 500 (1-2 неделя)	13,0 [12,25; 14,75]	11,5 [10,25; 12,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			8,0 [7,25; 9,0]*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				4,5 [4,0; 6,75]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					3,0 [2,0; 3,75]*,#
	ЭА	< 500 (1-2 неделя)	3,0 [3,0; 4,0]	3,0 [2,25; 3,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			2,0 [2,0; 2,0]		
		1000-1500 (5-6 неделя)				1,0 [1,0; 2,0]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					1,0 [0,25; 1,0]*,#
	Количество исследуемых норок	< 500 (1-2 неделя)	3,0 [3,0; 3,75]	3,0 [2,0; 3,0]	-	-	-
		500-1000 (3-4 неделя)	-	-	2,0 [1,0; 2,0]*,#	-	-
		1000-1500 (5-6 неделя)	-	-	-	1,0 [1,0; 1,0]*,#	-
		> 1500 (7-8 неделя)	-	-	-	-	0,5 [0,0; 1,0]*,#
Группа 2 (опытная № 2, 2-я смена)							
2 смена	ГДА (у.е.)	< 500 (1-2 неделя)	32,5 [27,5; 33,75]	30,5 [26,75; 32,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			17,0 [16,0; 18,5]*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				10,5 [9,00; 12,50]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					7,5 [6,00; 8,75]*,#

2 смена	ВДА (у.е.)	< 500 (1-2 неделя)	7,5 [6,25; 8,0]	5,5 [5,0; 6,75]			
		500-1000 (3-4 неделя)			3,5 [3,0; 4,0]*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				3,0 [2,0; 3,0]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					2,0 [1,25; 2,0]*,#
	Груминг	< 500 (1-2 неделя)	13,0 [12,0; 14,0]	12,0 [10,25; 12,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			8,0 [7,0; 8,75]*,#		
		1000-1500 (5-6 неделя)				5,0 [4,0; 6,0]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					3,0 [2,25; 3,75]*,#
	ЭА	< 500 (1-2 неделя)	3,0 [2,25; 3,75]	2,5 [2,0; 3,0]			
		500-1000 (3-4 неделя)			2,0 [1,0; 2,0]		
		1000-1500 (5-6 неделя)				1,0 [1,0; 1,0]*,#	
		> 1500 (7-8 неделя)					0,0 [0,0; 1,0]*,#
	Количество исследуемых норок	< 500 (1-2 неделя)	3,0 [2,25; 3,75]	3,0 [2,0; 3,0]	-	-	-
		500-1000 (3-4 неделя)	-	-	2,0 [2,0; 2,0]*,#	-	-
		1000-1500 (5-6 неделя)	-	-	-	1,0 [1,0; 2,0]*,#	-
		> 1500 (7-8 неделя)	-	-	-	-	0,5 [0,0; 1,0]*,#
Группа 3 (Контрольная группа № 1)							
1 смена	ГДА (у.е.)	< 500	31,5 [25,75; 35,75]	32,0 [29,0; 33,75]	28,5 [26,0; 29,75]	23,0 [22,25; 25,5]*,#	22,5 [18,5; 24,0]*,#
	ВДА (у.е.)		8,0 [7,0; 8,75]	6,0 [5,25; 7,0]*,#	5,0 [5,0; 6,0]*,#	4,0 [3,25; 4,0]*,#	3,0 [3,0; 3,0]*,#
	Груминг		13,0 [12,0; 14,0]	12,0 [11,0; 12,75]*	9,5 [9,0; 10,0]*,#	8,0 [7,0; 8,75]*,#	7,0 [5,25; 7,0]*,#
	ЭА		3,0 [3,0; 3,75]	2,5 [2,0; 3,75]	2,0 [2,0; 3,0]	2,0 [2,0; 3,0]*,#	2,0 [2,0; 2,0]*,#
	Количество исследуемых норок		3,0 [3,0; 3,0]	3,0 [2,25; 3,0]	2,0 [2,0; 3,0]*,#	1,5 [1,0; 2,0]*,#	1,0 [1,0; 1,0]*,#
Группа 4 (Контрольная группа № 2)							
2 смена	ГДА (у.е.)	< 500	30,0 [25,75; 38,0]	28,5 [26,0; 35,0]	29,0 [25,5; 30,75]	24,5 [22,25; 26,0]*,#	21,0 [20,0;25,75]*,#
	ВДА (у.е.)		8,0 [6,0; 8,0]	6,0 [5,25; 6,75]*	5,0 [4,0; 5,75]*,#	3,5 [3,0; 4,0]*,#	3,0 [2,25; 3,0]*,#
	Груминг		13,0 [11,25; 14,0]	11,5 [10,0; 12,75]*	9,0 [8,0; 9,75]*,#	7,5 [6,25; 8,75]*	6,0 [5,0; 7,0]*,#
	ЭА		3,0 [2,0; 4,0]	2,5 [2,0; 3,0]	2,0 [2,0; 3,0]	2,0 [2,0; 2,75]*,#	2,0 [2,0; 2,0]*,#
	Количество исследуемых норок		3,0 [3,0; 3,75]	3,0 [2,0; 3,0]*	2,0 [2,0; 2,75]	1,5 [1,0; 2,0]*,#	1,0 [1,0; 1,0]*,#

Примечание: * – статистически значимые отличия ($p < 0,05$) от показателей на 0-е сутки; # – статистически значимые отличия ($p < 0,05$) опытных групп (Г1, Г2) от групп контроля (Г3, Г4) на соответствующие сутки, в зависимости от концентрации диоксида углерода в динамике наблюдения.

Note: * – statistically significant differences ($p < 0.05$) from the values on day 0; # – statistically significant differences ($p < 0.05$) of the experimental groups (G1, G2) from the control groups (G3, G4) on the corresponding days, depending on the carbon dioxide concentration during the observation period.

Таким образом, хроническое воздействие CO_2 создает условия, имитирующие и потенцирующие процессы старения ЦНС, что позволяет рассматривать гиперкапническую среду как значимый фактор риска не только острых когнитивных нарушений, но и ускоренного нейродегенеративного старения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате 56-дневного субхронического эксперимента установлено, что воздействие CO_2 в концентрациях ≥1000 ppm вызывает у лабораторных крыс дозозависимое прогрессирующее угнетение двигательной, исследовательской и эмоциональной активности. Выявленный выраженный нейротропный эффект хронической гиперкапнии не зависел от времени суток воздействия. Полученные данные, в особенности обнаруженное сходство с процессами возраст-зависимого снижения функций ЦНС, обосновывают необходимость пересмотра существующих гигиенических нормативов содержания CO_2 в воздухе закрытых помещений.

Особую значимость приобретает установление потенцирующей роли хронической гиперкапнии в процессах, сходных с ускоренным старением ЦНС, что требует дальнейших исследований для разработки превентивных мер.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Изучение процессов клеточного старения и биологического возраста, работающих с различными факторами производственной вредности в управлении трудовым долголетием» (Рег.№ АААА-А19-119070190016-3. Государственное задание № 141-00094-23-00 на 2023 год и на плановый период 2025 года)

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

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*. 2005; 15(1): 27-52. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x
2. Health evaluation of carbon dioxide in indoor air. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2008; 51(11): 1358-1369. doi: 10.1007/s00103-008-0707-2
3. CO_2 Monitoring and Indoor Air Quality: Expert Article by Testo. Russian (Мониторинг CO2 и качество воздуха в помещении: экспертная статья Testo.) URL: https://climatecontrolsolutions.ru/images/Whitepaper-testo-160-IAQ-RU.pdf (дата обращения: 15.05.2024)).
4. Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S., Fisk WJ. Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect*. 2012; 120(12): 1671-1677. doi: 10.1289/ehp.1104789
5. Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ Health Perspect*. 2016; 124(6): 805-812. doi: 10.1289/ehp.1510037
6. Kajtar L, Herczeg L. Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work. *Időjárás*. 2012; 116(2): 145-169.
7. Novikova II, Sorokina AV, Lobkis MA, Zubtsovskaya NA, Semenikhina MV, Sheveleva VA, Nazimkin NI. Carbon dioxide: issues of regulation, monitoring, and prevention of adverse effects in educational organizations. *Russian Bulletin of Hygiene*. 2023; (4): 18-28. Russian (Новикова И.И., Сорокина А.В., Лобкис М.А., Зубцовская Н.А., Семенихина М.В., Щевелева В.А., Назимкин Н.И. Углекислый газ: проблемы нормирования, контроля и профилактики неблагоприятного воздействия в образовательных организациях //Российский вестник гигиены. 2023. № 4. С. 18-28.) doi: 10.24075/rbh.2023.081
8. Savchenko OA, Ogudov AS, Savchenko OA, Chuyenko NF, Savchenko OO. The impact of nanoparticles and nanomaterials on warm-blooded organisms and the processes of their accelerated aging. *National Priorities of Russia*. 2025; 1(56): 77-84. Russian (Савченко О.А., Огудов А.С., Савченко О.А., Чуенко Н.Ф., Савченко О.О. Влияние наночастиц и наноматериалов на теплокровный организм и процессы его ускоренного старения //Национальные приоритеты России. 2025. № 1(56). С. 77-84.)
9. Mansurov RSh, Gurin MA, Rubel EV. The influence of carbon dioxide concentration on the human body. *Universum: Technical Sciences*. 2017; (8): 20-23. Russian (Мансуров Р.Ш., Гурин М.А., Рубель Е.В. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека //Universum: технические науки. 2017; № 8. С. 20-23.)
10. Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D. Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*. 2004; 14(5): 333-341. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x
11. Petersen S, Jensen KL, Pedersen ALS, Rasmussen HS. The effect of increased classroom ventilation rate indicated by reduced CO2 concentration on the performance of schoolwork by children. *Indoor Air*. 2016; 26(3): 366-379. doi: 10.1111/ina.12210
12. Gorman D, Drewry A, Huang YL, Sames C. The clinical toxicology of carbon monoxide. *Toxicology*. 2003; 187(1): 25-38. doi: 10.1016/s0300-483x(03)00005-2
13. Kiray M, Sisman AR, Camsari UM, Eser HY, Gencoglu C, Baykara B, Aksu I. The effects of carbon dioxide exposure on the anxiety-like behavior and GABA/glutamate balance in the amygdala of rats: A behavioral and proton magnetic resonance spectroscopy study. *J Chem Neuroanat*. 2021; 118: 102037. doi: 10.1016/j.jchemneu.2021.102037

14. Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, Pääkkönen R, Hirvonen A, Niemi O, Vinha J. The effects of low-level carbon dioxide exposure on learning and memory in rats. *Environmental Research*. 2018; 167: 706-712. doi: 10.1016/j.envres.2018.09.003
15. Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment Int*. 2018; 121: 51-56. doi: 10.1016/j.envint.2018.08.059
16. Savchenko OA, Novikova II, Savchenko OA. Comparative assessment of the isolated influence of physical and chemical factors on the relative telomere length of laboratory animals in model conditions. *Health Risk Analysis*. 2025; (1): 106-113. Russian (Савченко О.А., Новикова И.И., Савченко О.А. Сравнительная оценка изолированного влияния физических и химических факторов на относительную длину теломер лабораторных животных в модельных условиях //Анализ риска здоровью. 2025. № 1. С. 106-113.) doi: 10.21668/health.risk/2025.1.10

Сведения об авторах:

НОВИКОВА Ирина Игоревна, доктор медицинских наук, профессор, директор ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, Россия.
E-mail: novikova_ii@niig.su

САВЧЕНКО Олег Андреевич, канд. биол. наук, ведущий науч. сотрудник отдела токсикологии с санитарно-химической лабораторией, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, Россия. E-mail: Savchenkooa1969@mail.ru

РОМАНЕНКО Сергей Павлович, канд. мед. наук, зам. директора, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, Россия.
E-mail: romanenko_sp@niig.su

ЧУЕНКО Наталья Федоровна, науч. сотрудник отдела токсикологии с санитарно-химической лабораторией, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, Россия. E-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

РЕВА Максим Викторович, научн. сотрудник отдела токсикологии с санитарно-химической лабораторией, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, Россия. E-mail: reva_mv@niig.su

Information about authors:

NOVIKOVA Irina Igorevna, doctor of medical sciences, professor, director, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Parkhomenko St., 7, Russia.
E-mail: novikova_ii@niig.su

SAVCHENKO Oleg Andreevich, candidate of biological sciences, leading researcher department of toxicology with sanitary chemical laboratory, leading researcher of the toxicology department with sanitary-chemical laboratory, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Parkhomenko St., 7, Russia.
E-mail: Savchenkooa1969@mail.ru

ROMANENKO Sergey Pavlovich, candidate of medical sciences, deputy director of the Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Parkhomenko St., 7, Russia.
E-mail: romanenko_sp@niig.su

CHUENKO Natalya Fedorovna, researcher of the toxicology department with sanitary-chemical laboratory, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Parkhomenko St., 7, Russia. Email: natali26.01.1983@yandex.ru

REVA Maxim Viktorovich, researcher of the toxicology department with sanitary-chemical laboratory, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Parkhomenko St., 7, Russia.
Email: reva_mv@niig.su

Корреспонденцию адресовать: ЧУЕНКО Наталья Федоровна, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора.
Тел: 8 (3833) 43-42-37; E-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

CC BY 4.0
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
© *Новикова И.И., Савченко О.А., Романенко С.П., Чуенко Н.Ф., Рева М.В.*