



UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY international scientific conference

ВЗАИМОСВЯЗЬ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ PM2.5 С РИСКОМ ОСТРЫХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ СОБЫТИЙ И ЭКСТРЕННОЙ ГОСПИТАЛИЗАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ: РОЛЬ АВТОНОМНОЙ ДИСФУНКЦИИ И ВРЕМЕННОГО LAG-ЭФФЕКТА

Есенова Гаухар Оразбаевна

Республика Узбекистан, г. Ташкент

***Аннотация:** Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) характеризуется высоким риском декомпенсации, повторных госпитализаций и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. Наряду с традиционными факторами риска всё большее внимание уделяется влиянию загрязнения атмосферного воздуха, в частности мелкодисперсных частиц PM2.5.*

Кратковременная экспозиция PM2.5 может сопровождаться системным воспалением, оксидативным стрессом, эндотелиальной дисфункцией и нарушением автономной регуляции сердечно-сосудистой системы. Эти механизмы потенциально способны способствовать изменению вариабельности сердечного ритма (BCP), увеличению аритмической нагрузки и ухудшению течения ХСН.

Цель исследования — проанализировать современные данные о взаимосвязи кратковременной экспозиции PM2.5 с риском острых сердечно-сосудистых событий и экстренной госпитализации у пациентов с ХСН, а также оценить потенциальную роль автономной дисфункции и временного lag-эффекта.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Проведён анализ современных научных публикаций, систематических обзоров и метаанализов, посвящённых влиянию PM_{2.5} на сердечную недостаточность, нарушения ритма, автономную регуляцию и сердечно-сосудистые госпитализации. Полученные данные свидетельствуют о наличии ассоциации между кратковременным повышением концентрации PM_{2.5} и риском сердечно-сосудистых событий, причём эффект может сохраняться в течение нескольких дней после экспозиции. Изменение ВСП и повышение аритмической нагрузки рассматриваются как потенциальные промежуточные механизмы.

Ключевые слова: PM_{2.5}, хроническая сердечная недостаточность, загрязнение воздуха, сердечно-сосудистые события, госпитализация, автономная дисфункция, вариабельность сердечного ритма, аритмии, Холтеровское мониторирование, lag-эффект.

Актуальность

ХСН остаётся одной из наиболее значимых проблем современной кардиологии вследствие высокой частоты декомпенсаций и госпитализаций. Несмотря на совершенствование медикаментозной терапии, течение заболевания может существенно зависеть от факторов внешней среды [1, 2].

Одним из потенциально значимых факторов является загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами PM_{2.5}. Всемирная организация здравоохранения рекомендует среднегодовой уровень PM_{2.5} не более 5 мкг/м³, подчёркивая доказанную связь загрязнения воздуха с сердечно-сосудистыми заболеваниями [3].

Проблема особенно актуальна для Ташкента. Согласно данным Всемирного банка, среднегодовая концентрация PM_{2.5} в городе

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

значительно превышает рекомендуемый ВОЗ уровень. Наиболее высокие концентрации наблюдаются в холодный период года [4].

PM2.5 способны проникать в глубокие отделы дыхательных путей и инициировать системные биологические реакции. Среди основных предполагаемых механизмов рассматриваются оксидативный стресс, воспаление, эндотелиальная дисфункция и нарушение автономной регуляции.

Особый интерес представляет влияние PM2.5 на ВСР. Метаанализ 33 панельных исследований показал, что повышение концентрации PM2.5 на 10 мкг/м³ ассоциировалось со снижением ряда показателей ВСР, включая SDNN, rMSSD и HF [5]. Это позволяет рассматривать нарушение автономной регуляции как один из возможных механизмов сердечно-сосудистого воздействия PM2.5.

Для пациентов с ХСН данный механизм может иметь особое значение, поскольку автономная дисфункция уже является характерной особенностью заболевания. Дополнительное воздействие внешнего стрессора потенциально может способствовать электрической нестабильности миокарда и увеличению аритмической нагрузки.

Не менее важен временной lag-эффект, то есть интервал между воздействием PM2.5 и развитием клинического события. Поэтому оценка концентрации загрязнителя только в день госпитализации может быть недостаточной.

Материалы и методы исследования

Проведён аналитический обзор научных публикаций, систематических обзоров и метаанализов, посвящённых кратковременному воздействию PM2.5 на сердечно-сосудистую систему.

Анализировались исследования, в которых оценивались:

госпитализация по поводу ХСН;

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY international scientific conference

острые сердечно-сосудистые события;
нарушения сердечного ритма;
фибрилляция предсердий;
вариабельность сердечного ритма;
автономная регуляция;
различные временные lag-периоды.

Особое внимание уделялось исследованиям с использованием распределённых lag-моделей, позволяющих оценивать как непосредственный, так и отсроченный эффект PM2.5. Результаты исследований и их обсуждение

Современные исследования демонстрируют связь кратковременного воздействия PM2.5 с неблагоприятными сердечно-сосудистыми исходами.

В систематическом обзоре и метаанализе более 50 исследований увеличение концентрации PM2.5 на 10 мкг/м^3 было связано с повышением риска госпитализации или смерти вследствие сердечной недостаточности [6].

В исследовании Pore и соавт. увеличение концентрации PM2.5 на 10 мкг/м^3 в рамках 14-дневного периода наблюдения ассоциировалось с увеличением числа госпитализаций по поводу сердечной недостаточности на 13,1%. Более выраженная ассоциация отмечалась у пациентов пожилого возраста и лиц с предшествующими госпитализациями [7].

Исследование, проведённое в Китае, также выявило связь между PM2.5 и госпитализацией по поводу ХСН. Наиболее выраженная ассоциация наблюдалась при учёте кумулятивного воздействия за несколько предшествующих дней [8].

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Таким образом, воздействие PM2.5 может иметь не только непосредственный, но и отсроченный характер. Это подтверждает необходимость включения lag-периодов в анализ.

Отдельного внимания заслуживает влияние PM2.5 на сердечный ритм. Метаанализ показал ассоциацию кратковременного воздействия загрязнения воздуха с аритмиями [9]. Более современные данные также указывают на связь PM2.5 с фибрилляцией предсердий и внезапными сердечными событиями [10].

Возможная патофизиологическая последовательность может быть представлена следующим образом:

PM2.5 → оксидативный стресс и воспаление → нарушение автономной регуляции → изменение ВСР → электрическая нестабильность миокарда → увеличение аритмической нагрузки → декомпенсация ХСН и экстренная госпитализация.

При этом данная последовательность является патофизиологической гипотезой, а не доказанной причинно-следственной цепью.

Существенную роль в её изучении может сыграть Холтеровское мониторирование ЭКГ, позволяющее оценивать ВСР, частоту экстрасистол, эпизоды фибрилляции предсердий и другие нарушения ритма в динамике.

Таким образом, сочетание экологических данных о концентрации PM2.5 с результатами Холтеровского мониторирования и клиническими исходами может позволить определить, является ли автономная дисфункция одним из промежуточных механизмов влияния загрязнения воздуха на течение ХСН.

Выводы

1. Кратковременная экспозиция PM2.5 ассоциируется с повышением

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY international scientific conference

риска неблагоприятных сердечно-сосудистых исходов, включая госпитализацию по поводу сердечной недостаточности.

2. У пациентов с ХСН воздействие PM2.5 потенциально может иметь особое значение вследствие уже существующей автономной и нейрогуморальной дисрегуляции.

3. Изменение ВСР и увеличение аритмической нагрузки могут рассматриваться как потенциальные промежуточные механизмы между воздействием PM2.5 и клиническими событиями.

4. Наличие временного lag-эффекта обосновывает необходимость анализа не только концентрации PM2.5 в день события, но и воздействия в предшествующие дни.

5. Перспективным направлением является комплексное изучение PM2.5, ВСР, аритмической нагрузки по данным Холтеровского мониторирования и экстренных госпитализаций у пациентов с ХСН в условиях Ташкента.

ЛИТЕРАТУРА

1. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M., et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. Eur Heart J. 2021;42(36):3599–3726. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab368.
2. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M., et al. 2023 Focused Update of the 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. Eur Heart J. 2023;44(37):3627–3639. DOI: 10.1093/eurheartj/ehad195.
3. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO; 2021.
4. World Bank. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Air Quality Management Improvement in Uzbekistan. Washington, DC: World Bank; 2024.

5. Niu Z., Liu F., Li B., et al. Acute effect of ambient fine particulate matter on heart rate variability: an updated systematic review and meta-analysis of panel studies. *Environ Health Prev Med.* 2020;25:77. DOI: 10.1186/s12199-020-00912-2.

6. Yang Y.S., Pei Y.H., Gu Y.Y., et al. Association between short-term exposure to ambient air pollution and heart failure: an updated systematic review and meta-analysis of more than 7 million participants. *Front Public Health.* 2023;10:948765. DOI: 10.3389/fpubh.2022.948765.

7. Pope C.A. 3rd, Renlund D.G., Kfoury A.G., et al. Relation of heart failure hospitalization to exposure to fine particulate air pollution. *Am J Cardiol.* 2008;102(9):1230–1234. DOI: 10.1016/j.amjcard.2008.06.044.

8. Zhang W., Zhang R., Ling J., et al. Time Series Analysis of the Acute Effect of Atmospheric Fine Particulate Matter on Hospitalization for Heart Failure in Lanzhou, China. *J Occup Environ Med.* 2023;65(9):711–716. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002878.

9. Song X., Liu Y., Hu Y., et al. Short-Term Exposure to Air Pollution and Cardiac Arrhythmia: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(7):642. DOI: 10.3390/ijerph13070642.

10. Matteucci A., Sgarra L., Bonanni M., et al. Air pollution, cardiac arrhythmias, and sudden cardiac death across short-term and long-term exposure models: a systematic review and meta-analysis. *Heart Rhythm.* 2026. DOI: 10.1016/j.hrthm.2026.07.052.