

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-21-48>

Модифицируемые факторы среды помещения: влияние на здоровье человека и цифровой мониторинг

Аналитический обзор

Г.С. Лебедев^{1,2}, И.А. Шадеркин¹, Н.А. Лебедева³

¹ Институт цифровой медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); д. 1, стр. 2, Абрикосовский пер., Москва, 119435, Россия

² ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России; д. 11, ул. Добролюбова, Москва, 127254, Россия.

³ Институт общественного здоровья имени Ф.Ф. Эрисмана Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовского университета), д. 2, стр. 2, ул. Большая Пироговская, Москва, 119435, Россия

Контакт: Лебедева Надежда Алексеевна, lebedevan1331@mail.ru

Аннотация:

Введение. Внешняя среда и ее показатели как факторы риска заболеваний изучаются и рассматриваются на протяжении долгого времени. Намного чаще внимание уделяется атмосферному воздуху и загрязняющим его факторам, однако именно внутри помещений и зданий человек проводит до 90% своего времени. Показатели внутренней среды имеют другие источники, их уровни могут отличаться от таковых снаружи. В то же время повлиять на них может быть значительно проще, тем самым снизив негативное влияние, оказываемое на здоровье человека.

Целью нашей обзорной статьи являлось изучение информации о влиянии на организм физических факторов среды внутри помещений, а также методах их детекции и способах поддержания в пределах безопасного уровня. Для анализа мы выбрали факторы, исходя из их повсеместной распространенности, возможности легко измерить их уровень и наличия простых и дешевых методов их скорректировать.

Материалы и методы. Поиск данных проводился в базах данных PubMed, Google Scholar и Elibrary. Также использовались такие фундаментальные литературные источники, как законодательные акты.

Результаты. Профилактика заболеваний путем устранения влияния на организм факторов риска в настоящее время получает все больше внимания. Все чаще в жилых домах и общественных зданиях можно увидеть приборы и датчики, контролирующие показатели воздуха в помещении. Их использование помогает поддерживать параметры на комфортном для организма уровне. Мы обобщили информацию о наиболее важных и распространенных факторах, их воздействии на организм, методах измерения и решениях для их коррекции. В то же время решений, позволяющих отслеживать параллельно несколько важнейших факторов, не так много, что приводит к необходимости использовать несколько приборов, каждый из которых нуждается в калибровке и техническом обслуживании.

Заключение. Влияние факторов среды на организм человека в настоящее время активно изучается, и постоянно появляется новая информация. Для уменьшения негативного влияния на здоровье необходим динамический мониторинг показателей. При этом важным шагом будет являться создание технических решений для одновременного мониторинга нескольких важнейших факторов, которые могли бы снять с человека необходимость обслуживать несколько приборов в отдельности, а также имели возможность предлагать способы для поддержания уровня показателей в рамках безопасного.

Ключевые слова: внутренняя среда помещения; физические факторы среды; факторы риска; микроклимат; цифровой мониторинг.

Для цитирования: Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Лебедева Н.А. Модифицируемые факторы среды помещения: влияние на здоровье человека и цифровой мониторинг. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(1):21-48; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-21-48>

Modifiable Indoor Environmental Factors: Impact on Human Health and Digital Monitoring

Original study

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-21-48>

G.S. Lebedev^{1,2}, I.A. Shaderkin¹, N.A. Lebedeva³

¹ Department of Information and Internet Technologies at Sechenov University, 1, building 2, Abrikosovsky per., Moscow, 119435, Russia

² Department of Innovative Development and Scientific Design of the Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation, 11, st. Dobrolyubova, Moscow, 127254, Russia.

³ Institute of Public Health named after F.F. Erisman, First Moscow State Medical University them Sechenov (Sechenov University), house 2, building 2, Bolshaya Pirogovskaya st., Moscow, 119435, Russia

Contact: Nadezhda A. Lebedeva, lebedevan1331@mail.ru

Introduction. Environment and its indicators as health risk factors have been widely studied for a long time. The atmospheric air and factors polluting it are confirmed as the most important environmental factors that influence human's health. Nevertheless, people spend up to 90% of their time indoors. Indicators of indoor environment have another origins and they can also have another scales. At the same time, these factors can be influenced easily, thus decreasing their negative impact on health.

The aim of our review is to study information about impact of physical factors of indoor environment on human organism and methods of maintaining them within safe level. For analysis we chose several factors depending on their prevalence, opportunities to measure their levels and availability of the methods to correct them.

Materials and methods. The search was conducted using PubMed, Google Scholar and Elibrary data bases. Fundamental literature, such as legislative act, were used.

Results. Nowadays, disease prevention via elimination of risk factors influence on human health is gaining more and more attention. There are various devices that capture air indicators in houses and public buildings. Their use helps to maintain parameters within comfort level. We summarized information about the most important and wide-spread factors, their impact on health, methods for their measurement and solutions for their correction. Nevertheless, there are not enough devices which enable to monitor several important factors simultaneously. That problem leads to using different devices and each of them need calibration and technical service.

Conclusion. Nowadays the impact of environmental factors on human health is widely studied and new information about this problem appears constantly. Dynamic monitoring of indicators of environmental factors is necessary for decreasing negative influence on health. An important step towards simultaneous monitoring of the most significant indoor factors is developing of technical solutions which can remove the duty to service many devices separately. These technical solutions can also propose methods for maintaining these factors within safe levels.

Key words: indoor environment; physical environmental factors; risk factors; microclimate; digital monitoring.

For citation: Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Lebedeva N.A. Modifiable Indoor Environmental Factors: Impact on Human Health and Digital Monitoring. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(1):21-48; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-21-48>

■ ВВЕДЕНИЕ

Концепция влияния факторов риска на здоровье человека и возникновение у него заболеваний активно рассматривается Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) с 90-х годов XX века. Немалую роль выделяют факторам внешней среды, к которым относят факторы техногенного и природного происхождения. Согласно оценке ВОЗ, в 2016 году 24% всех смертей были так или иначе связаны с влиянием окружающей среды на организм человека. В 2003 году ВОЗ разработала концепцию вклада окружающей среды в заболевание

(Environmental Burden of Disease), подчеркивающую особую связь между возможными заболеваниями и качеством внешней среды [1, 2].

Намного реже внимание уделяется влиянию среды на человека в более локальном смысле, в контексте его квартиры, дома или комнаты. Разумеется, нельзя отрицать, что факторы глобальной внешней среды во многом формируют среду жилого помещения. Однако же важно учитывать и те факторы, которые характерны только для квартиры или дома, но оказывают на здоровье ничуть не меньшее влияние. Кроме того, тот факт, что в промышленно развитых странах большинство людей взаимодействуют,

работают, спят, ездят на работу и проводят 90% своей жизни в закрытых помещениях, заставляет обратить особое внимание на факторы среды внутри помещения.

Среди всех средовых факторов традиционно особое внимание уделяется качеству окружающего воздуха. Определить качество воздуха возможно при помощи оценки факторов, его загрязняющих. Так в США, согласно Закону о чистом воздухе (Clean Air Act, 1990), система нормирования качества воздуха базируется на шести основных показателях: уровни содержания в воздухе озона, угарного газа, свинца, диоксида азота, диоксида серы и количества твердых частиц. Наряду с ними, Агентство по охране окружающей среды США разработало нормативные уровни для 188 наиболее опасных для здоровья загрязнителей и ежегодно публикует базы данных о более чем 600 веществах, выбрасываемых различными источниками [3].

Переоценить влияние внешней среды на здоровье человека невозможно. Эта тема ежегодно пополняется все новыми исследованиями, изучающими влияние факторов в совокупности и по отдельности, в результате чего создаются новые нормативы и пересматриваются старые. Именно поэтому полное освещение такой темы кажется практически невозможным.

Поскольку целью нашего исследования является создание технического оборудования, способного мониторить факторы внутренней среды помещения и помогать поддерживать комфортный для здоровья уровень этих показателей, отбор факторов производился исходя из сформулированных нами требований. Во-первых, это должны быть факторы, с которыми человек в жилом помещении взаимодействует постоянно. Во-вторых, должна существовать возможность для легкого измерения величины данных факторов. В-третьих, в случае отклонения этих факторов от нормы, должна существовать возможность скорректировать их показатели достаточно простым методом.

В этой статье не будут затрагиваться летучие органические соединения (ЛОС) и различные химические факторы, поскольку эта тема крайне разнообразна, объемна и является предметом отдельной публикации. Непрерывно изучаются новые соединения, определяются их

источники в помещении и безопасные для человека уровни содержания. Кроме того, быстрая коррекция концентраций ЛОС в воздухе помещения представляется затруднительной [4].

Таким образом, мы выделили подходящие под заданные нами критерии факторы. К ним относятся показатели микроклимата, а именно – температура и влажность воздуха, уровень шума, освещенности, показатель запыленности воздуха, а также концентрация CO₂. Мы рассмотрим влияние этих факторов на организм здоровых людей и людей с заболеваниями, а также методы измерения и коррекции данных показателей.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск данных проводился в базах данных PubMed, Google Scholar и Elibrary. Запросы включали в себя формулировки «indoor air quality» (5575 результатов), «indoor environment» (9667 результатов), а также термины в соответствии с тематикой каждого раздела «Результаты»:

1. При подготовке раздела «Микроклимат»: «Temperature and indoor environments» – 1454 результата; «Indoor temperature and microorganisms» – 43 результата; «Indoor temperature and sleep» – 57 результатов; «Indoor temperature and cognitive function» – 17 результатов; «Temperature and cardiac system» – 1683 результата; «Indoor heating system and health» – 174 результата; «Humidification of indoor air» – 12 результатов; «Humidity and dry eye» – 63 результата; «Indoor humidity and microorganisms» – 36 результатов; «Temperature humidity and viruses» – 813 результатов; «Indoor humidity and cognitive function» – 7 результатов; «Humidifiers and indoor air» – 32 результата.

2. При подготовке раздела «Углекислый газ»: «Indoor CO₂ concentration dynamics» – 22 результата; «Indoor CO₂ concentration and health» – 169 результатов; «Indoor CO₂ concentration and cognitive function» – 6 результатов; «Indoor CO₂ concentration monitoring» – 144 результата; «CO₂ and natural ventilation» – 107 результатов.

3. При подготовке раздела «Запыленность воздуха»: «Indoor particular matters» – 70 результатов; «Particular matters and cardiac system» – 45 результатов; «Particular matters and microorganisms» – 81 результат; «Indoor particular ►

matters monitoring» – 25 результатов; «Indoor particular matters and health» – 52 результата; «Indoor air filtration» – 390 результатов; «Indoor air cleaners» – 265 результатов; «HEPA filters» – 255 результатов.

4. При подготовке раздела «Шумовое загрязнение»: «Environmental noise and health» – 101 результат; «Environmental noise and the cardiovascular system» – 129 результатов; «Environmental noise and sleep» – 493 результата; «Environmental noise and cognitive function» – 497 результатов; «Environmental noise and tinnitus» – 213 результатов; «Indoor sound level meters» – 5 результатов; «Environmental noise and glucose regulation» – 7 результатов.

5. При подготовке раздела «Искусственный ночной свет»: Artificial light at night and health – 1420 результатов; «Artificial light at night and cancer» – 162 результата; «Artificial light at night and melatonin» – 101 результат; «Artificial light at night and endocrine systems²» – 38 результатов; «Artificial light at night and cognitive function» – 23 результата.

В статью были включены литературные источники за последние 5 лет, кроме фундаментальных источников, в частности, законодательных актов.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Микроклимат

К одним из наиболее ощутимых для человека факторов внутренней среды помещения относятся так называемые факторы микроклимата – температура воздуха, его относительная влажность, скорость движения воздуха и температура окружающих поверхностей. Рассматривать эти факторы по отдельности было бы неправильно, поскольку в совокупности они влияют друг на друга и могут изменять восприятие человеком других показателей.

Температура

Микроклимат внутренней среды помещения влияет на множество других факторов, например, микробное обсеменение помещения. Температурный диапазон 10–30 °С и относительная влажность 40–80% обеспечивают наи-

лучшие условия существования и распространения для переносимых по воздуху бактерий. В России оптимальными показателями микроклимата для жилых помещений определяют температуру 20–22 °С и относительную влажность 30–45% в холодный период года и 22–25 °С и 30–60% в теплый период [5]. Однако это показатели оптимальные, фактически же во всем мире температура внутри помещений колеблется от 15 °С до 35 °С (исключая экстремальные значения), в основном с тенденцией от 18 °С до 23 °С [6]. Для осенне-зимнего сезона характерно снижение относительной влажности воздуха в помещении до 24% в среднем. Этот показатель ниже комфортного для дыхательных путей, что приводит к их раздражению, развитию сухости и т.д.. Однако некоторые авторы указывают на корреляцию между повышением устойчивости во внешней среде при низкой относительной влажности (20–50 %) для вирусов с зимней сезонностью и при высокой относительной влажности (80%) для вирусов с летней сезонностью [7, 8].

Важной темой является влияние температуры в помещении на выживаемость микроорганизмов. Shimoda и соавт. изучали выживаемость патогенных для человека бактерий на сухих поверхностях при различных температурах (15–37 °С). Различные штаммы бактерий культивировались при подходящих условиях, затем бактерии высушивали, а после инкубировали при различных температурах (15 °С, 30 °С, 37 °С) до 11 дней. Численность бактерий оценивалась по морфологическим изменениям, числу колониеобразующих единиц (КОЕ), а также количеству АТФ. Если материал поверхности достоверно не влиял на рост бактерий, то низкие температуры были предпочтительными для размножения ($p < 0,05$) [9].

Похожая зависимость наблюдается и у вирусов. В своем исследовании Foxman и соавт. изучают зависимость репликации вирусов от температуры. В качестве модели были выбраны лабораторные мыши, зараженные специально адаптированным штаммом риновируса. Значения температуры равнялись 33 и 37° С. Вирус продемонстрировал стабильную репликацию при 33 °С и ограниченную репликацию при 37 °С. Причиной этого с наибольшей вероятностью является повышение продукции ин-

терферонов и активности противовирусного иммунитета при более высокой температуре. Поскольку температура воздуха в полости носа напрямую зависит от температуры окружающей среды, поддержание ее на комфортном уровне может способствовать повышению иммунной защиты организма на местном уровне [7].

Относительная и абсолютная влажность

Роль относительной влажности (ОВ) воздуха как фактора риска инфекционных заболеваний до сих пор обсуждается. Существуют исследования, стремящиеся установить зависимость между тяжестью заболеваний и фактором влажности. Так Kudo и соавт. изучали связь ОВ и тяжести течения гриппа у мышей. Были выделены две группы мышей, содержащихся в климатических камерах с уровнями влажности 20% и 50%. После 4–5 дней содержания они были заражены штаммом hVPR8 и возвращены обратно в камеры еще на неделю. В результате мыши, содержащиеся при ОВ 20%, показали большую потерю веса, снижение температуры тела и меньшую выживаемость после эксперимента ($p=0,0186$) [8].

Влияние ОВ на бактериальные и вирусные частицы является неодинаковым. В своем исследовании Lin, Marr и соавт. продемонстрировали положительную зависимость между выживаемостью бактерий и относительной влажностью. Для кишечной палочки относительная выживаемость при ОВ 20% была ниже предела обнаружения (среднее значение \pm стандартное отклонение для трех повторов). Для вирусов же зависимость вместо монотонной линии образовала U-образную кривую. Наибольшая жизнеспособность наблюдалась при влажности ниже 33% и около 100%. Точный механизм, через который влажность влияет на выживание микроорганизмов, доподлинно не известен. Однако исследователи предполагают, что на бактерии влияет осмотическое давление, возникающее в результате повышения концентраций солей при испарении капель. Инактивация вирусов же может регулироваться кумулятивной дозой растворенных веществ в аэрозоле [10].

Температура также играет немалую роль в инактивации вирусов. Существует обратная зависимость между температурой и выживаемостью

вирусов в среде. При этом механизмы воздействия могут быть различны. Причиной может быть денатурация белков при высоких температурах, нарушение стабильности липидных мембран оболочки. Таким образом, температура может воздействовать на вирусы на молекулярном уровне [11, 12].

В очередной раз стоит подчеркнуть, что воздействие факторов температуры и влажности нельзя оценивать по отдельности. Так, давно известно, что вирусы хуже выживают в среде с высокой абсолютной влажностью (АВ). Однако же следует учесть, что высокая АВ может быть достигнута только при высокой температуре среды, что подчеркивают в своем исследовании Zhao и соавт. [13].

Особенно активно изучалась роль влажности воздуха как фактора передачи инфекционных заболеваний в рамках пандемии COVID-19. Ahlawat и соавт. в своем исследовании выделяют три основных сценария, при которых влажность может влиять на микроорганизмы. Первый – выживаемость вируса в аэрозоле. Как уже было сказано выше, оптимальные пределы влажности для вирусных частиц – это менее 33% и около 100% влажности [14]. Второй сценарий – стабильность вируса в окружающей среде и на различных поверхностях. В исследовании Chan и соавт. демонстрируется линейная зависимость между температурой, ОВ и выживаемостью SARS-CoV-1. Жизнеспособность вируса значительно снижалась ($>3 \log_{10}$) при повышении ОВ и температуры (95%, 38 °C) [15]. Третий сценарий – влияние сухого воздуха на развитие инфекционных заболеваний. При низкой ОВ местный иммунитет слизистой оболочки дыхательных путей снижается. Это происходит из-за снижения мукоцилиарного клиренса, в результате чего реснитчатый эпителий не может эффективно элиминировать вирусные частицы со слизистой [16]. Таким образом, можно отметить, что во всех сценариях выживанию вируса будет способствовать низкая ОВ в помещении, что заставляет предположить, что искусственное ее повышение может оказывать защитное действие во время сезонных вспышек ОРВИ.

Reiman и соавт. предлагают искусственное увлажнение воздуха в помещениях в качестве немедикаментозного метода снижения заболеваемости гриппом среди обучающихся. ►►

Возможность контактно-бытовой передачи гриппа определяется его способностью выживать на окружающих поверхностях. Для проверки эффективности увлажнения в борьбе с вирусом гриппа было проведено исследование – собирались образцы с поверхностей в контрольных учебных классах и в классах, где было произведено увлажнение (320 образцов в контрольных, 330 во влажных). Из всех образцов 112 (17%) оказались положительными при анализе на вирус гриппа А. При количественном анализе было выявлено уменьшение числа вирусных частиц в увлажненных помещениях: число копий на образец 24,6 по сравнению с 34,5 в контрольных помещениях, среднее число копий на кубический метр 36,1 по сравнению с 79,1 в контрольных ($p < 0,001$). Кроме того, оценивалась вирулентность образцов при помощи анализа электрического сопротивления: 3 из 16 протестированных, 19%, в увлажненных помещения против 13 из 16 протестированных, 81%, в контрольных [17].

Влияние на здоровье человека

Микроклимат оказывает огромное влияние на самочувствие и субъективные ощущения человека внутри помещения. Некорректные его показатели могут вызвать дискомфорт, чувство недомогания, стать причиной снижения работоспособности и концентрации. В своем исследовании Tian и соавт. изучили влияние различных показателей микроклимата на когнитивные способности 48 добровольцев. Эксперимент длился 140 минут, в течение которых участники выполняли когнитивные тесты, оценивающие восприятие, пространственную ориентацию, концентрацию, память и мыслительные способности. Между тем измерялись их частота сердечных сокращений, температура тела, кожи, артериальное давление и массу тела, а также субъективные реакции, то есть тепловой комфорт, воспринимаемое качество воздуха и острые симптомы недомогания. В результате эксперимента было показано, что при разных температурах (26 и 39 °С) при повышении влажности с 50 до 70% снижалась точность выполнения когнитивных тестов ($p < 0,01$) и повышалась скорость их решения ($p < 0,01$). Что касается измеряемых физиологических реакций, наиболее явные изменения были замечены в исследова-

нии при 39° С и 70% ОВ. Во второй половине исследования (85–130 мин) частота сердечных сокращений, подмышечная температура, систолическое артериальное давление и частота дыхания увеличивались в сравнении с началом ($p < 0,01$). Также при субъективной оценке самочувствия за этот период времени участники чаще отмечали у себя острые симптомы недомогания (боли в глазах, чувство усталости, снижение концентрации, головокружение). Данное исследование демонстрирует, как при некомфортных для человека условиях микроклимата снижается концентрация, ухудшается самочувствие, в результате чего точность выполнения работы значительно снижается [18].

Схожие результаты получили Zuо и соавт., изучающие влияние влажности на изменение состояния человека при разных рабочих температурах (26,6, 30,6 и 37,4 °С). В эксперименте длительностью 190 мин участвовали 12 женщин и 12 мужчин. Измерялись такие показатели, как температура барабанной перепонки, температура кожи, частота сердечных сокращений, артериальное давление, вес и частота дыхания. Если при первых двух температурных значениях не было замечено достоверной разницы физиологических реакций при 50 и 70% ОВ, то при 37,4 °С эти различия становятся весьма выражены. Значительно увеличилось температура кожи, частота сердечных сокращений и частота дыхательных движений. Другие показатели начинали изменяться спустя 25 мин от начала эксперимента. В результате частота сердечных сокращений, температура кожи, температура барабанной перепонки и частота дыхания были достоверно выше при 70% ОВ ($p < 0,05$), а диастолическое артериальное давление было ниже ($p < 0,001$) [19].

Комфортная температура воздуха в жилом помещении благоприятно влияет на ощущения тела человека и его самочувствие. Особенно это важно, когда речь идет о сне, поскольку этот процесс необходим для нормального функционирования организма. Слишком низкая или высокая температура помещения может стать причиной нарушений сна и привести в дальнейшем к снижению концентрации, работоспособности, нарушению когнитивных функций. Chimed-Ochir и соавт. исследовали влияние низкой температуры в спальне на качество сна. В ходе исследования было опрошено 2193 участ-

ника, для этого были использованы опросники PSQI с целью оценить качество их сна и CASBEE, позволяющий оценить субъективное ощущение холода, испытываемое участниками. В результате было выделено 4 группы – не чувствовали холод, чувствовали иногда, часто или всегда. За контрольное значение был взят средний результат PSQI первой группы – 4,3 балла. У трех последних групп результаты показали достоверное различие на 0,57 (95% ДИ = 0,32–0,83, $p < 0,0001$), на 1,08 (95% ДИ = 0,82–1,35, $p < 0,0001$) и на 2,25 (95% ДИ = 0,82–1,35, $p < 0,0001$) выше, чем у контрольной группы, соответственно по шкале PSQI.

Шкала PSQI используется для оценки качества сна с использованием семи параметров: субъективное качество сна, латентная стадия сна, продолжительность сна, привычную эффективность сна, нарушения сна, использование снотворных и дневную сонливость за последний месяц. Оценка каждого параметра дается по шкале от 0 до 3, где 0 – отличный сон, а 3 – отрицательная крайность. Сумма результатов более 5 указывает на плохой сон. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что качество сна связано с температурой воздуха в помещении и его можно повысить путем создания комфортной температурной среды [20].

Влияние температуры на когнитивные способности является важным параметром при создании комфортных условий для обучения и работы. В исследовании Abbasi и соавт. 35 студентов подвергались воздействию 4 вариантов температурных условий (18°C, 22°C, 26°C и 30°C) в течение 4 отдельных экспериментов. В ходе экспериментов они выполняли N-back тест для оценки когнитивных способностей на трех разных уровнях сложности (низкая, средняя и высокая нагрузка). При этом контролировались точность решения, сигналы электрокардиограммы (ЭКГ) и частота дыхания. В результате точность выполнения когнитивных тестов достоверно снижалась на всех трех уровнях сложности при 18 и 30 °C в сравнении со средними температурами: при низкой нагрузке 87,05%±9,93% (18°C), 89,24%±12,22% (22°C), 84,22%±12,22% (26°C), 78,11%±13,86% (30°C); при средней нагрузке 77,80%±11,57% (18°C), 85,69%±6,36% (22°C), 80,20%±11,00% (26°C), 74,02%±12,97% (30°C); при высокой нагрузке

73,22%±12,73% (18°C), 82,52%±7,12% (22°C), 77,88%±11,80% (26°C), 71,99%±12,04% (30°C) ($p < 0,05$). Изменения частоты сердцебиений и дыхания хотя и были отмечены, не были столь существенны. Авторы приходят к выводу, что обеспечение теплового комфорта может улучшить работу находящихся в помещении людей [21].

В исследовании связи между температурой и когнитивными способностями Barbic и соавт. целью было также оценить влияние температуры на вегетативную систему. 20 студентов в течение 2 часов слушали лекцию, в то время как аппарат ЭКГ считывал их пульс. Также оценивались сердечная симпатическая, вагусная и симпатовагусная модуляции, а когнитивные способности оценивались в конце при помощи теста Cambridge Brain Sciences. В первый день температура устанавливалась на стандартных значениях (20–22 °C), а во второй – на повышенных (24–26 °C). По результатам исследования ЧСС и симпатовагусная модуляция во второй день были достоверно выше (79,5 ± 12,1 уд/мин, 6,9 ± 7,1 соответственно). Кратковременная память, вербальные способности и общий когнитивный показатель были ниже в течение 2-го дня (10,3 ± 0,3; 8,1 ± 1,2 и 10,9 ± 2,0 соответственно) по сравнению с 1-м днем (11,7 ± 2,1; 10,7 ± 1,7 и 12,6 ± 1,8). В итоге можно заключить, что повышенная температура помещения вызывает нарушения в функционировании вегетативной системы, а также снижает когнитивные способности и, следовательно, эффективность обучения студентов [22].

Для того чтобы понять, имеют ли место суточные изменения реакций организма на температуру и влажность воздуха в помещении, Kakitsuba и соавт. провели два эксперимента. В первом участвовало 6 мужчин и 6 женщин, которые находились в помещениях с показателями влажности 40 и 50%, а во втором – 7 мужчин и 7 женщин в помещениях с ОВ 60, 70 и 80%. Температура помещений поддерживалась на уровне 28 °C. Участникам исследования измерялись температура кожи, температура барабанной перепонки, масса тела, уровень потребления кислорода и реакции теплового комфорта. В результате было показано, что температура барабанной перепонки повышается в утренние часы при ОВ 50–80%, а температура ►►

кожи при ОВ 70 и 80% значительно выше, чем при 40 и 50% ($p < 0,05$). В результате своих наблюдений авторы делают выводы, что динамический контроль уровня ОВ в помещении и его корректировка может помочь достичь более комфортных условий для организма, поскольку в разное время суток реакция на изменения влажности воздуха различается, и во второй половине дня высокая ОВ более приемлема, чем в первой [23].

Низкая влажность может стать причиной высыхания слизистых оболочек, что может способствовать развитию таких состояний, как синдром сухого глаза (ССГ) и сухости дыхательных путей. Возможные причины возникновения синдрома сухого глаза изучают в своей статье Mandell и соавт. Они рассматривают влияние различных факторов внешней среды, в частности влажности воздуха. Показана прямая корреляция между уровнем влажности и частотой возникновения синдрома сухого глаза – так, высокая влажность снижает риски (IRR, 0,927 [95% CI, 0,926–0,927] и IRR, 0,938 [95% CI, 0,937–0,939], соответственно; $p < 0,001$) [24]. Подтвердить защитные свойства влажности воздуха для слизистой оболочки глаз удалось Hwang и соавт. в поперечном исследовании среди населения Южной Кореи (16 824 участников: 7104 мужчины и 9720 женщин). Множественный логистический регрессионный анализ выявил отрицательную связь между диагнозом синдрома сухого глаза и уровнем относительной влажности ($R = -0,425$ (95% CI, -0,633 до -0,161), $p = 0,003$) [25]. В другом исследовании в Южной Корее была взята выборка из 16 431 жителей и выделены две группы: люди с диагностированным синдромом сухого глаза (1616 человек) и люди с симптомами, соответствующими синдрому сухого глаза (2666 человек). В результате большая частота ССГ была выявлена среди городских жителей: скорректированное отношение шансов для ранее диагностированного синдрома сухого глаза составило 1,677 (95% CI 1,299–2,166) для мегаполисов и 1,580 (95% CI 1,215–2,055) для других городов по сравнению с сельской местностью. В результате исследования синдром сухого глаза был отрицательно связан с уровнем влажности (отношение шансов 0,970; 95% ДИ 0,955–0,986) и положительно с температурой (отношение шансов 1,076; 95% ДИ 1,009–1,148) [26].

Технологические решения оценки температуры и влажности

Оценить температуру внутри помещения человеку достаточно легко – объективно благодаря домашним термометрам, субъективно – благодаря терморецепторам кожи. Однако ни субъективная оценка, ни обычный термометр не дают возможность оценить изменения температуры в динамике. Поэтому с каждым годом появляется все больше технических решений, позволяющих не просто измерить температуру в помещении, но учесть при этом температурный комфорт и скорректировать частоту проветриваний помещения [27, 28].

Объективная оценка влажности помещения невозможна без специальных приборов (гигрометров или психрометров), поскольку наши органы чувств не имеют рецепторов для определения влажности воздуха. Мы можем определить влажность лишь по косвенным признакам: запаху, запыленности и ощущению высыхания слизистых. Поэтому для поддержания комфортного уровня влажности в помещении использование датчиков является необходимостью. Эти приборы совершенствуются, существует множество их вариантов с различным функционалом [29, 30].

Когда речь идет о корректировке температуры в помещении, решение кажется очевидным – кондиционеры или напольные обогреватели сейчас широко распространены в жилых домах по всему миру. Однако не стоит забывать о тех негативных аспектах, которые могут быть связаны с использованием данных приборов. Достоверно известно, что применение обогревателей приводит к снижению относительной влажности воздуха в помещении и повышению концентрации углекислого газа [31]. А поскольку в холодное время года ОВ и без того снижена, это может привести к негативным последствиям для здоровья, о которых будет сказано ниже. Говоря о кондиционерах, важно помнить, что при всех плюсах их использования при нарушении условий их обслуживания и эксплуатации они могут стать настоящим источником инфекционных заболеваний [32, 33].

Для того, чтобы определить связь разных способов обогрева помещения и инфекционных заболеваний, Ishimaru и соавт. провели исследова-

дование, в котором приняли участие 297 детей из Японии. Наиболее распространенными обогревателями являются кондиционеры воздуха ($n = 105$, 35%), за ними следуют газовые или керосиновые обогреватели ($n = 50$, 17%) и, наконец, подогрев пола ($n = 31$, 10%). При этом именно кондиционеры в большей степени были ассоциированы с частотой возникновения простудных заболеваний у детей (скорректированный коэффициент заболеваемости (aIRR) = 1,84, 95% доверительный интервал (ДИ): 1,41–2,40). Для газовых обогревателей и подогрева пола этот показатель был схож и значительно ниже, чем для кондиционеров (aIRR = 0,55, 95% ДИ: 0,37–0,82 и aIRR = 0,39, 95% ДИ: 0,23–0,67 соответственно). Для объяснения таких различий можно выдвинуть несколько гипотез. Во-первых, снижение относительной влажности воздуха из-за использования нагревательных приборов. Во-вторых, разница во времени работы может вносить свой вклад, поскольку кондиционеры работают с таймером, а обогреватели и подогрев пола работают постоянно. В-третьих, играть роль может также температура постельного белья. Поскольку дети в Японии чаще всего спят на полу, то подогрев пола также нагревает и постельное белье, в отличие от кондиционера. Таким образом, можно заключить, что при применении отопительных приборов крайне важно учитывать их расположение в помещении, влажность, направление воздушного потока, а также обеспечивать прибору надлежащее обслуживание [34]. Особенно тщательного обслуживания требуют к себе кондиционеры. Для работы прибора необходима вода, которая, если не менять ее регулярно, застаивается внутри прибора, в результате чего создаются условия для размножения бактерий, распространяющихся с потоками воздуха по всему помещению. В таких условиях могут распространяться различные заболевания, передающиеся воздушно-капельным путем, но в первую очередь это легионеллез. В рекомендациях Европейского союза среди методов эпиднадзора за болезнью легионеров наибольшее внимание уделяется именно обслуживанию систем вентиляции воздуха [35].

В то же время не стоит думать, что отсутствие обогрева помещения будет более благоприятно для здоровья, что продемонстрировали

Miyake и соавт. в своем проспективном когортном исследовании. Они провели опрос среди 311 детей, среди которых у 156 дома имелась система обогрева, а у 155 спальня не отапливалась. В итоге наличие отопления ассоциировалось со снижением вероятности простуды (i3 раз) (ОШ 0,35; 95% ДИ, 0,19–0,65), продолжительностью лихорадки. (i3 дней) (ОШ 0,38; 95% ДИ, 0,22–0,66) и лечения простуды (i3 дней) (ОШ 0,91; 95% ДИ, 0,87–0,95), посещения больницы по поводу простуды (i3 дни) (ОШ 0,54; 95% ДИ, 0,31–0,94), отсутствия в школе или детском саду (i3 дней) (ОШ 0,43; 95% ДИ, 0,27–0,70) [36].

Для того, чтобы поддерживать уровень влажности воздуха на комфортном для дыхательных путей уровне, существует множество технических решений: увлажнители воздуха различных модификаций достаточно широко распространены. Их применение дает множество положительных эффектов, но важно не забывать о том, что нарушение правил обслуживания приборов может привести к значительному ухудшению состава воздушной среды помещения. Вопрос влияния приборов для увлажнения на состав воздуха вызывает интерес научного сообщества. В своем исследовании Yang и соавт. изучали скорость микробного размножения в резервуарах увлажнителей, заполненных тремя широко используемыми типами воды, и исследовали влияние ультразвуковых увлажнителей на временную концентрацию, распределение по размерам и изменения сообщества бактериальных и грибковых аэрозолей в помещении во время двухнедельного увлажнения. Анализ показал, что концентрация бактериального аэрозоля увеличивалась экспоненциально, достигнув 1000 КОЕ/м³ за одну неделю (при ОВ = 70%). При этом среди патогенных бактерий доминировали *Pseudomonas spp.* (40,50%), *Brevundimonas spp.* (3,02%), *Acinetobacter spp.* (0,98%) и *Legionella spp.* (0,69%). Такие результаты позволяют прийти к выводам, что для предотвращения распространения бактерий через увлажнители воздуха необходимо регулярно менять внутри них воду, а также не использовать их постоянно, применяя лишь при необходимости. Помочь не превышать порог ОВ более 70% может динамическое отслеживание показателя внутри помещения [37]. ►►

Другой, менее очевидной проблемой является генерирование ультразвуковыми увлажнителями твердых частиц (PM_{2,5}) в процессе работы. О том, как эти частицы могут повлиять на дыхательные пути и организм в целом, более подробно будет рассказано ниже. Lau и соавт. провели исследование, в котором изучили концентрацию, размер и химический состав генерируемых частиц. Была обнаружена корреляция числа частиц со щелочной нагрузкой воды, используемой в приборах. Это позволяет предположить, что основной вклад в формирование частиц вносит CaCO₃. При этом в составе частиц было обнаружено большое количество сульфат-иона. Наконец, измерение концентрации твердых частиц в помещении показало, что один ультразвуковой увлажнитель генерирует сотни мкг*м⁻³ PM. Возможным решением этой проблемы может являться применение в приборах менее жесткой воды с меньшим содержанием в ней солей [38].

Углекислый газ

Принципиально важным отличием в составе воздуха вне и внутри помещения является концентрация CO₂. Для атмосферного воздуха этот показатель относительно постоянен, тогда как в закрытом помещении при нахождении в нем людей концентрация со временем посте-

Таблица 1. Изменение объема выдыхаемого углекислого газа в зависимости от вида деятельности [39]

Table 1. Change in the volume of exhaled carbon dioxide depending on the type of activity [39]

CO ₂ л/час	Что делает
18	Сидит
24	Работает в офисе
30	Ходит
36	Выполняет легкую физическую работу
32-43	Выполняет работу по дому
55-75	Делает тяжелую физическую работу
175 и выше	Выполняет спортивные упражнения

пенно увеличивается. Один человек в течение часа выдыхает от 18 до 25 л углекислого газа, потребляя при этом 20–30 л кислорода. Если человек находится в комнате 20 м² с высотой потолков 2,5 м и плохой вентиляцией, то уровень CO₂ будет расти на 580 ppm (parts per million, 0,0001%) каждый час. При этом выдыхаемый объем CO₂ меняется в зависимости от вида деятельности [39].

Влияние на здоровье человека

Изменения концентрации углекислого газа в воздухе помещения также являются сезонными. Исследование Hattori и соавт., заключавшееся в измерении концентрации CO₂ в 24-х жилых домах, показали, что увеличение концентрации углекислого газа в помещении в зимний период было связано со снижением частоты проветривания и использованием отопительных систем. Обогреватели увеличивают концентрацию CO₂ и приводят к снижению качества воздуха в жилых комнатах [40]. К схожим результатам пришли Abdel-Salam и соавт., измерившие концентрацию CO₂ в 25 жилых домах в зимний и летний сезон. Результаты показали среднее содержание 692,4±144,6 ppm в зимний период и 558,2±66,2 ppm в летний. Можно прийти к выводу, что содержание газов в помещении летом больше всего зависит от параметров воздуха извне, а зимой – от источников загрязнения в помещении [41].

Углекислый газ является нормируемым параметром. Согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» допустимым уровнем содержания CO₂ в воздухе жилых помещений является до 1000 см³/м³. Такой показатель не наносит вреда здоровью и самочувствию человека, поддерживает его работоспособность [42].

Изменения самочувствия, вызываемые действием углекислого газа на организм, напрямую зависят от его концентрации в воздухе помещения. Жалобы на самочувствие проявляются при содержании около 600–1000 ppm. При концентрации выше 1000 ppm (0,1%) могут появиться боли в голове, снижается концентрация внимания и ухудшается качество работы. Когда количество углекислого газа в воздухе превышает

2000 ppm, более 70% сотрудников не могут сосредоточиться на своей работе [43].

Повышенная концентрация CO₂ снижает когнитивные способности человека, его работоспособность и успеваемость. Du и соавт. проанализировали 37 экспериментальных исследований с целью обобщения данных о влиянии углекислого газа на когнитивные функции человека. Они пришли к выводу, что плохая вентиляция и накопление загрязняющих веществ в помещении, включая CO₂, могут снизить скорость когнитивных функций, но не влияют на их точность. Организм в свою очередь может компенсировать воздействие углекислого газа, в результате чего увеличиваются энергетические затраты, и человек быстрее устает [44]. Pang и соавт. в своей работе также демонстрируют изменение концентрации внимания в зависимости от содержания в воздухе углекислого газа. В этом рандомизированном контролируемом исследовании 15 участников подверглись воздействию различных концентраций двуокиси углерода (CO₂) в закрытой климатической камере. Результаты оценивались при помощи теста на психомоторную бдительность (PVT), Каролинскую шкалу сонливости (KSS) и шкалу положительных и отрицательных воздействий (PANAS). Результаты показали, что бдительность значительно снижается при показателях от 1626±306 ppm до 3562±259 ppm (± SD). Кроме того, наблюдается снижение настроения и появление более негативных эмоций [45].

Повышенная концентрация CO₂ на рабочем месте может стать причиной снижения работоспособности и производительности сотрудников. В своем исследовании Satish и соавт. анализировали прямое влияние концентрации углекислого газа на принятие решений. В эксперименте участвовали 22 добровольца, подвергавшиеся воздействию концентраций CO₂ в 600, 1000 и 2500 ppm в течение трех 2,5-часовых сеансов, после каждого из которых они решали тесты на эффективность принятия решений. В результате исследования по сравнению с 600 ppm эффективность снизилась по 6 шкалам из 9 при концентрации в 1000 ppm и по 7 шкалам при 2500 ppm [46].

Важным вопросом является влияние уровня углекислого газа в воздухе на здоровье детей. В своем исследовании Carreiro-Martins и соавт.

изучали влияние концентрации CO₂ в воздухе детских садов на появление хрипов у детей. Они измерили уровень углекислого газа в воздухе 45 детских садов (3186 детей) в Лиссабоне на 1 этапе и в 19 детских садах (1196 детей) на 2 этапе. Была зарегистрирована связь концентрации углекислого газа с сообщениями о хрипах на 1 этапе (27,5 %) (скорректированное отношение шансов (OR) для каждого увеличения на 200 ppm 1,04, 95 % CI от 1:01 до 1:07). Также наблюдалась положительная тенденция между углекислым газом и распространенностью астмы (5 %) (скорректированное отношение шансов (OR) для каждого увеличения на 200 ppm 1,04, 95 % CI от 1:01 до 1:07) [48]. 47

Технологические решения мониторинга CO₂

Несмотря на столь явное и значительно влияние углекислого газа на самочувствие и работоспособность человека, этот показатель достаточно легко скорректировать. Достаточно регулярно проветривать помещение, поддерживая таким образом оптимальный уровень CO₂. Для того, чтобы продемонстрировать эффективность естественной вентиляции, Vassella и соавт. измеряли уровень углекислого газа зимой в 100 классных комнатах, в 23 из которых были проведены мероприятия для улучшения вентиляции. Проветривание производилось только в перерывах между занятиями и было направлено на соблюдение предельного значения для CO₂, которое измерялось при помощи интерактивного инструмента. По результатам исследований средний уровень CO₂ снизился ($p = 3.815e-06$) с 1600 ppm (контрольная группа) до 1097 ppm (группа вмешательства), а средняя доля времени обучения при уровне 400–1400 ppm CO₂ увеличилась с 40% до 70% [48].

Эффективность использования датчиков для мониторинга уровня углекислого газа также демонстрируют в своей работе Di Gilio и соавт. Исследование проводилось в 11 школьных классах и включало два этапа: на первом реализовывались мероприятия для поддержания комфортного уровня CO₂ за счет естественной вентиляции и оценивались результаты, а на втором вводился подробный протокол проветривания помещений на основе конкретных действий и визуализации уровня углекислого газа при ►

помощи датчиков. Согласно результатам первого этапа, в 6 классных комнатах уровень CO₂ по-прежнему превышал 1000 ppm, и во всех классах был выше 700 ppm (54%). По итогам же первых дней второго этапа исследования уровень углекислого газа в 10 классах был ниже 1000 ppm (91%) и в 4 классах ниже 700 ppm (36%) [49].

Благодаря этим исследованиям можно прийти к выводу, что визуализация параметра углекислого газа помогает более эффективно реализовывать вентиляцию в жилом и рабочем помещении. Это особенно важно, поскольку при небольшом превышении допустимого уровня, эффекты могут быть субъективно незаметны для человека, однако же снижать его концентрацию и работоспособность.

Запыленность воздуха

Классификация пыли

Твердые частицы, взвешенные в воздухе, представляют особую опасность для работников производственных предприятий и заводов. Однако и в жилых помещениях этот фактор присутствует постоянно, хотя и в меньшей концентрации. Классифицируется пыль по размерам составляющих ее частиц: видимая пыль размером частиц до 10 мкм, микроскопическая – от 0,25 до 10 мкм и ультрамикроскопическая – менее 0,25 мкм. Особую опасность представляет микроскопическая пыль (particulate matter, PM_{2,5}) из-за ее способности глубоко проникать в дыхательные пути человека и оседать на поверхности слизистой. На основе результатов эпидемиологических обследований долгое время считали, что содержание в воздухе мелкодисперсной пыли может вызывать проблемы со здоровьем, хотя каких-либо пороговых значений при этом установлено не было. В общем случае предполагалась линейная зависимость между уровнем воздействия и вызываемыми им последствиями. После принятия Директивы ЕС 2005 года о качестве воздуха (1999/30/ЕС) этот вопрос стал предметом пристального внимания широкой общественности. Директива предусматривает ограничения на среднесуточные и среднегодовые значения PM₁₀ в окружающем воздухе. Для фракции частиц PM_{2,5} поправка к

настоящей директиве (2008/50/ЕС) в качестве целевого значения с 2010 года устанавливает среднегодовое значение 25 мкг/м³. Пределы для PM₁₀ пересмотренный вариант Директивы 2008 года не изменяет (среднее значение 50 мкг/м³ за 24 часа при возможности превышения 35 раз в год, среднегодовое значение — 40 мкг/м³) [50].

Влияние на здоровье человека

Действие пыли сводится к раздражению, а при длительном воздействии – к воспалению, что может проявляться в виде першения в горле, кашля, отхаркивания грязной мокротой. Немаловажное значение имеет химический состав пыли: токсическая пыль при попадании в легкие может всасываться в кровь и вызывать интоксикацию организма [51]. Как правило, твердые частицы внутри помещений на 46% состоят из веществ, образующихся также внутри помещений (NO₂, Si, Cl, K). Они могут образовываться в результате приготовления пищи, курения или сжигания свечей и благовоний. На наружные источники приходится 28% массы PM_{2,5} внутри помещений, в основном это продукты фотохимических реакций, металлы и продукты сгорания (Br, Mn, Pb, Ni, Ti, V и S). Остальные 26% включали элементы земной коры (Al, Zn, Fe, Si и Ca) [52].

Длительное воздействие нетоксической пыли на органы дыхания способно вызывать специфические заболевания – пневмокониозы. Эти заболевания являются результатом реакции легочной ткани на накопление в легких пыли. Как правило, причиной развития являются минеральные взвеси, активно используемые в промышленности. Классифицируются пневмокониозы по веществам, их вызывающим (силикозы, асбестозы, алюминозы и т.д.).

Для людей, не подверженных профессиональным вредностям, наибольшую опасность представляют автострады, а также предприятия горнодобывающей, металлургической и строительной промышленности. Они представляют угрозу здоровью людей, проживающих в непосредственной близости от этих объектов. Существуют различные технологические и архитектурные решения, защищающие окружающую среду от вредных выбросов предприятий и автомагистралей, однако стоит заметить, что в

России две трети всех дорог не имеют твердого покрытия, препятствующего пылению, то есть люди, проживающие поблизости от них, не защищены от вредного воздействия твердых частиц [53].

Исследования демонстрируют прямую связь между промышленными предприятиями и изменениями в организмах людей, проживающих рядом с ними. Hwang и соавт. обнаружили повышенный уровень хрома в крови людей, живущих рядом с цементным заводом (в среднем 3,80 мкг/л) [54]. Похожие исследования неоднократно проводились в разных точках мира. Raffetti и соавт. провели систематический обзор и выделили 24 статьи, сообщающие о неблагоприятных последствиях для здоровья, связанных с воздействием цементного завода. Почти все исследования выявили положительную связь между воздействием цементного завода и респираторными заболеваниями/симптомами. Измерения уровня твердых частиц в воздухе разных стран почти всегда демонстрировали превышение или край нормы показателей. При норме ВОЗ для PM10 и PM2,5 50 и 25 мкг/м³ соответственно концентрации составили 45,5 и 25,5 мкг/м³ в Южной Корее, 66 мкг/м³ для PM10 в Техасе, в Италии концентрация PM10 превышала норму более 35 дней в год [55].

Обобщая последствия влияния на организм человека твердых частиц, можно выделить их связь с такими заболеваниями, как астма, бронхиты, инфекции дыхательных путей при кратковременном воздействии и хронические бронхиты, аллергии, а также снижение продолжительности жизни при длительном воздействии [56].

Связь между вдыханием твердых частиц (PM2,5) и сердечно-сосудистыми заболеваниями неоднократно рассматривала в своих работах Американская кардиологическая ассоциация. Они указали на множество механизмов, через которые запыленность воздуха может приводить к негативным последствиям для системы кровообращения. Кратковременное воздействие (от нескольких часов до нескольких дней) увеличивает риск инфаркта миокарда, инсульта, сердечной недостаточности, аритмии и внезапной смерти, каждый на 1% до 2% на 10 мкг/м³. Более длительное воздействие в течение месяцев или лет увеличивает эти риски

до 5–10% на 10 мкг/м³. Проживание в регионах с худшим качеством воздуха потенцирует атеросклеротический процесс и способствует развитию ряда хронических кардиометаболических состояний. Вдыхание PM2,5 вызывает окислительный стресс, в результате чего воспалительные реакции могут возникать не только в легких, но и затрагивать системное кровообращение и соответствующие органы или ткани [57].

Хотя точные биологические механизмы, с помощью которых PM2,5 оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье, до конца не изучены, системное воспаление и метилирование ДНК могут приводить к дисфункции эндотелия и играть важную роль в регуляции атерогенеза и тромбоза [58]. Согласно исследованию, проведенному Lei и соавт. с участием 36 здоровых студентов, компоненты PM2,5 могут повышать уровни провоспалительных цитокинов в крови, а также изменять метилирование ДНК [59]. Изучая воздействие PM2,5 на организм здоровых людей, Zhang и соавт. также обнаружили влияние содержащихся в твердых частицах веществ на метилирование ДНК. При исследовании, проведенном с участием 43 студентов, была обнаружена связь для 9 компонентов PM2,5, которые могут быть ответственны за развитие и эпигенетическую регуляцию воспалительной реакции дыхательных путей, вызванной кратковременным воздействием твердых частиц в воздухе помещения [60].

Концентрация в воздухе твердых частиц также непосредственно влияет на микробное загрязнение воздуха. Типичный размер переносимых по воздуху бактериальных клеток и спор составляет 0,2–30 мкм, а пыли менее 10 мкм, и они могут агрегировать вместе и существовать в виде частиц большего размера или могут распадаться или высыхать и существовать в виде частиц меньшего размера.

Xie и соавт. проанализировали 76 образцов переносимых по воздуху микробов и пришли к выводу, что микробное число растет с увеличением концентрации PM2,5 до определенного уровня. Авторы выделили шесть категорий качества воздуха в зависимости от уровня качества воздуха (AQI): отличный воздух, хороший, слабо загрязненный, средне загрязненный, сильно загрязненный и очень сильно загрязненный. Общее микробное число в воздухе в ►►

зависимости от его качества: отличный ($1,92 \pm 0,88 \times 10^5$ клеток/м³) < хороший ($2,39 \pm 1,47 \times 10^5$ клеток/м³) < слабо загрязненный ($5,38 \pm 3,26 \times 10^5$ клеток/м³) < сильно загрязненный ($5,93 \pm 3,45 \times 10^5$ клеток/м³) < очень сильно загрязненный ($7,23 \pm 3,49 \times 10^5$ клеток/м³) < средне загрязненный ($7,38 \pm 4,43 \times 10^5$ клеток/м³). Таким образом, наибольшее микробное число было обнаружено в средне загрязненном воздухе [61].

Технологические решения мониторинга концентрации твердых частиц

Датчики для определения концентрации твердых частиц в воздухе наиболее часто используются на промышленных предприятиях и заводах. Однако с распространением интернета вещей получили распространение портативные датчики для жилых помещений. Так в Тайване за два года было установлено более 5000 датчиков [62]. Эти приборы являются доступными для большинства людей ввиду невысокой цены, однако активно обсуждается вопрос их калибровки, поскольку она имеет решающее значение для точности получаемых данных. Различные методы калибровки активно разрабатываются и внедряются для согласованной настройки сети датчиков [63, 64].

Говоря о снижении содержания твердых частиц в воздухе помещения, наиболее эффективным способом является использование портативных воздухоочистителей. Они действуют по принципу фильтров, прогоняя через себя воздух в помещении и задерживая частицы за счет размера пор. Такие фильтры без труда можно найти в магазинах и онлайн-маркетах, а их стоимость варьируется в зависимости от типа фильтров и пропускной способности.

Для измерения эффективности работы фильтра используется показатель, называемый «отчетные значения минимальной эффективности», или MERV. MERV определяет способность фильтра улавливать частицы размером от 0,3 до 10 микрон [65]. Согласно MERV рейтингу выделяют 16 категорий эффективности работы фильтра. Эти категории были разработаны по методу испытаний, разработанному Американским обществом инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха [66].

Отдельно стоят так называемые HEPA-фильтры. Это аббревиатура от «высокоэффективный воздушный [фильтр] для твердых частиц». Согласно MERV-рейтингу, такие фильтры улавливают 99,97% частиц размером 0,3 микрона и частицы большего размера с еще большей эффективностью. Такие фильтры наиболее часто используются в исследованиях для определения влияния на здоровье человека очищения воздуха и считаются самыми эффективными среди существующих фильтров [67].

Вопрос эффективности использования портативных воздухоочистителей людьми с респираторными заболеваниями, в частности ХОБЛ, рассматривают в своей работе Hansel и соавт. В слепом рандомизированном контролируемом исследовании они в течение 6 месяцев наблюдали за 116 участниками, из которых 84,5% завершили исследование. Для оценки результатов использовался опросник респираторных симптомов (SGRQ), данные о применении пациентами ингаляторов, нагрузочный тест и риски обострения. В результате было обнаружено снижение симптомов по субшкале симптомов SGRQ (β , -7,7 [95% доверительный интервал (ДИ), от -15,0 до -0,37]), а также респираторных симптомов (β , -0,8 [95% ДИ, от -1,5 до -0,1]), снижение частоты обострений и использования ингаляторов по сравнению с контрольной группой. По данным итогам можно положительно оценить влияние использования воздухоочистителей на состояние дыхательной функции людей с ХОБЛ [68].

Отдельно рассматривается эффективность очистителей воздуха в отношении детей больных бронхиальной астмой. Cui и соавт. провели двойное слепое перекрестное исследование, в котором определяли, как изменяются патофизиологические процессы в бронхах при использовании устройств для улавливания твердых частиц (PM_{2,5}). В эксперименте приняли участие 43 ребенка с бронхиальной астмой, часть из которых получила настоящие воздухоочистители, а другая часть – фиктивные. По итогам эксперимента было установлено снижение концентрации PM_{2,5} на 63,4% при использовании уловителей твердых частиц каких фиксаторов? Для чего они?. Также при их применении общее сопротивление дыхательных путей снизилось на 24,4% (95% ДИ, 11,8–37,1%), сопротивление

малых дыхательных путей – на 43,5% (95% ДИ, 13,7–73,3%), реактивное сопротивление дыхательных увеличилось на 73,1% (95% ДИ, 0,3–145,8%). Кроме того, наблюдалось увеличение пиковой скорости выдоха и незначительное улучшение функции мелких дыхательных бронхов [69]. Исследование Barkjohn и соавт. также было направлено на изучение эффективности очистителей воздуха в отношении страдающих бронхиальной астмой детей. Благодаря фильтрации воздействие PM_{2,5} в спальне сократилось на 75 % (45 % от общего воздействия). Согласно результатам, фильтрация PM_{2,5} в помещении может быть практическим методом улучшения состояния детей, страдающих бронхиальной астмой, что может быть в дальнейшем подтверждено клиническими испытаниями [70].

Поскольку более 90% населения мира проживает в районах, где уровни загрязнения атмосферного воздуха превышают допустимые для здоровья пределы, необходимо стремиться снизить негативное влияние твердых частиц в воздухе на дыхательную систему здоровых людей. Изучая эту проблему, Cui и соавт. провели двойное слепое рандомизированное перекрестное исследование, в котором 70 здоровых людей в возрасте от 19 до 26 лет получили действующие и фиктивные воздухоочистители, которые использовались в течение 13 часов в день на протяжении 2 недель. По истечению времени эксперимента было установлено, что действие фильтраторов воздуха снижает сопротивление малых дыхательных путей на 20,3% [95% ДИ: 0,1%, 40,5%], содержание в крови фактора фон Виллебранда на 26,9% [95% ДИ: 7,3%, 46,4%], что указывает на снижение риска потенциального тромбоза. Результаты исследования демонстрируют, что фильтрация воздуха может существенно снизить концентрацию частиц в помещении, что приведет к улучшению функции дыхательных путей и снижению риска тромбоза [71].

Поскольку твердые частицы являются одним из основных факторов риска в возникновении сердечно-сосудистых заболеваний, их устранение могло бы снизить частоту возникновения этих болезней и даже увеличить продолжительность жизни населения. Morishita и соавт. провели рандомизированное двойное слепое перекрестное исследование с целью из-

учить эффективность фильтрации воздуха для снижения индивидуального воздействия PM_{2,5} и смягчения связанных с ним последствий сердечно-сосудистых заболеваний среди пожилых людей, поскольку возраст также является важным фактором риска для сердечных заболеваний. Исследование проводилось с участием 40 человек со средним возрастом 67 лет и было разделено по трем сценариям: отсутствие фильтрации воздуха, фильтрация с низкой эффективностью (LE) и высокоэффективная фильтрация (HE). Первичным результатом было выбрано плечевое артериальное давление. В ходе исследования уровень содержания в воздухе PM_{2,5} снизился со среднего значения (SD) 15,5 (10,9) мкг/м³ при фиктивной фильтрации до 10,9 (7,4) мкг/м³ при LE-фильтрации и 7,4 (3,3) мкг/м³ при HE-фильтрации. Также любая фильтрация в течение 3 дней снижала плечевое систолическое и диастолическое АД на 3,2 мм рт. ст. (95% ДИ, от -6,1 до -0,2 мм рт. ст.) и на 1,5 мм рт. ст. соответственно. Результаты этого исследования показали, что кратковременное использование портативных систем фильтрации воздуха снижает воздействие твердых частиц на человека, а именно – снижает систолическое АД у пожилых людей и потенциально защищает сердце от негативного воздействия PM_{2,5} [72].

Воздействие твердых частиц на организм беременных женщин является крайне нежелательным ввиду возможных негативных последствий для плода. Varn и соавт. в своем рандомизированном контролируемом исследовании оценили эффективность воздухоочистителя в снижении воздействия PM_{2,5} и вторичного табачного дыма в жилых помещениях среди некурящих беременных женщин. В исследовании приняли участие 540 беременных женщин, среди которых выделили группу, использующую очистители воздуха и контрольную группу. В качестве контрольных величин были выделены содержание кадмия в крови и никотина в волосах участниц. В результате было отмечено не только снижение содержания твердых частиц в воздухе помещения при применении фильтрующих устройств в сравнении с контрольной группой, но и уменьшение концентрации в крови кадмия (на 14% (4, 23%) ниже). Такой итог может свидетельствовать об эффективности применения фильтров для уменьшения действия на ►►

организм PM_{2,5} и эффектов от пассивного курения [73].

Уровень шума

Влияние на сон и сердечно-сосудистые заболевания у взрослых людей

В связи с процессами индустриализации и постоянного технического развития, уровень шума в окружающей среде растет с каждым годом. Важное значение имеет его уровень внутри жилых помещений, поскольку данный показатель может непосредственно нарушать процессы сна и отдыха. Поэтому данному показателю в настоящее время уделяется много внимания. В 2019 году ВОЗ доработал и выпустил новые рекомендации для регулирования уровня шума окружающей среды, для этого было проанализировано 36 исследований на тему влияния шума окружающей среды на сон. Полученные данные подтвердили негативное влияние транспортного шума на качество сна [74, 75].

В России допустимые уровни шума в дневное (с 7.00 до 23.00 часов) и ночное время (с 23.00 до 7.00 часов) обозначены как 40 и 30дБА соответственно.

В настоящее время установлено большое количество взаимодействий между окружающим шумом и различными неинфекционными заболеваниями. Рассматривая вопрос бремени болезней для шума окружающей среды, Kim и соавт. в докладе Всемирной организации здравоохранения выделяют такие патологии, как сердечно-сосудистые заболевания, когнитивные нарушения, нарушения сна, звон в ушах и раздражительность. Были определены годы жизни, скорректированные по нетрудоспособности для каждого из заболеваний, составившие десятки и сотни тысяч. Согласно таким результатам, был сделан вывод, что шумовое загрязнение по своей опасности для здоровья населения уступает только загрязнению атмосферного воздуха [76].

Механизмы влияния шумового загрязнения на здоровье человека до сих пор изучаются, в частности, дискуссионным остается вопрос о патогенезе изменений сердечно-сосудистой системы под влиянием шума. Известно, что воз-

действие шума в ночное время было связано с повышенным риском гипертонии и инфаркта миокарда, что может быть объяснено нарушением сна, стрессом и дисфункцией эндотелия. Thiesse и соавт. изучали влияние шума на возникновение стресса в организме и изменение структуры сна. В эксперименте участвовали 26 взрослых людей, которые наблюдались в течение 5 суток. В ночное время они подвергались воздействию четырех вариантов шума различной интенсивности. В результате утром участники чувствовали себя более раздраженными, а частота ночных пробуждений ($F_5, 106 = 3,4$, $p < 0,001$, корреляция: $r_{pearson} = 0,64$, $p = 0,006$). и вечерний уровень кортизола в крови ($p = 0.002$, эффект шума: $F_{4,83} = 4.0$, $p = 0.005$) существенно возросли [77].

Эндотелиальная дисфункция, вызванная шумом, может быть частично связана с увеличением производства активных форм кислорода и, таким образом, может быть одним из механизмов наблюдаемой связи хронического воздействия шума с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Это проанализировали в своем исследовании Schmidt и соавт., изучавшие влияние ночного шума на функцию эндотелия. Исследование проводилось среди 75 добровольцев, средний возраст которых составил 26 лет. В течение трех ночей они подвергались воздействию контрольного уровня шума и двух вариантов шумовых сценариев с разной частотой (30 или 60 раз за ночь). Для контроля результатов участникам проводилось исследование поток-опосредованной дилатации (метод измерения эндотелиальной функции путем оценки изменения вазодилатативного резерва плечевой артерии, FMD). Шум вызывал ухудшение качества сна ($p < 0,0001$). Также показано зависимое влияние уровня шума на показатели FMD ($p = 0,020$). Утренняя концентрация адреналина увеличилась с $28,3 \pm 10,9$ до $33,2 \pm 16,6$ и $34,1 \pm 19,3$ нг/л ($p = 0,0099$). Таким образом можно заключить, что у здоровых взрослых людей острое воздействие шума в ночное время дозозависимо ухудшает функцию эндотелия и стимулирует выброс адреналина [5]. Схожее исследование провели Nahad и соавт. Они стремились установить, связаны ли изменения эндотелиальной функции с половой принадлежностью испытуемых. В рандомизированном пе-

рекреационном исследовании приняло участие 70 добровольцев, половина из которых являлась мужчинами, а половина женщинами. Метод проведения исследования был аналогичен предыдущему. После каждой ночи участники посещали исследовательский центр для измерения эндотелиальной функции. По результатам исследования FMD была значительно нарушена после ночей Noise 30 и Noise 60 как у мужчин, так и у женщин ($p < 0,001$ по сравнению с контролем). С целью улучшения эндотелиальной функции пациентам давали витамин С, однако имело неоднозначные результаты и давало положительный эффект только у женщин [78].

Влияние шума на сон может проявляться для человека в виде нарушения процесса засыпания, слишком раннего пробуждения или нарушения целостности сна. Среди источников шума, наиболее часто вызывающих нарушения сна, можно выделить автомагистрали, железнодорожные пути и аэропорты.

Влияние на толерантность к глюкозе и психическое здоровье взрослых людей

Нарушения сна считаются одним из факторов повышенного риска возникновения диабета 2 типа, поскольку известно, что несколько ночей короткого или плохого сна ухудшают толерантность к глюкозе и чувствительность к инсулину у здоровых людей, которые хорошо спят. Thiesse и соавт. стремились установить, в какой степени воздействие ночного транспортного шума влияет на метаболизм глюкозы и связано ли это с изменениями сна, вызванными шумом. В лабораторном исследовании участвовал 21 человек. Эксперимент начинался с бесшумной ночи, затем четыре ночи были случайно представлены сценариями транспортного шума с одинаковым средним уровнем звука 45дБ, но отличающийся насыщенностью, и в конце исследования бесшумная восстановительная ночь. Также отдельно были выбраны две группы, подвергнутые разной интенсивности шума в предпоследнюю ночь. Сон измеряли с помощью полисомнографии, а толерантность к глюкозе и чувствительность к инсулину измеряли с помощью перорального теста на толерантность к глюкозе. У всех участников наблюдалось увеличение AUC (площадь под кривой, отражает

колебания уровня) глюкозы (среднее \pm SE, 14 ± 2 %, $p < 0,0001$) и AUC инсулина (55 ± 10 %, $p < 0,0001$) после последней шумовой ночи по сравнению с исходной ночью. Чувствительность к инсулину в разных группах соответственно снизилась на 7 ± 8 % ($p = 0,001$) и 9 ± 2 % ($p < 0,0001$) после четырех ночей с транспортным шумом. Только участники в группе с меньшим воздействием шума показали положительное влияние ночи восстановления без шума на регуляцию уровня глюкозы. Такие результаты свидетельствуют о негативном влиянии внешнего шума на толерантность к глюкозе и чувствительность к инсулину в организме [79].

Выраженное негативное влияние шума на здоровье можно наблюдать у жителей крупных городов. Monazzam и соавт. проводили исследование с целью изучения связи между психическими расстройствами, нарушениями сна и раздражающим шумом окружающей среды. В исследовании приняли участие 822 жителя города Тегеран, Иран, из которых 84,6% подвергались воздействию звука выше стандартного предела в ночное время (45 дБ). У 49% испытуемых было плохое качество сна, а у 66% была высокая чувствительность к шуму [80]. В Германии воздействие внешнего шума затрагивает почти 80% населения города Майнц и соседнего округа Майнц-Бинген, из которых наиболее обременительным считается авиационный шум [81].

Таким образом, процесс сна крайне важен для здоровья человека, и его нарушение может приводить как к ближайшим, так и отдаленным негативным последствиям для организма. В частности, экспериментально показано влияние нарушений сна на метаболизм глюкозы и регуляцию аппетита, работу памяти, терморегуляцию, функцию сосудистой системы и иммунный ответ на вакцинацию. Среди ближайших последствий можно выделить дневную сонливость и нарушение когнитивных функций, что может приводить к ошибкам и даже несчастным случаям. Кроме того, нарушения терморегуляции и снижение реактивности иммунной системы вследствие депривации сна могут приводить к снижению резистентности организма к инфекционным заболеваниям [82].

Среди последствий нарушения сна выделяют также повышение раздражительности и ►►

агрессивное поведение. Krizan и соавт. исследовали, как изменяется настроение человека при недостатке сна. В течение двух дней 142 участника эксперимента либо подвергались ограничению сна, либо спали как обычно, после чего им предлагалось оценить свой гнев. Недостаток сна повышал раздражительность у участников, а также нарушал адаптацию организма к нарушающим сон факторам, например, посторонним звукам [83].

Негативное влияние, оказываемое окружающим шумом на здоровье человека, затрагивает различные органы и системы. Активно рассматривается влияние шума на когнитивные способности людей. Метаанализ, проведенный Thompson и соавт. включал суммарно 48 исследований, затрагивающих разные группы людей. Демонстрируется ухудшение усвоения материала школьниками при воздействии внешнего шума: показатели понимания прочитанного в тихих классах были на 0,80 (95% доверительный интервал: 0,40; 1,20) балла выше, чем у детей в более шумных классах. Выявлено также негативное влияние на людей зрелого и пожилого возраста: метаанализ определил более высокие шансы когнитивных нарушений у людей в возрасте 45 лет и старше с более высоким воздействием шума в жилых помещениях (ОШ 1,40, 95% ДИ: 1,18; 1,61) [84]. Хотя текущие данные все еще ограничены, интенсивное воздействие было связано с более быстрым снижением когнитивных функций, способным даже ускорить развитие болезни Альцгеймера [85].

Важно отметить воздействие шума на когнитивные способности и психику детей. Освоение нового материала в шумных условиях вызывает большее утомление, что особенно сильно сказывается на детях, чья психика только формируется. Dohmen и соавт. в своем обзоре рассматривают снижение мотивации и развитие выученной беспомощности у детей, обучающихся в шумных условиях. Рассмотренные ими статьи изучают детей в возрасте от 8 до 13 лет и демонстрируют доказательства связи между шумом окружающей среды, познанием и снижением мотивации по отдельности, но, идя дальше, можно предположить о существующей связи между этими тремя составляющими [86]. Исследования касательно влияния шума на способность детей обучаться дают не-

однозначные результаты. Klatter и соавт. в своем исследовании обнаружили, что шум в помещении и внешний шум связаны с более низкой успеваемостью детей при выполнении задач и снижению способностей к чтению [87]. С другой стороны, Massonnie и соавт. не обнаружили влияния шума на общую производительность, однако же заметили, что дети с менее развитой рабочей памятью показывают более низкие результаты при выполнении математических задач из-за отвлечения шумом [88].

Звон в ушах или тиннитус – восприятие звука при отсутствии каких-либо физических раздражителей – встречается у 15% всего населения. Чрезмерное воздействие шума является основным фактором, связанным с тиннитусом, но приводит к нему далеко не всегда. На сегодняшний день проведено несколько центральных исследований, которые задокументировали характерные для шума в ушах нейронные изменения. Так, начиная с ядра улитки, снижение иннервации каждого отдельного типа клеток приводит к неадекватному увеличению активности основных выходных нейронов, веретенообразных клеток и кустистых клеток. Также роль играет снижение активности тормозных нейронов, что происходит из-за снижения передачи возбуждения от волокон слухового нерва [89].

Исследование с целью установить связь между шумом окружающей среды и тиннитусом провели Shore и соавт. Исследование проводилось среди жителей Дании старше 30 лет, среди которых у 40 692 был диагностирован звон в ушах. После чего был смоделирован автомобильный шум и его уровень для адресов всех участников исследования. В результате была обнаружена положительная связь между воздействием дорожного шума и риском возникновения тиннитуса с коэффициентами опасности 1,06 (95% ДИ: 1,04, 1,08) для наиболее открытых фасадов зданий и 1,02 (95% ДИ: 1,01, 1,03) для более закрытых фасадов с увеличением на 10 дБ в течение 10 лет. Самые высокие оценки риска были обнаружены для женщин, людей без потери слуха, людей с высшим образованием и доходом, а также людей, которые никогда не работали [89].

Связь между продолжительным воздействием шума и нарушениями слуха была установлена давно и изучена весьма подробно.

Однако обычно в контексте исследований рассматривается травматический шум, то есть нарушающий предельно допустимые величины, как шум на производстве или в ходе военных действий. Тем не менее, возможность воздействия нетравматического, но постоянного шума на органы слуха также изучается и уже доказана на моделях животных [90].

Эффекты от такого нетравматического воздействия шума на орган слуха можно наблюдать у людей, живущих вблизи железных дорог и автомагистралей. Перекрестное исследование, проведенное Sahu и соавт. в городе Райпур в Индии, показало, что среди 400 опрошенных, живущих рядом с железнодорожными путями, 23,0% участников исследования отметили возникновение у них слуховой усталости, а 11,5% сообщили о снижении слуха [91]. Wang и соавт. для установления связи между тугоухостью и воздействием дорожного шума провели исследование, в которое вошли 41 человек с установленным снижением слуха и 39 человек в контрольной группе. Средний уровень воздействия дорожного шума был значительно выше в основной группе, чем в контрольной ($p=0,005$). ОШ 5,78 показало повышенный риск для ухудшения слуха и шума в ушах при воздействии дорожного шума интенсивностью более 70 дБ ($p<0,001$). ОШ 9,24 ($p=0,002$) по результатам множественного анализа предполагает, что уровни дорожного шума выше 70 дБ могут оказывать повреждающее воздействие на слух [92].

Касательно отдаленных последствий влияния шумового раздражения на здоровье человека информации на данный момент не много. Исследование на эту тему проводили Beutel и соавт. Они проанализировали данные 11905 жителей центральной части Германии, при этом оценивалось шумовое раздражение в момент начала исследования и через 5 лет. В результате у тех участников чье раздражение от внешнего шума за период исследования оставалось на исходном уровне, повышалась вероятность развития симптомов тревоги, депрессии и нарушений сна. При этом предполагается, что психическое раздражение снижает устойчивость организма к воздействию шума, что еще сильнее усугубляет негативные последствия. Эти данные демонстрируют, что шумовое раздраже-

ние в долгосрочной перспективе усугубляет бремя психических расстройств и нарушений сна [93].

Технологические решения для мониторинга уровня шума

Приборы для измерения уровня шума – шумомеры – чаще используются в промышленности, либо в исследованиях. Однако существует практика их бытового применения, для чего используются так называемые приложения для измерения уровня звука (sound level meter applications, SLMAs). Их легко использовать, однако точность измерений без дополнительной калибровки признается весьма посредственной [88, 89]. Более точный результат могло бы дать использование более профессиональных датчиков, без интегрирования их в смартфон. Также рассматривается возможность внедрения шумомеров в смарт-часы. Их использование показывает достаточно высокую точность измерения в сочетании с простотой использования [94].

Наиболее простым и очевидным способом устранения шумового воздействия во сне является использование берушей. Это легкий в использовании и достаточно эффективный метод повышения качества сна, доказавший свою действенность во множестве исследований. Наиболее часто такие исследования проводятся в условиях больниц и отделений интенсивной терапии, где шум, издаваемый персоналом и приборами невозможно устранить иным образом. Тем не менее, для условий жилого помещения, где причиной нарушений сна является шум снаружи здания, этот метод также может быть применим.

Для определения краткосрочных последствий использования пациентами берушей, а также масок для сна, Sweity и соавт. провели рандомизированное контролируемое исследование среди 206 пациентов терапевтических и хирургических отделений Великобритании. Группа участников состояла из 109 человек. Из них для улучшения сна беруши или маски использовали 91 человек (86%). В результате средняя оценка качества сна в группе вмешательства составила 6,33 (95% ДИ: 5,89–6,77) по сравнению с 5,09 (95% ДИ: 4,66–5,52) в ►►

контрольной группе ($p < 0,001$) [95]. Khoddam и соавт. проводили свое исследование среди 68 пациентов с ИБС. Они были разделены на 4 группы: контрольная, использующая беруши, использующая маски для сна и использующая беруши и маски одновременно. Все вмешательства были выполнены с 22:00 вечера до 7:00 утра следующего дня. По оценкам самих пациентов, нарушения сна были статистически значимо ниже у пациентов с берушами (разница средних значений визуальной аналоговой шкалы [MD]: 74,31 мм, SE: 11,34, $p=0,001$). Эффективность сна была статистически значимо выше у пациентов с маской для глаз (MD: 36,88 мм, SE: 8,75, $p=0,001$). Потребность в дополнительном сне была статистически значимо ниже у пациентов с масками для глаз (MD: 39,79 мм, SE: 7,23, $p=0,001$). При измерении уровня кортизола в моче были отмечены значительные различия между масками для глаз и контрольной группой ($p=0,007$), берушами и контрольной группой ($p=0,001$), а также масками для глаз с берушами и контрольной группой ($p=0,006$). Хотя все три вмешательства улучшили качество сна пациентов, изменения в трех группах были различные [96]. С целью определить влияние берушей и масок для сна у пациентов отделения интенсивной хирургии Обапог и соавт. провели исследование среди пациенток женского пола. Качество сна определялось при помощи опросника сна Ричарда-Кэмпбелла. В группе вмешательства средний балл был значительно выше (64,5 [95% ДИ, 58,3–70,7; $p=0,0007$]), чем в контрольной группе (47,3 [95% ДИ, 40,8–53,8]) [97].

Кроме использования берушей, снизить уровень шума могут помочь различные архитектурные решения внутри жилого помещения – установка окон с тремя стеклопакетами, размещения мест отдыха, работы и учебы на расстоянии от потенциальных источников шума, например, окон, вентиляционных решеток. Эти способы более трудоемкие, но дают постоянный и точный результат.

Искусственный ночной свет

Пороговые значения

В последние годы все чаще обсуждаются проблемы влияния искусственного ночного

света (artificial light at night, ALAN) на функции организма и здоровье человека. Механизмы воздействия установлены достаточно хорошо, чтобы утверждать об эффектах, которые оказывает данное воздействие. В первую очередь, это влияние на циркадные ритмы, представляющие собой циклическую систему транскрипции и трансляции основных генов по часам. Эти гены экспрессируются почти во всех тканях и непосредственно управляют циркадными ритмами. Они же, в свою очередь могут регулировать такие сферы, как экспрессия генов, клеточное деление, эндокринные, метаболические и иммунные функции, а также поведенческие процессы, такие как сон и двигательная активность, поиск пищи и размножение [98].

У млекопитающих циркадные ритмы поддерживаются и регулируются билатеральными супрахиазматическими ядрами (СХЯ) переднего гипоталамуса, что осуществляется посредством нейронной и гормональной связи. Однако для поддержания точных ритмов СХЯ должны получать какие-то стимулы. Основным таким стимулом является свет, хотя роль стимулов могут играть приемы пищи и двигательная активность. Световая информация поступает на сетчатку, откуда передается в СХЯ. Именно поэтому свет так важен для нормального осуществления вышеуказанных функций, регулируемых циркадными ритмами [99].

Законодательно установленных пороговых значений для ALAN в данный момент не существует. Но если ориентироваться на потенциальный порог, от которого начинается подавление ночного синтеза мелатонина, Национальная токсикологическая программа США приводит значение около 30 люкс белого света на роговице в течение 60 минут [100].

Большинство исследований влияния ALAN на организм затрагивают влияние на метаболизм и эндокринную систему, а также риски возникновения рака. Кроме того, описаны влияния на зрительный аппарат и нервную систему. Последовательно мы рассмотрим каждое из этих изменений в отношении здоровья человека.

Влияние на эндокринную систему и развитие онкологических заболеваний

Основным механизмом воздействия ALAN на организм является подавление синтеза мела-

тонина, что приводит к нарушению эндокринной регуляции различных функций. Если говорить о метаболизме, циркулирующий мелатонин управляет суточными ритмами лептина плазмы и модулирует гомеостаз глюкозы [101]. Влияние мелатонина хорошо демонстрируют Albreiki в своем рандомизированном контролируемом исследовании. Девять участников были распределены по трем протоколам действий: первые подвергались воздействию света во время сна (> 500 люкс) (LS), вторые спали в темноте (< 5 люкс) и получали экзогенный мелатонин (DSC) и третьи спали при свете (> 500 люкс) и получали экзогенный мелатонин (LSC). В результате учитывались показатели уровней глюкозы, инсулина, ненасыщенных жирных кислот (НЖК), ТАГ, кортизола и мелатонина. Уровни глюкозы, инсулина и ТАГ снижались в группах, получавших мелатонин (LSC и DSC) в сравнении с его отсутствием ($p = 0,002$, $p = 0,02$ и $p = 0,007$ соответственно). НЖК плазмы крови после введения мелатонина снижались в сравнении с его отсутствием ($p < 0,001$). Таким образом, экзогенный мелатонин, вводимый перед вечерним пробным приемом пищи, улучшал толерантность к глюкозе, чувствительность к инсулину и снижал уровень ТАГ после приема пищи [102].

Choi и соавт. проводили исследование с целью определить влияние ALAN на энергетический обмен человека. В исследовании приняли участие десять мужчин, разделенных на контрольную группу (интенсивность света во время сна менее 50 люкс) и группу вмешательства (интенсивность света примерно 10000 люкс). При этом измерялся их расход энергии, дыхательный коэффициент и окисление субстрата для определения энергетического обмена. Ночное воздействие яркого света подавляло синтез мелатонина перед сном, что приводило к увеличению латентного периода сна. Кроме того значительно снижалось окисление жиров и увеличивался показатель отношения окисления углеводов к жиру, на протяжении всего периода сна [103].

Существует умеренная степень достоверности причинно-следственной связи между развитием рака и определенными условиями освещения в сочетании с недостаточным воздействием дневного света, которые вызывают нарушение циркадного ритма. Этот вывод осно-

ван на убедительных доказательствах того, что ALAN действует через механизмы, которые могут вызывать рак у людей. Во-первых, подавление выработки мелатонина и другие типы циркадных нарушений могут приводить к пролиферации и росту рака молочной железы. Во-вторых, ALAN вызывает биологические эффекты, характерные для признанных канцерогенов [104]. Некоторая биологическая правдоподобность ассоциации рака молочной железы и ALAN также определяется данными, что многократное воздействие искусственного света в ночное время может вызвать повреждение ДНК и окислительный стресс, воспаление и иммунный ответ, а также нарушить метаболическую функцию. В частности, было предложено три механизма для объяснения связи между ALAN и некоторыми типами рака: ALAN может ингибировать секрецию мелатонина напрямую, через лишение сна (также влияя на пролиферацию клеток и выработку цитокинов) и через нарушение режима [105].

Наиболее часто в данном контексте рассматривается рак молочной железы. Крупное исследование провели Xiao и соавт., проанализировавшие 12318 случаев рака молочной железы у женщин в постменопаузе и установили взаимосвязь с квинтилями ALAN. Уровень ALAN был измерен с использованием данных Министерства обороны США из архива системы Linescan. В результате анализа выяснилось, что у женщин из самого высокого квинтиля ALAN риск возникновения рака молочной железы увеличился на 10% (отношение рисков (ОР) (95% ДИ), 1.10 (1.02, 1.18), P-тренд 0.002). Причем связь оказалась более сильной для рака молочной железы, положительного по эстрогеновому рецептору (ЭР) (1,12 [1,02, 1,24], 0,007), чем для ЭР-негативного рака (1,07 [0,85, 1,34], 0,66) [106].

Кроме этого, рассматривается связь и для других вариантов рака железистых органов. Так Zhang и соавт. изучили информацию о 464371 пациентах с целью установить связь между ALAN и раком щитовидной железы. Заболеваемость была установлена с использованием данных государственных реестров рака, а воздействие ALAN оценивалось по спутниковым сетям и было привязано к адресам проживания. Была установлена положительная связь, так ►►

по сравнению с самым низким квинтилем, самый высокий квинтиль ALAN имел риск возникновения рака щитовидной железы на 55% больше (ОР, 1,55; 95% ДИ, 1,18-2,02). Также связь была более сильной для женщин, (ОР 1,81; 95% ДИ 1,26–2,60), чем для мужчин (ОР 1,29; 95% ДИ 0,86–1,94) [107].

В исследовании Xiao и соавт. связь между ALAN и аденокарциномой протоков поджелудочной железы также оказалась положительной. Среди 446371 участника было выявлено 502 случая аденокарциномы. По сравнению с пациентами, живущими в районах с низким квинтилем ALAN, у пациентов из районов с высоким квинтилем риск возникновения аденокарциномы протоков поджелудочной железы повышался на 27% [ОР (95% ДИ), 1,24 (1,03-1,49)]. При том риск был одинаков для мужчин [1,21 (0,96-1,53)] и женщин [1,28 (0,94-1,75)], а связь между массой тела и аденокарциномой была более сильной для пациентов с нормальным и избыточным весом, чем для пациентов с ожирением (P-тренд 0,03) [108].

Влияние на зрение

Обсуждается возможность влияния света ночью на функции зрительного аппарата. В экспериментах на животных было доказано, что ночной свет может вызывать аномалии рефракции, однако для людей результаты остаются сомнительными. В своем исследовании Suh и соавт. исследовали влияние ALAN на усталость глаз. Приняли участие 60 человек, из которых до конца эксперимента дошли 54. В течение первой и второй ночи испытуемые не подвергались воздействию света во время сна, но в течение третьей ночи на них воздействовали окружающим светом силой 5 или 10 люкс на уровне глаз, который был случайным образом распределен по 30 субъектам. В ходе исследования учитывались острота зрения, аномалии рефракции, гиперемия конъюнктивы, время слезоотделения, интервал моргания, температура поверхности глаза, а также субъективные ощущения. У всех 54 испытуемых время слезоотделения и максимальный интервал моргания уменьшились ($p=0,015$; $0,010$ соответственно), а гиперемия конъюнктивы значительно увеличилась после сна при любом внешнем освещении

($p<0,001$; $0,021$ соответственно). Усталость и болезненность глаз также увеличились ($p=0,004$; $0,024$ соответственно) [109].

Влияние на когнитивные способности

Также рассматривается влияние ALAN и на когнитивные способности. Существуют данные, демонстрирующие развитие у животных депрессивно-подобного поведения в результате воздействия ночного света. Так Walker и соавт. воздействовали на популяцию мышей слабым светом (5 люкс) в течение трех ночей, а затем оценивали изменения в поведенческих тестах. В результате группы мышей, подвергшиеся воздействию ALAN, показали более низкие результаты в тестах предпочтения сахарозы ($p<0,0001$ для самок и $p<0,001$ для самцов), наблюдалось снижение потребления жидкости у самок ($p<0,008$), а также более низкие результаты в тестах принудительного плавания. Такие данные демонстрируют повышенное депрессивное поведение у животных после воздействия ночного света [110]. Хотя для людей подобных исследований пока не проводилось, но показано, что восстановление циркадных ритмов благоприятно влияет на психическое здоровье. Так в исследовании Facer-Childs и соавт., направленном на сдвиг позднего времени бодрствования на более ранние часы, участники отметили уменьшение стрессовых реакций и показали лучшие результаты в тестах на когнитивные способности. В качестве вмешательств использовались фиксированное время приема пищи, физические нагрузки и также воздействие света [111].

Технологические решения

Практика рутинного использования приборов для определения уровня освещенности – люксметров – с целью определения влияния ALAN на организм на сегодняшний день не развита. Однако эти приборы достаточно компактны и легки в эксплуатации, поэтому их потенциальное применение должно быть легко осуществимым.

Говоря о методах снижения влияния ночного света на здоровье, нужно отметить, что нет каких-то чисто технологических решений. Источники света внутри жилого помещения,

например, экран и системный блок компьютера, экран телефона, стоит переместить в другие помещения, либо установить для них ночной режим, максимально снижающий интенсивность света в ночное время. Для снижения влияния источников света снаружи жилого помещения можно использовать плотные занавески или жалюзи, а также маски для сна. Это решение обладает определенной эффективностью, что обсуждалось выше, в разделе о шумовом загрязнении [112-114].

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Объем собранных нами данных в ходе этого исследования позволяет заключить, что факторы среды в настоящий момент вызывают большой интерес как со стороны научного сообщества, так и со стороны обычных людей. Возможность предупреждать развитие заболеваний путем устранения потенциальных факторов риска, осуществляя таким образом профилактику, является крайне перспективным направлением. Поэтому мы выделили несколько основных параметров, по которым можно охарактеризовать каждый фактор для того, чтобы понимать принцип его коррекции и иметь возможность снизить негативное влияние на здоровье человека.

Практически все из рассмотренных нами факторов имеют предельно допустимый уровень, который устанавливается и регулируется законодательными актами. Исключение составляет лишь искусственный ночной свет, поскольку его воздействие на данный момент никак не регулируется, а в качестве референсного значения можно обозначить лишь пороговый уровень, при котором начинает реализовываться негативное воздействие фактора на организм, то есть подавление синтеза мелатонина.

Говоря о негативном воздействии, все рассмотренные нами факторы являются достаточно хорошо изученными. Большинство механизмов воздействия установлены, и влияние подтверждено экспериментально. Тем не менее, нельзя отрицать той возможности, что в будущем будут найдены новые причинно-следственные связи и установлены механизмы воздействия этих же факторов на развитие других, не рассмотренных нами заболеваний.

Вредное воздействие фактора на организм человека начинается при превышении этим фактором предельно допустимого уровня. Зафиксировать момент превышения, опираясь лишь на субъективные ощущения, практически невозможно. Некоторые факторы, например, влажность воздуха или концентрацию взвешенных частиц, мы и вовсе можем определить лишь по косвенным признакам. Поэтому для детекции фактора нам абсолютно необходимо дополнительное оборудование. Используемые для этого датчики не являются новшествами, но традиционно они применяются для разового измерения уровня в ходе проверок соответствия нормативам на промышленных предприятиях или в ходе строительства жилых помещений. Внедрение этих приборов в повседневность началось сравнительно недавно, с появлением интернета вещей.

Наиболее очевидным кажется устранение источника фактора из среды помещения. Однако если речь идет о физических факторах, то это будет возможно лишь отчасти. К примеру, основным источником углекислого газа в помещении является сам человек. И хоть снизить количество людей в помещении было бы в некоторой степени эффективно, это далеко не всегда возможно. У большинства факторов источник находится вне среды помещения. Температура, влажность воздуха напрямую зависят от атмосферных показателей, а взвешенные частицы, шум и искусственный ночной свет являются неотъемлемыми частями индустриально развитого города. Поэтому устранение источника фактора нельзя считать основным способом коррекции.

Другим способом является воздействие на сам фактор путем применения каких-либо приборов (кондиционеры, увлажнители воздуха, улавливатели твердых частиц), либо посредством осуществления простых действий (естественное проветривание, использование плотных штор или масок для сна). Говоря о технических решениях, необходимо отметить, что все приборы нуждаются в обслуживании, будь то замена воды или смена фильтра. В случае пренебрежения правилами эксплуатации, эти приборы могут быть не только неэффективны, но и стать дополнительным источником негативно воздействующих на здоровье факторов. ►►

Все вышесказанное можно резюмировать в виде таблицы, в которой для каждого рассмотренного нами фактора приведены параметры, важные для понимания принципов его воздействия, а также возможностей изменения и достижения оптимальных значений.

■ ВЫВОДЫ

Мы проанализировали большое количество статей, описывающих влияние факторов внутренней среды помещения на здоровье человека, что дало возможность оценить, насколько актуальна и изучаема данная тема. Информация с каждым годом обновляется, а данные используются для разработки решений, способствующих поддержанию здоровья человека. Изученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Среди всех возможных факторов были выделены параметры микроклимата (темпера-

тура и влажность воздуха), концентрация в воздухе помещения углекислого газа, концентрация взвешенных твердых частиц, уровень шума и искусственный ночной свет. Особенности этих факторов является то, что они легко поддаются детекции при помощи приборов и датчиков, а также являются модифицируемыми, то есть их коррекция до комфортного уровня в бытовых условиях не составит труда.

2. Наше исследование имеет определенные ограничения, поскольку рассмотренные факторы были выбраны, исходя из обозначенных нами критериев, и составляют лишь небольшую часть от всех возможных показателей, которые могут влиять на здоровье человека. Возможно, существуют другие факторы, которые полностью или частично подходят под обозначенные нами параметры и должны быть рассмотрены в будущих исследованиях.


3. Для поддержания оптимального для здоровья уровня рассмотренных нами параметров, необходим их динамический мониторинг. Оценка, даваемая человеком субъективно, может

Таблица 2. Негативное воздействие на здоровье факторов среды помещения и способы его уменьшения
Table 2. The negative impact on the health of indoor environmental factors and ways to reduce it

Фактор среды	Референсные значения	Влияние на здоровье	Референсные значения	Методы коррекции
Температура воздуха	20-22 °С – холодный период года. 22-25 – теплый период года [117].	Снижение эффективности иммунного ответа в низких температурах. Инактивация вирусных частиц в среде помещения при высоких температурах. Снижение работоспособности, когнитивных функций, нарушения сна при высоких и низких температурах.	Термометр	Кондиционеры, напольные обогреватели, искусственная и естественная вентиляция
Влажность воздуха	30-45% – холодный период года. 30-60% – теплый период года [7].	Увеличение выживаемости бактерий при высокой ОВ и вирусов при крайне высокой, либо крайне низкой ОВ. Синдром сухого глаза при низкой ОВ. Снижение работоспособности и когнитивных функций при высокой ОВ.	Психрометр или гигрометр	Портативные увлажнители воздуха
Концентрация углекислого газа	Менее 1000 см ³ /м ³ [43].	При превышении показателя – снижение когнитивных способностей, эффективности работы и обучения.	Датчик углекислого газа	Искусственная и естественная вентиляция
Концентрация твердых частиц в воздухе	PM _{2,5} – 25 мкг/м ³ PM ₁₀ – среднее значение 50 мкг/м ³ за 24 часа при возможности превышения 35 раз в год, среднегодовое значение — 40 мкг/м ³ [51].	При превышении показателя – фактор риска развития астмы, бронхитов, инфекций дыхательных путей, аллергий, сердечно-сосудистых патологий (инфаркта миокарда, инсульта, сердечной недостаточности, аритмии). Увеличение микробной обсемененности помещения.	Портативные датчики для определения концентрации твердых частиц в воздухе	Улавливатели твердых частиц и НЕРА-фильтры
Уровень шума	Дневное время (с 7 до 23) – 40 дБА Ночное время (с 23 до 7) – 30 дБА [7].	Нарушения сна, сердечно-сосудистые заболевания, когнитивные нарушения, звон в ушах, раздражительность.	Шумомер	Беруши, окна с тремя стеклопакетами, различные архитектурные решения
Искусственный ночной свет	30 люкс белого света на роговице в течение 60 минут [102].	Нарушения сна, метаболических процессов (обмен глюкозы), фактор риска онкологических заболеваний, усталость глаз, когнитивные нарушения.	Люксметр	Маски для сна, плотные шторы, жалюзи

лишь отчасти способствовать поддержанию комфортных условий в помещении, а некоторые факторы человек и вовсе не может оценить без специального оборудования. Потому использование приборов и датчиков кажется крайне важным решением для снижения негативного влияния среды на организм человека.

4. Несмотря на то, что способы фиксации всех рассматриваемых нами факторов существуют и применяются на практике давно, они зачастую не предназначены для использования человеком в бытовых условиях. Появление и широкое распространение интернета вещей увеличило заинтересованность людей в мониторинге состояния среды внутри их жи-

лица, но большинство предложений направлены на отслеживание одного или пары факторов в помещении, что в итоге не дает возможности увидеть картину в целости. Наиболее явным решением этой проблемы является создание такого прибора, который объединит в себе несколько датчиков и даст возможность контролировать все самые основные параметры среды не только в момент времени, но и в динамике. И помимо простого обозначения проблемы в случае, если один или несколько факторов не соответствуют комфортному уровню, он также мог бы предлагать ее решения, не требующие от пользователя больших усилий и вложений средств. 

ЛИТЕРАТУРА

1. Estimating environmental health impacts [Electronic resource]. [Cited up to 20 January 2023]. URL: <https://www.who.int/activities/environmental-health-impacts>.
2. Авалиани С.Л., Мишина А.Л. О гармонизации подходов к управлению качеством атмосферного воздуха. ЗНиСО 2011(3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-garmonizatsii-podhodov-k-upravleniyu-kachestvom-atmosfernogo-vozduha> (date of access: 04.13.2023).
3. Criteria Air Pollutants US EPA [Electronic resource]. [Cited up to 20 January 2023]. URL: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>.
4. Issitt T, Wiggins L, Veysey M, Sweeney ST, Brackenbury WJ, Redeker K. Volatile compounds in human breath: critical review and meta-analysis. *J Breath Res* 2022;16(2).
5. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28 января 2021. Гигиенические нормативы физических факторов в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях. [Электронный ресурс]. [цитируется по 18 март 2023 г.]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/8PAOLP?ysclid=ffe1xzmzoc449379963>.
6. Salthammer T, Morrison GC. Temperature and indoor environments. *Indoor Air* 2022;32(5):e13022.
7. Foxman EF, Storer JA, Fitzgerald ME, Wasik BR, Hou L, Zhao H, et al. Temperature-dependent innate defense against the common cold virus limits viral replication at warm temperature in mouse airway cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 2015;112(3):827–32.
8. Kudo E, Song E, Yockey LJ, Rakib T, Wong PW, Homer RJ, et al. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Proc Natl Acad Sci USA* 2019;116(22):10905–10.
9. Shimoda T, Okubo T, Enoda Y, Yano R, Nakamura Sh, Thapa J, et al. Effect of thermal control of dry fomites on regulating the survival of human pathogenic bacteria responsible for nosocomial infections. ed. Byrd T 2019;14(12):e0226952.
10. Lin K, Marr LC. Humidity-Dependent Decay of Viruses, but Not Bacteria, in Aerosols and Droplets Follows Disinfection Kinetics. *Environ Sci Technol* 2020;54(2):1024–32.
11. Woese C. Thermal inactivation of animal viruses. *Ann N Y Acad Sci* 1960;83:741–51.
12. Polozov IV, Bezrukov L, Gawrisch K, Zimmerberg J. Progressive ordering with decreasing temperature of the phospholipids of influenza virus. *Nat Chem Biol* 2008;4(4):248–55.
13. Zhao Y, Aarnink AJA, Dijkman R, Fabri T, de Jong MCM, Groot Koerkamp PWG. Effects of temperature, relative humidity, absolute humidity, and evaporation potential on survival of airborne Gumboro vaccine virus. *Appl Environ Microbiol* 2012;78(4):1048–54.
14. Ahlawat A, Wiedensohler A, Mishra SK. An Overview on the Role of Relative Humidity in Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments. *Aerosol Air Qual. Res* 2020;20(9):1856–1861.
15. Chan KH, Peiris JSM, Lam SY, Poon LLM, Yuen KY, Seto WH. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Adv Virol* 2011:e734690.
16. Why the fight against COVID-19 must include indoor air humidity [Electronic resource]. Building 2020 [Cited up to 18 March 2023]. URL: <https://building.ca/feature/why-the-fight-against-covid-19-must-include-indoor-air-humidity/>
17. Reiman JM, Das B, Sindberg GM, Urban MD, Hammerlund MEM, Lee HB, et al. Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A. *PLoS ONE* 2018;13(9):e0204337.
18. Tian X, Fang Z, Liu W. Decreased humidity improves cognitive performance at extreme high indoor temperature. *Indoor Air* 2021;31(3):608–27.
19. Zuo C, Luo L, Liu W. Effects of increased humidity on physiological responses, thermal comfort, perceived air quality, and Sick Building Syndrome symptoms at elevated indoor temperatures for subjects in a hot-humid climate. *Indoor Air* 2021;31(2):524–40.
20. Chimed-Ochir O, Ando S, Murakami S, Kubo T, Ishimaru T, Fujino Y, et al. Perception of feeling cold in the bedroom and sleep quality. *Nagoya J Med Sci* 2021;83(4):705–14.
21. Abbasi AM, Motamedzadeh M, Aliabadi M, Golmohammadi R, Tapak L. The impact of indoor air temperature on the executive functions of human brain and the physiological responses of body. *Health Promot Perspect* 2019;9(1):55–64.
22. Barbic F, Minonzio M, Cairo B, Shiffer D, Dipasquale A, Cerina L, et al. Effects of different classroom temperatures on cardiac autonomic control and cognitive performances in undergraduate students. *Physiol Meas* 2019;40(5):054005.
23. Kakitsuba N, Chen Q, Komatsu Y. Diurnal change in psychological and physiological responses to consistent relative humidity. *J Therm Biol* 2020;88:102490.
24. Mandell JT, Idarraga M, Kumar N, Galor A. Impact of Air Pollution and Weather on Dry Eye. *J Clin Med* 2020;9(11):3740.
25. Hwang SH, Choi YH, Paik HJ, Wee WR, Kim MK, Kim DH. Potential Importance of Ozone in the Association Between Outdoor Air Pollution and Dry Eye Disease in South Korea. *JAMA Ophthalmol* 2016;134(5):503–10.
26. Um SB, Kim NH, Lee HK, Song JS, Kim HC. Spatial epidemiology of dry eye disease: findings from South Korea. *Int J Health Geogr* 2014;13:31.

ЛИТЕРАТУРА

27. Sulzer M, Christen A, Matzarakis A. A Low-Cost Sensor Network for Real-Time Thermal Stress Monitoring and Communication in Occupational Contexts. *Sensors* 2022;22(5):1828.
28. Cho S, Nam HJ, Shi C, Kim CY, Byun SH, Agno KC, et al. Wireless, AI-enabled wearable thermal comfort sensor for energy-efficient, human-in-the-loop control of indoor temperature. *Biosens Bioelectron* 2023;223:115018.
29. Farahani H, Wagiran R, Hamidon MN. Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: a comprehensive review. *Sensors* 2014;14(5):7881–939.
30. Deng F, He Y, Zhang C, Feng W. A CMOS humidity sensor for passive RFID sensing applications. *Sensors* 2014;14(5):8728–39.
31. Hattori S, Iwamatsu T, Miura T, Tsutsumi F, Tanaka N. Investigation of Indoor Air Quality in Residential Buildings by Measuring CO₂ Concentration and a Questionnaire Survey. *Sensors* 2022;22(19):7331.
32. Brady MF, Sundaresan V. Legionnaires' Disease. B: StatPearls [Electronic resource]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing 2022 [Cited up to 20 March 2023]. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430807>.
33. Elsaid AM, Mohamed HA, Abdelaziz GB, Ahmed MS. A critical review of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems within the context of a global SARS-CoV-2 epidemic. *Process Saf Environ Prot Trans Inst Chem Eng Part B* 2021;155:230–61.
34. Ishimaru T, Mine Y, Odgerel CO, Miyake F, Kubo T, Ikaga T, et al. Prospective cohort study of bedroom heating and risk of common cold in children. *Pediatr Int Off J Jpn Pediatr Soc* 2022;64(1):e14755.
35. Jong B de, Hallström LP. European Surveillance of Legionnaires' Disease. *Curr Issues Mol Biol* 2022;81–96.
36. Miyake F, Odgerel CO, Mine Y, Kubo T, Ikaga T, Fujino Y. A Prospective Cohort Study of Bedroom Warming With a Heating System and Its Association With Common Infectious Diseases in Children During Winter in Japan. *J Epidemiol* 2021;31(3):165–71.
37. Yang Z, Chen LA, Yang C, Gu Y, Cao R, Zhong K. Portable ultrasonic humidifier exacerbates indoor bioaerosol risks by raising bacterial concentrations and fueling pathogenic genera. *Indoor Air* 2022;32(1):e12964.
38. Lau CJ, Loebel Roson M, Klimchuk KM, Gautam T, Zhao B, Zhao R. Particulate matter emitted from ultrasonic humidifiers-Chemical composition and implication to indoor air. *Indoor Air* 2021;31(3):769–82.
39. Клуб выпускников МГУ: Кто ответит за духоту в помещении [Интернет]. [цитируется по 30 январь 2023 г.]. [MSU Alumni Club: Who will be responsible for stuffiness in the room [Electronic resource]. [cited up to 30 January 2023]. (in Russian)]. URL: <http://www.moscowuniversityclub.ru/home.asp?artid=14637>.
40. Hattori S, Iwamatsu T, Miura T, Tsutsumi F, Tanaka N. Investigation of Indoor Air Quality in Residential Buildings by Measuring CO₂ Concentration and a Questionnaire Survey. *Sensors* 2022;22(19):7331.
41. Abdel-Salam MMM. Seasonal variation in indoor concentrations of air pollutants in residential buildings. *J Air Waste Manag Assoc* 2021;71(6):761–77.
42. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (Переиздание с Поправкой). [Электронный ресурс]. [цитируется по 30 январь 2023 г.]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053?ysclid=ldioxrh16y607594026>.
43. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека [Электронный ресурс]. [цитируется по 30 январь 2023 г.]. [Influence of carbon dioxide concentration on the human body [Electronic resource]. [cited up to 30 January 2023]. (In Russian)]. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5045>.
44. Du B, Tandoc MC, Mack ML, Siegel JA. Indoor CO₂ concentrations and cognitive function: A critical review. *Indoor Air* 2020;30(6):1067–82.
45. Pang L, Zhang J, Cao X, Wang X, Liang J, Zhang L, et al. The effects of carbon dioxide exposure concentrations on human vigilance and sentiment in an enclosed workplace environment. *Indoor Air* 2021;31(2):467–79.
46. Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, et al. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect* 2012;120(12):1671–7.
47. Carreiro-Martins P, Viegas J, Papoila AL, Aelenei D, Caires I, Агањо-Martins J, et al. CO₂ concentration in day care centres is related to wheezing in attending children. *Eur J Pediatr* 2014;173(8):1041–9.
48. Vassella CC, Koch J, Henzi A, Jordan A, Waeber R, Iannaccone R, et al. From spontaneous to strategic natural window ventilation: Improving indoor air quality in Swiss schools. *Int J Hyg Environ Health* 2021;234:113746.
49. Di Gilio A, Palmisani J, Pulimeno M, Cerino F, Cacace M, Miani A, et al. CO₂ concentration monitoring inside educational buildings as a strategic tool to reduce the risk of Sars-CoV-2 airborne transmission. *Environ Res* 2021;202:111560.
50. ГОСТ Р ИСО 16000-34-2000 Воздух замкнутых помещений. Часть 34. Методология определения содержания взвешенных частиц [Электронный ресурс]. [цитируется по 5 апрель 2023 г.]. URL: https://allgosts.ru/13/040/gost_r_iso_16000-34-2000.
51. Чомаева М.Н. Промышленная Пыль как вредный производственный фактор. *Национальная безопасность и стратегическое планирование* 2015;2-1(10)119-122; [Электронный ресурс]. [цитируется по 17 январь 2023]; [Chomaeva M.N. Industrial dust as harmful factors. *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie = National security and strategic planning* 2015;2-1(10)119-122. (in Russian)]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23648394&ysclid=ld08lf25cz708898277>.
52. Habre R, Coull B, Moshier E, Godbold J, Grunin A, Nath A, et al. Sources of indoor air pollution in New York City residences of asthmatic children. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2014;24(3):269–278.
53. Кики П.Ф., Бениова С.Н., Гельцер Б.И. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека [Электронный ресурс]. *Дальневосточный федеральный университет* [цитируется по 17 январь 2023 г.]. [Kiku P.F., Beniova S.N., Geltser B.I. Habitat and ecologically dependent human diseases [Electronic resource]. *Far Eastern Federal University* [cited up to 17 January 2023]. (in Russian)]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32328993&ysclid=ld09ry85fl454602750>.
54. Hwang SH, Park JB, Lee KJ. Exposure assessment of particulate matter and blood chromium levels in people living near a cement plant. *Environ Geochem Health* 2018;40(4):1237–46.
55. Raffetti E, Treccani M, Donato F. Cement plant emissions and health effects in the general population: a systematic review. *Chemosphere* 2019;218:211–22.
56. Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека. *Вестник Камчатского Государственного Технического Университета* 2019;(49):81–8. [Kholodov A.S., Kirichenko K.Y., Zadornov K.S., Golokhvast K.S. Effect of particulate matter in the air of residential areas on human health. *Vestnik Kamchatskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta = Bulletin of Kamchatka State Technical University* 2019;(49):81–8. (in Russian)].
57. Rajagopalan S, Brauer M, Bhatnagar A, Bhatt DL, Brook JR, Huang W, et al. Personal-Level Protective Actions Against Particulate Matter Air Pollution Exposure: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2020;142(23):e411–31.
58. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121(21):2331–78.
59. Lei X, Chen R, Wang C, Shi J, Zhao Z, Li W, et al. Personal Fine Particulate Matter Constituents, Increased Systemic Inflammation, and the Role of DNA Hypomethylation. *Environ Sci Technol* 2019;53(16):9837–44.
60. Zhang Q, Wang W, Niu Y, Xia Y, Lei X, Huo J, et al. The effects of fine particulate matter constituents on exhaled nitric oxide and DNA methylation in the arginase-nitric oxide synthase pathway. *Environ Int* 2019;131:105019.
61. Xie Z, Li Y, Lu R, Li W, Fan C, Liu P, et al. Characteristics of total airborne microbes at various air quality levels. *J Aerosol Sci* 2017;116.

ЛИТЕРАТУРА

62. Lee CH, Wang YB, Yu HL. An efficient spatiotemporal data calibration approach for the low-cost PM2.5 sensing network: A case study in Taiwan. *Environ Int* 2019;130:104838.
63. Chu HJ, Ali MZ, He YC. Spatial calibration and PM2.5 mapping of low-cost air quality sensors. *Sci Rep* 2020;10(1):22079.
64. Venkatraman Jagatha J, Klausnitzer A, Chacon-Mateos M, Laquai B, Nieuwkoop E, van der Mark P, et al. Calibration Method for Particulate Matter Low-Cost Sensors Used in Ambient Air Quality Monitoring and Research. *Sensors* 2021;21(12):3960.
65. US EPA. What is a MERV rating? [Electronic resource]. [cited up to 20 January 2023]. URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-merv-rating>.
66. Wargocki P, Kuehn TH, Burroughs HEB, Muller CO, Conrad EA, Saputa DA, et al. ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning.
67. US EPA. What is a HEPA filter? [Electronic resource]. [cited up to 20 January 2023]. URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-hepa-filter>.
68. Hansel NN, Putcha N, Woo H, Peng R, Diette GB, Fawzy A, et al. Randomized Clinical Trial of Air Cleaners to Improve Indoor Air Quality and Chronic Obstructive Pulmonary Disease Health: Results of the CLEAN AIR Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2022;205(4):421–30.
69. Cui X, Li Z, Teng Y, Barkjohn KK, Norris CL, Fang L, и др. Association Between Bedroom Particulate Matter Filtration and Changes in Airway Pathophysiology in Children With Asthma. *JAMA Pediatr* 2020;174(6):533–42.
70. Barkjohn KK, Norris C, Cui X, Fang L, He L, Schauer JJ, et al. Children's microenvironmental exposure to PM2.5 and ozone and the impact of indoor air filtration. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2020;30(6):971–80.
71. Cui X, Li F, Xiang J, Fang L, Chung MK, Day DB, et al. Cardiopulmonary effects of overnight indoor air filtration in healthy non-smoking adults: A double-blind randomized crossover study. *Environ Int* 2018;114:27–36.
72. Morishita M, Adar SD, D'Souza J, Ziemba RA, Bard RL, Spino C, et al. Effect of Portable Air Filtration Systems on Personal Exposure to Fine Particulate Matter and Blood Pressure Among Residents in a Low-Income Senior Facility. *JAMA Intern Med* 2018;178(10):1350–7.
73. Barn P, Gombojav E, Ochir C, Laagan B, Beejin B, Naidan G, et al. The effect of portable HEPA filter air cleaners on indoor PM2.5 concentrations and second hand tobacco smoke exposure among pregnant women in Ulaanbaatar, Mongolia: The UGAAR randomized controlled trial. *Sci Total Environ* 2018;615:1379–89.
74. Smith MG, Cordoza M, Basner M. Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect* 2022;130(7):76001.
75. Environmental noise guidelines for the European Region. [Electronic resource]. [cited up to 21 January 2023]. URL: <https://www.who.int/europe/publications/item/9789289053563>.
76. Kim: Burden of disease from environmental noise. [Электронный ресурс]. [цитируется по 19 январь 2023 г.]. [Kim: Burden of disease from environmental noise. [Electronic resource]. [cited up to 19 January 2023] (in Russian)]. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Burden+of+Disease+from+Environmental+Noise&author=L.+Fritsch&author=A.L.+Brown&author=R.+Kim&author=D.H.+Schwela&author=S.+Kephelopoulous&publication_year=2011&
77. Thiesse L, Rudzik F, Kraemer JF, Spiegel K, Leproult R, Wessel N, и др. Transportation noise impairs cardiovascular function without altering sleep: The importance of autonomic arousals. *Environ Res* 2020;182:109086.
78. Hahad O, Herzog J, Ръльсли M, Schmidt FP, Daiber A, Münzel T. Acute Exposure to Simulated Nocturnal Train Noise Leads to Impaired Sleep Quality and Endothelial Dysfunction in Young Healthy Men and Women: A Sex-Specific Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(21):13844.
79. Thiesse L, Rudzik F, Spiegel K, Leproult R, Pieren R, Wunderli JM, et al. Adverse impact of nocturnal transportation noise on glucose regulation in healthy young adults: Effect of different noise scenarios. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):1011–23.
80. Monazzam MR, Shamsipour M, Zaregar N, Bayat R. Evaluation of the relationship between psychological distress and sleep problems with annoyance caused by exposure to environmental noise in the adult population of Tehran Metropolitan City, Iran. *J Environ Health Sci Eng* 2022;20(1):1–10.
81. Beutel ME, BrӀhler E, Ernst M, Klein E, Reiner I, Wiltink J, et al. Noise annoyance predicts symptoms of depression, anxiety and sleep disturbance 5 years later. Findings from the Gutenberg Health Study. *Eur J Public Health* 2020;30(3):516–21.
82. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep – PMC. [Electronic resource]. [cited up to 14 November 2022]. Доступно на: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/translate.google/pmc/articles/PMC5877064/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=wapp.
83. Krizan Z, Hisler G. Sleepy anger: Restricted sleep amplifies angry feelings. *J Exp Psychol Gen* 2019;148(7):1239–50.
84. Thompson R, Smith RB, Bou Karim Y, Shen C, Drummond K, Teng C, et al. Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environ Int* 2022;158:106905.
85. Paul KC, Haan M, Mayeda ER, Ritz BR. Ambient Air Pollution, Noise, and Late-Life Cognitive Decline and Dementia Risk. *Annu Rev Public Health* 2019;40:203–20.
86. Dohmen M, Braat-Eggen E, Kemperman A, Hornikx M. The Effects of Noise on Cognitive Performance and Helplessness in Childhood: A Review. *Int J Environ Res Public Health* 2022;20(1):288.
87. Klatte M, BergstrӀm K, Lachmann T. Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Front Psychol* 2013;4:578.
88. Massonni T, J, Mareschal D, Kirkham NZ. Individual Differences in Dealing With Classroom Noise Disturbances. *Mind Brain Educ* 2022;16(3):252–62.
89. Shore S, Wu C. Mechanisms of noise-induced tinnitus: Insights from cellular studies. *Neuron* 2019;103(1):8–20.
90. Lauer AM, Dent ML, Sun W, Xu-Friedman MA. Effects of non-traumatic noise and conductive hearing loss on auditory system function. *Neuroscience* 2019;407:182–91.
91. Sahu P, Galhotra A, Raj U, Ranjan RV. A study of self-reported health problems of the people living near railway tracks in Raipur city. *J Fam Med Prim Care* 2020;9(2):740–4.
92. Wang TC, Chang TY, Tyler RS, Hwang BF, Chen YH, Wu CM, et al. Association between exposure to road traffic noise and hearing impairment: a case-control study. *J Environ Health Sci Eng* 2021;19(2):1483–9.
93. Beutel ME, BrӀhler E, Ernst M, Klein E, Reiner I, Wiltink J, et al. Noise annoyance predicts symptoms of depression, anxiety and sleep disturbance 5 years later. Findings from the Gutenberg Health Study. *Eur J Public Health* 2020;30(3):516–21.
94. Fischer T, Schraivogel S, Caversaccio M, Wimmer W. Are Smartwatches a Suitable Tool to Monitor Noise Exposure for Public Health Awareness and Otoprotection? *Front Neurol* 2022;13:856219.
95. Sweity S, Finlay A, Lees C, Monk A, Sherpa T, Wade D. SleepSure: a pilot randomized-controlled trial to assess the effects of eye masks and earplugs on the quality of sleep for patients in hospital. *Clin Rehabil* 2019;33(2):253–61.
96. Khoddam H, Maddah SA, Rezvani Khorshidi S, Zaman Kamkar M, Modanloo M. The effects of earplugs and eye masks on sleep quality of patients admitted to coronary care units: A randomised clinical trial. *J Sleep Res* 2022;31(2):e13473.
97. Obanor OO, McBroom MM, Elia JM, Ahmed F, Sasaki JD, Murphy KM, et al. The Impact of Earplugs and Eye Masks on Sleep Quality in Surgical ICU Patients at Risk for Frequent Awakenings. *Crit Care Med* 2021;49(9):e822–32.
98. Bumgarner JR, Nelson RJ. Light at Night and Disrupted Circadian Rhythms Alter Physiology and Behavior. *Integr Comp Biol* 2021;61(3):1160–9.
99. MelӀndez-FernӀndez OH, Liu JA, Nelson RJ. Circadian Rhythms Disrupted by Light at Night and Mistimed Food Intake Alter Hormonal Rhythms and Metabolism. *Int J Mol Sci* 2023;24(4):3392.
100. National Toxicology Program. NTP Cancer Hazard Assessment Report on Night Shift Work and Light at Night [Electronic resource]. Research Triangle Park

ЛИТЕРАТУРА

(NC): National Toxicology Program 2021; [cited up to 25 March 2023]. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK571598/>.

101. Russart KLG, Nelson RJ. Light at Night as an Environmental Endocrine Disruptor. *Physiol Behav* 2018;190:82–9.

102. Albreiki MS, Middleton B, Hampton SM. The effect of melatonin on glucose tolerance, insulin sensitivity and lipid profiles after a late evening meal in healthy young males. *J Pineal Res* 2021;71(4):e12770.

103. Choi Y, Nakamura Y, Akazawa N, Park I, Kwak HB, Tokuyama K, и др. Effects of nocturnal light exposure on circadian rhythm and energy metabolism in healthy adults: A randomized crossover trial. *Chronobiol Int* 2020;39(4):602–12.

104. Urbano T, Vinceti M, Wise LA, Filippini T. Light at night and risk of breast cancer: a systematic review and dose–response meta-analysis. *Int J Health Geogr* 2021;20:44.

105. Xiao Q, James P, Breheny P, Jia P, Park Y, Zhang D, и др. Outdoor light at night and postmenopausal breast cancer risk in the NIH-AARP diet and health study. *Int J Cancer* 2020;147(9):2363–72.

106. Zhang D, Jones RR, James P, Kitahara CM, Xiao Q. Associations between artificial light at night and risk for thyroid cancer: A large US cohort study. *Cancer Res* 2021;127(9):1448–58.

107. Xiao Q, Jones RR, James P, Stolzenberg-Solomon RZ. Light at Night and Risk of Pancreatic Cancer in the NIH-AARP Diet and Health Study. *Cancer Res* 2021;81(6):1616–22.

108. Suh YW, Na KH, Ahn SE, Oh J. Effect of Ambient Light Exposure on Ocular Fatigue during Sleep. *J Korean Med Sci* 2018;33(38):e248.

109. Walker WH, Borniger JC, Gaudier-Diaz MM, Melendez-Fernandez OH, Pascoe JL, DeVries AC, и др. Acute Exposure to Low Level Light at Night is Sufficient to Induce Neurological Changes and Depressive-like Behavior. *Mol Psychiatry* 2020;25(5):1080–93.

110. Facer-Childs ER, Middleton B, Skene DJ, Bagshaw AP. Resetting the late timing of «night owls» has a positive impact on mental health and performance. *Sleep Med* 2019;60:236–47.

111. Sweity S, Finlay A, Lees C, Monk A, Sherpa T, Wade D. SleepSure: a pilot randomized-controlled trial to assess the effects of eye masks and earplugs on the quality of sleep for patients in hospital. *Clin Rehabil* 2019;33(2):253–61.

112. Khoddam H, Maddah SA, Rezvani Khorshidi S, Zaman Kamkar M, Modanloo M. The effects of earplugs and eye masks on sleep quality of patients admitted to coronary care units: A randomised clinical trial. *J Sleep Res* 2022;31(2):e13473.

113. Obanor OO, McBroom MM, Elia JM, Ahmed F, Sasaki JD, Murphy KM, и др. The Impact of Earplugs and Eye Masks on Sleep Quality in Surgical ICU Patients at Risk for Frequent Awakenings. *Crit Care Med* 2021;49(9):e822–32.

114. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28 января 2021 – Гигиенические нормативы физических факторов в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях – docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. [цитируется по 18 март 2023 г.]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/8PA0LP?ysclid=lfe1xnmzmc449379963>.

Сведения об авторах:

Лебедев Г.С. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных и интернет-технологий Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет); заведующий отделом инновационного развития и научного проектирования ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» МЗ РФ; Москва, Россия; РИНЦ AuthorID 144872

Шадеркин И.А. – к.м.н., заведующий лабораторией электронного здравоохранения Института цифровой медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет); Москва, Россия; РИНЦ AuthorID 695560, <https://orcid.org/0000-0001-8669-2674>

Лебедева Н.А. – студентка 4-го курса Института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет); Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-7647-7209>

Вклад авторов:

Лебедев Г.С. – дизайн исследования, 10%
 Шадеркин И.А. – научный интерес публикации, написание текста, 40%
 Лебедева Н.А. – литературный обзор, написание текста, 50%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 12.02.23

Рецензирование: 27.02.23

Результаты рецензирования: 07.03.23

Принята к публикации: 10.03.23

Information about authors:

Lebedev G.S. – MD, PhD, professor, Head of the Department of Information and Internet Technologies at Sechenov University; Head of the Department of Innovative Development and Scientific Design of the Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation; Moscow, Russia

Shaderkin I.A. – MD, PhD, Head of the Laboratory of Electronic Health, Institute of Digital Medicine, Sechenov University; Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-8669-2674>

Lebedeva N.A. – 4th year student of the Institute of Public Health named after F.F. Erisman of the First Moscow State Medical University named after M.I. THEM. Sechenov (Sechenov University); Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-7647-7209>

Authors contributions:

Lebedev G.S. – review design, 10%
 Shaderkin I.A. – scientific interest of the article, text writing, 40%
 Lebedeva N.A. – literature review, text writing, 50%

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

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 12.02.23

Reviewing: 27.02.23

Peer review results: 07.03.23

Accepted for publication: 10.03.23