

*Е. Е. Левша, М. И. Римжа, Н. Л. Бацукова, В. И. Дорошевич,
А. В. Павлов, Н. А. Фролов, Л. В. Золотухина*

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ВОЗДУХЕ ПАЛАТ ОЖОГОВОГО ОТДЕЛЕНИЯ В ТЕПЛОЕ И ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

По результатам 1552 исследований содержания углекислого газа в воздухе реанимационных и послеоперационных палат ожогового отделения установлено, что концентрация газа колеблется от 543 см³/м³ до 2250 см³/м³. Допустимый гигиенический норматив для закрытых помещений до 1000 см³/м³ отмечен в 61,9% случаев, а оптимальный уровень (501–700 см³/м³) – в 24,5%. Насыщенность воздуха углекислым газом зависит от сезона года и оказывается выше в период отопительного сезона (октябрь–апрель). В палатах, оснащённых системой принудительной вентиляции с преобладанием объёма удаляемого воздуха над объёмом поступающего, концентрация углекислого газа как в тёплое, так и в холодное время года ниже, чем в палатах с одинаковым объёмом воздухообмена.

Ключевые слова: *ожоговое отделение, воздушная среда, углекислый газ, время года.*

***E. E. Levsha, M. I. Rimzha, N. L. Batsukova,
V. I. Doroshevich, A. V. Pavlov, N. A. Frolov, L. V. Zolotukhina***

THE CONTENT OF CARBON DIOXIDE IN THE AIR CHAMBERS OF THE BURN UNIT IN WARM AND COLD SEASONS

According to the results of 1552 studies of carbon dioxide content in the air of the intensive care and recovery rooms in the burn unit found that the gas concentration ranges from 543 cm³/m³ to 2250 cm³/m³. Acceptable hygienic standard for confined spaces up to 1000 cm³/m³ observed in 61.9% of cases, and the optimal level (501–700 cm³/m³) is 24.5%. The saturation of the air with carbon dioxide depends on the season and is higher in the heating season (october-april). In the chambers, equipped with a forced ventilation system with a predominance of the removing of air flow, the concentration of carbon dioxide in both warm and cold seasons are lower than in wards with the same volume of air.

Key words: *burn unit, air, carbon dioxide, time of the year.*

Содержание углекислого газа (диоксид углерода, CO_2) является одним из основных гигиенических показателей, характеризующих качество воздушной среды. Известно, что в атмосферном воздухе в загородной зоне его концентрация наиболее низкая и составляет 300–400 $\text{см}^3/\text{м}^3$; в спальнях районов города – 450–500 $\text{см}^3/\text{м}^3$; вблизи автомагистралей – 300–400 $\text{см}^3/\text{м}^3$, а на магистрали достигает 1000–1500 $\text{см}^3/\text{м}^3$. Что касается воздуха закрытых помещений, то в зарубежных странах приняты следующие нормативы содержания CO_2 : в США от 600 до 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$; в классах школ Великобритании – до 1500 $\text{см}^3/\text{м}^3$; в детских садах Голландии до 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$, а в школах до 1200 $\text{см}^3/\text{м}^3$; в школах Эстонии до 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$. В Финляндии качество воздушной среды оценивается как высокое при содержании CO_2 до 700 $\text{см}^3/\text{м}^3$, среднее – до 900 $\text{см}^3/\text{м}^3$, удовлетворительное – не выше 1200 $\text{см}^3/\text{м}^3$ [1].

Гигиеническими исследованиями российских ученых доказано, что содержание CO_2 на уровне 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$ может рассматриваться как критерий безопасной воздушной среды жилых и общественных зданий, поскольку при такой концентрации не отмечено ухудшения самочувствия и работоспособности человека, не происходит накопления токсических химических веществ и не отмечается снижение содержания кислорода в воздухе [1]. При увеличении концентрации диоксида углерода более 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$ появляются нарушения функции внешнего дыхания, кровообращения и электрической активности головного мозга [2].

Поддержание концентрации углекислого газа на уровне не выше 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$ в воздухе лечебно-профилактических организаций является важнейшим гигиеническим требованием обеспечения физиологически благоприятных условий пребывания пациентов. Особенно это актуально в палатах ожоговых отделений, в которых находятся не мобильные пациенты с обширными раневыми поверхностями, с термическими поражениями слизистых оболочек верхних дыхательных путей. По наблюдениям ряда авторов, даже здоровые люди, находящиеся в помещениях с повышенным содержанием углекислого газа, чаще болеют ринитом, фарингитом, тонзиллитом, у них увеличивается частота приступов астмы, аллергических реакций [3, 4].

Негативное воздействие на качество воздушной среды оказывает повышенная герметизация помещений (установка стеклопакетов, двойные двери и др.), приводящая к уменьшению естественного воздухообмена и ухудшению качества воздушной среды. Резонно предположить, что концентрация CO_2 будет зависеть и от сезона года, когда в теплое время вентиляция помещений увеличивается через открытые окна и фрамуги и, наоборот, уменьшается в период отопительного сезона.

Цель исследований состояла в сравнительной оценке концентрации углекислого газа в воздухе палат ожогового отделения в теплое и холодное время года, в том числе с учетом системы вентиляции помещений.

Материал и методы. Содержание газа определяли комбинированным прибором Wall-Mount CO_2 monitor в соответствии с прилагаемой инструкцией производителя. Измерение уровня CO_2 проводили в величинах ppm (parts per million), т. е. количества частиц CO_2 на один миллион частиц воздуха (1000 ppm = 0,1% CO_2) и выражали в см^3 в 1 м^3 воздуха.

Исследования проведены в палатах отделения интенсивной терапии и реанимации Минской городской клинической больницы скорой медицинской помощи, оснащенных системой приточно-вытяжной вентиляции с преобладанием объема удаляемого воздуха над объемом подаваемого, а также в послеоперационных палатах с системой воздухообмена в равных объемах. Всего выполнено 1552 исследования, в т. ч. 637 в теплое время года (май-сентябрь) и 915 – в период отопительного сезона (октябрь-апрель).

Полученные цифровые данные обработаны статистически с использованием приемов, адекватных поставленным задачам и объемам выборочных совокупностей. Для сравнительной характеристики изучаемых явлений рассчитывались экстенсивные показатели со статистическими ошибками. Значимость различий между двумя величинами оценивали по величине *t*-критерия Стьюдента в сравнении с критическими уровнями для конкретного объема выборочных совокупностей.

Результаты и обсуждение

Из 1552 исследований, проведенных в палатах ожогового отделения, в 961 (61,9 ± 1,2%) концентрация CO_2 составила от 543 (самый низкий зафиксированный показатель) до 1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$, в том числе в 381 исследовании (24,5 ± 1,1%) содержание газа находилось в пределах до 700 $\text{см}^3/\text{м}^3$, который рассматривался как оптимальный для лечебно-профилактических организаций.

В теплое время года на долю показателей от минимального уровня (500 $\text{см}^3/\text{м}^3$) до гигиенически допустимого (1000 $\text{см}^3/\text{м}^3$) приходилось 85,78 ± 1,4% (546 исследований из 637 проведенных), а в холодное время – (45,4 ± 1,6%), т. е. в 1,9 раза меньше ($P < 0,001$). Аналогичная закономерность отмечена и для рекомендуемой оптимальной концентрации CO_2 (501–700 $\text{см}^3/\text{м}^3$), удельный вес которой составлял, соответственно, 34,0 ± 1,9% и 17,9 ± 1,3% ($P < 0,001$).

В целом в теплое время года отмечался больший удельный вес результатов исследований с низкой концентрацией газа (501–700 $\text{см}^3/\text{м}^3$), чем в период отопительного сезона (табл. 1).

Таблица 1. Доля (абс. и %) отдельных концентраций углекислого газа в палатах ожогового отделения в теплое и холодное время года

| Концентрация CO_2 , ($\text{см}^3/\text{м}^3$) | Частота обнаружения | | | | P |
|---|---------------------|----------------|-------------------|-------------------|---------|
| | абс. | | % | | |
| | теплое время | холодное время | теплое время | холодное время | |
| 501–600 | 75 | 24 | 11,8 ± 1,3 | 2,6 ± 0,5 | < 0,001 |
| 601–700 | 142 | 140 | 22,3 ± 1,6 | 15,3 ± 1,2 | < 0,001 |
| 701–800 | 165 | 93 | 25,9 ± 1,7 | 10,2 ± 1,0 | < 0,001 |
| 801–900 | 88 | 66 | 13,8 ± 1,4 | 7,2 ± 0,9 | < 0,001 |
| 901–1000 | 76 | 92 | 11,9 ± 1,3 | 10,1 ± 1,0 | > 0,05 |
| 1001–1100 | 30 | 95 | 4,7 ± 0,8 | 10,4 ± 1,1 | < 0,001 |
| 1101–1200 | 15 | 123 | 2,4 ± 0,6 | 13,4 ± 1,1 | < 0,001 |
| 1201–1300 | 19 | 104 | 2,9 ± 0,7 | 11,4 ± 1,1 | < 0,001 |
| 1301–1400 | 8 | 60 | 1,3 ± 0,4 | 6,6 ± 0,8 | < 0,001 |
| 1401–1500 | 3 | 45 | 0,5 ± 0,3 | 4,9 ± 0,7 | – |
| 1501–1600 | 6 | 26 | 0,9 ± 0,4 | 2,8 ± 0,5 | < 0,001 |
| 1601–1700 | 4 | 23 | 0,6 ± 0,3 | 2,5 ± 0,5 | < 0,001 |
| Более 1701 | 6 | 24 | 0,9 ± 0,4 | 2,6 ± 0,5 | < 0,001 |
| Всего: | 637 | 915 | 100,0 | 100,0 | |

Оригинальные научные публикации

Содержание углекислого газа в значительной степени зависело от системы вентиляции помещений. В частности, в палатах отделения интенсивной терапии и реанимации, оснащенных системой приточно-вытяжной вентиляции с преобладанием оттока воздуха над притоком, на долю концентраций 501–1000 см³/м³ в теплое время года приходилось 170 исследований из 173 (98,3 ± 0,9%), а в холодное – 236 из 242 (97,5 ± 1,0%), т. е. статистически значимых различий между относительными показателями не отмечено (P > 0,05). Однако что касается рекомендуемого оптимального уровня (501–700 см³/м³), то в тёплое время года он отмечен в 132 исследованиях из 153 (76,3 ± 3,2%), а в холодное время года при отсутствии дополнительной естественной вентиляции через открытые окна и фрамуги – в 153 исследованиях из 242 проведенных (63,2 ± 3,1%), т. е. в 1,2 раза реже (табл. 2).

Таблица 2. Доля (абс. и %) отдельных концентраций углекислого газа в палатах отделения интенсивной терапии и реанимации в тёплое и холодное время года

| Концентрация CO ₂ , (см ³ /м ³) | Частота обнаружения | | | | P |
|---|---------------------|----------------|-------------------|-------------------|---------|
| | абс. | | % | | |
| | теплое время | холодное время | теплое время | холодное время | |
| 501–600 | 66 | 23 | 38,2 ± 3,7 | 9,5 ± 1,9 | < 0,001 |
| 601–700 | 66 | 130 | 38,2 ± 3,7 | 53,7 ± 3,2 | < 0,001 |
| 701–800 | 19 | 55 | 10,9 ± 2,4 | 22,7 ± 2,7 | < 0,001 |
| 801–900 | 15 | 21 | 8,7 ± 2,1 | 8,6 ± 1,8 | > 0,05 |
| 901–1000 | 4 | 7 | 2,3 ± 1,1 | 2,9 ± 1,1 | > 0,05 |
| 1001–1100 | 2 | 4 | 1,2 ± 0,8 | 1,7 ± 0,8 | – |
| 1101–1200 | 1 | 2 | 0,5 ± 0,5 | 0,8 ± 0,6 | – |
| 1201–1300 | – | – | – | – | – |
| 1301–1400 | – | – | – | – | – |
| 1401–1500 | – | – | – | – | – |
| 1501–1600 | – | – | – | – | – |
| 1601–1700 | – | – | – | – | – |
| Более 1701 | – | – | – | – | – |
| Всего: | 173 | 242 | 100,0 | 100,0 | |

Ещё более существенные различия отмечены в послеоперационных палатах, оснащённых вентиляционной системой подачи и удаления воздуха в одинаковом объёме. Так, в тёплое время года из 464 исследований в 376 (81,0 ± 1,8%) концентрация CO₂ колебалась от 501 до 1000 см³/м³, а в отопительный сезон – в 179 исследованиях из 673 (26,6 ± 1,7%), т. е. в 3,0 раза реже (P < 0,001). Количество исследований с оптимальным уровнем CO₂ (501–700 см³/м³) в тёплое время года составило 85 из 464 (18,3 ± 1,8%), а в холодное время – 11 из 673 (1,6 ± 0,5%), т. е. в 11,4 раза меньше (табл. 3).

При сравнении значений полученных показателей установлено, что в палатах отделения интенсивной терапии и реанимации, оснащённых системой приточно-вытяжной вентиляции с преобладанием объема удаляемого воздуха над объемом подаваемого, доля результатов с концентрацией углекислого газа 501–1000 см³/м³ статистически значимо выше, чем в послеоперационных палатах как в тёплое время года (98,3 ± 0,9% и 81,0 ± 1,8%; P < 0,001), так и в период отопительного сезона (97,5 ± 1,0% и 26,6 ± 1,7%; P < 0,001). Ещё более существенные расхождения показателей отмечены для более низкой концентрации газа (501–700 см³/м³), на

Таблица 3. Доля (абс. и %) отдельных концентраций углекислого газа в послеоперационных палатах в тёплое и холодное время года

| Концентрация CO ₂ , (см ³ /м ³) | Частота обнаружения | | | | P |
|---|---------------------|----------------|-------------------|-------------------|---------|
| | абс. | | % | | |
| | теплое время | холодное время | теплое время | холодное время | |
| 501–600 | 9 | 1 | 1,9 ± 0,6 | 0,1 ± 0,1 | – |
| 601–700 | 76 | 10 | 16,4 ± 1,7 | 1,5 ± 0,5 | < 0,001 |
| 701–800 | 146 | 38 | 31,5 ± 2,2 | 5,6 ± 0,9 | < 0,001 |
| 801–900 | 73 | 45 | 15,7 ± 1,7 | 6,7 ± 0,9 | < 0,001 |
| 901–1000 | 72 | 85 | 15,5 ± 1,7 | 12,6 ± 1,3 | > 0,05 |
| 1001–1100 | 28 | 91 | 6,0 ± 1,1 | 13,5 ± 1,3 | < 0,001 |
| 1101–1200 | 14 | 121 | 3,0 ± 0,8 | 17,9 ± 1,5 | < 0,001 |
| 1201–1300 | 19 | 104 | 4,1 ± 0,9 | 15,5 ± 1,4 | < 0,001 |
| 1301–1400 | 8 | 60 | 1,7 ± 0,7 | 8,9 ± 1,1 | < 0,001 |
| 1401–1500 | 3 | 45 | 0,6 ± 0,4 | 6,7 ± 0,9 | – |
| 1501–1600 | 6 | 26 | 1,3 ± 0,5 | 3,9 ± 0,8 | < 0,001 |
| 1601–1700 | 4 | 23 | 0,9 ± 0,4 | 3,4 ± 0,7 | < 0,01 |
| Более 1701 | 6 | 24 | 1,3 ± 0,5 | 3,6 ± 0,7 | < 0,001 |
| Всего: | 464 | 673 | 100,0 | 100,0 | |

долю которой в тёплое время года в палатах отделения интенсивной терапии и реанимации пришлось 76,3 ± 3,2%, а в послеоперационных палатах – 18,3 ± 1,8% (P < 0,001).

Нельзя не отметить и тот факт, что в палатах интенсивной терапии лишь в единичных случаях зарегистрирована концентрация газа от 1001 до 1200 см³/м³ (в 9 исследованиях из 415, т. е. 2,2 ± 0,7%), а более высокое содержание (1201 и выше) не отмечено ни в одном из исследований. В то же время, в послеоперационных палатах концентрация CO₂ от 1001 до максимально зафиксированного уровня 2348 см³/м³ имела место в 582 исследованиях из 1137, т. е. в 51,2 ± 1,5%.

Резюмируя результаты полученных исследований можно отметить, что в любое время года воздушная среда по содержанию в ней углекислого газа наиболее благоприятна в палатах, оснащённых системой принудительной вентиляции с преобладанием оттока воздуха над притоком. В таких помещениях круглогодично в 97,5–98,3% случаев концентрация CO₂ не превышает 1000 см³/м³, а в рекомендуемых оптимальных пределах (501–700 см³/м³) поддерживается в 63,2–76,3% случаев. В палатах, оснащённых системой воздухообмена без преобладания объема удаляемого воздуха над объемом поступающего доля указанных концентраций значительно меньше и составляет 26,6–81,0% и 1,6–18,3% соответственно.

Выводы

1. Содержание углекислого газа в воздухе палат ожогового отделения зависит от сезона года: в тёплое время в связи с дополнительным проветриванием через открытые окна и фрамуги на долю концентраций от 501 до 1000 см³/м³ приходится 85,8%, а от 501 до 700 см³/м³ – 34,0%, в то время как в период отопительного сезона эти показатели статистически значимо ниже и составляют 45,4% и 17,9%.

2. В палатах с системой принудительной вентиляции с преобладанием оттока воздуха над притоком круглогодично в 97,5–98,3% случаев концентрация CO₂ не превышает 1000 см³/м³, а в рекомендуемых оптимальных пре-

делах (501–700 см³/м³) поддерживается в 63,2–76,3% случаев. В палатах, оснащенных системой воздухообмена в одинаковом объёме, указанные концентрации обнаруживаются значительно реже (26,6–81,0% и 1,6–18,3% соответственно) и в большей степени зависимы от сезона года.

Литература

1. 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. – № 6. – С. 37–41.

Оригинальные научные публикации

2. Елисеева, Л. В. К обоснованию предельно-допустимой концентрации двуокиси углерода в воздухе // Гигиена и санитария. – 1964. – № 8. – С. 10–15.

3. Robertson, D. S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health // Med. Hypothes, 2001. – Vol. 56. – P. 513–518.

4. Seppanen, O. A., Fisk W. J., Mendel M. J. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings // Indoor Air. – 1999. – Vol. 9. – P. 226–252.

Поступила 18.06.2015 г.